USMOS 2013

BEŞİNCİ ULUSAL

SAVUNMA UYGULAMALARI

MODELLEME VE SİMÜLASYON

KONFERANSI

BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER

Veysi İŞLER

Halit OĞUZTÜZÜN

Nur Evin ÖZDEMİREL

Kayhan İMRE

Selim TEMİZER

Ceylan DALGIÇ

11-12 HAZİRAN 2013

ODTÜ KÜLTÜR VE KONGRE MERKEZİ

ANKARA

ISBN: 978-605-88041-1-1

Kapak Tasarım

Evren BOZGEYİKLİ

Gamze BOZGEYİKLİ

Basım Yeri

Altan Özyurt Matbaacılık

Matbaacılar San. Sit. 559. Sok. No: 16,

İvedik/Ankara

Tel: (0312) 394 83 94

Faks: (0312) 394 81 23

ÖNSÖZ

2005 yılında ilk kez düzenlenen Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon (USMOS) Konferansı 2013 yılında beşinci kez gerçekleştiriliyor. Bu yıl Konferans, ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, Savunma ve Havacılık Sanayii İmalatçılar Derneği (SASAD), SASAD Üyeleri, Milli Savunma Bakanlığı ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından düzenlenmiştir.

USMOS 2013'te bu yıl önemli bazı "ilkler" yaşanacaktır: İlk kez Modelleme ve Simülasyon Sivil Uygulamaları ana temada yer bulmuştur. İlk kez SASAD'ın öncülüğünde Türk Savunma Sanayii firmaları, Sanayi Danışma Kurulu sıfatıyla aktif olarak Konferans'ın düzenlenmesinde rol oynamışlardır. İlk kez savunma firmalarımız ve bu firmaların ürünlerini kullanan kurumlar, deneyimlerini akademik olmayan sunumlarla paylaşacaklardır. İlk kez dört davetli konuşmacımız değişik oturumlarda konferansa katkı yapacaklardır. İlk kez öğrencilerin oluşturduğu ODTÜ MODSİM Öğrenci Topluluğu Konferans'a etkin olarak katılacaktır. İlk kez Konferans'tan bir gün önce ODTÜ MODSİM Öğrenci Topluluğu "Modelleme ve Simülasyon Alanında Kariyer Olanakları" başlıklı bir sohbet toplantısını akademik konuşmacılar ve sanayiden davetli konuşmacılarla gerçekleştireceklerdir.

Konferans'ın düzenlenmesinde üniversite, kamu ve sanayi örnek işbirliği ortaya koymuşlardır: Gönderilen makalelerin değerlendirilmesi ve bildiri kitabının editörlüğü öğretim üyelerinin oluşturduğu Akademik Komite tarafından koordine edilirken; firma sunumları, ürünlerin sergi alanında sergilenmesi ve Gala Kokteyli düzenlenmesi gibi görevler SASAD ve üyeleri tarafından yürütülmüştür. Diğer yandan Savunma Sanayii Müsteşarlığı, temanın belirlenmesi, programın oluşturulması ve SSM mensuplarının konuşmaları yoluyla Konferans'a önemli katkılar yapmıştır. Bu yıl USMOS 2013 Konferansı'nda 60 adet akademik bildiri, ilgili konuda uzman en az iki hakem tarafından değerlendirilmesi sonucu programda yer bulabilmiştir. Gönderilen bildiriler toplam 65 Program Kurulu üyesi arasında paylaştırılmıştır. Diğer yandan 12 firma 10 adet oturumda sunum yapacaktır. Üç sunum da firma projelerinin kullanıcıları tarafından gerçekleştirilecektir. Ayrıca sergi alanında 18 firma ürünlerini ve kabiliyetlerini sergileyecektir.

USMOS 2013'ün düzenlenmesine katkıda bulunan Milli Savunma Bakanlığı'na, Savunma Sanayii Müsteşarlığı'na, ODTÜ Rektörlüğü'ne, Savunma Sanayii İmalatçılar Derneği'ne ve üyelerine; Konferans'ın Koordinasyon ve Yürütme Kurulları'nın değerli üyelerine; Konferans'ın ana davetli konuşmacıları Prof. Dr. Tuncer Ören'e, Prof. Dr. Levent Yılmaz'a ve Prof. Dr. Alice E. Smith'e, makaleleri değerlendiren hakemlere, deneyim ve birikimlerini

paylaşacak olan panel konuşmacılarına, Konferans'a makale gönderen tüm makale yazarlarına, kabul edilen makaleleri sunacak olan konuşmacılara, oturumları yönetecek olan oturum başkanlarına, tüm katılımcılara, sergi alanında yer alan kurumlara ve sponsor olan sanayi kuruluşlarına teşekkür ederiz.

EDİTÖRLER

Veysi İŞLER
Halit OĞUZTÜZÜN
Nur Evin ÖZDEMİREL
Kayhan İMRE
Selim TEMİZER
Ceylan DALGIÇ

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR

Milli Savunma Bakanlığı

Savunma Sanayii Müsteşarlığı

Savunma ve Havacılık Sanayii İmalatçılar Derneği

ODTÜ

ODTÜ-TSK MODSİMMER

KONFERANS KURULLARI

Koordinasyon Kurulu

Hüseyin BAYSAK (SASAD)

Tevfik ZENGİN (MSB)

Veysi İŞLER (Konferans Başkanı, ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Zübeyde KIN ÇAĞLAYAN (SSM)

Yürütme Kurulu

Bilge Kaan GÖRÜR(ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Ceylan DALGIÇ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Deniz DEMİRCİ (SSM)

Ekrem Oğuz ÜLKER (SSM)

Evren BOZGEYİKLİ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Gamze BOZGEYİKLİ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)

Kayhan İMRE (Hacettepe Üniv.)

Nur Evin ÖZDEMİREL (ODTÜ)

Selim TEMİZER (ODTÜ)

Vedat KARAARSLAN (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Veysi İŞLER (Konferans Başkanı, ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Zeynep Duman DİNÇSOY (SSM)

Zübeyde ARSLANOĞLU (SSM)

Sanayi Danışma Kurulu

Değer Orkun BAŞDOĞAN (SDT)

Ercan ÖRÜCÜ (ROKETSAN)

Gökçe YILDIRIM (SİMSOFT)

Güray ÇELİK (ONUR MÜHENDİSLİK)

Gürkan HOŞGİT (GATE ELEKTRONİK)

Hakan KARAPINAR (HAVELSAN)

Halit ERGEZER(MİKES)

İbrahim DİNÇER (BİTES)

İhsan Yusuf AKBUĞA (BİTES)

Kadir TEMİZ (SİMSOFT)

Kenan OKUL (VENDEKA)

Kübra KOCABAŞ (İPA SAVUNMA)

Lütfü ÖZÇAKIR (HAVELSAN)

M. Haluk CANBERİ (GATE ELEKTRONİK)

Mehmet Serdar AK (NETCAD)

Muhittin SOLMAZ (HAVELSAN)

Oğuz YAVUZ (HAVELSAN)

Orkun ZORBA (METEKSAN)

Taner ACUNAZ (ONUR MÜHENDİSLİK)

Turgay ÇELİK (MİLSOFT)

Umut DURAK (ROKETSAN)

Uygar KARADENİZ (STM)

Yaşar KÖSE (GLOBAL TEKNİK)

Yılmaz KÜÇÜKSEYHAN (SASAD)

Yüksel YAMAK (C2TECH)

Program Kurulu

Abdülkadir CAN
A. Ziya AKTAŞ
Ahmet Oğuz AKYÜZ
Ali Cafer GÜRBÜZ
Ali DOĞRU
Ali YAZICI
Alptekin TEMİZEL
Altan ÖZKİL
Aydın OKUTANOĞLU
Aysu Betin CAN
Berna DENGİZ
Bülent ÖRENCİK
Celal Zaim ÇİL
Cevat ŞENER
Ece SCHMİDT
Emre KIYAK
Engin KURŞUN
Ercan ÖZTEMEL
Ercüment KARAPINAR
Fatih Erdoğan SEVİLGEN
Funda KURTULUŞ
Gökmen MAHMUTYAZICIOĞLU
Hakan ÇAĞLAR
Haluk AYGÜNEŞ
Harun ARTUNER
Huseyin HACIHABİBOĞLU
İsmail TOROSLU
İbrahim ARAS
Kasım KARAKAYA
Kayhan İMRE
Kemal ÖZGÖREN
Koray BAŞBİLEN
Levent KANDİLLER
M. Ali AKÇAYOL
Mehmet ADAK
Mehmet HOCAOĞLU
Mehmet KABAK
Metin TAYLAN
Murat Caner TESTİK
Murat ATUN
M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU
Murat M. GÜNAL
Murat Paşa UYSAL
Nafiz ALEMDAROĞLU
Okan TOPÇU
Orhan KARASAKAL
Orhan YILDIRIM
Orkun ZORBA
Ozan TEKİNALP
Özgur ÖZPEYNİRCİ
Özkan BALİ
Özlem AYDIN ÇİVİ
Pınar KARAGÖZ
Selim BALCISOY
Şeref SAĞIROĞLU
Serhat BURMAOĞLU
Serkan ÖZKAYMAK
Serkan ÖZGEN
Serpil EROL
Sinan KALKAN
Tolga ÇAPİN
Turgay ÇELİK
Uğur GÜDÜKBAY
Uluç SARANLI
Umut DURAK
Yakup ÖZKAZANÇ
Yasemin YARDIMCI
Yiğit KAZANÇOGLU
Ziya GÜVENÇ

ANA SPONSOR

RESMİ SPONSORLAR

GALA KOKTEYLİ SPONSORLARI

OTURUM SPONSORLARI

METEKSAN SAVUNMA

Simsoft
"İNSAN İÇİN İNSAN MERKEZLİ ÇÖZÜMLER"

agena BST
Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri Sanayi Ticaret Ltd. Şti.

MİKES
MİKRODALGA ELEKTRONİK SİSTEMLER A.Ş.

BİTES

SDT
UZAY & SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ

ANELARGE®

MEDYA SPONSORLARI

EMEĞİ GEÇENLERE TEŞEKKÜR

ODTÜ-TSK MODSİMMER çalışanları

Burhan KARABİBER

Elmas BAYBÖRÜ

Esma İPEKOĞLU

Hülya YASAK

Mustafa DEDE

Nurcan ÖZER

Konferansın organizasyonunda gösterdiğiniz özverili çalışmalarınız için teşekkür ederim.

Prof. Dr. Veysi İŞLER
ODTÜ-TSK MODSİMMER Başkanı
USMOS 2013 Konferans Başkanı

İÇİNDEKİLER

Önsöz..... iii

Düzenleyen Kuruluşlar v

Konferans Kurulları vi

Sponsorlar x

Emeği Geçenlere Teşekkür xiii

İçindekiler..... xv

Bildiriler 1

Eğitim ve Öğretim Amaçlı Simülasyon 3

Ahmet Turan Değerli, Cemil Öz, İsmail Ilgar. Yol Bulma Algoritmalarının Bir Harp Oyunu Benzetimi Üzerinde Gerçeklenmesi ve Karşılaştırmalı Analizi 2

Orkun Zorba, Murat Atun, Abdülkadir Can. Deniz Harp Oyunu Sistemi ve Kazanımlar 12

Hasan Gündüz Aydın, Aydın Okutanoğlu. Trafik Eğitim Simülatörlerinde Yapay Zeka Araçlarının Modellenmesi 21

Uçuş Simülatörleri 31

Dağhan Çaycı. Simülatör Sistemlerinde Görüntüleme Sistemi Tasarımını Etkileyen Parametreler ve Kısıtlar 31

Yaroslav Novikov, Gönenç Gürsoy, Oğuz Uzol, İlkay Yavrucuk. Helikopter Simülatörleri için Dinamik Turboşaft Motor Modeli Geliştirilmesi ve Simülatöre Entegrasyonu 41

Gönenç Gürsoy, Onur Tarımcı, İlkay Yavrucuk. Helikopter Otopilotları için Yaklaşma Üst Modu Tasarımı ve Simülasyonu 51

Hakan Ertem, Engin Sarıtaş, Hakan Karapınar. FLIR Görüntülerinde Kalman Filtre Kullanılarak Hedef Takibi 61

MODSİM Sistemlerinin Birlikte Çalışabilirliği 69

Engin Z. Altan, Orkun Zorba. Harp Oyunu Simülasyonlarının Entegrasyonu için Birlikte Çalışabilirlik Uygulamaları 69

Fatih Orhan, Erdem Türker Kıvcı. Anlamsal Ağ Yaklaşımı ile Heterojen Sistemlerin Entegrasyonu ve Akıllı Servislerin Geliştirilmesi..... 79

Burak Çayır, Oğuz Yusuf Bolata, Erhan Elveren. Simülasyon Ortamında Hava Görev Emri Otomasyonu 89

Mühendislik Uygulamalarında Simülasyon: Sensörler 95

İlyas Kandemir, Ayşe Kandemir, Erdem Reşber, Mehmet Hocaoğlu. Hava Savunma Simülasyonlarında Altı Serbestlik Dereceli Hava Platformları ve Füze Modelleme 95

Meltem Köroğlu, Mehmet Akif Koca, Uğur Kayasal. Radar Altimetre Verisinden Deniz Durumu Bilgisi Kestirimi 105

Burak Manavoğlu, Erdem Yazgan. Pasif Radarda Hedef İzleme Modellenmesi ve Simülasyonu 115

Rıfat Dalkıran, Mehmet Ali Tuğay. Elektronik Savaş Ortamı Sinyal Benzetimcisi 125

Muhammed Çağrı Kaya, Serdar Çiftçi, Selim Temizer. Kısmen Arızalı Otonom Robotlar için En Az Sayıda Sonar Sensörü Kullanılarak Kapalı Mekanlarda Konum Tespiti Gerçekleştirilmesi 135

Okyanus Tulgar, Ahmet Arif Ergin, Yakın Alan Ölçümler ile YAR Görüntüleme ve RKA Hesabı için Lineer Olmayan Denklem Destekli Matris Kalem Metodu 145

Hakan Saç, Kemal Leblebicioğlu, Gözde Bozdağı Akar. İleri Bakan 2B Sonar Görüntülerinin Simülasyonu 155

Ahmet Kale, Faruk Sarı, Gökhan Polat. Radar Dönüş Ekolarının Simülasyon Ortamında Üretimi ve Radar Alıcı Kütüphanesi 165

Mühendislik Uygulamalarında Simülasyon: Silah ve Mühimmat 173

Erkan Milli, Yakup Özkazanç. Komuta Güdümlü Füzelerin 3B Formülasyonları ve Analizi 173

Alper Taşdemirci, Ali Kara, A. Kıvanç Turan, Mustafa Güden. Sandviç Yapılarda Kullanılan Tekrarlanabilir Çekirdek Geometrilerinin Enerji Emme Karakteristikleri 183

İsmet Kutlay Odacı, Cenk Kılıçaslan, Alper Taşdemirci, Mustafa Güden. Patlama Etkisinin Laboratuvar Ölçekli Testler ve Simülasyonlarla Belirlenmesi 192

Karar Destek Amaçlı MODSİM 202

Mustafa Değerli, Sevgi Özkan. Savunma Uygulamalarında Mühendislik ve Yönetim Süreçlerinin Çalışanlar Tarafından Benimsenmesi için Bir Model 202

Halil Akçakaya, Ufuk Ülüğ, Tolga Alasağ, Melike Gürbüz, Nurşen Sarı, Ümit Özkan. Torpidoya Karşı Tedbir Yöntemlerinin Benzetim Ortamında Karşılaştırmalı Başarımları 212

Aydın Okutanoğlu, Hasan Gündüz Aydın. Simülasyonlar için Esnek Davranış Tanımlama Altyapısı 221

Eray Esengin, Suha Karabey. Simülasyon Sistemlerinin KKBS'ye

Katkıları: MSYS (Muhabere Sahası Yönetim Sistemi) - TACCIS (Tactical Area Command, Control Information System) ile JTLS (Joint Theatre Level Simulator) Entegrasyonu Çalışması 230

Kamil Yavuz Kapusuz, Ali Kara. Bilinen Alıcı ve Verici Pozisyonları için Yansıma Merkezinin Kestirimine Yönelik Bir Çalışma 240

Mehmet Hocaoğlu, Erdem Reşber, İsa Tuncer. Simülasyon İşletiminde İşletim Zamanlı Analiz 250

Mehmet Hocaoğlu, Erdem Reşber, İsa Tuncer. Kural Tabanlı Silah-Hedef Eşleştirme ve Hedef Değerlendirme Optimizasyonu 259

İbrahim Genç, Mehmet Hocaoğlu, A. Arif Ergin. Harekat Alanı Taktik Simülasyonlarında Haberleşme Unsurlarının Modellenmesi ve Simülasyonu 267

MODSİM Metodolojisi 274

Emre İrfanoğlu, İlker Akgün, Murat M. Günal. K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Benzetimle Eniyileme İçin Metamodel Oluşturma Yaklaşımı 274

Ufuk Ülüğ, Ahmet Faik Güven, Semuel Franko, Mehmet Haklıdır, Nurşen Sarı, Melike Gürbüz, Ümit Özkan. Karar Destek Sistemlerinde Durum-Uzay Modeli Yaklaşımı 284

Tuğba Özbilgin, Ufuk Ülüğ, Nurşen Sarı, Melike Gürbüz, Ümit Özkan. Denizaltı Savunma Sistemlerinin Benzetiminde Sakınma Taktiğinin Analizi 291

Canlı-Sanal-Yapısal Simülasyonlar 301

Turgay Çelik, Güral Vural, Serdar Baklan. Canlı, Sanal,Yapısal Simülasyon Sistemlerinin Entegrasyonuna Yönelik Örnek Bir Çalışma 301

Erdem Türker Kıvcı, Mustafa Hadi Dilek, İlker Argın, Fatih Orhan, Emre Barış Aksu. Taktik Sahada Ağ Destekli Yetenek Kullanımı ve Canlı-Sanal-Yapısal Ortamda Benzetimi 311

Mühendislik Uygulamalarında Simülasyon: Platformlar..... 321

K. Doğuş Türkay, M. Haluk Canberi, Alper Kılıç. Görev Kritik Sistemler Açısından DDS Arakatman Mimarisinin Performans Analizi 321

Levent Hakkı Şenyürek, Semuel Franko, Deniz Aldoğan, Ömer Eroğlu, Yasin Kanpara. Yüksek Sadakatli Askeri Simülasyon Uygulamalarında Suüstü ve Sualtı Platformların Birbirlerinden ve Karadan Sakınması 331

Mehmet Ekici, Hakan Kahveci, A.Sefa Akpınar. LabVIEW Tabanlı PID ve Bulanık Mantık Denetimli Denizaltı Derinlik Kontrol Simülatörü..... 341

Erhan Turan, Can Özcan. İnsansız Hava Araçlarında Etkileşimlerin HAD ile İncelenmesi 351

Çağatay Doğan, Fırat Cevher, Emre Ege, Kemal Leblebicioğlu. Taşınabilir Bir İnsansız Sualtı Aracının Mekanik Tasarımı 360

Temsili Ortamlar ve Görselleştirme 368

Mehmet Sadık Akyol, Gökçe Yıldırım. Gerçek Zamanlı Dinamik Sensör Simülasyonu 368

Arıl Bircan, Mehmet Ömer Özek. Farklı Özelliklere Sahip Kompleks Poligonlardan Oluşan Coğrafi Alan Bilgilerine Erişim Yöntemlerinin Karşılaştırması 376

Simülasyon Tabanlı Tedarik 382

Sezgi Yıkılmazçınar, Metin Gür, Serdal Elmas, Okyanus Tulgar. Standart Kazançlı Horn Anten Tasarımı Simülasyonu ve Üretimi .. 382

Simülasyon Altyapıları 390

Anıl Öztürk, Müge Canpolat, Umut Durak. Model Tabanlı Simülasyon Geliştirme için Araç Desteği 390

Aydın Direskeneli, Bülent Başkuş, Özlem Dura. Bilgi Güvenliği ve Siber Savunma Konularında Simülasyon ve Modellemenin Önemi ve Kullanım Alanları 399

Serkan Özen, Selim Temizer. Koşum-Zaman Altyapısında (Run-Time Infrastructure) Bağlantı Modelinin, Federe Özelliklerine Göre Şekillendirilmesi..... 407

Mehmet Hocaoğlu. Etmen Programlamada Cephe Tabanlı Programlama Bakışı 415

Mehmet Hocaoğlu. Zamansal Muhakeme ile Durum Tabanlı Davranış Üretimi 425

Fatih Çelik, Murat M. Günal, Ali Emre Varol. Kesikli Olay Etmen Tabanlı Benzetim 435

Mühendislik Uygulamalarında Simülasyon **445**

Rağıp Yurttaş, Kemal Leblebicioğlu, Isı Fişeklerinin Görüntülemeli Kızılötesi Arama Başlıklarına Karşı Etkinlik Analizi Amacıyla Geliştirilen Benzetim Yazılımı 445

Alperen Eroğlu, Selim Temizer. Microsoft Kinect Tabanlı Gerçek-Zamanlı El Hareketleri ile Bağımsız Robotların Kontrol Edilmesi ve Robot Hareketlerinin Planlanması 455

Hakan Çalışkan, H. Ulaş Akova, Tuna Balkan, Bülent E Platin. Elektro-Hidrostatik Tahrikli Bir Hareket Benzetimcisinin Alt Sistemlerinin Ortak Simülasyonu..... 465

Görkem Seçer, Efe Uzel, Emrah Yarar, Semih Çakıroğlu. Kontrol Tahrik Sistemleri için Sonsuz Vidalı Dişli Kutusunun Modellenmesi ve Karakterizasyonu 475

Dağıtık Simülasyon Uygulamaları 484

Mehmet Haklıdır, Deniz Aldoğan, Levent Hakkı Şenyürek, Yasemin Timar,Semuel Franko, Ömer Eroğlu, Ahmet Faik Güven.Hakkı Murat Genç. Denizaltı Savunma Harbi Modelleme ve Simülasyonu..... 484

Özcan Kurubaş, Nurşen Sarı, Burak Çağrı Okur, Melike Gürbüz, Ümit Özkan. Dağıtık Benzetim Ortamlarında Benzetimin Tekrar Oynatılmasına Farklı Bir Bakış 484

Levent Hakkı Şenyürek, Yasemin Timar. Bulanık Mantık Kontrolcü Aracılığı ile Gemilerin Formasyon Halinde İntikalinin Modellenmesi 504

Üretim Süreçlerini Destekleyen Simülasyon Sistemleri..... 513

Gülşen Öncül, Handan Özdemir, Barış Timurkaynak. Kompozit Uçak Yapılarında Kullanılan Tasarım İş Yükünün Modellenmesi 513

Dilek Başaran Bil. Valf veya İki-Yönlü Pompa Kullanılarak Abkant Pres Makinesi Hidrolik Sisteminin Modellenmesi ve Kontrolü 523

Gülşen Öncül, Burak Atak.Üç Boyutlu Tolerans Analiz Modeli ile Yapılan Tasarım Çalışmasının Montaj İşlemine Kattığı Kazançlar 533

MODSİM Sistemleri Yönetimi 543

Oral Gürel. Similar Süreci ve Monte Carlo Yöntemiyle Sistem Gereksinimleri Risk Modellemesi 545

Tuğba Özbilgin, Nurşen Sarı, Melike Gürbüz, Ümit Özkan. Benzetim Sistemlerinde Gerçeklenen Çoklu Koşumlarda Koşum Sayısının Belirlenmesi 553

Yazar Dizini 561

YOL BULMA ALGORİTMALARININ BİR HARP OYUNU BENZETİMİ ÜZERİNDE GERÇEKLENMESİ VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Ahmet Turan DEĞERLİ [(a)], Cemil ÖZ [(b)] , İsmail ILGAR[(c)]

[(a)] Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, ANKARA, degerli.a1318@dzkk.tsk.tr

[(b)] Sakarya Üniversitesi, ADAPAZARI, coz@sakarya.edu.tr

[(c)] Sahil Güvenlik Komutanlığı, ANKARA, iilgar@sgk.tsk.tr

ÖZ

Gerçek hayatta ancak çok büyük bedellerle elde edilebilecek tecrübeler, benzetim altyapıları kullanılarak, sanal ortamlarda çok daha az maliyetle ve sıfıra yakın zayiat ile elde edilebilmektedir. Gerçekleşmiş olayların tekrar değerlendirilmesi ve gelecekte olabilecek olayların sonuçlarının analiz edilmesi, bu altyapılar ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada, yol bulma algoritmaları kullanılarak bir deniz taktik harp oyunu benzetimi altyapısı geliştirilmiştir. Çalışmada yer alan haritalar, ızgaralara(düğümlere) bölünerek çizgeler(graflar) elde edilmiş ve harp unsurlarının hareketleri, elde edilen bu çizgeler üzerinde, en kısa rota problemlerinin çözümünde kullanılan A-Yıldız ve Dijkstra algoritmaları ile sağlanmıştır. Harp unsurlarının haritalar üzerindeki gösterimlerinde, NATO APP-6A ve USA MIL-STD-2525C standartlarına uygun sembolojiler kullanılmıştır. Benzetimde kullanılan algoritmalarının performansları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: A-Yıldız (A*) Algoritması, Deniz Taktik Harp Oyunu Benzetimi, Dijkstra Algoritması, Çizgeler, Sezgisel Algoritmalar, Yol Bulma Algoritmaları.

COMPARATIVE ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF THE PATHFINDING ALGORITHMS ON THE WARFARE GAME SIMULATION

ABSTRACT

Experiences that can only be gained at exorbitant expenses in real life could be attained at much lower costs and, almost with no casualties in virtual environments. The evaluation process of the events that happened in the past and analyzing the results of

the events that will happen in the future can be done with these simulation infrastructures. Within the framework of this study, a naval tactical warfare game simulation infrastructure has been developed by using shortest path algorithms. Graphs were obtained by dividing of the maps into the grids (nodes). The movements of the military aspects have been made by using A-Star and Dijkstra algorithms using for solving the shortest route problems obtained on these graphs. Comparative analyses of these algorithms used in the simulations have been done and the performance has been investigated. To show the warfare elements on the map in this simulation, USA Common Warfighting Symbology (MIL-STD-2525C) and NATO Military Symbols for Land Based Systems (APP-6A) symbologies belonging standards have been used.

Keywords: Naval Tactical Warfare Game Simulation, Graphs, Pathfinding Algorithms, A-Star (A*) Algorithm, Dijkstra Algorithm.

1. GİRİŞ

Bir iş ancak ve ancak düzenli olarak tekrarlandığında, yani kişinin o konudaki tecrübesinin artmasıyla daha etkili biçimde yapılmaya başlanır. Bu basit gerçek, en ilkel insanlar tarafından bile bilinen bir olguydu. Ancak başka bir gerçek de, bazı şeyleri tekrarlamak için gereken şartların yaratılmasının her zaman mümkün olmaması ya da tekrar eylemi esnasında ortaya çıkabilecek maliyetlerin çok yüksek olabilmesidir. Bu durum özellikle savaş eylemi için geçerlidir ve ilkel insanlar bunun çözümünü mücadeleye dayanan ve harpte kullanılacak becerilerin tekrarlandığı faaliyetler geliştirerek çözmüşlerdir. Biz modern insanlar, artık yapılan bu faaliyetlerin esas amaçlarını unuttuk ve onlara "spor" ya da "oyun" adlarını vererek salt bir eğlence faaliyeti olarak bakıyoruz. Ancak her ne kadar spor, bireylerin kişisel savaş becerilerini arttırabilse ve iyi askerler yetişmesine yardımcı olabilse de; iyi bir komutanın ihtiyacı olan tecrübeyi sağlayamaz. Er rütbesindeki bir askerin kazanması gereken tecrübe fiziksel iken, bir komutanın kazanması gereken tecrübe zihinseldir. Geçmişte satranç gibi oyunlarla kazanılması hedeflenen bu tecrübe, gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde günümüzde artık çok daha gerçekçi benzetim (simülasyon) yazılımları ile karşılanabilmektedir.

Dolayısıyla bizlerin benzetim olarak gördüğümüz şeylerin, amaçlarının farkında olmayan kişiler tarafından birer "oyun" olarak görülmeleri çok da şaşırtıcı değildir. Elbette günümüz askeri eğitim simülasyonlarının ortaya çıkışının başlıca nedeni, spor örneğimizde olduğu gibi harp tecrübesi kazanılması ihtiyacıdır. Ancak gerçek bir tatbikat için, tüm harp unsurlarının konuşlandırılması maliyeti, muhtemel zayiatlar, zaman kısıtlamaları ve verilerin analizi için gereken işgücü oldukça yüksektir. İşte bu nedenle gelişmiş ordular, komuta kademesinin strateji ve taktik tecrübesi kazanmaları için harp oyunu benzetimlerine önem vermektedirler. Hâlihazırda ülkemizde ve

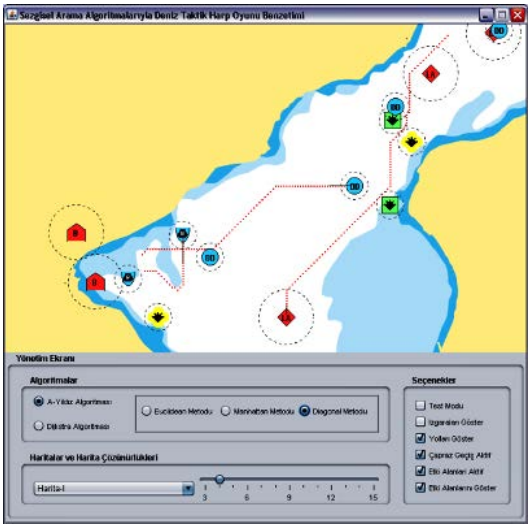
NATO'da, The Joint Theater Level Simulation (JTLS), The Joint Conflict and Tactical Simulation (JCATS) ve Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) gibi gelişmiş askeri benzetimler, personel eğitimlerinde aktif olarak kullanılmaktadır. Buna karşın, benzetim sistemleri henüz gerçek tatbikatlara olan ihtiyacı ortadan kaldıramamıştır. Çünkü her ne kadar çok maliyetli olsalar da, gerçek tatbikatlar simülasyonlardan çok üstündür ve bunları vazgeçilmez kılan bir yanları vardır ki, o da "insan" unsurudur.

Bilgisayarlı benzetim sistemleri, insan ve gerçeklik açığını kapatabilmek için pek çok yapay zekâ algoritması kullanmaktadır. [1] Elbette bunların hepsinin incelenmesi bu çalışmanın kapsamını aşacaktır. Ancak herhangi bir bilgisayar oyununu oynamış herkesin hatırlayacağı gibi, bu algoritmalar arasında en önemlileri çoğu zaman yol bulma (pathfinding) algoritmalarıdır. Yol bulma işlemi, oyun karakterleri veya araçların (gemiler, denizaltılar vb.) verilen emirlere göre, insan gibi düşünerek hareket etmesini, düşmandan gizlenerek yol almasını ve tehlikeli sahalardan uzak durarak ilerlemesini içermektedir. Haritalar üzerindeki bilgiler ışığında kendi harekât güzergâhını belirleyen yapay zekâ karakterleri, hedef noktaya uygun rotayı kendileri tayin etmektedirler. Bir ticari oyunun yol bulma algoritmasının başarısız olması, bilgisayar başındaki oyuncuların oyundan aldığı zevkin azalmasına ve oyunun satışlarının düşmesine yol açarken; bir harp oyununun yol bulma algoritmasının kötü olması, benzetimin gerçekçiliğini kaybetmesine ve oyuncu personelin arzu edilen tecrübeyi kazanamamasına yol açmaktadır. Söz konusu önemli rolünden dolayı, bu çalışmada çeşitli yol bulma (pathfinding) algoritmalarının etkinlikleri, yazarlar tarafından geliştirilmiş olan bir deniz taktik harp oyunu benzetimi altyapısını kullanarak analiz edilmiştir.

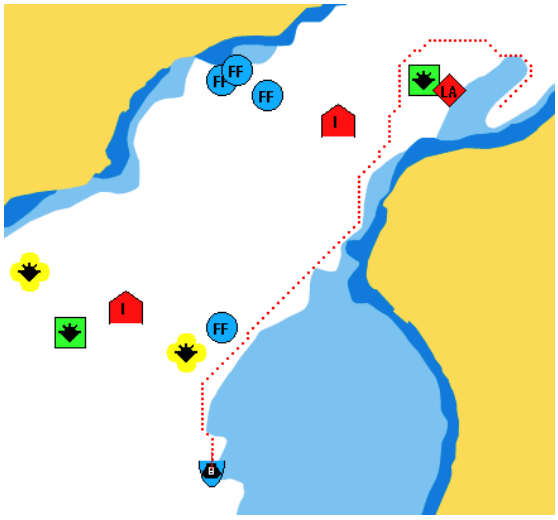
İncelenmek üzere birer sezgisel (A*) ve sezgisel olmayan (Dijkstra) algoritma seçilmiştir. Yapılan çalışma neticesinde A* algoritmasının, kısa mesafeli, az düğümlü ve az engelli ortamlarda çok başarılı olduğu, ancak düğüm ve engel sayısının arttığı (sahadaki harp unsurunun ve coğrafi yer şekillerinin fazla olduğu) durumlarda algoritma performansının düştüğü, bunun yanı sıra rota hesaplama süresinin uzadığı görülmüştür. Dijkstra algoritmasının ise, tüm düğümleri taraması sebebiyle, yakın mesafeli hedeflerde ve az engelli ortamlarda A* algoritmasına göre daha düşük performans gösterdiği, fakat düğüm ve engel sayısının arttığı durumlarda, performans düşüşünün çok az olduğu tespit edilmiştir. Çalışma neticesinde, gerçek harp ortamlarında bütün sahanın/düğümlerin durumunun bilinmesinin mümkün olmaması nedeniyle, harp oyunu benzetimlerinde A* gibi sezgisel algoritmaların kullanılmasının -en kısa yolu her zaman garanti etmemesi sebebiyle- benzetimi daha gerçekçi kılacağı sonucu elde edilmiştir.

2. DENİZ TAKTİK HARP OYUNU BENZETİMİ ALTYAPISI

Deniz Taktik Harp Oyunu Benzetimleri, dost ve düşman unsurların başlangıç mevkilerinin sayısal bir harita üzerine işlendiği; bu unsurların sensör ve silahlarının tanımlanabildiği ve tanımlanan bu veriler kullanılarak bir deniz harbinin yapıldığı sistemlerdir. Bu özellikler çalışma kapsamında kullanılan yazılımda kısmi olarak bulunmaktadır. Yazılım, Harita Ekranı ve Yönetim Ekranı olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 1-2). Yönetim ekranı üzerinden, kullanılacak sayısal haritalar ve harp unsurları yüklenmekte; yüklenme işlemini müteakiben haritalar, yol bulma algoritmalarının kullanacağı düğümlerin belirlenmesi için ızgara şeklinde bölünmektedir. Böylece ızgaraların matris tablolarında tutulması ve yazılım içerisinde iki boyutlu diziler şeklinde tanımlanabilmesi olanağı elde edilmiştir. Aynı zamanda, unsurlarının düz ve çapraz yönler olmak üzere 8 doğrultuda hareket etmesi sağlanmıştır. Söz konusu düğümler oluşturulurken haritalara ait derinlik gibi bilgiler de korunmaktadır. Böylece örneğin bir geminin kara üzerinden gitmemesi veya bir denizaltının uygun derinlikleri olan düğümler üzerinden ilerlemesi sağlanmaktadır. Koşulacak algoritma yine bu ekran üzerinden seçilmekte ve algoritmanın çıktısı Harita Ekranından takip edilmektedir. Hesaplamaları yaparken algoritmalar, -taramış oldukları sahalardaki- dost ve düşman bütün harp unsurlarının (düğümlerin) durumları ve konumlarını tam olarak bilmektedir.



Şekil 1. Deniz Taktik Harp Oyunu Benzetimi Altyapısı



Şekil 2. Balistik füze taşıyan denizaltının sadece derin suları kullanarak seyri.

Harp unsurlarının haritalar üzerindeki gösterimlerinde, NATO APP-6A ve USA MIL-STD-2525C standartlarına uygun sembolojiler kullanılmıştır [2 ve 3].

3. ALGORİTMALAR

Hâlihazırda literatürde pek çok yol bulma algoritması bulunmakla beraber, bu çalışmada bahse konu algoritmalar genel olarak sezgisel ve sezgisel olmayan algoritmalar başlıkları altında incelenmiştir.

Sezgisel algoritmalar, çevresel tüm parametreler bilinmese dahi, bir başlangıç rotası hesaplayarak ve bu ilk rotayı güncelleyerek -tamamıyla en kısa yol olmasa dahi- kabul edilebilir bir rota ve gerçek zamanlı bir performans sağlamaktadır. A* [4], D* [5], D*-lite [6], Focussed D* [7] ve TA* [8] gibi algoritmalar başlıca sezgisel algoritmaları oluşturmaktadır. Sezgisel olmayan algoritmalar ise çevresel tüm parametrelerin bilinmesine dayanmakta, çoğunlukla uzun bir hesaplama sonrasında en kısa yolu verebilmektedir. Bellman-Ford, Floyd ve Dijkstra [9] algoritmaları sezgisel olmayan başlıca algoritmalardandır.

Hazırlık çalışmaları kapsamında, sezgisel algoritmalardan A* ve bu algoritmadan türetilen Dynamic A* (D*), Focussed D* ve D* Lite algoritmaları; sezgisel olmayan algoritma olarak da Bellman-Ford, Floyd ve Dijkstra algoritmaları incelenmiştir. Bu çerçevede, bir harp unsurunun (aslında unsurun komutanının) insani davranışlarının en iyi şekilde hangi algoritma ile benzetilebileceğini karşılaştırmak amacıyla, kendi kategorilerinin temel algoritmalarından olan A* ve Dijkstra algoritmaları seçilmiş ve benzetimde uygulanmıştır.

3.1. A-Yıldız (A*) algoritması

Sezgisel algoritma ve yöntemler, çeşitli sebeplerle kesin bir çözümü olmayan veya çok karmaşık hesaplamalar neticesinde sonuca ulaşılabilen problemlerde tercih edilmektedir. Sezgisel yöntemler, her zaman en kısa yolun belirlenmesinde doğru sonucu garanti etmeyebilirler ancak işlem miktarını ve dolayısıyla kaynak kullanımını önemli ölçüde azaltmaları sebebiyle kabul edilebilir çözümler üretmektedirler. A* algoritması, içerisinde barındırdığı buluşsal fonksiyon sebebiyle yapı olarak sezgisel (heuristic) algoritma olarak isimlendirilmektedir. A* algoritmasında kullanılan sezgisel fonksiyonu f(n) ile ifade edecek olursak;

$$f(n) = g(n) + h(n) \qquad (1)\ [1]$$

g(n) : Mevcut düğüme gelme maliyeti.
h(n) : Mevcut düğümden hedef düğüme varmak için tahmin edilen mesafe.

Dijkstra algoritmasında yer alan başlangıç düğümünden itibaren bir noktadan dışarıya doğru bütün yönlerde ilerleme metodunun aksine, A* algoritmasında hedef düğüme doğru, doğrudan bir maliyet hesaplanır. Algoritma ilerleme yönünü bu maliyetin artıp azalmasına göre ayarlamaktadır. [4]

Algoritmanın çalışması esnasında öncelikle kaynak düğümün komşu düğümleri ziyaret edilir. Ardından f(n) değeri en düşük olan düğüm öncelikli olmak üzere, hedef düğüm bulunana kadar ilerlenmeye devam edilir. Her bir adımda, bir önceki düğüm, gidilen düğümün ebeveyni olarak işaretlenir. Böylece hedef düğüme ulaşıldığında düğümlerin ebeveynleri takip edilerek başlangıç ve hedef düğümleri arasındaki yol elde edilir.

A* algoritması, sezgisel fonksiyonun hesapladığı tahmini maliyetin, gerçek maliyetten fazla olmadığı durumlarda en kısa yolu verir. Ancak tahmini maliyet gerçek maliyetten fazla olursa bulunan yol, gerektiği kadar kısa değildir [11].

A* algoritmasının zaman karmaşıklığı, sezgisel fonksiyona bağlı olarak değişmektedir. En kötü durumda, incelenen toplam düğüm sayısı ve en kısa yol çözümünün uzunluğuna bağlı olarak üsseldir. Ancak arama uzayı ağaç yapısında ve hedef nokta bir tane ise zaman karmaşıklığı çok terimlidir (polynomial). Bu durumda sezgisel fonksiyon (h) denklem (2)'deki gibi olur [1]:

$$| h(n) - h^*(n) | = O(\log h^*(n)) \quad (2)$$

h(n) : Sezgisel maliyet h*(n) : Gerçek maliyet

A* algoritmasının alan karmaşıklığı, en kötü durumda, bütün düğümlerin hafızada tutulması sebebiyle denklem (3)'teki gibidir.

$$\text{A* Alan Karmaşıklığı: } O(b^m) \quad (3)$$

b: Algoritmanın Dallanma Faktörü m: Arama Ağacındaki Azami Derinlik

Bu çalışmada, A* algoritmasının h(n) sezgisel maliyetinin (hedefe olan uzaklığın) hesaplamasında Manhattan, Euclidean ve Diagonal uzaklık yöntemleri kullanılmıştır. Manhattan uzaklığı yöntemi, sezgisel maliyet hesaplamalarında kullanılan standart yöntemdir. Mevcut düğüm ile hedef düğüm arasındaki yatay ve dikey mesafelerin toplanmasını esas almaktadır. (4) Euclidean uzaklığı yöntemi ise, mevcut düğümden hedef düğüme olan yatay ve dikey uzaklıkların karelerinin toplamının karekökü alınarak hesaplanır. (5) Bu yöntemde, uzaklıkların kareleri alınması sebebiyle aykırı değerlerin maliyet fonksiyonuna etkisi Manhattan uzaklığı yöntemine göre daha fazladır.

$$h(n) = D_x(| mdX - hdX | + | mdY - hdY |) \quad (4)$$

$$h(n) = D_x\sqrt{(mdX - hdX)^2 + (mdY - hdY)^2} \quad (5)$$

h(n) : Sezgisel Maliyet Fonksiyonu
D : Komşu Düğüme Gitme Asgari Gerçek Maliyet
mdX,mdY : Mevcut Düğümün X ve Y Koordinatları
hdX,hdY : Hedef Düğümün X ve Y Koordinatları

Diagonal Uzaklığı Yöntemi'nde sezgisel maliyeti hesaplama işlemi diğer metotlardan (Manhattan ve Euclidean) farklı bir şekilde gerçekleşmektedir. Toplam Sezgisel maliyet, düz ve çapraz geçişler için ayrı ayrı hesap edildikten sonra elde edilir. Düz ve çapraz geçiş sezgisel fonksiyon sonuçları, komşu düğüme gitme asgari gerçek maliyeti ile çarpılarak toplam sezgisel maliyet elde edilmiş olur. Komşu düğüme geçiş asgari gerçek maliyeti, düz (D_1) ve çapraz (D_2) geçişlerde farklı olabilmektedir. Ayrıca bu yöntemde aritmetik işlem yoğunluğunun fazla olması sebebiyle, işlem zamanı maliyeti de yüksek olmaktadır.

$$h_{Düz}(n) = (|\, mdX - hdX \,| + |\, mdY - hdY \,|) \tag{6}$$

$$h_{Çap}(n) = min((|\, mdX - hdX \,|),(|\, mdY - hdY \,|)) \tag{7}$$

$$h(n) = (D_2 \times h_{Çap}(n)) + D_1 \times (h_{Düz}(n) - 2 \times h_{Çap}(n)) \tag{8}$$

h(n)	: Sezgisel Maliyet Fonksiyonu
$h_{Düz}(n)$, $h_{Çap}(n)$	: Düz ve Çapraz Geçişlerde Sezgisel Maliyet Fonksiyonu
D_1, D_2	: Düz ve Çapraz Geçişlerde Asgari Gerçek Maliyet
mdX,mdY	: Mevcut Düğümün X ve Y Koordinatları
hdX,hdY	: Hedef Düğümün X ve Y Koordinatları

3.2. Dijkstra algoritması

Dijkstra En Kısa Yol Algoritması, Edsger Wybe Dijkstra tarafından geliştirilmiştir. [9] Ağırlıklı ve yönlü çizgelerde kullanılan Dijkstra algoritması, seçilen bir başlangıç noktasına (düğüme) göre en kısa yolu bulmaktadır. Dijkstra algoritmasında, gidilecek bir sonraki düğüm, Greedy yaklaşımı kullanılarak tespit edilmektedir.

Dijkstra algoritması, başlangıç düğümünden hedef düğüme en kısa yol ağacını oluşturacak şekilde çalışır. Algoritmanın çalışması esnasında gidilen her bir düğümün başlangıç düğümüne olan uzaklığı hesap edilir. Söz konusu düğümlerden en yakın olan düğüm işaretlenir ve bir sonraki düğüme geçilir. Böylece en kısa yol ağacı oluşturularak hedef düğüme kadar ilerlenir. Algoritmanın çalışması sona erdiğinde elde edilen ağaç, kaynak düğüm ile hedef düğüm arasındaki en kısa yolu içermektedir. Dijkstra algoritmasının karmaşıklığı $O(n^2)$'dir [10].

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Geliştirilen benzetimde yer alan coğrafi ortam ve harp unsurları üzerinde tecrübî testler yapılmış ve algoritmaların en kısa rotayı bulma performansları gözlenmiştir.

Analizi yapılan Senaryo-I'de, seçilen temas ile gitmesi istenilen hedef nokta arasında herhangi bir engel yoktur (coğrafi engel ve kısıtlar hariç) ve hedef noktanın başlangıç noktasına olan mesafesi kısadır. Analiz çalışması sonucunda, A* algoritmasının en uygun rotayı hesaplama ortalama süresi, Dijkstra algoritmasına göre daha az çıkmıştır. A* algoritmasında kullanılan sezgisel fonksiyon sebebiyle, daha az düğüm incelendiğinden, bu sonucun çıktığı değerlendirilmektedir. (Çizelge 1) Bulunulan nokta ile hedef nokta arasında çeşitli engellerin yer aldığı Senaryo-II'de, seçilen unsura, orta uzaklıkta bir hedefe gitme emri verilmiştir. Engel sayısının arttığı bu senaryoda, A* algoritmalarının başarısının Senaryo-I'e göre azaldığı ve Manhattan yönteminin hesaplama süresinin Senaryo-I'de de olduğu gibi diğer yöntemlere göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Senaryo Sonuçları

Algoritmalar		Senaryo-I					Senaryo-II					Senaryo-III				
		TD	İD	ES	S	RU	TD	İD	ES	S	RU	TD	İD	ES	S	RU
A*	Manhattan	23353	232	0	16	30	23353	504	12	22	62	23353	708	27	34	90
	Euclidean	23353	1176	0	29	30	23353	7939	12	205	62	23353	16519	27	497	90
	Diagonal	23353	904	0	24	30	23353	6241	12	103	62	23353	12916	27	225	90
Dijkstra		23353	23353	0	135	30	23353	23353	12	112	62	23353	23353	27	176	90

TD : Toplam Düğüm Sayısı (adet) *İD* :İncelenen Düğüm Sayısı (adet)
S : Rotanın Ort. Hesap Süresi (ms) *RU* :Hesaplanan Rota Uzunluğu (düğüm)
ES : Engel Sayısı (harp sahasındaki diğer harp unsurlarının adedi)

Son incelenen senaryo olan Senaryo-III'te, başlangıç noktası ile hedef nokta arasındaki mesafe uzun ve rota boyunca birçok engel bulunmaktadır. Bu analiz neticesinde, A* algoritmasının performansında gözle görülür bir düşüş meydana gelmiştir. Bu performans düşüşünün asıl sebebinin engelle karşılaşan algoritmanın, engelin etrafındaki düğümlerde zaman kaybetmesi olduğu değerlendirilmektedir. Dijkstra algoritması, Senaryo-III'te diğerlerine göre (Manhattan yöntemini kullanan A* algoritması hariç) daha iyi bir başarım sergilemiştir.

A* algoritmasında, Manhattan yöntemi rota hesaplama zamanı ve taranan düğüm sayısı açısından diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Euclidean ve Diagonal yöntemlerindeki matematiksel işlemlerin Manhattan yönteminden daha fazla oluşunun bu sonuca önemli bir etkisi bulunmaktadır.

4.2. Öneriler

Bu çalışmada bir harp oyunu benzetimi için en kritik problemlerden biri olan en kısa rotanın bulunması meselesi ele alınmıştır. Bu kapsamda A* ve Dijkstra algoritmalarının performansları bir Deniz Taktik Harp Oyunu Benzetimi üzerinde koşularak karşılaştırılmıştır. İncelemelerde, A* algoritmasının az engelli ve kısa mesafeli hedeflerde, hesaplamalarını daha kısa sürede ve yüksek başarı ile yaptığı; ancak engel sayısı ve mesafe arttıkça, performansında ve rota doğruluğunda azalma olduğu görülmüştür. Dijkstra algoritmasında, sahadaki tüm parametrelerin göz önüne alınarak hesaplama yapılması nedeniyle, engel sayısı ve mesafe az dahi olsa, hesap süresi A*'a nispeten uzun sürmüş; fakat algoritmanın doğruluğu (en kısa yolu tespiti) her defasında yüksek olarak gerçekleşmiştir.

Ayrıca, senaryoların sonuçları neticesinde en uzun rota hesaplama süresinin 1 saniyenin altında olduğu görülmüştür. Hakiki harp sahasında hiçbir unsur (gemi vs.) komutanının rotasını bundan daha kısa sürelerde yeniden hesaplayamayacağı göz önünde bulundurulduğunda, aslında zaman mefhumunun önemli bir sorun teşkil etmediği görülecektir. Bu durumda, süredeki mutlak artış göz ardı edilip, sürenin nispi önemsizliği karşısında doğru rotanın tespitinin önem kazandığı, dolayısıyla da benzetimlerde Dijkstra algoritmasının kullanılmasının uygun olacağı kulağa daha mantıklı gelebilir. Fakat tıpkı hiçbir gemi komutanının 1 saniyenin altındaki sürelerde yeniden rota hesaplamasının mümkün olmaması gibi, yine hiçbir komutanın harp sahnesinin tamamı hakkında bilgi sahibi olması da beklenemez. Dolayısıyla burada asıl önem vermemiz gereken husus, zaman ve en kısa rota performansı değil, simülasyonun benzetilen gerçek harp ortamına ait sadakat seviyesidir.

Bir yüzer birlik, sahip olduğu sensörlerinin menzili içerisindeki temaslar (yer şekilleri, dost-düşman unsurlar vs.) hakkında tam bir bilgiye sahip olabilmesine karşın, menzili dışında kalan uzak sahalardaki bilgiye çeşitli yöntemlerle (uydu, link sistemleri vs.) kısmi olarak sahiptir. Harp oyunu benzetimlerinde gerçekçilik çok önemli bir parametredir ve gerçek bir harp sahnesindeki bir birliğin, çevresindeki tüm unsurları bilmesi fiili olarak mümkün değildir. Dolayısıyla her şeyi bilen bir dost veya düşman, gerçekçi bir benzetimde olamayacaktır. Bu bağlamda, yol bulma algoritmalarının da ilerledikçe çevresi hakkında sürekli yeni bilgi elde eden ve anlık karar veren insani özelliklere sahip olması daha uygun olacaktır. Bu bağlamda, her ne kadar yüksek performanslar (en kısa yol garantisi) sağlasalar da, harp unsurlarının benzetiminde, sezgisel olmayan yol bulma algoritmalarının kullanılmasının benzetimin gerçekçiliğini kaybetmesine yol açacağı değerlendirilmektedir. Gerçek ortamlarda bütün düğümlerin bilinmesi mümkün olmaması nedeniyle; benzetimlerde sezgisel algoritmaların düğümler hakkındaki bilgisi ilerledikçe sürekli olarak güncellenen ve ilgi-bilgi sahalarından meydana gelen kısıtlı bir alan içerisinde uygulanması, benzetimi daha gerçekçi

kılacaktır. Bu çalışmada sezgisel A* algoritması tekrarlamalı olarak kullanılmış ve gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir.

Ülkelerin savunma ihtiyacı olduğu sürece, harp teknolojileri sürekli gelişecek ve bu teknolojilerle üretilen silah ve araçların eğitimi için harcanacak meblağlar artacaktır. Bu nedenle, savunma bütçelerinin en verimli şekilde kullanımına yardımcı olan ve askeri personel için eğitim ortamı sağlayan harp oyunu benzetimleri, yeni teknoloji ve ihtiyaçlara göre gelişecek ve üzerinde birçok bilimsel araştırmanın yapılacağı verimli sahalar olmaya devam edeceklerdir.

5. KAYNAKÇA

[1] Russell, S., Norvig, P. (1995). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 119, New Jersey: Prentice Hall.

[2] NATO Military Symbols for Land Based Systems APP-6A (1998), 2.

[3] Department of Defense Interface Standard (2007), Common Warfighting Symbology (MIL-STD-2525B) , w/Change 2 , xi,43.

[4] Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., A Formal Basis For The Heuristic Determination Of Minimum Cost Paths, *IEEE Transactions on System Science and Cybernetics*, 4, 100-107, 1968.

[5] Stentz, A., Optimal and Efficient Path Planning for Partially-Known Environments. In Proceedings of ICRA. 1994, 3310-3317.

[6] Koenig, S. and Likhachev, M., D* Lite. *In Proceedings of the AAAI Conference of Artificial Intelligence (AAAI)*, 476-483, 2002.

[7] Stentz, A., The Focussed D* Algorithm for Real-Time Replanning, *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*, August, 1995.

[8] Demyen, D. and Buro, M., Efficient Triangulation-Based Pathfinding. *Proceedings of the AAAI conference*, Boston 2006, pp.942-947

[9] Dijkstra, E. W., A Note on Two Problems in Connection With Graphs. Numerische Mathematik, 1, 1959, page 269--271.

[10] Selçuk, F., Yurtay, N., Yumuşak, N. (2005) Ayrık İşlemsel Yapılar, Sakarya Kitabevi, 75., Adapazarı.

[11] Brackeen, D., Developing Games in Java, Basics of the A* Algorithm (2003), New Riders Publishing.

DENİZ HARP OYUNU SİSTEMİ VE KAZANIMLAR

Orkun Zorba [(a)], Murat Atun [(b)], Abdülkadir Can [(c)]

[(a, b, c)] Meteksan Savunma Sanayi A.Ş.

Simülasyon Sistemleri Grubu, Beytepe Köyü No.3 Bilkent, 06800 Ankara

{ozorba, matun, acan}@meteksan.com

ÖZ

Deniz Harp Oyunu Sistemi, yapısal simülasyonlar alanında geliştirilmiş, yazılım tabanlı stratejik/operasyonel seviye bir simülasyon sistemidir. Sistem Türk Deniz Kuvvetleri için geliştirilmiş olup, dünyada benzer ürünler incelendiğinde eş değerlerine göre ilave yetenekleri ve kullanım avantajları olduğu değerlendirilmektedir. Bu bildiride Deniz Harp Oyunu Sistemi'nin genel yeteneklerinden ve kullanım özelliklerinden bahsedilmekte, projenin geliştirilmesi sürecinde yaşanılan tecrübeler ve edinilen kazanımlar anlatılmaktadır. Projenin devamında, teknolojik gelişmelere paralel olarak eklenebilecek yetenekler ve güncellemeler için bir yol haritası çıkarılmaktadır.

Deniz Harp Oyunu Sistemi etkileşimli, çok taraflı, çok çözünürlüklü bir simülasyon çözümü olup, deniz harp ortamıyla birlikte içinde hava ve kara harbi için de temel bileşenleri barındırmaktadır. Jenerik altyapısı sayesinde sisteme işletim zamanında yeni model ve davranışlar eklenmesi mümkündür. Deniz Harp Oyunu Sistemi bu jenerik altyapı ile birlikte çok sayıda farklı tipte harp nevilerini desteklemesi, sahip olduğu yoğun, entegre veri kümeleri, yapay zekâ altyapısı ve farklı servis, araç ve editörlerle komple bir yazılım sistem çözümü sunması nedeniyle dünyadaki benzer örneklerine göre avantajlar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deniz harp oyunu, jenerik simülasyon altyapısı, stratejik/operasyonel seviye kullanım, yapısal simülasyon.

NAVAL WARGAME SYSTEM AND ACQUISITIONS

ABSTRACT

Naval Wargame System is a software-based strategic/operational level constructive simulation system. It has been developed for the Turkish Naval Forces, when compared with the resembling systems, it is considered to have additional abilities and advantages. This paper will focus on overall abilities of Naval Wargame System and its usage along

with the experiences and lessons learned in project development phase. The paper will also present a road map for follow-up project capability increments according to the technological development.

Naval Wargame System is an interactive, multi-force, multi-resolution simulation solution and it contains basic elements of land and air forces along with naval elements. Its generic infrastructure provides the ability to add new parameters and behaviors to models after deployment.

Naval Wargame System distinguishes from its resembling systems with its generic infrastructure, amount of supported warfare types, artificial intelligence support substructure, its intensive and integrated data and supportive tools and editors.

Keywords: Constructive simulation, generic simulation infrastructure, naval wargame simulation, strategic and operational level.

1. GİRİŞ

Dünyada, harp oyunu kullanımı amacıyla geliştirilmiş çok sayıda askeri ve ticari simülasyon ve oyun uygulaması mevcuttur. Ticari uygulamalar, çoğunlukla konunun oyun ve eğlence boyutuyla ilgilenir. Askeri uygulamalarda ise sahip olunan imkân ve kabiliyetlerle ilgili değerlendirmeler yapabilmek, farklı strateji ve taktikler deneyebilmek ve tatbikatlar gibi yüksek maliyetli faaliyetleri destekleyici bir unsur olarak, nispeten düşük maliyetli çözümlerden yararlanabilmek hedeflenir.

Bu uygulamalardaki temel başarım kriterleri, modellenen sistem ve verilerin gerçek dünya sistem ve verilerine yakınsama miktarları ve sağladıkları kullanım kolaylıklarıdır. Askeri kullanım sahasında kullanım amaçlarına bağlı olarak, çok farklı içerikte çözümler sunulabilmekte; bunların bazıları hedeflerine ulaşırken, bazıları kullanıcı beklentilerini karşılamaktan uzak olabilmektedir. Bu çözümler içinde; kara, hava ve deniz harp uygulamasına özel detay seviye modelleri barındıran çözümlerle birlikte, daha üst seviyelerde müşterek kullanıma yönelik tekil çözümler ve entegre kullanım örneklerine de rastlanabilmektedir. Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS), deniz harp simülasyonu alanında sağladığı detay ve çeşitlilik ile kara ve hava harbi için sahip olduğu altyapılar sayesinde, dünyadaki benzer örnekleri arasında önemli bir yere sahip olmaya adaydır.

2. DEHOS'UN TEMEL ÖZELLİKLERİ

DEHOS, Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) yönetiminde, TÜBİTAK 1007 programı desteği ile Meteksan Savunma tarafından millî imkânlarla geliştirilmiş ve Deniz Kuvvetleri Komutanlığı (Dz.K.K.lığı) kullanımına sunulmuş yapısal bir simülasyon

ürünüdür. Kullanıcının bilgisayar destekli harp oyunu ihtiyaçlarını karşılamak üzere; muharip unsurların, envanterdeki tüm platform, silah ve sensörleri kullanarak görevlerini icra etmelerine; mevcut planları denemelerine ve konsept platform ve sistemlerin etkinliklerini değerlendirmelerine olanak sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

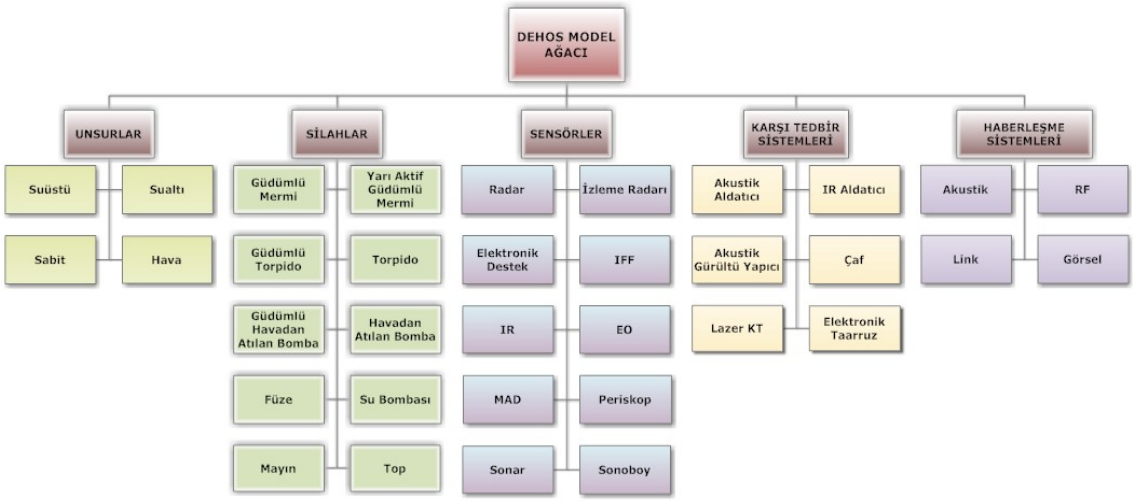
2.1. Harp nevileri

DEHOS'ta; konuşlanma, intikal, keşif / gözetleme, karakol, tespit / teşhis / tanıma gibi temel fonksiyonların yanı sıra su üstü harbi, denizaltı harbi, denizaltı savunma harbi ve hava savunma harbi gibi temel harp nevilerinin oynanabilmesine olanak sağlanmaktadır. Bununla birlikte; mayın harbi, elektronik harp, lojistik harekât ve geliştirilme çalışmaları devam eden amfibi harekât ve Kimyasal Biyolojik Radyolojik ve Nükleer (KBRN) harbi gibi ilâve yetenekler, DEHOS'a bir bütünlük kazandırmakta; sahip olduğu bu geniş kullanım özellikleri ile sistemi dünyadaki benzerlerinden farklı kılmaktadır.

2.2. Modelleme yaklaşımı

DEHOS projesi kapsamında 34 farklı model gerçekleştirimi yapılmıştır. Modellemeler için öncelikli ihtiyaç tabanlı kavramsal modellemeler gerçekleştirilmiş olup sonrasında modellerin çalışma detaylarını ve etkileşimlerini içeren Kavramsal Model Dokümanı üretilmiştir. Kavramsal modellemede Kavramsal Modelleme Aracı (KAMA) notasyonu kullanılmıştır [1]. Bu konudaki proje kapsamındaki çalışmaları 2008 Fall SIW konferansında sunulmuştur [2].

DEHOS kapsamında sadece Deniz Kuvvetlerinin bağlısı unsurlar değil, dost ve muhasım kuvvetlerin sahip oldukları hava ve kara birimleri ve bu birimlerin sahip oldukları sensör, silah, muhabere ve karşı tedbir bileşenleri de modellenmiştir. DEHOS model ağacı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. DEHOS Model Ağacı

Yapılan modelleme çalışmaları sırasında her bir bileşenin alt model seviyeleri belirlenmiş ve modelleme o seviyede yapılmıştır. Örneğin radar modellemesinde; tespit modeli (MTI, LPI, sektör arama, Elektronik Taarruzdan etkilenme, ortam şartlarından etkilenme, oluk etkisi [3] gibi alt yetenekler ile), hasar/arıza/onarım modeli gibi alt modeller kullanılmıştır.

2.3. Simülasyon altyapı yaklaşımı

Modellemeden bağımsız simülasyon altyapısı, simülasyonların sağlamlığına büyük katkı sağlamaktadır. Modelleme detaylarının simülasyon altyapısına/etkileşimlere etkisi olmadan geliştirilmesini sağlamak hem hızlı prototipler çıkarmak için hem de müşteri ile üretilen model çıktılarını projelerin erken fazlarında değerlendirme imkânı sağlaması açısından da önemlidir. Bu nedenle DEHOS projesinde altyapı çalışmaları paralel fakat bağımsız yürütülmüş ve ilk olarak altyapı geliştirilmesi çalışmalarına öncelik verilmiştir [4]. Jenerik altyapı, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.

Şekil 2. Jenerik Modelleme Altyapısı (Özet)

Sisteme dâhil olan bütün modeller ve modelleri yönetmek/incelemek için gereken kullanıcı arayüzleri sisteme eklenti olarak dâhil edilmektedir. Bütün haberleşme, kayıtlanma, kayıt, işletim mekanizmaları altyapı tarafından yönetilmektedir.

DEHOS kapsamında bütün model parametreleri ve etkileşimleri tanımlamak için XML tabanlı bir dil geliştirilmiştir. Bu dil koşum zamanında model işletim altyapısı tarafından yorumlanarak model davranışlarını tetiklemede ve model tarafından iletilen etkileşimleri ilgili modellere ve kullanıcı arayüzlerine otomatik olarak aktarmaktadır.

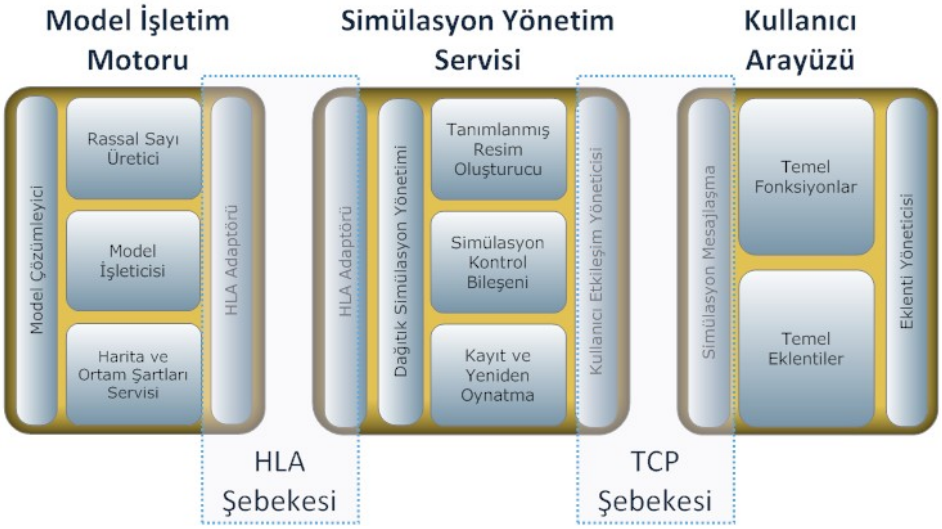
```
<event id="EXPLOSION" type="EXPLOSION">
   <parameterRef id="sender" paramId="ID" />
   <parameterRef id="explosionLocation"
            paramId="calculatedPosition" />
   <parameterRef id="weightOfExplosive"
            paramId="weightOfExplosive" />
</event>

<intParameter id="startExplosion" value="0"
         onValueIncreased="EXPLOSION"/>
```

Şekil 3. Model Tanımlama Dili Örneği

Şekil 3'te DEHOS modellemesinde kullanılan örnek bir olayın model tanımlama dili ile tanımlanması ve bu olayın parametre artışına bağlanması görülmektedir.

"startExplosion" parametresi arttırıldığında Model İşletim Mekanizması, modelin "calculatedPosition" ve "weightOfExplosive" parametre değerlerini okuyarak, "EXPLOSION" olayını otomatik olarak yaratır ve bu olayı tüm modellerin işlemesi için dağıtır. Benzer şekilde bu olayı alan mesajların davranışları yine model tanımlama dili ile diğer modellere işlenmelidir.

Şekil 4'te jenerik simülasyon altyapısının temel alt bileşenleri yer almaktadır.



Şekil 4. Jenerik Modelleme Altyapısı (Detay)

DEHOS kapsamında her bir arayüz eklentisi bağımsız olarak geliştirilmiş olup jenerik simülasyon altyapısına takılmıştır. Bütün eklentiler, tanımlı bir yazılım arayüzünü gerçekleştirmekte ve diğer eklentileri ile haberleşmeleri XML tabanlı dosyalarda tanımlı konfigürasyonlara göre sağlanmaktadır. Bu sayede jenerik altyapıya yeni eklentiler ile yeni fonksiyonlar eklenmesi mümkün olmaktadır.

2.4. Servis yaklaşımı

DEHOS kapsamında simülasyon altyapısını desteklemek amacı ile kullanılacak bileşenler için servis mimarisi benimsenmiştir. Bu kapsamda simülasyon akışında karar verici olmayan bütün bileşenler ayrı tutulmuş ve bütün bu bileşenler servis mantığı ile bağımsız bileşenler olarak tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu servisler; veritabanı servisi, harita servisi, ortam şartları servisi, kayıt ve raporlama servisi olarak ifade edilebilir.

2.5. Sunum yaklaşımı

Sunum bileşenleri; kullanıcıların simülasyon detaylarına hızlı ve kolay erişimini, bütünleşik izlemesini ve kolay müdahalesini sağlamalıdır. Simülasyon sistemi ne kadar kapsamlı olursa olsun, kullanıcılar sistemi kolaylıkla kullanabilmelidir. Bu nedenle Meteksan Savunma çok seviyeli ve çok perspektifli gösterim mekanizmasını benimsemiştir. Çok seviyeli yaklaşımın esası; sistemin ürettiği kritik ve özet bilgilerin

kullanıcının yetki seviyesine göre özet olarak sunulmasını ve kullanıcının incelemek isteği detaylara erişimi de sağlamaktır. Çok perspektifli yaklaşım ise verilerin farklı inceleme esaslarına göre farklı şekillerde gösterilmesidir.

DEHOS projesinde geliştirilen kullanıcı arayüzleri bu sistem ile hazırlanmış ve kullanıcıların hem sistem genelini izleyebilmesine hem de en alt detayda model parametrelerini izlenebilmesine olanak sağlanmıştır. Aynı zamanda hazırlanan görsel bileşenler ile kritik bilgilerin sembolik gösterimleri sağlanmış ve tanımlanmış resim gibi bileşenlerin hem listeler üzerinde hem de iki boyutlu harita üzerinde gösterimi ile farklı perspektifler sunulmuştur.

2.6. Sistem kapasitesi

DEHOS mevcut hali ile 500 adet unsur (yüzer, dalar vb.) modelini 1 saniyenin altında sürelerde işletebilmekte ve 100 eş zamanlı kullanıcıya servis verebilmektedir. 500 unsur modeline sahip oldukları alt unsurlar (sensör, silah, muhabere ve karşı tedbir sistemleri) da eklendiğinde toplamda 10.000'den fazla model her simülasyon zaman adımında işlenmektedir.

2.7. Yapay zekâ altyapısı

Model İşletim altyapısı LUA betiklerini çalıştırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede modellere LUA dili ile parametreleri kullanarak koşum zamanında davranış güncellenebilecek bir altyapı kazandırılmıştır.

2.8. DEHOS veri kümeleri

DEHOS, detaylı modellemesinin gerektirdiği yoğun bir veri kümesine sahiptir. Bu veri kümesi; bütün baz modellerin model tanımlama dili ile tanımlanmış hallerini, sistem bünyesinde bulunan farklı binden fazla envanter modelini (örn. 238 radar, 68 sonar envanteri vb.), sistem bünyesinde yer alan veya kullanıcı tarafından Jenerik Harita Editörü ile yaratılan harita verilerini, ortam şartları servisinin sunduğu 40'a yakın tüm dünya orta şartı verilerini, debrifing amacı ile saklanan bütün koşum parametrelerini/olaylarını, koşumlar sırasında üretilen unsur/kullanıcı bazlı taktik resim kayıtlarını ve raporlama amaçlı olarak üretilen rapor kayıtlarını içermektedir.

2.9. Benzer sistemler ile karşılaştırma

JTLS (Joint Theater Level Simulation) bilgisayar destekli, çok taraflı, çok kullanıcılı ve stratejik seviye bir simülasyon sistemidir. Rolands & Associates (R&A) firması tarafından 1983'den bu yana geliştirilmesi devam etmektedir. Müşterek harekâtı destekleyen sistem, kara, hava, deniz unsurlarını ve bu unsurların lojistik, istihbarat, muharebe ve intikallerini modellemektedir. Ayrıca operasyonel planların hazırlanmasını ve analizini sağlamaktadır.

Açık kaynaklardan edinilen bilgilere göre JTLS sistemi, kara, hava unsurları ve bu unsurların gerçekleştirebileceği operasyonlar bakımından zengin olmasına karşılık deniz unsurları ve operasyonları bakımından nispeten kuvvetli değildir.

JTLS, altıgenlerden oluşan bir harita alt yapısı ile çalışır. Bir altıgenin iki kenar arası uzunluğu 7,5 km ile 16,5 km olabilmektedir. Arazi tipi, yükseklik ve derinlik altıgen alanında; engeller ve nehirler altıgen kenarlarında tanımlanabilmektedir. Arazi tipi (terrain type) deniz, ormanlık arazi, dağlık arazi veya açık arazi olarak seçilebilir. JTLS'te kenar tiplerinin renklerle gösterilme durumu: sahil, nehir, ulaşıma elverişli nehir, sarı ortası kırmızı; geçilemez yol şeklindedir. DEHOS'ta ayarlanabilir olmakla beraber çözünürlük varsayılan olarak 90 metre'dir. Bu da deniz harbinin detaylı bir şekilde oynanabilmesini sağlar. Harita çözünürlüğü gibi modellerin sadakat düzeyleri DEHOS ile kıyaslandığında oldukça düşüktür.

JTLS dışında, dünyada benzer amaçlar için geliştirilmiş farklı çözümler mevcuttur. Bu çözümlerle karşılaştırıldığında, DEHOS'un harp nevilerinin çeşitliliği, jenerik altyapısı ve entegre yoğun veri miktarı açılarından avantajları olduğu değerlendirilmektedir.

3. KAZANIMLAR

DEHOS projesi kapsamında stratejik ve operasyonel harp oyunları hakkında ve Deniz Kuvvetleri sorumluluk alanlarında kurumumuzda ciddi bir alan bilgisi oluşmuştur. Bunun yanı sıra Deniz kuvvetlerimizin ve diğer dost ve muhasım kuvvetlerin sahip olduğu sistemlerin çalışma prensipleri ve harekâta etkileri konuları ise diğer önemli bir kazanımımızdır.

Teknik olarak bakıldığında DEHOS ile, benzer sistem ve projelerde de kullanılmak üzere, hazır bir altyapı sağlanmıştır. Doğaldır ki mevcut altyapı, tüm gelecek sistem ve projelerin ihtiyacını mevcut hali ile karşılayamayacaktır, ancak bu altyapı yeni teknolojilere ve yeni yaklaşımlara uygun hale getirilecek şekilde sürekli geliştirilecek ve hazır tutulacaktır.

Bu proje kapsamında belki de en önemli kazanım; Türk Deniz Kuvvetlerinin bu alandaki ihtiyaçlarının anlaşılması ve bu ihtiyaçların özgün milli çözümler ile en üst düzeyde karşılamaya çalışılmasıdır.

4. ÖĞRENİLEN DERSLER

5 yıla yaklaşan DEHOS serüveninde pek çok sorunda aşılmıştır. Yaşanılan sorunlar ve önerilen çözümler kısaca özetlenecek olursa;

Sorun: Son kullanıcı, müşteri ve geliştirici arasında döngüler yavaş işlemektedir.

Öneri: Son kullanıcı ve diğer bütün paydaşlar ile yakın çalışma seçeneklerini araştırmak, müşteri geri beslemesini etkin kullanmak, hızlı prototipler ile paydaşların erken dönemde fikirlerini almak, müşteriyi proje döngüsü içine çekmek, proje sözleşmesine süreler için sınırlar koymak.

Sorun: Gereksinimler projenin son anına kadar değişebilmektedir.

Öneri: Şartname hazırlanma sürecinde teknik içerikten ziyade kapsama odaklanmak, sistem gereksinimlerini çerçeve şeklinde, yazılım gereksinimlerini ise içerik şeklinde geliştirmek, gereksinim yorumlarını erken dönemde almak, kritik tasarım aşamasını prototip ekranlar ile tamamlamak, Proje Yönetim Grubu'nda (PYG) konfigürasyon kontrol kurulu kurmak ve değişim isteğinin akıbetinin hızlı ve kesin karara bağlanmasını sağlamak.

Sorun: Kullanım kolaylığı, hızlı erişim gibi doğrulanması zor gereksinimler üzerinde müşteri ile uzlaşmak zor olmaktadır.

Öneri: Belirsiz gereksinimleri projenin erken aşamasında konuşmaya başlamak, kullanım kolaylığı vb. konularda müşteri beklentilerini karşılamak için daha çok çaba göstermek, hızlı prototipler ile paydaşların erken dönemde fikirleri almak.

Sorun: Kavramsal modelleme çalışmalarında alan uzmanlarının bilgi birikimleri kritik öneme sahiptir. Bu bilgi mutlaka alınmalı ve raporlanmalıdır. Ancak simülasyon sistemlerinde modelleme seviyeleri, farklı uzmanlık dallarında farklı bakış açılarındaki kişilerin katılımları neticesinde uyumsuzlaşabilmekte ve düzensiz arttırılan sadakat seviyeleri kullanım zorlukları ve sistem uyumsuzlukları yaratabilmektedir.

Çözüm: Alan uzmanlarından elde edilen verilerin sistem amacına uygun seviyede nasıl modelleneceğini detaylı raporlamak, hangi davranış ve parametrelerin sisteme dâhil edileceği veya edilmeyeceğini gerekçeleri ile PYG ile paylaşmak.

5. DEHOS GELİŞTİRME YOL HARİTASI

5.1. Kullanıcı eğitimi

DEHOS'un hedeflerine daha etkin ulaşması için kullanıcıların sistemi daha etkin kullanması şarttır. Bu amaçla DEHOS'un eğitim modunu geliştirmek gerekecektir. Eğitim modunda kullanıcıdan eğitim rolüne uygun olarak senaryolara cevap vermesi istenecek ve yapacağı aksiyonların doğruluğu konusunda bilgilendirilecektir. Örneğin; kullanıcıdan A unsurundan B unsuruna Time-On-Target (hedefte zaman) modunda 2 güdümlü mermi angajmanı yapması istenecek, kullanıcı davranışları yönlendirilerek kullanıcının doğru aksiyonları doğru sırasıyla yapması sağlanacaktır.

5.2. Teknoloji güncellemesi

DEHOS'un daha etkin kullanımı için yeni Windows tabanlı işletim sistemlerine adapte edilmesi sağlanacaktır. Bunun yanı sıra dokunmatik ve etkin kullanım için "Table-top" istemcilerin geliştirilmesi planlanmaktadır. DEHOS kapsamında kullanılan Rafta Hazır Ticari (RAHAT) ürünlerden Muhabere Sunucu açık kaynak sunucular ile değiştirilerek platform bağımlılığının ortadan kaldırılması planlanmaktadır. Aynı şekilde, Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA) Koşum-Zaman-Altyapısı (Run-Time-Infrastructure, RTI) değiştirilerek, milli bir RTI olan ve Meteksan Savunma tarafından geliştirilen, IEEE 1516 uyumlu Simba RTI'a [5] geçilmesi önerilmektedir.

5.3. Performans yükseltilmesi ve kullanım kolaylığı

DEHOS'un Dz.K.K.lığı ihtiyaçlarına uygun olarak mevcut unsur ve eş zamanlı kullanıcı sayılarının artırılması planlanmaktadır. Bir yandan performans artırım çalışmaları yaparken bir yandan da hem kullanıcı hem de unsur sayısı iki katına çıkan sistemin takip edilebilmesi ve yönetilebilmesini kolaylaştırma çalışmaları yapılmaya devam edilecektir. Farklı perspektifteki kullanıcılar için farklı bilgilerin, farklı şekilde sunulduğu ekranlar hazırlanarak kullanıcıların sistem ve oyun farkındalık seviyeleri yükseltilmeye çalışılacaktır. Hedef daha fazla unsurun ve kullanıcının daha kolay yönetildiği bir sistem yaratmaktır.

6. SONUÇ

DEHOS simülasyon dünyasında önemli bir adım olmuştur. Dünyada, literatürden ve açık kaynaklardan takip edildiği kadarıyla, DEHOS'un kapasitesine, model çeşitliliğine sahip bir sistem bulunmamaktadır. DEHOS stratejik ve operasyonel seviyede deniz harbi için geliştirilmiş bir sistem olmasına rağmen sahip olduğu jenerik modelleme altyapısı sayesinde taktik seviye simülasyonlar, diğer kuvvetlerin ihtiyaç duyduğu harp oyunları ve müşterek harp oyunlarının geliştirilmesi için bir basamak oluşturmaktadır.

7. KAYNAKÇA

[1] Karagöz, N.A., Demirörs, O., Gencel, Ç. ve Ündeğer Ç. (2006), Simülasyon Sistemlerinde Görev Uzayı Kavramsal Modeli Geliştirme: Bir Süreç Tanımı, *SAVTEK 2006*, Ankara.

[2] Karagöz, N.A., Zorba, H.O., Atun, M. ve Can, A. (2008), Developing Conceptual Models of the Mission Space (CMMS) – An Experience Report, *Fall SIW 2008*, ABD.

[3] Başbilen, M.K., Efe, M. ve Zorba, H.O. (2011), Modeling Evaporation Duct Effect In Radar Simulation, *2011 HMS*, İtalya.

[4] Can, A., Atun, M. ve Zorba, H.O. (2009), Advantages of a Generic Model Execution Framework in Simulation Systems, *Euro SIW 2009*, İstanbul.

[5] Özkaymak, S., Bekkine, A., Tuğaç, S. ve Zorba, H.O. (2011), Simülasyon Sistemleri İçin Milli Bir Birlikte Çalışabilirlik Altyapısı: SimBA, *USMOS 2011*, Ankara.

TRAFİK EĞİTİM SİMÜLATÖRLERİNDE YAPAY ZEKA ARAÇLARININ MODELLENMESİ

Hasan Gündüz AYDIN [(a)], Dr. Aydın OKUTANOĞLU[(b)]

[(a)] SİMSOFT, ODTÜ Teknokent SATGEB, hasan.aydin@simsoft.com.tr

[(b)] SİMSOFT, ODTÜ Teknokent SATGEB, aydin.okutanoglu@simsoft.com.tr

ÖZ

Trafik ortamının gerçekçi bir şekilde modellenmesi eğitim simülatörlerinde çok önemli bir konudur. Karmaşık bir trafik ortamı, yaratılan sanal dünyanın daha gerçekçi olmasını sağladığı gibi eğitim kalitesini de arttırmaktadır. Sanal trafik ortamında gerçekçi bir karmaşıklığın modellenmesinde temel güzergah takibi gibi basit işlemlerden çok daha karmaşık davranışların modellenmesi gerekmektedir. Trafikteki yapay zeka araçlarının sollama, en hızlı bir şekilde ilerleyebileceği uygun şeride geçme, yolcu indirip bindirme gibi temel karmaşık davranışların yanında, gerçek trafik ortamında sürekli olarak karşılaşılan tehlike durumlarının da modellenmesi gerekmektedir. Bu durumlar arasında yandaki aracın sıkıştırması ve hatalı sollama gibi durumlar da bulunabilmektedir.

Eşzamanlı Hiyerarşik Durum Makineleri yapay zeka modellenmesinde bilinen bir tekniktir. Gerçekçi bir trafik ortamının modellenmesinde bu makinelerin yapısı ve birleştirilme şekilleri çok önemlidir. Karmaşık hareket kabiliyetleri ve farklı sürücü davranışları, bu yapıların oluşturulmasında düşünülmesi gereken temel öğelerdir. Çalışmamız trafikteki sürücü davranışlarının modellenmesinde modüler, gerçekçi ve performanslı bir alt yapı oluşturmasıyla bu alandaki çalışmaları toplayıcı niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Eğitim Simülatörleri, Eşzamanlı Hiyerarşik Durum Makineleri, Sanal Gerçeklik, Sürücü Davranışları Modellemesi, Trafik Simülasyonu, Yapay Zeka

MODELLING TRAFFIC AGENTS IN VIRTUAL TRAINING SIMULATORS

ABSTRACT

Modelling the traffic is crucial to virtual simulations especially Traffic Training Simulators (TTS). Realistic traffic behaviour in the virtual environment enhances the reality and increase training quality. However basic road tracking of the self-controlled

traffic agents is not enough for a complex traffic and increased reality. Traffic agents should realize more realistic and diverse behaviours such as changing lane, overtaking, taking passengers. Moreover situations like crossing lane carelessly and misestimating overtaking are the usual dangerous cases of traffic environment of daily life. These should also be part of the modelling.

Hierarchical Concurrent State Machines (HCSM) is a one of the well-known techniques used for traffic behaviour modelling. Configuration and generation of HCSM for traffic domain is the key to the success of realistic modelling. The diverse traffic behaviours and driver behaviour modelling are the main requirements for the construction of the HCSM. This work constructs a framework for a more modular, realistic and performance efficient driver behaviour modelling by combining the best aspects of the works in the field.

Keywords: Artificial Intelligence, Driver Behaviour Modelling, Hierarchical Concurrent State Machines, Traffic Simulation, Training Simulators, Virtual Reality

1. GİRİŞ

Sanal gerçeklik simülasyonları genelde eğitim amaçlı kullanılmaktadır. Bu simülasyonlarda eğitim alan kişiler çeşitli şekilde etkileşimde bulunabildikleri sanal bir ortamda genellikle bir nesneyi kontrol ederler. Bu nesne trafik eğitim simülatörlerinde motorlu bir araçtır.

Trafik eğitim simülatörleri, eğitim amaçlı kullanılan sanal gerçeklik simülatörleri olup kullanıcıların sanal bir ortamda belirli bölgelerinde genelde gerçek araç donanımlarını kullanarak sürüş yapmaktadır. Bu sanal ortamda birçok çeşit araç ve insan kendi zekaları ile birbirleriyle etkileşimli olarak hareket etmektedir.

Eğitim simülasyonun amacına göre eğitim gören kullanıcı şehir içi, şehir dışı ve arazi koşulları gibi değişik trafik ortamlarında aracı kullanır ve bu sürüş esnasında eğitimin değerlendirilmesine yönelik bir çok değer toplanır. Trafik eğitimi simülatörlerinde bu değerler trafik kuralları ihlalleri, hatalı ve gereksiz gaz ve fren kullanımı gibi verilerdir.

Trafik eğitim simülatörlerinin amacından bağımsız olarak bu simülatörlerde gerçekçi bir trafik ortamının olması vazgeçilemez bir zorunluktur. Gerçekçi bir trafik ortamı sanal ortamda sürücü aracı ile etkileşimde bulunabilecek kendi zekaları ile karar verip bunu uygulayabilen diğer trafik araçlarının varlığı ile mümkün olmaktadır. Böyle yapay zeka araçları ile sürücü aracının aynı ortamda etkileşim halinde olması gerçekçiliği arttırır. Fakat bu gerçekçiliği belirleyen yapay zeka araçların varlığından çok davranışlarının kalitesidir. Bu araçların zekaları önceden belirlenmiş bir güzergah takibi gibi basit bir zeka da olabileceği gibi kendi kararlarını kendi verebilen ve sollama, kendi için en uygun şeride geçme, yolcu alıp, indirme gibi daha karmaşık davranışları

gerçekleştirebilecek bir zeka da olabilir. Davranışların karmaşıklığı ne kadar fazla ise zeka o kadar ileridir ve dolayısıyla gerçekçilik de o kadar fazladır.

Bunlara ek olarak aşırı saldırgan ve kontrolsüz, aşırı yavaş ve kontrollü gibi farklı sürücü davranışlarının da modellenmesi gerçekçiliğe katkı sağlayan bir etkendir. Sürücü tiplerinin arasındaki farklılıklar onların hızlanma, yavaşlama, trafik kurallarına uyma gibi eğilimlerinindeki farklıklardan meydana gelir. Bu farklıklar trafik ortamını tekdüzelikten çıkarır ve gerçekçi kılar.

Eşzamanlı Hiyerarşik Durum Makineleri (EHDM) [1] davranış modellemesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. EHDM'ler bir çeşit sonlu durum makineleridir.Sonlu durum makinelerinden farklı olarak birden fazla makine etkin durumda olabilir ve durum makineleri başka durum makinelerinin belli bir hiyerarşisinden oluşmuş olabilir. Her makinenin girdi ve çıktıları vardır ve bir makine etkin olduğunda girdilerini kullanarak görevine göre en uygun çıktıları üretir. Bu makine bu çıktıları üretirken alt makineleri kullanır. Çıktılar bu alt makinelerin çıktılarının işlenmesiyle oluşturulur.

Trafik ortamındaki yapay zeka araçlarının zekaları EHDM'ler ile gerçeklenmiştir. Her davranış farklı bir makineye karşılık gelir ve davranış değiştirme durumları makineler arasındaki geçişler ile sağlanır. Gerçekçi bir trafik için istenilen davranışların bu makinelere paylaştırılması ve bu makinelerin birbiri ile nasıl bir bağlantı içerisinde oldukları önemlidir.

2. BENZER ÇALIŞMALAR

IOWA Trafik Eğitim Simülatörü [2] (IDS) trafik güvenliği araştırmaları ve araç tasarımı gibi konularda kullanılan yüksek serbestlik derecesine sahip bir sürücü eğitim simülatörüdür. Sürücü sanal ortamda bir aracı kontrol eder. Bu sanal ortamda davranış modellenmesinde ve senaryo bazlı kontrol için EHDM'ler kullanılmıştır.

IDS simülatöründeki EHDM'lerin yapılandırılması çok alt seviyedir. Çalışmamızda trafik davranışları daha üst seviyeler şeklinde bölünmüş ve böylece daha az sayıda temel davranış makinenisi oluşturularak modelleme daha basitleştirilmiştir.

Sürücü davranış farklılıklarını da gözeten bir çalışma olan Patrick A.M.Ehlert ve Leon J.M.Rothkrantz'ın çalışmalarında [3] ise yapay zeka araçlarının zekaları olaylara reaktif olarak tepki vermesi üzerine çalışır. Araçlar anlık algılarıyla edindikleri bilgiler doğrultusunda davranış kümelerinden en uygun davranışı seçerler ve o davranışı uygularken her araç kendisine verilen farklı parametreleri kullanır. Bu parametrelerdeki farklılıklar aynı davranıştaki farklılıkları doğurur.

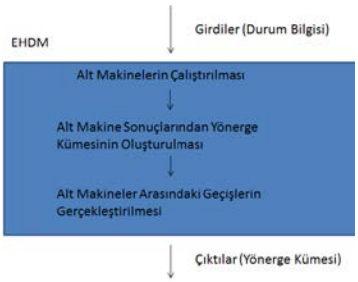
Çalışmamızdan farklı olarak zekanın çalıştırıldığı her seferde bütün davranışların uygunluğu kontrol edilir ve üretilen bütün durum değerlendirmeleri arasından biri seçilir. Bütün davranışların her zaman kontrol edilmesine gerek yoktur. Davranışların bir hiyerarşi içinde olması performansı arttıran bir yöntemdir.

Sürücü davranış modellemesinde karşılaşılabilecek durumların matematiksel olarak ayrıntılı incelemesine Tomer Toledo'nun [4] çalışmasında görebiliyoruz. Ancak gerçek zamanlı simülasyonlarda performans kaygılarından dolayı uzun ve karmaşık formüllerin karar alma süreçlerinde kullanılması risk arzetmektedir. Karar alma süreçlerinin bir iş akışı yardımıyla yapılması performans ve değerlendirme açısından daha uygundur. Bu iş akışlarının etkin bir şekilde kullanımı ise Peter Hidas'ın [5] çalışmasında görmekteyiz. Bizim çalışmamızda ise bu iki yöntemin sentezi mevcuttur. Karar alma durumunda anlık duruma göre iş akışı mantığıyla durum değerlendirilir ancak her aşamada kararı almayı etkileyen durumların da basit ama etkili formüller yardımıyla geçerliliği tespit edilir.

3. YAPAY ZEKA ARAÇLARININ ZEKA MODELİ

Simülasyon ortamında herbir yapay zeka aracı kendine ait davranış modeline sahiptir. Davranışlarına kendileri karar verir ve tamamen bağımsız hareket ederler. Her simülasyon adımında her araç kendi davranış modelini bir kere çalıştırır. Bu modele göre çevre şartları ve diğer araçların durumu algılanarak o anın durumuna en uygun olan karar alınır ve bu kararın gerçeklenebilmesine yönelik yönergeler oluşturulur. Bu yönergeler aracın fiziksel olarak simüle edilmesinde kullanılır.

Araçların davranış modelleri EHDM'ler kullanılarak yapılmıştır. Herhangi bir anda davranış modeli çalıştırıldığında, o an etkin olan EHDM çalıştırılır. Bir makinenin çalıştırılması ilk olarak o makinenin bütün alt makinelerinin çalıştırılması ile başlar. Bu aşamadan sonra alt makinelerin sahibi olan makine bu makinelerden aldığı sonuçları işleyerek üstlendiği davranışa yönelik yönerge kümesini oluşturur. Yönerge kümesi oluşturulduktan sonra bu makinenin alt makineleri arasındaki geçişler kontrol edilir. Eğer bu geçişlerden gerçekleşmesi gereken varsa bu geçişler etkin olan alt makinenin etkisiz hale getirilmesi ve etkisiz olan ve geçişin gösterdiği alt makinenin etkin hale getirilmesi yoluyla gerçekleştirilir. Şekil 1'de EHDM'lerin çalışma yapısı gösterilmiştir.



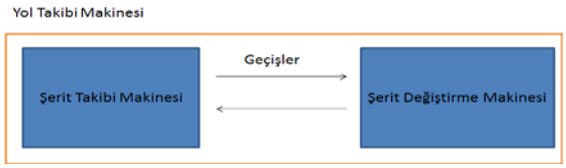
Şekil 1. EHDM çalışma yapısı

Davranış modelimizin yapısı temel olarak trafik davranışlarını gerçekleyen EHDM'lerin birbirlerine nasıl bağlandıkları ve hangi davranışı üstlendiklerine bağlıdır. EHDM hiyerarşisinde en tepe makine "Trafik Zekası Makinesi" olarak adlandırılır. Bu makine yapay zeka aracının bütün zekasını kapsayan bir makinedir. Bütün trafik davranışları bu

makinenin alt makineleri olarak düşünülmüştür. Bu makine girdi olarak trafik ortamıyla ilgili trafik ışığı, kurallar, kavşaklar gibi şartları ve diğer araçların durumlarını alır ve yönettiği araç için en uygun davranışa yönelik direksiyon hareketi, gaz/fren durumu gibi yönergeleri oluşturur.

3.1. Yol takibi makinesi

Yol takibi makinesi en temel makinedir. Aracın temel yol takibi ile ilgili davranışları yönetir. Bu makinenin Şekil 2 ’de görüldüğü gibi iki alt makinesi vardır.



Şekil 2. Yol takibi makinesi

Şerit Takibi Makinesi aracın bulunduğu şeridi takip edebilmesine yönelik yönergeler oluşturur. Genel olarak aracın direksiyon hareketi ile ilgili yönergeleri üretir. Şerit Değiştirme Makinesi ise aracın ihtiyaç halinde yan şeritleri geçişini yönetir.

İlk durumunda Şerit Takibi Makinesi etkin durumdadır. Yol Takibi Makinesi yönerge üretirken sadece bu makineyi kullanır. Yol takibi esnasında gerekli görülen durumlarda şerit değişikliği için Şerit Takibi Makinesi etkisiz hale getirilir ve Yol Takibi Makinesi Şerit Değiştirme Makinesi’ni kullanır. Şerit değişikliğine bu iki makine arasındaki geçişler kontrol edilirken karar verilir. Şerit Değiştirme Makinesi şerit değişikliği süresince görev yapar ve görevi bittiğinde benzer şekilde geçişler kontrol edilirken Şerit Değiştirme Makinesi’nden Şerit Takibi Makinesi’ne olan geçiş gerçekleştirilir.

Şerit değiştirmenin gerçekleşmesi için bazı koşulların sağlanması gerekmektedir. Şerit değiştirmek için gerekli temel koşullar: arkadan gelen aracın önünde yakın mesafe bir araç olması, aracın bu araçtan hızlı olması, aracın kendi hızını koruyabileceği yan şeridin olması, bu şeritte uygun boşluğun olması gibi sıralanabilir.

3.2. Trafik kuralları makinesi

Yapya zeka araçları trafik kurallarına uymak zorundadır. Trafik Kuralları Makinesi yapay zeka araçlarının çeşitli trafik kurallarına uymasını sağlayacak yönerge kümesi üretir. Bu makinenin alt makineleri yoktur.

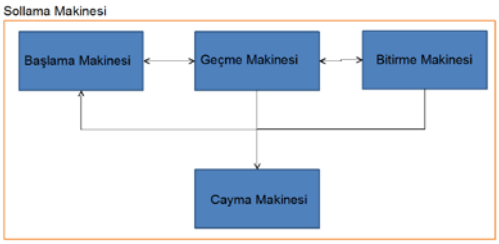
Kural	Açıklama
Trafik Işık Kuralı	Kırmızı ışıkta durmalı
Hız Sınırı İhlali	Hız sınırlarına uymalı
Takip Mesafesi Kuralı	Öndeki araçları takip mesafesine uymalı
Geçiş Üstünlüğü Kuralı	Kontrolsüz kavşaklarda geçiş üstünlüklerine uymalı

Tablo 3. Araçların uyması istenen bazı trafik kuralları

Bu makinenin çalışması sırasında her kural için ayrı bir yönergeler kümesi üretilir. Örneğin araç trafik ışığı kuralı için üretilen yönergelere uyarsa ışığa gelmeden durur. Birden çok olan bu kümeler tek bir küme olacak şekilde birleştirilmelidirler. Bu makinede bu birleştirme en büyük ivmelenmeye göre yapılır. Bu çözümün arkasındaki mantık ise aracın kurallar mutlaka uyacak olmasıdır. Eğer bir kurala uymak diğer bir kurala göre daha büyük bir ivmelenme gerektiriyorsa bu ivmelenmeyi oluşturan yönergeler diğerlerni ezer. Örnek vermek gerekirse trafik ışığında durmuş ve ışığı bekleyen bir araç olsun. Diğer bir araç trafik ışığına yaklaşırken trafik ışık kuralı bu aracı ışığın hemen dibinde durduracak yönergeler üretirken takip mesafesi kuralı aracın diğer aracın arkasında durduracak yönergeler üretir. Aracı öndeki aracın arkasında durdurmak için gereken ivmelenme ışıkta durdurmak için gerekenden daha büyük olduğu için araç daha büyük ivmelenmeyi seçmelidir.

3.3. Sollama makinesi

Sollama yol takibi ve şerit değiştirmeye göre daha karmaşık bir davranıştır. Sollama makinesi sollama davranışını daha basit alt davranışlara bölerek ve her bir davranışı gerçekleştirecek alt makineler kullanarak çözer. Herhangi bir simülasyon adımında bu makinelerden biri etkindir ve sollama davranışını o makine yönetir.



Şekil 3. Sollama makinesi'nin yapısı

Yol Takibi Makinesi'ni kullanarak şeridini takip eden bir araç sollam ihtiyacı duyabilir. Gerekli sollama koşulları sağlanırsa Yol Takibi Makinesi etkisiz hale getirilir ve Sollama Makinesi etkin olarak aracın davranışı bu makine yönetir. Sollama koşulları şerit değiştirme koşullarına benzerdir. Aracın önünde yakın mesafede yavaş bir aracın olması ve sollama yapılacak şeridin uygun olmasıdır. Sollama makinesi dört alt makineye sahiptir. Sollamaya karar verildiğine ilk çalışan makine Başlama Makinesi'dir. Bu makine aracın sollama yapılacak şeride geçmesini yönetir. Sollama şeridine geçtikten sonra Geçme Makinesi çalışır. Bu makine sollanacak aracı geçene kadar aracı yönetir. Daha sonra ise sollamanın sonlandırılmasından sorumlu Bitirme Makinesi görev yapar. Bu makinelerden herhangi biri çalışırken yani sollama yapılırken sollama dan vazgeçilmesi gereken bir durum söz konusu olduğunda ise Cayma Makinesi görev yapararak aracı kendi şeride sokar.

Burada şu önemlidir ki Sollama Makinesi'nin alt makineleri aslında birer Şerit Değiştirme Makinesi'dir. Sollama davranışı alt şerit değiştirme davranışlarına bölünerek gerçekleştirilen bir davranış olarak düşünülebilir.

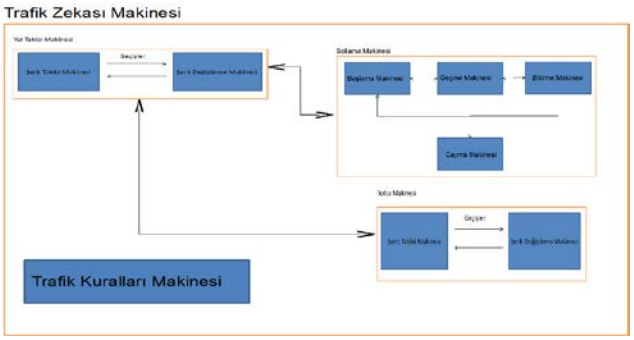
3.4. Yolcu makinesi

Sanal trafik ortamında taksi, otomobil, otobüs ve TIR gibi farklı tipte araçlar olabilir. Bu araçlar yol takibi ve sollama gibi temel ortak davranışlara sahip olmalarıyla birlikte otobüs ve taksi gibi araçların yolcu alma ve indirme gibi davranışlara sahip olmaları gerçekçiliği arttıran etmenlerdir. Yolcu Makinesi de bu görevi yapan makinedir.

Yolcu Makinesi aslında Yol Takibi Makinesi ile benzer özellikler gösterir. Bu makinenin de alt makineleri aynıdır. Buradaki mantık eğer yolcu almaya karar verilip yönetim Yolcu Makinesi'ne verilince araç eğer doğru şeritte ise Şerit Takibi Makinesi'ni kullanarak yolcunun olduğu yere kadar gider ve yolcuyu alır. Fakat araç yolcunun beklediği şeritte değil ise Şerit Değiştirme Makinesi ile şerit değiştirip uygun şeride geçer.

3.5. Trafik zekası makinesi

Yol takibi, sollama, trafik kuralları ve yolcu alma davranışlarının uyumlu bir şekilde birleşmesinden oluşan ve araçların trafikteki zekalarını oluşturan makinedir. Bu makinenin her çalıştırılmasında Trafik Kuralları Makinesi hariç zekayı yanlız bir makine yönetir. Trafik Kuralları Makinesi'nin zekanın her çalıştırıldığında çalışması gerektir, çünkü araçların trafik kurallarına uymaması düşünülemez.



Şekil 4. Trafik zekası makinesi'nin yapısı

4. SÜRÜCÜ DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

Trafik ortamında farklı tipte sürücüler ve bu sürücülerinden kaynaklanan çeşitlilik mevcuttur. Farklı sürücü tiplerinin oluşturduğu farklılıklar aslında sürücülerin hızlanma, yavaşlama ve değişik durumlara verdikleri tepsi süresi gibi değişkenlere dayanır.

Değişken	Açıklama
Hızlanma ivmesi (metre/saniye^2)	Tercih edilen ortalama hızlanma ivmesi
Yavaşlama ivmesi (metre/saniye^2)	Tercih edilen ortalama yavaşlama ivmesi
Geçiş aralığı (metre)	Şerit değiştirirken karşı şeritte tercih edilen boş aralık uzunluğu
Azami hız (kilometre/saat)	Tercih edilen azami hız
Durma aralığı (metre)	Diğer bir aracın arkasında durunca tercih edilen aralık uzunluğu
Takip şeridi	Yol takibinde tercih edilen şerit
Takip mesafesi süre aralığı (saniye)	Araç takibinde takip mesafesini hesaplarken tercih edilen süre
Sağdan sollama	Araç sollaması yaparken sağ şeritten sollama yapma eğilimi

Tablo 4. Sürücü farklılıkları oluşturan etkenler

Yukarıdaki değişkenler kullanılarak üç temel sürücü tipi oluşturulabilir.

- Yavaş Sürücü: Bu sürücü tipi en kontrollü sürücü tipidir. Diğer araçlara göre en düşük hızda seyreder. Daima en sağ şeridi kullanma eğilimindedir. Gerekenden daha fazla bir takip mesafesi ve uygun aralık gözetir. Trafik kurallarına mutlak uyar.
- Ortalama Sürücü: Ortalama sürücü tipi kurallara nizami şekilde uyma eğilimindedir. Ama arada kural ihlali yaptığı olur.
- Saldırgan Sürücü: Bu sürücü tipi ise uçlarda bir sürücüdür. Çok hızlı ve sert araç kullanır. Kuralları sık sık ihlal etme eğilimindedir.

5. MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Trafik zekasının modellenmesinde EHDM'leri diğer tekniklere göre daha uygundur, çünkü trafik zekası birbirlerinden bağımsız davranışların uyum içerisinde uygunlanmasından oluşmaktadır. Yol takibi, sollama ve yolcu alması başlı başına farklı davranışlardır ve yeni davranışlar zekaya kolaylıkla eklenebilir.

Makinelerin oluşturdukları yönerge kümeleri en doğru yönergeleri oluşturmak için birleştirilmelidir. Bu birleştirme modelimizde en büyük ivmelenmenin seçilmesi ile

gerçekleştirilmiştir. En büyük ivmelenme birçok durumda aracın bir trafik kuralına uymak için yavaşlaması olarak ortaya çıkar ve en büyük ivmelenmeyi veren trafik kuralı diğer kuralları ezer.

Her makine yönerge kümesini kendi davranışa göre oluşturur. Makineler diğer makinelerin varlığından habersizdir. Çözüm üretirken diğer makinelerin etkilerini ve başka makineleri düşünmezler. Ama bazı özel durumlarda bir makinenin ürettiği yönerge kümesi diğer bir makinenin ürettiği yönergelere baskın gelmesi gerekebilir. Örnek vermek gerekirse durakta yolcu almak için durmuş bir otobüsü gören arkadan yaklaşan araç otobüsü sollamak için harekete geçtiğinde Trafik Kuralları Makinesi her zaman çalıştığı için onun takip mesafesi kuralına uymak için verdiği yavaşlama yönergeleri ile sollama yapabilmesi için Sollama Makinesi'nin verdiği hızlan yönergeleri çatışacaktır Burada doğru davranış için diğer şeride geçene kadar Sollama Makinesi'nin ürettiği yönergelerin Trafik Kuralları Makinesi'nin ürettiği yönergelere baskın gelmesi gerekmektedir.

Modelimiz bu alandaki çalışmaların toparlandığı bir alt yapı oluşturmaktadır. Bu alt yapıda yeni ve farklı tip sürücü davranışları o davranışa adanmış hem diğer davranışlarla hem de kendi için modüler yeni davranış makinelerinin eklenmesiyle gerçeklenebilir. Bu alt yapı da gerçek matemetiksel modeller kullanılmıştır. Bu modellerin gerçek zamanlı ve performanslı şekilde hesaplanmaları davranışların eş zamanlı ve hiyerarşik olarak koşturulmaları bağlı olduğu kadar makinelerin tasarımlarına da bağlıdır. Ayrıca bu alt yapıyla oluşturulmuş trafik araçlarının herhangi bir simülasyon içerisinde rahatlıkla kullanılabilmektedir. Çünkü araçların yönlendirilmesi için gerekli olan yönergeler çok temel bileşenlerden oluşmakta ve kolaylıkla gerçeklenecek niteliktedirler. Bu araçlarların simülasyonda betik özelliği ile birlikte kullanımı da gayet kolaydır. Betikte, istenilen koşulların sağlandığının kontrolünden sonra araç için istenilen makinenin aktif hale getirilmesi yeterlidir.

Modelimizin geçerliliği otobüs şöförlerinin ekonomik ve güvenli şürüş eğitimi almaları için geliştirilmiş olan gerçek bir simülatörde denenmiştir.

Bu simülatördeki trafik davranışları gerçek otobüs şöförlerinden alınan geribildirimler gözetilerek modellenmiştir. Bu modellemedeki temel kriterler araç sayısının fazlalığı, araç sürücü davranışlarının çeşitliliğidir.

Modelimizin performansından dolayı ortamda 20 farklı araç ve 10 farklı insan tipinden toplamda yaklaşık 120 yapay zeka nesnesi eş zamanlı çalışabilmektedir.

Araç sürücülerinin davranışları temelde yavaş, normal ve saldırgan sürücü tipleri olmak üzere üç farklı tipe ayrılmıştır. Bu tiplerinden yavaş ve normal sürücüler arasında çok fazla farklılık yoktur. Fakat saldırgan tipteki sürücülerin parametreleri diğer tiplere göre aşırı uçlardadır. Saldırgan tipler özellikler taksi ve minibüs araçları için kullanılmıştır.

Bunlardan farklı olarak araçların kullanıcı aracını algılayıp değişik tehlike durumları oluşturulması simülasyona entegre edilmiş bir betik (script) alt yapısı ile yapılmıştır. Bu betikler kullanıcı aracının yakınındaki araçlara özel komutlar gönderir ve bu komutlar ile araç zekası tehlike durumuna göre farklı bir EHDM makinesini çalışır hale getirir. Yeni makineler zekaya kolay eklenebildiği için istenilen tehlike durumu kolaylıkla gerçeklenebilir. Bu tehlike durumlarından bazıları şöyledir: yapay zeka aracının şerit değiştirmek için kullanıcı aracının önüne doğru sert bir şekilde çok kısa mesafeden direksiyonu kırması, araçların durak öncesinde park etmiş şekilde beklemeleri ve kullanıcı aracı yaklaşınca aniden yola çıkmak için hareket etmeleri, Yan yoldan araçların kullanıcı aracı yaklaşırken aniden ana yola çıkmaları.

6. SONUÇ

Karmaşık trafik davranışı trafik eğitim simülatörlerinde mutlaka olması gereken bir özelliktir. Trafik ortamındaki yapay zeka araçlarının EHDM'ler kullanılarak modellenmesi bilinen bir yöntemdir. Bu yöntemin başarısında kullanılan EHDM'lerin yapısı ve birbirleri ile uyumu etkilidir. Trafik davranışlarının birbirlerinden bağımsız şekilde düşünülmesi daha esnek ve karmaşık bir zeka yapısının oluşmasında etkilidir.Karmaşık davranışların yanında farklı sürücü tiplerinden oluşan çeşitliliğin de zeka modeline katılması gerçekçiliği daha arttırmaktadır.

7. KAYNAKÇA

[1] James Cremer, Joseph Kearney, Yiannis Papelis, (July 1995), HCSM: a framework for behavioru and scenario control in virtual environments, *ACM Transactions on Modelling and Computer Simulation(TOMACS)*, v.5 n.3, p.242-267,

[2] Jon Kuhl, Douglas Evans, Yiannis Papelis, Richard Romano, Ginder Watson, (July 1995), The Iowa Driving Simulator: An Immersive Research Environment, *Computer*, v.28 n.7, p.35-41,

[3] Patrick A.M.Ehlert and Leon J.M.Rothkrantz, (2001), Microscopic traffic simulation with reactive driving agents, *2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings - Oakland (CA) USA*, August 25-29

[4] Tomer Toledo, (February 2003), Integrated Driver Behaviour Modelling, PhD Thesis, *Department of Civil and Environmental Engineering, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY*

[5] Peter Hidas, (October-December 2002), Modelling lane changing and merging in microscopic traffic simulation, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*

SİMÜLATÖR SİSTEMLERİNDE GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ TASARIMINI ETKİLEYEN PARAMETRELER VE KISITLAR

Dağhan ÇAYCI [(a)]

[(a)] HAVELSAN A.Ş. , Mustafa Kemal Mah. 2120. Cad. No:39 Çankaya/ANKARA
dcayci@havelsan.com.tr

ÖZ

Görüntüleme sistemleri, simülatör sistemlerinde kullanıcının simülasyon ortamında oluşturulan dış dünya ile görsel etkileşimini sağlayan arayüzü konumundadır. Üretilecek simülatörde, kullanıcının eğitim ihtiyacının gerektirdiği dış dünya ile görsel etkileşimin gerçekçilik derecesi tasarımlanacak görüntüleme sistemin karmaşıklığını belirler. Görsel ihtiyacın sadece ortamın genel görünümünün gerçekçilikten uzak bir sunumu ile sınırlı olduğu durumlarda bir tek monitör kullanımı bile ihtiyacı karşılarken, bir jet uçağı simülatörünün eğitim ihtiyaçları teknolojik ve yapısal kısıtlar nedeni ile onlarca yüksek çözünürlüklü projektör kullanımı ile bile karşılanamayabilir. Bu bildirinin amacı, şu anki teknolojinin imkan tanıdığı görüntüleme sistemi tasarım parametrelerinin getirdiği faydaların yanı sıra ortaya çıkan kısıtları da değerlendirerek finansal karşılığı milyonlarca dolara çıkabilen çözüm alternatifleri arasında eğitim hedeflerine uygun ihtiyacın belirlenmesine katkıda bulunmaktır.

Anahtar Kelimeler: Çözünürlük, Görüntüleme Sistemi, Kontrast, Projektör, Johnson Kriterleri

PAPER TITLE

ABSTRACT

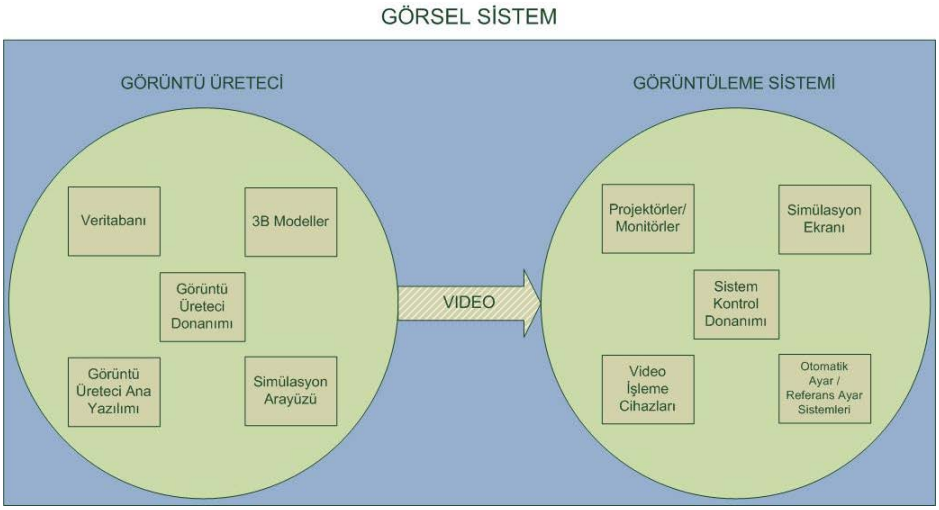
Display Systems used at simulation systems are the interface between the user and the simulated out –the –window (OTW) image. The complexity of the display system to be designed is determined by the level of fidelity requirement of the visual interface need of the training. Even a single monitor can satisfy the requirements for the circumstances which display requirements are limited to a low fidelity representation of the general environment whereas it is possible not to satisfy the training requirements of a jet fighter simulator with a display system design using dozens of high resolution projectors because of the technological and structural constraints. The aim of this paper is to support the efforts of identifying the best suitable requirements for the training

needs between the alternatives that can have a financial value of millions of dollars by evaluating the display system design parameters as well as the constraints that those parameters bring.

Keywords: Resolution, Display System, Contrast, Projector, Johnson's criteria

1. GİRİŞ

Dış dünya ortamı ile etkileşimin hedeflenen eğitimin bir parçası olduğu simülatör sistemlerinde görsel sistemler, eğitimin gerçekçiliğini belirleyen en önemli sistemlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Görsel Sistemler, ilgili simülatörün gerçekçilik seviyesinden bağımsız olarak görüntü verisinin video verisi olarak üretildiği görüntü üreteci ve video verisinin görüntüye dönüştürüldüğü görüntüleme sistemi alt sistemlerinden oluşan bir üst sistem olarak modellenebilir.



Şekil 1. Görsel Sisteminin genelleştirilmiş modeli

Kaba bir yaklaşımla görüntü üreteci tasarım parametrelerinin oluşturulması gereken görüntünün grafik özelliklerine, görüntüleme sistem parametrelerininse görselleştirilecek grafiklerin istenilen kalitede sunulmasını sağlayacak optik özelliklerine yoğunlaştığı genellemesi yapılabilir.

Optimize edilmiş bir görsel sistem tasarımı, sistemin isterlerini karşılayan optik özellikleri sağlayacak bir görüntüleme sistemi ve eğitimin gerektirdiği grafik özellikleri görüntüleme sistemine uygun tazeleme hızıyla (Genellikle 60 Hz dikey tarama hızı) iletebilecek minimum donanım altyapısına sahip görüntü üreteci sisteminden oluşur. Görsel Sistem tasarımında toplam donanım büyüklüğünü belirleyen temel faktörün görüntüleme sisteminin optik özelliklerinin olması daha sözleşme öncesi eğitim isterlerinin belirlenmesi ve bütçeleme aşamasında iken bazı temel kararların alınmasını gerektirmektedir.

2. İHTİYACIN BELİRLENMESİ

Bir görüntüleme sistemi, gereksinimlerine bağlı olarak binlerce dolardan milyonlarca dolara çıkabilecek maliyetler ile gerçekleştirilebilir. Bunun da ötesinde görüntüleme sistemleri optik tabanlı sistemler olduğundan kabiliyetleri her şeyden önce fiziksel kısıtlar ve video verisini görüntüye çeviren cihazların teknolojisi ile sınırlıdır.

İki pilotun gerçekte olduğu gibi kokpitte yan yana oturduğu bir helikopter simülatörü örneğini ele alırsak, her iki pilotun da aynı anda hem yan yana oturup hem de geometrik olarak doğru bir görüntü elde edebilmesinin şu anki teknoloji limitleri dahilinde tek yolu kolimasyon sağlayan bir sistem kullanılmasıdır. Bununla beraber bu tarz sistemler 60 derecenin üstündeki dikey görüş açılarını desteklememektedir[1]. Bu durum proje bütçesinden bağımsız olarak hem fiziksel hem teknolojik bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha büyük görüş alanına ihtiyaç duyulması ama her iki pilot için de geometrik doğruluktan vazgeçilememesi durumunda ise pilotların beraber oturma gerekliliğinden vazgeçilerek her iki pilotun ayrı platformlarda oturduğu iki ayrı görüntüleme sistemi oluşturulması kaçınılmazdır. Düşük bütçeli ve sadece kalkış ve iniş eğitimi verecek bir simülatör için pilota 360 derece yatay 150 derece dikey görüş açısı sağlayan göz çözünürlüğünde bir sistem istenmesi hem proje bütçesini aşan bir maliyet hem de optik kabiliyeti eğitimin amacına göre oldukça yüksek kalacak bir görüntüleme sistemi olarak karşımıza çıkacaktır.

Eğitim gereksinimleri, maliyet ve teknolojik kısıtlar arasında optimum dengeyi sağlayacak çözüme ulaşmanın yolu mali ve teknolojik kısıtları analiz ederek eğitimin istenilen düzeyde verilebilmesi için hangi kriterlere sahip bir görüntüleme sistemi istenileceğinin belirlenmesidir. Görüntüleme sisteminde kullanılacak görüntüleme sistemi cihazlarının miktarını ve görüntü kalitesini büyük ölçüde belirleyerek tasarıma yön veren kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- Görüş açısı (FOV)
- Çözünürlük
- Parlaklık / Kontrast
- Projeye Özgü Özel Gereksinimler

3. TEMEL TASARIM PARAMETRELERİ

Görüntüleme Sistem tasarımı elektronik, mekanik ve optik dallarında birbirleri ile ilişkili pek çok parametreyi içeren bir çalışmadır ancak görüş açısı, çözünürlük, parlaklık/kontrast ve varsa projeye özgü özel görüntüleme gereksinimleri gibi parametreler, sayısız tasarım alternatifi arasında tasarıma yön verecek ve maliyeti belirleyecek kilometre taşlarıdır. Diğer tasarım parametreleri ve alternatif çözümler bu kriterlerin etrafında şekillenirler.

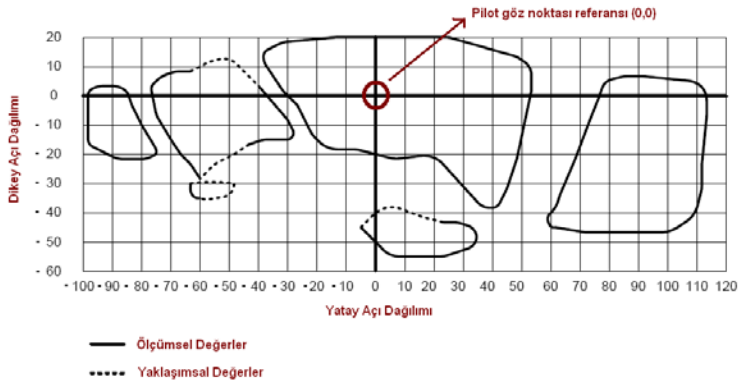
3.1. Görüş Açısı

Görüntüleme sistemi optik özellikleri nedeniyle üç boyutlu uzayda alınan tek bir referans nokta üzerine tasarımlanır. Bu nokta tasarım göz noktası (DEP) olarak adlandırılır. Eğitim alacak öğrencinin normal oturuş durumundaki göz pozisyonu gözlemci referans noktasıdır. Uçuş simülatörleri için gözlemci göz noktası pilot göz noktası (PEP) olarak adlandırılır.

Özel durumlar dışında açısal doğruluğu yakalamak için DEP ve PEP noktalarının çakışması gerekmez ancak sistem tasarımını belirleyen parametre pilotun standart konumda dikey ve yatay yönde ne kadarlık bir açısal tarama yapabilmesinin istendiğidir. Simülatör görüntüleme sistemleri tasarımında görüş açısı, gözlemci referans noktasına göre açısal olarak ne kadarlık bir bölgede görüntü oluşturulabildiğini ifade eder.

Görüş açısı, uçuş simülatörlerinde özellikle iniş eğitimi, kol uçuşu ve taktik uçuş gibi pek çok özel eğitimi doğrudan etkileyen bir unsur olarak yer alır. Bazen giriş bölümünde anlatılan kısıtlar sebebiyle bazense simülatörün eğitim konseptinin ihtiyaç duymaması nedeniyle pilotun gerçek uçuş sırasında görebildiği tüm görüş alanının simülatörlerde birebir oluşturulması söz konusu olmaz. Bu durumda optimum tasarıma ulaşmak için özellikle pilotun dikey ve yatay eksenlerde PEP noktasına göre negatif ve pozitif yöndeki açı minimum açı dağılımının eğitim konuları göz önüne alınarak belirlenmesi gerekir.

Bu analiz yapılırken uçak manuellerinde yer alan pilot görüş alanı grafiklerinin kullanımı önemli bir ihtiyaçtır. Bu grafikler pilotunun gözünden bakıldığında kokpit yapısının açısal olarak ne kadar görüşe izin verdiğini gösterir. Bu tip bir bilginin sağlanamadığı herhangi bir araç simülatöründeyse aynı bilgi ilgili aracın içinden göz noktasına yerleştirilmiş bir açıölçer (theodolite) yardımı ile elde edilebilir. Bu yöntemle pilot göz noktasından ölçümünü yaptığımız iki pilotlu (pilot – copilot) sivil bir hava aracının açısal görüş alanı grafiği aşağıda verilmektedir.



Şekil 2. Sivil bir hava aracında ölçülmüş pilot FOV grafiği

3.2. Çözünürlük

Çözünürlük tanımı yaygın olarak görüntü üreten cihazların yatay ve dikey eksende oluşturdukları piksel sayını ifaden eden piksel çözünürlüğü anlamında kullanılmaktadır. Optik sistemlerin çözünürlüğü ise sistemin oluşturduğu en küçük ayırt edilebilir optik çizgi çiftinin (OLP) gözlemci referans noktasına göre taradığı açısal büyüklük olarak tanımlanır. Analitik olarak bu nokta %10 modülasyon noktası olarak tanımlanır[2].

Normal görüş keskinliğine yetişkin bir insan, gözlem noktasına göre 1 derecelik açı içine yerleştirilmiş 30 optik çizgi çiftini ayırt etme kabiliyetine sahiptir. Bu değer bazı kişilerde 45 optik çizgi çiftine kadar yükselebilmektedir[3]. İnsan gözünün ayırt etme kabiliyeti 20/20 keskinlik ya da 2 arcmin/OLP değerleri ile ifade edilir. Bir optik sistemin sağladığı çözünürlüğün 4 arcmin/OLP değerine sahip olması, o sistemin görüntüdeki detayları aktarma kabiliyetinin insan gözü ayırt etme kabiliyetinden iki kat daha kötü olduğunu ifade eder. Bu durumu açmak gerekirse bir insanın gerçek hayatta 1000 metreden fark ettiği bir ayrıntıyı aynı kişi 4 arcmin/OLP çözünürlüğüne sahip bir sistem kullandığı zaman ancak 500 metreye yaklaştığında fark edebilecektir.

Sistem çözünürlüğü, sistem detay yansıtma kabiliyetinin bir ölçüsü olması anlamında görsel etkileşimin ve ayrıntıların önemli olduğu sistemlerde eğitim kalitesine oldukça etki eden bir faktördür. Konuya mali ve teknik yönden bakıldığındaysa sistemin optik keskinlik kabiliyetini 2 katına çıkartmanın anlamı 4 kat fazla donanım kullanmak anlamına gelmektedir. Aşağıdaki tablo bir kürenin yaklaşık %70 kaplayan bir görüntüleme sisteminin yaklaşık olarak hangi piksel çözünürlüğüne sahip kaç projektörle gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Tablo 1. Bir kürenin % 70'lik alanına görüntü sağlayan bir görüntüleme sisteminin kaç projektörle gerçekleştirilebileceğinin yaklaşımsal değerleri

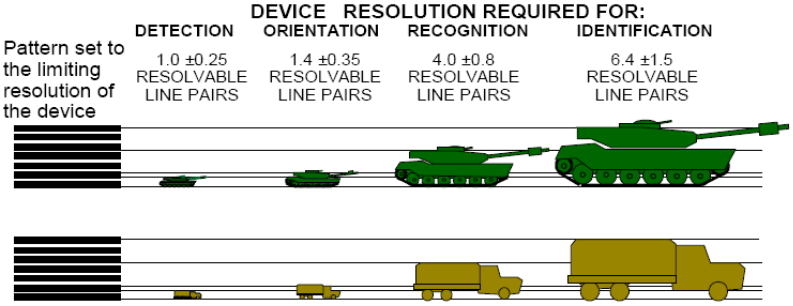
		Projektör Tipleri		
		SXGA (1280 X 1024)	Full HD (1920 X 1080)	QXGA (2048 X 1536)
Sistem Çözünürlüğü	2 arcmin/OLP	207	131	87
	4 arcmin/OLP	52	33	22
	8 arcmin/OLP	13	9	6

Yukarıdaki tablodaki projektör sayılarındaki artışın beraberinde getireceği görüntü üreteci çıkış kanalları ve video ekipmanı üzerindeki oransal artış da göz önüne

alındığında çözünürlük parametresinin sistem tasarımında en büyük etkiye sahip faktör olduğu sonucuna varılabilir.

Eğitim ihtiyaçları ile çözünürlük parametresini ilişkilendirmenin en pratik yolu, sektörde geçerliliğini koruyan Johnson kriterlerini kullanmaktır. Johnson bir hedefin görüntüleme cihazı üzerindeki çözünürlüğünü saptama, oryantasyon, teşhis ve ayırt etme görevleri çerçevesinde incelemiş ve bu görevleri icra etmek için hedeflerin en az kaç ayrıt edilebilir çizgi çiftinden oluşması gerektiğini ortaya koymuştur.

Tablo 2. Johnson Kriterleri [4]



Bu kriterler kullanılarak eğitim hedefinin gerektirdiği sistem çözünürlük değeri aşağıda yer alan formül kullanılarak hesaplanabilir.

$$\frac{\arctan(\frac{x}{y})}{RLP} = Sistem\ \text{Çözünürlüğü} \quad (1)$$

Bu formülde:

- x hedefin gözlem noktasından bakıldığındaki metre cinsinden minimum kesit uzunluğunu (critical dimension / gating dimension)
- y hedefin gözlem noktasına olan metre cinsinden uzaklığını
- RLP, Johnson Kriterlerinde belirtilen görev için belirlenmiş OLP değerini
- Sistem çözünürlüğü ise arcmin/OLP cinsinden çözünürlük değerini ifade etmektedir.
- arctan fonksiyonunun sonucu arcmin cinsinden hesaplanmalıdır.

Johnson kriterleri, belirtilen hedeflerin çözünürlük değerlerini görev icrasında %50 başarı oranının elde edildiği nokta üzerinden hesaplamaktadır. Ayrıca farklı çalışmalar gözün uyarılma süresi, görüntüdeki arka plan gürültüsü ve insan faktörü öğelerinin de görev icrasında etkili olduğunu ortaya koymuştur[5][6]. Bu nedenle hesaplanan değerler her koşulda bu görevlerin başarı ile gerçekleştirilebileceği anlamına gelmese de uygulamalarda elde edilen sonuçlar yıllardır kendini en geçerli yöntem olarak kabul ettirmesini sağlamıştır. Bu nedenle hedef çözünürlüğün arcmin/OLP olarak belirlenmesi çözünürlük kriterinin objektif olarak değerlendirilebilmesini sağlar. Çözünürlük

isterinin sayısal olarak ortaya konmaması ve belli bir mesafeden belli bir hedefi saptama/teşhis/ayrıt etme kabiliyetleri dahilinde görev icrasının gerçekleştirilmesi örneğindeki gibi görev başarısına bağlanması durumunda ise ortaya çıkacak görüntüleme sistem çözümü ihtiyacın çok üzerinde ve maliyetli olabilir. Bunun nedeni böylesi bir isteri karşılayacak bir sistemin Johnson kriterlerinin tanımında yer alan belirsizlik faktörlerini tamamen yok etmesi gerekliliğidir.

Yüksek çözünürlük her zaman görev icrası için zorunluluk değildir. Eğer simülatörün görev ihtiyacı sadece belirli hareketli modellerin gerçekçi bir görüş mesafesinden algılanmasını gerektiriyorsa görüntü üreteci üzerinde modellerin göz noktasına uzaklığına göre ölçeklendirilmesi özelliği kullanılarak istenilen hedeflerin gerçekçi bir görüş mesafesinden algılanması sağlanabilir. Bu yöntem pek çok simülatörde uygulanmaktadır. Bu yöntemin dezavantajı modeller dışında kalan grafik öğeleri için ayırt etme yeteneğinin sistem çözünürlüğü ile sınırlı kalmak zorunda oluşudur.

3.3. Parlaklık / Kontrast

3.3.1. Parlaklık (Parıltı)

Simülatör sistemleri görsel sistem ihtiyaçlarında sıkça karşılaştığımız parlaklık tanımının fotometrideki gerçek karşılığı fotometrik parlaklık yani parıltıdır. Parıltı, birim katı açıdaki fotometrik akı yoğunluğunun bir ölçüsü olarak tanımlanır ve birim alandaki kandela (birim alan ve birim steradyandaki lümen) olarak ifade edilir[7]. Metrik standartlarda cd/m^2 ölçüm birimi kullanılsa da simülatör endüstrisinde yaygın olarak İngiliz ölçüm birimindeki karşılığı olan fL (foot-lambert) birimi ile kullanılmaktadır.

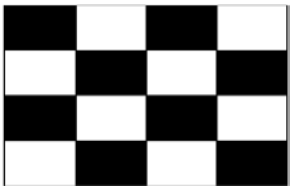
İnsan gözü algısı 10^5 fL ile 10^{-6} fL arasındaki parıltı büyüklüğünü algılayacak kadar geniş bir dinamik skalaya sahiptir[8]. Gerçek yaşamdan örnek verirsek açık bir havada gökyüzünün sağladığı parıltı değeri 1000 ila 10000 fL arasındadır[8]. Görüntüleme sistemlerinin böylesine bir parlaklığı sağlaması gerek projeksiyon cihazlarının teknik kısıtları gerekse fiziki kısıtlar nedeni ile mümkün değildir. Böylesine bir parlaklığın sağlandığını varsaysak bile ekranda oluşan görüntüye baktığımızda sonraki bölümde ele alınan kontrast değeri ile ilgili kısıtlar nedeni ile hiçbir ayrıntıyı seçemediğimiz parlak bir yüzey ile karşılaşırdık.

Yüksek seviyeli simülatör sistemlerinde kullanılan geniş açılı görüntüleme sistemleri 3 – 10 fL arasında maksimum parlaklık seviyeleri sağlamaktadır. Joint Aviation Authority JAR FSTD-H dokümanında Level D seviyeli bir simülatör için parlaklık değerini 6 fL olarak belirlemiştir[1].

3.3.2. Kontrast

Kontrast (Zıtlık) , tanım olarak ilgili görüntüleme cihazının veya sisteminin belli bir koşulda oluşturabildiği maksimum ve minimum parlaklık değerinin oranı olarak

tanımlanabilir. Bu ifadedeki ‘belirli bir koşul’ çok değişken bir tanımdır ve bu nedenle farklı koşullara göre dinamik kontrast (dynamic contrast) ,ardışık kontrast (sequential contrast), Weber kontrastı, Checkerboard/Chessboard kontrastı, Yüzey kontrastı gibi uzayan bir tanım listesi oluşmuştur. Bunun nedeni hedef sistemlere göre ihtiyaç duyulan kontrast ölçümünün farklılık göstermesidir. Simülatör sistemlerinde en çok kullanılan yöntem %50 ışık yoğunluklu checkerboard örüntüsünü üzerinden ölçüm alınmasıdır.



Şekil 3. %50 ışık yoğunluklu checkerboard örüntüsü

Gerek insan algısının duyarlılığı gerekse çözünürlüğe olan dolaylı etkisi nedeni ile kontrast parametresinin görüntü kalitesine etkisi parıltıya oranla daha fazladır. Günümüzde piyasayı domine eden LED teknolojisi tabanlı televizyon sistemlerinin başarısının altında sağladığı yüksek kontrast değerlerinin beraberinde getirdiği yüksek görüntü kalitesi yatmaktadır.

Ne yazık ki geniş görüş açılı simülatör sistemlerinde televizyon ekranlarında elde edilen düzeyde kontrast elde edilmesi mümkün değildir. Burada kısıtlayıcı faktör çoğu zaman görüntüyü oluşturan projektörün ötesinde ekran yapısından kaynaklanmaktadır. Simülatörden beklenen görüş açısı arttıkça simülatör ekranı tam bir küre şeklini almaya başlar. Bu noktada “Integrated sphere” etkisi oluşur. Bu etki bir kürenin içine gönderilen ışık ışınlarının küre geometrisi içinden kurtulamayarak kürenin tüm yüzeyine aydınlatma etkisi oluşturması şeklinde özetlenebilir. Böyle bir durumda çok yüksek kontrastlı görüntü üretebilen bir cihaz ile ekrana görüntü iletilse de görüntüdeki parlak bölümleri gösterebilmek için oluşturulan ışık ışınları tüm küre içinde yansıma nedeniyle yayılarak düşük parlaklıkta olması gereken bölümleri de aydınlatır bu da sistemin sunduğu kontrast değerini düşürür.

Ekran kazancı kullanılan ekranın gelen ışın ne kadarını yansıttığının ölçüsüdür ve ekranın üretildiği materyalin üzerindeki kaplama maddesinin bir özelliğidir. Belirli bir ekran kazancı parametresine sahip ekran kullanan simülatör görüntüleme sistemlerinde teorik olarak sistem kontrast değeri parıltı değerinden bağımsızdır. Sistem kontrastını belirleyen temel faktör ise ekran geometrisidir. Tasarım aşamasında kontrast ile parlaklık arasındaki ilişkiyi sağlayan parametre ise yapısal bir parametre olan ekran kazancıdır. Detay tasarım aşamasında bu parametre üzerinde oynanarak müşterinin beklentisi olan parlaklık ve kontrast değerleri arasında bir denge oluşturulması sağlanır.

Çok kanallı görüntüleme sistemine sahip simülatörlerde kaliteli bir görüntü elde edilmesi için kontrast değerinin 5:1 oranından düşük olmamasına dikkat edilmelidir. Bununla beraber özellikle geniş görüş açılı direk yansıtmalı sistemlerde parlaklık değerlerinden feragat etmeden 6:1 / 7:1 oranlarından yüksek kontrast oranları elde etmek mümkün olmamaktadır. Yüksek kontrast ve parlaklığın şart olduğu durumlarda çok daha pahalı ve mekanik kısıtlar getiren arkandan yansıtmalı özel yapım ekranları kullanan bir tasarıma gitmek zorunludur.

3.4. Projeye Özgü Özel Gereksinimler

Bazı projelerde eğitim ihtiyacı aynı anda iki öğrencinin tek bir görsel sistemi kullanarak veya bazı özel cihazları takarak eğitim almalarını gerektirebilir. Bu tip durumlarda planlama aşamasında bu özel teçhizatın gerçek ya da simüle olarak kullanılıp kullanılmayacağı, öğrencilerden herhangi birinin görüşünün geometrik doğruluğundan feragat edilip edilemeyeceği gibi kararların verilmiş olması gerekir. Bu tip özel durumlarda istenilen eğitimlerin verilebilmesi için sadece görüntüleme sistemi kısıtlarından kaynaklanan nedenlerle ayrı bir simülatör üretilmesi gerekebilir. Bu tip özel kararların proje aşamasında verilmesi ise düşük ürün kalitesi, takvimsel ve mali sorunlar olarak karşımıza çıkacaktır.

4. SONUÇLAR

Görüntüleme Sistem tasarımı, yüksek gerçekçilik seviyeli simülatör üretimi projelerinde birbirini etkileyen çok sayıda elektronik, mekanik ve fiziksel parametrenin bir arada değerlendirilmesini gerektiren bir konudur. Aşağıdaki tablo uçuş eğitimlerine göre temel tasarım parametrelerini genellemektedir.

Tablo 3. Uçuş eğitimlerine göre sınıflandırılmış temel tasarım parametreleri[9]

Task	FOV H° x V°	Resolution arcmin/OLP	Brightness fL	Contrast Ratio
INITIAL TRAINING TASKS				
Takeoffs only	90 x 30	10	3	5:1
Basic flight maneuvers	120 x 40	10	3	5:1
Approach and land	200 x 60	7	3	5:1
Basic navigation	120 x 40	7	3	5:1
Low-level navigation	120 x 40	7	3	8:1
Advanced flight	200 x 70	4	5	10:1
Tactical flight and weapons	200 x 70	4	5	10:1
Formation flight	Match Windows	4	5	10:1
SQUADRON TRAINING TASKS				
Basic weapons and tactics				
Air to ground	200 x 80	4	5	10:1
Air to air	200 x 80	2	5	15:1
Advanced weapons and tactics				
Air to ground	Match Windows	4	10	15:1
Air to air	Match Windows	2	10	20:1
Mission Rehearsal	Match Windows	2	10	20:1

Her proje kendine özgü özellikler taşımaktadır. Bu nedenle yukarıdaki tablo sadece genel bir fikir oluşturması anlamında önemlidir. Son üründe elde edilen görüntünün beklentileri karşılayabilmesi için ihtiyaç sahiplerinin projelerin planlama aşamasında

eğitim ihtiyaçlarının bu bildiride ele alınan temel tasarım parametreleri çerçevesinde analiz etmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin objektif isterler olarak ortaya konması ve değerlendirilmesi, maliyeti ve eğitim ihtiyaçlarını karşılama oranı optimize edilmiş bir görüntüleme sistemi elde edilmesini sağlayacaktır. Bu aşamada tedarik öncesinde ürünü tedarik edecek firmanın, eğitim verecek personeli ile görüşü alınan teknik birimlerin ortak bir çalışma yapması gereksinimi ortaya çıkmaktadır. Eğitim konusunda uzman kişilerin görüntüleme sistemi gibi teknik bir konu hakkında detaylı bir bilgiye sahip olması beklenemeyeceği gibi teknik uzmanların da eğitim detayları ve gereksinimleri konusunda uzman olmaları beklenemez. Bu nedenle bu tarz bir çalışmada tarafların birbirlerini anlayarak ortak bir dil geliştirmesi tedarik sonrasında yaşanacak hayal kırıklığı riskini ortadan kaldıracaktır.

5. KAYNAKÇA

[1] Joint Aviation Authorities (2008), JAR-FSTD H : Helicopter Flight Simulation Training Devices, Initial Issue, 1 August 2008, Section 2, pp. 2-C-66,119

[2] Clodfelter, R. (2012), Some Thoughts on Designing and Understanding Visual Systems, Image 2012 Conferance, 6th June, 2012, slide 9

[3] Cowan, M. (2002), Digital Cinema Resolution – Current Situation and Future requirements, Entertainment Technology Consultants, 2002, pp. 3

[4] Johnson J. (1958), Analysis of Image Forming Systems, Image Intensifier Symposium, 6-7 October, 1958, pp. 249 – 273

[5] Donohue, J. (1991), Introductory review of target discrimination data. Report PL-TR-92—2129

[6] Lloyd, C.J , Joralmon, D. , Amann, R. , Tai C. , Williams L. , Pierce, B. , Relative Effects of Five Display Design Variables on Aricraft Identification Range in Daylight, 2011 Image Conference Proceedings, June, 2011, pp. 1

[7] Çalkın, Y. (2012) , Tübitak UME Fotometri Eğitimi, 29-30 June, 2012, slides 34-45

[8] Green, M. (2011), Projection Displays, Image Conference 2011, 6-9 June, 2011, slides 10-11

[9] Lyon, P. (2012), Simulation Display Systems; What should I care about, Image 2012 Conferance, June, 2012 slide 8

HELİKOPTER SİMÜLATÖRLERİ İÇİN DİNAMİK TURBOŞAFT MOTOR MODELİ GELİŞTİRİLMESİ VE SİMÜLATÖRE ENTEGRASYONU

Yaroslav Novikov[(a)], Gönenç Gürsoy[(b)], Oğuz Uzol[(c)],

İlkay Yavrucuk[(d)]

[(a)] ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, yaroslav.novikov@metu.edu.tr

[(b)] Aerotim Mühendislik, ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar, gursoy@aerotim.com.tr

[(c)] ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, uzol@metu.edu.tr

[(d)] ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü, yavrucuk@metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, aerotermodinamik modelleme tekniği kullanılarak modellenen T700-GE-700 turboşaft motoru, Heli-Dyn+ helikopter modelleme, analiz ve simülasyon yazılımı ile oluşturulan UH-1H helikopter modeli ile entegre edilmiştir. Entegrasyon, şaft dinamiği modeli kullanılarak yapılmıştır. Motorun sağladığı güç miktarı, ana ve kuyruk rotorlarının toplam güç gereksinimi ile karşılaştırılmakta, aradaki fark güç türbini dönü hızına yansıtılmaktadır. Elde edilen türbin dönü hızı, helikopterin ana ve kuyruk rotor dönü hızlarının, uygun redüksiyon oranları uygulanarak bulunmasında kullanılmaktadır. Böylece helikopter dinamiğinin motor dinamiğine bağlanması ve aradaki etkileşimin doğru bir benzetiminin yapılması sağlanmıştır. Geliştirilen simülasyon ortamında, bir otopilot algoritması helikoptere manevralar yaptırırken düşük basınç rotor dönü hızı, geliştirilen motor kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmiştir. Makalede yer alan sonuçlar, helikopter dinamiğinin motora bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Bu kapsamda, ana rotor hızının, motorun dönü hızına bağlı olarak değiştiği ve ideali %100 olan ana rotor dönü hızından farklı hız değerlerinde olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aerotermodinamik model, entegrasyon, gaz türbinli motor, Heli-Dyn, T700

DEVELOPMENT AND INTEGRATION OF A DYNAMIC TURBOSHAFT ENGINE MODEL TO A HELICOPTER SIMULATOR

ABSTRACT

In this study, an aerothermodynamic engine model developed for the T700-GE-700 turboshaft engine is coupled with UH-1H helicopter model developed in Heli-Dyn+, the rotary wing modeling, simulation and analysis software. Coupling is performed using a relationship describing dynamics of the output shaft of the engine. Power delivered by the engine is compared against the total power required by the main and tail rotors of the helicopter, and any difference is converted to either acceleration or deceleration of the output shaft. The resulting shaft speed is used for evaluation of main and tail rotor speeds via speed reduction by appropriate gear ratios. Integration of the engine model with the helicopter model using shaft dynamics allows for an accurate coupling between the two systems. In the simulations performed for this study, the helicopter model was governed by an autopilot system while the engine was governed by an engine control system. In the results presented in this paper shown is the variation of helicopter dynamics as a result of coupling with the engine model. Specifically, shown is the variation of main rotor speed from the ideal speed of 100% under different flight regimes.

Keywords: Aerothermodynamic model, coupling, gas turbine engine, Heli-Dyn, T700

1. GİRİŞ

Bir uçuş simülasyon ortamının gerçeklik hissiyatı yaratması, simülatörde yapılan uçuş eğitimlerinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bir uçuş simülatörü sadece çeşitli uçuş koşullarının oluşturulması için değil, gerçek bir helikopter sisteminde doğabilecek hata durumlarının simülasyonu için de gereklidir. Sağlıklı uçuş koşullarında ve çeşitli hata durumlarında, helikopter, motor ve diğer sistemlerin çalışma şeklini ve bu sistemlerin karşılıklı etkileşimini modellemek, yüksek doğruluk seviyesinde geliştirilen modellerin kullanılması ile mümkün olmaktadır.

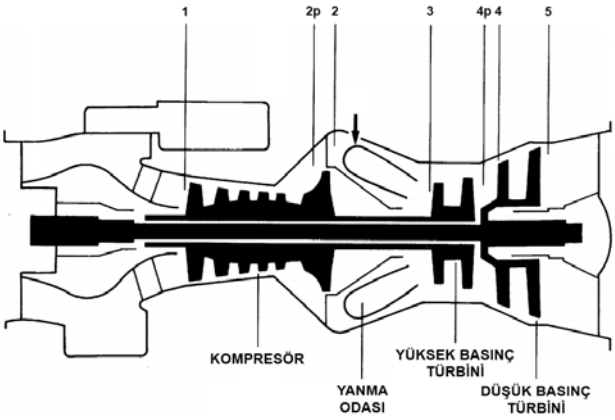
Bir uçuş simülatörünün başlıca bileşenleri, helikopterin aerodinamik modeli ile motor modelidir. Bu bileşenlerin yüksek doğruluk seviyesinde oluşturulması ve aralarındaki etkileşimin doğru modellenmesi, bir uçuş simülatöründe gerçekliğin oluşturulmasının temelini oluşturmaktadır. Helikopter aerodinamik modeli isterleri belli olmak ile birlikte uçuş simülatörlerinde uygulanabilecek tipik bir helikopter aerodinamik modeli ayrıntılı bir şekilde [1]'de anlatılmaktadır. Helikopter modelinin aksine, motor, çeşitli modelleme yöntemleri kullanılarak benzetilebilmektedir. Bu yöntemler [2]'de incelenmiştir. Motor modellemesi için kullanılan yöntemlerden en yüksek doğruluk seviyesini sunan teknik, aerotermodinamik modelleme yöntemidir. Bu yöntemde, motor, motoru oluşturan ana bileşenleri aerotermodinamik bakımdan tanımlayan denklemler ve motorun gerçek performans haritaları kullanılarak modellenmektedir. Motorun geçiş durumları, motorun ana bileşenleri arasına konulan odacıklar ile ideal gaz denklemi kullanılarak hesaplanan zamana bağlı basınç dinamiği denklemi ile benzetilmektedir.

Bu makalede, uçuş simülatörü uygulamasına yönelik olarak, ayrıntılı anlatımı [3]'de yer alan aerotermodinamik modelleme yöntemi kullanılarak oluşturulan yüksek doğruluklu T700 turboşaft motor modelinin, Heli-Dyn+ [4] yazılımı kullanılarak geliştirilen UH-1H helikopter modeli ile entegrasyonu anlatılmaktadır.

2. TURBOŞAFT MOTOR MODELİ GELİŞTİRİLMESİ

2.1. Dinamik Motor Modeli

GE T700, UH-60A Black Hawk ve AH-1W SuperCobra helikopterlerinde kullanılan, 1600 HP sınıfında, 5 kademe eksenel, 1 kademe radyal kompresörü olan ve her biri 2 kademeden oluşan soğutmalı yüksek ve soğutmasız düşük basınç türbininden oluşan bir turboşaft motorudur. Türbin soğutması, kompresör çıkışından çekilen sıkıştırılmış hava ile sağlanmaktadır. Motorun ana bileşenleri ile modellemede kullanılan numaralandırma yöntemi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Motor Bileşen Numaralandırması

Kompresör, bileşen içerisinden geçen düzeltilmiş hava miktarını, statik basınç oranı ile kompresörün düzeltilmiş dönü hızına göre veren performans haritası kullanılarak modellenmiştir. Kompresör çıkışındaki sıcaklık değeri, bileşenin sıcaklık oranını statik basınç oranına göre veren performans haritası kullanılarak bulunmaktadır.

Kompresör modeli, bileşen içerisinden soğutma için ana akıştan çekilen hava debisini de hesaba katmaktadır. Kompresörden çekilen soğutma debi miktarı, kompresöre giren düzeltilmiş hava miktarı ile düzeltilmiş dönü hızına göre ek motor haritaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan soğutma debisi, kompresörün belirli bir hızda dönmesi için gerekli olan güç miktarının doğru bir şekilde hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Kompresörden çıkan sıkıştırılmış hava, yanma odasında yakıt ile karışarak yanmaktadır. Yanma, zamana göre değişken enerji korunumu yasası kullanılarak Denklem (1)'deki gibi modellenmiştir. Bu denklem, yanma odası çıkış sıcaklığını, yanma odasına giren ve çıkan toplam enerji miktarları arasındaki farka bağlamaktadır.

$$\frac{dT_3}{dt} = \frac{\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_f \eta_f LHV - \dot{m}_3 h_3}{\tau_b \dot{m}_3 c_{p_3}} \tag{1}$$

Yanma odasından geçen akışın toplam basıncı, yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ve gerçekleşen yanma sonucu oluşan türbülans nedeni ile düşmektedir. Geliştirilen motor modelinde bu düşüş, giriş basıncının sabit bir yüzdesi olarak alınmaktadır.

Yüksek basınç türbinine giren gaz miktarı, türbinin sürekli olarak boğulma durumunda çalıştığı varsayımı yapılarak, boğulma durumunda çalışan bir türbinin içerisinden geçen gaz miktarını, tasarım noktasında (TN) hesaplanan debi miktarına göre veren Denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır. Yapılan varsayım, gerçek bir motorda yüksek basınç türbininde oluşan durumu doğru bir şekilde ifade etmek için yeterlidir.

$$\left(\dot{m}_3 \frac{\sqrt{T_3}}{P_3}\right)_{TN} = \dot{m}_3 \frac{\sqrt{T_3}}{P_3} \tag{2}$$

Yüksek basınç türbininden çıkan akışın termodinamik değişkenleri, türbin çıkışındaki toplam entalpi değerinin bulunması ile hesaplanmaktadır. Türbin içerisinden geçerek genişleyen akışın, türbini çevirmek için gerekli olan gücün üretilmesini sağlayan toplam entalpisindeki düşüş miktarı, türbinin basınç oranına göre türbinin performans haritası kullanılarak hesaplanmaktadır.

Yüksek basınç türbin modeli, kompresörden çekilen ve türbin pallerini soğutan havanın, türbin içerisindeki ana akışa katılmasını da hesaba katmaktadır. Soğuk ve sıcak akışların karışımı sonucu ana akışın toplam entalpi ve basınç miktarındaki düşüş, sabit bir azalma katsayısı ile modellenmiştir.

Düşük basınç türbin modeli, türbinden geçen akışın toplam entalpi değerindeki düşüşü ve bileşenden geçen akışın debi miktarını, türbinin ürettiği basınç oranına göre veren iki performans haritası kullanılarak geliştirilmiştir.

Motor dinamikleri, motorun ana bileşenleri arasına yerleştirilen odacıklar kullanılarak, bu odacıkların içerisindeki basıncın zamana göre değişimi hesaplanarak modellenmiştir. Basınç değişimi, ideal gaz denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilen ifade kullanılarak her bir zaman basamağında hesaplanmaktadır. Denklem (3) ile verilen bu ifade, odacık içerisindeki basıncın zamana göre olan değişimini, odacığın giriş ve çıkışındaki akış debi miktarları arasındaki farka bağlamaktadır.

$$\frac{d\left(P_{çıkan}\right)}{dt} = \frac{\gamma R T_{çıkan}}{V}\left(\dot{m}_{giren} - \dot{m}_{çıkan}\right) \tag{3}$$

Geliştirilen motor modelinde iki adet odacık kullanılmaktadır. Bunlardan ilki kompresör ve yanma odası, diğeri ise yüksek ve düşük basınç türbinleri arasında bulunmaktadır.

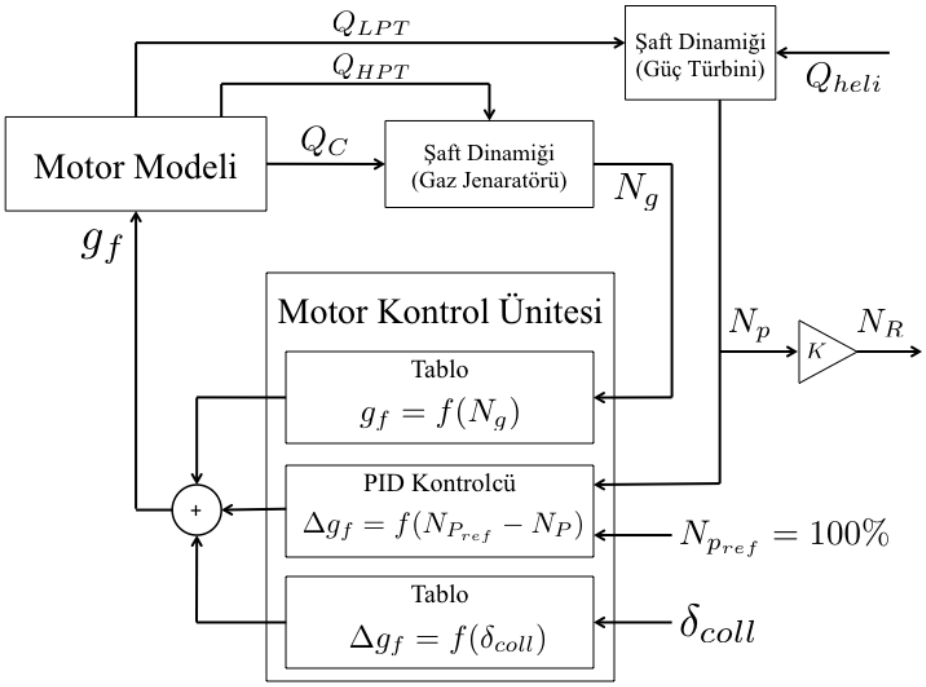
Geliştirilen T700 motor modelinde kullanılan performans haritaları [5]'ten alınmıştır.

2.2. Motor Modelinin Doğrulanması

Motor modeli, durağan ve geçiş durumlarında çalıştırılmış, alınan sonuçlar, [5]'te yer alan sonuçlar ile [3]'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, geliştirilen motor modelinin, GE'nin aynı motor için geliştirdiği model ile yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.

2.3. Motor Kontrol Ünitesi ve Motor Modeli Etkileşimi

Motor, elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Kontrol ünitesinin başlıca görevi, düşük basınç türbin dönü hızını %100 değerinde tutmaktır. Türbinin gerçek dönü hızı, referans değer ile karşılaştırılmakta, aradaki fark uygun bir kontrol kuralı ile yakıt debisine çevrilmektedir. Bu debi, motorun düzeltilmiş dönü hızına göre tablodan okunan düzeltilmiş yakıt debi miktarına eklenmektedir. Bu yakıt miktarına ek olarak, helikoptere verilen kolektif girdisinin yarattığı ek bir yakıt debisi sinyali de eklenmektedir. Bu, motora basılan son yakıt debi miktarını oluşturmaktadır. Geliştirilen motor kontrol ünitesinin motor ile etkileşimi Şekil 2'te gösterilmiştir.



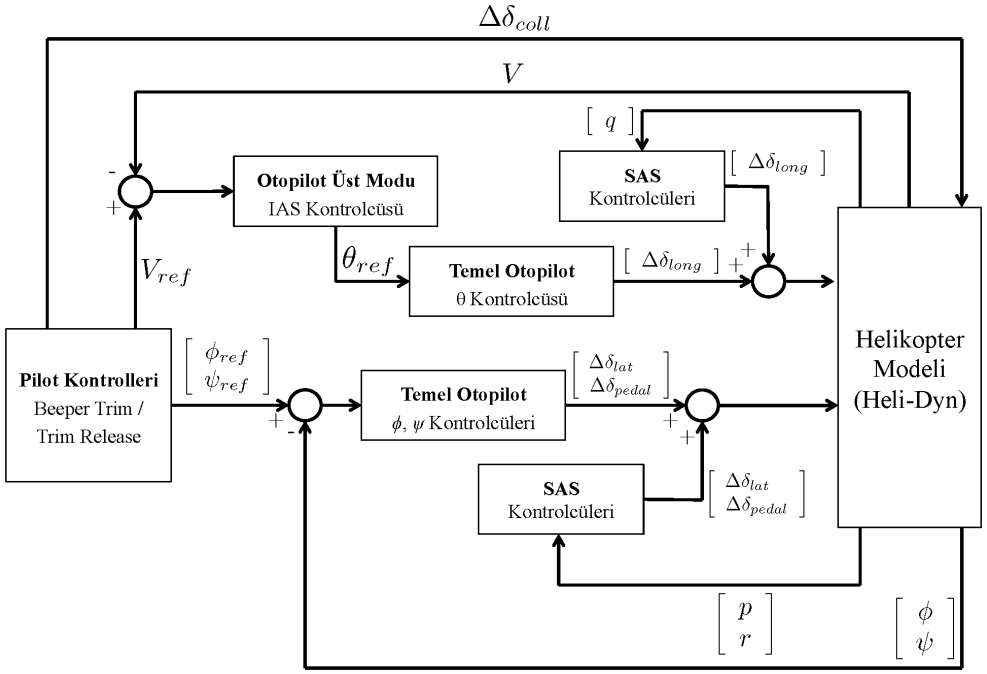
Şekil 2. Motor Sisteminin Genel Görünümü

3. HELİKOPTER DİNAMİK MODELİ

UH-1H genel maksat helikopter modeli, Heli-Dyn+ helikopter modelleme, simülasyon ve analiz programı kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen helikopter modelinde ana rotor, Peters-He iç akış modeli ve ikinci dereceden flap dinamiği ile modellenmiştir. Kuyruk rotoru için "Blade Element Momentum" teorisi kullanılmıştır. Gövde, düz plaka üzerine uygulanan sürükleme kuvveti yöntemi ile modellenmiştir. Kalan aerodinamik yüzeyler, ilk dereceden aerodinamik model kullanılarak benzetilmiştir.

Helikopterin kontrolü, kararlılık artırma sistemi (SAS) ve temel otopilot tarafından sağlanmaktadır. Otopilotun en iç döngüsünde bulunan SAS, helikopterin açısal hızlarını sönümlemek için kullanılmaktadır. SAS kontrolcüsünün üst modu olan temel otopilot sistemi, helikopterin açısal konumunu, kontrol kanalları aracılığı ile pilot tarafından beslenen referans açılara getirmek için kullanılmaktadır. Temel otopilot sisteminin bir üst modu olan ve helikopterin ileri hızını kontrol eden bir diğer kontrolcü, ileri hızı 100 ft/s değerinde tutmak için kullanılmaktadır.

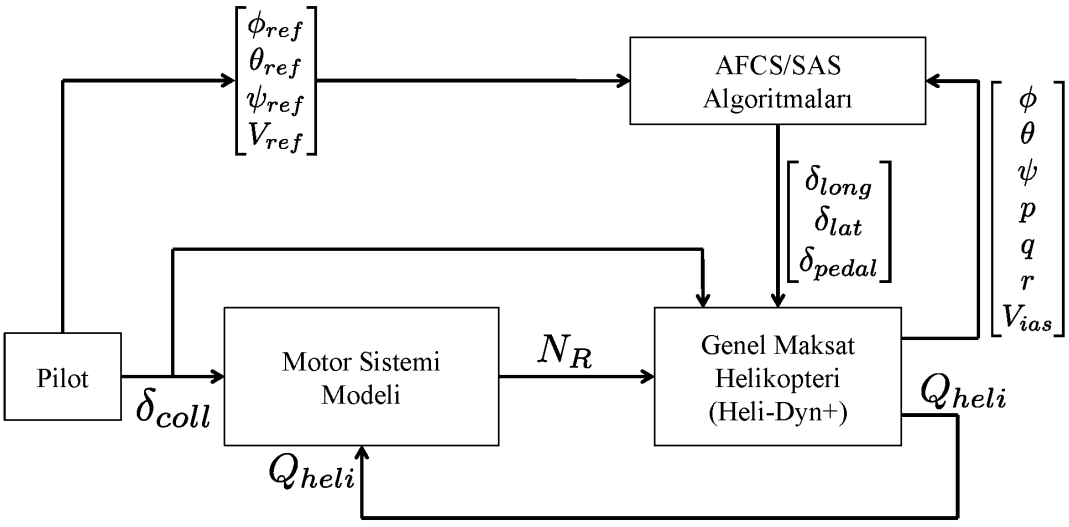
Geliştirilen SAS ve temel otopilot sisteminin helikopter ve pilot ile etkileşimi Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. SAS ve Temel Otopilot Sistemi Blok Diyagramı

4. HELİKOPTER-MOTOR SİSTEMİ ETKİLEŞİMİ VE SİMÜLASYON SONUÇLARI

Geliştirilen helikopter-motor simülasyon ortamı Şekil 4'de gösterilmektedir. T700 motor modeli, SAS ve temel otopilot tarafından kontrol edilen genel maksat UH-1H helikopter modeli ile düşük basınç türbin hızı, helikopter modelinin ana ve kuyruk rotorlarının toplam tork ihtiyacı ve pilotun kolektif girdisi üzerinden entegre edilmiştir.



Şekil 4. Simülasyon Blok Diyagramı

Düşük basınç türbin dönü hızı, türbinin ürettiği tork ile şaft üzerine binen toplam yükün oluşturduğu tork miktarı arasındaki farkın bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon, Denklem (4) ile verilmektedir.

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{J}(Q_T - Q_{AR} - Q_{KR}) \tag{4}$$

Helikopter modelinin toplam tork ihtiyacı, Denklem (4)'te motorun ürettiği tork miktarı ile karşılaştırılmakta, aradaki fark şaft dönü hızına çevrilmektedir. Hesaplanan şaft dönü hızı, uygun redüksiyon oranları kullanılarak ana ve kuyruk rotor hızlarını vermekte, böylece rotorlar tarafından üretilen itki miktarını, dolayısı ile de rotorların ihtiyacı olan toplam güç miktarını etkilemektedir. Bu döngü sayesinde motor ve helikopter modelleri arasında sürekli bir etkileşim sağlanmaktadır.

Motor ve helikopter modellerini bağlayan bir diğer değişken, pilotun helikoptere verdiği kolektif açısıdır. Bu girdi, helikoptere, helikopterin SAS ile temel otopilot sistemine ve son olarak motor kontrol ünitesine beslenmektedir. Böylece, kolektif açısının değişmesi ile helikopterin ihtiyaç duyduğu tork miktarının değişmesi ve bu değişimin Denklem (4) ile şaft dönü hızına aktarılmasından hemen önce, motora önceden yakıt beslemesi olarak iletilebilmektedir.

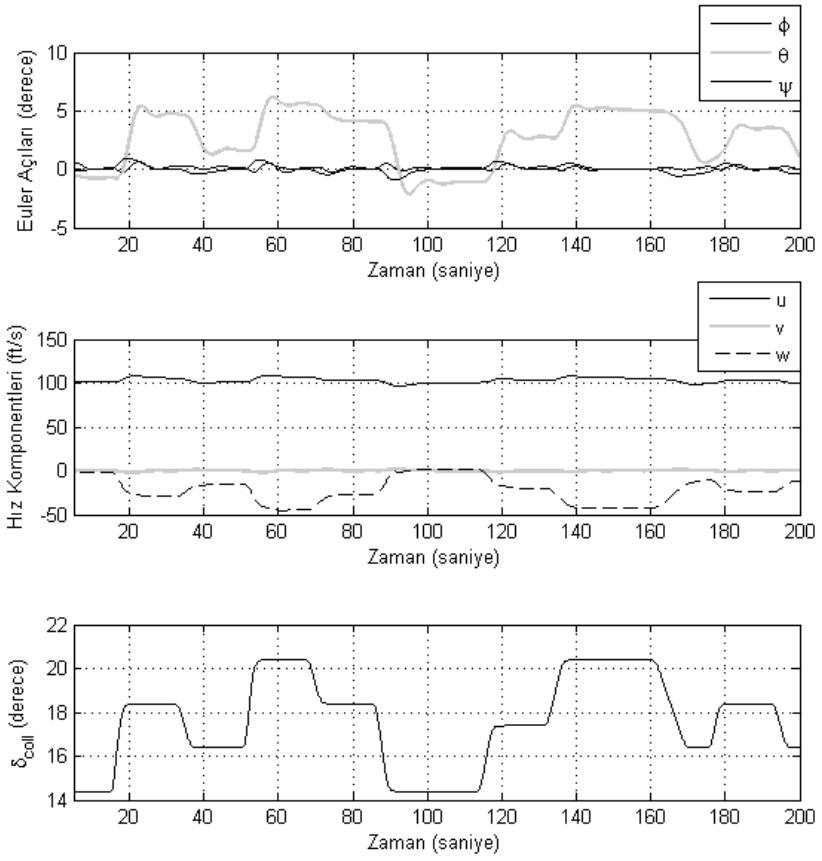
Geliştirilen helikopter-motor simülasyon ortamı, helikopter modeline kolektif girdisinin verildiği bir simülasyonda kullanılmıştır. Simülasyona verilen kolektif girdisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Helikopterin, kolektif girdisine olan tepkisi Şekil 5'in ilk iki grafiğinde Euler açıları ile hız bileşenleri cinsinden gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, geliştirilen temel otopilot, helikopteri 100 ft/s ileri, 0 ft/s yanal hızda, açısal durum kontrolcüsü ise helikopteri, yunuslama açısı dışındaki tüm kanallarda 0 derecede tutmaktadır.

Helikoptere beslenen kolektif girdisine motorun tepkisi Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafik 3'te görüldüğü gibi, motor kontrol ünitesi, düşük basınç türbin dönü hızını, hedef değer olan %100 dönü hızında tutmaktadır.

Denklem (4) ile ifade edildiği üzere, helikopter modelinin toplam güç ihtiyacının, motor modelinin sağladığı güç miktarını aştığı durumlarda düşük basınç türbini dönü hızının azalması, ihtiyaç duyulan güç miktarının motorun ürettiğinden az olması durumunda ise türbin dönü hızının artması beklenmektedir. Bu, gerçek bir helikopter sisteminde oluşan ve pilotların gözlemledikleri değişimden farklıdır: güç ihtiyacının artması ile türbin şaft dönü hızı artmakta, tersi durumda dönü hızı azalmaktadır. Söz konusu dinamik, motora önceden beslenen yakıt debisi sinyalinin, Şekil 2'de gösterildiği gibi kolektif açısının bir fonksiyonu olarak iletilmesi ile sağlanmaktadır. Söz konusu fonksiyonun önceden yakıt sinyali ürettiği, Şekil 6'da grafik 3 ve 4'te gösterilmektedir. Grafik 4'te görüldüğü üzere, helikopter modeli güç ihtiyacının yüksek olması durumunda motora önceden basılan yakıt debisi sinyali, şaft dönü hızının ilk başta artmasına neden olmaktadır. Bu artış daha sonra motor kontrol ünitesi tarafından azaltılmakta ve şaft dönü hızı %100

değere getirilmektedir. Böylece, geliştirilen motor kontrol ünitesi, manevra esnasında gerçek bir helikopterde oluşan rotor dinamiklerinin doğru bir şekilde benzetilebilmesini sağlamaktadır.

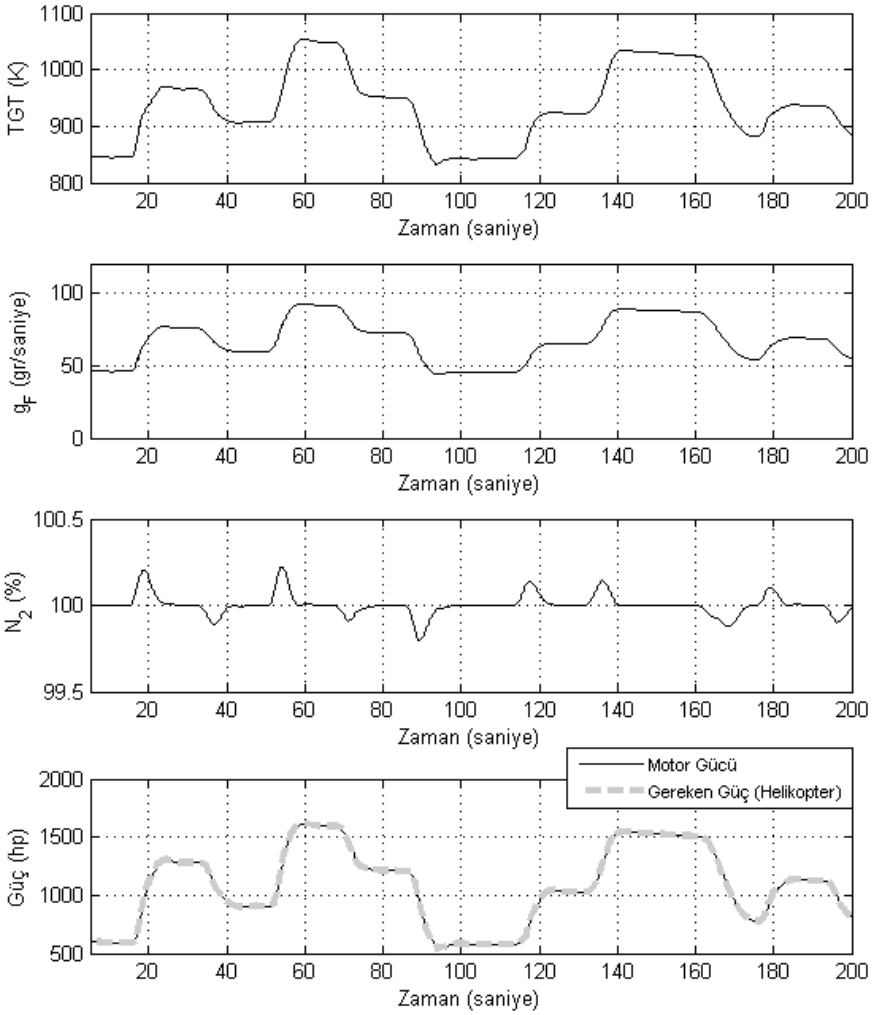
Şekil 6 grafik 1'de gösterilen yüksek basınç türbin çıkış sıcaklığı, grafik 2'de gösterilen yakıt debi miktarı değişimi ile benzer bir şekilde değişmektedir. Bu, Denklem 3 ile ifade edilen yanma odası çıkış sıcaklığının doğrudan yakıt miktarına bağlantılı olmasının bir sonucudur.



Şekil 5. Helikopter Durum Değişkenleri ve Kollektif Girdisi

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada, aerotermodinamik modelleme yöntemi kullanılarak modellenen GE T700 turboşaft motoru, genel maksat UH-1H helikopter modeli ile entegre edilmiştir. Entegrasyon, şaft dinamiği denklemi kullanılarak yapılmıştır. Helikopter modelinin bir SAS ve temel otopilot sistemi, motorun ise bir motor kontrol ünitesi tarafından kontrol edildiği örnek simülasyon durumunda, motor modelinin helikopter modeline, gerçek bir helikopter sisteminde görülen dinamiklerin elde edildiği bir şekilde entegresinin başarı ile sağlandığı gösterilmiştir.



Şekil 6. İtki Sistemi Durum Değişkenleri

6. KAYNAKÇA

[1] Yılmaz, D. (2008), Evaluation and Comparison of Helicopter Simulation Models with Different Fidelities, MS Thesis, Middle East Technical University.

[2] Walsh P. P. ve Fletcher P. (1998), Gas Turbine Performance, Blackwell Science Ltd, Oxford.

[3] Novikov, Y., Kutay, A. T. ve Uzol, O. (2012), Helikopter Turboşaft Motorlarının Aerotermal Modellemesi ve Uygulamaları, *SAVTEK 2012*, Ankara, Türkiye.

[4] Yavrucuk, I., Tarımcı, O., Katırcıoğlu., M., Kubalı, E. ve Yılmaz, D. (2010), A New Helicopter Simulation and Analysis Tool: Helidyn+, *In Proceedings of the Thirty-Sixth European Rotorcraft Forum*, Paris, Fransa.

[5] Ballin, M. G. (1988), A High Fidelity Real-Time Simulation of a Small Turboshaft Engine, NASA-TM-100991.

HELİKOPTER OTOPİLOTLARI İÇİN YAKLAŞMA ÜST MODU TASARIMI VE SİMÜLASYONU

Gönenç Gürsoy [(a)], Onur Tarımcı [(b)], İlkay Yavrucuk[(c)]

[(a,b)] Aerotim Mühendislik, ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar, Ankara

gursoy@aerotim.com.tr, tarimci@aerotim.com.tr

[(c)] ODTÜ Havacılık ve Uzay Müh. Bölümü, Ankara,

yavrucuk@metu.edu.tr

ÖZ

Helikopter uçuş kontrol sistemi üst modları/fonksiyonları pilotlara manevralarında kolaylık sağlayan otopilot algoritmalarıdır. Bu makalede otopilot üst modları tasarımı için gerekli olan otopilot bileşenleri özetlenip, otopilot alt modları da dahil edilerek örnek bir üst mod olan yaklaşma üst modu tasarımı yapılmış ve simülasyon ortamında gösterilmiştir. Otopilot üst mod tasarım sürecinde yüksek gerçeklik seviyesinde helikopter modelleri sunan ve bu makale yazarlarının da dahil olduğu bir grup tarafından geliştirilen Heli-Dyn yazılımı helikopter modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Bu yazılımdan elde edilen helikopter modellerine Matlab/Simulink ortamında geliştirilen üst ve alt otopilot modları entegre edilmiştir. Üst mod senaryoları FlightGear ortamı kullanılarak görsellenip, simülasyon sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Otopilot, AFCS, SAS, Helikopter, Yaklaşma

DEVELOPMENT AND SIMULATION OF APPROACH UPPER MODE FOR HELICOPTER AFCS

ABSTRACT

Upper modes of a helicopter control system are used for eased maneuvering of the aircraft. In this article the components required to design the upper modes for a helicopter's automatic flight control system is described. The Approach upper mode is developed in Matlab/Simulink using a helicopter model build in Heli-Dyn, a software for high-fidelity modeling of rotary wing aircraft. Presented are the results of simulations performed using the developed upper mode routines. Real-time simulations are performed using FlightGear.

Keywords: Autopilot, AFCS, SAS, Helicopter, Approach

1. GİRİŞ

Otopilotlar hem sabit kanatlı hem döner kanatlı hava araçlarında bulunan ve pilotlara uçuş sırasında çeşitli kolaylıklar sağlayan sistemlerdir.

Helikopter gibi döner kanatlı araçların otopilotları genelikle alt ve üst modlardan oluşur. Alt modlar, helikopterin kullanımını kolaylaştıran, genellikle açısal konum ve açısal hız bilgilerini kullanan modlardır. Otopilot alt modlarının en bilinen örneği *Stability Augmentation System* (SAS) adı ile bilinen, kararlık artıma sistemidir. SAS sistemleri çoğunlukla, bir helikopterin açısal hızlarını sönümlemeye yardımcı olup, dinamik kararlılığını artıran ve sonuçta pilota kullanım rahatlığı sağlayan otopilot alt modlarıdır. Bir başka alt mod örneği ise Temel Otopilot ya da İngilizce adı ile *Basic AFCS* olarak bilinen helikopterin açısal durumunu kontrol etmeye yarayan modlardır.

SAS ve Temel Otopilot alt modlarını kullanan ve hız, irtifa kontrolü ya da yol takibi gibi işlevleri yerine getiren modlar ise genel olarak otopilot üst modları olarak bilinirler. Üst mod ve alt modların birbirleriyle etkileşimli kullanımları [1] ve [2]'de gösterilmiştir. Üst modların bilinen bir örneği, yaklaşma/iniş (Approach) manevralarıdır. Yaklaşma manevraları, genellikle, zor hava koşullarında (düşük görüş mesafesi, yere yakın tozlu/karlı iniş noktaları, değişken rüzgar koşulları gibi) helikopteri iniş yapacağı yere yaklaştırmak, isteniyorsa da otomatik olarak askı konumuna getirmek için kullanılır. Yaklaşma modları pilotlara belirli bir noktaya yaklaşmaları (alçalıp yavaşlama) için kolaylık sağlar. Üst modların sıkca kullanıldığı bir diğer örnek özellikle arama-kurtarma helikopterlerinde bulunması beklenen ve arama-kurtarma manevralarını otomatik hale getiren üst modlardır. Bunlar özellikle arama-kurtarma operasyonları için gerekli olan yol takibi ya da bir noktaya yaklaşma gibi işlevleri yerine getirmek için kullanılırlar. Üst modlar, otopilot alt sistemleri olarak bilinen SAS ve Temel Otopilot algoritmalarının da beraberinde kullanımını gerektirir.

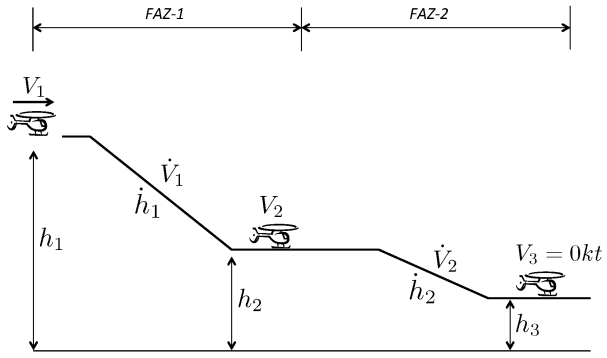
Bu bildiride, yaklaşma modlarının tasarımı için gerekli olan otopilot alt ve üst modları özetlenip, alt modların da dahil edildiği örnek bir yaklaşma mod olan yaklaşma üst modu tasarımı yapılmış ve simülasyon ortamında gösterilmiştir. Helikopter modeli oluşturmak için yüksek gerçeklik seviyesinde helikopter modelleri sunan ve *Aerotim Mühendislik* tarafından geliştirilen Heli-Dyn yazılımı helikopter modeli oluşturmak için kullanılmıştır. Bu yazılımdan elde edilen helikopter modellerine Matlab/Simulink ortamında geliştirilen üst ve alt otopilot modları entegre edilmiştir. Alt modların tasarımında Heli-Dyn yazılımının trim ve doğrusallaştırma algoritmaları kullanılmıştır. Üst mod senaryoları FlightGear ortamı kullanılarak görsellenip, simülasyon sonuçları sunulmuştur.

2. YAKLAŞMA ÜST MOD TASARIMI

Yaklaşma modu, alçalma ve yavaşlama manevralarının aynı anda yapıldığı modlardır. İlerleyen kısımlarda yaklaşma ve yükselme senaryolarına ve bu senaryoları gerçekleyebilecek otopilot üst ve alt modları tasarımına odaklanılmıştır.

2.1. İniş için Yaklaşma Senaryoları

Yaklaşma senaryolarının bir örneği Şekil.1'de gösterilmiştir. Yaklaşma manevrasını iki bölüme ayırmak mümkündür. Yaklaşmanın ilk bölümünde helikopter otomatik olarak belirli bir işari hıza yavaşlatılıp uygun yüksekliğe alçaltılır. Bu yaklaşma manevrası belirli bir alçalma profili içerisinde gerçekleşebilir. Yaklaşma profili uygun bir alçalma hızı, $\dot{h}_1$, ve yavaşlama oranı, $\dot{V}_1$ ile tanımlananır.

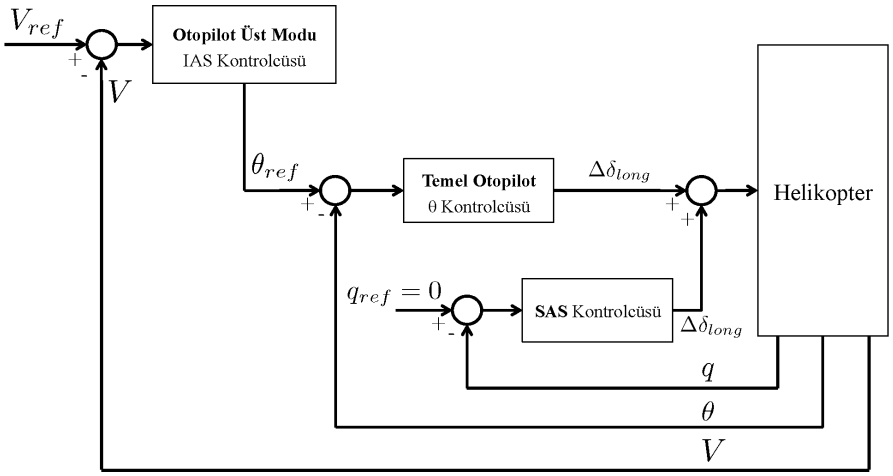


Şekil 1. Yaklaşma Senaryosu

Yaklaşmanın ikinci kademesinde helikopter işari hızından (V_2) askı durumuna yavaşlatılıp, yere daha da yakın bir yüksekliğe alçaltılmaktadır (Şekil-1). Bu esnada ilk kademedeki gibi istenen bir alçalma ve yavaşlama oranı yaklaşma profilini belirler. Pilot istediği koşulda son yaklaşma yüksekliğini (h_3) ayarlayabilmektedir. Bu sayede rahat görüşü kazanacağı yüksekliğe göre yaklaşma modu askı irtifası ayarlanabilir.

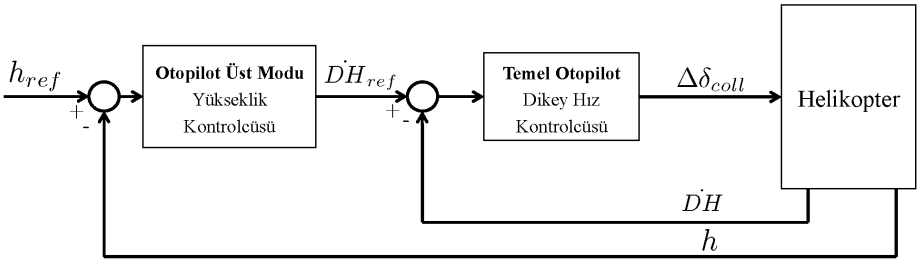
2.2. Yaklaşma Kontrolcüleri Tasarımı

Yaklaşma manevrası yavaşlama ve alçalmanın aynı anda olduğu bir manevra olduğundan, ilk olarak, komut edilen yavaşlama oranını sağlayacak bir kontrol algoritmasına ihtiyaç duyulur. İşari hızın (IAS) istenen hızda tutulması istendiğinden hız kontrolünü yapabilecek bir algoritma, doğru referans sinyali ile bu yavaşlamayı yapabilir. Şekil.2'de hız kontrolünü yapabilecek kontrol algoritması gösterilmiştir. Bu algoritmada işari hız kontrolcüsü, alt modu olan yunuslama açısı (θ) kontrolcüsüne referans değeri göndermekte, istenen hız değerine yunuslama açısı kontrol edilerek ulaşılmaktadır. SAS kontrolcüsü de Temel Otopilot ile paralel çalışmaktadır. Temel Otopilot ve SAS çıktıları boylamsal saykılık kanalına beslenmektedir.



Şekil 2. Yaklaşma Modları için İşari Hız Kontrolü Mimarisi (Boylamsal Saykılık Kanalı)

Yüksekliğin belli bir yüksekliğe getirilip orada tutulması istendiğinden yerden yüksekliği kontrol edebilecek bir algoritma, doğru referans sinyali ile bu alçalmayı yapabilir. Şekil.3'de yer yüksekliği (h) kontrolünü yapabilecek kontrol algoritması gösterilmiştir. Bu algoritmada yükseklik kontrolcüsü, alt modu olan dikey hız (DH) kontrolcüsüne referans değeri göndermekte, istenen yükseklik değerine dikey hız kontrol edilerek ulaşılmaktadır. Dikey hız kontrolcüsü kollektif kanalına beslenmektedir.

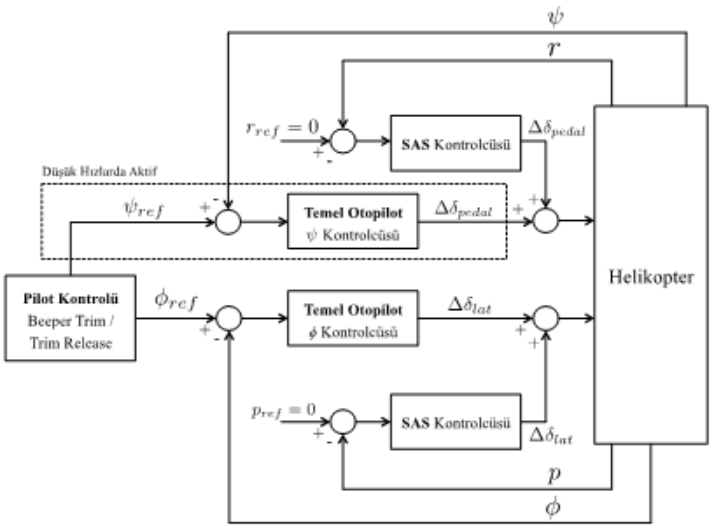


Şekil 3. Yaklaşma Modları için Yükseklik Kontrolü Mimarisi (Kollektif Kanalı)

Şekil.2 ve 3'te sunulan otopilot algoritmaları yaklaşma manevrasının boylamsal parametrelerini (hız ve irtifa) boylamsal saykılık ve kollektif ile kontrol etmeyi amaçlamaktadır.

Yaklaşma manevrası her ne kadar boylamsal bir manevra gibi gözükse de, bu manevra sırasında, helikopterin yanal eksende de kontrollü bir şekilde tutulması gerekmektedir, zira helikopterlerde bu iki ekseni birbirinden bağımsız kontrol etmek mümkün değildir. Özellikle, yaklaşma manevrasının ilk kısmında helikopteri yana yatırarak dönüş yapıp helikopteri iniş boylamının rotasına oturtmak genel bir kullanımdır. Helikopteri yana yatırmak için pilot kontrolleri tarafından verilen yana yatış açısı referansı, ϕ_{ref}, Temel Otopilot'a referans olarak verilir (Şekil 4). Temel Otopilot, Faz-1 sırasında istenen yana

yatış açısında (ϕ) helikopteri muhafaza ederken, boylamsal kanalda da Şekil 2 ve 3'teki kontrol algoritmaları, helikopteri istenen hıza ve yüksekliğe ulaştırabilir. Düşük hızlarda ise, özellikle Faz-2 aşamasında, yana yatış açısına ek olarak baş açısı (ψ) kontrolü de manevra yapmayı ve istenen noktaya ulaşmayı kolaylaştırır. Bu bildirideki simülasyonlarda kullanılan yanal eksen kontrolcüleri ve pilot etkileşimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yaklaşma Modları için Yatış Açısı ve Baş Açısı Kontrolü Mimarisi (Yanal Saykılık ve Pedal Kanalları)

Kontrolcü tasarımlarının tamamında doğrusallaştırılmış helikopter modeline ihtiyaç vardır. Bu model yardımı ile doğrusal kontrolcu katsayıları klasik kontrol yöntemleri ile hesaplanmaktadır. Doğrusal olmayan helikopter modelini denge noktası etrafında doğrusallaştırmak için Heli-Dyn yazılımı kullanılmıştır.

3. HELİKOPTER MODELLEMESİ VE SİMÜLASYON ORTAMI

Şekil 2, 3 ve 4'te gösterilen otopilot algoritmaları Heli-Dyn yazılımı kullanılarak oluşturulan helikopter modeli üzerinde geliştirilmiştir. İlerleyen alt başlıklarda, Heli-Dyn ile helikopter modellemesi ve bu bildirideki simülasyon senaryolarının koşturulduğu simülasyon ortamı kısaca anlatılmıştır.

3.1. Helikopter Dinamik Modeli

Bu bildiride sunduğumuz çalışmada helikopter modeli Heli-Dyn yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Heli-Dyn helikopter modellerinin oluşturulmasında, denge noktalarının bulunmasında, doğrusallaştırılmasında, analiz edilmesinde ve simülasyonlarının yapılmasında kullanılan bir yazılımdır [3].

Heli-Dyn, helikopteri oluşturan ana unsurları bir araya getirerek (component build-up) doğrusal olmayan 6 serbestlik dereceli simülasyon modelini oluşturur. Model kütüphaneleri ana rotor, kuyruk rotoru, gövde ve iniş takımları gibi her bir helikopter bileşeni için kullanılır. Bileşen kütüphaneleri geometrik, ataletsel ve bazı temel aerodinamik parametrelere ihtiyaç duyar. Örnek vermek gerekirse, ana rotorun modellemesi için yarıçap, kord, pervane göbeğinin pozisyonu (hub position), pal burulması, palin kanat profili vb... gibi parametrelere ihtiyaç duyulur. Bu parametreler programa girildikten sonra kullanıcı, helikopter modelinin denge noktalarını bulabilir, modeli doğrusallaştırabilir ya da helikopterin performans karakteristiklerini inceleyebilir. Heli-Dyn'nın en önemli özelliklerinden biri, oluşturulan helikopter modellerinin MATLAB, C ve C++ gibi ortamalara aktarılabilmesidir. Modeli dışarı aktarma fonksiyonu, oluşturulmuş modeli C++ ve MATLAB/Simulink yazılım ortamlarına .dll ve konfigürasyon dosyaları olarak gönderir. Genel kullanım, helikopter modelini dışarı aktarmak ve MATLAB/Simulink ortamında geliştirilmiş olan kontrolcü algoritması ile birleştirmektir. Bunun ötesinde model, FlightGear [4] gibi görsel bir simülasyon ortamına da entegre edilebilir.

Bu çalışmada UH-1H genel maksat helikopteri örnek alınmıştır. UH-1H verileri[5] kullanılarak Heli-Dyn ile model geliştirilip, geliştirilen model Simulink ortamına aktarılmıştır. Ana rotor, "Peters-He Finite State Dynamic Wake" [6] modeli kullanılarak modellenirken, kuyruk rotoru pal elemanı momentum teorisi kullanılarak modellenmiştir. Gövde modellemesi için düz levha sürükleme alanı (flat plate drag area) kullanılmıştır.

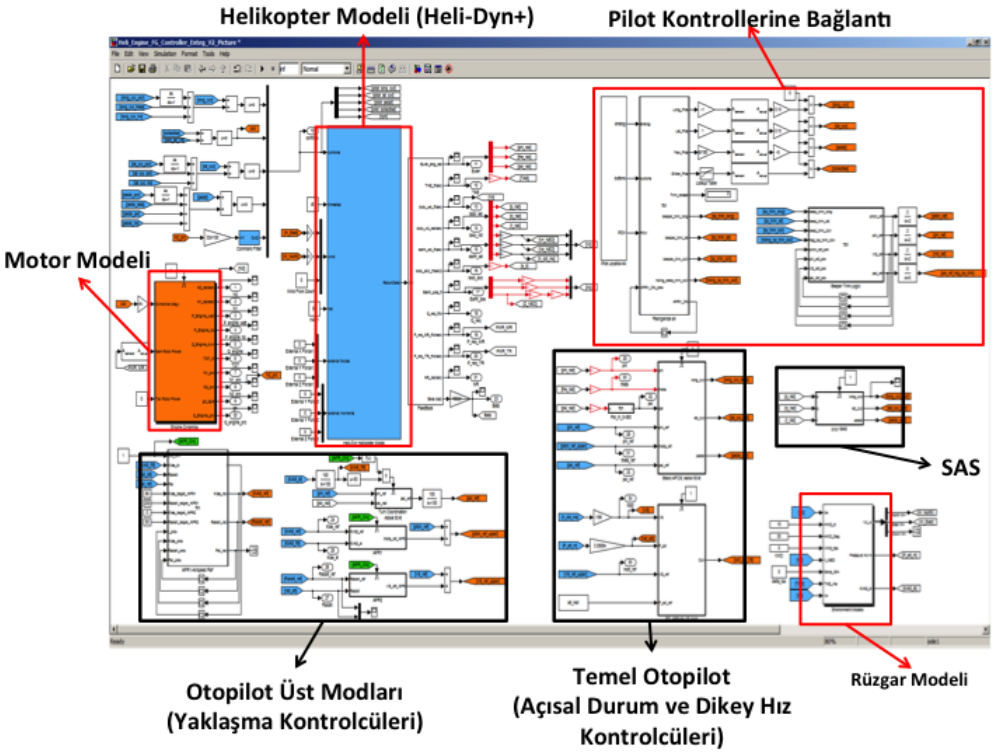
3.2. Simülasyon Ortamı

Simülasyon ortamı Matlab/Simlink olarak seçilmiş, tüm algoritma geliştirme süreçleri bu ortamda yapılmıştır. Şekil.5'te tüm model kütüphanelerinin bulunduğu Simulink ortamı gösterilmiştir. Simülasyon ortamında Heli-Dyn kullanılarak oluşturulan helikopter modeli, motor dinamik modeli[7], bu bildiri kapsamında geliştirdiğimiz Otopilot üst modları, Temel Otopilot algoritması, SAS bloğu, rüzgar modeli ve pilot kontrollerine bağlantı algoritmaları gösterilmektedir. Bir sonraki bölümde Şekil.5'te ki simülasyon ortamı kullanılarak elde ettiğimiz yaklaşma manevralarının simülasyon sonuçları sunulmuştur.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, geliştirilen otopilot algoritmaları kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları sunulmaktadır. Heli-Dyn yazılımı kullanılarak helikoper modelinin 1000 ft 100 knot işari hızda denge noktası bulunmuştur. Simülasyonlar bu denge noktasından başlatılmıştır. Sonrasında pilot, yavaşlama komutunu aktive etmektedir.

Yaklaşma senaryosunun simülasyon sonuçları Şekiller 6,7,8,9 ve 10'da gösterilmiştir. Şekil 6'da üst mod kontrolcülerinin işari hız ve yüksekliği Faz-1 boyunca nasıl kontrol etiğini, Şekil 7'de ise alt mod kontrolcülerinin referans sinyallerine olan cevapları gösterilmiştir. Bu simülasyonda yaklaşık 120. saniyede 150 ft ve 70 knot koşulları sağlanıp Faz-1 bölümü bitirilmiştir. 140. saniye civarında Faz-2 komutu verilmiş, yaklaşık 210. saniyede askı durumu şartları, 30 ft ve 0 knot, sağlamıştır. Faz-1ve Faz-2 boyunca helikopter denge noktasındaki yatış açısında tutulmaya çalışılmıştır (Şekil 10). Faz-2 kısmında ayrıca pedal ile Faz-2 başındaki baş açısı kontrol edilmiştir (Şekil 8). Böylece düşük hızlarda kontrollü bir şekilde yavaşlama sağlanmıştır. Yaklaşma senaryosu süresince kontrolcüler tarafından uygulanan kontrol sinyalleri ise Şekil 9'da gösterilmiştir.



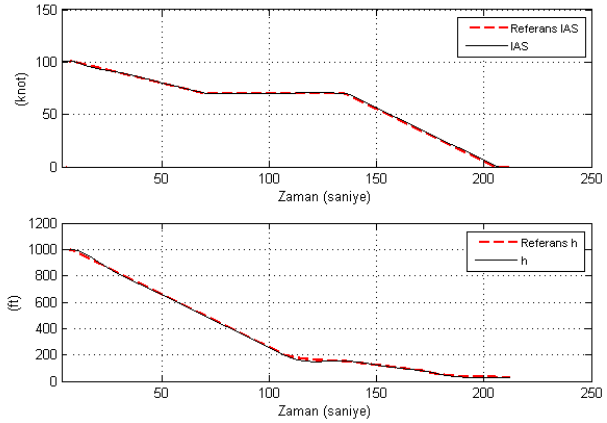
Şekil 4. Matlab/SIMULINK Ortamında Geliştirilen Simülasyon Ortamı

5. SONUÇ

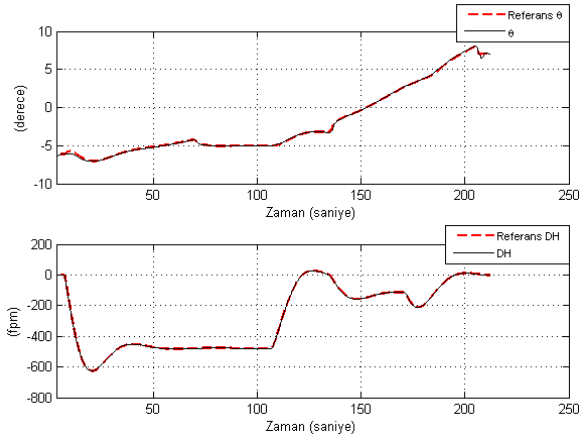
Bu makalede, bir helikopterin otopilot üst modları için örnek bir algoritma tasarımı yapılmıştır. Yaklaşma modları tasarım sürecinde, Heli-Dyn yazılımı yüksek gerçeklik seviyesinde helikopter modelleri oluşturmak için kullanılmıştır. Bu yazılımdan elde edilen helikopter modelleri Matlab/Simulink ortamında üst ve alt otopilot modlarının modellenmesi için kullanılmıştır. Üst mod senaryoları FlightGear ortamı kullanılarak görsellenip, geliştirilen algoritmaların arama-kurtarma helikopterlerinde bulunan ve

arama-kurtarma operasyonları için kullanılan algoritmalara birer örnek teşkil edebileceği sunulmuştur.

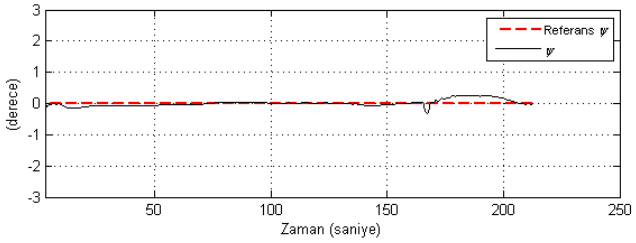
Gerek Heli-Dyn kullanımı gerekse Matlab/Simulink uygulaması tasarımı kolaylaştırmış ve hızlandırmıştır.



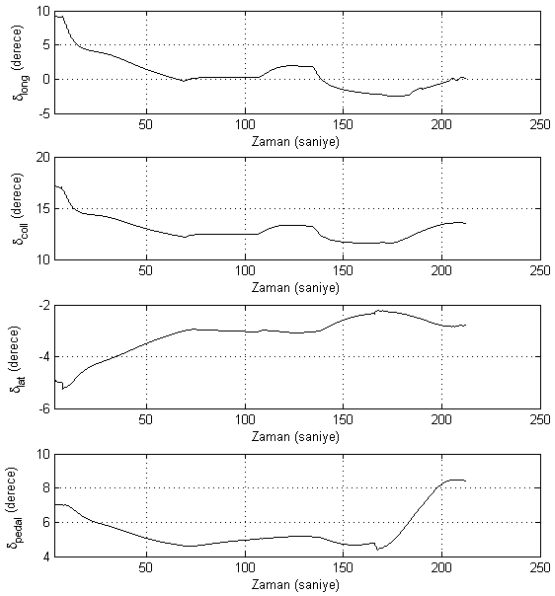
Şekil 5. İşari Hız (IAS) ve Yükseklik (***h***) Kontrolü (Üst Mod)



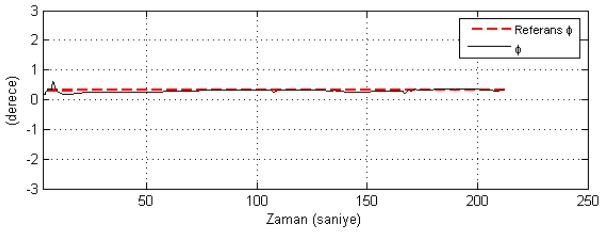
Şekil 6. Yunuslama Açısı (***θ***) ve Dikey Hız (DH) Kontrolü (Alt Mod)



Şekil 8. Yaklaşma Senaryosu, Baş Açısı (***ψ***) Kontrolü (Alt Mod)



Şekil 9. Helikopter Kontrolleri



Şekil 10. Yana Yatış Açısı (ϕ) Kontrolü (Alt Mod)

6. KAYNAKÇA

[1] Tarimci, O., ‘‘Adaptive controller applications for rotary wing aircraft models of varying simulation fidelity’’, METU Thesis, 2009.

[2] Tarimci, O., Yilmaz, D. and Yavrucuk, I., "On the Level of Center of Gravity Modeling Error in Neural Network Based Adaptive Controller Design", 34th European Rotorcraft Forum Liverpool, UK, September 2008

[3] Yavrucuk, I. Tarimci, O., Katircioglu., M., Kubali, E., Yilmaz, D., “A new Helicopter Simulation and Analysis Tool: Helidyn+”, September 2010, In Proceedings of the Thirty-Sixth European Rotorcraft Forum, Paris, France.

[4] www.flightgear.org

[5] Chen, R.T.N., “A simplified rotor system mathematical model for piloted flight dynamics simulation,” NASA Report TM 78 575, 1979.

[6] Peters, D. A., He, C. J., “Finite-State Induced-Flow Model for Rotors in Hover and Forward Flight,“ 43rd Annual National Forum of the American Helicopter Society, 1987.

[7] Novikov, Y., Kutay, A. T. ve Uzol, O. (2012), Helikopter Turboşaft Motorlarının Aerotermal Modellemesi ve Uygulamaları, *SAVTEK 2012*, Ankara, Türkiye.

FLIR GÖRÜNTÜLERİNDE KALMAN FİLTRE KULLANILARAK HEDEF TAKİBİ

Hakan ERTEM [a] **Engin SARITAŞ**[a] **Hakan KARAPINAR** [a]

[a)] Havelsan A.Ş., Simülasyon ve Eğitim Sistemleri Grup Başkanlığı Ankara,
hertem@havelsan.com.tr esaritas@havelsan.com.tr hakank@havelsan.com.tr

ÖZ

Günümüzde pek çok kara hava ve deniz platformunda kullanılan FLIR (Forward Looking InfraRed) sensör verileri bu platformların simülatörlerinde de modellenmektedir. FLIR görüntülerinin modellenmesinin yanı sıra bu görüntüler üzerinde çalışan hedef takip sisteminin de simüle edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada uçuş simülatörleri FLIR görüntülerinde kullanılabilecek genel bir hedef izleme sistemi konu edilmiştir. Sistem öncelikle Uyumlu eşikleme metodu ile görüntüdeki hedef adaylarını belirler. Morfolojik operatörler sayesinde yanlış tespit olabilecek pikseller temizlenir. Daha sonra izlenmek istenilen hedef, kullanıcı tarafından hedef adayları arasından seçilerek işaretlenir. İşaretlenen hedefin devam eden görüntülerdeki konumu Kalman filtre ile tahmin edilir. Belirlenen muhtemel konum çevresindeki pencerede yeniden eşikleme yapılarak hedef tespit edilir. Yapılan denemelerde sistemin gözlem verileri yüksek gürültülü olduğu durumlarda dahi hedefi başarılı şekilde tespit ve takip ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: FLIR, Hedef Takibi, Hedef Tespiti, Kalman Filtre, Uyumlu Eşikleme

TARGET TRACKING IN FLIR IMAGERY USING KALMAN FILTER

ABSTRACT

FLIR imagery, used in various air, land and sea platforms, is also modeled in these platforms simulators. Besides the modeling of FLIR images, the target tracking system to work on them is need to be simulated. In this project a generic target tracking system to be used on FLIR imagery is presented. The system performs adaptive thresholding to detect target candidates in the whole image. By using morphological operators, false

positives are removed. The target to be tracked is selected among the target candidates by user interaction. The position estimate of the target for the next frame is acquired by using Kalman filter. Target is detected again by re-applying adaptive filtering on the window around the estimated target position. Experiments have shown that the system succesfully detects and tracks the target, with observations with high noise.

Keywords: Adaptive Thresholding, FLIR, Target Detection, Target Tracking

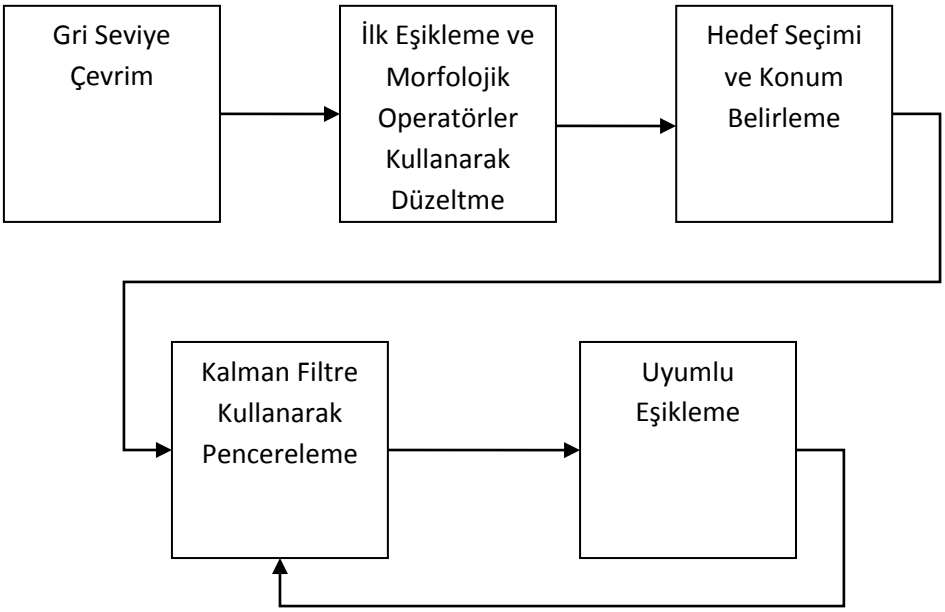
1. GİRİŞ

Hedef tespit ve takibi, gözetleme [1],[2] içerik tabanlı video sıkıştırma ve sorgulama[3],[4] artırılmış gerçeklik[5] gibi birçok bilgisayarlı görme ve yapay zekâ uygulamaları için önemli bir adımdır. Hava platformlarında FLIR görüntüleri gece görüş ve akıllı mühimmatın kullanılmasına yönelik tespit ve takip işlemlerinde kullanılmaktadır. Uçuş ve taktik eğitim kapsamında bu işlemin uçuş simülatörlerinde de taklit edilmesi gereklidir. Hedef tanıma sistemleri ağır arka zemin karışıklığı ve parazitin olduğu durumlarda dahi hareketli hedefleri saptamayı ve tanımayı ele alır. FLIR görüntülerinde, hedef görüntüsünün arka planla olan düşük karşıtlığı, nesnelerin aydınlanmalarındaki farklılıklar, sensörün uygun görüntüyü her zaman elde edememesi gibi sorunlar hareketli veya sabit hedef tespit ve takibini zorlaştırmaktadır. Hedef takip algoritmaları genellikle hedefin kabul edilebilir seviyede sinyal gürültü oranına sahip olduğunu kabul ederler. Uyumlu eşikleme imge bölütleme ve nesne tanıma amaçlı kullanılan en temel ve hızlı yöntemlerden biridir.[6][7][8]Kalman Filtre radar hedef takip uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır[9][10]. Bu projede uyumlu eşikleme sonucunda tespit edilen hedef adayları arasından kullanıcı tarafından seçilen hedefin konum ve hız bilgileri Kalman filtre girişi olarak kulanılmış ve Kalman filtre tahmin sonuçları çevresinde oluşturulan pencerede yeniden uyumlu eşikleme ile öz yinelemeli olarak hedefin takibi amaçlanmıştır.

İkinci bölümde sırasıyla uyumlu eşikleme ve Kalman filtre hakkında genel bilgi verilmiş ve bu çalışmada kullanımları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde geliştirilen sistemin bir uçuş simülatörü FLIR verisi üzerinde yapılan deneme sonuçları gösterilmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. HEDEF TESPİT VE TAKİP SİSTEMİ UYGULAMASI

Bu çalışmada FLIR görüntülerinde hedef tespit ve takibi amacıyla uyumlu eşikleme ve Kalman filtre özyinelemeli olarak kullanılmıştır. Hedef kullanıcı tarafından aday hedefler arasından seçilmesi ile hedef konumu Kalman filtreye uygulanmaktadır. Kalman filtre tarafından yapılan konum tahmini çevresinde yapılan uyumlu eşikleme ile hedef konumu tespit edilmiştir. Tespit edilen hedef konumu gözlem verisi olarak yeniden Kalman filtre hata düzeltmesinde kullanılmıştır.



2.1. UYUMLU EŞİKLEME

Görüntü bölütleme ve hedef tespiti amacıyla kullanılan FLIR görüntülerinde en sık kullanılan hedef ayırt edici özellikleri piksel intensite değerleridir. Görüntüde hedef nesne dışında nesneler de bulunduğunda yani hedef nesne piksel değerleri arka plan piksel değerlerinden ayrılamadığında eşikleme yöntemi sonuçları yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada sistemin başlatılması esnasında tüm görüntü üzerinde eşikleme yapılarak hedef adayları tespit edilmiştir. Eşikleme işlemi sonrası ile elde edilen görüntü üzerinde bulunan gürültüden kurtulmak amacıyla morfolojik açma (morphological opening) kullanılarak ve 8 pikselden daha küçük nesneler görüntüden çıkarılmıştır. Bu görüntüler üzerinde her bir nesnenin analizi gerçekleştirilmiştir (blob analysis). Daha sonra bu analiz sonuçları kullanılarak nesnenin sınırları ve merkezi belirlenmiştir. Bu işlem dört basamakta anlatılabilir; Görüntüyü siyah beyaza çevir, Sonrasında piksellerin birbiriyle olan bağlantılarını kıyasla, Bağlantılı olanları ayrı ayrı objeler olarak etiketlendir, Etiketlenen objelerin her biri için ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Tespit edilen hedef adayları arasından kullanıcı tarafından takip edilmesi istenen hedef seçilmiştir.

Seçilen hedef ağrılık merkezi konumu bir sonraki görüntü için Kalman filtre ile tahmin edilerek bu konum çevresinde pencereleme yapılmıştır. Bu pencere dahilinde tekrar eşikleme yapılarak hedef konumu belirlenmiştir. Eşikleme esnasında mevcut görüntü

histogramındaki piksel değerlerinin %50'inden daha parlak olan noktalar hedef adayı olarak seçilmiştir.

2.2. KALMAN FİLTRE

Kalman Filtre bir sürecin durumunu tahmin etme ve gözlem verilerini kullanarak bu tahmini düzeltme veya güncellemeye dayanan bir yapıdır. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilir: Durum Güncellemesi (State update) ve Gözlem Güncellemesi (Measurement Update). Durum güncellemesi adımında doğrusal dinamik model kullanarak işlemin durumu tahmin edilir. Öncelikle her bir zaman adımı "t" için Kalman filtre bu t anındaki durum tahmini $\bar{x}_k$ 'i aşağıda verilen denkleme göre gerçekleştirir.

$$\bar{x}_k = Ax_{k-1} + Bu_k \tag{1}$$

Bu denklemde 'x_{k-1}' k-1 anındaki işlem durumunu gösteren vektördür ve A işlem geçiş matrisidir. 'u_k ' ise k anındaki kontrol vektörüdür ve B matrisi bu kontrol vektörünü durum uzayına çevirir. Bu çalışmada kullanılan modelde FLIR görüntüsü üzerinde hareket eden hedefin durum vektörü hedef nesnenin ağırlık merkezi koordinatlarını ve hedefin iki eksendeki hızından oluşan 4 boyutlu bir vektördür. Temel hız-konum denklemleri

$$x_{t+1} = x_t + \dot{x}_t T + \tfrac{1}{2} u T^2 \tag{2}$$

ve

$$\dot{x}_{t+1} = \dot{x}_t + u_t \tag{3}$$

kullanılarak Geçiş (durum güncelleme) matrisi ve kontrol girişini durum uzayına çeviren matris aşağıdaki şekilde hesaplanmış ve konum tahmini aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{\dot{x}} \\ \bar{\dot{y}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{T^2}{2} \\ \frac{T^2}{2} \\ T \\ T \end{bmatrix} u \tag{4}$$

Hata kovaryans matrisinin tahmini aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_k = A P_{k-1} A^t + Q \tag{5}$$

Burada hata kovaryans matrisi ivme varyansı σ_a kullanılarak

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{T^4}{4} & 0 & \frac{T^3}{2} & 0 \\ 0 & \frac{T^4}{4} & 0 & \frac{T^3}{2} \\ \frac{T^3}{2} & 0 & T^2 & 0 \\ 0 & \frac{T^3}{2} & 0 & T^2 \end{bmatrix} \sigma_a \qquad (6)$$

şeklinde bulunmuştur.

Gözlem güncellemesi adımında 't' anında durum tahmini yapıldıktan sonra oluşturulan tahmini konum çerçevesinde yapılan eşikleme sonucu tespit edilen hedef merkezi Kalman filtreye gözlem girişi olarak uygulanmıştır. Gözlem güncellemesi üç alt adımdan oluşur. Birinci olarak Kalman Kazancı 'K' hesaplanması aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$K = P\, C^t (C\, P\, C^t + \varepsilon_z) \qquad (7)$$

burada gözlem değerlerini durum uzayına çeviren matris

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad (8)$$

ve ε_z ölçüm hata gürültüsünü göstermektedir.

Daha sonra Kalman kazancı 'K_k' ve ölçüm değerleri 'z_k' kullanılarak durum güncellemesi aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\bar{x}_k = \bar{x}_k + K_k(z_k - C\bar{x}_k) \qquad (9)$$

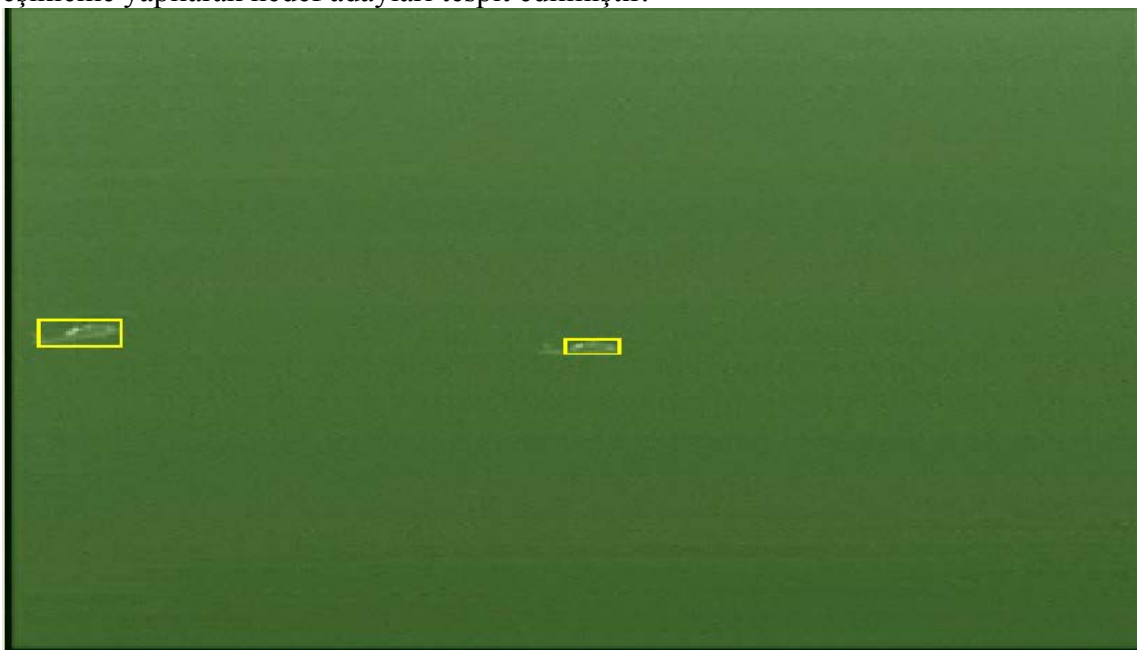
Son olarak hata kovaryansı güncellemesi aşağıdaki denkeleme göre yapılır.

$$P_k = (I - K_k C)\, \bar{P}_k \qquad (10)$$

3. DENEY

Geliştirilen sistem 640*480 çözünürlüklü 200 görüntüden oluşan bir veri kümesi üzerinde denenmiştir. Bu veri kümesinde iki adet hareketli hedef mevcuttur. Zaman

aralığı 1 alınmıştır. İvmenin büyüklüğü 0.005 alınmıştır. Tüm görüntü üzerinde eşikleme yapılarak hedef adayları tespit edilmiştir.

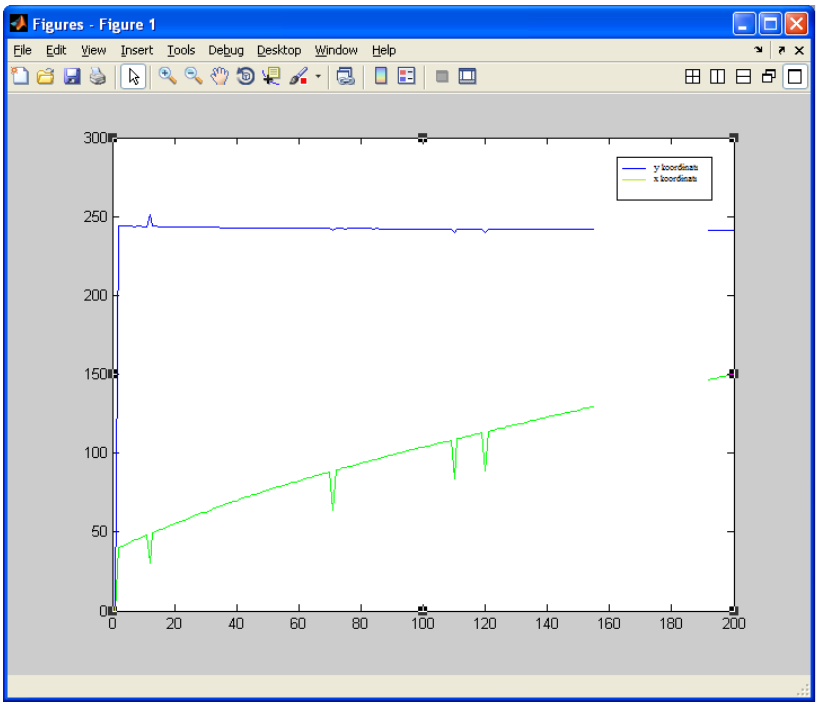


Şekil 1 Tespit Edilen Hedef Adayları

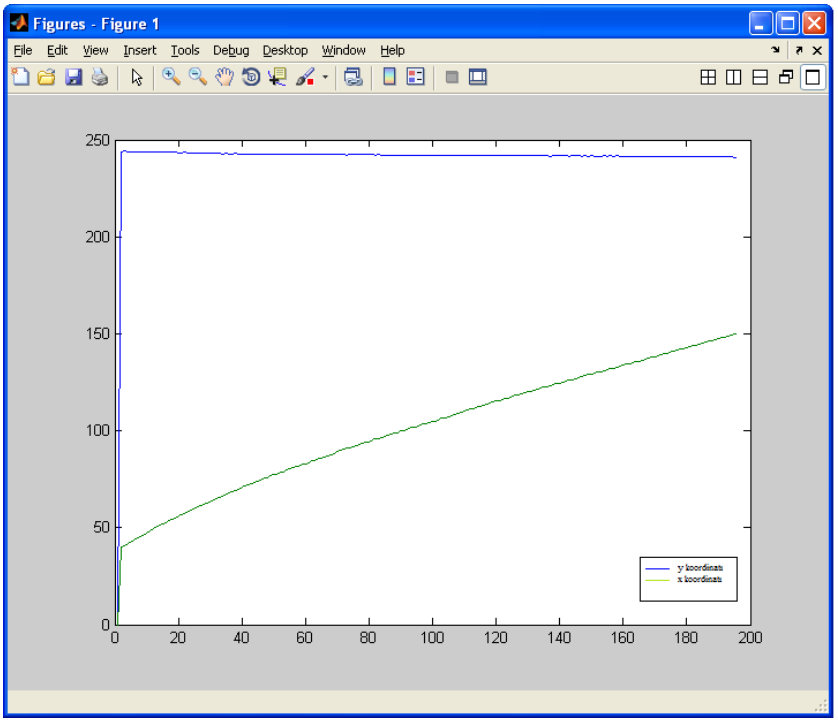
Hedef adayları arasından kullanıcı tarafından izlenecek hedef seçilerek başlanmıştır.

Şekil 2 İşaretlenerek Takip Edilen Hedef

İzlenilen hedef gözlem değerleri bozularak bu gözlemin düzgün yapılamadığı durumlar simüle edilmiştir. Bu durumlarda dahi hedefin başarılı şekilde takip edildiği görülmüştür.



Şekil 3 Hedef Konum Bilgileri (Silinmiş bölgeler ve bozulma içeren)



Şekil 4 Kalman Filtre ile Takip Sonucu

4. SONUÇ

Bu çalışmada, termal görüntüleme sistemleri temel alınıp, görüntü işleme yöntemlerive Kalman filtreden faydalanılarak, FLIR görüntülerinde hareketli hedef tespiti ve takibi gerçekleştirilmiştir. Nesne parametreleri hesaplanılarak gösterilmiştir. Şartların değişmesine bağlı olarak ortamdaki hedef sayısı artığında veya hedef renk değerleri birbirine yakın olduğunda, hedef tespiti takibi işlemi de buna göre zorlaşmaktadır. Ancak geliştirilen sistemin bu durumlarda dahi doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Kalman filtre kullanılarak görüntü üzerindeki, oluşabilecek yanlış hedef tespiti ve takibi işleminin önüne geçilmiştir. Gerçekleştirilen işlemler kolaylıkla çoklu hedef tespit ve takibini destekleyecek şekilde genişletilebilir.

5. KAYNAKÇA

[1] V. Kettnaker ve R. Zabih,(1999), Bayesian Multi-Camera Surveillance, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 253-259.

[2] R. Collins, A. Lipton, H. Fujiyoshi, ve T. Kanade, (2001), Algorithms for Cooperative Multisensor Surveillance," Proc. IEEE, vol. 89, no. 10, 1456-1477.

[3] A.D. Bue, D. Comaniciu, V. Ramesh, ve C. Regazzoni,(2002) Smart Cameras with Real-Time Video Object Generation, Proc. IEEE Int'l Conf. Image Processing, vol. III, 429-432.

[4] Zhang, HongJiang, John YA Wang, ve Yucel Altunbasak.(1997), Content-based video retrieval and compression: A unified solution. Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference on. Vol. 1.

[5] V. Ferrari, T. Tuytelaars, ve L.V. Gool,(2001), Real-Time Affine Region Tracking and Coplanar Grouping, Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, vol. II, pp.226-233.

[6] Bradley, D., ve Roth, G. (2007). Adaptive thresholding using the integral image. journal of graphics, gpu, and game tools, 12(2), 13-21.

[7] Paredes, R., Kavallieratou, E., ve Lins, R. D. (2010). ICFHR 2010 contest: Quantitative evaluation of binarization algorithms. In Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), 2010 International Conference on (733-736). IEEE.

[8] Sezgin, M. (2004). Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation. Journal of Electronic imaging, 13(1), 146-168.

[9] Ege, E. ve Saranli, A. (2008). Performance comparison of target tracking algortihms in underwater environment. In Signal Processing, Communication and Applications Conference, 2008. SIU 2008. IEEE 16th (pp. 1-4). IEEE.

[10] Aslan, M. S. ve Saranli, A. (2009). An optimal radar detector threshold adaptation for maneuvering targets in clutter. In Signal Processing and Communications Applications Conference, 2009. SIU 2009. IEEE 17th (pp. 664-667). IEEE.

HARP OYUNU SİMÜLASYONLARININ ENTEGRASYONU İÇİN BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK UYGULAMALARI

Engin Z. Altan [(a)], H. Orkun Zorba [(b)]

[(a)] Science Applications International Corporation (SAIC), Engineering and Analysis Operation, 1652 Cherry Ridge Drive, Heathrow, FL 32746, A.B.D., engin.z.altan@saic.com

[(b)] Meteksan Savunma Sanayi A.Ş., Simülasyon Sistemleri Grubu, Beytepe Köyü Yolu No.3 Bilkent, 06800 Ankara, ozorba@meteksan.com

ÖZ

Harp oyunları gibi yoğun etkileşimli ve farklı uygulama örnekleri içeren simülasyon sistemleri için birlikte çalışabilirlik konusu son yıllarda giderek artan bir önem kazanmıştır. Yüksek Seviyeli Mimari, Dağıtık Etkileşimli Simülasyon ve Test Eğitim Etkin Mimari gibi standartlar, farklı coğrafi birimlerde yer alan, farklı tipte simülasyonlar kullanan harp oyunlarının entegrasyonu için altyapılar sağlamaktadır. Tümleşik bir harp oyunu içinde farklı standartlar ve farklı modeller kullanan sistemlerin entegrasyonunda en büyük zorluk, simülasyonlar arasındaki bilgi değişimine olanak sağlayan birlikte çalışabilirliği gerçekleştirebilmektir. Unsur tanımlamaları, arazi ve ortam koşulları, zaman senkronizasyonu gibi simülasyon ortamında tanımlı platformlara ait uyumu sağlamak; geniş kapsamlı planlama, optimizasyon ve entegrasyon ortamı karmaşıklığına hazır olmayı gerektirir. Amerikan Ordusu Muharebe Laboratuarı Ortak Simülasyon Ortamı'nın, Eğitim ve Doktrin Komutanlığı ile birlikte, çok sayıda simülasyon sistemini entegre ettiği çalışma, bu alandaki en önemli örneklerden birisidir. Bu çalışmada birlikte çalışabilirliği gerçekleştirmek üzere çok ciddi hazırlıklar yapılmaktadır.

Bu bildiride bu tür örneklerden yola çıkılarak, günümüz ve geleceğin teknolojilerinde birlikte çalışabilirlik için kurulması gereken altyapılarla ilgili bilgiler verilmektedir. Bu amaçla, entegrasyon için gerekli hazırlık süreci, entegrasyon ortamı, nesne modelleri, konfigürasyon yönetimi ve doğrulama geçerleme planlamaları gibi temel karakteristiklerle ilgili bilgiler verilmekte, çalışma örnek iki sistem arasındaki entegrasyon konusunda yapılan pratik deneylerde elde edilen deneyimlerle desteklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Birlikte çalışabilirlik, dağıtık etkileşimli simülasyon, harp oyunu, simülasyon sistemleri entegrasyonu, yüksek seviyeli mimari.

INTEROPERABILITY APPLICATIONS FOR THE INTEGRATION OF WAR GAME SIMULATIONS

ABSTRACT

Interoperability of simulation systems including large-scale war games with different applications is becoming more and more important in recent years. There are several standards such as High Level Architecture, Distributed Interactive Simulation, Test and Training Enabling Architecture available to conduct real-time, platform-level war gaming across multiple locations and between the multiple simulations. The biggest challenge using different standards and individually developed models used in the same war game is to provide interoperability between the simulations to exchange data. Providing a common platform, entity descriptions, terrain, timing and more simulation environment's necessary items requires comprehensive planning, optimization, and preparation to meet the various system integration complexities. As a real-world example, the US Army Battle Lab Collaborative Simulation Environment federation executes experiments within the Army's Training and Doctrine Command integrating lots of simulations. These experiments present prime examples of the extensive preparation needed to integrate simulations to meet objectives.

This paper discusses the systems engineering objectives and methodologies used to create a consistent simulation environment that will be relevant today and into the future. The authors capture the main characteristics of simulations and enabling tools integration, in a distributed environment to propose a formal preparation process, including a simple, comprehensive list of tasks. It also discusses specific products the systems engineering and technical development groups produce to support integration environment, including object models and plans for configuration management and verification and validation.

Keywords: Distributed interactive simulation, high level architecture, integration of simulation systems, interoperability, war game.

1. GİRİŞ

İçinde çok sayıda farklı tipte simülasyonu barındıran, büyük ölçekli, heterojen bir federasyon içerisinde bir harp oyununun hazırlanması ve icra edilmesi oldukça karmaşık bir iştir. Doğru planlama, iyi organizasyon ve teknik olarak güçlü bir takım bu iş için gerekli ön koşullardır. Amerikan Ordusu'nun Eğitim ve Doktrin Komutanlığı'na (*Training and Doctrine Command*, TRADOC) bağlı olarak görev yapan Askeri Yetenekler Entegrasyon Merkezi (*Army Capabilities Integration Center*, ARCIC), her sene çok sayıda simülasyon deneyi (*experiment*) ya da harp oyunu (*war game*) gerçekleştirmektedir. Bu faaliyetlerin amacı bir eğitim ortamı yaratmanın yanı sıra,

müşterek veya münferit konsept ve yeteneklerin geliştirilmesi ve entegre edilmesine olanak sağlayabilmektir. Bu çok yönlü deneylerde farklı simülasyon sistemlerinin entegre edilmesi ve birlikte çalışabilirlik olanağının sağlanması, hala ciddi zorluklar içerebilmekte ve maliyetler küçümsenmeyecek ölçeklerde olabilmektedir. Yine Amerikan Ordusu'na bağlı Muharebe Laboratuarı Ortak Simülasyon Ortamı (*Battle Lab Collaborative Simulation Environment*, BLCSE), 2008 yılında ilk defa Yüksek Seviyeli Mimari (*High Level Architecture*, HLA) altyapısından yararlanarak, OneSAF simülasyonunun ana varlık sürücü olarak kullanıldığı Omni Fusion (OF08) harp oyununu gerçekleştirdi [1]. OneSAF, Amerika'daki Simülasyon, Eğitim ve Enstrümantasyon kuruluşunun Program Yürütme Ofisi (*Program Executive Office for Simulation, Training and Instrumentation*, PEO STRI) sahipliğinde geliştirilmiş olan yapısal bir simülasyon örneğidir [2].

Bahsi geçen deneyin temel amacı, farklı coğrafi birimlerde bulunan, farklı mimari özelliklere ve değişik içeriklere sahip 14 farklı coğrafyadaki 29 simülasyon sisteminin entegre edilmesi ve analiz amacıyla kullanılacak verilerin toplanmasıdır [3]. Bu entegrasyonun teknik takım lideri olan SAIC, entegrasyonu hızlandırmak ve federasyonun birlikte çalışabilirliğini sağlamak amacıyla, daha önceki dönemlerde geliştirdiği Arakatman (*Middleware*, MW) yazılımını kullanmaya karar vermiştir. SAIC, OF08 faaliyeti ile, ileride yapılacak daha büyük harp oyunu entegrasyonlarının planlaması ve hazırlığı için tecrübe kazanmış ve bu tecrübelerinden daha sonra gerçekleştirilen diğer ARCIC deneylerinde de yararlanmıştır [4].

Bu metodolojinin uygulamalarından birisi olarak, 2013 başlarında SAIC ve Meteksan, DEHOS ve OneSAF simülasyonlarını entegre ederek bir kavram ispatı (*proof of concept*) yapmaya karar vermişlerdir. DESAF federasyonu adı verilen bu entegrasyon çalışmasında SAIC'in birlikte çalışabilirlik konusundaki tecrübeleri ile DEHOS'taki deniz harp oyunu alan bilgisi ve HLA kullanım uygulaması birleştirilmiştir. Bu amaçla SAIC ve Meteksan firmaları, birlikte çalışabilirliği sağlamak için Arakatman yazılımını kullanarak, yukarıda bahsedilen entegrasyon sürecinin nasıl kısaltılabileceği konusunda çalışmaya başlamışlardır.

Bu bildiride, özellikle büyük ölçekli federasyonlarda kullanılan entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik teknikleri, bunların simülasyon uygulamalarının entegrasyonunda etkin kullanımları ve bu metodolojinin bir tür kavram ispatı için çalışmalarına başlanan DEHOS-OneSAF entegrasyonu ile ilgili temel bilgiler verilmektedir.

2. ENTEGRASYON FAALİYETLERİ

Entegrasyon faaliyetleri 3 ayrı kategoride gruplandırılmaktadır: İdari, Teknik ve Analitik. Bu amaçla farklı takımlar oluşturulmakta ve önceki entegrasyonlarda

kullanılan araçlardan ve tekrar kullanılabilir (*reusable*) bileşenlerden de yararlanılmaktadır.

2.1. İdari faaliyetler

İdari hazırlıklar, temel olarak konfigürasyon yönetim ve kontrol sistemi oluşturma ile uyumlandırma ortamı hazırlama faaliyetlerini içermektedir. Konfigürasyon yönetiminin doğru bir biçimde yapılması, federasyonun birlikte çalışabilirliği için oldukça önemlidir. HLA ortamında federasyondaki nesneleri (*objects*), etkileşimleri (*interactions*) ve HLA nesne eşleştirme dosyalarını (*object mapping files*) tanımlayan Federasyon Nesne Modelleri (*Federation Object Models*, FOM), birlikte çalışabilirliğin kalbi olup konfigürasyon yönetiminin doğru yapılması gerekmektedir [5]. Buna ilaveten sıralama (*enumeration*) eşleme dosyaları, senaryo dosyaları, arazi (*terrain*) dosyaları, test planları ve deney zaman çizelgeleri, konfigürasyon kontrolü altına alınması gereken diğer bileşenlerdir. Uyumlandırma ortamının hazırlanması (deney web sayfası, portal ve ağ sitesi), federasyon üyelerine ortak bir iletişim ortamı sunmak açısından önemlidir.

2.2. Teknik faaliyetler

Teknik hazırlıklar, deney yaşam döngüsü için, yazılım geliştirmede kullanılan Çağlayan (*Waterfall*) Modeli'ne benzer bir model oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu metodoloji, içerik tanımlaması ve gereksinimlerle başlayıp simülasyonların entegrasyon ve testi ile biten bütünsel entegrasyon takvimini oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Teknik faaliyetler Planlama, Gerçekleştirme, Test ve Yürütme grupları altında ele alınmaktadır.

2.2.1. Planlama

Deneylerde kullanılan simülasyonların iletişim mimarisi olarak HLA altyapısı seçilmiştir. Bu kapsamda federasyon FOM'unun geliştirilmesi, her bir simülasyonun HLA uyumluluk testleri, entegre deney testleri, provalar, geçerlemeler ve HLA yönetim ve kontrolü gibi faaliyetler gerçekleştirilmektedir [6].

Deneyler başlamadan evvel, katılan simülasyonların tamamı hakkındaki bilgiler çoğunlukla yeterli düzeyde değildir. Bu nedenle, geçmiş tecrübelerden de yararlanılarak, detayları bilinmeyen simülasyonlarla ilgili varsayım ve tahminlerde bulunulur. DESAF entegrasyon deneyinde, HLA 1516 uyumlu olan DEHOS ve NG1.3 uyumlu olan OneSAF kullanılırken de mimariler hakkında bazı varsayımlar kullanılmış, bu varsayımlar federasyonun birlikte çalışabilirliği için kullanılan Arakatman yazılımında ele alınmıştır.

Deneylere katılan katılımcıların detaylı görevlendirme verilerini içeren kapsamlı bir olay takvimi oluşturulmaktadır. Geliştirmenin durdurulacağı zamanlar, haftalık yazılım entegrasyon zamanları gibi bazı anahtar kilometre taşları da bu takvimde yer almaktadır. DESAF entegrasyon denemesinde de DEHOS ve OneSAF ekipleri birbirlerinden uzak,

ayrı ortamlarda geliştirmelerini gerçekleştirmişler, ancak takvimdeki bu anahtar kilometre taşlarına uyum sağlamaya azami özen göstermişlerdir.

Belirtilen deneysel çalışmada Teknoloji, Araştırma ve Deneyler için Modelleme Mimarisi (*Modeling Architecture for Technology, Research, and Experimentation*, MATREX) kapsamında geliştirilen MATREX FOM temel alınmış, ancak federasyonun kendine özel gereksinimleri, veri tanımlamaları ve sıralama eşlemeleri nedeniyle ileriki aşamalarda bu FOM'un güncellenmesi gerekmiştir. MATREX FOM'un, RPR-FOM'un MATREX federasyonu ihtiyaçlarına göre genişletilmiş bir sürümü olduğu söylenebilir [7]. Deneyde yer alan simülasyonlar ve destek sistemlerinin ihtiyaçları dikkate alınarak, bu birimler arasındaki ağ yapısının da tanımlandığı bir mimari oluşturulmuştur. Simülasyonlar HLA ağına bağlanırken, komuta kontrol sistemleri deneyde kullanılan taktik ağlar ve destek servisleri üzerinden HLA mesajlarını (nesne ve etkileşimler) yorumlamaktadır. Senaryo yaratılırken, ağdaki çakışmalar, paket kayıpları ve gecikmeleri önlemek için ağın tepe yük değerleri ve her bir simülasyonun örnekleme sayısı tahminleri kullanılmıştır. DESAF entegrasyon denemesinde OneSAF ana unsur sürücü, DEHOS ise entegrasyonun deniz modelleri sağlayıcısı olarak kullanılmıştır. Bu amaçla DEHOS'taki ana model iskelet yapısında yer alan unsur modellerinden suüstü ve sualtı unsurları kullanılmıştır. Suüstü unsuru fırkateyn, hücumbot, korvet gibi gemileri modellemek amacıyla kullanılan; seyir/ yakıt/ yiyecek/ su tüketimi, su üretimi ve hasar-onarım yetenekleri olan modeldir. Sualtı unsuru ise denizaltıları modellemek amacıyla kullanılan; su üstünde ve su altında seyir, yakıt/ batarya/ oksijen/ yiyecek/ su tüketimi, su üretimi ve hasar-onarım yetenekleri olan modeldir.

Deneyin yürütülmesinde veri toplama, analiz ve diğer gerçek-zamanlı olaylar için simülasyonların ortak bir zaman standardı kullanılarak, zaman uyumlandırılması gerekmektedir (*time synchronization*). Bu nedenle göreceli veya mutlak bir zaman damgalama (*time stamping*) yöntemi kullanılmalıdır. Zaman uyumlandırmasını desteklemek amacıyla Ağ Zaman Protokolü (*Network Time Protocol*, NTP) gibi teknikler kullanılabilmektedir. Bu entegrasyon çalışmasında zaman senkronizasyon ile ilgili diğer detaylar geliştirmenin ileri aşamalarında belirlenecektir.

DESAF entegrasyon denemesinde arazi verileri için bir uyumlandırma çalışması yapılmıştır. Arazi verileri için OneSAF OTF formatını kullanmakta, DEHOS'ta ise yükseklik ve derinlik verileri FileGeodatabase içerisinde ve Raster Dataset tipinde tutulmaktadır. Bu verilerin birbirine dönüştürülmesi iki yönlü de olabilmektedir.

2.2.2. Gerçekleştirme

Planlama aşamasından sonra oluşturulan planın doğrulanması ve ilgili birimler tarafından onaylanması gerekmektedir. Plan onaylandıktan sonra, deney çalışmasının temel konuları, simülasyon mimarisi, katılımcı bilgileri, anahtar görevler ve sistem bakışını içeren Modelleme ve Simülasyon Destek Planı (*Modeling and Simulation*

Support Plan, M&SSP) hazırlanmaktadır. Bu plan, deneyde kullanılan en önemli dokümanlardan birisi olup, katılımcılara gerekli bilgi ve kılavuzları hazırlamak için mümkün olduğunca erken üretilmelidir.

Arazi veritabanı ve unsur kompozisyonları bilgilerinden oluşan senaryo dosyalarını, sıralamaları ve ilgili eşleme dosyalarını içeren deneysel verilerinin hazırlanması, deney ve birlikte çalışabilirlik için kritik bir faaliyettir. Mavi ve Kırmızı kuvvet yapıları ile muharebe hiyerarşisi, ilgili simülasyonlar tarafından önceden hazırlanmaktadır.

Gerekli verilerin ilgili federelerden toplanarak sıralamaların eşlenmesi amacıyla ilgili süreç uygulanmaktadır. Bu, zaman alıcı bir süreç olup, veri analizi için gereken hasar hesaplamaları için kullanılmaktadır. HLA nesne eşlemeleri FOM içerisinde verilmektedir. Buna ilaveten eşleme dosyaları üretilerek tüm katılımcı federelere iletilmektedir. Arazi veritabanı OTF, CTDB ve OpenFlight gibi farklı formatlarda üretilip, federelere bunları kendi simülasyon uygulamalarında kullanılmak üzere iletilmektedir.

2.2.3. Test

Entegrasyon test planlaması 3 fazda gerçekleştirilmektedir. 1. fazda noktadan noktaya entegrasyon, giriş veri kontrolleri ve iş parçacığı kontrollerini içeren giriş veri doğrulama faaliyeti gerçekleştirilir. Bu faz içinde federasyon mimarisinin gözden geçirildiği bir mimari dayanıklılık testi de uygulanmaktadır. 2. faz çoklu federe/çoklu nokta entegrasyonunu içermekte olup, uyumsuzlukların giderilmesi ile birlikte, ortalama her gün, her bir simülasyon ortamında en az bir OneSAF kümesi, bir federe ve bir unsur tipi örneklemesi gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. 3. fazda ise tam yüklü federasyon entegrasyonu hedeflenmektedir. Tüm simülasyon birimlerinin federasyona katılması ve komuta kontrol birimlerinin simülasyon tarafı ile testi de bu fazda içerilmektedir.

2.2.4. Yürütme

Yürütme aşaması, analiz edilecek verilerin üretildiği aşamadır. Simülasyon birimleri arasındaki testler mümkün olduğunca deney yaşam döngüsünün başlangıç aşamalarında olmalıdır.

2.3. Analitik faaliyetler

Son aşama veri toplama stratejisinin belirlenmesi, toplanan verilerin analiz amacıyla yayınlanması ve veri analizinin gerçekleştirilmesidir. Veri toplama planı, analiz amaçlı kullanılacak verilerin listesini içermekte olup, bu deney çalışmasındaki en önemli dokümanlardan birisidir.

2.4. FEDEP/DSEEP

FEDEP (Federation Development and Execution Process), IEEE tarafından HLA tabanlı birlikte çalışabilir federasyonların geliştirilmesinde kullanılması önerilen

standart süreçtir [8]. DSEEP (Distributed Simulation Engineering and Execution Process) ise, daha sonra SISO tarafından FEDEP'in güncellenmesiyle oluşturulmuş yeni IEEE standardıdır [9]. Yukarıda bahsedilen entegrasyon faaliyetleri bu standartlarda öngörülen adımlara benzerlik göstermektedir. DEHOS-OneSAF birlikte çalışabilirlik denemesi için, bu standartlarda belirtilen entegrasyonun amacı iki sistem arasında karşılıklı temel veri transferi ile bir kavramsal ispat gerçekleştirmektir. Sistemlerin ortak kavramsal modeli ve örnek senaryoları belirlenme aşamasındadır. Entegrasyonun mimarisi ile ilgili genel bilgi Şekil 1'de verilmektedir. Yine geliştirmedeki diğer ayrıntılar da ileride detaylandırılacaktır.

3. BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK

Modelleme ve simülasyon dünyasında birlikte çalışabilirlik; bir model veya simülasyonun birlikte daha etkin çalışabileceği model veya simülasyonlara servis sağlaması ve onlardan servis alması yeteneği olarak tanımlanmaktadır [10]. Bu tanıma göre birlikte çalışabilirlik için bir altyapı oluşturulması gerekmektedir. Birlikte çalışacak simülasyonların, mevcut sadakat seviyelerinde bir kayıp olmaksızın, birbirleriyle etkin bir biçimde haberleşebilmesi ve veri paylaşımını doğru biçimde yapabilmesi, oluşturulacak bu altyapı için en büyük zorluktur. Bunun bir adım sonrasındaki zorluk ise, tüm simülasyonlar tarafından kullanılabilen, birbirlerinin unsurlarını tanımalarını sağlayacak ortak veri tanımlamaları oluşturulmasıdır.

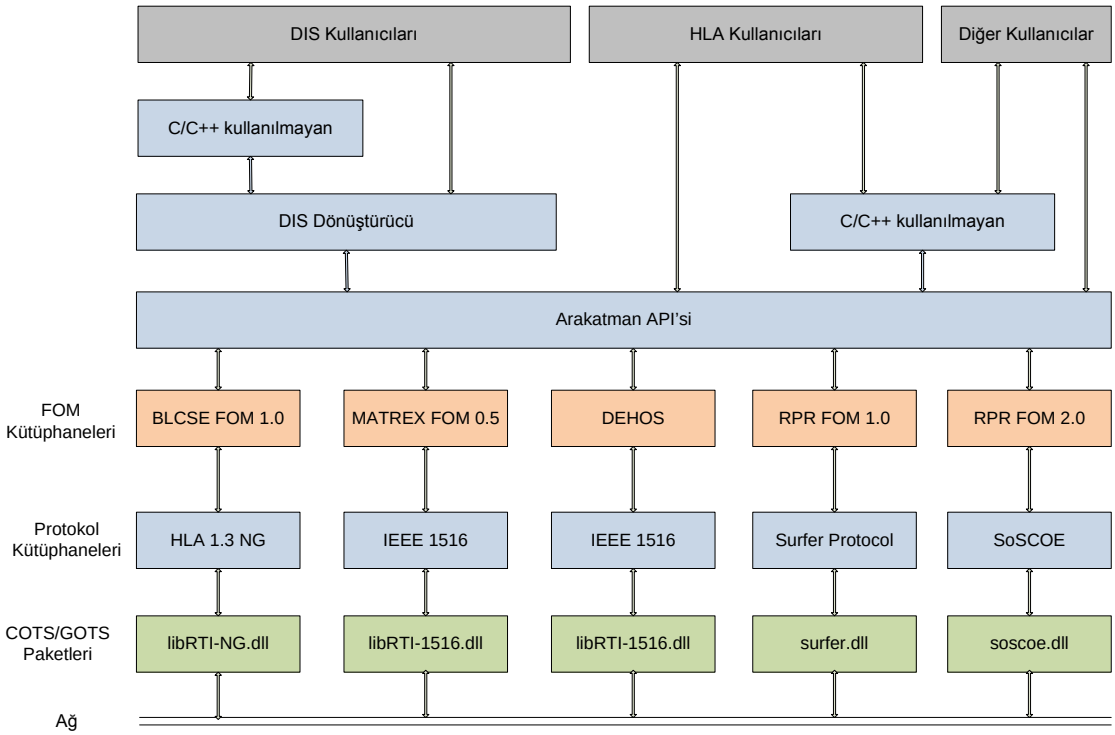
Bu çalışmada bahsedilen birlikte çalışabilirlik seviyesi Kavramsal Birlikte Çalışabilirlik Model Seviyelerinden Seviye-2 olarak kabul edilebilir [11]. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu seviyenin daha yukarılara çıkarılması değerlendirilebilecektir.

3.1. SAIC Arakatman yazılımı

HLA IEEE 1516, DOD NG 1.3 ve DIS IEEE 1278 gibi farklı altyapılar içeren heterojen simülasyon ortamlarının en önemli görevi, simülasyonların birbirlerinin dilini anlamalarını ve etkin bir biçimde haberleşmelerini sağlayacak bir birlikte çalışabilirlik altyapısı oluşturabilmektir [5], [12]. Bu tür heterojen federasyonlarda kullanılmak üzere SAIC tarafından Arakatman yazılımı adı verilen bir yazılım geliştirilmiştir [4]. Bu Arakatman yazılımı simülasyonlara iletişim altyapılarını uyarlama olanağı sağlamakta ve böylece simülasyonlar HLA uyumlu olarak haberleşebilmektedir. Arakatman yazılımı, DIS ve HLA mesajları arasında dönüştürmeyi sağlayarak, DIS simülasyonlarının HLA mimarisindeki Veri Dağıtım Yönetimi ve Zaman Yönetimi gibi önemli servislerin avantajlarından yararlanmalarına da olanak tanımaktadır [2].

Arakatman yaklaşımında, farklı protokoller ve çeşitli HLA simülasyonları arasında kayıpsız geçişe olanak sağlayan çok katmanlı bir kütüphane geliştirilmiştir. Arakatman mimarisi Şekil 1'de verildiği gibi çok sayıda katmandan oluşmaktadır. En alttaki

katman protokol katmanıdır. Bu katman HLA Koşum Zaman Altyapısı (*Run-time Infrastructure*, RTI) sürümünün üretici spesifik protokolden soyutlanmasını sağlamaktadır. Bu katman aynı zamanda üretici spesifik olmayan veri tipleri sağlayan bir HLA Uygulama Programlama Arayüzü (*Application Programming Interface*, API) içermektedir. Özetle bu katman üretici spesifik herhangi bir dosya içermemektedir.



Şekil 1. Arakatman mimari gösterimi

Arakatman yazılımının protokol katmanı, eklenti kütüphaneleri ile, üretici spesifik RTI servislerini kullanan özet katmanı gerçekleştirmek için gerekli altyapıyı sağlamaktadır. Koşum zamanında, arakatman yazılımı bir eklenti kütüphanesini seçmektedir. Böylece federe geliştiricisinin koşum zamanında yeniden derlemeye gerek kalmadan RTI yazılımını seçmesine olanak sağlanmaktadır. Eklenti kütüphaneleri, RTI tarafından sağlanan spesifik veri tipleri ve servislerini kullanan özet servisleri geliştirmek için kullanılmaktadır.

Protokol katmanının bir üstünde ara katman yer almaktadır. Bu katman FOM içerisindeki nesne ve etkileşimlerin soyutlanmasını sağlamaktadır. Arakatman ilk gerçeklenirken MATREX FOM merkezli bir yapı kullanılmış ve arakatman yazılımında çeşitli MATREX FOM nesne ve etkileşimleri modellenmiştir. Daha sonraki sürümlerde BLCSE FOM ve diğer FOM'lardaki nesne ve etkileşimler de eklenmiştir. Bu katman, federe geliştiricisinin nesne ve etkileşimleri, altındaki HLA mimari detaylarını bilmeden yaratmasına olanak sağlamaktadır.

Arakatman yazılımındaki son katman ise DIS dönüştürücüsüdür. DIS dönüştürücü, federelerin Kullanıcı Veribloğu İletişim Kuralları (*User Datagram Protocol*, UDP) ağ paketlerini göndermek ve almak için kullandıkları soket arayüzüne çok benzer Uygulama Programlama Arayüzü sağlamaktadır. DIS dönüştürücü DIS paketlerini HLA etkileşimlerine dönüştürür ve uygun HLA servis çağrılarını gerçekleştirir. Aynı şekilde, bir HLA simülasyon olayı gelmesi durumunda, DIS dönüştürücü HLA verilerini uygun DIS bileşenlerine dönüştürür ve federeye ilgili bilgiyi aktarır.

Arakatman yazılımı mimarisinin esnekliği farklı federeler arasındaki birlikte çalışabilirliği sağlamak için kullanılabilecek olmasındadır. Bu yazılımın kullanıldığı birçok örnekte, bir federenin ilgili federasyona katılması esnasında herhangi bir federe kodunun kullanımına ihtiyaç olmamıştır. Koşum zamanında, bir federe yeni simülasyon protokol kütüphanesini (IEEE 1516, HLA NG 1.3, IEEE1278) ve/veya FOM'unu (BLCSE, MATREX, DEHOS vb.) belirlemekte, bu yeni protokol ve/veya FOM arakatman protokol kütüphanesi tarafından kullanılmaktadır.

4. SONUÇ

Birbirinden farklı içeriklere sahip simülasyon sistemlerinin bir arada çalıştıkları heterojen harp oyunu simülasyonlarında, birlikte çalışabilirliği sağlamak oldukça güç bir iştir. Bu karmaşık simülasyon örneklerinden birisi Amerikan Ordusu'nun Eğitim ve Doktrin Komutanlığı'na bağlı olarak görev yapan Askeri Yetenekler Entegrasyon Merkezi tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalardır. SAIC, bu deneysel çalışmaları yöneten birim olarak, çalışmaların farklı destek gruplarında, planlama, uygulama, test ve icra aşamalarına liderlik yapmaktadır.

Bu çalışmada SAIC'in bu deneysel çalışmalardan yola çıkarak edindiği deneyimler, bu tür karmaşık sistemlerin birlikte çalışabilirliği için uygulanabilecek süreçler ele alınarak verilmiştir. SAIC'in bu deneyimleri ile birlikte, geliştirme çalışmalarında yer aldığı OneSAF sistemi ve Meteksan tarafından geliştirilmiş olan DEHOS sisteminin bir ön entegrasyonu yapılarak bir tür kavram ispatı çalışması gerçekleştirilmektedir. Çalışmanın ilk aşaması tamamlanmış olup, SAIC tarafından birlikte çalışabilirliğin temini amacıyla geliştirilen Arakatman yazılımının bu tür entegrasyonlarda kullanılabileceği görülmüştür. Bu çalışma halen devam etmekte olan bir çalışma olup, önümüzdeki dönemlerde OneSAF-DEHOS arasında kurulacak tam entegrasyon ile birlikte çalışma sonuçları daha net değerlendirilebilecektir. Entegrasyon faaliyetleri İdari, Teknik ve Analitik faaliyet grupları altında yürütülen temel süreçlerle özetlenmiştir. İdari destek süreçleri içinde konfigürasyon yönetiminin doğru yapılması, ihtiyaç duyulan dokümantasyonun hazırlanarak ilgili birimlere sunulması ve bilgi paylaşımı için kullanılacak uyumlandırma ortamının hazırlanması işleri önem arz etmektedir. Teknik destek süreçleri içinde ise planlama, uygulama, test ve icra

aşamalarına bölünen faaliyetler içinde özellikle doğru planlama yapılması, uygulamada hata ve uyumsuzlukların hızlıca bulunup giderilmesi, test ve icrada federasyondaki tüm birimlerin aktif olarak görev alması, entegrasyon süresini kısaltmaktadır.

Birlikte çalışabilirlik için temel kritik çözümlerden birisi de SAIC Arakatman yazılımıdır. Yüksek Seviyeli Mimari, Dağıtık Etkileşimli Simülasyon veya başka bir mimariye uygun bir altyapıya sahip bir simülasyon sisteminin, bu yapı içinde Arakatman yazılımı üzerinden diğer simülasyon ve komuta kontrol sistemleri ile haberleşmesi mümkündür. Bu amaçla birlikte çalışabilirliği sağlanacak simülasyon sistemlerinde ciddi değişiklikler yapılmaksızın, geliştirilen Arakatman yazılımı üzerinde küçük değişiklikler yapılması yeterli olmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Hanover, P. (2004), Progress Report on the Battle Lab Collaborative Simulation Environment, *Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, Paper 1563.

[2] One Semi-Automated Forces (OneSAF), http://www.peostri.army.mil/PRODUCTS/ONESAF/home.jsp.

[3] Rieger, L. and Lewis, J. (2006), Integrated Middleware for Flexible DIS and HLA Interoperability, *Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, Paper 2701.

[4] Altan, E. and Gordon, D. (2007), Practical Solution of Transitioning a Large Scale Federation from HLA 1.3NG to IEEE 1516, *Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, Paper 7378.

[5] IEEE (2010), Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture – Framework and Rules 1516-2000 and Object Model Template Specification 1516.2-2000.

[6] Möller, B. and Olsson, L. (2004), Practical Experiences from HLA 1.3 to HLA IEEE 1516 Interoperability, *Proceedings of 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop*, 04F-SIW-045, Simulation Interoperability Standards Organization.

[7] Real-time Platform Reference Federation Object Model (RPR FOM 1.0), SISO-STD-001.1-1999.

[8] FEDEP, Federation development and execution process, IEEE 1516.3-2003.

[9] DSEEP, Distributed Simulation Engineering and Execution Process, IEEE 1730–2010.

[10] Joint Service Publication, Joint Services Glossary, JSP110.

[11] Wang W.G., Tolk A., Wang W.P. (2009), The Levels of Conceptual Interoperability Model: Applying Systems Engineering Principles to M&S, *Spring Simulation Multiconference (SpringSim'09). San Diego, CA, USA.*

[12] Defense Modeling and Simulation Office (2005), Transition of the DOD High level Architecture to IEEE Standard 1516.

ANLAMSAL AĞ YAKLAŞIMI İLE HETEROJEN SİSTEMLERİN ENTEGRASYONU VE AKILLI SERVİSLERİN GELİŞTİRİLMESİ

Fatih Orhan [(a)], Erdem Türker Kıvcı [(b)]

[(a)] Anel Araştırma ve Geliştirme Danışmanlık A.Ş., Hacettepe Teknokent 2. ARGE binası 1. Kat No:11 Beytepe Ankara, fatih.orhan@anelarge.com

[(b)] Anel Araştırma ve Geliştirme Danışmanlık A.Ş., Hacettepe Teknokent 2. ARGE binası 1. Kat No:11 Beytepe Ankara, erdem.kivci@anelarge.com

ÖZ

Günümüzde hem sivil hem de askeri alanda kullanılan yazılımların sayısı ve işlevleri gün geçtikçe karmaşıklaşmakta, artan haberleşme ihtiyaçları sebebiyle entegrasyon sorunları da çoğalmaktadır. Heterojen yapıdaki bilgi sistemlerinden gelen bilgilerin anlamsal olarak yorumlanması ve kullanılmasına yönelik manuel yöntemler yerine makinelerin anlayabileceği altyapıların geliştirilmesi NATO'nun da Anlamsal Birlikte Çalışılabilirlik çerçevesinin ana hedefidir.

Yapılan çalışmada temel bir askeri ontoloji oluşturulmuş, ve taktik sahada "Tek Er" odaklı Arazi, Hava Durumu, Birlik, Lokasyon, Malzeme, Teçhizat, Mühimmat, Silah ve Olay kavramları modellenmiştir. Taktik Saha Ortam Destek Sistemi projesi kapsamında yapılan çalışma ile Tek Er'in durumsal farkındalığının arttırılması amacıyla mobil cihazlar üzerinden erişilebilen ve taktik sahada tehlikeli bölgeleri bu ontoloji üzerine yapılan çıkarımlar vasıtasıyla tespit edebilen bir sistem geliştirilmiştir. Birlik bilgisi, istihbarat, lojistik, geçmiş olay gibi farklı bilgi sistemlerinden alınan veriler sistemin çalışma esnasında ontolojiye eşleştirilmiş ve otomatik olarak yorumlanıp kullanılmıştır. Sistem kullanıcının içinde bulunduğu bağlam, çevre koşulları, geçmiş veriler ve mevcut düşman istihbarat bilgilerini göz önünde bulundurarak karmaşık kuralların işletilebildiği ve çalışma esnasında kuralların güncellenmesine izin veren bir yapıda sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anlamsal Ağ, Modelleme, Askeri Ontoloji, Çıkarım Motoru, Akıllı İstihbarat

INTEGRATION OF HETEROGENOUS SYSTEMS AND DEVELOPMENT OF SMART SERVICES USING SEMANTIC WEB

ABSTRACT

Both civil and military systems increases in number, become more complex in functionalities and increase in communication needs. In order to semantically interpret and utilize data collected from heterogenous systems, it is NATO's main aim also in Semantic Interoperability Framework to develop machines understandable infrastructures instead of manuel methods.

A military ontology is developed in this study, and concepts such as "Terrain", "Weather", "Troop", "Location", "Equipment", "Material", "Weapon" and "Event" are modelled with a focus in Future Soldier in tactical area. A system is developed within the scope of Tactical Battlefield Support System project in order to increase the situational awareness of Future Soldier. This system is accessible by mobile devices and is able to identify hazardous regions in tactical area using the inferrences in the ontology. Data such as troop information, intelligence, logistics, past events are gathered from different sources, mapped to the ontology in run-time and utilized by automatic interpretation. The system takes into account the context of the user, the environmental conditions, past events and current intelligence information and executes complex rules. The system is also able to update the executed rules in runtime. The proposed system is developed in utilized in the demonstration of the project outputs.

Keywords: Semantic Web, Modelling, Military Ontology, Inference Engine, Smart Intelligence

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte bilgi ve iletişim araçları her alanda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gerek sivil gerekse askeri gereksinimler göz önünde bulundurulduğunda gelişmiş sistemlerin her zaman, her yerden ve birçok farklı şekilde (ubiquitous) erişilmesi ve bilgi sağlanması ihtiyaçları gün geçtikçe artmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamaya yönelik olarak geliştirilen sistemlerin kullanılmasında karşılaşılan temel sorunlardan bir tanesi de veri ve bilginin entegrasyonu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Heterojen yapıdaki bilgi sistemlerinden gelen bilgilerin kullanılması amacıyla birçok yöntem geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Verinin tanımlanması ve farklı uygulamalarda kullanılması amacıyla "Veri Modeli" tanımı çerçevesinde öncelikle ilişkisel veritabanlarında varlık-ilişki (entity-relationship) şemaları kullanılmıştır. Veritabanlarının karmaşıklığın artması ve veri yapılarının heterojen olarak tanımlanması ile birlikte "Kurumsal Veri Modeli" kavramı geliştirilmiş ve daha çok mantıksal bir veri modeli oluşturmaya dayalı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. XML'in tanımlanması ve web

servislerinin gelişmesi ile birlikte "Servis Odaklı Mimari"de (Service Oriented Architecture) farklı kaynaklardan sağlanan veriler web servis tabanlı adaptörler vasıtasıyla erişilebilir hale getirilmiş ve veri değişim mekanizmalarının mekanik olarak gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Bugün geldiğimiz noktada verilerin çokluğu ve çeşitliliğine bağlı olarak değişimi yapılan bilgilerin sözdizimsel olarak gönderilip alınmasının yanında anlamsal olarak yorumlanabilmesi ve kullanılabilmesi gerekmektedir. Anlamsal Ağ'ın en önemli kullanım alanlarından biri tekrar kullanılabilir ve birbirine entegre edilebilen veri modelleri oluşturmaktır. Anlamsal Ağ teknolojileri kavramların tanımlarının birbirleriyle iletişim içerisinde olan tüm unsurlar tarafından standart bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Standart hale getirilmiş bu kavramlar sadece insanlar tarafından değil makineler tarafından da benzer şekilde yorumlanır ve bu makineler arası (M2M) etkileşimin verimliliğini artırır. Örneğin makineleri arasında kolay ve hızlı bir şekilde veri alışverişinde bulunabilen koalisyon güçleri daha hızlı durum farkındalığına sahip olabilir ve bu savaş alanındaki askerlerin gelişen durumlara cevap verme reflekslerini hızlandırır. Anlamsal Ağ'ın diğer bir önemli kullanım alanı var olan bilgiler üzerinde yeni çıkarımlar yapabilmesidir. Anlamsal Ağ teknolojileri sayesinde makineler tıpkı insanlar gibi çıkarımlarda bulunabilirler. Elbette bu çıkarım yapay zeka algoritmaları düzeyinde değildir ve "Niceleme (Yüklemler) Mantığı" (Predicate Logic) olarak adlandırılan kavramın çıkarım yapma kapasitesiyle sınırlıdır.

Askeri alanda Anlamsal Ağ uygulamaları komuta ve kontrol işbirliği uygulamaları, durumsal farkındalık uygulamaları ve askeri bilgi veritabanı uygulamalarını içermektedir. Komut ve kontrol uygulamalarında Anlamsal Ağ teknolojileri hem farklı birimlerin komutanları arasında ortak anlaşılır bir dil oluşturulması, hem de askeri silah sistemleri ve simülasyonları arasında ortak modeller oluşturulmasını sağlar. Durum farkındalık uygulamaları, savaş alanındaki durumun gözlemci askerler, analist komutanlar ve üst düzey komutanlar tarafından ortak şekilde anlaşılmasını, ve doğru çıkarımlar yapılmasını sağlar. Askeri bilgi veritabanı uygulamaları da uzun dönemlerde dokümanlar halinde tutulan ve organize edilip sonuç çıkarılması zor olan geçmiş bilginin, düzgün bir şekilde tanımlanmasını ve askeri uzmanların hızlı karar vermesini sağlar.

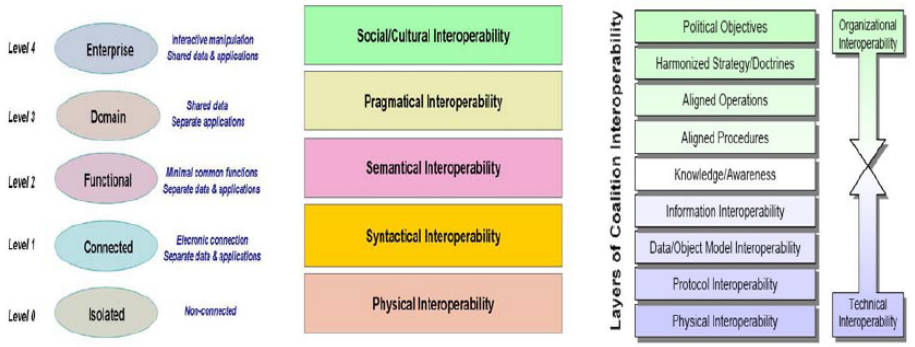
Bu çalışmanın en önemli kazanımları anlamsal ağ teknolojilerinin askeri alanda kullanımı ve genişlemeye açık temel bir askeri ontolojinin oluşturulmasıdır. Bu temel ontoloji kullanılarak tanımlanabilecek geniş kapsamlı bir ontoloji ile mevcut sistemler ve ileride geliştirilebilecek sistemler bütünleştirilebilir. Bu sayede askeri uygulamalar hem veri ve anlam entegrasyonunu kolay bir şekilde gerçekleştirebilir, hem de çıkarım yoluyla doğrudan elde edilemeyecek sonuçlar elde edebilirler.

2. LİTERATÜR

2.1 NATO Anlamsal Birlikte Çalışabilirlik Çerçevesi

NATO bünyesinde tanımlanan Anlamsal Birlikte Çalışabilirlik (Semantic Interoperability) çerçevesi bünyesinde bir araştırma görev grubu oluşturulmuştur [7]. Bu grubun temel görevi heterojen yapıdaki bilgi sistemlerinden gelen bilgilerin anlamsal olarak yorumlanması ve kullanılmasına yönelik manuel yöntemler yerine makinelerin anlayabileceği altyapıların geliştirilmesi olarak hedeflenmiştir.

Bu amaca yönelik olarak öncelikle anlamlandırmanın gösterimini ontolojilerle gerçekleştirmek önemli bir adımı teşkil etmektedir. Bunun için kavramlarla ilgili olarak ortak anlayışların geliştirilmesi ve bu anlayışın bilgi sistemlerinin tüm evrelerinde ontolojilerin kullanımını belirtmesi gerekmektedir. Bu sayede uygulamaların gerekli koşulları, metotları ve kuralları anlamsal birlikte çalışılabilirlik çerçevesi için tanımlanmış olabilecektir. Önerilen çerçeve yoğun insan kaynağı ihtiyacını azaltacak ve farklı organizasyonlar arasında ölçeklenebilir bir işbirliği sağlayabilecektir.



A) LISI – Five Levels of Interoperability Maturity[LISI] B) IST-075 – Levels of Interoperability C) LCIM – Levels of Conceptual Interoperability Model [LCIM]

Şekil 1. NATO Anlamsal Birlikte Çalışılabilirlik Seviyeleri (resim [7]'den alıntılanmıştır)

Şekil 1'de verilen birlikte çalışılabilirlik seviyeleri aşağıdan yukarıya doğru artan şekilde bir organizasyonun gelişmişlik düzeyini gösterir. Bu şekilden ortaya çıkan genel anlayış orta düzeyden itibaren birlikte çalışılabilirlik konusunda bir vizyon değişikliğinin ortaya çıktığıdır. Semantik düzeyin altındaki düzeyler, fiziksel bağlantı, veri değişimi, mesaj değişimi, yaygın protokollerle ilgilidir. Semantik düzey ve üstünde tartışmasız bir kesinlikle tanımlanmış bilginin paylaşımı anlamına gelen ontolojilere dayalı ortak referans modeller yer almaktadır. NATO bünyesindeki NATO Research Task Gruop IST-094, "Anlamsal Uyumluluk" ile ilgili olarak literatürde yer alan tanımlamaları incelemiş ve değişik anlamaların önüne geçmek için bu kavramı kendisi tanımlamıştır.

2.2 aXiom Projesi

aXiom projesi, Thetus Corporation ve CommiIT Enterprises şirketlerinin katılımıyla U.S. Space and Naval Warfare Systems Center Charleston tarafından durum farkındalığını artırmak için başlatılmıştır [2], [3]. Bu proje anlamsal modeller ve ontolojiler kullanarak ortak bir içerik yönetim altyapısını "Anlamsal Servis Tabanlı Mimari" içerisinde kurmaya çalışmaktadır. Projede kurum kavram haritası TEAM (Total Enterprise Management) olarak adlandırılan bir yöntem kullanılarak oluşturulmuştur. TEAM yöntemi kurumu birbiriyle ilişkili 7 modüle böler. Bu yöntem kurumun işleyişi için gerekli olan tüm insan, süreç ve teknolojileri içeren bütün bir perspektif elde edinilmesini sağlamıştır.

2.3 MITRE

Anlamsal Ağ'lar konusunda MITRE'nin uzun zaman öncesinden çalışmaları mevcuttur ve günümüzde de bu konuda projeler sürdürülmektedir. MITRE tarafından yapılan araştırmaların hedefi, Komuta Kontrol (C2) sistemlerinde yeni nesil anlamsal ağ teknolojileri kullanarak askerlerin karar almasına yardımcı olacak altyapılar geliştirmektir [4]. Geliştirilen ontolojiler, anlamsal kurallar ve modeller üzerinden kelimelerin ve resimlerin anlamları ile ilgili çıkarımlar yapan araçlar (reasoner) yardımıyla, değişen çevre koşullarına göre bilgilerin Komuta Kontrol sistemleri tarafından otomatik olarak işlenmesi ve değiştirilmesi öngörülmektedir.

3. TODES Askeri Ontolojisi

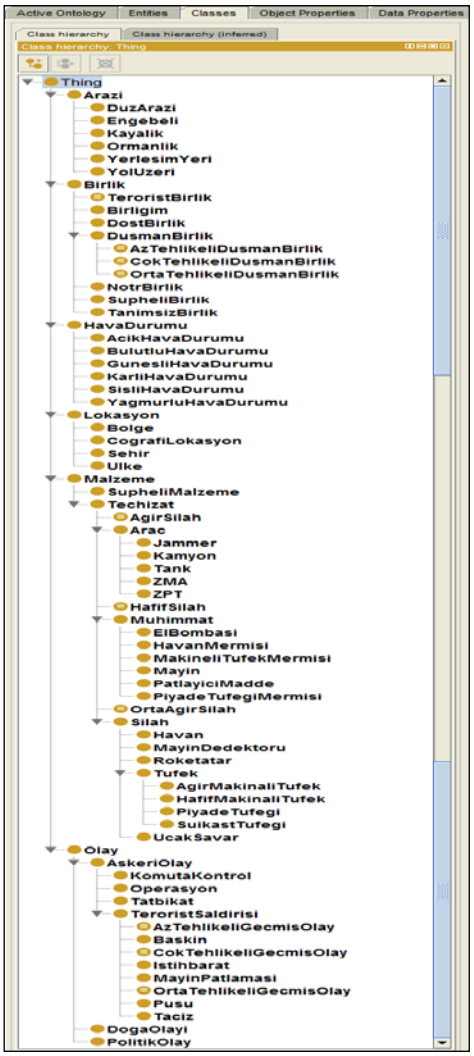
3.1 Anlamsal Ağ Teknolojileri ve Askeri Alanda Kullanımı

Anlamsal Ağ'ın önemli bir kullanım alanı var olan bilgiler üzerinde doğru ve hızlı bir şekilde çıkarımlar yapabilmesi ve bu sayede var olan bilgilere yeni (çıkarımsal) bilgiler ekleyebilmesidir. Fakat günümüz askeri sistemlerinin en önemli problemlerinden bir tanesi olan yoğun veri ve bilginin nasıl işleneceği, hangi bilginin öne çıkarılacağı sorusuna cevap bulabilecek yetenekleri bulunmaktadır.

Askeri alanda Anlamsal Ağ uygulamaları komuta ve kontrol işbirliği uygulamaları, durumsal farkındalık uygulamaları ve askeri bilgi veritabanı uygulamalarını içermektedir. Komuta ve kontrol uygulamalarında Anlamsal Ağ teknolojileri hem farklı birliklerin komutanları arasında ortak anlaşılır bir dil oluşturulması, hem de askeri silah sistemleri ve simülasyonları arasında ortak bir model oluşturulmasını sağlar.

Durumsal farkındalık uygulamaları, savaş alanındaki durumun askerler, komutanlar ve üst düzey komutanlar tarafından ortak şekilde anlaşılmasını ve doğru çıkarımlar yapılmasını sağlar. Taktik Ortam Destek Sistemi (TODES) projesi kapsamında geliştirilen Akıllı

İstihbarat Servisi bu özelliği geliştirmeyi hedeflemiştir. Askeri bilgi veritabanı uygulamaları da uzun dönemlerde dokümanlar halinde tutulan ve organize edilip sonuç



Şekil 2. Geliştirilen Askeri Ontoloji Sınıfları

çıkarılması zor olan geçmiş bilginin, düzgün bir şekilde tanımlanmasını ve askeri uzmanların hızlı karar vermesini sağlar. Bu veritabanları komutanlar tarafından girilebilecek doğal dildeki sorgulara izin verebilirler. Örneğin; "Kendi kuvvetlerimiz ile düşman kuvvetleri arasında bir eşitsizlik varsa nasıl bir strateji uygulanmalıdır?" sorusu doğal dilde verilip sonuç olarak bir doküman listesi elde etmek yerine veri, model ve yöntem içeren bir sonuç alınabilir.

3.2 Akıllı İstihbarat Servisi

Prototip bir sistem olarak geliştirilen TODES projesi kapsamında geliştirilen servislerden bir tanesi de "Akıllı İstihbarat Servisi"dir. Bu servis Tek Er'in içinde bulunduğu duruma özgü (context-aware) olarak ve kullanıcının kişi, konum, zaman ve aktivite parametreleri ile saha, düşman, hava şartları gibi çevresel koşulları da göz önünde bulundurarak anlamsal çıkarımlar yapabilecek şekilde geliştirilmiştir. Buna göre Akıllı İstihbarat Servisinin temel kullanım senaryosu şu şekilde belirlenmiştir: Tek Er kullanıcısı öncelikle bir intikal veya devriye emri alır. Tek Er kullanıcısı emrin detaylarını gördükten sonra "Akıllı İstihbarat Servisi" ile görev boyunca karşılaşabileceği ve kendisini ilgilendirebilecek geçmiş olaylardan en anlamlı olanlarını bir harita üzerinde görebilmektedir.

3.3 Geliştirilen Askeri Ontoloji

Belirlenen Veri Modeli baz alınarak ve dünyadaki benzer örnekler göz önünde bulundurularak Akıllı İstihbarat Servisinde kullanılmak üzere bir ontoloji geliştirilmeye başlanmış, bu veri ontolojisine kullanıcının içinde bulunduğu parametreleri de ekleyerek (bağlam ontolojisi) temel bir askeri ontoloji oluşturulmuştur. Ontolojiyi oluşturmak ve güncellemek için Protege[1] aracı kullanılmıştır.

[1] http://protege.stanford.edu/, Son Erişim Tarihi: 02.11.2012

3.3.1 Ontoloji Sınıfları

Ontoloji içindeki tanımlanmış olan bu sınıflar askeri bir ontolojinin çalışabilirliğini ve çıkarım aracının faydalarını gösterebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle temel sınıflar oluşturulmuş (Lokasyon, Arazi, Hava Durumu) ve bunlara ait olası alt sınıflar tanımlanmıştır. Bu kapsamda benzer örnekler [6] göz önüne alınarak şu olay tipleri tanımlanmıştır: Komuta Kontrol, Operasyon, Tatbikat, Terörist Saldırısı. Bu kapsamda şu alt sınıflar eklenmiştir: Baskın, İstihbarat, Mayın Patlaması, Pusu, Taciz Ateşi. TODES projesi kapsamında Terörist Saldırısı olayının alt sınıflarına ait birçok veri oluşturulmuş ve sisteme girilmiştir. Bu olayların tamamının bir harita üzerinde gösterimi **Şekil 3**'deki gibidir.

(a)

(b)

Semboloji	Olay Tipi
	Pusu
	Mayın Patlaması
	Baskın
	Taciz Ateşi
	Güncel İstihbarat

Şekil 3. (a) Geçmiş olayların haritada gösterimi (b) Tipleri ve Sembolojileri

Bu sınıflara ek olarak en temel sınıf olan *Birlik* sınıfı tanımlanmıştır. Bu sınıfın altında *Dost Birlik, Düşman Birlik, Tarafsız (Nötr) Birlik, Şüpheli Birlik* ve *Tanımsız Birlik* sınıfları tanımlanarak tüm birlik tipleri kapsanmaya çalışılmıştır.

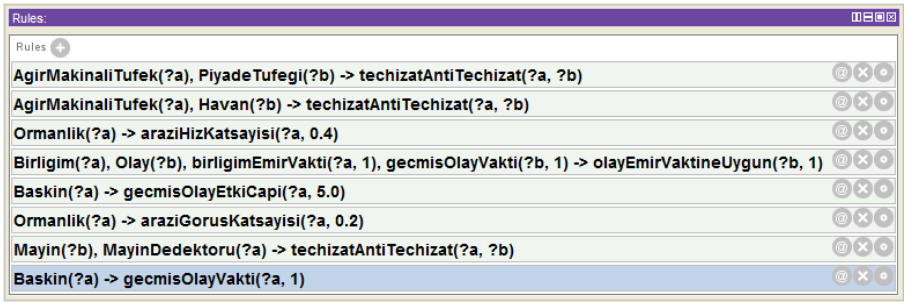
Geliştirilen askeri ontoloji her birisi bir sınıfa ait bir özelliği belirtmekte olan veri özellikleri tanımlanmıştır. Örneğin "lokasyonEnlem" bir lokasyon nesnesinin enlem bilgisini tutmakta, "birlikEtkiCapi" bir birliğin taaruzu sonucunda etki edebileceği menzili belirtmektedir. Bu veri özellikleri kullanılarak bir sınıfın kendisine ait tüm özellikleri belirtilebilmekte veya çıkarım yolu ile oluşturulabilmektedir. Çalışma kapsamında 30'dan fazla veri özelliği tanımlanmıştır.

3.3.2 Ontoloji Veri ve Nesne Özellikleri

Geliştirilen askeri ontoloji her birisi bir sınıfa ait bir özelliği belirtmekte olan veri özellikleri tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında 30'dan fazla veri özelliği tanımlanmıştır. Nesne özellikleri olarak birliğin hangi lokasyonda bulunduğunu (birlikLokasyonda), birliğin sahip olduğu mühimmat (birlikMuhimmataSahip), birliğin sahip olduğu teçhizatları (birlikTechizataSahip) ve benzeri onlarca nesne özelliği tanımlanmıştır.

3.3.3 Çıkarım

Geliştirilen Akıllı İstihbarat Servisinde, ontoloji üzerinde oluşturulan verilerden çıkarımlar yapılarak Tek Er için anlamlı bilgiler üretilmektedir. Kullanılan çıkarım yöntemlerine ilki çıkarımsal sınıf tanımlarıdır. Ontoloji içerisindeki Terörist Birlik sınıfı çıkarımsal bir sınıftır ve şu iki kural çerçevesinde çıkarımda bulunularak oluşturulmuştur: birlik olması, sınırBölgesi A ile belirlenmiş olan bölgede bulunması, herhangi bir silaha sahip olması. Bunun gibi oluşturulan bir çok çıkarımsal sınıf yanında anlamlandırıcı motorlarının yürüttüğü kurallar da tanımlanmıştır (örn. **Şekil 4**).



Şekil 4. Ontoloji Kuralları

Kurallar da yine ontolojide tanımlı sınıfları, veri özelliklerini ve nesne özelliklerini kullanarak oluşturulan ve çalıştırma anında güncellenebilen yapıda kullanılabilmektedir.

3.3.4 Sunucu Uygulaması

Geliştirilen ontolojinin kullanılabilmesi, veri dönüşümlerinin gerçekleştirilebilmesi, anlamlandırma motorlarının çalıştırılabilmesi ve çalışma esnasında kuralların işletilebilmesi amacıyla bir sunucu uygulaması geliştirilmiştir. Bu sunucu uygulaması öncelikle geliştirilen ontolojiyi yükleyerek sınıfları, veri özelliklerini, nesne özelliklerini ve kuralları oluşturmaktadır. Bu uygulama hetereojen veri kaynağı olarak bir veritabanı, birçok web servis, dosya sistemi gibi farklı protokoller aracılığıyla almış olduğu farklı tipteki verileri bu ontolojiye eşleştirmekte ve her bir kaynağa özgü olarak veri dönüşümünü gerçekleştirmektedir. Bu sayede veri modelinde hangi bilgilerin nereye eşleştirileceği tanımlandığı için, çalışma esnasında da değiştirilebilecek bir yapıda heterojen yapıdaki veriler tek bir ontolojinin altında toplanabilmektedir. Tek Er bulunduğu bölgedeki tehlikeleri tespit edebilmek için Akıllı İstihbarat servisine ulaştığında, eşleştirilen tüm veriler belirlenen kurallar çerçevesinde durum farkında bir şekilde işletilerek sonuçlar toplanmakta ve kullanıcıya sunulmaktadır.

Geliştirilen sunucu uygulaması Java diliyle yazılmış ve bir web uygulaması olarak hizmet verecek şekilde web sunucuna konuşlandırılmıştır. Askeri Ontolojinin tanımlanması ve düzenlenmesi için Protege[2] aracı kullanılmıştır.

[2] Protege ana sayfası http://protege.stanford.edu/

3.3.5 Sunum

Akıllı İstihbarat Servisi Tek Er'in belirli bir emir aldıktan sonra kullanabildiği bir hizmettir. Emir ile ilişkili tehlikeler bu servisten geldiğinde harita ekranı açılmakta ve tüm risk unsurları harita üzerinde görüntülenebilmektedir (Şekil 5 – a).

(a)

(b)

Şekil 5. Akıllı İstihbarattan alınan bilgilerin mobil cihaz üzerinde gösterimi

Küçük ekranlı ve genellikle dokunmatik özelliğe sahip mobil cihazların verimli bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla Akıllı İstihbarat Servisinin riskli bölgeleri gösterimi sembolojiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı herhangi bir sembolojiye tıklayarak onunla ilgili detaylı bilgi alabilmektedir. Ekranın boş bir kısmına tıklandığında ortaya çıkan seçimli bar ile (örn. Şekil 5 – b) farklı parametrelere göre ayrıca bir filtreleme yapılabilmektedir. Buna göre alttaki bar ile farklı zamanlar arasında bir geçiş yapılabilmekte, soldaki bar ile risk seviyesine (1, 2 veya 3'e) göre kısıtlanabilmekte veya üstteki bar ile geçmiş olay tipine göre bir filtreleme yapılabilmektedir.

Örnek bir senaryo olarak bir takım askerin belirli bir bölgeye intikal görevi verilebilir. Takımın komutanı Tek Er uygulamasını kullanarak emir bilgisini almış ve harita üzerinde çizilen güzergahı kontrol etmiştir. Kendi bilgi birikimi ve tecrübesine göre yaptığı tehlike değerlendirmesinin ardından uygulama üzerinden "Akıllı İstihbarat Servisini" kullanmıştır. Bu isteğin merkeze iletilmesi ile birlikte sunucu uygulaması öncelikle birçok farklı bilgiyi bir araya getirerek ontolojiye eşleştirmiştir. Buna göre bir araya getirdiği bilgiler arasında: 1) bu isteği yapan askerin bağlamı (görev, emir, teçhizat, mühimmat), 2) Konumuna göre arazi koşulları 3) Konumuna göre hava koşulları 3) Konumuna göre daha önce bu noktada meydana gelmiş olan terörist faaliyetler ve bu faaliyetlerde kullanılan silahlar, bu silahların etki çapları vb. 4) Zaman (gündüz, gece) 5) Konuma göre mevcut güncel istihbarat bilgileri (yakın civarda alınan terörist hareketleri vs) bulunmaktadır. Ontoloji üzerine işlenen bu bilgiler ile Tek Er için en tehlikeli durumları belirleyebilecek çıkarımlar çalıştırılmakta ve sonuçlar aktarılmaktadır. Buna göre Tek Er, mobil uygulama üzerinde bu servise bastıktan sonra harita üzerinde uygun sembolojiler ile kendisi için tehlike arzeden noktaları tehlikenin açıklaması ile birlikte ve uygun sembolojilerle Şekil 5'teki gibi görebilmektedir. Mobil uygulama Android platformu üzerinde geliştirilmiştir. Mobil cihazın sunucu uygulaması ile haberleşmesi Wi-Fi ve 3G altyapıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. SONUÇ

Ontoloji ve veri anlamlandırma konusunda bu çalışma ile bir konsept doğrulama uygulaması yapılmıştır. Özellikle istihbarat verilerinin göreve, anlık duruma, koşullara ve ihtiyaca daha uygun şekilde şekillendirilmesi ve sunulması, farklı türdeki verilerin toplanması ve anlamlandırılması ile daha hızlı karar ve önlemlerin alınmasını sağlamaktadır. Buna yönelik olarak NATO'nun Anlamsal Birlikte Çalışılabilirlik (Semantic Interoperability) adı altında yapılan çalışmaları Servis Odaklı Mimari ile Anlamsal Ağ Teknolojilerinin birlikte kullanımına ve yaygınlaşmasına yoğunlaşmaktadır. TODES projesinde geliştirilen ontoloji temel bir askeri ontoloji olup gelişmeye açık bir şekilde oluşturulmuştur. Bu ontolojinin genişletilmesi ve askeri entegrasyon ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde tanımlanması mümkündür. Bunun için öncelikle mevcut askeri uygulamalardan önem sırasına göre veri modellerinin ontolojinin tanımına alan uzmanlarının katılımı ile dahil edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma sayesinde NATO'nun tanımladığı 5 seviyeli birlikte çalışabilirlik hedefinin gerçekleştirilmesine yönelik önemli bir adım atılabilecek ve birlikte çalışılabilirliğin gerçekleştirilmesi ile tüm süreç ve verilerin farklı ülkelerin birlikte çalışmalarında ortak durumsal farkındalığa yönelik tam entegre çalışabilmeleri mümkün olabilecektir.

5. KAYNAKÇA

[1] W3C – Anlamsal Ağ Aktiviteleri, Sıkça Sorulan Sorular, http://www.w3.org/2001/sw/SW-FAQ, Son Erişim Tarihi: 25.02.2013

[2] aXiom CxMF - Context Management Framework http://www.doncio.navy.mil/chips/ArticleDetails.aspx?ID=2847, Son Erişim Tarihi: 02.11.2012

[3] Thetus, CommIT Establish Semantic Service-Oriented Architecture for Navy Project, http://www.linux-mag.com/id/5772/, Son Erişim Tarihi: 02.11.2012

[4] MITRE, Building Dynamic Web-based Tools for Tomorrow's Battlefield, http://www.mitre.org/news/digest/advanced_research/06_07/a_web.html, Son Erişim Tarihi: 02.11.2012

[5] Antoniou, G. and van Harmelen, F. (2004) *A semantic Web primer*. Cambridge, MA: MIT Press,. 238 pp. ISBN 0-262-01210-3

[6] http://militaryontology.com/mid-level-reference-ontology.html, Son Erişim Tarihi: 02.11.2012

[7] Framework for Semantic Interoperabilityhttp://ftp.rta.nato.int/public/PubFullText/RTO/MP/RTO-MP-IST-101///MP-IST-101-15.pdf

SİMÜLASYON ORTAMINDA HAVA GÖREV EMRİ OTOMASYONU

Oğuz Yusuf Bolata[(a)], Burak Çayır[(b)], Erhan Elveren[(c)]

[(a)] C Tech Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş, Gebze/KOCAELİ
oyusuf.bolata@ctech.com.tr
[(b)] C Tech Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş, Gebze/KOCAELİ
burak.cayir@ctech.com.tr
[(c)] C Tech Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş, Gebze/KOCAELİ
erhan.elveren@ctech.com.tr

ÖZ

Bu çalışma ile Birleştirilmiş Hava Harekat Merkezi (BHHM) modeli tarafından yayınlanan hava görev emrinin (HGE) kullanıcı yerine bir algoritma tarafından çizelgelenmesi sağlanmıştır. Bu algoritma, kullanıcı tarafından filolara rol atanması, mevcut görev tipleri için kaynak tahsisinin yapılması, kriterlerin ve önceliklerin tanımlanması işlemlerinin ardından bu girdilere göre hava görev emrini oluşturmaktadır. Öncelikler alan ve hedef tiplerine göre tanımlanabilmektedir. Ayrıca görev süresi, mevcut harekat süresi ve eldeki kaynaklara göre uygun sorti sayısı bu algoritma tarafından belirlenmektedir.

Hava görevleri, uygun role sahip bir filodaki uçağın taşıdığı mühimmat ile en uygun hedefin eşleştirilmesiyle oluşturulur. Bu eşleştirme, hasar modellemesinin ön işletimi sonrası, yüklü mühimmat ile hedefin en düşük sorti sayısı, en kısa mesafe ve en yüksek isabet oranıyla imha edilmesi kriterlerini sağlayan mühimmat-hedef çiftleriyle gerçeklenir [1]. Çizelgelenen hava görevlerinin tipi, kaynak tahsisi ve hedefin türüne göre belirlenir. Hava üslerinden hedeflere doğru olan rotalar ve uygun görev tipleri sonrası keşif harekatları da otomatik olarak oluşturulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Birleştirilmiş Hava Harekat Merkezi, Hava Görevleri, Hava Görev Emri, Simülasyon

AUTOMATED AIR TASKING ORDER IN A SIMULATION ENVIRONMENT

ABSTRACT

In this study, instead of user defined scheduling of an air tasking order (ATO) issued by the Combined Air Operations Center model (CAOC); this process was performed by an algorithm. This algorithm creates air task orders based on the inputs from the role assignment to fleets by user, the allocation of resources to the current task types, definition of criteria and priorities. Priorities identified by the type of area and target. Furthermore, the task duration and duration of the current operations and the appropriate number of sorties according to the resources available is determined by this algorithm.

Air missions are created by mapping the most appropriate target with the ammunition of the aircraft of a fleet having an appropriate role. This mapping operation is implemented by ammunition-target pairs that meet the criteria of the lowest number of sorties with carried ammunition, the shortest distance and the greatest accuracy of the destruction after pre-processing of damage modeling. Types of scheduled air missions are determined by resource allocation and target type. Routes from air bases to targets and recce operations after appropriate tasks types are generated automatically.

Keywords: Combined Air Operations Center, Air Missions, Air Tasking Order, Simulation

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi hava görev emirleri düşman satıhları üzerine belirli kriterler gözönünde bulundurularak filolara atanmaktadır. Bu kısıtlar, filolardaki uçak sayısı, filoların görev tipi, erişim alanları, hedeflerin ve bölgelerin öncelikleri ve filodaki uçakların yüzde olarak atanacakları görev tipleri olarak sayılabilir. Ayrıca en kısa mesafeden hedefe ulaşım ve en az mühimmatla verilebilecek azami hasar da göz önünde bulunmalıdır. Bu kısıtlar göz önünde bulundurularak elde hazırlanan bu görev emirleri, bir algoritma vasıtasıyla otomatik olarak oluşturulabilmektedir.

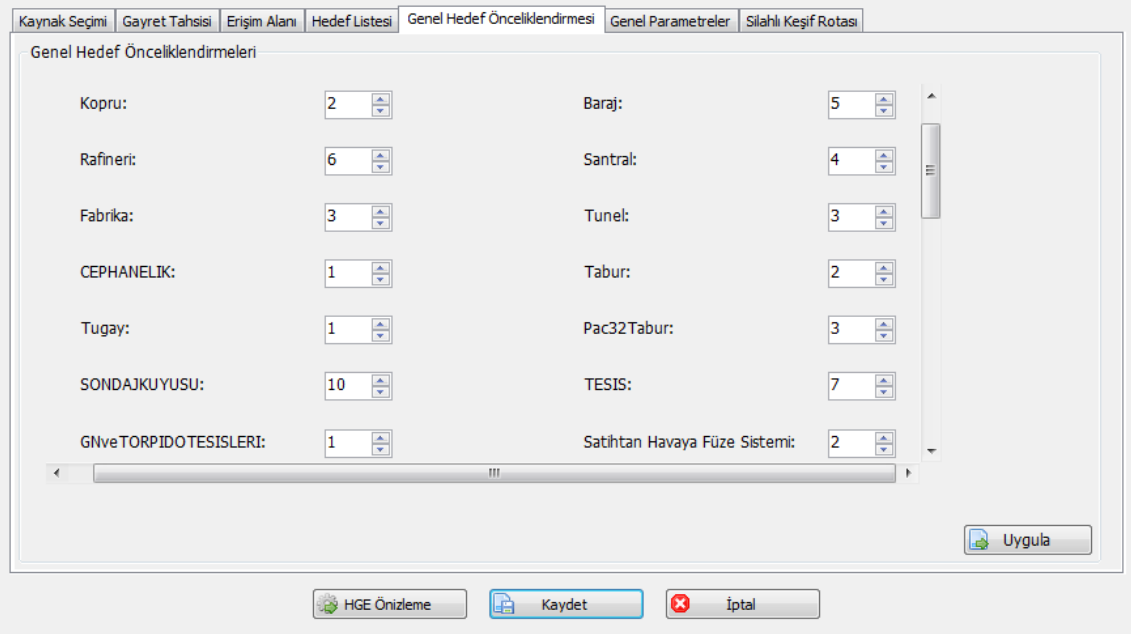
2. KISIT VE ÖNCELİKLERİN BELİRLENMESİ

Bir harekat merkezine bağlı tüm hava üslerindeki filoların herbiri için Savunma, Taarruz, Destek veya Keşif görev tiplerinden birinin atanmasının ardından bu görev tiplerine ne kadarlık kaynak ayrılacağı kullanıcı tarafından belirtilir. Görev tipleri şu şekildedir[2]:

- Savunma
    - Himaye
    - Önleme
    - Devriye
- Taarruz
    - Taarruzi Mukabil Hava Harekatı
    - Hava Tecrit Harekatı
        - Havadan Yere Taarruz
        - Silahlı Keşif
    - Taarruzi Hava Destek Harekatı
        - Muharebe Sahası Hava Tecridi
            - Havadan Yere Taarruz
            - Silahlı Keşif
        - Yakın Hava Desteği
        - Deniz Harekatının Taktik Hava Desteği
            - Havadan Yere Taarruz
            - Silahlı Keşif
- Destek
    - Hava Savunma Baskısı
        - Paket Görevi
        - Müstakil Görev
    - Havadan Yakıt İkmali
    - Havadan Erken İhbar Kontrol
    - Elektronik Harp
    - Ulaştırma
    - Taarruzi Hava Destek Harekatı Keşfi
    - Diğer Harekat Nevileri
- Keşif
    - Taarruzi Mukabil Hava Harekatı Keşfi

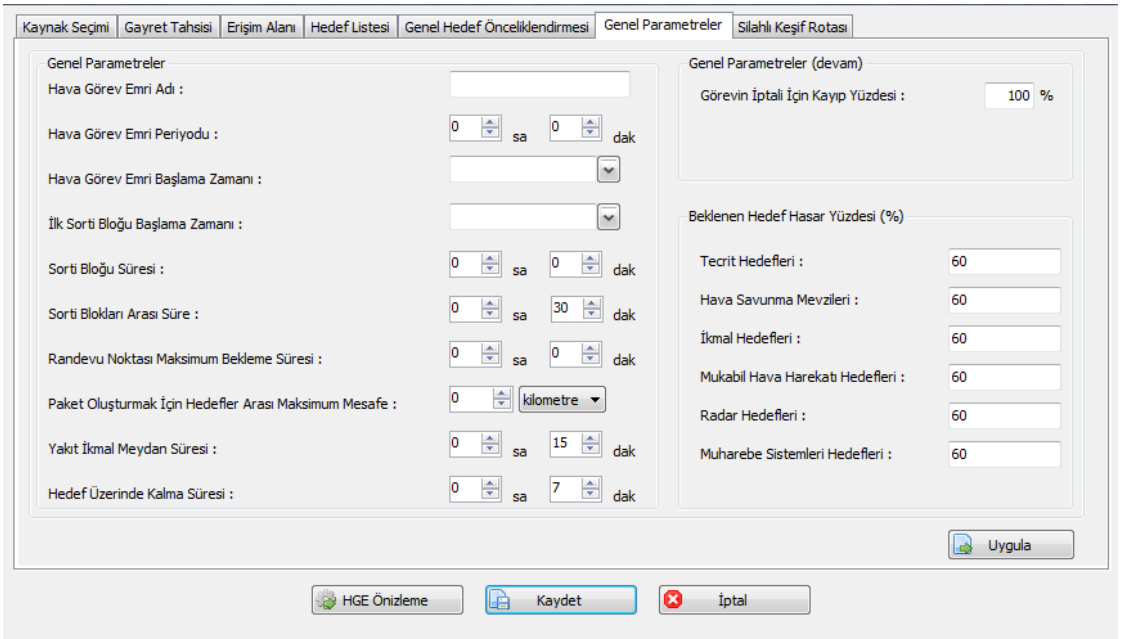
- Tecrit Harekatı Keşfi
- Taarruzi Hava Destek Harekatı Keşfi

Ayrıca tüm ana ve alt hedef tipleri için önceliklendirme puanları, Şekil 1'deki gibi 1 ile 10 arasında olacak şekilde verilir.



Şekil 1 Genel Hedef Önceliklendirmesi

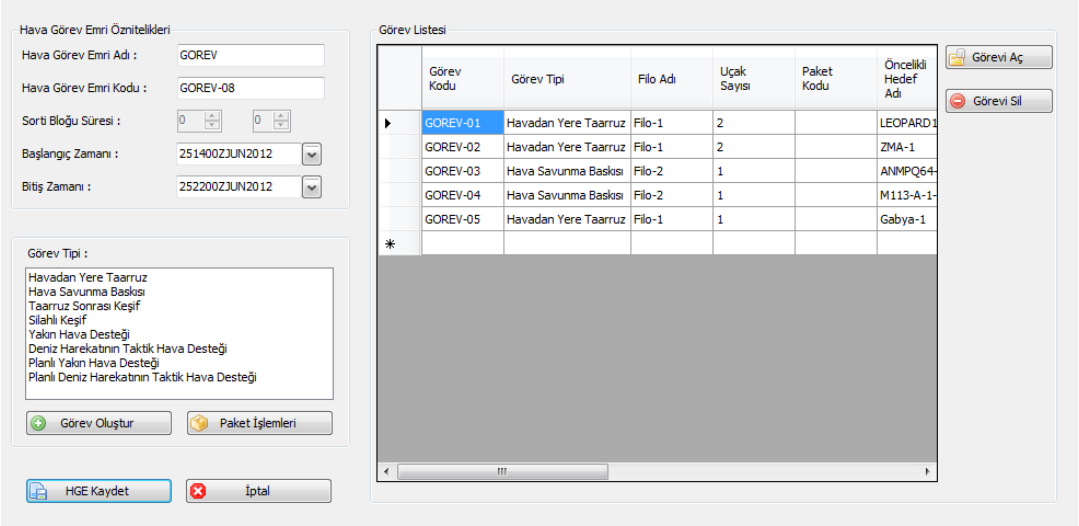
Görev başarımı için hedefin ne kadarlık hasar alması gerektiği kullanıcı tarafından belirtilir. Hedefe doğru rotalar otomatik olarak oluşturulur fakat silahlı keşif rotalarında belli bir hedef olmadığından bu rotaların kullanıcı tarafından seçilmesi gerekir. Hava görev emri oluşturmak için gerekli genel parametreler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. HGE Oluşturma Genel Parametreleri

3. ALGORİTMANIN UYGULANMASI

Algoritma verilen yüzdeliklere göre filolardaki uçakları görev tiplerine göre paylaştırır. Daha sonra hedeflere ve erişim alanlarına verilen öncelik sırasıyla her bir hedef için hangi görevlerin gerçekleştirilebileceği bu görevlerden hangisi için kaç sorti gerekeceği ve hedefe en çok hasarın nasıl verileceği üzerine iteratif olarak hesaplama yapılır. Tek bir sortiyle bir hedefe istenilen hasar verilemeyecekse, iki veya daha fazla sortiyle istenilen hasar seviyesine ulaşılması sağlanır. Tüm sortilerin başlangıç ve bitiş zamanları, hedef üzerinde bulunma zamanları ve gidiş-dönüş rotaları otomatik olarak hesaplanır ve senaryoya kaydedilir. Örnek sonuç ekranı Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 3 Oluşan Hava Görev Emirleri

Oluşan Hava Görev Emirleri, ayrı bir ekranda görüntülenebilir ve istendiği taktirde üzerinde manuel olarak değişiklikler ve düzeltmeler yapılabilir.

4. SONUÇ

Oldukça kapsamlı bir çalışma gerektiren Hava Görev Emirleri oluşturma işlemi, insandan çok daha hızlı hesap yapabilme kapasitesine sahip bilgisayarlar vasıtasıyla, insan hatasını minimize edecek şekilde, istenen öncelikler göz önünde bulundurularak, optimum kaynak kullanımı sağlanacak biçimde oluşturulmuştur. Böylece Hava Görev Emirleri oluşturma için gerekli olan insan gücü minimize edilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] Dolan, Matthew H., *Air Tasking Order (ATO) Optimization Model*, 1993.

[2] Zacherl, Brian (2006); Weapon-Target Pairing; Revising an Air Tasking Order in Real-Time, *Naval Postgraduate School, Monterey, California*

HAVA SAVUNMA SİMÜLASYONLARINDA ALTI SERBESTLİK DERECELİ HAVA PLATFORMLARI VE FÜZE MODELLEME

İlyas Kandemir [(a)], Ayşe Kandemir [(b)] , Erdem Reşber [(b)] , M. Fatih Hocaoğlu [(c,d)]

[(a)] Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, PK 141 41400 Gebze, Kandemir@gyte.edu.tr

[(b)] Agena BST, Maltepe 34844 İstanbul, {ayse; erdem.resber}@kandemir.com

[(c)] Agena BST, Cyberpark Ankara, hocaoglu@agenabst.com

[(d)] İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Kadıköy İstanbul, hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Bu çalışma ile altı eksende (öteleme ve dönme) manevra kabiliyetine sahip bir hava aracının yine altı eksende hareket eden bir başka hava aracını takip dinamik modeli oluşturulmuştur. Literatür en genel haliyle temel hareket denklemleri kullanılarak uçuş simülasyonunun gerçekleştirilebileceğini gösteren yöntemler içermektedir. Bunlar, basit sabit aerodinamik etkiler içeren üç serbestlik dereceli rijit cisim modellemelerinden, elastik cisim etkilerini de dahil eden veya tensör analizi gerektiren karmaşık modellemelere kadar çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmada rijit hava aracı kabulü yapılarak, aeroelastisite etkileri haricindeki hesaplamalar en genel hali ile yapılmıştır. Dünyanın jeodezik yapısı da göz önünde bulundurulan çalışmada yerçekimi modeli de buna göre kurgulanmış, verilen yükseklikteki atmosfer şartları hesaplamalara dahil edilmiştir.

Bu modelde hava aracı dinamiği zaman içindeki pozisyon ve oryantasyon bilgilerinin (öteleme ve dönme hızları ve ivmeleri hesaplanarak) güncellenmesi ile tanımlanmıştır. Altı eksenli dinamik kararlılığın sağlanması için hava aracına etki eden uzunlamasına ve yanal kuvvet dengeleri hesaplanmış, kontrol yüzeylerine gönderilen öngörülen manevra geri bildirimleri ile bağıntılı olarak moment değerleri elde edilmiştir. Bu şekilde verilen manevralarla altı serbestlik derecesi etkileri; tono, sapma ve bunların yunuslama ile birlikte koordine değişimleri olarak hesaplamalarda mevcuttur. Hedef takip ve irtifa kontrolü de benzer mantıkla sağlanmıştır. Hava aracına göre değişen itki modeli ve değişken yakıt kontrolü de hesaplamalara dahil edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Altı eksende hareket, EtSiS, Füze modelleme, Hava aracı kontrol simülasyonu, Hava aracı modellemesi, Hava savunma

6 DOF AIRCRAFT AND MISSILE MODELING FOR AIR DEFENCE SIMULATIONS

ABSTRACT

In this study, dynamic model of an aircraft with six axes manevour capability tracking another six axes moving craft is presented. In literature, simulation methods with general force and moment equations are abundant. These methods may vary from a simple basic aerodynamic model with rigid 3 degrees of freedom to complex models with elasticity effects or calculations with tensor analysis. In this study, basic assumption for the body is rigidity that excludes aeroelasticity, while other calculations are based on general forms. In the calculation of the gravitation, effects of the geodetic form of the world is included and variation of atmospheric conditions with altitude is modeled, as well.

In the model, dynamics of the aircraft is defined by the update of the position and orientation by calculating the translational and rotational velocities and accelarations. For the dynamic stability in six axes, longitudunal and lateral force equlibrium states are modeled and corresponding moments are calculated along with the feedback of the control surfaces. Six degrees of freedom included in the calculations by the manevours of rolling, yawing, and coordinated pitching. Target tracing and altitude control are also calculated with similar methodology. Craft dependent thrust model and fuel consumption effects are also modeled.

Keywords: 6DOF movement, AdSiF, Air defence, Aircraft control simulation, Aircraft modeling, Missile modeling

1. GİRİŞ

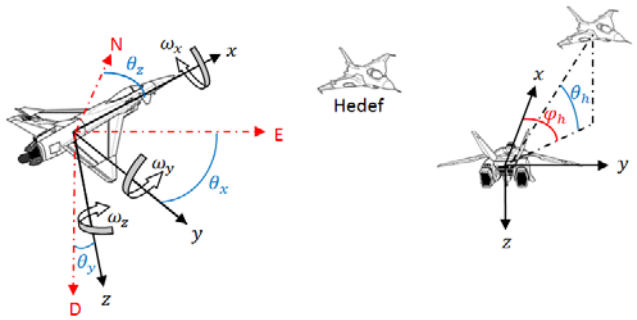
Hava platformları ve füzelerin modellemesi ve simülasyonu savunma stratejileri açısından, özellikle günümüzde, önem arz etmektedir. Hava araçlarının 3 serbestlik dereceli (öteleme) simülasyonları ile pozisyon ve takibi mümkün olsa da, manevra kestirmeleri ve yeteneklerini doğru bir şekilde tasvir etmek için dönme hareketlerinin de probleme dahil edilmesi zorunludur.

Böyle bir simülasyonun tasarlanması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, genel bir hava aracı için (uçak, füze, …) uçuş mekaniği modeli kullanılmıştır [1], [3]. Tasarımda yararlanılan eksen dönüşümleri, literatürde açıkça mevcuttur [3]. Füzelerin hedef takibi ve itki mekanizması nedeniyle farklı olarak ele alındığı çalışmalar olsa da, bu çalışmada bütün hava araçları genel bir model ile temsil edilmektedir [4]. Oluşturulan modelde, hava aracına etki eden kuvvetler, kontrol sistemince hesaplanan ivme geri bildirimlerine göre oluşmaktadır. Kontrol sistemine ilişkin olarak literatürde farklı kontrol ve geri bildirim yaklaşımları mevcuttur [5]. Bu çalışmada, problemin özünü tasvir etmek için

yeterli olan, sapma ve yalpa kontrolü için birer, irtifa ve yunuslama kontrolü için ise kaskad PD kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu yaklaşım için gerekli kontrol parametreleri belirlenmiş ve geliştirilen bilgisayar simülasyonu ile işlerliği doğrulanmıştır. Gerçekleştirilen doğrulama senaryolarında, sabit veya hareketli hedefleri yakalamaya yönelik dönüş manevraları simülasyona entegre edilen takip modeliyle sağlanmıştır.

2. PROBLEM TANIMLAMALARI

Bu çalışmada, bütün hava platformları, mermiler, füzeler aynı tür genel nesne yapısı ile temsil edilmektedir. En genel anlamda bu nesneleri birer hava platformu olarak ele almak tercih edilmektedir. Hava platformları kendilerine atanan hedefe ulaşmak için gerekli manevraları koordineli olarak yaparak zaman içinde artımsal olarak ilerlemektedir. Her ilerleme adımında, belirlenen kontrol algoritması doğrultusunda uygulanan kumandalara göre aerodinamik ve itki kuvvetleri ve momentleri ile bunların uygulanacağı süre (Δt) hesaplanmaktadır. Bu kuvvetlere ve momentlere göre platform, sonraki zaman adımında açısal ve eksenel hızlarını güncellemekte ve bu hızlarla ilerlemektedir.



Şekil 1. Hava platformu için eksen ve açı tariflemeleri

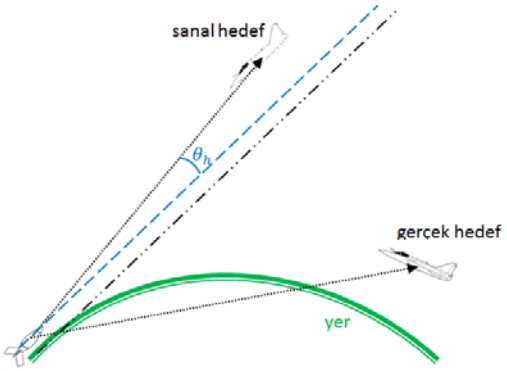
2.1. Eksen takımları

Hedef takibi yapan hava aracı simülasyonlarında farklı eksen takımlarının kullanımı ve bunların birbirlerine dönüşümleri sıklıkla kullanılır. Bu eksen takımları arasında yer, rüzgâr, takipçi, hedef ve gövde eksen takımları en gereklilerindendir. Bu çalışmada yeryüzü için jeodezik koordinatlar, ayrıca gövdeye bağlı NED (kuzey – doğu – aşağı) koordinatları ile oryantasyonu gösteren Euler açıları (θ_x , θ_y , θ_z) kullanılmıştır. Gövdeye bağlı kartezyen eksen takımı için; platformun burnunun gösterdiği doğrultu x ekseni, buna dik olarak sağ kanat doğrultusu y ekseni, bunlara dik olarak platformun altını gösteren doğrultu da z ekseni olarak alınmıştır. Bu eksenler etrafında dönüş açısal hızları (ω_x , ω_y , ω_z) olarak adlandırılmıştır. Hedefin hava platformuna göre açısal konumunu yükseliş (θ_h) ve sapma (φ_h) açıları göstermektedir. Şekil 1'de bu eksen takımları gösterilmiştir. Hava platformunun 3 boyutlu uzaydaki pozisyonu jeodezik

koordinatlarına göre yani enlem, boylam ve irtifa ile belirlenirken, oryantasyonu da NED eksen takımına göre Euler açılarıyla ifade edilmektedir.

2.2. Hedef koordinatları

Hedefin açısal konumunun Şekil 1'deki gibi yakın bir hedef için basit olarak ifade edilebileceği düşünülse de, dünya yuvarlaklığı göz önüne alındığında, uzak hedefler için daha yüksek irtifada olsalar dahi negatif θ_h yükselişleri gerekliliği gibi yanlış bir durum ortaya çıkar. Bu nedenle θ_h açısı hesaplanırken hedefle platform arasındaki irtifa farkından yararlanılmış, 3 boyutlu uzaydaki bu iki nesneyi bağlayan vektör buna göre revize edilmiştir (Şekil 2). Ayrıca platformun hedef koordinatların irtifasına belirlenen parametrelere göre uygun yükselme/alçalma hızı (varyo) ile gelmesi ve bu sabit irtifada seyretmesi planlanmıştır.



Şekil 2. Hedef yükseliş açısının dünyanın eğriliği için revizyonu

2.3. Değişken notasyonu

Bu çalışmada önerilen çözüm modeli zaman artımlı bir simülasyon olduğu için kullanılan değişkenlerin bir önceki adımdaki değerlerini belirtmek için "0" indisi kullanılmaktadır.

Çalışmada farklı eksen takımları kullanıldığından koordinatlar arasındaki geçişler için bir dönüşüm operatörü notasyonu gerekmektedir. Örneğin NED eksen takımındaki $\vec{c}$ vektörünün $\vec{X}$ orijinli jeodezik koordinatlara geçişi $\{NED \rightarrow Jeo\}(\vec{X}, \vec{c})$ ile ifade edilmektedir. Ayrıca, herhangi bir değişkenin indisi olarak kullanılan eksen takımı ismi, o değişkenin adı geçen koordinatlarda olduğunu ifade etmektedir. Bir vektörel $\vec{b}$ büyüklüğün ilgili kartezyen eksen takımına göre bileşenleri de indisler yardımıyla gösterilmekte, böylece $\vec{b} = [b_x \quad b_y \quad b_z]^T$ olmaktadır.

2.4. Atmosfer modeli

Standart atmosfer modeline bölgesel rüzgar etkisi de ilave edilebilmektedir. Deniz seviyesi sıcaklığına bağlı olarak farklı irtifalardaki sıcaklıklar kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Mutlak hava sıcaklığı (T), ortamdaki sesin yayılma hızını (a_{ses})

belirlemek için önemlidir: $a_{ses} = \sqrt{\gamma RT}$. Burada hava için gaz sabiti $R = 287\ J/kgK$ ve özgül ısılar oranı $\gamma = 1{,}4$ olarak alınmaktadır. Buradan hareketle gövdeye göre hava hızı $\left|\vec{V}_{hava,gövde}\right|$ olan bir hava aracı için Mach sayısı $M = \left|\vec{V}_{hava,gövde}\right| / a_{ses}$ olarak ortaya çıkmaktadır. Mach sayısı, taşıma ve sürükleme katsayısı gibi aerodinamik parametreler ile itki hesabında gereklidir.

3. ÇÖZÜM MODELİ

Simüle edilen probleme ait kontrol ve navigasyon algoritması oldukça karmaşık olmakla birlikte, burada genel hatlarıyla, bir bütün '6 eksenli hava aracı simülasyonu'nu gerçekleştirmeye yetecek çözüm yöntemi anlatılmaktadır. Platformun ağırlık merkezi üç boyutlu uzaydaki konumunu tespit için kullanılmaktadır. Bütün dönüşler bu merkezden geçen dik eksenler etrafında tariflenmiştir. Böylece hareket denklemlerinde gereksiz karmaşık terimlerin ortaya çıkmasının önüne geçilmiştir.

Hava platformuna ait kütlesel, geometrik, aerodinamik ve manevra kısıtları gibi parametrelerin biliniyor olması gerekmektedir.

3.1. Başlangıç koşulları

Simülasyonun başlangıcında, temsil edilen hava platformuna ait durum; jeodezik konum ($\vec{X}_0$), NED hızı ($\vec{V}_{NED,0}$), oryantasyon ($\vec{\theta}_0$), hedef konumu ($\vec{x}_{h,0}$) ve itki ($\vec{T}_0$) vektörel bilgileri ile tanımlanmaktadır.

Simülasyon içindeki herhangi bir zaman artımı adımından önce ise gövde (x , y , z) eksenleri etrafındaki açısal hız ($\vec{\omega}_0$), Euler açısal hızları ($\dot{\vec{\theta}}_0$), anlık yakıt miktarı (Y_0), toplam kütle (m_0) ile bu adımda uygulanacak açısal ivmeler ($\vec{\dot{\omega}}$), öteleme ivmeleri ($\vec{a}$) ve Δt zaman artımı belirlenmiş olmalıdır.

3.2. Zamanın ilerletilmesi

Uygulanacak olan Δt adımı boyunca (eski ve hesaplanan yeni değerlerin aritmetik ortalamasıyla hesaplanarak) dönme ve öteleme hızlarının doğrusal değiştiği kabul edilmektedir. Buna göre

$$\vec{\omega} = \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \vec{\dot{\omega}}\,\Delta t + \vec{\omega}_0 \tag{1}$$

şeklinde hesaplanan yeni açısal hızlar yardımıyla yeni Euler açısal hızları

$$\dot{\vec{\theta}} = \begin{bmatrix} \omega_x + \left(\omega_y \sin\theta_{x,0} + \omega_z \cos\theta_{x,0}\right)\tan\theta_{y,0} \\ \left(\omega_y \cos\theta_{x,0} - \omega_z \sin\theta_{x,0}\right) \\ \left(\omega_y \sin\theta_{x,0} + \omega_z \cos\theta_{x,0}\right)\sec\theta_{y,0} \end{bmatrix} \tag{2}$$

olarak ifade edilebilir. Bu değer zamanda integre edilerek yeni oryantasyon bulunur:

$$\vec{\theta}=\Delta t\left(\vec{\theta}+\vec{\theta}_0\right)/2\ +\vec{\theta}_0 \tag{3}$$

Başta itki olmak üzere Mach sayısı ve irtifanın fonksiyonu olarak her hava aracı için anlık yakıt tüketimi $\left(\frac{dY}{dt}\right)=f\left(|\vec{T}|,M,z_{jeo}\right)$ belirli olmalıdır.

Bu durumda anlık platform kütlesi şöyle güncellenebilir:

$$m=m_0-\left(\frac{dY}{dt}\right)_0\Delta t \tag{4}$$

Platforma ait güncel jeodezik konum da

$$\vec{X}=\{NED\rightarrow Jeo\}\left(\vec{X}_0,\vec{V}_{NED,0}\Delta t+\frac{1}{2}\vec{a}_{NED}(\Delta t)^2\right) \tag{5}$$

olarak hesaplanır. Yeni hız içinse zaman içindeki integrasyon yeterlidir:

$$\vec{V}_{NED}=\vec{a}_{NED}\Delta t+\vec{V}_{NED,0} \tag{6}$$

Böylece Δt sonrası yeni konum, yönelim, dönme ve öteleme hızları güncellenmektedir.

3.3. Yeni açısal ivmelerin ve zaman artımının belirlenmesi

Mevcut platform durumuna ve hedef konumuna göre yapılacak manevra için, öngörülen ivmelerin ve bunlara karşılık gelen aerodinamik ve itki kuvvetlerinin hesabı gerekmektedir. Kritik sönüm civarında bir kaskad PD kontrolü uygun görülmüştür.

3.3.1. Kritik açıların hesabı

Aerodinamik etkilerin hesabı için öncelikle platformun havaya göre hızı belirlenmelidir:

$$\vec{V}_{hava,gövde}=\{NED\rightarrow Gövde\}(\vec{V}_{NED}-\vec{V}_{rüzgar,NED}) \tag{7}$$

$$\{NED\rightarrow Gövde\}=\{Gövde\rightarrow NED\}^T=$$
$$\begin{bmatrix}\cos\theta_y\cos\theta_z & \sin\theta_x\sin\theta_y\cos\theta_z-\cos\theta_x\sin\theta_z & \cos\theta_x\sin\theta_y\cos\theta_z+\sin\theta_x\sin\theta_z\\ \cos\theta_y\sin\theta_z & \sin\theta_x\sin\theta_y\sin\theta_z+\cos\theta_x\cos\theta_z & \cos\theta_x\sin\theta_y\sin\theta_z-\sin\theta_x\cos\theta_z\\ -\sin\theta_y & \sin\theta_x\cos\theta_y & \cos\theta_x\cos\theta_y\end{bmatrix}^T \tag{8}$$

olarak tariflenmiştir. Yunuslama ve sapma hücum açıları

$$\alpha_1=Arctan\left(\frac{V_{hava,gövde,z}}{V_{hava,gövde,x}}\right) \tag{9}$$

$$\alpha_2=Arctan\left(\frac{V_{hava,gövde,y}}{V_{hava,gövde,x}}\right) \tag{10}$$

ile bulunabilir. Bağıl hedef vektörü

$$\vec{r}=\{Jeo\rightarrow\ NED\}(\vec{X},\vec{X}_h) \tag{11}$$

ile bulunsa da Bölüm 2.2'de belirtilen irtifa revizyonu gerçekleştirilerek z bileşeni

$$r_z = X_z - X_{h,z} \tag{12}$$

şeklinde atanmaktadır. Bu durumda gövde eksen takımındaki bağıl hedef konumu

$$\vec{r}_{gövde} = \{NED \rightarrow Gövde\}(\vec{r}) \tag{13}$$

olmaktadır. Hava platformunun 3 boyutlu uzaydaki 3 eksendeki yönelimi ne olursa olsun, yönelmesi gereken kendisine göre yükselme ve sapma açıları artık hesaplanabilir:

$$\theta_t = Arctan\left(-\frac{r_{gövde,z}}{\sqrt{r_{gövde,x}^2 + r_{gövde,y}^2}}\right) \tag{14}$$

$$\varphi_t = Arctan\left(\frac{r_{gövde,y}}{r_{gövde,x}}\right) \tag{15}$$

3.3.2. Kontrol modeli

Yukarıdaki şekilde hesaplanan hedef bağıl açısal konumu, gerçekleştirilecek açısal manevra komutunun ($\vec{\gamma} = [\gamma_x \quad \gamma_y \quad \gamma_z]^T$) hesabındaki en önemli girdidir. Uygulanacak kontrolün amacı, bu açıları sıfırlamaktır. Bununla birlikte, çoğunlukla hedef çok yakın olmadığı için, öncelikle hedefin irtifasına çıkmak ve sonrasında o irtifada seyretmek suretiyle θ_t açısını sıfırlama yoluna gidilmiştir. Hedefin ne kadar sağda veya solda (belki de geride) olduğunu gösteren φ_t açısını azaltıcı yönde sapma kontrolü de yapılmalıdır. Bu ise, kuyruk dümeni veya itki yönlendirme ile sağlanan sapma açısal ivmesinin hesabını gerektirmektedir. Bunun için de $\gamma_z = \varphi_t$ kumandası planlanır.

İrtifa kontrolü, hedeflenen irtifaya gelmek anlamına gelen r_z değerini sıfırlamaya yönelik olarak uygulanması gereken $a_{NED,z}$ ivmesinin hesabı ile mümkündür. Kritik sönümlü bir yay-sönüm elemanı-kütle sistemi analojisiyle hedeften uzaktayken hedefe yaklaştırıcı yüksek ivme, yaklaşınca da yavaşlatıcı ters ivme uygulanmasını sağlayan

$$a_{NED,z} = r_z {c_a}^2 - 2c_a V_{NED,z} \tag{16}$$

PD kontrol modeli uygulanmaktadır. Bu yaklaşımdaki $2c_a$ sönüm sabiti, aracın karakteristiğine ve manevranın sertliğine göre belirlenmektedir. r_z ve $V_{NED,z}$ sıfırlanıncaya kadar $a_{NED,z}$ ivmesi, her Δt adımında güncellenerek uygulanmaktadır. Buradan hareketle, uygulanacak yunuslama momentini sağlayacak kumandanın planlanması için de çekül doğrultusundaki ilave kuvvetten yararlanmak gerekir:

$$\gamma_y = -\frac{m\, a_{NED,z}}{\frac{1}{2}\rho|\vec{V}_{hava,gövde}|^2\left(\frac{dC_L}{d\alpha}\right)c_c} \tag{17}$$

Buradaki c_c katsayısı, gelen ilave taşıma kuvvetinin dikey bileşenini elde etmek içindir:

$$c_c = cos(\theta_y - cos\alpha_1)cos\theta_x \tag{18}$$

Hava yoğunluğu ρ ve taşıma katsayısının hücum açısı ile değişimi $dC_L/d\alpha$ mevcut uçuş şartları ve hava aracı için belirlidir.

Hesaplanan γ_y kumandası, elevatör etkisini veya yunuslama itkisini temsil etmektedir. Dönüşlerde irtifa kaybına neden olmayacak hücum açısı doğal olarak oluşur.

Tono momenti, gerçekleştirilmek istenen dönüş manevrasına paralel olacak bir koordine yatış manevrasını temsil etmelidir. Buna göre $\gamma_x = \frac{\varphi_T}{2} - \theta_x$ tono (yuvarlanma-yalpa) kumandası planlanmaktadır. Bu ise kanatçık kontrolünü temsil etmektedir.

Böylece bütün bileşenleri planlanan $\vec{\gamma}$ kumandası, bir $0 < k_M \leq 1$ manevra sertliği ile çarpılarak yeniden ölçeklendirilmektedir. Bu kontrollerin uygulaması da tıpkı irtifa kontrolünde olduğu gibi yaklaşık kritik sönümlü PD kontrolü ile gerçekleştirilmektedir:

$$\vec{\omega} = k_M {c_\omega}^2 \vec{\gamma} - 2c_\omega \vec{\omega} \tag{18}$$

Böylece sonraki adımda uygulanacak açısal ivmeler hesaplanmış olur.

3.3.3. Zaman artımının hesabı

Yukarıda bulunan manevra öngörüsüne ilişkin zaman adımının da belirlenmesi gerekmektedir. Her ne kadar sabit zaman artımları ile simülasyon yapılabilirse de hızın ve yönelimin pek değişmediği durumlarda simülasyonun zaman içindeki ilerleme hızını artırmak, verimli kaynak kullanımı bakımından önemlidir. Bu amaçla Δt adımının eniyilemesini gerçekleştirmek için şu yöntem kullanılmıştır:

Sonraki adımda oluşacak gövdeye göre açısal değişimler

$$\vec{\delta} = \vec{\omega}(\Delta t)_{yeni} + \vec{\dot{\omega}}\,(\Delta t)^2_{yeni}/2 \tag{19}$$

olarak oluşmaktadır. Simülasyon boyunca bu değişimlerin belirli açısal toleranslar ($\vec{\epsilon}$) içinde tutulması arzulanmaktadır. Bu amaçla

$$\delta_i \leq \epsilon_i \quad , \qquad i = x, y, z \tag{20}$$

şartını sağlayan en büyük δ_i açısal değişimine karşılık gelen ve önceden belirlenmiş

$$(\Delta t)_{min} \leq (\Delta t)_{yeni} \leq (\Delta t)_{maks} \tag{21}$$

şartını sağlayan $(\Delta t)_{yeni}$ değeri bir sonraki adımın Δt değeri olarak planlanır.

En büyük hücum ve yatış açıları gibi kısıtlar da kontrole ve hesaba dahil edilmelidir.

3.4. Kuvvet, moment ve ivme hesabı

Aerodinamik kuvvetler ($\vec{F}_{aero,gövde}$) hücum açılarına, geometriye, dinamik basınca, Mach sayısına ve irtifaya bağlı olarak, hava aracı modelinden yola çıkarak hesaplanmaktadır. Füzeler için hareketi sağlayan itki büyüklüğü $\left|\vec{T}\right| = T_{maks} k_{gazayarı}$

şeklinde tasvir edilmektedir (mermi için sıfıdır). $\vec{\tau}_p$ itki merkezinin ağırlık merkezine göre gövdedeki konumunu ve $[I]$ atalet momenti matrisini göstermek üzere

$$\vec{T} = \left[T_x = \sqrt{\left|\vec{T}\right|^2 - T_y^2 - T_z^2} \qquad T_y = \frac{\dot{\omega}_z}{\tau_{p,x}\, I_{zz}} \qquad T_z = \frac{\dot{\omega}_y}{\tau_{p,x}\, I_{yy}} \right]^T \tag{21}$$

şeklinde itki vektörü hesaplanabilir. Bu durumda gövdeye gelen momentler şöyledir:

$$\vec{M}_{gövde} = [I]\vec{\omega} + \begin{bmatrix} 0 \\ T_z\tau_{p,x} + T_x\tau_{p,z} \\ -T_y\tau_{p,x} + T_x\tau_{p,y} \end{bmatrix} \tag{22}$$

Yerçekimi ivmesi de dahil edilerek Newton'un 2. Yasasından toplam ivme bulunur:

$$\vec{a}_{NED} = \{Gövde \rightarrow NED\}\left(\frac{\vec{F}_{aero,gövde} + \vec{T}}{m}\right) + \vec{g}$$

3.5. Faz Modelleme ve Çarpışma Hesapları

Füze ve hava platformları işletimi EtSiS [6], [7] simülasyon altyapısı üzerinde işletilerek test edilmiştir. Model davranışları EtSiS davranış betik dili ile tasarlanmıştır. Füze modelleri fazları; itkisiz serbest uçuş, itkili güdümsüz uçuş, itkili ve güdümlü uçuş ve itkisiz güdümlü uçuş olarak belirlenmiştir. Faz geçişleri, yükseklik kısıtlı, zaman kısıtlı, konum kısıtlı ve hedefe yakınlık kısıtlı olacak şekilde tanımlanabilmektedir.

Çarpışma hesapları, tahmin esaslı olarak yürütülmekte ve hava platformunun sonraki maksimum konum değişimi ile senaryo varlıklarının konum değişim yörüngelerinin kesişim noktaları belirlenerek hesap yürütülmektedir. Kurulan algoritma daha hızlı ve daha yüksek çözünürlüklü bir çözüm sağlamıştır.

4. SONUÇLAR

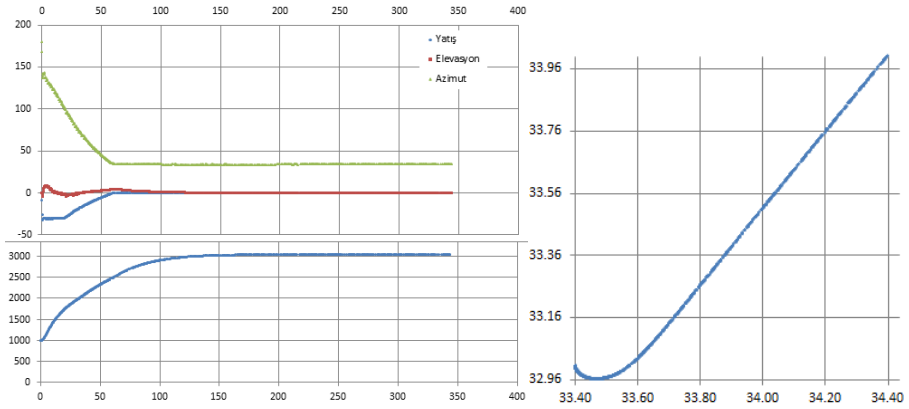
Sunulan modelle 6 serbestlik dereceli genel bir hava platformu simülasyonu gerçekleştirilmiş, oluşturulan yazılım farklı durumlarda test edilmiştir. Çizelge 1'deki örnek halde, güney yönelimli, 1000 m irtifadaki hava aracı, kuzeydoğusunda ve 3000 m irtifadaki bir hedefi yakalamaktadır. Soldaki grafikte yatış açısı sınırlandırıldığı için 30˚de kalmış, hücum açısı uygun irtifa artışı ve yatış ile sapma açıları gereği değişerek elevasyonu oluşturmuştur. Sağdaki grafikte de N33-E33.4 koordinatlarından başlayan hava aracı rotasının N34-E34.4 koordinatlarındaki hedefte sonlandığı görülmektedir.

İrtifa ve hücum açısı kontrolleri kaskad olarak gerçekleştirilmekte, dolayısıyla sistem parametrelerinin tayini oldukça önem arz etmektedir.

Gerçekleştirilen doğrulama senaryolarında, sabit veya hareketli hedefleri yakalamaya yönelik dönüş manevraları simülasyona entegre edilen takip modeliyle sağlanmıştır. Hava aracı modeli, planlandığı üzere, hedefe yönelmek ve ulaşmak için gerekli

koordine manevra kumandalarını gerçekleştirmekte, gerektiğinde zaman adımını artırarak hesaplamayı da hızlandırmaktadır.

Çizelge 1. Bir hava platformu simülasyonu



Simülasyon işletiminde EtSiS'in sağlamış olduğu dinamik frekanslı işletim desteği, sürekli olay simülasyonlarında sıklıkla ihtiyaç duyulan değişken adımlı entegrasyon algoritması [8] için bir çözümü sunar. Çözüm ile simülasyon işletiminde değişken zaman zaman adımları (dinamik frekans) sürekli olay modelinin kendi dinamiği (matematik modeli) tarafından belirlenir. Bu anlamda merkezi olarak önceden tanımlı bir zaman adımı yerine modelin kurulduğu diferansiyel denklemler tarafından belirlenen ve simülasyon işletimi boyunca değişebilen adımlar ile işletilir. Simülasyonda bulunan her sürekli olay modeli kendi adımını diğer modellerin dinamiğinden bağımsız olarak belirler.

5. KAYNAKÇA

[1] Hull, D.G., (2007), Fundamentals of Airplane Flight Mechanics, Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, Almanya.

[2] Kermode, A.C., Barnard, R.H. ve Philpot, D.R. (2006), *Mechanics of Flight* – 11th Edition, Pearson: Essex, İngiltere.

[3] Military Handbook 1211 (1995), Missile Flight Simuation Part I: Surface to Air Missiles, ABD.

[4] Murphy, C.H. ve Mermagen, W.H. (2000), Flight Mechanics of an Elastic Symmetric Missile, Army Research Laboratory: MD, ABD.

[5] Roskam, J. (2003), Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls – Part II, DarCorporation: Lawrence, KS, ABD.

[6] Hocaoğlu, M. F., "AdSiF: Agent Driven Simulation Framework", *The Huntsville Simulation Conference 2005*, 26-27 October 2005.

[7] Hocaoğlu, M. F., "EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi", *4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS'2011*, Ankara, Türkiye.

[8] Murray-Smith, D.J., (1995), "Continuous System Simulation", Chapman & Hall, ISBN 0 412 45150 6.

RADAR ALTİMETRE VERİSİNDEN DENİZ DURUMU BİLGİSİ KESTİRİMİ

Meltem KÖROĞLU [(1)], Mehmet Akif KOCA [(1)], Dr. Uğur KAYASAL [(1)]

[(1)] ROKETSAN, Samsun Yolu 40.Km Elmadağ 06780 ANKARA,
mkutlu@roketsan.com.tr; mekoca@roketsan.com.tr; ukayasal@roketsan.com.tr

ÖZ

Deniz yüzeyine yakın uçuş gerçekleştiren hava araçlarının yüzeyde oluşan dalgalara çarpmayacak şekilde güvenli bir irtifadan uçuş gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada, hava araçlarının su yüzeyine yakın uçuş gerçekleştirebilmeleri için gerekli olan güvenli uçuş yüksekliği bilgisini altimetre ölçüm verilerinden çıkaran algoritmanın benzetim modelinin oluşturulması ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Deniz yüzeyine yakın uçuş gerçekleştiren hava araçlarında yükseklik bilgisini sağlamak amacıyla FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) radar altimetreler tercih edilmektedir. FMCW radar altimetre, sürekli olarak gönderdiği sinyalin yüzeyden yansıması sonucu gelen sinyalin gecikme zamanını baz alarak yükseklik bilgisi sağlamaktadır. Dolayısıyla radar altimetre sinyallerinin kullanıldıkları yüzey hakkında istatistiksel verilere dolaylı yoldan sahip olduğu öngörülmektedir. Sentetik deniz ortam modelini oluşturmak amacıyla, birçok okyanus bilimci tarafından kabul edilmiş Pierson-Moskowitz deniz modeli kullanılmıştır. Bu model ile sağlanan dalga yükseklik bilgileri, radar altimetrenin benzetimini sağlayacak olan altimetre modeli yükseklik çıktıları ile birleştirilerek, deniz durum tahmini ve optimum uçuş yüksekliği bilgisi sağlayan algoritma benzetim modeline girdi olarak sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deniz durumu, Deniz Durum Tahmini, Radar Altimetre

SEA STATE ESTIMATION FROM RADAR ALTIMETER MEASUREMENTS

ABSTRACT

Vehicles flying close to the sea surface must keep a safe altitude to avoid hitting waves. This paper discusses simulation of an algorithm that provides the safe altitude for vehicles from FMCW radar altimeter measurements. It is known that, FMCW radar altimeters can provide altitude information in high accuracies by using reflections from surface. Therefore, the measurements also have the knowledge about surfaces that are used on. In this work, variable sea state estimations were obtained from altimeter

measurements. Sea surface was obtained using the Pierson Moskowitz theoretical model and the altimeter measurements rendered to the surface of the sea by using a FMCW radar altimeter simulation.

Keywords: FMCW; Radar altimeter, Sea state estimation;

1. GİRİŞ

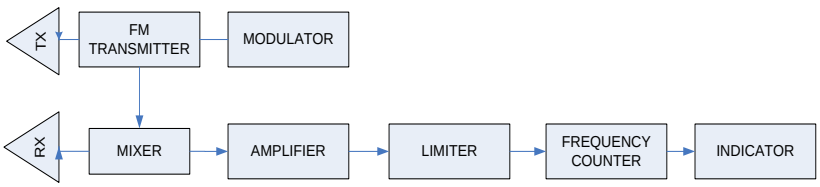
Deniz yüzeyine yakın uçuş gerçekleştiren hava araçlarında yüksek doğrulukta yükseklik bilgilerini elde etmek amacıyla FMCW türde radar altimetre kullanılmaktadır. FMCW radar altimetre sürekli olarak yüzeye sinyal gönderimi yaparak, yükseklik bilgisi değişken olan deniz gibi ortamlarda yüksek doğrulukta çözüm üretirler. Ayrıca düşük güç seviyesi kullanarak yükseklik bilgisi sağlamaları hava araçlarında diğer tercih edilme sebebidir. Deniz yüzeyinde oluşan dalgalara çarpmadan uçuş yüksekliğini belirleyebilmek için, altimetreden elde edilen ölçümlerin istatiksel analizi yüzey hakkında bilgi sahibi olmak açısında önem taşımaktadır. Dalga yüksekliklerini ifade etmek için okyanus bilimciler tarafından genel olarak bilinen Douglas ve Beaufort ölçekleri kullanılmaktadır [9]. Bu ölçekler bazında dalga yüksekliklerine göre deniz durum sınıfları oluşturulmuştur.

Radar altimetre ölçümleri, deniz yüzeyi ile hava aracı arasındaki dikey mesafe bilgisini sağlamaktadır. Dolayısıyla radar altimetreler deniz yüzeyinde oluşan dalgaların değişkenliklerine göre ölçüm sağlamakta olup, deniz dalga bilgisini dolaylı olarak içermektedirler. Ölçümlerden deniz ortam bilgisini elde edebilmek amacıyla, altimetre sinyalleri üzerinde dalga değişkenliğini içeren frekans aralığı dışındaki sinyalleri geçirmeyecek şekilde filtreleme yapılmaktadır. Altimetre sinyalleri genel olarak altimetre ölçüm hatası, referans yükseklik etrafındaki yükseklik değişimi, dalga yüksekliği ve ortam gürültü bilgisini taşımaktadır. Altimetrenin ortam gürültü bileşeninin frekans bilgisi dalga değişiminin frekans bilgisine göre çok yüksek olacağından, alçak geçirgen bir filtre kullanımı ile ortam gürültüsü bilgileri altimetre sinyallerinden ayrılabilir. Diğer yandan, hava aracının referans yükseklik etrafındaki yükseklik değişimi ve altimetre ölçüm hatasının frekans aralığı sıfır etrafında yer alacaktır. Dolaysıyla altimetre sinyallerinin frekans spektrumlarında üç değişik frekans bölgesi tanımlanabilmektedir. Buna bağlı olarak, dalga yükseklik bilgisinin frekans aralığının bant geçirgen bir filtre kullanımıyla altimetre sinyallerinden ayrılması ile dalga yüksekliklerine ait bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen dalga yükseklik bilgileri Douglas deniz ölçeği ile karşılaştırılarak deniz durum bilgisi çıkarılmıştır.

Deniz durumlarına göre değişen dalga yüksekliklerinin benzetimini elde edebilmek için birçok okyanus bilimci tarafından doğru kabul edilen Pierson-Moskowitz deniz yüzeyi modeli kullanılmıştır. Bunun yanında deniz durumu tahmin algoritmasına girdi sağlamak amacıyla FMCW altimetre benzetim modeli oluşturulmuştur.

2. FMCW RADAR ALTİMETRE MODELLEMESİ

Sürekli dalga radarlar doğrusal frekans modüleli dalga formlarını kullanarak mesafe ve Doppler bilgisini sağlarlar. FMCW radarlar genel olarak yüzey değişkenliği çok fazla olan yüzeylerde tercih edilmektedirler, çünkü FMCW radarlar sürekli olarak sinyal gönderimi ve alımı yaptıklarından daha yüksek doğrulukta ölçüm sağlamaktadırlar. Ayrıca FMCW radarların güç tüketimleri mW seviyesindedir [4]. FMCW radarlar gönderdikleri sinyal ile yüzeyden yansıyıp gelen sinyal arasındaki gecikme zamanını kullanarak mesafe bilgisini oluşturur. FMCW radarların genel işleyişini gösteren yapı Şekil 1 ile verilmiştir.



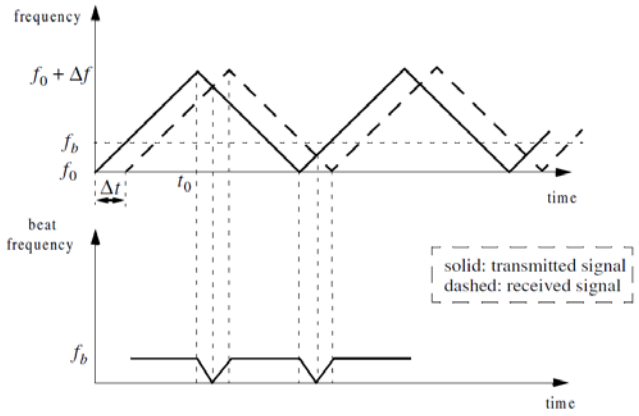
Şekil 1 FMCW Radar Genel Yapısı

Alınan sinyalin genel yapısı denklem (1) ile verilmiştir. Δt alınan sinyal ile gönderilen sinyal arasındaki zaman farkı olup, A_r alınan sinyalin genliğini, f_0 işlem yapılan radar frekans bilgisi yani 4.2 GHz ile 4.4 GHz arasında olan taşıyıcı frekansıdır. f_m modulasyon frekansı, β modulasyon indeksi denklem (2) ile verilmiştir. Son olarak, Δf gönderilen sinyalin frekans deviasyonudur [1].

$$s_r(t) = A_r cos\big(2\pi f_0(t-\Delta t) + \beta sin 2\pi f_m(t-\Delta t)\big) \tag{1}$$

$$\beta = \frac{\Delta f_{peak}}{f_m} \tag{2}$$

Lineer frekanslı dalga formları üçgen, sinüsoidal, testere dişi vb. formlarda olabilirler. Beat frekansı gönderilen ile alınan sinyallerin frekanslarının farkı olarak tanımlanmakta olup, mesafe bilgisi hesaplamasında kullanılmaktadır. Hareketli bir hedef için gönderilen ve alınan sinyallerin frekansı ve beat frekansının gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2 Gönderilen ve Alınan Sinyallerin Frekans Bilgisi [1]

Hava aracı hareketli iken, alınan sinyal gecikme zamanından dolayı oluşan frekans kaymasına ek olarak, Doppler kayması da içerecektir. Dolayısıyla, mesafe ölçümleri için kullanılacak olan iki tane beat frekansı oluşacaktır. Beat frekans hesaplamalarından önce gönderilen sinyalin modulasyon frekansı denklem (3) ile tanımlanmıştır. t_0 taşıyıcı frekansının periyodunu göstermektedir. Frekans değişimini gösteren $\dot{f}$ ise denklem (4) ile tanımlanmıştır.

$$f_m = \frac{1}{2t_0} \tag{3}$$

$$\dot{f} = \frac{\Delta f}{(\frac{1}{2f_m})} = 2f_m \Delta f \tag{4}$$

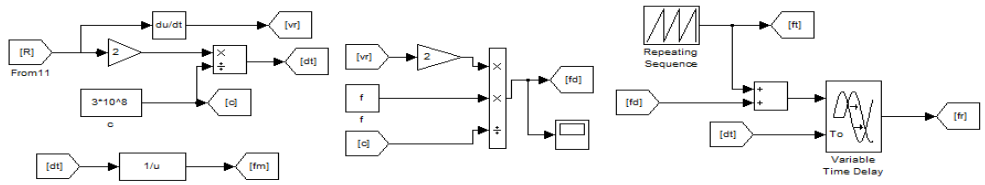
Beat frekansları ve mesafe hesaplamaları için kullanılan ifadeler denklem (5), denklem (6) ve denklem (7) ile verilmiştir. c ışık hızını, λ ise dalga uzunluğunu ifade etmektedir.

$$f_{bu} = \frac{2R}{c}\dot{f} - \frac{2\dot{R}}{\lambda} \tag{5}$$

$$f_{bd} = \frac{2R}{c}\dot{f} + \frac{2\dot{R}}{\lambda} \tag{6}$$

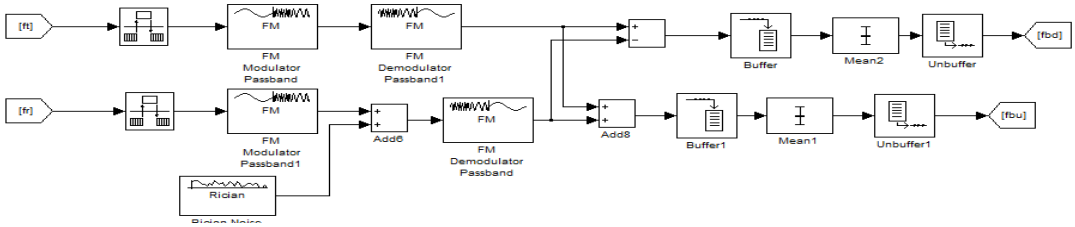
$$R = \frac{c}{4\dot{f}}(f_{bu} + f_{bd}) \tag{7}$$

Verilen denklemler kullanılarak, FMCW radar altimetre modeli Simulink ortamında Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'daki gibi oluşturulmuştur.

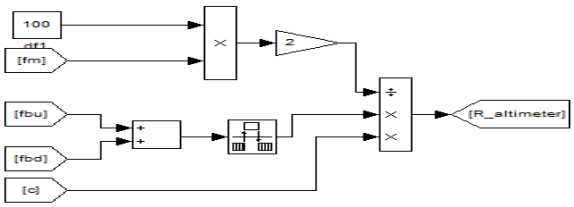


Şekil 3 Gönderilen ve Alınan Sinyallerin Frekans Bilgilerinin Oluşturulması

Sinyallerin frekans bilgilerinin alımı ve gönderimi için modulator ve demodulator kullanılarak ortam gürültüsü göz önüne alınmıştır.

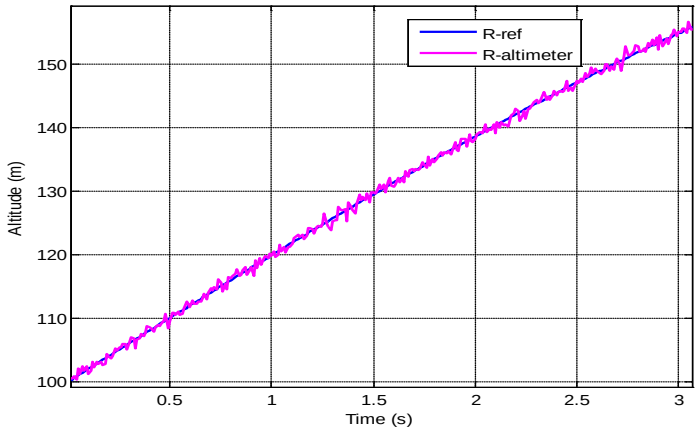


Şekil 4 Beat Frekanslarının Hesaplanması



Şekil 5 Beat Frekanslarından Mesafe Hesaplanması

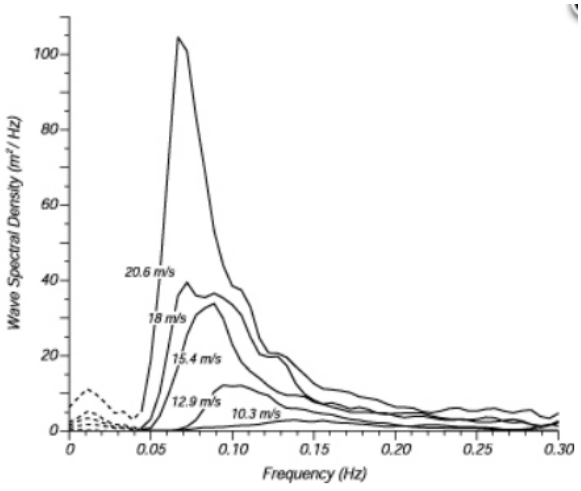
Ölçüm hatalarını, ortam gürültüsünü ve diğer hata kaynaklarını hesaba katabilmek amacıyla Rician gürültüsü alınan sinyal bilgisine eklenmiştir. Referans yükseklik ile altimetre modelinin çıktısı olan yükseklik Şekil 6 ile verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi altimetre yüksekliği referans yükseklik etrafında 0.37m deviasyona sahip bir dağılım ile elde edilmiştir.



Şekil 6 Altimetre Çıktısı ile Referans Yüksekliğin Karşılaştırılması

3. DENİZ ORTAM MODELİ

Deniz dalgalarının benzetimi için, daha önceden [8] ile gerçekleştirilen MATLAB programı kullanılmıştır. Program deniz dalga yüksekliklerinin benzetimi için Pierson-Moskowitz deniz spektrumunu kullanmaktadır. Pierson-Moskowitz deniz modeli [10] rüzgar, Douglas deniz ölçeğine göre deniz durum bilgisini ve yüzey koordinatlarını girdi alarak dalga yükseklik bilgisini vermektedir. Dalga yüksekliğini oluşturmak için kullanılan frekans spektrumu Şekil 7 ile verilmektedir.



Şekil 7 Pierson-Moskowitz Deniz Frekans Spektrumu

Tablo 1 Douglas Deniz Ölçeği [9]

Deniz Durumu	**Yükseklik(m)**	**Dalga Karakteristiği**
1	0-0.10	Sakin (Hafif Dalgalanma)
2	0.10-0.50	Düz Dalga (wavelets)
3	0.50-1.25	Zayıf
4	1.25-2.50	Orta
5	2.50-4.00	Engebeli
6	4.00-6.00	Çok Engebeli

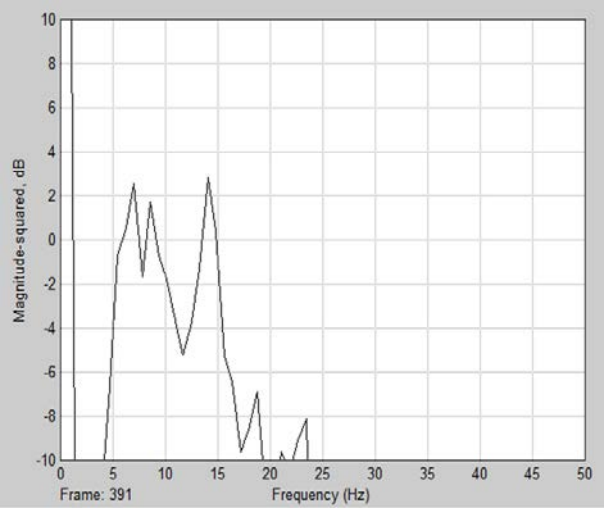
4. ALTİMETRE ÖLÇÜMLERİNİN ANALİZİ

Altimetre ölçümleri altimetre ölçüm hatalarını, hava aracının referans yükseklik etrafındaki değişimini, dalga yükseklik bilgisini ve ortam gürültüsünü içermektedir. Dolayısıyla altimetre ölçümünü zamana bağlı olarak denklem (9) ile ifade etmek mümkündür.

$$H_{measured}(t) = H_{optimal} + h_{alterror} + h_{\mathrm{var}}(t) - h_{wave}(t) + n(t) \qquad (9)$$

$H_{measured}$ zamana bağlı olarak ölçülen altimetre verisini, $H_{optimal}$ optimum uçuş yüksekliğini, $h_{alterror}$ altimetre ölçüm hatasını, h_{var} referans yükseklik etrafındaki değişimi, h_{wave} dalga yüksekliğini ve n ortam gürültüsünü ifade etmektedir.

Düz uçuş boyunca elde edilen altimetre verilerinin frekans spektrumuna bakıldığında, Şekil 4'teki gibi altimetre bileşenlerine göre frekans aralıkları gözlemlenmiştir. Buna göre referans yükseklik etrafındaki yükseklik değişimi ve altimetre ölçümleri değişkenliği az olan terimler olduğundan, frekans bilgileri sıfır etrafında gözlemlenmiştir. Ayrıca gürültünün değişkenliği çok olduğundan, frekans bilgisi çok yüksek çıkmıştır. Bu iki değer arasında kalan frekans bilgisi ise dalga yüksekliğinin değişim bilgisinin frekans aralığı olarak gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak bütün deniz durumlarına göre elde edilen altimetre çıktıları göz önüne alınarak frekans spektrumunda 5-20 Hz arası dalga yükseklik değişimi frekans aralığı olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak deniz durum bilgisini elde edebilmek amacıyla altimetre ölçüm sinyaline belirlenen frekans aralıklarında bant geçirgen filtre kullanılarak elde edilebilir.



Şekil 8 Ölçülen Yüksekliğin Frekans Spektrumu

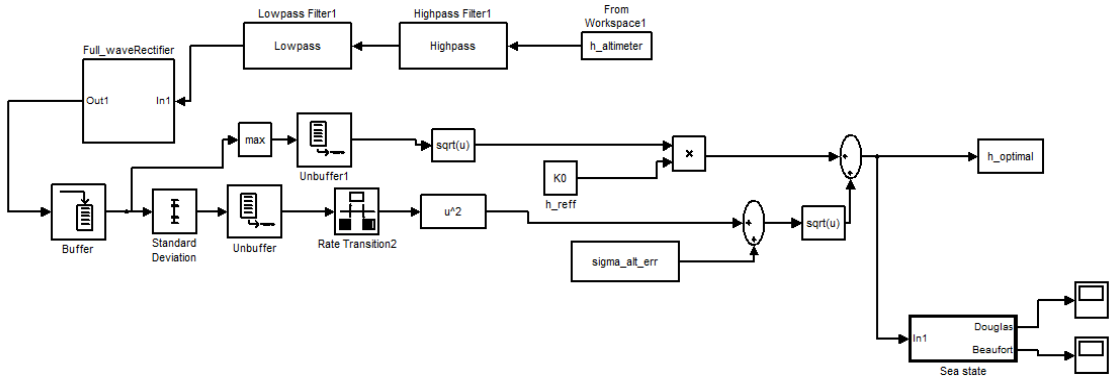
5. UÇUŞ YÜKSEKLİĞİ TAHMİNİ

Optimum uçuş yüksekliği tahmini, dalga yüksekliğinin beklenen değerine belirsizlik terimlerinin eklenmesiyle bulunmaktadır. Belirsizlik terimini dalgaya çarpma olasılığını ve dalga yüksekliğinin standart sapması, altimetre ölçüm hatasının standart sapması ve referans yükseklik etrafındaki değişimin standart sapması oluşturmaktadır. Optimum uçuş yüksekliğini hesaplamada kullanılan matematiksel ifade (10) ve (11) ile verilmiştir[2].

$$H_{optimal} = H_{wave_max} + K\sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_{wave}^2 + \sigma_{alt_err}^2} \tag{10}$$

$$K = \sqrt{2\ln(\frac{L}{P\lambda})} \qquad \lambda = \frac{2VT}{N} \tag{11}$$

Denklem (10) ve (11)'de L hava aracının uçuş menzilini, P dalgaya çarpma olasılığını, λ karakteristik dalga uzunluğunu, V hava aracının hızını, T uçuş süresini ve N dalga yükseklerinin sıfır sayısını ifade etmektedir. Dalgaya çarpma olasılığı uçuştan önce uçuş menziline göre kullanıcı tarafından belirlenmektedir. $H_{wavemax}$ 10s'lik zaman aralığında elde edilen altimetre ölçümlerinden maksimum değeri olarak hesaplanır ve σ_{wave}^2 bu veri kümesinin varyansını ifade etmektedir. Deniz durumu bilgisi $H_{wavemax}$ değerinin Douglas deniz ölçeğine göre karşılaştırılmasıyla elde edilmektedir.

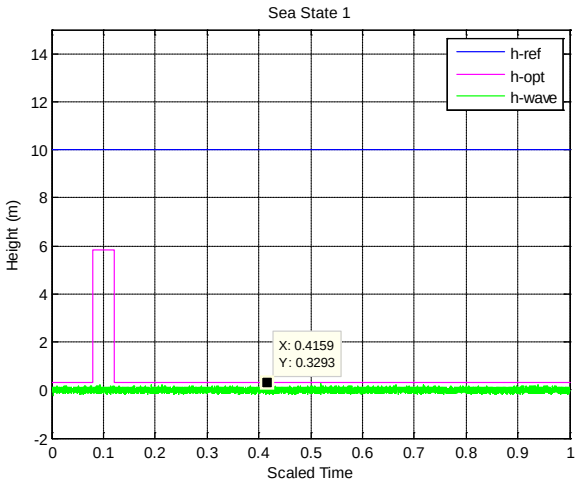


Şekil 9 Optimum Yükseklik Benzetim Modeli

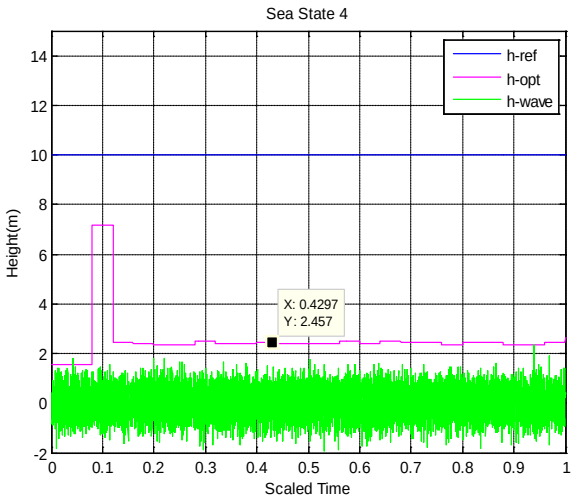
6. BENZETİM SONUÇLARI

FMCW radar altimetre ve dalga yüzeyi modellemesi kullanılarak hava aracının deniz yüzeyi üstünde iken altimetre çıktısı oluşturulmuştur. Uçuş menzili, uçuş süresi ve hız dabit değerler olarak seçilip, dalga yüksekliğinin sıfır sayısı en kötü durum olan Douglas deniz durumu 6'ya göre seçilmiştir. Dalgaya çarpma olasılığı ise %0.5 olarak belirlenmiştir. Deniz durumu hakkında istatiksel verilere ulaşmak amacıyla 10 saniyelik

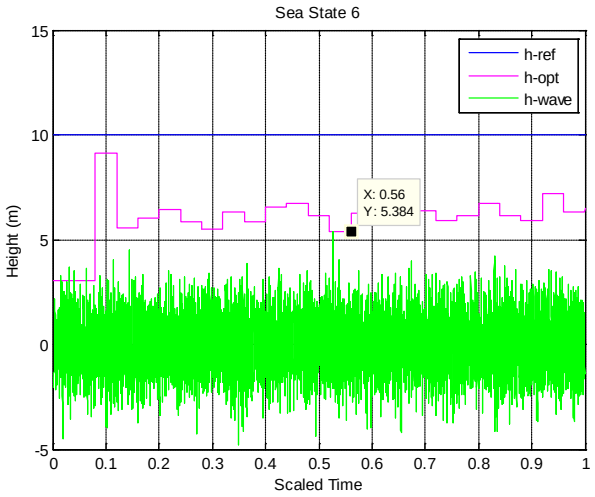
süre boyunca altimetre verileri kaydedilmektedir. Bu süre boyunca en kötü deniz durumu olan Douglas ölçeği 6'ya göre uçuş yüksekliği olarak beslenmektedir. Algoritma benzetim modeli sonuçları Douglas deniz durumu 1,4 ve 6'ya göre Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12 ile verilmiştir.



Şekil 10 Deniz Durumu 1 Yükseklik Sonucu



Şekil 11 Deniz Durumu 4 Yükseklik Sonucu



Şekil 12 Deniz Durumu 6 Optimum Uçuş Yüksekliği (En Kötü Durum)

Elde edilen sonuçlarda, bütün deniz durumlarına göre benzetimi gerçekleştirilen dalgalara çarpmadan hava aracının su yüzeyine yakın uçuş gerçekleştirilebilmesi için güvenli seviyede yükseklik bilgisi elde edilmiştir. Buna ek olarak, altimetre sinyallerine uygulanan bant geçirgen filtre yardımıyla elde edilen deniz bilgisi kullanılarak deniz durumu çıktıları sağlanmıştır.

7. SONUÇ

Deniz dalgalarına göre değişen altimetre ölçümlerini elde edebilmek amacıyla FMCW radar altimetre modellenmesi yapılmıştır. Deniz ortam modelini oluşturmak için okyanus bilimciler tarafından oluşturulmuş olan Pierson-Moskowitz deniz frekans modeli kullanılmıştır. Douglas deniz ölçeğindeki bütün deniz durumlarına göre optimum uçuş yüksekliği bilgileri filtreleme ve belirsizlik terimleri ile basitçe elde edilmiştir. Optimum uçuş yüksekliği hesaplama algoritması ile hava aracının dalgalara çarpmadan su yüzeyine yakın mesafede uçuşu gerçekleştirilebilmiştir. Dalga yüksekliği bilgisinin çıkarımı ile, uçuş esnasında Douglas deniz ölçeğine göre deniz durumu çıktısı da sağlanabilmiştir.

8. KAYNAKÇA

[1] B.R. Mahafza, " Radar System Analysis and Design Using Matlab", Chapman &Hall, 2000,pp. 140-144

[2] Saab Missiles Aktieboles, " A method for the determination of the optimal altitude for a vehicle, flying at a low altitude over a sea surface", European Patents, 1987

[3] A.Elushi, M. Matausek, J. Zatkalik, " Modeling of radar altimeter as the main sensor of a height performance height control of sea skimming missile flying just over a rough sea",Institution R&D Center, 2000

[4] G.R. Curry, "Radar System Performance Modelling,2nd Edition", Artech House, 2005, pp. 49-56

[5] S.E. Talole, S.B. Phadke, "Height Control System for Sea-skimming Missile Using Predictive Filter", J.Guidance,Vol.25,No.5, 2002.

[6] G.A. Mastin, "Fourier Synthesis of Ocean Scenes" ,1987

[7] C. Huang, "Acoustic Wave Scattering From Rough Sea Surface and Sea Bed", Master Thesis, 1998

[8] Matlabwaves.zip, http://neumeier.perso.ch/matlab/waves.html

[9] Wikipedia/Douglas Sea Scale

[10] http://Oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/chapter16/chapter16_04.htm

PASİF RADARDA HEDEF İZLEME MODELLENMESİ VE SİMULASYONU

Burak MANAVOĞLU [(a)], Erdem YAZGAN [(b)]

[(a)]TAI, TUSAŞ A.Ş., Uçak Grup Başkanlığı, Ankara, bmanavoglu@tai.com.tr

[(b)]Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, 06800, Ankara, yazgan@hacettepe.edu.tr

ÖZ

Günümüzde pasif radarlar düşük maliyetleri, hedef izlemede gizli-izlenmesi zor hedeflere karşı sağladığı avantajlar ve karıştırma zorlulukları nedeniyle hava savunma sistemlerinde artan bir öneme sahiptir. Uygulamadaki zorluklarına rağmen sağladığı bu önemli avantajlar nedeniyle bu konuda pek çok araştırma geliştirme çalışması yapılmaktadır [1]. Yüksek hızlı işlemciler ve dijital alıcılar gibi teknolojik alanlardaki son gelişmeler gerçek zamanlı, efektif ve güvenilir gözetleme yapılabilme imkânı sağlamaktadır. Bu gelişmeler ve artan imkânlar bu alanda yapılan çalışmalara ilgiyi arttırmaktadır.

Bu çalışmada FM bantta yayın yapan bir verici ile değişik sayıda alıcılar kullanılarak [2] Matlab®/Simulink® ortamında Pasif Radar modellemesi yapılmış ve iki boyutta oluşturulmuş farklı hedef hareket modelleri için bir hedef izleme algoritması geliştirilmiştir. Durum kestirimi için Doppler, yanca açısı ve bistatik mesafe ölçümleri kullanılmış, alıcı sayısı ve ölçüm gürültüleri değiştirilerek hedef takibindeki başarım analiz edilmiştir. Hedef takibi başarım analizinde Monte Carlo (MC) simülasyonu [3], hedef durum kestirimi için ise GKF (Genişletilmiş Kalman Filtre) kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pasif Radar, Pasif Radar Modelleme, Hedef İzleme, Genişletilmiş Kalman Filtre, Monte Carlo simülasyonu.

MODELLING AND SIMULATION OF TARGET TRACKING IN PASSIVE RADAR

ABSTRACT

Today, Passive Radars have increasing significance in air defence systems because of their low cost, advantages against stealth targets and resistance to jamming. Despite its complexity in practice, a lot of research and development studies are still being made

because of these significant advantages [1]. Recent advances in technology, such as high-speed processors and digital receivers provides the opportunity to make real-time, effective and reliable surveillance. These improvements and developments attract a growing interest in this field.

In this study Passive Radar modelling is developed in Matlab®/Simulink® environment by using a transmitter which radiates at FM band and the returned signals are received by a number of different receivers [2]. Additionally a target tracking algorithm is developed for different two dimensional target motion models. Doppler, azimuth and bistatic range measurements are used for state estimation. Performance in target tracking is analysed with varying number of receivers and measurement noise in order to simulate ambient variables. The Monte Carlo simulation [3] is used in target tracking performance analysis, while Extended Kalman Filter is used in target estimation.

Keywords: Passive Radar, Passive Radar Modelling, Target Tracking, Extended Kalman Filter, Monte Carlo Simulation

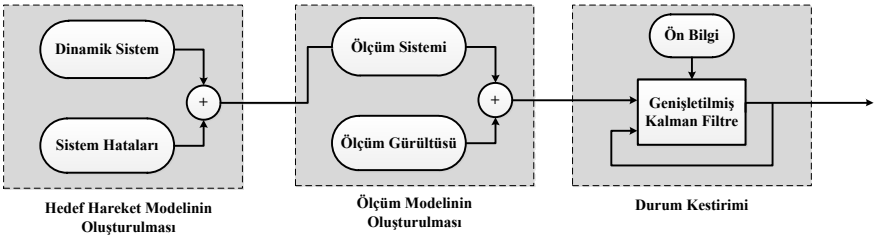
1. GİRİŞ

Pasif radarın temelleri İngiltere'de 1935 yılında Robert Watson-Watt tarafından Handley Page Heyfor bombardıman uçağının BBC kısa dalga vericisi ile tespit edilmesi ile atılmıştır [4]. İkinci dünya savaşı sırasında Almanlar Klein Heidelberg olarak bilinen İngiliz Chain Home radar sistem vericilerini kullanan ilk çalışan işbirlikçi olmayan-pasif vericiyi kullanan bistatik radarı geliştirdi [5]. Pasif radarların üretim, çalışma ve bakım maliyetlerinin düşük olması ve küçük boyutta olmaları yaygınlık kazanmalarını sağlamaktadır. Multistatik tiplerinde izlenmesi zor hedeflerin tespit edilmesi ve karıştırılmasının zor olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar günümüzde giderek önem kazanmaktadır ve halen gelişim aşamasında olup pratikte tam olarak olgunlaşmamıştır. Ayrıca hava savunma sistemlerinde [6] gibi pek çok uygulaması bulunmaktadır. Bu çalışmada pasif radar geometrisi ve farklı ölçüm tipleri kullanılarak iki farklı hareket modeli için hedef izleme algoritması oluşturulmuş, değişik ölçüm gürültüleri kullanılarak hedef takip başarım analizi yapılmıştır.

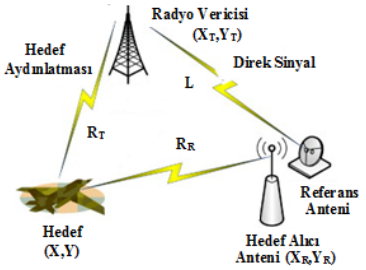
2. YÖNTEM

Yapılan çalışmada Şekil-1'deki pasif radar hedef izleme sistem modeli oluşturulmuştur. Öncelikle sabit hız ve koordineli dönüş modeli kullanılarak iki farklı hareket modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerde dinamik sistemlere sistem gürültüsü eklenmiştir. Daha sonra hedef gerçek hareket modeli ve Şekil-2'deki pasif radar geometrisi [7] kullanılarak Bölüm 2.2'deki eşitlikler ile ölçüm sistemi oluşturulmuş, bu sisteme ölçüm gürültüsü eklenerek ölçüm modeli elde edilmiştir. Ardından bu ölçümler

durum kestiricisine gönderilmiştir. Burada GKF kullanılarak hedef takip işlemi yapılmıştır. Hedef takibi başarım analizi için Monte Carlo simülasyonu [3] kullanılmıştır. Simülasyonun her çalıştırılmasında farklı ölçüm gürültüleri kullanılarak bu şekilde *x* ve *y* pozisyonlarındaki ortalama RMS hata değerleri hesaplanmıştır.



Şekil-1 Pasif radarda hedef izleme modeli



Şekil-2 Pasif radar geometrisi

2.1. Hareket Modellemesi

2.1.1. Kesikli zaman beyaz gürültü ivmelenme modeli (sabit hız)

Durum vektörü ikinci derecedendir ve pozisyon ile hız değişkenlerinden oluşmaktadır. Süreç gürültüsü sıfır ortalamalı, varyansı bilinen ve normal dağılımlıdır.

$$X_k = F\,X_{k-1} + Gw_{k-1} \tag{1}$$

$$X = [x\ \dot{x}\ y\ \dot{y}]^T\ ,\quad F = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},\ G = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}T^2 & 0 \\ T & 0 \\ 0 & \frac{1}{2}T^2 \\ 0 & T \end{bmatrix},\ w_{k-1} \sim N(0,\sigma^2) \tag{2}$$

Yukarıda (1)'de kesikli zaman beyaz gürültü ivmelenme dinamik modeli denklemi verilmiştir. (2)'de X_k, durum vektörünü, F, durum geçiş matrisini, G, süreç gürültüsü kazanç matrisini, w_{k-1}, süreç gürültüsünü, T, örnekleme zamanını ve σ^2, dinamik süreç gürültüsü varyansını ifade etmektedir.

2.1.2. Koordineli dönüş modeli

Koordineli dönüş hareketi bir cismin düzlemde sabit açısal hız ile sabit hızda yaptığı dönüş hareketidir. Süreç gürültüsü sıfır ortalamalı, varyansı bilinen ve normal dağılımlıdır.

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \frac{sin\,\Omega}{\Omega} & 0 & -\frac{1-cos\,\Omega}{\Omega} \\ 0 & cos\,\Omega & 0 & -sin\,\Omega \\ 0 & \frac{1-cos\,\Omega}{\Omega} & 1 & \frac{sin\,\Omega}{\Omega} \\ 0 & sin\,\Omega & 0 & cos\,\Omega \end{bmatrix} \quad (3)$$

Kartezyen uzayda *x-y* düzlemi için koordineli dönüş dinamik modeli denklemi (1)'deki gibidir. Kesikli zaman beyaz gürültü ivmelenme dinamik modeli denkleminden tek fark yukarıda (3)'deki durum geçiş matrisidir. (3)'deki Ω açısal hız değerini göstermektedir.

2.2. Ölçümlerin modellenmesi

Gerçek uygulamalarda hedeften dönen eko alıcı anteni, verici yayını ise referans anteni tarafından alınmaktadır. Daha sonra ise sinyal işleme metotları kullanılarak doppler frekansı ve yanca açısı elde edilmektedir. Verici antenin ne zaman yayın yaptığı bilindiğinden alıcı antene gelen eko zamanı ile referans antene gelen sinyal zamanı arasındaki farktan sinyalin geliş süresi çıkmaktadır. Buradan bistatik mesafe bilgisi elde edilmektedir. Yapılan modellemede ise durum kestirimi için kullanılan ölçümler Şekil-2'deki pasif radar sistemi geometrisine göre modellenen aşağıda (4)'deki Doppler (f_d), (5)'deki yanca açısı (θ) ve (9)'daki bistatik mesafedir(R_b). (4)'de *i,* verici numarasını, *j*, ise alıcı numarasını göstermektedir.

$$f_{d_{ji}} = -\frac{1}{\lambda_i}\left[\frac{\dot{x}(x-x_{T_i})+\dot{y}(y-y_{T_i})}{\sqrt{(x-x_{T_i})^2+(y-y_{T_i})^2}}+\frac{\dot{x}\left(x-x_{R_j}\right)+\dot{y}(y-y_{R_j})}{\sqrt{\left(x-x_{R_j}\right)^2+(y-y_{R_j})^2}}\right] \quad (4)$$

$$\theta = tan^{-1}\left(\frac{y-y_R}{x-x_R}\right) \quad (5)$$

$$R_T = \sqrt{(x-x_T)^2+(y-y_T)^2}, \quad (6)$$

$$R_R = \sqrt{(x-x_R)^2+(y-y_R)^2} \quad (7)$$

$$L = \sqrt{(x_T-x_R)^2+(y_T-y_R)^2} \quad (8)$$

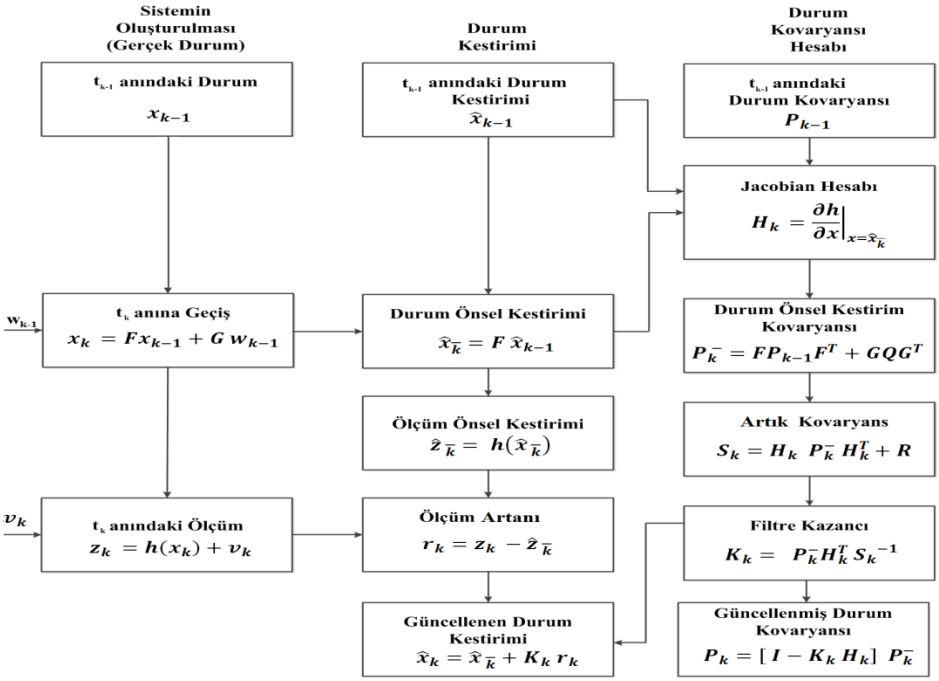
$$R_b = R_T + R_R - L \quad (9)$$

Yukarıda (6)'da R_T hedef ile verici arasındaki mesafeyi, (7)'deki R_R hedef ile alıcı arasındaki mesafeyi ve (8)'deki L ise alıcı ile verici arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

2.3. Genişletilmiş Kalman Filtre

Kestirimi yapılan süreç ve ölçüm modellerinden bir veya ikisinin doğrusal olmadığı durumlarda durum kestirimi için GKF kullanılmaktadır. Yapılan çalışmada GKF kullanılmasının nedeni Eşitlik (4), Eşitlik (5) ve Eşitlik (9)'da görüldüğü gibi ölçüm modelinin doğrusal olmamasıdır. Ayrıca süreç modeli doğrusal kabul edilerek durum

geçiş matrisi (F) sabit alınmıştır. Şekil-3'de hedef durum kestirimi için kullanılan GKF'nin tek döngüsünün işleyişi görülmektedir [8]. Filtrenin ilk döngüsünün çalışması için filtrenin başlangıç durum vektörü kestirimi ($\hat{x}_{k-1}$) ve başlangıç kovaryans (P_{k-1}) değerleri verilerek ilklendirilmesi gerekmektedir. GKF'ye başlangıç kestirimleri verildikten sonra sırasıyla zaman güncelleme (öngörme) ve ölçüm güncelleme (düzeltme) adımları yapılmaktadır. Yapılan öngörme ve düzeltme işlemleri filtrenin çalışması bitip son kestirim yapılana kadar her döngüde devam etmektedir. İlk döngüden sonraki döngülerde filtrenin çalışması için bir önceki döngüde güncellenen durum ve kovaryans kestirimleri kullanılmaktadır.



Şekil-3 Kullanılan GKF'nin tek döngüsü

Eşitlik (10)'daki Q süreç gürültüsü kovaryansını, R ölçüm gürültüsü kovaryansını ve H doğrusallaştırılmış ölçüm matrisini ifade etmektedir. Ayrıca $\sigma_{\ddot{x}^2}$ ve $\sigma_{\ddot{y}^2}$ rasgele modellenmiş, x ve y doğrultusundaki ivme varyanslarını göstermektedir ve bunlar birbiriyle ilintisizdir. R'nin boyutu alıcı verici sayısına göre değişmektedir. ${\sigma_{f_d}}^2$ Doppler (f_d), ${\sigma_\theta}^2$ yanca açısı (θ) ve ${\sigma_{R_b}}^2$ bistatik mesafe (R_b) üzerindeki gürültünün varyanslarıdır. Yapılan tüm ölçüm hatalarının ilintisiz olduğu kabul edilmiştir.

$$Q = \begin{bmatrix} \sigma_{\ddot{x}^2} & 0 \\ 0 & \sigma_{\ddot{y}^2} \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} {\sigma_{f_d}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & . & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & {\sigma_\theta}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & . & . & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & {\sigma_{R_b}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . \end{bmatrix}, H_k = \frac{\partial h}{\partial x}\Big|_{x=\hat{x}_k^-} \quad (10)$$

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \\ y \\ \dot{y} \end{bmatrix}, \qquad P_0 = \begin{bmatrix} {\sigma_{\hat{x}_0}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & {\sigma_{\hat{\dot{x}}_0}}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & {\sigma_{\hat{y}_0}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & {\sigma_{\hat{\dot{y}}_0}}^2 \end{bmatrix} \tag{11}$$

GKF ilklendirmesi yukarıda (11)'deki $\hat{x}_0$ başlangıç durum vektörü kestirimi ve P_0 başlangıç kovaryans matrisi kestirimi ile yapılmaktadır. Başlangıç durum vektörü kestirimi x ve y yönündeki konum ve hız değerlerinden oluşmaktadır. Başlangıç kovaryans matrisi kestirimi ise durum vektörü başlangıç kestirimindeki hataları ifade etmektedir. P_0 matrisindeki elemanlar hedefin x ve y yönlerindeki pozisyon ve hızlarına ait başlangıç kestirimleri üzerindeki belirsizliklerin varyanslarıdır.

2.4. Monte Carlo Simülasyonu

Durum kestiriminde hedef takibi başarım analizi yapılırken Monte Carlo Simülasyonu [3] kullanılmıştır. Simülasyon değişen ölçüm gürültülerine göre N_S bağımsız örnek için çalıştırılmıştır. Performans hesaplamasında kullanılan metrik durum kestirimi sırasındaki hatadır. $\xi(t)$ t anındaki durum vektöründeki gerçek değer, $\hat{\xi}_i(t)$ ise i. Monte Carlo örneğindeki kestirimdir. Hesaplanan metrik kare ortalamanın karekökü hatasıdır.

$$RMSE_{\xi}(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_S} \frac{\left(\hat{\xi}_i(t) - \xi(t)\right)^2}{N_S}}, \qquad \overline{RMSE}_{\xi} = \frac{1}{N_{scan}} \sum_{t=1}^{Nscan} RMSE_{\xi}(t) \tag{12}$$

Yukarıda (12)'deki $RMSE_{\xi}(t)$ metriği t anındaki kestirim hatasının standart sapmasını, $\overline{RMSE}_{\xi}$ ise N_{scan} sayıda radar taraması boyunca ortalama değeri göstermektedir. Başarım analizinde değişen ölçüm gürültüleri sonucunda çalıştırılan simülasyonlardan elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan $\overline{RMSE}_{\xi}$ değeri kullanılmıştır.

3. UYGULAMA

Uygulamada FM bantta yayın yapan bir verici kullanılıp alıcı istasyon sayısı değiştirilerek, verici istasyon yayını üzerinde oluşan Doppler kayması, yanca açısı ve bistatik mesafe ölçümleri ile iki farklı hareket modeli için pasif hedef takibi yapılmaktadır.

3.1. Senaryo 1: Bir Verici/Bir Pasif Alıcı

3.1.1. Sabit Hız: Bu adımda *x* ve *y* yönlerindeki belirli ilk hızları olan ve simülasyon süresi boyunca ivmesiz hareket eden bir hedefin izlendiği simülasyon gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. U Dönüşü: Bu adımda *x* ve *y* yönlerindeki belirli ilk hızları olan ve simülasyon

süresinin ilk yarısında ivmesiz sabit hızla hareket eden daha sonra simülasyon süresinin *%30*'luk zaman diliminde Ω *=0.1* rad/s açısal hız ile dönüş yapan ve kalan zamanda yine ivmesiz sabit hızla hareket bir hedefin izlendiği simülasyon gerçekleştirilmiştir.

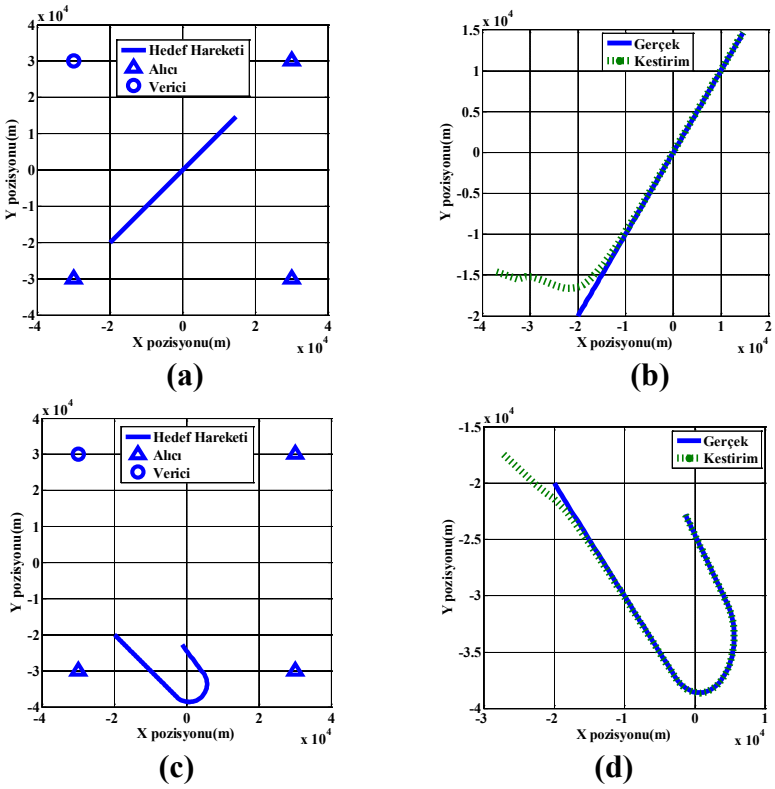
Tablo-1 Senaryo-1 girdileri

Simülasyon Değişkenleri	**Senaryo-1 (a) Sabit Hızlı Hareket**	**Senaryo-1 (b) U dönüşü**
Alıcı koordinatları (x_i, y_i)	$A_1 = (30km, -30km)$	$A_1 = (30km, -30km)$
Verici koordinatları(x_i, y_i)	$V_1 = (-30km, 30km)$	$V_1 = (-30km, 30km)$
Verici frekansı (f_T)	*100 MHz*	*100 MHz*
Dinamik hareket modeli gürültü varyansı	$\sigma^2 = 10^{-2}\, m^2/s^4$	$\sigma^2 = 10^{-2}\, m^2/s^4$
Ölçüm gürültüsü varyansı	${\sigma_{f_d}}^2 = 1\ Hz^2$ ${\sigma_\theta}^2 = 10^{-4}\ rad^2$ ${\sigma_{R_b}}^2 = 400\ m^2$	${\sigma_{f_d}}^2 = 1\ Hz^2$ ${\sigma_\theta}^2 = 10^{-4}\ rad^2$ ${\sigma_{R_b}}^2 = 400\ m^2$
Sistem gürültüsü varyansı	$\sigma_{\ddot{x}^2} = 1\ m^2/s^4$ $\sigma_{\ddot{y}^2} = 1\ m^2/s^4$	$\sigma_{\ddot{x}^2} = 1\ m^2/s^4$ $\sigma_{\ddot{y}^2} = 1\ m^2/s^4$
Hedef başlangıç gerçek durum vektörü $x_i = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y}]^T$	$x = -20km, \dot{x} = 350\ m/s$ $y = -20km, \dot{y} = 350\ m/s$	$x = -20km, \dot{x} = 350\ m/s$ $y = -20km, \dot{y} = -350\ m/s$
Başlangıç durum vektörü kestirimi $\hat{x}_0 = [x \quad \dot{x} \quad y \quad \dot{y}]^T$	$x = -35km, \dot{x} = 250\ m/s$ $y = -30km, \dot{y} = 250\ m/s$	$x = -35km, \dot{x} = 250\ m/s$ $y = -10km, \dot{y} = -250\ m/s$
Başlangıç kovaryans matrisi kestirimi (P_0) standart sapma değerleri	$\sigma_{\hat{x}_0} = 25km, \sigma_{\dot{\hat{x}}_0} = 100\ m/s$ $\sigma_{\hat{y}_0} = 15km, \sigma_{\dot{\hat{y}}_0} = 100\ m/s$	$\sigma_{\hat{x}_0} = 25km, \sigma_{\dot{\hat{x}}_0} = 100\ m/s$ $\sigma_{\hat{y}_0} = 15km, \sigma_{\dot{\hat{y}}_0} = 100\ m/s$
Simülasyon süresi	*100* saniye	*100* saniye
MC Simülasyon Sayısı	*100*	*100*
Radar tarama periyodu	*1* saniye	*1* saniye

İzlenmek istenen hedef gözetleme yapılmak istenen belirli bir alanda ses hızı civarındaki bir hızla giden bir jet uçağı olduğu için $\hat{\mathbf{x}}_0$ ve $\boldsymbol{P_0}$ değerleri buna göre seçilmiştir. Tablo-1'de yer alan girdiler kullanılarak tek alıcı-vericili senaryo için yapılan simülasyonlarda, GKF'nin ıraksadığı ve istenildiği gibi RMS hata değerleri üretmediği gözlenmiştir. Hedef izlemede radar tarama sayısı arttıkça iki boyuttaki pozisyon RMS hata değerlerinin azalması gerekirken bunun tersi durum gözlemlenmiştir.

3.2. Senaryo 2: Bir Verici/Üç Pasif Alıcı

Senaryo-1'deki girdilerden farklı olarak alıcı koordinatları $\boldsymbol{A_1 = (30km, -30km)}$, $\boldsymbol{A_2 = (-30\,km, -30km)}$, $\boldsymbol{A_3 = (30\,km, 30km)}$ şeklinde benzetimler yapılarak, alınan sonuçlar aşağıda Şekil-4'de gösterilmektedir.



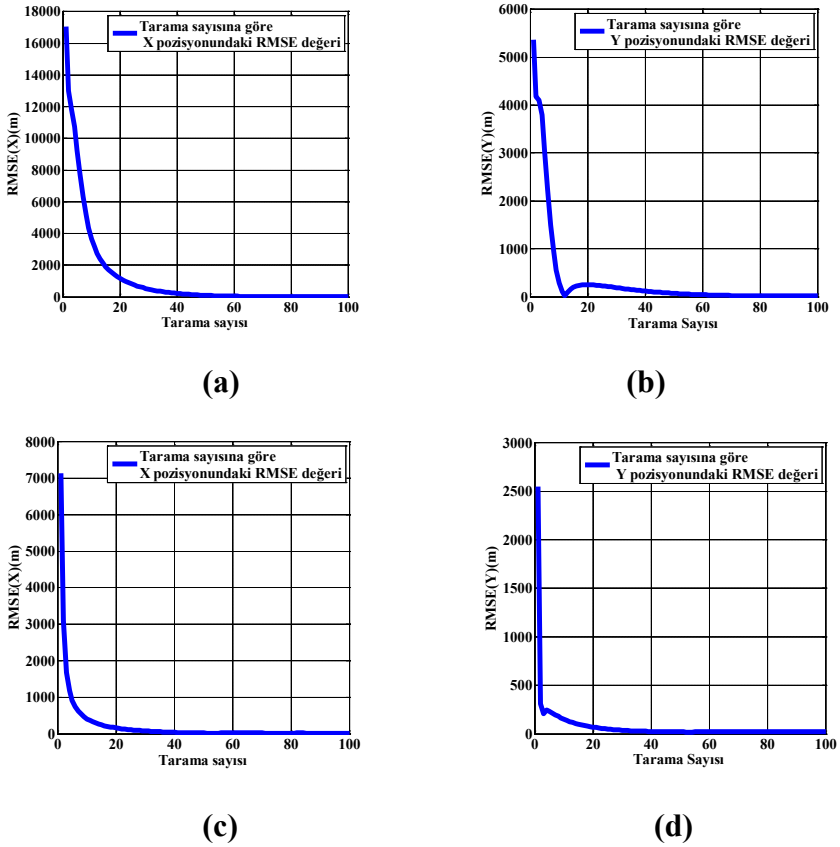
Şekil-4 Senaryo 2 hareket modeli ve durum kestirimi

Şekil-4 (a) ve (c)'de sırasıyla sabit hız ve u dönüşü yapan hedeflerin hareketleri ile alıcı verici yerleşimleri, Şekil-4 (b) ve (d)'de ise hedefin x ve y pozisyonlarındaki gerçek hareketi ve pozisyon kestirimleri görülmektedir. Yapılan çalışmada sabit hız için *x* ve *y* pozisyonlarının RMS hatalarının zaman ortalamalı değerleri sırasıyla 209.37m ve 71.49m olarak hesaplanmıştır. Tablo-2'de Senaryo 2-b için değişen ölçüm gürültülerine göre *x* ve *y* pozisyonlarının RMS hatalarının zaman ortalamalı değerleri görülmektedir.

Tablo-2 Senaryo 2-b değişen ölçüm gürültülerine göre 100 Monte Carlo Simülasyonu sonucunda iki boyuttaki pozisyonlardaki $\overline{RMSE}_{\xi}$ değerleri

$\overline{\boldsymbol{RMSE}}_{\boldsymbol{\xi}}$	$\sigma_{f_d}{}^2 = 1$ $\sigma_{\theta}{}^2 = 10^{-4}$ $\sigma_{R_b}{}^2 = 400$	$\sigma_{f_d}{}^2 = 10$ $\sigma_{\theta}{}^2 = 10^{-4}$ $\sigma_{R_b}{}^2 = 400$	$\sigma_{f_d}{}^2 = 10$ $\sigma_{\theta}{}^2 = 10^{-4}$ $\sigma_{R_b}{}^2 = 2000$	$\sigma_{f_d}{}^2 = 30$ $\sigma_{\theta}{}^2 = 10^{-3}$ $\sigma_{R_b}{}^2 = 400$	$\sigma_{f_d}{}^2 = 30$ $\sigma_{\theta}{}^2 = 10^{-3}$ $\sigma_{R_b}{}^2 = 900$
X_error(m)	217.48	245.44	1078	260.12	320.2
Y_error(m)	75.35	94.60	449.5	105.4	138.65

Tabloda da görüldüğü gibi ölçüm gürültüsü arttığında $\overline{RMSE}_{\xi}$ de artmaktadır. Şekil-5 (a) ve (b)'de Senaryo 2-a, (c) ve (d)'de ise Senaryo 2-b için radar tarama sayısına göre değişen x ve y pozisyonundaki RMS hata değerleri görülmektedir. Hedef izleminin doğası gereği tarama sayısı arttıkça ve her tarama periyodunda zaman ile ölçüm güncellemeleri yapıldıkça gerçek pozisyon ile kestirim arasındaki hata azalmaktadır.



Şekil-5 Senaryo 2 radar tarama sayısına göre RMSE değerleri

4. SONUÇ

Literatürde genelde Doppler ve yanca açısı ölçümleri kullanılarak yapılmış pasif hedef izleme çalışmalarından [9][10] farklı olarak alıcı ve vericiler arasındaki senkronizasyon probleminin olmadığı varsayılarak bu ölçümlere bistatik mesafenin de eklendiği pasif hedef izleme [2][11] yapılmıştır. Bu şekilde ölçüm sayısı arttırılmış, pozisyon kestirim hatalarında iyileşme görülmüş ve daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca bistatik ve multisatik senaryoda pasif hedef izleme çalışmaları yapılmış, alıcı sayısının arttırılarak ölçüm sayısının arttığı multistatik senaryoda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bistatik senaryoda yetersiz ölçüm olması nedeniyle GKF'nin ölçüm doğrusallaştırması sırasında ıraksadığı ve ortalama RMS hatasının zamanla artması nedeniyle durum kestirimi için GKF yerine farklı filtreler kullanılması gerekliliği anlaşılmıştır. Ölçüm hatasının

artması durumunda hedef takibi sırasında x ve y pozisyonlarında ortalama RMS hatasının arttığı gözlenmiştir. Hedef takibinin başarısının ölçüm bilgisinin kalitesi ile değişkenlik gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Hedef takip filtresinin yüksek hata ile başlatılmasının benzetiminin yapıldığı durumlarda ortalama RMS hedef takip hatası büyümüş ve hedef takibi başarısız bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kestirim başarımının, ölçüm sayısı (sistemdeki verici ve alıcı sayısı) ile ilgili olduğu kadar benzetimdeki hedefin manevra senaryosu ve sistem geometrisi ile de ilgili olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak yapılan simülasyon ve modellemeler gerçek bir pasif radar sisteminin hedef izleme bölümünün işleyişi hakkında önemli fikirler vermiş ve gerçek uygulamalar için yol gösterici olmuştur.

5. KAYNAKÇA

[1] Baker, C. J., and Griffiths, H. D. "Bistatic and multistatic radar sensors for homeland security". *In Proceedings of the Conference of the NATO Advanced Study Institute, Advances in Sensing with Security Applications*, Ciocco, Italy, July 2005.

[2] P.E. Howland, D. Maksimiuk and G. Reitsma, "FM radio based bistatic radar", *IEE Proceedings on Radar Sonar Navigation*, vol. 152, no. 3, June 2005.

[3] A. Doucet, N. De Freitas, N. Gordon. "*Sequential Monte Carlo Methods in Practice*", Springer, 2001.

[4] Swords, S.S., Technical History of the Beginnings of RADAR, "*IEE History of Technology Series*",Vol. 6, Peter Peregrinus, London, 1986

[5] Willis, N.C.: 'Bistatic radar' (Artech House, 1991)

[6] Baniak, J., Baker, G., Cunningham A.M. and Martin, L.,"Silent Sentry passive surveillance", *Aviation Week and Space Technology*, 7 June 1999.

[7] Jackson, M.C., "The geometry of bistatic radar systems",*IEE Proc., Vol.133*, *Part F., No.7*, pp604-612, December 1986.

[8] Yaakov Bar-Shalom, X. Rong Li, Thiagalingam Kirubarajan, "*Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory Algorithms and Software*", 2001

[9] Howland, P.E.: "Target tracking using television-based bistatic radar", *IEE Proc., Radar Sonar Navig*., 1999, 146, (3), pp. 166–174

[10] Howland, P. "Passive tracking of airborne targets using only Doppler and DOA information," *IEE Colloquium on Algorithms for Target Tracking*, pp. 37–39,

[11] Ratnasingham Tharmarasa, Thia Kirubarajan and Mike McDonald. "Passive Multitarget Tracking Using Transmitters of Opportunity" *Proceedings of the* 2009 *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Security and Defense Applications* (CISDA 2009)

ELEKTRONİK SAVAŞ ORTAMI SİNYAL BENZETİMCİSİ

Rıfat Dalkıran [(a)], Mehmet Ali Tuğay [(b)]

[(a)] Havelsan EHSİM A.Ş., ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar B Blok Suit 2B 06531 ANKARA, rifat.dalkiran@ehsim.com.tr

[(b)] Havelsan EHSİM A.Ş., ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar B Blok Suit 2B 06531 ANKARA, mehmet.tugay@ehsim.com.tr

ÖZ

Elektronik Savaş Ortamı Sinyal Benzetimcisi (ESOSB), gerçek bir savaş ortamında yayınlanan radar ve karıştırma sinyallerini, ortam ve hedef yankılarını, bunların savaş alanı dinamiklerine bağlı zamanlama, frekans ve genlik değişimlerini de dikkate alarak benzetimini yapmayı amaçlayan MATLAB tabanlı bir benzetim yazılımıdır. MATLAB GUI yardımıyla kullanıcıdan gerekli parametreleri alarak benzetim verilerini üreten ESOSB, ayrıca benzetimi yapılan sinyallere özgü zaman ve frekans kısıtlarına uyulmasını sağlayacak önlemleri de içermektedir. Kullanıcıya, girmiş olduğu parametreleri saklama ve istendiğinde tekrar yükleme olanağı veren bir arayüze sahip olan ESOSB, benzetim verilerinin çeşitli formatlarda (".mat", binary, vb.) kaydedilmesini sağlayarak MATLAB, C, C++, Java gibi farklı ortamlarda geliştirilecek sinyal analiz yazılımlarının laboratuvar ortamında test edilmesine imkân vermektedir. Ürettiği sinyallerin üzerine ortam gürültüsü ekleyerek, gerçek bir sayısal kayıt cihazının yapacağı biçimde, kullanıcının belirleyeceği örnekleme hızı ve analog/sayısal çevirici özelliklerine uygun sayısal veri üreten ESOSB dinamik bir elektronik harp sinyal ortamının benzetimini mümkün kılmaktadır. Böylece ESOSB, yüksek maliyetli ve genellikle planlanma süreci dahi uzun zaman alan elektronik harp senaryolarının, sinyal yayınları bakımından gerçeğine uygun benzetimini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Harp, Hedef Yankıları, Karıştırma Sinyalleri, MATLAB, Radar Sinyalleri, Ortam Yankıları

THE ELECTRONIC WARFARE ENVIRONMENT SIGNAL SIMULATOR

ABSTRACT

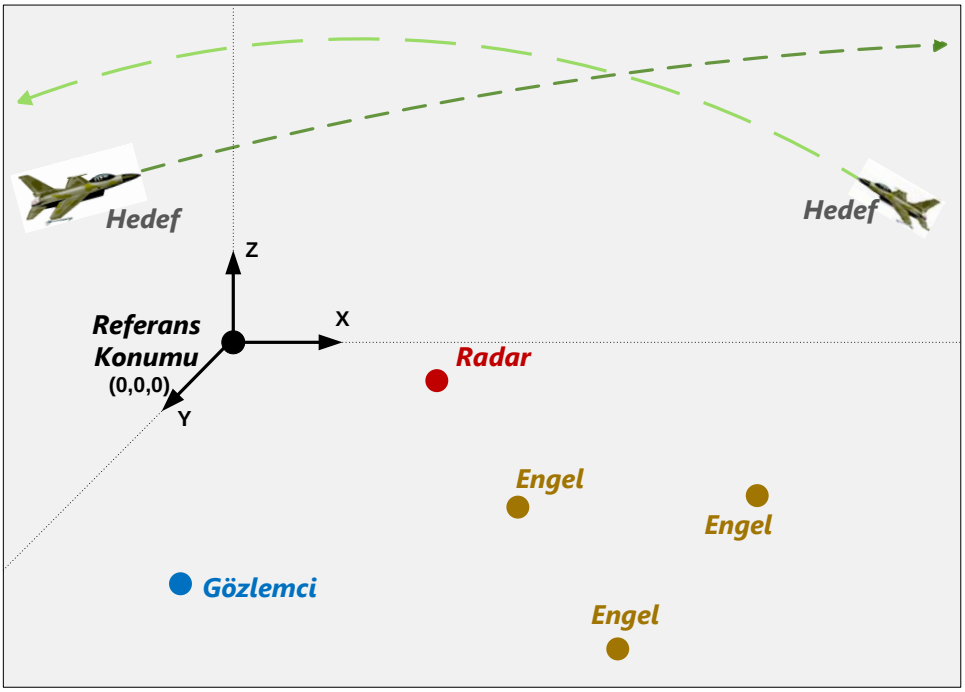
The Electronic Warfare Environment Signal Simulator (EWESS), is a MATLAB-based software, which aims at simulating radar, jamming, target echo and clutter signals as they would be observed a real battlefield environment, by taking into account their

changes in time, frequency and amplitude. With the help of MATLAB GUI, EWESS takes the required parameters as inputs, including provisions for keeping their values within the time or frequency constraints specific to the simulated signal type; and enables users to save the parameters and to re-load them when desired. Further, the simulator has the capability of saving the signals in different file formats (".mat", "binary", etc.) that can be used by any signal analysis software developed in MATLAB, C, C++, Java, etc. for laboratory enviroment tests. EWESS makes it possible to simulate the dynamic electronic warfare signal enviroment by adding ambient noise and producing the digital data with user-defined sampling frequency and analog-to-digital conversion parameters same as a digital recording device. Thus, EWESS realistically simulates the signals in electronic warfare scenarios that are very costly and often have a very time-consuming planning process.

Keywords: Clutter Signals, Electronic Warfare, Jamming Signals, MATLAB, Radar Signals, Target Echoes

1. GİRİŞ

Tipik bir Elektronik Savaş ("Elektronik Harp" – EH) ortamı, hava saldırılarına karşı savunma amaçlı radarların sinyalleri; radarların hedefleyip vurmaya çalıştığı uçakların korunmak için yayınladıkları karıştırma sinyalleri ile, radar sinyallerinin uçaklar ve araziden yansımalarını içerir. ESOSB için kullanılan EH Ortamı modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.

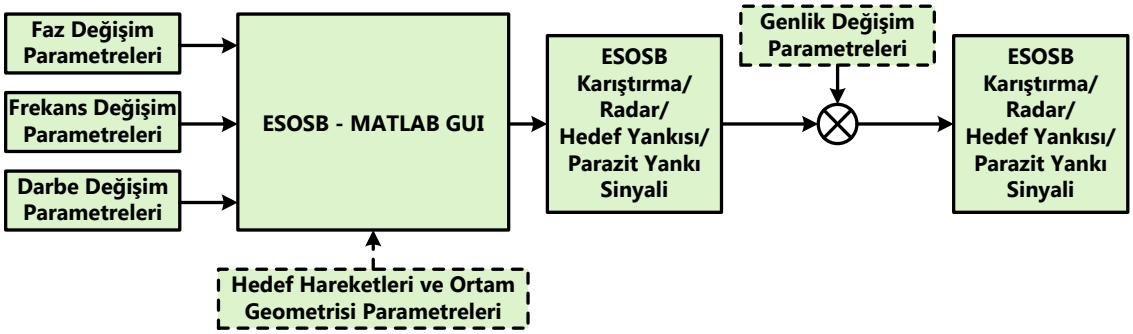


Şekil 1. ESOSB için varsayılan EH ortamı modeli

- *Radar sinyalleri*, sürekli veya darbeli şekilde yayınlanan, frekans veya faz değişimi içerebilen, güçlü sinyallerdir.
- *Karıştırma sinyalleri*, radar(lar)ı yanıltmak amacıyla tasarlanmış darbeli/sürekli ve frekans/faz modülasyonlu, büyük çeşitlilik sergileyen yayınlardır.
- *Hedef yankıları*, radar sinyallerinin, uzakta hareketli bir cisimden yansıma yüzünden zamanda gecikmiş, frekansı Doppler etkisinden dolayı kaymış, genellikle radar ve karıştırma sinyallerinden zayıf benzerleridir
- *Parazit yankılar*, radar antenin yan huzmelerinden yayılan sinyallerin çevredeki sabit engellerden yansımalarıdır. Radar sinyalleri ile aynı frekansta, zamanda gecikmiş, genellikle radar ve karıştırma sinyallerinden zayıftırlar.

2. SİNYAL ÜRETİM MODELİ

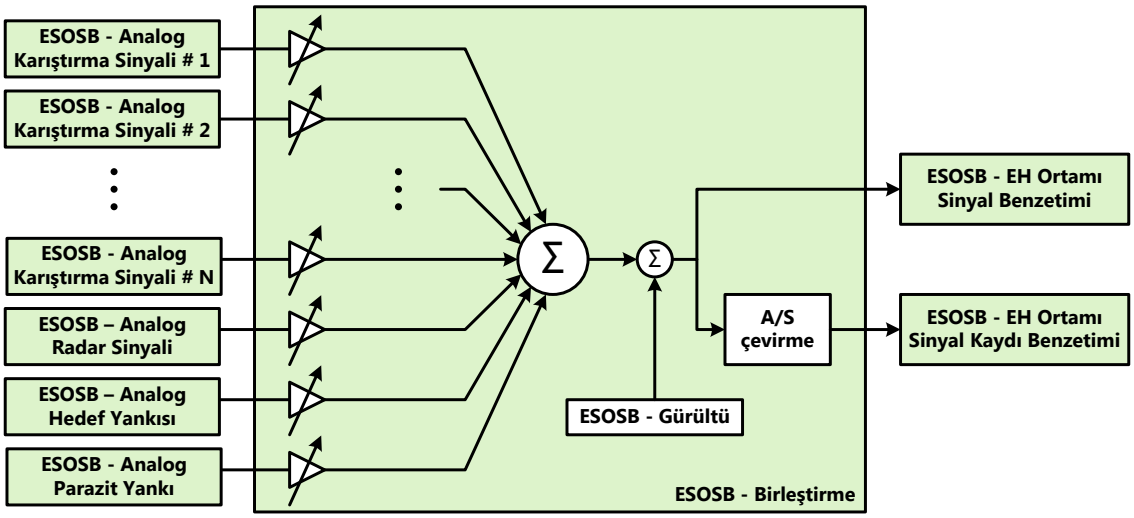
ESOSB, öncelikle üretilecek sinyalin darbe, faz ve frekans değişim parametrelerinin MATLAB GUI[1] üzerinden girilmesine ihtiyaç duyar. Gerekirse, hedef hareket ve ortam geometrisiyle ilgili parametreler de girilerek karıştırma sinyallerinin frekans, darbe ve güç değişimlerinin EH Ortamı dinamiklerine uygun benzetimi yapılabilir. Son olarak, anten ışıma örüntülerindeki düzensizlikleri simüle edebilmek için rastgele genlik değişimleri, genlik modülasyonları ve/veya sinyalin gücünü değiştirmek üzere sabit bir genlik değeri kullanılıp analog karıştırma/radar/hedef yankısı/parazit yankı sinyali elde edilir. Analog sinyal üretim diyagramı Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. ESOSB analog sinyal üretim diyagramı

Ortamdaki her bir sinyal tek tek üretildikten sonra EH ortamındaki bir senaryoyu oluşturmak için Şekil 3'te gösterilen biçimde birleştirilir.

Analog sinyaller birleştirilmeden önce istenilen genlik değerleri ile çarpılarak radar ve karıştırma sinyalleri ile hedef yankısı ve parazit yankılar arasındaki güç farklılıkları tanımlanır; toplanan sinyallere istenilen sinyal-gürültü oranında ısıl gürültü eklenerek EH Ortamı benzetimi tamamlanır. Ayrıca, bir sayısal kayıt cihazı da bir analog/sayısal çevirici ile modellenmiştir.



Şekil 3. ESOSB sinyal birleştirme diyagramı

3. ESOSB ETKENLERİ VE EH ORTAMI TANIMI

ESOSB etkenlerinin konumları üç boyutlu uzayda kartezyen koordinat sistemiyle *(X, Y, Z)* modellenmiştir (bkz. Şekil 1). Tüm benzetimler için bir referans noktası *(0,0,0)* seçilir. *Z* koordinatı deniz seviyesinden yüksekliği temsil ederken, *X* ve *Y* koordinatları referans noktasına yatay uzaklığı belirtir. Ortamda bulunabilecek etkenler; Sabit konumlu *(x,y,z)* radarlar; sabit konumlu *(x,y,z)* gözlemci (kayıt birimini içerebilir); sabit konumlu *(x,y,z)*, parazit yankı oluşturabilecek engeller; tüm koordinatlarda hareket edebilme yeteneği *(x(t), y(t), z(t))* olan karıştırma yayını yapabilen hedeflerdir.

4. ESOSB RADAR VE KARIŞTIRMA SİNYALLERİ BENZETİMLERİ

Bu bölümde radar ve karıştırma sinyal benzetiminde kullanılan frekans, faz ve darbe değişim biçimleri anlatılmıştır.

4.1. Frekans değişim biçimleri

Radar ve karıştırma sinyalleri çeşitli biçimlerde frekans değişimleri sergileyebilmektedir. Bu değişimler, ESOSB'nde üretilen sinyallere frekans modülasyonu (FM) olarak yansıtılmıştır:

$$S(t) = \sin(2\pi * f_a(t) * t + \theta) \quad (1)$$

$S(t)$: frekans modülasyonu içeren sinyal; $f_a(t)$: anlık frekans değişim biçimi; t: zaman referansı; θ: faz değeri

ESOSB, elektronik savaş ortamında uygulanabileceği varsayılan altı farklı frekans değişim biçimini tanımlayıp üretebilmektedir:

- Sabit Frekans,
- Sinüs biçimli frekans değişimi;
- Üçgen biçimli frekans değişimi;

- Testere dişi[2] biçimli frekans değişimi;
- Rastgele frekans değişimi;
- Atlamalı frekans değişimi[3]

4.2. Faz değişim biçimleri

Frekans modülasyonuna ek olarak, ESOSB tarafından üretilen sinyallere (2) no'lu denkleme göre faz değişimi uygulanabilmektedir.

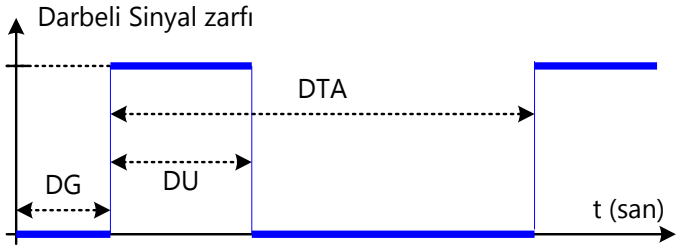
$$S(t) = \sin(2\pi * f_c * t + \theta(t)) \quad (2)$$

$S(t)$: faz modülasyonu içeren sinyal; f_c: taşıyıcı frekans değeri; t: zaman referansı; $\theta(t)$: faz değişim biçimi

Faz modülasyonu, ESOSB tarafından genellikle Barker kodları gibi atlamalı faz değişimlerini modellemek amacıyla, dilimli ve periyodik faz dizileri şeklinde uygulanır. Rastgele faz değişimlerini modelleme olanağı da vardır.

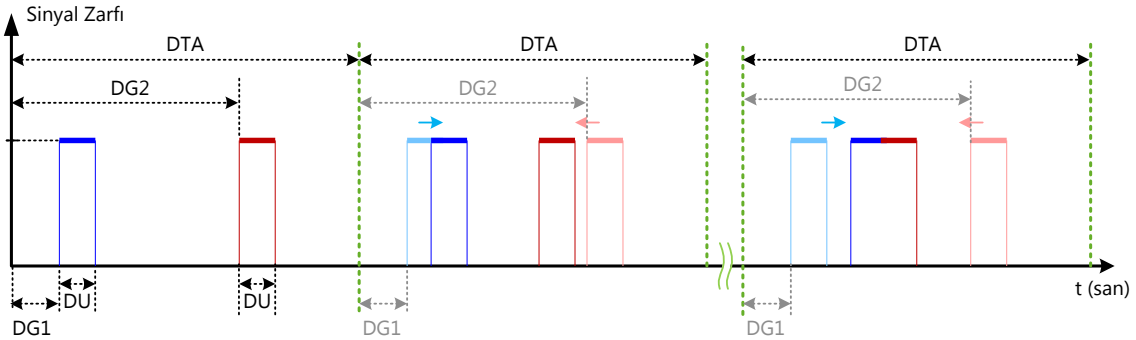
4.3. Darbe değişim biçimleri

Darbeli sinyaller, genellikle bir darbe uzunluğu (DU), bir darbe tekrarlama aralığı (DTA) ve bir darbe gecikmesi (DG) ile tanımlanır (bkz. Şekil 4). Darbeler, (1) ve (2) no.lu denklemlerin bileşimiyle tanımlanan, frekansı ve/veya fazı sabit ya da değişken olabilen sinüs dalgasını modüle eder. DTA, yayınlanan iki darbe arasındaki zaman farkı, DG ise sinyalin yayınlandığı zaman aralığıdır.



Şekil 4. ESOSB darbeli sinyal parametreleri

Radar ve karıştırma sinyallerinde DU genellikle sabitken, DTA ve DG zamana göre değişken olabilmektedir (bkz. Şekil 5).



Şekil 5. ESOSB, hareketli iki darbeli sinyal zarfı örneği

ESOSB'nde DTA sabit ya da sekmeli ("staggered"); DG ise sabit, seğirmeli ("wobbulated"), zamana doğrusal, parabolik ya da üçüncü dereceden bağımlı olarak tanımlanabilmektedir. Ayrıca, üretilmiş olan birden fazla sinyal zarfı mantıksal "veya" operatörü kullanılarak birleştirilip, bir DTA içinde birden fazla darbenin olması sağlanabilir (bkz. Şekil 5).

4.4. Kombinasyonlar

Frekans, faz ve darbe değişim biçimlerinin farklı birleşimleriyle istenilen özellikteki karıştırma veya radar sinyalleri elde edilebilir:

$$S(t) = A(t) * \sin(2\pi * f_a(t) * t + \theta(t)) \quad (3)$$

Hedef yankısı sinyallerini elde edebilmek için 5.3.'de açıklanan hedef hareketleri ve ortam geometrisinin parametreleri de uygulamaya verilmelidir.

5. ESOSB ORTAM BENZETİMLERİ

Bu bölümde EH ortamı benzetimlerinde dikkate alınmış unsurlar hakkında açıklamalar yapılmıştır.

5.1. Parazit yankıların benzetimi

Parazit yankılar, ESOSB modelinin anlatımında açıklandığı üzere radar sinyallerinin sabit konumlu hedeflerden yansımaları sonucunda almaçta görülen sinyallerdir. Bu sinyallerin frekansı radarla aynıyken, sinyal darbeli ise darbeler (4) no'lu denklemle hesaplanan bir gecikmeye uğrar:

$$\Delta t = 2 \times d/c \quad (4)$$

Δt : *darbe gecikme miktarı* (*saniye*); d: *radar ve engel arasındaki mesafe* (m); c: *ışık hızı* ($m/saniye$)

Zamandaki farklılığa ek olarak parazit yankı sinyallerinin genlikleri de radarın genliğinden farklıdır. Kullanıcı parazit yankının gücünü de belirleyebilir.

5.2. Ortam gürültüsünün benzetimi

Üretilen sinyaller analog sayısal çeviriciden geçirilmeden önce ortam gürültüsünü[2] modelleyebilmek amacıyla ısıl gürültü eklenir. ESOSB kapsamında ısıl gürültü, ortalaması sıfır olan Gauss dağılımlı bir rastgele değişimle simüle edilmektedir. Dağılımın standart sapması, belirlenmiş olan sinyal gürültü oranına göre (SNR) (5) no'lu formülle hesaplanmaktadır.

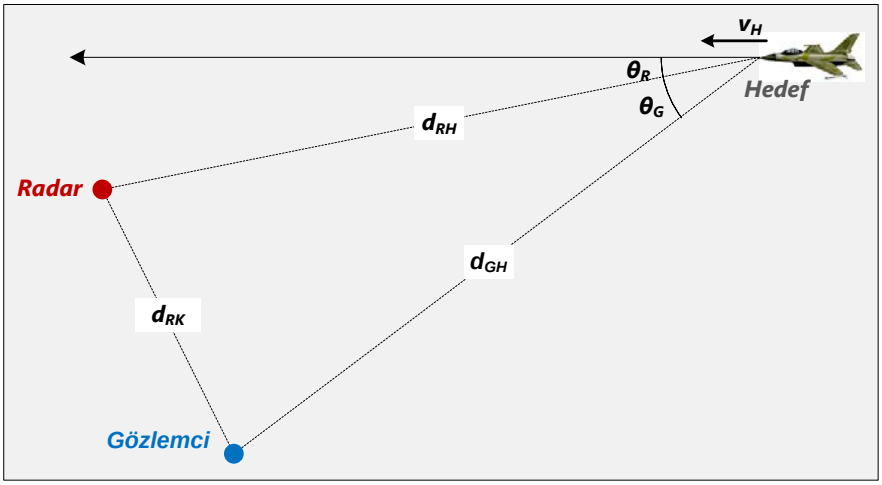
$$\sigma = (P \times 10^{(-0.1 \times SNR)})^{1/2} \quad (5)$$

σ: gürültünün standart sapması; P: sinyal gücü (Watt); SNR: sinyal gürültü oranı (dB)

5.3. Hedef hareketleri ve ortam geometrisinin modellenmesi

ESOSB, hareketli hedeflerin varlığında hem hedef tarafından yayınlanan karıştırma sinyallerindeki hem de hedeften yansıyan yankılardaki frekans, zaman ve güç parametrelerindeki değişimleri de modellemektedir.

Hedef hareketleri ve ortam geometrisinin etkileri, hareketli bir hedefin, sabit bir radarın ve sabit bir gözlemcinin Şekil 6'daki gibi yerleştiği varsayılarak modellenmiştir.



Şekil 6. Hedef hareketlerinin etkileri için örnek yerleşim

5.3.1. Hedef yankıları üzerindeki etkiler

Bu bölümde hedef hareketleri ve ortam geometrisinin hedef yankısı sinyalleri üzerine etkileri açıklanmıştır.

5.3.1.1. Frekans değişimleri (Doppler kayması)

Hedef hareketliyken, hedeften yansıyan radar sinyalinin frekansı Doppler etkisine bağlı olarak değişmektedir:

$$\Delta f = (f_R \times v_H \times (cos(\theta_R) + cos(\theta_G + \theta_R))/c \qquad (6)^{[4]}$$

Δf: Doppler kayması (Hz); f_R: radar yayın frekansı (Hz); v_H: hedef hızı $(m/saniye)$;
θ_R: hedef rotası ile hedef − radar doğrultusu arasındaki açı; c: ışık hızı $(m/saniye)$
θ_G: hedef − kayıt birimi doğrultusu ile hedef − radar doğrultusu arasındaki açı

Hedef gözlem noktasına doğru yaklaşıyorsa hedef yankısı frekansı artarken (pozitif Δf), uzaklaşıyorsa frekansı azalır (negatif Δf). Formülde açısal değerlerin nedeni, Doppler frekansının hedef hızının radar ve gözlemci yönündeki bileşenleri kullanılarak hesaplanmasıdır.

5.3.1.2. Zaman değişimleri

Hedef yankısı hareket ederken herhangi bir anda bir sinyal örneğinin kayma miktarı (7) no'lu formülle hesaplanır.

$$\Delta t = (d_{RH} + d_{GH})/c \qquad (7)$$

Δt : herhangi bir andaki bir sinyal örneğinin gecikme miktarı $(saniye)$;;
d_{GH}: kayıt birimi ve hedef arasındaki mesafe (m) d_{RH}: radar ve hedef arasındaki mesafe (m);
c: ışık hızı $(m/saniye)$

5.3.1.3. Güç değişimleri

Radardan yayınlanan sinyallerin hedeften yansıyıp geri geldiklerinde uğradıkları güç kaybı (8) no'lu formülle hesaplanır:

$$S = E + G_K + \sigma - 20\log(f_R) - 20\log(d_{RH}) - 20log(d_{GH}) - 163.43 \quad (8)^{[5]}$$

S: kayıt birimi tarafından alınan hedef yankısı sinyal seviyesi (dBm); E: radar yayın gücü (dBm);
σ: hedef yankıya neden olan hedef parçasının radar arakesiti$(dB$ görece $m^2)$;
f_R: radar yayın frekansı (GHz); d_{RH}: radar ve hedef arasındaki mesafe $(kilometre)$;
d_{GH}: kayıt birimi ve hedef arasındaki mesafe $(kilometre)$

Hesaplanan sinyal gücü genlik değerine çevrilip o ana karşılık gelen sinyal örneği değeriyle çarpılarak güç değişimleri modellenmiş olur.

5.3.2. Karıştırma sinyalleri üzerine etkiler

Bu bölümde hedef hareketleri ve ortam geometrisinin karıştırma sinyalleri üzerine etkileri açıklanmıştır.

5.3.2.1. Frekans değişimleri (Doppler kayması)

Hedef hareketliyken, hedeften yayınlanan karıştırma sinyalinin frekansı üzerinde Doppler etkisi nedeniyle bir kayma gözlenir:

$$\Delta f = (f_R \times v_H \times cos(\theta_G + \theta_R))/c \quad (9)^{[4]}$$

Δf: Doppler kayması (Hz); f_R: radar yayın frekansı (Hz); v_H: hedef hızı $(m/saniye)$;
θ_{KG}: hedef − kayıt birimi doğrultusu ile hedef − radar doğrultusu arasındaki açı
θ_R: hedef rotası ile hedef − radar doğrultusu arasındaki açı; c: ışık hızı $(m/saniye)$

5.3.2.2. Zaman değişimleri

Karıştırma sinyali, hedeften yayınlanıp gözlemci ulaşana kadar geçen süre kadar her bir sinyal örneğinde (10) no'lu formülle hesaplanan bir gecikme gözlenir:

$$\Delta t = d_{GH}/c \quad (10)$$

Δt : herhangi bir andaki bir sinyal örneğinin gecikme miktarı $(saniye)$
d_{GH}: kayıt birimi ve hedef arasındaki mesafe $(metre)$; c: ışık hızı $(metre/saniye)$

5.3.2.3. Güç değişimleri

Hedef yankılarındaki güç kaybı gibi, hedeften yayınlanan sinyallerde de gözlemciye ulaşınca güç kaybı gözlenir:

$$S = E + G_K - 20\log(f_R) - 20log(d_{GH}) - 92.45 \quad (11)^{[5]}$$

S: kayıt birimi tarafından alınan karıştırma sinyali seviyesi (dBm); E: karıştırıcı yayın gücü (dBm)
f_R: radar yayın frekansı (GHz); d_{GH}: kayıt birimi ve hedef arasındaki mesafe $(kilometre)$

Hesaplanan sinyal gücü daha sonradan genlik değerine çevrilip o ana karşılık gelen sinyal örneği değeriyle çarpılarak güç değişimleri modellenmiş olur.

6. ESOSB DONANIMSAL ETKENLERİN BENZETİMLERİ

Bu bölümde, gözlemci noktasında verileri kaydetmek amacıyla kullanılacak bir cihazın özelliklerinin benzetimi irdelenmiştir.

6.1. Analog / sayısal çeviricinin benzetimi[2]

Elektronik savaş ortamında kullanılabilecek bir kayıt birimi, algılanan analog sinyalleri sayısal biçime çevirerek kaydedecektir. Bu tip kayıtlar, ESOSB'nde özellikleri ayarlanabilir bir Analog/Sayısal Çevirici ile modellenmiştir (bkz. Şekil 1)

Çevirme işleminde kaç bitlik (N) bir analog/sayısal çevirici kullanılacağı belirtilerek analog sinyalin genlik değişim aralığı 2^N dilime bölünür; analog sinyalin en yüksek değeri 2^{N-1}-1'e, en düşük değeri -2^{N-1}'e karşılık gelecek şekilde her bir sinyal örneği [2^{N-1}-1, -2^{N-1}] arasındaki en yakın dilimin temsil ettiği tamsayıya çevrilir.

7. TARTIŞMALAR / GELİŞTİRMELER

Bu bölümde ESOSB'de karşılaşılmış sinyal boyutları üzerine tartışmalar ve ESOSB çıktı çeşitleri üzerine geliştirmeler anlatılmıştır.

7.1. Üretilen sinyal boyutları

ESOSB, MATLAB ortamında çalışan bir yazılım olduğundan, kullanılan bilgisayarın özelliklerine göre değişebilmekle birlikte bellekte tutabileceği dizilerin/matrislerin büyüklüğü sınırlıdır. MATLAB tarafından kayıt altına alınabilecek en uzun sinyalin büyüklüğü (12) no'lu formüle göre hesaplanmaktadır.

$$T = K/(b \times F_s) \tag{12}$$

K: : MATLAB'da izin verilen dizi büyüklüğü (byte); b: : Bir örnek için kullanılan byte sayısı
F_s: : Örnekleme frekansı (hertz)

Yüklendiği bilgisayarın özellikleri nedeniyle örneğin 750 MB'lık dizi büyüklüğü ile sınırlanmış bir MATLAB üzerinde 250 MHz ile örneklenen ve her örnek için 8 byte kullanan bir benzetim verisi ile temsil edilen sinyalin zaman aralığı yaklaşık olarak 393 milisaniyedir. Elektronik savaş ortamında karıştırma sinyallerinin bir kaç saniye ile bir kaç on saniye arasında olduğu dikkate alınarak ESOSB'nin verileri parçalı şekilde üretip sabit diske ardışık numaralarla kaydetmesi; böylece donanımdan kaynaklı sınırlama ortadan kaldırılarak istenilen uzunlukta ve zaman aralıklarında sinyaller üretilmesi sağlanmıştır.

ESOSB çıktıları sabit disk üzerinde bir dosyaya "double" formatında, yani her örnek için 8 byte kullanılarak yazılmaktadır. ESOSB çıktısını kullanacak bir uygulama için daha düşük bir kesinlik yeterli ise her örnek için daha az sayıda byte kullanabilme özelliği eklenerek çıktı boyutları azaltılabilir.

7.2. Çıktı çeşitleri

Mevcut haliyle ESOSB, ürettiği sinyalleri MATLAB'ın doğrudan kullanabildiği "*.mat"* veya ikili (binary) sisteme göre "*.bin"* formatında kaydetmektedir. Verileri kullanacak analiz veya gösterim yazılımlarına uygun çıktı formatları eklenebilir.

7.3. Gerçek verilerle karşılaştırma

ESOSB, EH ortamı sinyallerini teorik olarak yüksek güvenilirlikle tanımlanabilen özelliklerine uygun biçimde üretmektedir. EH ortamlarında gerçekleştirilmiş sinyal kayıtlarıyla karşılaştırarak güvenilirliğin arttırılması yakın dönem hedeflerinden biridir.

8. SONUÇ

Elektronik savaş ortamındaki sinyallerin analizlerini yapan uygulamalar bu ortamlarda belirli örnekleme frekansı ve analog sayısal çevirici özelliklerine göre kaydedilmiş sinyallere ihtiyaç duyarlar. Ancak bu sinyallerin kayıt altına alınabilmesi için hem elektronik savaş ortamı senaryolarının planlanması hem de gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Planlama ve gerçekleme süreci hem yüksek maliyeti hem de çok fazla zaman gerektirmesinden dolayı zor olan bu senaryolar yerine, elektronik savaş ortamındaki senaryoları bilgisayar ortamında modelleyip sinyalleri gerçeğine uygun olarak benzeten yazılımlara ihtiyaç duyulmaktadır. ESOSB, bu ihtiyacı karşılayan bir benzetim yazılımıdır.

ESOSB, modeli itibariyle bir EH ortamı senaryosunda gözlenebilecek yayınların benzetimini oluştururken, hareketli hedeflerin etkilerini de dikkate alarak ürettiği sinyallerin dinamik bir ortamı modellemesini sağlar. Senaryoya uygun olan radar, karıştırma, hedef yankısı ve parazit yankı sinyallerini kullanıcından MATLAB GUI aracılığı ile aldığı parametreleri kullanarak benzettikten sonra bunları senaryoya göre belirli genlik değerleriyle birleştiren ESOSB, ortamdan veya kayıt cihazından kaynaklanabilecek gürültüleri de birleştirilmiş sinyale ekler. Son olarak kayıt cihazının yaptığı gibi analog verileri sayısal verilere çevirerek benzetimi tamamlar.

9. KAYNAKÇA

[1] Mathworks, INC, "Matlab 7 Creating Graphical User Interfaces", 2004

[2] Adamy, David. (2009), EW 103: Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare, Artech House: Boston, London, UK.

[3] Adamy, David. (2000), EW 101: A First Course in Electronic Warfare, Artech House: Boston, London, UK.

[4] Adamy, David. (2004), EW 102: A Second Course in Electronic Warfare, Artech House: Boston, London, UK.

[5] Avionics Department - Naval Air Warfare Center (1997), Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook, Washington, ABD.

KISMEN ARIZALI OTONOM ROBOTLAR İÇİN EN AZ SAYIDA SONAR SENSÖRÜ KULLANILARAK KAPALI MEKANLARDA KONUM TESPİTİ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Muhammed Çağrı Kaya [(a)], Serdar Çiftçi [(b)], Selim Temizer [(c)]

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ve
ODTÜ - TSK Modsimmer Merkezi, Mobility Araştırma Laboratuvarı,
Çankaya, 06800, Ankara, Türkiye

[(a)] mckaya@ceng.metu.edu.tr
[(b)] sciftci@ceng.metu.edu.tr
[(c)] temizer@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, geçirdiği bir kaza, düşman bölgede aldığı bir hasar, vb. nedenlerle bazı donanımlarını hatasız ve etkin bir şekilde kullanamayan otonom robotlar için mümkün olan en az sayıda sonar sensörü kullanılarak konum tespiti yapabilen bir yöntem geliştirilmiş ve gerçek bir robot üzerinde uygulanmıştır. Deneyler için Pioneer P3-DX model bir araştırma robotu kullanılmıştır. Deney robotunun aldığı hasar sonucu robotun iç hareket modelinin hatalı çalıştığı; örneğin düz bir hat üzerinde giderken bile sapmalar yaptığı varsayılmıştır. Ayrıca üzerinde bulunan toplam 16 adet sonar sensöründen sadece karşılıklı olarak yerleştirilmiş 2 tanesinin çalışır durumda olduğu kabul edilmiştir. Robot, görev bölgesi için daha önceden kendisinin oluşturduğu (veya hazır olarak gelebilen) bir referans derinlik haritasına sahiptir. Görev sırasında robot sonar sensörlerinden birini kullanarak sabit bir çizgi üzerinde düz bir şekilde ilerlemeyi sağlarken diğer sonar sensörüyle de uzaklık bilgilerini toplamaktadır. Bu bilgiler önceden belirlenmiş bir sayıya ulaştığında, başka bir deyişle robot bir gözlem için yeterli miktarda bilgi topladığında, yapılan gözlem ve gerçekleştirilen hareket, kullanılan Bayes Filter tekniği ile işlenmekte ve çıktı olarak robot, referans harita üzerinde bulunduğu yer tahminini güncellemektedir. Bu tahminler robotun hareketi süresince güncellenmekte ve robot gerçek konumunu yüksek bir hassasiyetle tespit edebilmektedir. Yöntemin uygulanabilirliği yapılan deneylerle gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bayes filtresi, harita oluşturma, hasara karşı dayanıklılık, insansız kara aracı, konum tespiti, otonom robot

INDOOR LOCALIZATION FOR PARTIALLY-DYSFUNCTIONAL AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS USING MINIMUM NUMBER OF SONAR SENSORS

ABSTRACT

In this study, an indoor localization method that makes use of minimum number of sonar sensors has been developed and applied on a real robot, where a considerable part of the robot's sensory hardware is assumed to have previously been damaged in a crash or during a mission in the enemy zone, etc. and therefore can only provide limited functionality. A Pioneer P3-DX model research robot is used for the experiments. The dead reckoning module of the robot is assumed to be functioning incorrectly due to the damage; for instance, the robot is not capable of following a straight line based solely on information coming from its internal encoders. Additionally, just a pair of sonar sensors located oppositely around the robot is assumed to be functional among the total 16 sonar sensors onboard. The robot has access to a reference depth map of its operational environment, which might have actually been generated before by the robot itself, as is the case for our experiments. The robot uses one of the functional sonar sensors to keep moving on a straight line while collecting depth information with the other sonar sensor during its mission. After accumulating a specified number of raw depth data, the robot computes them into an observation, and applies a Bayesian Filter to update its location estimate on the reference map, taking into account the amount of its positional displacement during data collection. The location estimates keep being updated while the robot continues its motion, and it is observed that the robot can detect its actual location with high precision. Hence, the feasibility of the method is demonstrated through simulated and physical experiments.

Keywords: Autonomous robot, Bayes filter, localization, mapping, resilience, unmanned ground vehicle

1. GİRİŞ

Robotlar çok geniş endüstriyel kullanım alanlarına sahiptirler. Özellikle araba parçalarının kaynak edilmesi, baskı devrelerin üzerine bileşenlerin yerleştirilmesi gibi sürekli tekrarlanan ve hassasiyet gerektiren işlerde robotlardan önemli ölçüde faydalanılmaktadır. Ancak, genellikle bir mekanik kol şeklinde olan bu robotlar, üretim bandının bir yerine sabitlenmiş olup belirli bir çalışma alanına (workspace) sahiptirler ve hareketsiz (immobile) robotlar olarak sınıflandırılırlar.

Hareketli robotlar, keşif, araştırma-inceleme, taşıma, vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanının çeşitliliğinin yanında hareketlilik başlı başına bir sorun olabilmektedir. Hareketsiz robotlar sürekli aynı konumda bulunduklarından konum tespitine ihtiyaç duymazlar. Bununla birlikte, hareketli robotlar görevlerini istenilen şekilde yapabilmek için gerçek dünyadaki konumlarını tespit etmek zorundadırlar. Bu sorunun çözülmesi hareketli robotlar için elzemdir.

Konum tespiti, otonom ve hareketli hava ve deniz araçları için olduğu gibi kara araçları için de çok önemlidir. Kimi otonom kara araçları konum bilgisini Küresel Konumlandırma Sistemi (Global Positioning System, GPS) yardımıyla tespit etmektedir. Ancak kapalı mekan, kötü hava koşulları, kullanılan donanımın zarar görmesi gibi nedenlerle GPS bilgisi erişilmez olursa, araç amacına uygun olarak hareket edemeyecektir. Bu bilgi kesintisi görev başlamadan önce olursa araç tamamen etkisiz kalacak, görev esnasında olursa ise araç görevi tamamlayamayacaktır. Bu problemlerin çözümü için insansız araçlar, görev yaptıkları çevreyi tanıyabilecek ve bu yolla konumlarını tespit edecek sistemlerle donatılabilirler [1].

Bir insansız kara aracının konumunu tespit etmesi problemi genellikle "hareketli robot konum tespiti problemi" (mobile robot localization problem) [2] kapsamında değerlendirilir. Bu problem, robotun çevresine göre konumunu ve yönelimini tespit etmeyi içerir.

Hareketli robot konum tespiti problemi bazı türlere ayrılır. Bunlardan biri *pozisyon izleme*dir (position tracking) [3]. Bu problemde robot başlangıç pozisyonunu bilmekte ve hareketi süresince bu bilgiyi korumaya çalışmaktadır. Bir başkası *küresel konumlandırma problemi*dir (global localization problem) [4]. Bu problem için robot başlangıç konumunu bilmemekte ve sonradan yapacağı gözlem ve hareketlerle konumunu tespit etmeye çalışmaktadır. Bir diğer problem olan *kaçırılmış robot problemi*nde ise (kidnapped robot problem) [5] kendisini çok iyi konumlandırmış bir robot, yapılan değişiklik robota bildirilmeksizin, alınarak çevredeki başka bir yere yerleştirilir. Bundan sonra robotun konumunu tekrar doğru bir şekilde tespit etmesi beklenir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen problemlerin otonom bir kara aracında çözümü için *Bayes Filtresi* [6, 7] kullanan bir teknik önerilmektedir. Sensör verileri Pioneer P3-DX robotu yardımıyla toplanmaktadır. Bulunduğu çevreyi dolaşan robot sonradan kullanılmak üzere sonar sensörleri yardımıyla bölgenin derinlik verilerini içeren bir referans harita hazırlamaktadır. Robot, kendisini konumlandırması istenildiğinde, bir yandan hareket ederek çevresinden derinlik bilgisi toplamakta, diğer yandan bu bilgileri referans haritasıyla karşılaştırarak hangi bölgelerde ne kadar uyuşma olduğunu tespit etmeye çalışmaktadır. Robot nerede olduğuna dair *tahmin durumunu* (belief state) hareketi boyunca güncellemektedir. Tahmin durumu, söz konusu problem için durum uzayı üzerindeki olasılık dağılımıdır.

2. ÖNERİLEN YÖNTEM

Sonar sensörler bir çevrenin derinlik bilgisini tespit etme yeteneğine sahiptir. Böylece söz konusu çevrenin tamamının bir derinlik haritası çıkarılabilir. Bu harita kendisini konumlandırması istenen robot tarafından görev öncesi çıkarılabileceği gibi, başka bir araç tarafından da oluşturulabilir. Eğer bir otonom kara aracına görevi boyunca ulaşılabilir olacak şekilde bu derinlik haritası sağlanırsa, ve araç hareketi devam ederken çevreden derinlik bilgisi toplayabiliyorsa, referans harita üzerinde konumunu tespit edebilir. Bu çalışmada kesin konumu tespit etmek için bir Bayes modeli kullanılmıştır. İlk olarak, robotun bulunma ihtimali olan her durum (state) için eşit bir olasılık dağılımı (uniform distribution) yapılmıştır. Robot bulunduğu konumda bir *gözlem* yapar ve kullandığı bir *sensör modeli* (1) ile tahmin durumlarını günceller.

$$P(X_i \mid Z) = P(Z \mid X_i) P(X_i) / P(Z) \quad (1)$$

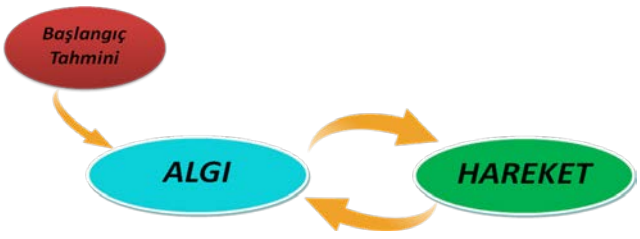
Burada (i=1, ..., n) n adet durum için, X durumları ve Z gözlemleri ifade etmektedir.

Robotun belli bir miktar hareketi sonrası bir *geçiş modeli* (2) uygulanarak tahmin durumları tekrar güncellenir.

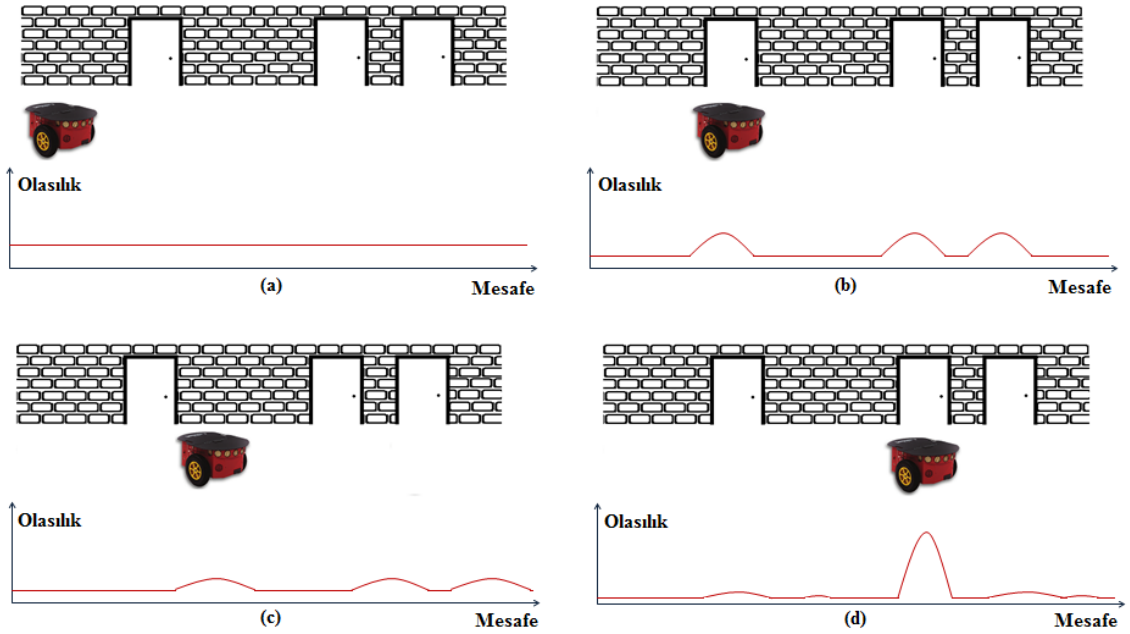
$$P(X_i(t)) = \Sigma_j P(X_j(t-1)) P(X_i \mid X_j) \quad (2)$$

Geçiş modeli, t anında X_i durumunda olmanın, t-1 anında j ile indekslenmiş durumlarda olma ihtimaline bağlı olduğunu göstermektedir.

Robotun her yeni konumunda tekrar bir gözlem yapılır ve güncellemeler tekrarlanır. Birkaç adım sonra en yüksek olasılığa sahip olan durum robotun gerçek konumunu temsil etmeye başlar. Sonuç olarak robot nerede olduğunu hızlı ve doğru bir biçimde tespit edebilmektedir. Bu döngü **Şekil 1**'de gösterilmektedir. Başlangıç tahmini olarak her bir durum için eşit olmak üzere olasılıklar atanır. Robot sürekli çevresini algılama ve hareket etme durumları arasında geçiş yapar. Her algı ve hareket basamağıyla birlikte tahmin durumu güncellenir. **Şekil 2**'de, algı-hareket döngüsünü kullanan robotun ilerleyen adımlarda tahmin durumunu iyileştirdiği sembolik olarak gösterilmiştir [7].



Şekil 1. Algı-hareket döngüsü



Şekil 2. Robotun gözlemler sonucu tahmin durumunu iyileştirmesi

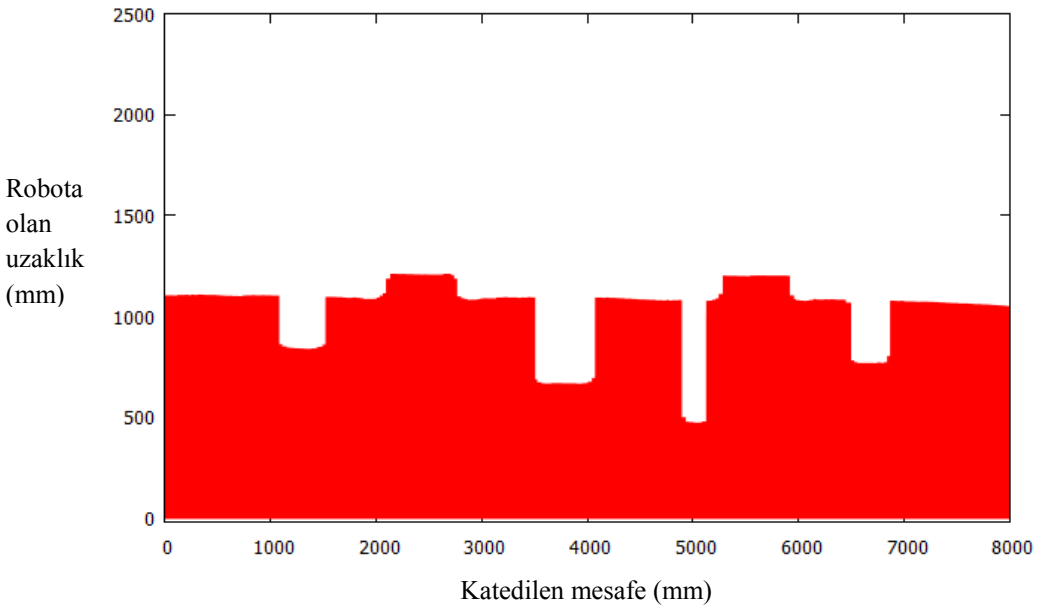
3. YÖNTEMİN PIONEER P3-DX ROBOTUNA UYGULANMASI

Yapılan deneyler için ortam olarak Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü içindeki çeşitli koridorlar seçilmiştir. Robot, bir tarafı düz bir duvardan oluşan, diğer tarafında ise kapı girintileri ve derinliği çeşitlendirmek amacıyla yerleştirilmiş bazı nesnelerin bulunduğu bir koridorda (sanal) düz bir çizgi üzerinde koridora paralel olarak hareket ederek derinlik bilgisi toplamaktadır. Robotun çevresine düzenli aralıklarla yerleştirilmiş 16 adet sonar sensörü bulunmaktadır. Bu sayede farklı açılardan bilgi toplayabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde bu sensörlerden sadece iki tanesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki robotun sol tarafında bulunan 1 numaralı sonar, ikincisi ise sağ tarafında bulunan 8 numaralı sonardır. Bu iki sensör, robot düz bir hat üzerinde ilerlediğinde robotun hareket yönüne dik açılarda sağ ve sol taraflardan veri toplayabilmektedir. Bu sayede robot bir tarafındaki düz bir duvara paralel hareket ederken diğer taraftaki nesnelerin ve boşlukların uzaklık bilgilerini toplayabilir. Yapılan deneylerde, 8 numaralı (sağdaki) sonar, referans haritayı oluşturmak üzere koridorun sağ tarafının derinlik bilgilerini toplamak için kullanılırken, 1 numaralı (soldaki) sonar ise karşısındaki düz duvarla robotun arasındaki mesafeyi sürekli kontrol ederek, bu mesafenin sabit kalması için robotun hareketini düzenler ve bu sayede robotun dümdüz bir hat üzerinde ilerlemesini sağlar.

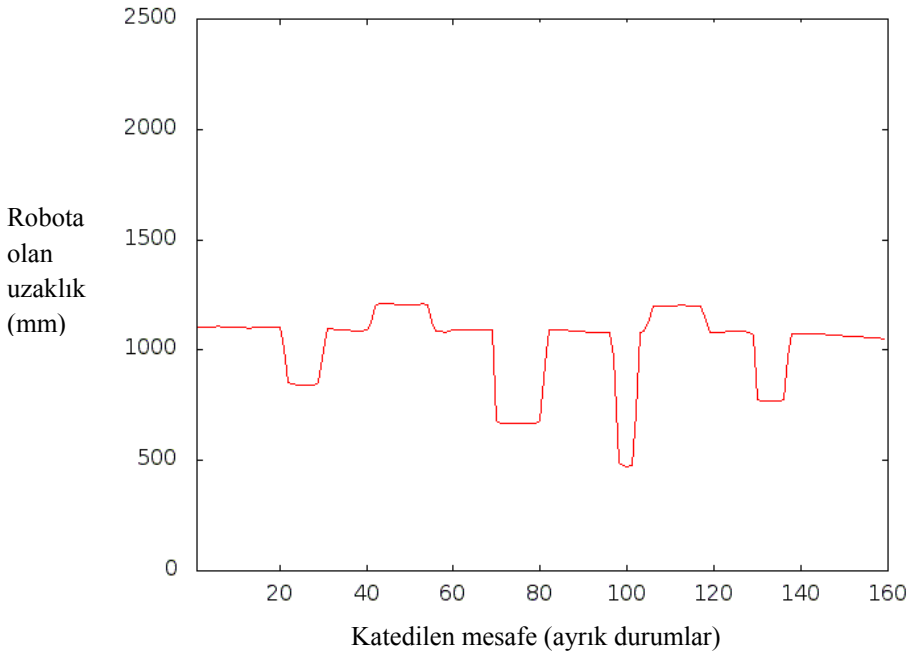
Aşağıda ilgili grafiklerin sunulduğu örnek bir deneyde robot, koridor üzerinde 8 metre boyunca hareket ederek bir referans harita çıkarmıştır. Bu 8 metrelik hareket sonucunda

robot, katedilmiş olan her 1 milimetrelik yol için bu sırada ölçülmüş olan bir adet derinlik bilgisi olmak üzere toplam 8000 adet ondalıklı sayıyı bir dosyaya kaydeder. Robotun hareketiyle sonarlardan gelen bilgilerin senkronizasyonunun sağlanmadığında bu veri içinde çok miktarda gürültü de bulunmaktadır. Ayrıca robot, sonar sensörünün bilgi toplama hızına göre daha hızlı hareket ettiği için, her bir milimetrelik yol boyunca bir sonar verisi elde edilememekte ve böylelikle bir ölçüm yapılamadan atlanmış olan her milimetrelik yol için yapılan derinlik ölçüm değerleri "sıfır" olarak görünmektedir. Bu veriyi kullanılabilir hale getirmek için koridorun ve dolayısıyla da oluşturulacak olan referans haritanın aslında 5'er santimetre uzunluğunda olan ayrık hücrelerden oluştuğu varsayılmıştır. Burada kullanılan 5 cm uzunluğu kritik bir değer olmayıp, içinde en az bir adet "sıfır" olmayan kullanılabilir bir sonar okuma değeri barındıran ve yeterli çözünürlükte bir konum tespiti yapmayı sağlayabilecek herhangi başka bir değer de seçilebilir. Netice olarak 8 metre uzunluğundaki koridorun 160 ayrık hücreden oluştuğu kabul edilmiştir. Bu ayrık mantıktan faydalanılarak, kaydedilmiş olan dosyadaki her 50 milimetreye karşılık gelen geçerli derinlik değerleri sayılarak ortalamaları alınmış, ve geçersiz değerler yerine de bu ortalama değerler atanmıştır. Referans haritanın ham hali **Şekil 3**'te, işlenmiş hali ise **Şekil 4**'te gösterilmektedir.

Daha sonra robot, konumlandırma başarısını test etmek için referans haritası oluşturulan 8 metre uzunluğundaki koridorun rastgele bir yerinden başlamak üzere 3 metre hareket ettirilmiştir. Bu hareketi süresince de robot 8 numaralı sonar sensörünü kullanarak derinlik bilgisi okurken 1 numaralı sensörünü de düz bir şekilde hareket etmek için kullanmıştır.

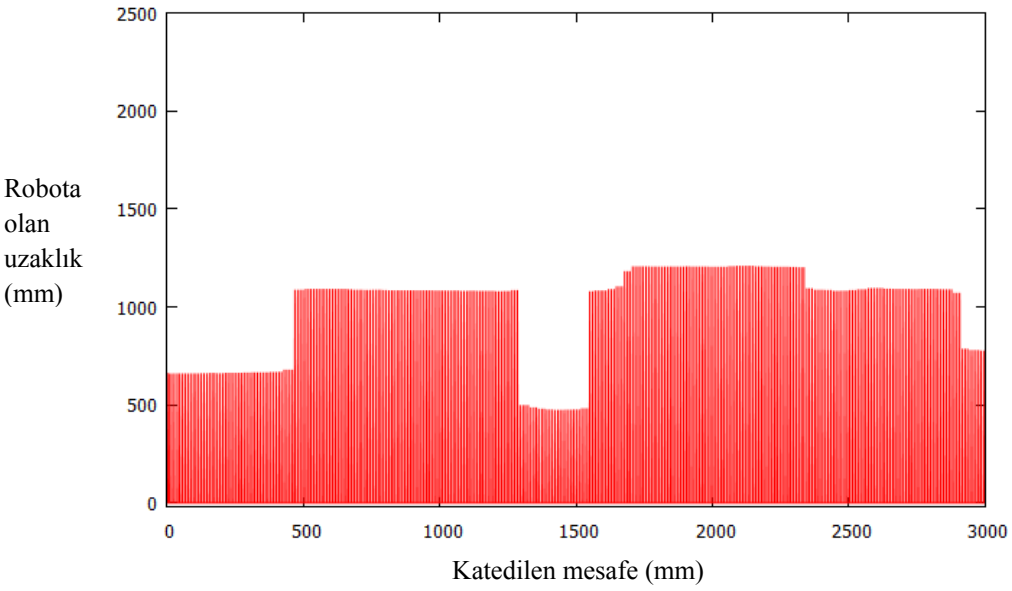


Şekil 3. Ham veri içeren referans harita

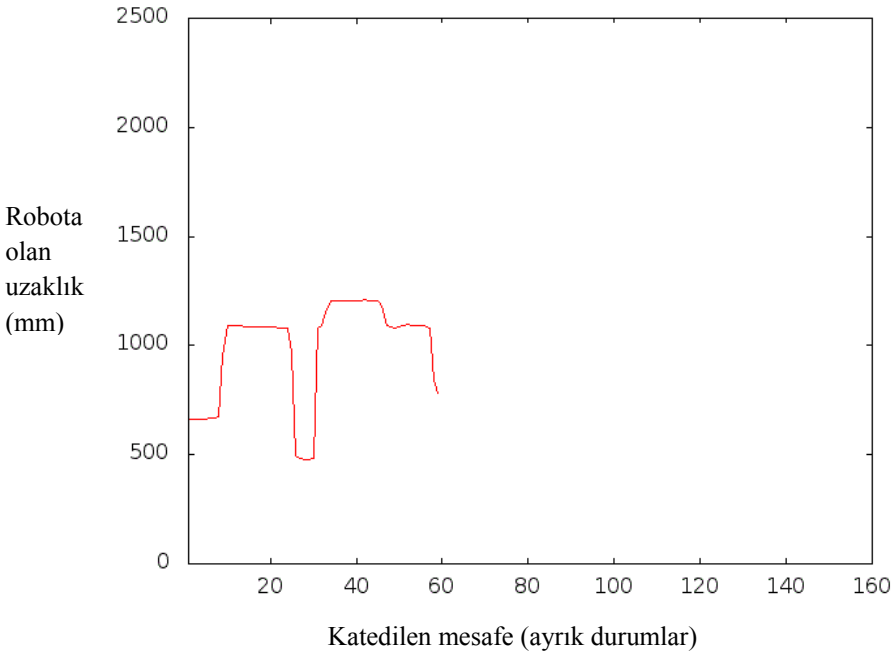


Şekil 4. İşlenmiş referans harita

Tıpkı referans haritada olduğu gibi bu 3 metrelik hareket için de her 1 milimetre için bir derinlik bilgisi toplanmış ve ham veri sürekli işlenerek kullanılabilir hale getirilmiştir. **Şekil 5**'te ham test verisi yer alırken **Şekil 6**'da işlenmiş bilgi yer almaktadır.



Şekil 5. Test verisinin ham hali

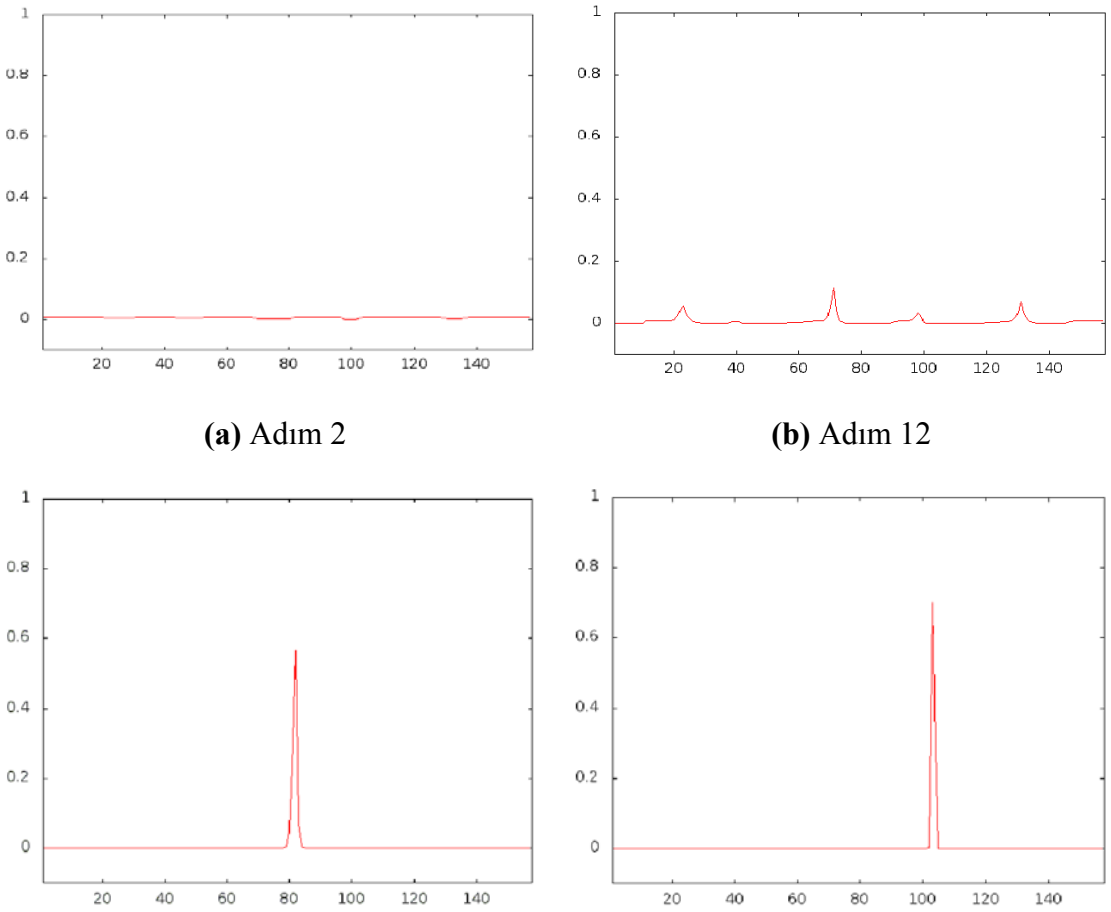


Şekil 6. Test verisinin işlenmiş hali

Şekil 7'de robotun kendisini konumlandırması (konum tahminini sürekli olarak güncellemesi) esnasında, seçilmiş bazı anlara ait olmak üzere, 160 duruma bölünmüş referans harita üzerindeki olasılık dağılımları yer almaktadır. **Şekil 7**'deki grafiklerde yatay eksenler ayrık durumları, düşey eksenler ise olasılık değerlerini göstermektedir. **Şekil 7 (a)**'da 2. adımdaki olasılık dağılımı görülmektedir. Burada her bir adım, katedilen her 5 santimetrelik mesafe boyunca ölçülen ham derinlik bilgilerinin işlenerek bir gözlem haline getirilmesi, ve bu gözlem baz alınarak konum tahmininin güncellenmesi işlemine karşılık gelmektedir. **Şekil 7 (b)**, bu örnek deney sırasında robotun gerçek konumunu temsil eden olasılığın diğer olasılıkları geçtiği ilk adım olan 12. adımı göstermektedir. Bu süre, farklı deneyler için farklılık gösterip, robotun yerini net biçimde tespit edebilmesi için yeterli miktarda (ayırdedici nitelikte) gözlem yapabilmesi ile ilgilidir. **Şekil 7 (c)** 23. adımdaki durumu gösterirken **Şekil 7 (d)**'de 45. adımdan sonra konum tahmininin bu deneyde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada Bayes filtreleme tekniği üzerine inşa edilmiş ve minimum sayıda sonar sensörünün kullanımını içeren bir konum tespit metodu geliştirilmiş ve Pioneer P3-DX model bir araştırma robotu üzerinde uygulanmıştır. Robotun kendi iç konum takip aksamının doğru olarak çalışmadığı ve robotun düz bir hat üzerinde bile ilerlemesini sağlayamadığı varsayılmış, bu sorunu gidermek için bir adet sonar sensörü kullanılarak



(a) Adım 2 **(b)** Adım 12

(c) Adım 23 **(d)** Adım 45

Şekil 7. Çeşitli adımlardaki ayrık durum olasılıklarının dağılımları

robotun belirlenen bir rotada (bu çalışma için düz bir hat üzerinde) tutulması sağlanmıştır. Robot, diğer sonar sensörü vasıtasıyla ise mesafe ölçümleri yaparak kendini bir referans harita üzerinde hızlı, doğru ve yüksek güvenilirlikle konumlamayı başarmaktadır.

İstenilen hızlarda sağlanamayan ve bu sebeple atlamalı olarak toplanabilen sensör verilerinin kullanışlı bir hale getirilebilmesi için operasyonel ortamın durumlara ayrıştırılması prensibi kullanılmıştır.

Bu çalışmada çeşitli sensörlerin hasarlılık durumlarının ve hasar miktarlarının baştan bilindiği varsayılmıştır. Çalışmanın asıl yönü, böyle durumlar için çözüm bulmak üzerinedir. Çözüm bilindikten sonra, hasarsız olarak görevine başlayan bir otonom aracın, hasar aldıktan sonra adaptif olarak geliştirilen yöntemleri kullanmasının nispeten kolay olduğu düşünülmektedir ve ileride bu yönde çalışmalar yapılması da

planlanmaktadır. Bu çalışmanın devamında ayrıca yöntemin sürekli (continuous) ortamlara adapte edilmesi ve sürekli ortamlarda başarılı olan Monte Carlo konumlandırma teknikleri [2] kullanılması hedeflenmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] Karan, O., Eraslan, H. A. ve Kurnaz, S. (2010), Topografik Bilgiler ve Uydu Görüntü Verilerini Kullanarak 3 Boyutlu Alan Tanıma Sistemi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi* Cilt No.4, Sayı 4, 31-40

[2] Thrun, S., Fox, D., Burgard, W. ve Dellaert, F. (2001), Robust Monte Carlo Localization for Mobile Robots, *Artificial Intelligence*, No.128, 99-141

[3] Schiele, B. ve Crowley, J. (1994), A Comparsion of Position Estimation Techniques Using Occupancy Grids, *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-94)*, 1628-1634

[4] Burgard, W., Derr, A., Fox, D. ve Cremers, A.B. (1998), Integrating Global Position Estimation and Position Tracking for Mobile Robots: The Dynamic Markov Localization Approach, *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'98),*730-735

[5] Engelson, S. ve McDermott, D. (1992), Error Correction in Mobile Robot Map Learning*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Nice, France*, 2555-2560

[6] Cassandra, A. R., Kaelbling, L.P. ve Kurien, J. A. (1996), Acting Under Uncertainty: Discrete Bayesian Models for Mobile-Robot Navigation, *Intelligent Robots and Systems IEEE*, 963-972

[7] Thrun, S., Burgard, W. ve Fox, D. (2005), Probabilistic Robotics, MIT Press, ABD

YAKIN ALAN ÖLÇÜMLER İLE YAR GÖRÜNTÜLEME VE RKA HESABI İÇİN LİNEER OLMAYAN DENKLEM DESTEKLİ MATRİS KALEM METODU

Araş. Gör. Okyanus TULGAR [(a)], Prof. Dr. Ahmet Arif ERGİN [(b)]

[(a)]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çayırova Gebze/Kocaeli, otulgar@gyte.edu.tr

[(b)]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çayırova Gebze/Kocaeli, aergin@gyte.edu.tr

ÖZ

Radar kesit alanı (RKA) tanım olarak, uzak-alandaki bir cismin elektromanyetik dalgaları yansıtma miktarının ölçütüdür. Uygulamada RKA ölçümlerinin yapılabilmesi için uzak-alan şartının sağlanması gerekmektedir. Fakat bu durum ölçüm alınan cismin boyutu ve frekansa bağlı olarak, yüksek ölçüm mesafesi gereksiniminden dolayı saha problemlerini beraberinde getirmektedir. Ayrıca, menzil çözünürlüğü ve nokta sayısına (frekans ve açı boyutlarında) bağlı olarak ölçümlerde belirsizlik meydana gelmektedir. Bu belirsizliği azaltmak için RKA ölçümlerinde bant genişliği ve nokta sayıları arttırılmaktadır. Bu nedenle, ölçümlerde kullanılan network analizörün ve radar antenlerinin maliyeti artmakta, ölçüm süresi uzamaktadır. Ayrıca nokta sayısının arttırılması neticesinde, ölçümler için gerekli olan hesap yükü ve süresi artmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen algoritma ile uzak-alan şartının sağlanmasına gerek duyulmadan, yakın-alan ölçümler ile yapay açıklıklı radar (YAR) görüntüleme ve RKA hesabı yapılmıştır. Bu sayede saha problemleri azaltılmıştır. Ayrıca bu çalışmada kullanılan matris kalem metodu (MKM) ile sınırlı bant genişliğinde sonsuz çözünürlüklü menzil profilleri hesaplanmıştır. Bu sebeple, hızlı Fourier dönüşümü (HFD) kullanımında arzu edilen menzil çözünürlüğüne bağlı olarak yüksek bant genişliğine ve frekans nokta sayısına sahip network analizör ve radar antenlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sayede ölçüm cihazlarının maliyeti azaltılmıştır. Lineer olmayan denklem sistemi (LODS) çözümü sayesinde sonsuz çözünürlüklü YAR görüntülemenin yanı sıra yüksek doğruluklu RKA hesabı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hızlı Fourier dönüşümü, matris kalem metodu, menzil profili, radar kesit alanı, yapay açıklıklı radar.

NON-LINEAR EQUATION SUPPORTED MATRIX PENCIL METHOD FOR SAR IMAGING AND RCS CALCULATION WITH NEAR-FIELD MEASUREMENTS

ABSTRACT

Radar cross section is a quantity of back scattered electromagnetic waves from an object in the far-field zone. In practical implementations, far-field requirement must be satisfied in order to make RCS measurements. But, this requirement brings about land issues because of the large distances, which depend on the size of the measured object and frequency. Additionally, an uncertainty occurs on the measurements, based on the range resolution and number of samples (in the frequency and angular dimensions). In order to reduce this uncertainty, bandwidth and number of samples are increased. For this reason, the costs of the network analyzer and radar antennas increase, and the measurement time becomes longer. Furthermore, as a result of increasing the number of points, the computational burden and time are also increased. By using the developed algorithm in this study, synthetic aperture radar (SAR) imaging and RCS calculation can be done with near-field measurements without the requirement for the far-field zone. Thanks to this, the land issues are reduced. Moreover, range profiles are obtained with infinite resolution by using limited bandwidth measurements by using the matrix pencil method (MPM). For this reason, expensive network analyzers or radar antennas, which have high bandwidth and a large number of frequency points, depending on the desired range resolution in the usage of fast Fourier transform (FFT), are needed. Thus, the cost of the measurement instruments is reduced.

Keywords: Fast Fourier transform, matrix pencil method, radar cross section, range profile, synthetic aperture radar.

1. GİRİŞ

RKA bir cismin problem uzayındaki elektromanyetik (EM) dalgaları yansıtma miktarını belirten, tanım olarak uzak-alanda ifade edilen bir ölçüttür [1]. Cisimlerin radarda görünme miktarını azaltmak için çeşitli radar soğurucu malzemeler (RSM) geliştirilmektedir. Bu malzemelerle kaplı cisimlerin radarda görünme miktarının belirlenmesi amacıyla RKA ölçümleri veya hesaplamaları yapılmaktadır [2]. Pratik uygulamalarda RKA ölçümlerinin yapılabilmesi için hedeften yansıyan EM dalgalarının örneklenmesine ihtiyaç vardır. Bu amaca yönelik kullanılan sistemlerden ikisi YAR ve ters yapay açıklıklı radar (TYAR)'dır. YAR ölçüm sistemlerinde sabit bir hedef etrafında radar anteni döndürülerek, belirli bakış açılarında hedeften yansıyan EM dalgalar örneklenmektedir. Alternatif olarak, sabit bir radar anteni kullanılarak TYAR

tekniği ile cismin döndürülmesi ölçüm düzeneğinin kurulmasını kolaylaştırmaktadır. Fakat kütlesi yüksek hedeflerin döndürülmesi fiziksel imkânlardan dolayı zor olabilmekte ve yakın-alan ölçümleri yapılarak radar anteninin döndürülmesi ölçüm sistemlerinin kurulmasında kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca ölçüm sahası, antenin huzme genişliği ve gücüne bağlı olarak çevre gürültüsü ve istenmeyen diğer yansımalar uzak alan ölçümlerinde etkisini daha fazla gösterebilmektedir.

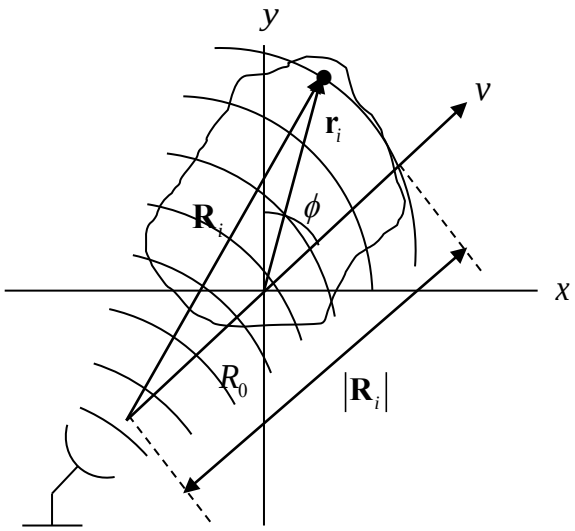
Uzak alan şartının ölçüm sahasında sağlanması problemlere neden olabilmektedir. Örneğin, en yüksek boyutu 15 m olan bir F16 savaş uçağının 10GHz frekansında uzak alan gereksinimi 15 km'dir. Bu sebeple, söz konusu cismin RKA ölçümlerinin yapılabilmesi için en az 15 km uzunluğa sahip ölçüm sahası gerekmektedir. Bu durum arazi, güç ve hesap yükü problemlerini ortaya çıkartmaktadır.

Literatürde yakın-alan ölçümlerinden tomografi temelli RKA hesabına imkan sağlayan algoritmalar mevcuttur [3]-[5]. Fakat bunlar, verilerin sınırlı bant ve/veya açıya sahip olmasından ve görüntü penceresinin ayrıklaştırılmasından dolayı sayısal gürültülere sebep olmaktadır. Ayrıca, uzak-alan ölçümlerinden YAR/TYAR görüntüleme algoritmaları da literatürde mevcuttur [6]-[12]. Tomografi temelli RKA hesapları, sayısal gürültülere ve görüntü çözünürlüğüne duyarlıdır. Daha yüksek kaliteli görüntüleme, daha yüksek doğruluklu RKA hesabını beraberinde getirmektedir. [12]'de uzak-alan varsayımı altında Gİ algoritması ile oluşturulacak olan YAR görüntüsünün kalitesini arttırmak amacıyla kalem geri-izdüşüm (KGİ) algoritması literatürde ilk defa tanıtılmıştır. Öncelikle, Gİ algoritmasının ihtiyaç duyduğu ayrık menzil profilleri bant geçiren MKM (BGMKM) kullanılarak sonsuz çözünürlükle elde edilmiştir. Hesaplanan ayrık menzil profilleri ters Radon dönüşümü (TRD) ile Gİ algoritmasına tabi tutularak uzak-alan YAR görüntüsü oluşturulmuştur. Sonuçlara göre KGİ'nin menzil yönünde sonsuz çözünürlük sağladığı, çapraz menzildeki sayısal gürültülerin de azaldığı görülmektedir. Fakat bu algoritma yakın-alan verilerine uygulanamamaktadır.

Oluşturulan görüntülerin kalitesini ve RKA hesaplarının doğruluğunu arttırmak için bu çalışmada lineer olmayan denklem sistemi çözümlü matris kalem metodu literatürde ilk defa geliştirilmiştir. Bu algoritma, [11]'de uzak-alan verileri ile YAR görüntüleme ve RKA hesabı için geliştirilmiş olan lineer denklem destekli matris kalem metodunun yakın alan verilerine uyarlanmış halidir.

2. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Bu çalışmada Şekil 1'deki YAR ölçüm sistemi, saçıcı merkezlerin tespiti amacıyla kullanılmıştır. Burada x çapraz menzili, y menzili, ϕ azimut açısını, v belirli bir açıdaki menzil değerini, R_0 anten ile hedef koordinat sistemi arasındaki uzaklığı, $\mathbf{R_i}$ anten ile saçıcı merkez arasındaki uzaklık vektörünü, $\mathbf{r_i}$ ise saçıcı merkez vektörünü belirtmektedir.



Şekil 1. YAR ölçüm sistemi ve yakın-alan EM yayılımı.

Bu çalışmada, [12]'de verilmiş olan nokta saçıcı modeli kullanılmıştır. Buna göre, ölçüm alınan cisim,

$$f(x,y)=\sum_{i=1}^{M} a_i \delta(x-x_i)\delta(y-y_i) \tag{1}$$

ifadesinde görüldüğü üzere toplam M adet nokta saçıcıdan oluşmaktadır. Burada a_i kompleks yansıtıcılık değerini, δ ise Kronecker delta fonksiyonunu belirtmektedir.

$$S(\phi,k_v)=\sum_{i=1}^{M} a_i \frac{e^{-j2\pi k_v R_{i,\phi}}}{R_{i,\phi}^2} \tag{2}$$

Ölçüm verileri (2) ifadesine sahiptir. Burada, $k_v = 2f/c$ olmak üzere, $R_{i,\phi}$ belirli bir azimut açısında *i.* saçıcıya ait menzil değeri olmak üzere,

$$R_{i,\phi}=\sqrt{R_0^2+x_i^2+y_i^2+2R_0\left(x_i\sin\phi+y_i\cos\phi\right)} \tag{3}$$

bağıntısına sahiptir [3], [12]. Saçıcı merkezlerden RKA hesabı,

$$\sigma(f,\phi)=\left|\sum_{i=1}^{M} a_i e^{-j4\pi\frac{f}{c}\left(x_i\sin\phi+y_i\cos\phi\right)}\right|^2 \tag{4}$$

ifadesi ile yapılmaktadır [4]. Bu sebeple, RKA hesabı yaparken öncelikle toplanan veriler kullanılarak saçıcı merkezlere yönelik konum ve yansıtıcılık hesabı yapılmalıdır.

3. GELİŞTİRİLEN ALGORİTMA

3.1. Bant geçiren matris kalem metodu

Matris kalem metodu, eksponansiyel değişim gösteren harmoniklerin toplamından oluşan sinyallerin kompleks genlik ve kutuplarının yüksek doğrulukla hesaplanmasına imkan sağlamaktadır [13]. YAR ölçümlerinde toplanan veriler (5)'deki ifadeye sahiptir.

$$F_m = F\left(\left(m+n_0\right)\Delta k_v\right) = \sum_{i=1}^{M} r_i z_i^m + w_m;\;\; r_i = b_i z_i^{n_0};\;\; z_i = e^{-j2\pi R_{i,\phi}\Delta k_v}, \tag{5}$$

burada m örnekleme indisini, n_0 bant geçiren bölgedeki sinyalin en düşük örnek indisini, M saçıcı merkez sayısını, w gürültü bileşenini, b_i ise i indisli saçıcıya ait eksponansiyelin kompleks genliğini göstermektedir [12]. Örnekleme indisleri m ve n_0 arasında, $n_0 = \min k_v/\Delta k_v$; $m = 0,1,\ldots,N-n_0-1$ ilişkisi vardır. Toplanan verilerden oluşturulmuş [**F**] matrisinin tekil değer ayrışımı (TDA), saçıcı merkez sayısının tespit edilmesine ve gürültü bileşenlerinin filtrelenmesine imkân sağlamaktadır [12].

$$\left[\mathbf{F}\right] = \left[\mathbf{f_0}\ \mathbf{f_1}\ \ldots \mathbf{f}_{L}\right]_{(N-L)\times(L+1)};\;\; \mathbf{f_n} = \left[F_n\ F_{n+1}\ldots F_{N-L+n-1}\right]^T_{1\times(N-L)}. \tag{6}$$

Burada L kalem parametresi olmak üzere, en etkili gürültü bastırma performansı için değeri $N/3 < L < N/2$ aralığında olmalıdır [12]. [**F**] matrisinin TDA'sı iki adet öz vektör matrisi ve bir adet tekil değer matrisinden oluşmaktadır [12].

$$\left[\mathbf{F}\right] = \left[\mathbf{U}\right]\left[\mathbf{\Sigma}\right]\left[\mathbf{V}\right]^H;\;\; \sigma_1 > \sigma_2,\ldots,\sigma_M > \sigma_{M+1},\ldots,\sigma_L. \tag{7}$$

Hesaplanan [**Σ**] matrisin diyagonal elemanları tekil değerleri vermektedir. Bunlardan en yüksek değerli ilk M tanesi saçıcı merkezlere ait, diğerleri gürültü bileşenlerine aittir [14]. Bu sayede M tespit edilmektedir. Gürültü bastırma işlemi, en yüksek değerli M adet tekil değer ile filtrelenmiş $[\mathbf{F}]_f$ matrisinin yeniden oluşturulmasıyla yapılmaktadır [14]. Matris kaleminin oluşturulması için kullanılacak olan $[\mathbf{F_1}]$ ve $[\mathbf{F_2}]$ matrisleri, $[\mathbf{F}]_f$ matrisin sırasıyla son ve ilk sütunlarının silinmesiyle elde edilmiş olsun. Bu durumda,

$$\left[\mathbf{F_2}\right] - z\left[\mathbf{F_1}\right] = \left[\mathbf{Z_1}\right]\left[\mathbf{R}\right]\left\{\left[\mathbf{Z_0} - z\left[\mathbf{I}\right]\right]\right\}\left[\mathbf{Z_2}\right] \tag{8}$$

$$\left[\mathbf{Z_1}\right] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ z_1 & z_2 & \cdots & z_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_1^{N-L-1} & z_2^{N-L-1} & \cdots & z_M^{N-L-1} \end{bmatrix}_{(N-L)\times M};\;\; \left[\mathbf{Z_2}\right] = \begin{bmatrix} 1 & z_1 & \cdots & z_1^{L-1} \\ 1 & z_2 & \cdots & z_2^{L-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & z_M & \cdots & z_M^{L-1} \end{bmatrix}_{M\times L} \tag{9}$$

$$\left[\mathbf{Z_0}\right] = diag\left[z_1, z_2, \ldots, z_M\right];\;\; \left[\mathbf{R}\right] = diag\left[r_1, r_2, \ldots, r_M\right], \tag{10}$$

ilişkileri yazılabilir. Bu durumda saçıcı merkezlere ait z değerleri ve menzil profilleri,

$$z_i = eig\left(\left[\mathbf{F_1}\right]^{\dagger}\left[\mathbf{F_2}\right]\right);\ R_{i,\phi} = -\frac{\angle z_i}{2\pi\Delta k_v},\ \ i = 1,2,\ldots,M \tag{11}$$

ifadeleri ile hesaplanabilir [13]. Eksponansiyel terimlerin kompleks genlik değerleri ise,

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \cdots & 1 \\ z_1 & z_2 & \cdots & z_M \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ z_1^{N-1} & z_2^{N-1} & \cdots & z_M^{N-1} \end{bmatrix}^{\dagger} \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ \vdots \\ F_{N-1} \end{bmatrix};\ \ b_i = \frac{r_i}{z_i^{n_0}};\ \ a_i = b_i R_{i,\phi}^2;\ \ i = 1,2,\ldots,M \tag{12}$$

ifadeleri ile hesaplanabilir [12]. Ölçüm verilerinden gürültü bileşenlerinin ve diğer çevre yansımalarının etkisini kaldırmak için TDA işlemi uygulanmadan önce ölçüm verileri uygun bir bant geçiren filtreden geçirilmektedir. Bu yönteme BGMKM denilmektedir.

3.2. Lineer olmayan denklem sistemi çözümü ile konum tespiti

Eşitlik (11) ile hesaplanan ayrık menzil profilleri (3)'de yerine konulursa,

$$\begin{aligned} x_1^2 + y_1^2 + 2R_0\left(x_1 \sin\boldsymbol{\varphi} + y_1 \cos\boldsymbol{\varphi}\right) + R_0^2 - R_{1,j}^2 &= 0 \\ x_2^2 + y_2^2 + 2R_0\left(x_2 \sin\boldsymbol{\varphi} + y_2 \cos\boldsymbol{\varphi}\right) + R_0^2 - R_{2,j}^2 &= 0 \\ &\vdots \\ x_M^2 + y_M^2 + 2R_0\left(x_M \sin\boldsymbol{\varphi} + y_M \cos\boldsymbol{\varphi}\right) + R_0^2 - R_{M,j}^2 &= 0 \end{aligned} \tag{13}$$

lineer olmayan denklem sistemi elde edilir. Bu sistemin kökleri saçıcı konumlarını vermektedir. Burada $j = 1,2,\ldots,\zeta;\ \ \boldsymbol{\varphi} = \left[\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_\zeta\right]_{1\times\zeta}$ olarak düşünülmelidir.

4. SİMÜLASYONLAR

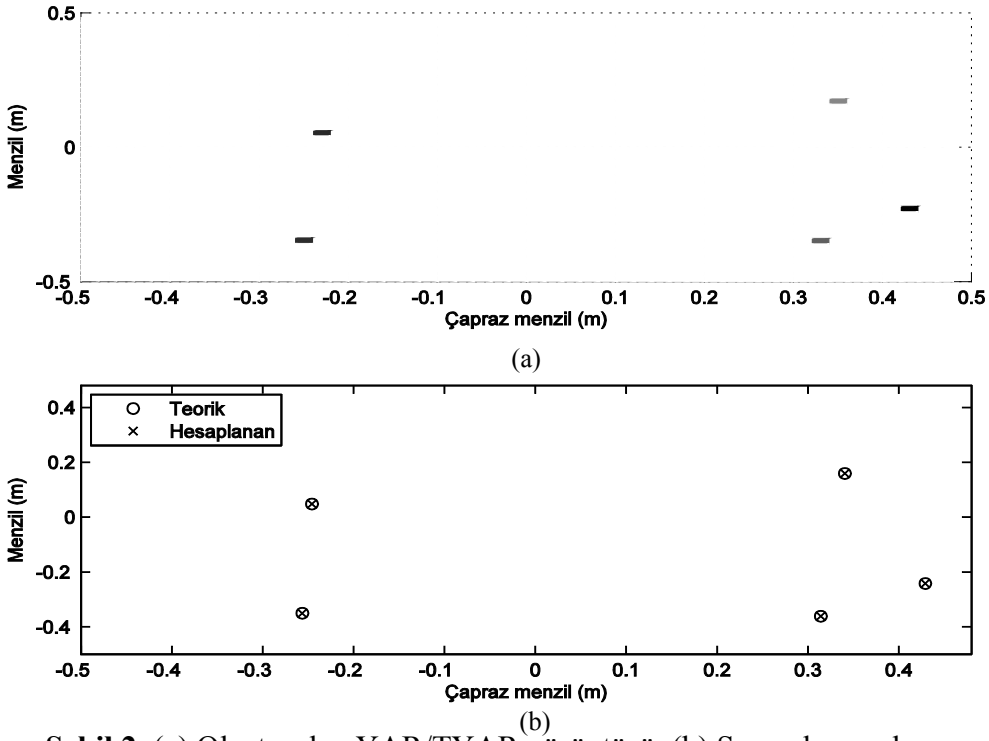
Bu başlıkta, geliştirilen algoritmanın performansını incelemek amacıyla Çizelge 1'deki saçıcı merkezler kullanılmıştır.

Çizelge 1. Hedef koordinat sistemindeki yansıtıcılık ve konum değerleri.

Saçıcı Num.	Yansıtıcılık	Menzil (m)	Çap. M. (m)
1	$0.3500 + j0.3517$	0.1593	0.3407
2	$0.1966 + j0.8308$	0.0472	–0.2457
3	$0.2511 + j0.5853$	–0.3614	0.3143
4	$0.6160 + j0.5497$	–0.3507	–0.2565
5	$0.4733 + j0.9172$	–0.2425	0.4293

Veriler 10GHz merkez frekansı ve 1GHz bant genişliğinde 512 noktada üretilmiştir. Kalem parametresi $\mathrm{L} = 255$, görüntü penceresinin piksel sayısı 50×50, azimut açısı

için $\pm 15^0$ aralığında 60 nokta kullanılmıştır. RKA'nın açıya bağlı değişim grafikleri -15^0 ile 15^0 aralığında 10.5 GHz frekansında çizilmiştir. RKA'nın frekansa bağlı değişim grafikleri ise 9.5 GHz ile 10.5 GHz arasında 0^0 azimut açısında çizilmiştir.

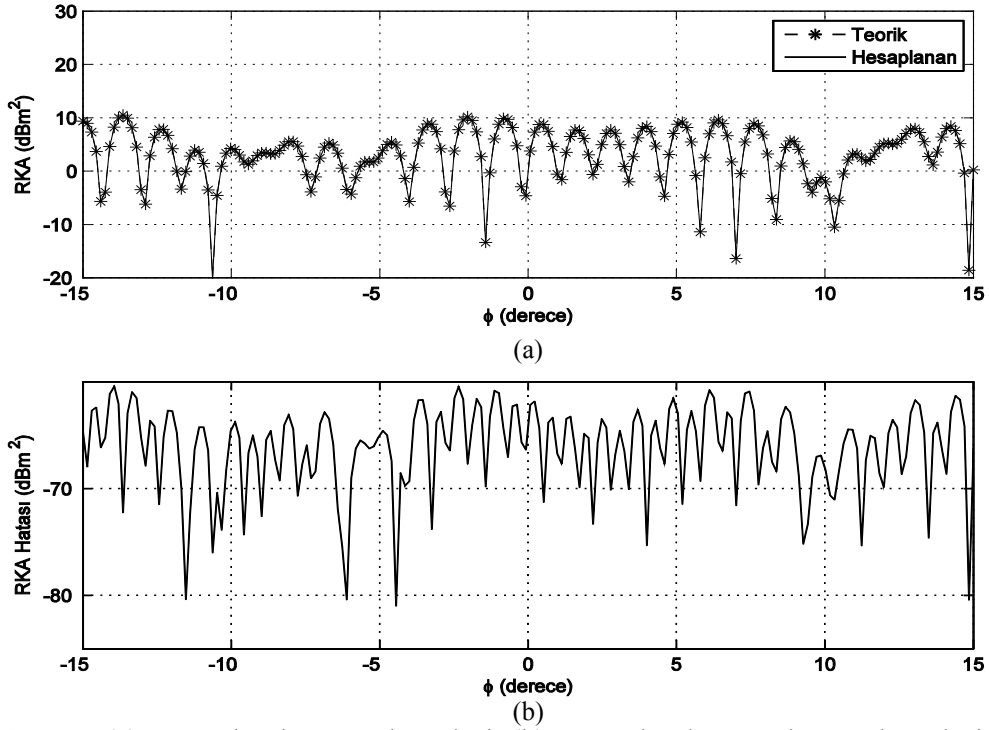


Şekil 2. (a) Oluşturulan YAR/TYAR görüntüsü. (b) Saçıcı konumları.

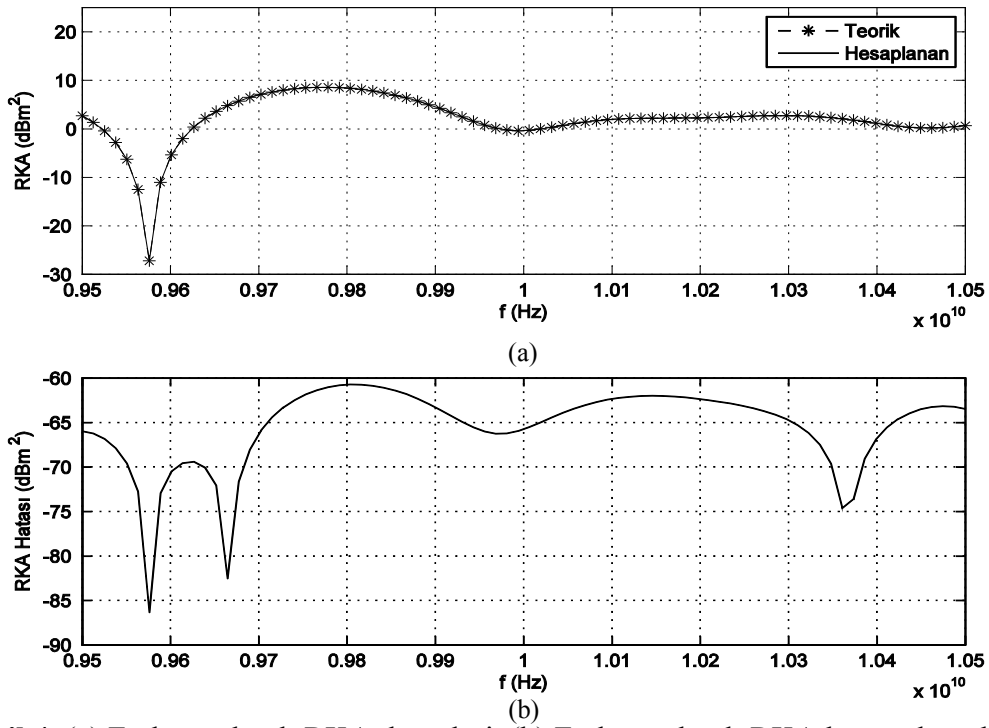
Çizelge 2. Hata değerleri

Saçıcı Num.	Yansıtıcılık Hatası	Menzil Hatası (m)	Çap. M. Hatası(m)
1	$4.0017 \cdot 10^{-13}$	$5.0152 \cdot 10^{-12}$	$2.5852 \cdot 10^{-13}$
2	$1.5322 \cdot 10^{-11}$	$1.8416 \cdot 10^{-10}$	$4.1384 \cdot 10^{-13}$
3	$7.6435 \cdot 10^{-12}$	$1.8332 \cdot 10^{-11}$	$6.8723 \cdot 10^{-14}$
4	$1.2944 \cdot 10^{-11}$	$5.3019 \cdot 10^{-10}$	$1.8874 \cdot 10^{-13}$
5	$4.5027 \cdot 10^{-11}$	$7.3702 \cdot 10^{-12}$	$3.8697 \cdot 10^{-13}$

Çizelge 2'de, bu çalışmada geliştirilen algoritmanın yansıtıcılık ve konum hataları görülmektedir. En yüksek hata değerleri, yansıtıcılıkta 10^{-11}, menzilde 10^{-10} ve çapraz menzilde 10^{-13} mertebesindedir. Benzer işlemler IFFT ile yapılmış olsaydı çözünürlük ifadesi $\Delta = c/2BG$ olduğundan, aynı hata değerinde (en yüksek 10^{-10}) konum tespiti yapabilmek için $1.5 \cdot 10^{18}$ GHz bant genişliğine ihtiyaç olacaktı. Fakat geliştirilen algoritmanın IFFT yerine BGMKM kullanması sayesinde sadece 1 GHz bant genişliği ile Çizelge 2'deki hata değerleriyle yansıtıcılık ve konum değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3. (a) Açıya bağlı RKA değerleri. (b) Açıya bağlı RKA hatası değerleri.



Şekil 4. (a) Frekansa bağlı RKA değerleri. (b) Frekansa bağlı RKA hatası değerleri.

Şekil 2'ye göre, bu çalışmada geliştirilen algoritma ile görüntü oluşturulurken pikseller üzerinde interpolasyon veya görüntü penceresini ayrıklaştırma işlemleri gerekmediği için hem menzil hem de çapraz menzilde sonsuz çözünürlük sağlanmıştır.

Bu bildiride literatürde ilk defa tanıtılan algoritma ile hesaplanan RKA değerlerine bakıldığında, hem açıya bağlı hem de frekansa bağlı grafiklerde hata değerleri -60dBm^2 ile -85dBm^2 arasında değişmektedir. Bu nedenle söz konusu hata değerleri ihmal edilebilir düzeydedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, yakın-alan ölçüm verileriyle YAR/TYAR görüntüleme ve RKA hesabına imkân sağlayan, hem menzil hem de çapraz menzilde sonsuz çözünürlük sağlayan, BGMKM ve lineer olmayan denklem sistemine dayalı algoritma literatürde ilk defa geliştirilmiştir. BGMKM'nin sınırlı bant genişliği ve örnek sayılarına sahip (açı ve frekans boyutlarında) veriler için menzilde sonsuz çözünürlük sağlaması neticesinde ayrık menzil profilleri, geleneksel spektral kestirim algoritmalarında karşılaşılan sayısal gürültülere ve çözünürlük problemine sahip değildir. Dolayısıyla, ayrık menzil profillerinden elde edilen YAR/TYAR görüntülerinin kalitesi bu çalışmada geliştirilen algoritmayla arttırılmıştır.

Lineer olmayan denklem sistemi çözümü, yüksek kaliteli YAR/TYAR görüntülemenin yanı sıra, yakın-alan veriler ile yüksek doğruluklu RKA hesabına da imkân sağlamaktadır. Bu sayede, pratik uygulamalarda uzak-alan gereksinimlerinin sağlanmasına gerek olmadan RKA hesapları yapılabilmektedir. Bu durum, ölçüm sistemlerinin kurulmasında önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca, geliştirilen algoritmanın uzak-alan koşuluna ihtiyaç duymaması nedeniyle daha kısa ölçüm sahası, daha az nokta sayısı ve daha az işlem yükü ile RKA hesapları yapılabilmektedir.

Uzak-alan RKA ölçümlerinde açı adım aralığının yeteri kadar küçük olmaması durumunda elde edilecek RKA değerleri hatalı olacaktır. Bu durum, açı boyutunda alınması gereken örnek sayısını arttırmakta ve bu sebeple ölçüm süreleri uzamakta, hesap yükü artmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen algoritma, uzak-alan ölçümlere göre daha az açı sayısı ile RKA hesaplarının yapılmasına imkân sağlamaktadır. Bu sayede ölçüm süreleri ve hesap yükü azaltılmıştır.

6. KAYNAKÇA

[1] E. F. Knott, J. F. Shaeffer, and M. T. Tuley, *Radar Cross Section*. Scitech Publishing, 2004.

[2] E. F. Knott, *Radar Cross Section Measurements.* Scitech Publishing, 2006.

[3] S. Li, B. Zhu and H. Sun, "NUFFT-based near-field imaging technique for far-field radar cross section calculation," *IEEE Antennas Wireless Propagat. Lett.,* vol. 9, pp. 550-553, 2010.

[4] J. W. Odendaal and J. Joubert, "Radar cross section measurements using near-field radar imaging," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 45, pp. 948-954, Dec. 1996.

[5] T. Vaupel and T. F. Eibert, "Comparison and application of near-field ISAR imaging techniques for far-field radar cross section determination," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, pp. 144-151, Jan. 2006.

[6] D. C. Munson, Jr., J. D. O'Brien and W. K. Jenkins, "A tomographic formulation of spotlight-mode synthetic aperture radar", *Proc. IEEE*, vol. 71, pp. 917-925, 1983.

[7] M. D. Desai and W. K. Jenkins, "Convolution backprojection image reconstruction for spotlight mode synthetic aperture radar", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 1, pp. 505-517, 1992.

[8] X. Shu, D. C. Munson, Jr., S. Basu, and Y. Bresler, An N^2log N Back-Projection Algorithm for SAR Image Formation 2000, pp. 3-7, vol. 1.

[9] S. Basu and Y. Bresler, "O(N^2log N) filtered backprojection reconstruction algorithm for tomography", *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, pp. 1760-1773, 2000.

[10] S. I. Kelly, G. Rilling, M. Davies, and B. Mulgrew, "Iterative Image Formation using Fast (Re/Back)-projection for Spotlight-mode SAR", *Radar Conference (RADAR), 2011 IEEE,* pp. 835-840.

[11] O. Tulgar ve A. A. Ergin, "YAR Görüntüleme ve RKA Ölçümleri için Lineer Denklem Destekli Matris Kalem Metodu", *ELECO, Bursa, 2012.*

[12] Ş. Özsoy and A. A. Ergin, "Pencil back-projection method for SAR imaging," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 18, pp. 573-581, 2009.

[13] Y. Hua and T. K. Sarkar, "Matrix pencil method for estimating parameters of exponentially damped/undamped sinusoids in noise," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, vol. 38, pp. 814-824, 1990.

[14] T. K. Sarkar and O. Pereira, "Using the matrix pencil method to estimate the parameters of a sum of complex exponentials", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 37, pp. 48-55, 1995.

İLERİ BAKAN 2B SONAR GÖRÜNTÜLERİNİN SİMÜLASYONU

Hakan Saç, [a], Kemal Leblebicioğlu [b], Gözde Bozdağı Akar [c]

[a] ODTÜ, Elektrik Elektronik Müh. Böl., 06531, Ankara, hhakansac@yahoo.com

[b] ODTÜ, Elektrik Elektronik Müh. Böl., 06531, Ankara, kleb@metu.edu.tr

[c] ODTÜ, Elektrik Elektronik Müh. Böl., 06531, Ankara, bozdagi@eee.metu.edu.tr

ÖZ

Bu makalede iki boyutlu (2B), yüksek frekanslı ileri bakan görüntüleme sonarının modellenmesi için gereken adımlar anlatılmıştır. Simülasyonlar için gerekli olan uzaklık bilgileri optik ışın izleme yöntemiyle elde edilmiş, bu bilgilerin sayısal olarak işlenmesi için gereken adımlar gösterilmiştir. Bahsedilen yöntem yardımıyla çeşitli geometrik şekillerin sonar görüntüleri Matlab ortamında elde edilmiş ve 2B sonar görüntülerinin yorumlanması üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akustik Gölge, Akustik Görüntü, Çoklu Dönüş, Sonar Sinyali, Sinyal Genliği.

SIMULATION OF 2D FORWARD-LOOKING SONAR IMAGES

ABSTRACT

In this paper, the requirements for modeling two-dimensional (2D) forward-looking sonar are presented. The range data which is required for simulations are obtained by using optical ray tracing method and the steps for the processing of the data is shown. Sonar images of various geometrical figures are obtained in Matlab environment with this method and the difficulties in geometrical interpretation of 2D sonar images are discussed.

Keywords: Acoustical Shadow, Acoustical Image, Multiple Return, Sonar Signal, Signal Intensity.

1. GİRİŞ

Optik sistemlerin sualtındaki ölçüm mesafesi ve uygulanabilirliği kısıtlı olduğu için, akustik görüntüleme sistemleri bu ortamlar için tercih edilen çözüm olmuştur. Akustik sistemler tarafından oluşturulan görüntüler gözlenen alandan elde edilen yansıma

şiddetini vermektedir. Bu sistemler arasında yüksek frekanslı (900KHz'den 1.8MHz'e kadar) aktif sonarlardan sentetik açıklıklı ve ileri bakan sonar, mesafe ve azimutta birkaç santimetreye kadar inebilen çözünürlük sağlamaktadır [5]. İnsansız ve uzaktan kontrol edilebilen sualtı araçlarına kolaylıkla monte edilebilen bu sonarlar sualtı araştırma, tespit ve onarım işlerinde aktif şekilde kullanılmaktadır [6].

2B görüntüleme sonarları sahneyi yatayda 0.2° (derece) ve üzeri aralıklarla tarayabilmektedir. Dikeyde ise vurum genişliği genellikle 20° den daha azdır. Yüksek frekanslı bu sonarların tespit aralığı, daha iyi çözünürlük elde edecek şekilde ayarlanabilmektedir.

Sonar yatayda, dönüştürücü dizilerinin belirlediği aralıklarla (0.2°) ses dalgaları göndermekte ve bir süre dinlemeye geçmektedir. Bu süre içinde kaydedilen sinyaller önceden belirlenen mesafe bilgisi kullanılarak eşit zaman aralıklarında örneklenmekte ve ekranda gerçek zamanlı görüntü olarak gösterilmektedir [1]. Önerilen modelde ışın izleme yöntemi kullanıldığından gerçek zamanlı bir görüntü elde edilememektedir. Bunun nedeni simülasyon ortamında ses dalgalarının sahneyi tam olarak hangi noktalarda keseceğinin hızlı bir şekilde kestirilememesidir.

İlk olarak ayrık hale getirilen ses dalgaları ile sahne taranmakta ve bu ışınların sahneyi kestiği noktalar bulunmaktadır [4]. Daha sonra bütün kesim noktaları için sonar-sahne kesim noktası arası mesafe ve sahnenin geometrik yapısı göz önünde tutularak kesim noktasından almaca geri dönen sinyalin genliği hesaplanmaktadır. Elde edilen genlik vektörü, mesafe vektörünün yardımıyla zaman ekseninde ışınların almaca ulaşma zamanına göre sıralanmakta, bu işlem sırasında almaca aynı anda dönen sinyaller toplanmaktadır. Bunu başarabilmek için öncelikle sahnede aydınlatılmayan noktaların tespiti ve zaman ekseninde düzgün bir şekilde dağılmayan sinyal örneklerinin işlenmesi gerekmektedir [3]. Son aşamada tüm veriler birleştirilip görüntülemeye hazır hale getirilmektedir.

Bu makalede söz konusu modelin incelemesi yapılacak ve çeşitli geometrik şekillerin 2B sonar görüntüleri Matlab ortamında elde edilecektir. Son olarak bir cisim üzerindeki eş noktaların optik ve sonar görüntüler üzerinde işaretlenmesiyle iki farklı sistemdeki görüntülerin karşılaştırılması yapılacaktır.

2. TEORİ

Sonar görüntüsü, ses dalgalarının gözlemlenmek istenen bölgeye yönlendirilmesi ve ortamdaki nesnelerden geri dönen ses şiddetinin zamana karşı çizdirilmesiyle elde edilir. Ses dalgalarının sualtındaki hızı bilindiğinden, görüntüdeki zaman ekseni aynı zamanda nesnelerin sonara olan uzaklığına karşılık gelmektedir. Sonarda görüntü oluşturma, dalga yayılım veya ışın takibi yaklaşımlarıyla incelenebilir.

2.1 Sonar Simülasyonlarında Pratik Yaklaşımlar

Frekans Temelli Model

Bu modelde almaca gelen sinyalin Fourier dönüşümü, ortama gönderilen sinyalin Fourier dönüşümü cinsinden ifade edilmektedir. Bu model NATO Sualtı Araştırma Merkezi'nin (NURC) SIGMAS sonar simülatöründe kullanılmıştır [7].

Işın Takibi

Işın takibi ses dalgalarının su, su yüzeyi, deniz tabanı ve ilgilenilen nesneler boyunca takip ettiği yolu hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir [3]. Işınların izlediği yol bir nesneye çarpana kadar takip edilir ve dönen sinyalin kısmi katkısı hesaplanır.

2.2 SIGMAS Sonar Simülatörü

Frekans temelli yaklaşımı kullanan bu simülatörde [2] yeteri kadar hassas ve hızlı bir model geliştirmek için sesin sudaki hızı sabit kabul edilmiş ve simüle edilen nesnelerin ayrık yüzlerden oluştuğu varsayılmıştır. Bu varsayımlar çerçevesinde bir nesnenin A yüzeyindeki akustik basıncın x_r almacındaki değeri Green teoremi ile aşağıdaki şekilde elde edilebilir [2].

$$P(x_r; f) = \iint_{x \in A} [G(x_r, x; f)\nabla P(x; f) - P(x; f)\nabla G(x_r, x; f)]n(x)dA \tag{1}$$

Yukarıdaki eşitlikte *n*, yüzey normali, *G*, Green fonksiyonu olup homojen bir ortam için aşağıdaki eşitlikle verilir [2],

$$G(x_t, x; f) = \frac{e^{ik|x - x_r|}}{4\pi|x - x_r|} \tag{2}$$

eşitlikte $k = 2\pi f / c$ dalga numarasını göstermektedir.

Herhangi bir yüzeye çarpan dalganın enerjisinin bir kısmı geri yansır, bir kısmı ise ısı enerjisine dönüşür. Geri yansıyan enerjinin tüm enerjiye oranı yüzeyin yansıtma katsayısını (*R*) verir. Gelen ve yansıyan dalga arasındaki yüzey sınır koşulları aşağıdaki eşitlikle verilmektedir

$$P(x; f) = (1 + R(x; f))P_i(x; f) \tag{3}$$

$$\frac{\partial P(x; f)}{\partial n} = 1 - R(x; f) \tag{4}$$

Simülasyonlarda cisimlerin akustik açıdan katı olduğu varsayılmıştır (R = 1). Bu R değerini (3) ve (4) no'lu denklemlerde yerine koyup (2) no'lu denklemle birlikte (1) no'lu denklemde yerine yazarsak aşağıdaki ifadeyi elde ederiz [2].

$$P(x_r; f) = \iint_{x \in A} -\frac{ie^{ik|x-x_r|}e^{ik|x-x_s|}}{\lambda|x-x_r\|x-x_s|} P(x_s; f) \frac{x-x_r}{|x-x_r|} n(x) dA \tag{5}$$

Yüzeyin a^2 büyüklüğündeki küçük alanlara bölündüğünü varsayarsak, integral aşağıdaki toplam gibi ifade edilebilir.

$$P(f) = \frac{a^2}{\lambda} \sum_k \frac{\hat{n}_k . \hat{r}_k}{\|r_k\|^2} S(f) e^{i\frac{2\pi f}{c}\|r_k\|} \tag{6}$$

Yukarıdaki denklemde r_k, sonardan k. yüzey elemanına olan vektörü, *S(f)* ise gönderilen dalganın Fourier dönüşümünü göstermektedir.

2.3 Modelin Sadeleştirilmesi

Yüzeyler dalga boyu ölçeğinde pürüzlü ise, (6) no'lu denklemdeki karmaşık üsteller atılabilir ve ayrıklaştırmada yansıtma değeri R olacak daha büyük yüzey elemanları kullanılabilir [2]. Karmaşık üstellerin yapıcı ve yıkıcı etkileri bir gürültü dağılımıyla gösterilebilir. Ayrıca, birçok sonar küresel yayılma nedeniyle oluşan kuvvet kaybını telafi etmek için zamanla değişen kazanç uygulamaktadır ve bunun etkisi de denklemden çıkarılabilir. Bütün işlemlerin görüntü uzayında yapılması Fourier dönüşümüne olan ihtiyacı da ortadan kaldırır ve yüzeyin r noktasındaki piksel kuvveti aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$I(r) = K(r) \sum_k (\hat{n}_k . r) R_k(r) \chi_k(r) \tag{7}$$

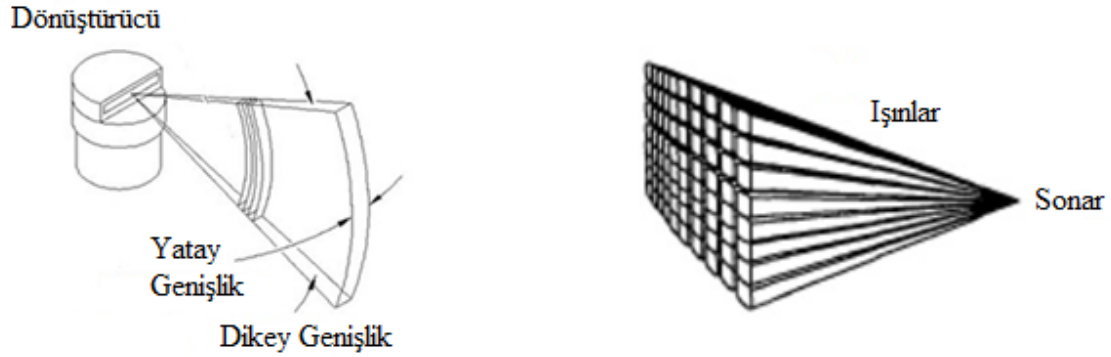
Yukarıdaki denklemde K, bütün ölçekleme ve birim çevrimlerinin gruplandığı katsayıyı, R_k, k. yüzey parçasının yansıtma katsayısını, χ_k ise o yüzey parçasının karakteristik fonksiyonunu göstermektedir. (7) no'lu denklem temelde yayınık yüzeyler için Lambert aydınlatma modeline karşılık gelmektedir [2]. Bu aydınlatma modelinde bir nokta için algılanan parlaklık sadece aydınlatma yönüne bağlı olup bakış açısından bağımsızdır.

3. GÖRÜNTÜ OLUŞTURMA

3B modeli bilinen bir sahnenin 2B sonar görüntüsü aydınlanma modeli (7) no'lu denklemi temel alacak biçimde Bölüm 2.1'de bahsedilen optik ışın takibi yöntemi ile elde edilmiştir. Işın takibi sayesinde gerekli mesafe, bağıl açı ve sinyal genliği bilgileri elde edilmektedir. Görüntü oluşturmadaki adımlar sırasıyla aşağıdaki gibidir.

3.1 Sahnenin Taranması

3B modeli bilinen bir sahne ilk olarak konumu, yönü, darbe genişliği ve darbe aralığı bilinen bir sonar ile yatayda ve dikeyde taranmaktadır. Bu işlem sırasında sonar noktasal bir ses kaynağı olarak modellenmiş ve ses dalgalarının küresel olarak yayıldığı varsayılmıştır. Ses dalgalarının genişliği dikeyde 20^o seçilmiş, dalgalar yatayda 0.2^o lik aralıklarla gönderilmiştir. Sonardan gönderilen tek bir ses dalgası ve aynı anda gönderilen komşu ses dalgalarının ayrık hale getirilmesiyle elde edilen optik ışınlar Şekil 1'de görülmektedir. Tarama ışınlarının sahneyi kestiği noktalar ışın izleme yöntemiyle bulunup kesim noktalarından sonara olan mesafe kaydedilmiş ve bu noktalardan geri yansıyan sinyal gücü (7) no'lu denklem yardımıyla bulunmuştur.



Şekil 1. Dönüştürücüden gönderilen ses dalgası (solda), sahneyi tarayan ışınlar (sağda)

3.2 Verinin İşlenmesi

Sürekli olan ses dalgası açısal olarak ayrık hale getirildiğinden elde edilen datanın gösterilmesinde bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bu sebepten depolanan verinin görüntülenmeden önce işlenmesi gerekmektedir.

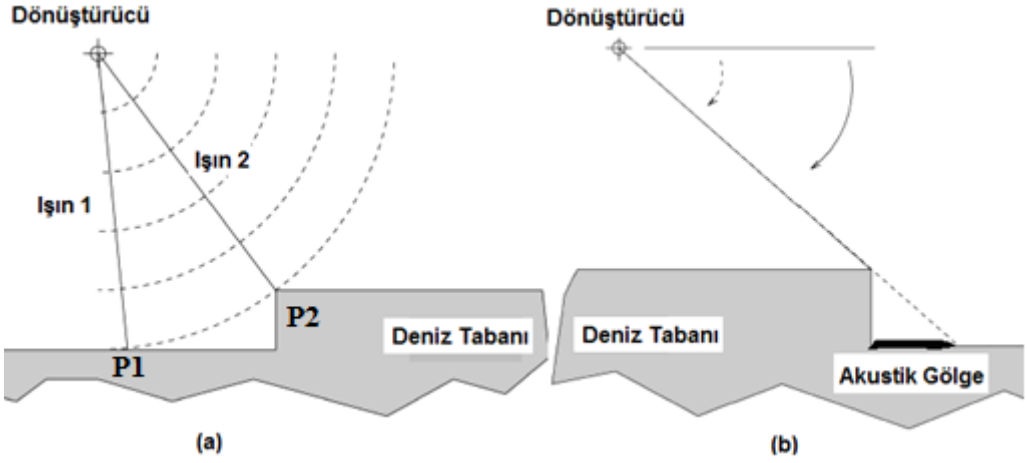
Sonar görüntüyü ses dalgalarının uçuş sürelerini kullanarak oluşturmaktadır. Elde dilen sinyal örneklendikten ve nicelendikten sonra zamanın fonksiyonu olarak doğrudan çizdirilebilir. Bununla birlikte bir sonar görüntüsünde her satırdaki veri, eşit örneklenmiş zaman aralıklarındaki değerleri göstermelidir. Bu da depolanan uzaklık

verilerinin eşit mesafe artırımlarına karşılık gelmesini gerektirmektedir. Bunu sağlayabilmek için ilk olarak mesafe bilgisinin ve karşılık gelen sinyal kuvvetinin almaca gelme zamanına göre küçükte büyüğe doğru sıralanmalıdır. Daha sonra bütün verilerde tarama yapılarak en küçük sinyal gelme aralığı bulunmalıdır (t_s). Görüntü oluşturma işlemini tamamlamak için son olarak çoklu dönüş ve gölgeler göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.1 Parlak Bölgeler ve Gölgeler

Ses dalgası sürekli olduğundan, birçok geometrik yapı için almaca aynı anda farklı noktalardan geri dönüşün olması kaçınılmazdır. Bu durumda anlık sinyal gücü yüksek olacağından sonar görüntüsünde bu anlara karşılık gelen kısımlar parlak olacaktır. Bu durumu ışın takibi yönteminde modelleyebilmek için aynı anda gelen örnekler toplanmalıdır [3]. Bu durum temel olarak Şekil 2 (a) da gösterilmiştir. Işın 1 ve ışın 2 sürekli dalganın açısal örnekleri olup almaça aynı anda geri döneceklerinden kaydedilen sinyalin genliği tek noktadan geri dönüşe oranla büyük olacaktır.

Optik görüntüde gölge alanlar ışığın ulaşmadığı ya da kısmen ulaştığı noktaları göstermektedir. Benzer şekilde sonar sahneyi taradığında bazı noktalar ses dalgaları tarafından aydınlatılamaz. Görüntüdeki gölgeleri gösterebilmek için zaman ekseninde sıraya konulmuş verideki sinyal alınmayan noktalara periyodu t_s olacak biçimde 0 eklenmelidir [3]. Şekil 2 (b)'de ses dalgalarının ulaşamadığı bölge (akustik gölge) görülmektedir.

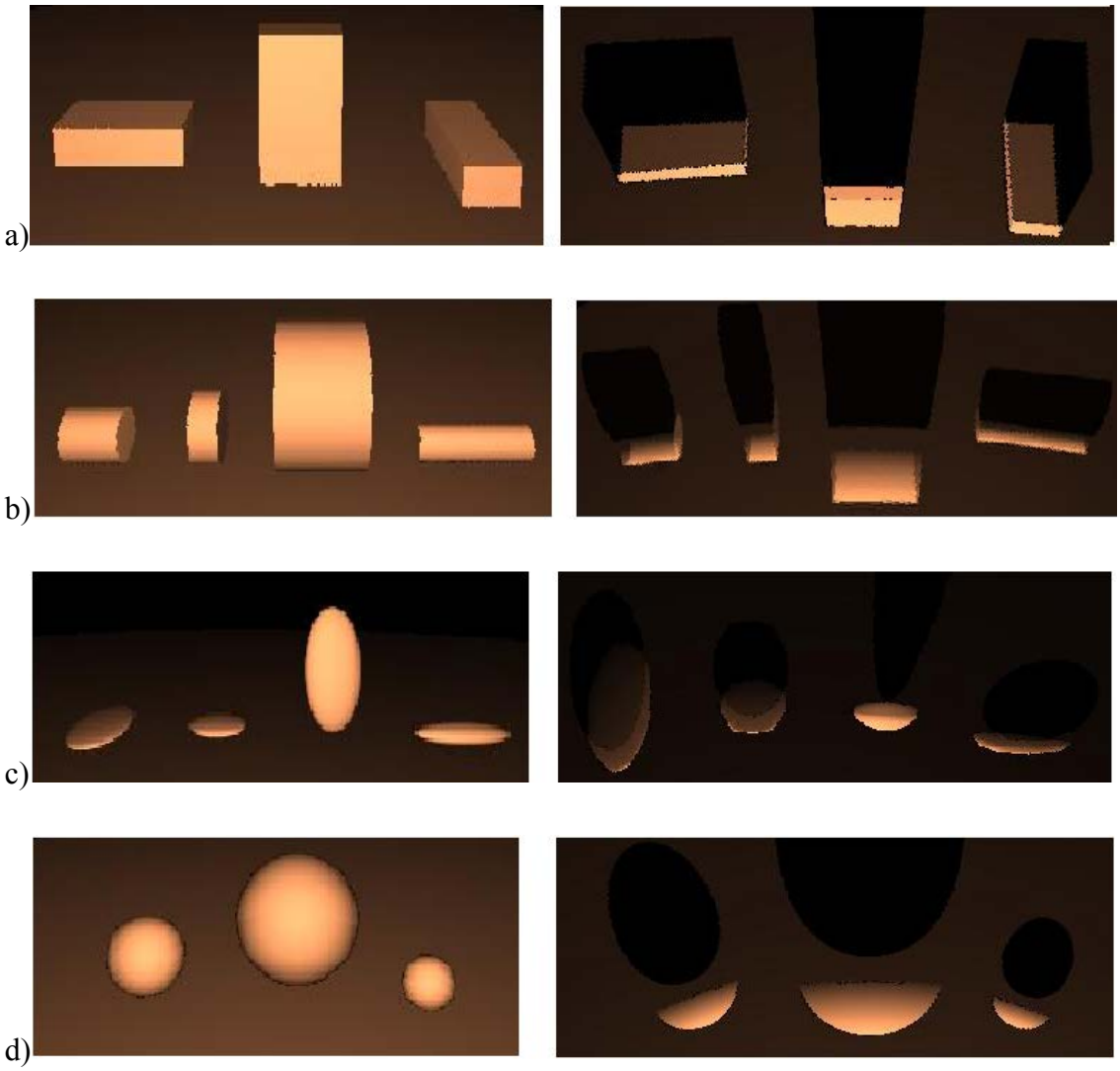


Şekil 2. Almaca aynı anda dönen ses dalgaları (a) ve yüzey geometrisinden dolayı ses dalgalarının ulaşamadığı bölge (b) [3]

3.2.2 Aradeğerleme ve Örnek Seyreltme

Parlak bölgeler ve gölge alanlar bulunduktan sonra elde edilen veriler t_s örnekleme aralığında aradeğerlenmelidir. Bu işlem, elde edilen datanın zaman ekseninde eşbiçimli dağılmasını sağlar. Tüm bu işlemler görüntünün her bir sütunundaki piksel sayısından daha fazla örnek üretmektedir. Bunun için veri öncelikle bozulma önleyici filtreden geçirilmeli daha sonra örnek sayısı istenilen oranda düşürülmelidir.

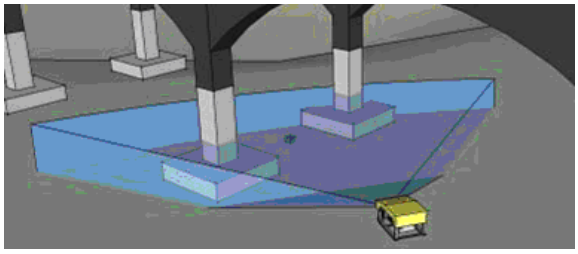
3.3 Simülasyon Sonuçları



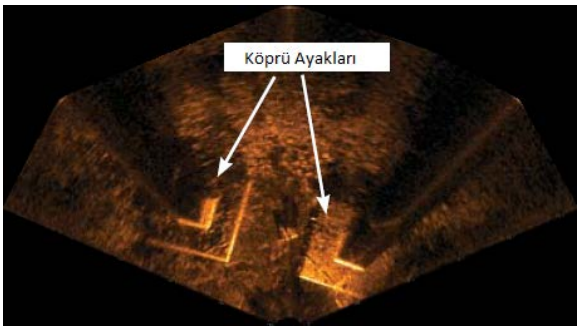
Şekil 3. Bazı geometrik şekillerin optik (solda) ve sonar görüntüleri (sağda).
a) Dikdörtgenler prizması, b) silindir, c) elipsoid ve d) küre

İlk olarak Matlab ortamında farklı geometrik şekillerin sonar görüntüleri verilmiştir. Değişik yüzey geometrileri ve benzer geometriler için farklı yönelimlerin 2B sonar görüntüleri arasındaki farklılıklar Şekil 3'te görülebilmektedir. Sonar görüntülerindeki siyah noktalar akustik gölgeleri, açık renkli noktalar ise yüksek sinyal alınan bölgeleri temsil etmektedir.

a)



b)

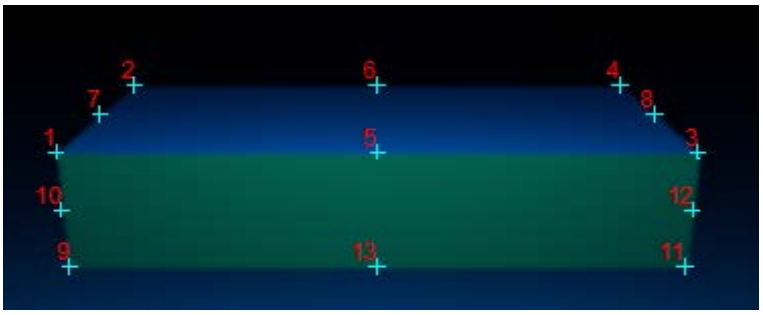


c)

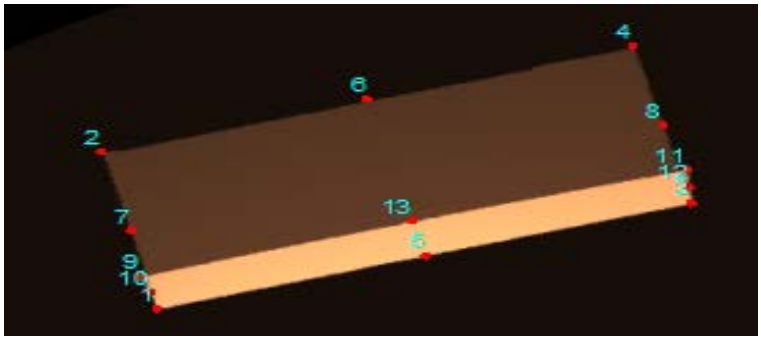
Şekil 4. a) Köprü ayağına yaklaşan insansız sualtı aracı, b) köprü ayağının gerçek [7] ve c) simülasyonla elde edilmiş sonar görüntüsü

Şekil 4'te ise köprü ayağına yaklaşan bir insansız sualtı aracındaki sonardan alınan gerçek görüntü ve köprü ayağının 3B modelinin Matlab'a verilmesiyle elde edilen simülasyon sonucu görülmektedir. Son olarak Şekil 5'te bir dikdörtgenler prizmasının optik ve sonar görüntülerinde eşleşen noktalar rakamlarla işaret edilmiştir.

a)



b)



Şekil 5. Bir prizmanın optik a) ve sonar b) görüntülerinde eşleşen noktalar

4. SONUÇLAR

Optik ışınların yani ses dalgalarının sahneyi dike yakın açıyla kestiği veya sahne geometrisine bağlı olarak aynı anda birden fazla noktadan geri dönüşün olduğu bölgelerin daha parlak olduğu Şekil 3'te açıkça görülebilmektedir. Bu durumun tespiti sonarın çalışma prensibine göre de simetrik bir şekil olan küre üzerinde kolaylıkla yapılabilir. Ayrıca aynı sahnenin sonar ve optik görüntülerinde eşleşen noktaların aydınlanma şiddeti benzerdir. Bunun nedeni sol sütundaki optik görüntülerde de Lambert aydınlanma modelinin kullanılmasıdır. Farklı aydınlanma modelleri için durum bundan farklı olabilmektedir.

2B sonarlarda optik görüntülerde olduğu gibi derinlik bilgisi kısmen kaybolmaktadır. Bu nedenle sonar görüntülerindeki gölgelerin önemi sahnenin 3B algısını artırmada büyük önem taşımaktadır. Ses dalgalarının ulaşamadığı akustik gölgeler 3 ve 4. şekillerde siyah renklerle gösterilmektedir. Görüntülerdeki bu alanlar sualtında güvenli hareket edebilmek için ek bilgi sağlamaktadır. Bunlar içinde en temel olanı gölgenin nesneye göre konumudur.

2B sonar görüntülerinin yorumlanmasındaki temek zorluklardan biri de çoklu dönüş olaylarıdır. Sahneyi aydınlatan ses dalgalarının dikey genişliği mümkün olduğunca düşük tutulmaya çalışılmaktadır. Bunun nedeni dikey genişliğin artmasıyla çoklu geri

dönüşlerin artmasıdır. Bu da sahnenin algılanmasındaki zorluğu artırmaktadır. Şekil 5 göz önünde bulundurulduğunda bu durumu daha iyi kavranabilir. Tahmin edileceği gibi birçok noktanın sonar ve optik görüntüsü çakışmaktadır. Fakat 1-9, 5-13 ve 3-11 eşleşmelerine baktığımızda durumun tam olarak bu şekilde olmadığı görülebilmektedir. İlk bakışta optik görüntüyle birebir uyumlu görünen sonar görüntüsü bu geometri için asimetriktir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için dalganın dikey genişliği mümkün olduğunca azaltılmalıdır. En uç durumda ise ortaya 3B sonarlar çıkmaktadır.

Görüntü eşleme işlemini gerçek görüntüler üzerinde yapabilmek için öncelik sonar ve optik kamerayı kalibre etmek gerekmektedir. Kalibrasyon sırasında ilk adım akustik ve optik lensteki eğriliğin düzeltimesidir. Daha sonra bir tel çerçevenin optik ve akustik görüntüleri üzerindeki noktalar elle eşlenerek eniyileme yardımıyla kameraların birbirlerine göre konumları bulunmaktadır.

Simülasyonları gerçek görüntülerle karşılaştırdığımızda (Şekil 4) sonuçların tatmin edici olduğu görülmektedir. Tamamı Matlab'da (2.53 GHz Core 2 Duo bilgisayarda) yapılan simülasyonlar, yatayda 90 ses dalgası ve her ses dalgası için 500 adet ışın kullanıldığında yaklaşık 2 dakika sürmektedir. Gerçek zamanlı görüntü oluşturabilmek için FPGA gibi özel bir donanım kullanmak gerekmektedir. Bununla birlikte geliştirilen sonar simülatörünün optik simülatörlerle birlikte kullanılarak, sualtı görüntü işleme algoritmalarının geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 111E267 kodlu TÜBİTAK 1001 projesi dahilinde desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi arz ederiz.

5. KAYNAKÇA

[1] R.P. Hodges, (2010), Underwater Acoustics- Analysis, Design and Performance of Sonar, West Sussex, UK

[2] S.R. Silva, (2008), Advances in Sonar Technology, Vienna, Austria

[3] J.M. Bell, (1997), Application of optical ray tracing techniques to the simulation of sonar images, *Optical Engineering*, 36, 1806-1813.

[4] J.M. Bell, L.M. Linnett, (1997), Simulation and analysis of synthetic sidescan sonar images, IEEE Proceedings of Radar, Sonar and Navigation,, 44, 219 – 226

[5] D. Gueriot, C. Sintes (2010), Forward Looking Sonar Data Simulation through Tube Tracing, IEEE Oceans, 1– 6

[6] www.blueview.com

[7] www.nurc.nato.int

RADAR DÖNÜŞ EKOLARININ SİMÜLASYON ORTAMINDA ÜRETİMİ VE RADAR ALICI KÜTÜPHANESİ

[1]Ahmet Kale **[2]Faruk Sarı** **[3]Gökhan Polat**

ahmet.kale@ctech.com.tr faruk.sari@ctech.com.tr gokhan.polat@ctech.com.tr

[(1,2,3)]C Tech Bilişim Teknolojileri San. ve Tic. A.Ş, Gebze/KOCAELİ

ÖZET

Radar sistemleri üzerine yapılacak araştırma ve geliştirme faaliyetleri, büyük radar platformaları içeren pahalı deneme ortamları gerektirdiğinden yüksek bütçeli çalışmalardır. Yüksek maliyetli sınama ortamlarının kurulması yerine, aynı ölçümleri simülasyon ortamı üzerinden yapmak önemli ölçüde maliyet etkin bir yöntemdir. Bu çalışmada bir radar sisteminin çeşitli alt birimlerini simüle eden ve birlikte çalışabilen bir deneme ortamı oluşturulmuştur.Simülasyon Senaryo Yazılımı (SSY) ile hazırlanan simülasyon senaryosuna göre temel bantta radar dönüş ekoları üretilmiştir ve bu datalar radar alıcı katı için test vektörleri sağlamaktadır. Çeşitli modellerin radar kesit alanlarının hesaplaması yapılmıştır ve Radar Kesit Alanı Veritabanına (RKA veritabanı) kaydedilmiştir. SSY ve RKA'dan gelen veriler Yazılım Tabanlı Radar (YTR) yaklaşımı ile FPGA içerisine gömülen radar alıcı katına enjekte edilerek işlenmiştir. Elde edilen sonuçlar PPI Skop Arayüz Yazılımı ile kutupsal formatta gösterilmiştir.

Yeniden programlanabilir donanımlar sayesinde, farklı radar tiplerinin davranışlarının simülasyonu yapılmıştır. Radar Alıcı Katı'nın tekrar yapılandırılabilir bir mimariye sahip olması bu çalışmanın ana çıktılarından biridir.

Anahtar Kelimeler: *Gömülü Sistem, İşaret İşleme, Radar, Radar Kesit Alanı, Sabit Yanlış Alarm Oranı Birimi, Simülasyon, VHDL, Yazılım Tabanlı Radyo.*

CREATING RADAR REFLECTION ECHOES IN SIMULATION ENVIRONMENT AND RADAR RECEIVER LIBRARY

ABSTRACT

Research and development activities on Radar systems are high budgets studies, since they require expensive testbeds including huge radar platforms. Instead of setting up a real testbed, performing same measurements over a simulation environment is

significantly cost effective. In this study an interoperable test environment has been created in order to simulate the sub blocks of a radar system. Radar Reflection echo signals have been created at the baseband according to simulation scenario which is prepared via Simulation Scenario Software (SSS) and these echo signals provide test vectors for radar receiver part. Radar Cross Section calculations for some models (i.e. F18)have been performed and saved to Radar Cross Section Database (RCS database).The Information coming from SSS and RCS are injected into Software Defined Radar (SDR) based Radar Receiver Part which is embedded in an FPGA and processed by FPGA. The output results are shown in PPI Scope GUI in polar coordinates

The behaviors of different types of radars, simulation performed by reconfigurable systems. One of the main outputs of study is Radar Receiver block architecture which is reconfigurable.

Key Words: *CFAR, Embedded System, Radar, Radar Cross Section, Signal Processing, Simulation, Software Defined Radar, VHDL.*

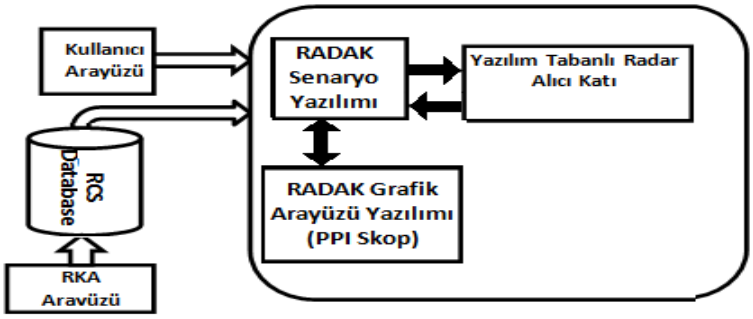
1. GİRİŞ

Radar müşterileri radar performansını farklı senaryolar üzerinde ölçmek istemektedirler. Ne yazık ki radar sistemlerinin test ve doğrulama süreçleri oldukça külfetlidir. Sınama ortam verilerindeki her değişiklik (farklı yer şekilleri, yansıma özellikleri, araç modelleri v.b) için veri toplamak doğrudan maliyete yansımaktadır. Bu problemler üreticiye özgü simülasyon modelleri üzerinde koşturulan test senaryolarıyla çözümlenmeye çalışılır.

SDR (Yazılım Tabanlı Radyo) sistemleri günümüzde ticari ve askeri olarak önemli bir yere sahiptir. Bu teknoloji yüksek esneklik sağlamaktadır[1]. Yazılım tabanlı bir sistem; donanım tabanlı bir sisteme göre daha kolay güncellenebilir durumdadır. Yani üretilen temel banttaki sinyallerin yorumlanması için kullanılan donanımların (karıştırıcı, süzgeç, modülatör, demodülatör, yükselteç, detektör) radarın alıcı kısmında yol açtığı kısıtlamaları, SDR avantajlarından yararlanarak yeniden programlanabilir gömülü sistemler ile aşmak mümkündür[2]. FPGA gibi donanımlar kullanarak Radar Alıcı Katı'nın tekrar yapılandırılabilir bir mimariye sahip olması amaçlanmıştır.

2. TASARIM

Radar simülasyon sisteminin ana mimarisi Şekil 1'de görüldüğü üzere dört modülden oluşmaktadır: Radar Kesit Alanı Veritabanı (RKA veritabanı), Simülasyon Senaryo Yazılımı (SSY), Yazılım Tabanlı Radar (YTR) Alıcı Kütüphanesi ve son olarak PPI Skop Arayüz Yazılımı.

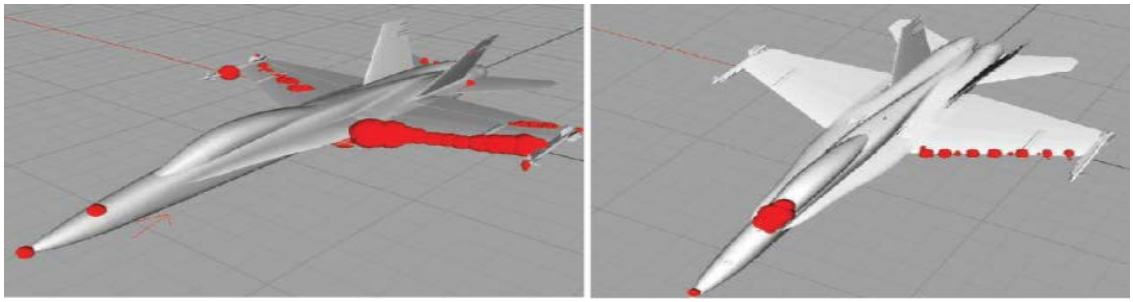


Şekil 1. Radar Simülasyon Sistemi

Bir hedefe doğru gönderilen elektromanyetik dalgalar hedefe çarptığında hedefin yapısına bağlı olarak tüm yönlere doğru saçılır. Radar tarafından hedefe gönderilen elektromanyetik dalganın enerjisinin, hedeften radara geri yansıyan elektromanyetik dalganın enerjisine oranı radar kesit alanı (RKA) olarak adlandırılır,denklemi 1'deki gibi ifade edilir. Anten ile aynı polarizasyondaki geriye saçılan enerjinin yoğunluğu hedefin RKA değerini saptamada kullanılır.

$$\sigma_t = \frac{1}{4\pi} \int_{\varphi_s=0}^{2\pi} \int_{\phi_s=0}^{\pi} \sigma(\theta_s, \varphi_s) \sin\theta_s \qquad d\theta_s \, d\varphi_s \tag{1}$$

Bir hedeften geri saçılan elektromanyetik dalgaların miktarı giden dalganın dalga boyu λ ve hedefin boyutu ile orantılıdır. Radarlar kullandığı dalga boyundan küçük hedefleri tespit edemezler.

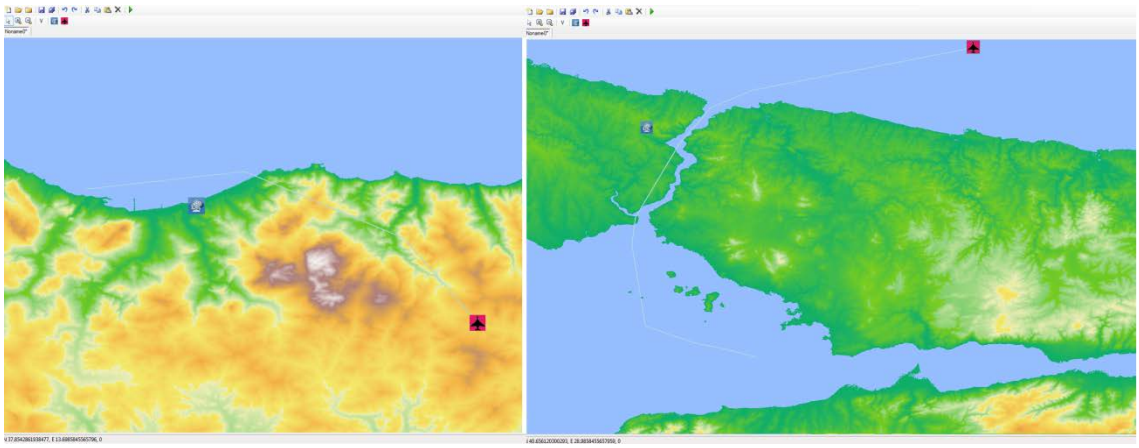


Şekil 2. Radar Kesit Alanı

RKA veritabanı modülü, (CTECH tarafından geliştirmiş farklı bir ürün olan Radar İzi Kesit Analizi (RİKA) yazılımı sayesinde) platformların üçboyutlu CAD modelleri kullanılarak hesaplanan saçılım merkezleri ve RKA bilgilerini barındırır. Simülasyon

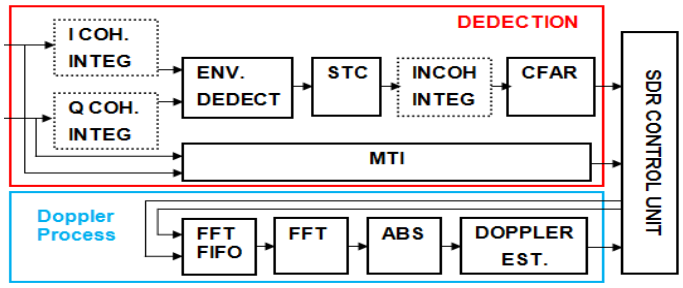
sistemi gerek duyduğunda bu bilgileri hedefe ait temel bantta radar dönüş ekolarını üretmek amacı ile çevrimdışı olarak kullanır. Hesaplaması yapılacak platformun üçboyutlu bir CAD modelinin olması veritabanı oluşturmak için yeterlidir. Şekil 2'de CAD modeli oluşturulmuş bir uçağın belirli açılardaki tarama sonuçları görünmektedir.

SSY modülü, istenilen coğrafi ortam bilgileri ve kullanılacak modeller eklenerek farklı ortamlarda farklı modeller ile istenilen senaryoların oluşturulmasını sağlar. Coğrafi bilgiler 1x1 derecelik paftalar halindeki NASA'nın SRTM haritaları yardımıyla oluşturulur (Şekil 3). Simülasyondaki üçboyutlu modellerden elde edilen radar kesit alanları veri tabanında tutulmakta, ihtiyaç duyulduğunda SSY tarafından çevrimdışı olarak kullanmaktadır. Senaryoya yerleştirilen radar modeli (örnek olarak F-18 uçak modeli tercih edilmiştir), hızlı görülebilirlik analizi [3][4] sayesinde çevreden gelen yansımaları hızlı bir şekilde hesaplar ve hedefin radarın görüş açısında olup olmadığı kararı verilir. Temel bantta radar dönüş ekoları, radar modeli tarafından hesaplanır ve bu dönüş ekoları YTR alıcı kütüphanesine PCI arayüzü vasıtasıyla iletilir.



Şekil 3. Simülasyon Senaryo Yazılımı

SSY tarafından üretilen temel banttaki I-Q verilerini yorumlamak ile görevli YTR Alıcı Kütüphanesi (Şekil 4), çeşitli bloklardan oluşmaktadır[5][6]; Evre uyumlu tümleştirme birimi, evre uyumlu olmayan tümleştirme birimi, Zarf detektörü birimi, Hassas Zaman Kontrol birimi (STC), Sabit Yanlış Alarm Oranı birimi (CFAR) (Şekil 5), Hareketli Hedef Gösterge Birimi (MTI), FFT birimi, Doppler Kestirimi[7]. YTR Alıcı Kütüphanesi, evre uyumlu ve evre uyumlu olmayan olmak üzere iki modda çalışabilmektedir. Radar platformu tamamen yazılım tabanlı olduğundan sistem hali hazırda çalışırken, gönderilen dalga formları ve alıcıdaki sinyal işleme görevleri değiştirilerek farklı radar çalışma modları arasında geçiş kolaylıkla sağlanabilir[8].FPGA sisteminin getirdiği esneklik sayesinde ihtiyaç duyulan yeni ve farklı bloklar eklenebilir, sistem donanım güncellemeleri kolayca yapılabilir. Erişim menzili, FFT nokta sayısı, Örnekleme Frekansı gibi değerler uygulanacak radar sistemine göre kolayca adapte edilebilir yapıdadır.



Şekil 4. YTR Alıcı Kütüphanesi

YTR deki bazı temel alt blokların işlevlerinden bahsetmek gerekirse ;

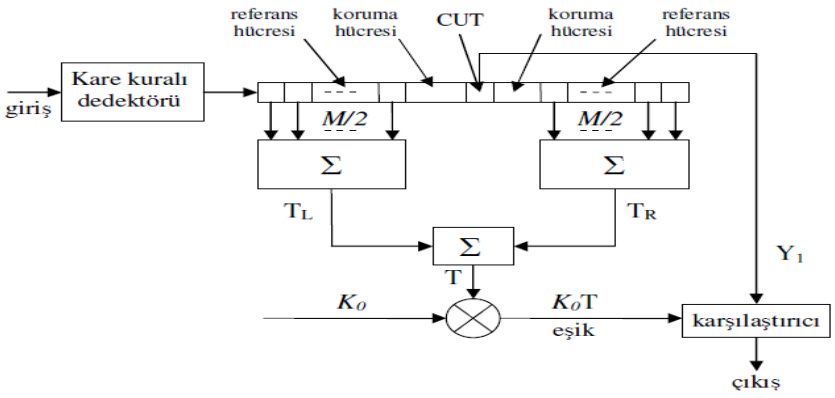
Evreuyumluluk (COH): Gönderdiği darbelerin fazları arasında uyumluluk olan radarlar evreuyumlu olarak adlandırılırlar. Gönderilen darbeler arasında radar dalgaboyunun tam katı kadar bir mesafe vardır. Gönderdiği darbelerin fazını bir hafızada depolayan radarlar, alıcıda-evreuyumlu yâda sözde evreuyumlu radar olarak adlandırılırlar. Bu durumda alıcının faz referansı en son gönderilen darbenin fazıdır. Evreuyumluluk aynı zamanda radarın alınan sinyal fazını doğru bir şekilde ölçebilme kabiliyetini gösterir.Doppler, alınan bir sinyalin frekansındaki kayma olduğundan yalnızca evreuyumlu veya alıcıda-evreuyumlu radarlar doppler bilgisini elde edebilirler. Bunun nedeni bir sinyalin anlık frekansı sinyalin fazının zamana göre türevine oranı olmasıdır. Daha açık bir ifadeyle (2);

$$f_i = \frac{1}{2\pi}\frac{d}{dt}\phi(t) \tag{2}$$

Hassas Zaman Kontrolü (STC): Radar alıcılarındaki dinamik menzil sınırlaması radar tasarımlarında karşılaşılan ilk problemlerden biridir. Eko sinyalinin ilk okuma anında yakınlıktan dolayı yüksek güçlü bir sinyal alınır. Bu sinyal radar alıcısının doyuma ulaşmasına neden olur. STC'nin ana görevi deniz kargaşa sinyalleri tarafından engellenebilme olasılığı olan yakın hedeflerin tespit edilebilmesidir.

Sabit Yanlış Alarm Olasılığı (CFAR):Yanlış alarm olasılığı Pfa, radarda sadece gürültü mevcutken, radar eko sinyalinin radarın zarf detektörü çıkışındaki genliği r'nin R'deki bir örneğinin eşik gerilimini (VT) geçme olasılığını tanımlamaktadır(3). Aşağıda Rayleigh dağılımlı gürültünün olduğu bir ortamdaki yanlış alarm olasılığı verilmiştir[7]. Burada ψ^2, gürültünün varyansını belirtmektedir.

$$P_{fa} = \int_{V_T}^{\infty} \frac{r}{\psi^2}\exp\left(-\frac{r^2}{2\psi^2}\right)dr = \exp\left(\frac{-V_T^2}{2\psi^2}\right) \tag{3}$$

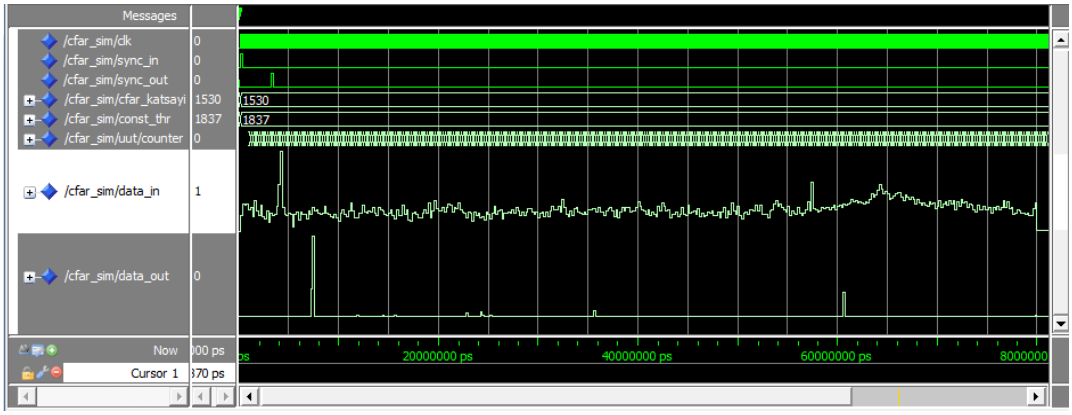


Şekil 5. CFAR Algoritması

Hedef tespit eşiği, radar alıcısının önceden tanımlı bir yanlış alarm olasılığını sağlaması için hesaplanmaktadır. Denklem 4, yanlış alarm olasılığı p_{fa} ile eşik gerilimi VT arasındaki ilişkiyi göstermektedir:

$$V_T = \sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{p_{fa}}\right)} \tag{4}$$

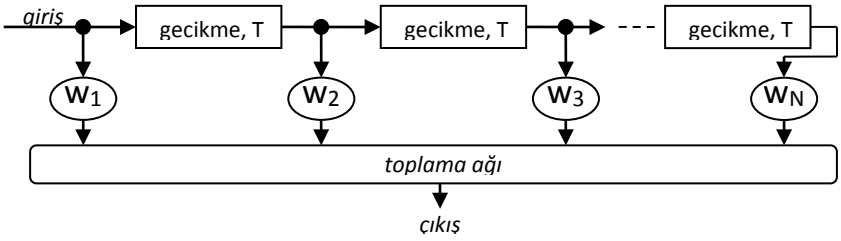
Bu denklemi incelediğimizde ortamdaki gürültü gücünün sabit olması durumunda sabit bir eşik geriliminin elde edilebileceği görülmektedir. Fakat pratikte ortamdaki gürültü değişken olduğundan sabit bir yanlış alarm olasılığı elde edebilmek için ortamdaki gürültünün değişimi (varyansı) dikkate alınarak eşik gerilimi sürekli güncellenir. Bunu sağlamak için kullanılan teknik sabit yanlış alarm oranı, CFAR olarak bilinmektedir. Algoritma çalışması ile ilgili simülasyon Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. CA-CFAR algoritmasının VHDL simülasyonu çıktısı

Hareketli Hedef Göstergesi (MTI): Sistemleri istenmeyen durağan nesnelerden kaynaklanan kargaşanın çok olduğu bir ortamda hareketli hedeflerin tespit edilmesinde

sıklıkla kullanılır. Kargaşalar bir örnekten diğerine ilişkilidir ve göreceli olarak dar, düşük frekanslı spektrumları nedeniyle alıcı gürültüsünden ayırt edilebilirler. Bu özelliğinden dolayı filtreleme yapılarak kargaşa frekansındaki etkiler bastırılıp kargaşalardan daha yüksek doppler kaymalarına sahip hareketli hedeflerin filtreden geçmesi sağlanabilir. En basit MTI filtresi aynı bölgeden gelen iki geçerli ekoyu birbirinden çıkaran tek gecikme-hattı bastırma filtresi veya N-kademeli gecikme-hattı filtresidir(Şekil 7).



Şekil 7. N-kademeli gecikme-hattı filtresi

YTR tarafından yorumlanan I-Q verilerinin sonuçları ethernet aracılığı ile UDP protokolü kullanılarak PPI Skop Arayüz Yazılımı'na iletilir. Burada kartezyen koordinatlardaki radar verilerinin görselleştirilmesi için kutupsal koordinatlara dönüşümü gerçekleştirilir. Koordinat dönüşümünün getirdiği işlem yükünün aşılması için PPI Skop Arayüz Yazılımı, OpenGL Kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiştir. Böylece YTR'den gelen veriler hızlı bir şekilde ekrana basılarak kullanıcının dikkatine sunulmaktadır. PPI Skop'un Arayüz üzerindeki kontrol butonları vasıtası ile CFAR, MTI ve STC filtreleri YTR aktif haldeyken kapatılıp açılabilir. Senaryodaki hedeflere ait takip bilgileri de yine kullanıcı tarafından izlenebilmektedir. Yazılım ayrıca fosfor radar ekranlarındaki süpürme etkisinin benzetimini de gerçekleştirilmektedir. Birlikte çalışan sisteme ait Senaryo ve PPI Skop ekran görüntüleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Şekil 8. Eşzamanlı Senayo ve PPI skop görüntüleri

3. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen proje; bütünleşmiş bir simülasyon modeli sunmasına rağmen ,iki alt başlıkta incelenmelidir. FPGA ile gerçekleştirlen Yazılım Tabanlı Radar alıcı kütüphanesi ve Simülasyon Senaryo Yazılımı.

YTR Alıcı Kütüphanesi, günümüzde kullanılan radar alıcı sistemlerine alternatif sunar. YTR'da donanıma müdahale edilmeden sadece yazılım güncellemesi ile radar sistemlerinde çeşitli değişiklikler yapmak veya yeni algoritmaları sisteme entegre etmek mümkün olacaktır. Bunun yanında YTR sistemi ile farklı radar davranışları gerçeklenebilmekte ve elimizde mevcudu olmayan altyapıların simülasyonu da gerçekleştirilebilmektedir.

Simülasyon Senaryo Yazılımı ile farklı arazi ve farklı modeller ile değişik senaryoların deney düzeneklerini kurmak yerine, hızlı ve masrafsız bir şekilde radar ekolarını elde etmek mümkün olmaktadır. Dolayısıyla bir noktadan radar ekolarının yansımalarının hesaplanması için kurulum yapılması için gereken sürede alternatif çok sayıda senaryo denenebilir. Senaryo sonuçlarının elde edilmesi için ihtiyaç duyulan süre, SSY sayesinde kısalmaktadır. Bu sayede kritik konumlar için savunma veya saldırı senaryoları incelenerek zayıf noktalar belirlenip, gerekli tedbirler alınabilecektir. Yeni geliştirilen bir modelin senaryoya entegre edilmesi için sadece CAD modelinin elimizde olması yeterlidir.

4. KAYNAKLAR

[1] Walter Tuttlebee, "Software Defined Radio", John Wiley & Sons, (2002).

[2] Joseph Mitola III, "Software Radio Architecture", John Wiley & Sons,(2000).

[3] Kaučič, B. and Zalik, B. "Comparison of viewshed algorithms on regular spaced points". In Proceedings of the 18th Spring Conference on Computer Graphics (Budmerice, Slovakia, April 24 - 27, 2002). SCCG '02. ACM, New York, NY, 177-183, 2002.

[4] Wang, J., Robinson, G.J., and White, K., "Generating viewsheds without using sightlines", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 66, 87–90, 2000b.

[5] Merrill I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", Second Edition, McGraw-Hill, (1981).

[6] Bassem R. Mahafza, "Radar System Analysis and Design Using MATLAB", Chapman & Hall/CRC, (2000).

[7] F.E. Nathanson, J.P. Relly, M.N. Cohen, "Radar Design Principles", Second Edition, Mc Graw-Hill, (1999).

[8] S. Haykin, "Adaptive Radar Signal Processing", John Wiley & Sons, (2007).

KOMUTA GÜDÜMLÜ FÜZELERİN 3B FORMÜLASYONLARI VE ANALİZİ

Erkan Milli [(a)], Yakup Özkazanç [(b)]

(a) Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş., P.K.:30, 06780, Ankara,
emilli@roketsan.com.tr
(b) Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara,
yakup@ee.hacettepe.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada komuta güdümü yöntemlerinin üç boyutlu formülasyonları ve analizi üzerinde durulmuştur. Öncelikle CLOS (Command to Line of Sight) ve BR (Beam Riding) güdüm yöntemlerinin üç boyutlu angajman ve formülasyonları tanıtılmış; sonrasında bu modellere yapılan eklemelerle elde edilen MCLOS (Modified Command to Line of Sight) ve MBR (Modified Beam Riding) güdüm yöntemlerinin üç boyutlu dinamik formülasyonları geliştirilmiştir. CLOS, BR, MCLOS ve MBR yöntemlerinin üç boyutlu formülasyonları MATLAB/SIMULINK araçları ile modellenmiş ve benzetim sonuçları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Işın İzleme Güdümü, Komuta Güdümü, Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü, Taktik Füze Güdümü, Üç Boyutlu Güdüm.

3D FORMULATIONS AND ANALYSIS OF COMMAND GUIDED MISSILES

ABSTRACT

In this study, three dimensional formulation and analysis of the command guided missiles are studied. First, dynamic formulations of 3D engagement of CLOS and BR guided missiles are introduced. Then, MCLOS (Modified Command to Line of Sight) and MBR (Modified Beam Riding) guidance methods are defined via dynamic modifications of CLOS and BR guidance methods. The three-dimensional dynamics of CLOS, BR, MCLOS and MBR guided missiles are modeled and simulated in MATLAB/ SIMULINK environment. Performance analysis is given via miss-distances in different engagement scenarios.

Keywords: 3D Guidance, Beam Riding Guidance, Command Guided Missiles, Command to Line of Sight Guidance, Tactical Missile Guidance.

1. GİRİŞ

Komuta güdümü, sadeliği ve kolay gerçeklenebilirliği açısından günümüzde kullanılan çoğu güdüm yönteminin temelini oluşturan bir yöntemdir. Bu yöntemdeki genel düşünce, füzeyi bir referans nokta ile hedef arasındaki LOS (line of sight) üzerinde tutmaktır. Komuta güdümünde füze, hedef hakkındaki bilgileri hedeften almaz. Bunun yerine bir izleme istasyonu olur ve füze bir komuta hattı üzerinden hedefe güdümlenir. İzleme istasyonunda iki algılayıcı bulunur ve bu algılayıcılardan biri hedefi izlerken; diğeri de füzenin hareketini takip eder. Bu izleme algılayıcılarından alınan veriler güdüm bilgisayarına gönderilir ve füzeye gönderilmek üzere güdüm komutları oluşturulur. İki farklı izleme sisteminin kullanılması sayesinde, füzenin hedefe en iyi olası yolu izleyerek ulaşması sağlanmaya çalışılır. İki izleme algılayıcısının kullanımına alternatif olarak, tek izleme algılayıcısı da kullanılabilir. Bu algılayıcı aynı anda hem füzeyi hem de hedefi izler. Ancak bu durumda füzeye sürekli olarak komuta hattı üzerinde kalmasını sağlayacak komutlar gönderilmelidir. Bu tip güdüm yöntemine komuta kontrollü görüş hattı güdümü (CLOS) de denilmektedir. Işın izleme güdümü (BR) de CLOS güdümüne benzemektedir; fakat ışın izleme güdümünde kullanılan füze, hedefi aydınlatan ışını kendi başına takip edebilme yeteneğine sahiptir [2, 4].

Bu çalışmada, taktik güdümlü füzelerde kullanılan komuta güdümü yöntemlerinin üç boyutlu modelleri ele alınmış ve üç boyutlu füze komuta güdümü probleminin dinamik formülasyonları çıkartılmıştır. Bu problemin analizi için, üç boyutlu senaryolar kullanılmış ve bu senaryoların benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonrasında elde edilen verilerin ışığında, güdüm yöntemlerinden hangisinin daha başarılı veya avantajlı olduğu ortaya çıkarılmıştır.

1.1. Kontrol Yöntemi

Bir füzeye uygulanan toplam ivmeye füze komuta ivmesi denilir ve bu terim n_c değişkeni ile ifade edilebilir. Komuta ivmesi n_c, üç boyutlu angajman modelinde,

$$n_c = \sqrt{{a_{mx}}^2 + {a_{my}}^2 + {a_{mz}}^2} \tag{1}$$

olarak ifade edilir.

Bu çalışmada yalın kontrol yönteminden faydalanılmıştır. Her bir yöndeki füze ivmesi, aynı ekseni paylaşan iki düzlemden gelen katkıyla elde edilmektedir. Yalın kontrol yöntemi için, x, y ve z yönlerindeki füze ivmeleri,

$$a_{mx} = -n_{xy}\sin(\gamma_{xy}) - n_{xz}\sin(\gamma_{xz}) \tag{2}$$

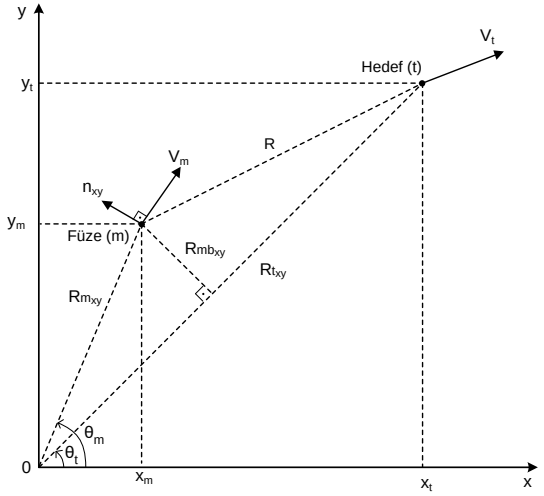
$$a_{my} = n_{xy}\cos(\gamma_{xy}) - n_{yz}\sin(\gamma_{yz}) \tag{3}$$

$$a_{mz} = n_{xz}\cos(\gamma_{xz}) + n_{yz}\cos(\gamma_{yz}) \tag{4}$$

olarak tanımlanırlar [1].

1.2. 3B Komuta Güdümü

Güdüm komutlarının meydana getiriliş konumuna göre görüş hattı güdümü iki kısma ayrılabilir: CLOS güdümü ve BR güdümü. Şekil 1'de S_{xy} düzlemindeki komuta güdümü için kullanılacak olan füze-hedef angajmanı gösterimi yer almaktadır.



Şekil 1 Komuta güdümü için S_{xy} düzlemindeki füze-hedef angajmanı

S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerindeki füze-hedef angajmanları da Şekil 1'deki S_{xy} angajmanıyla benzer şekilde düşünülebilir.

1.2.1. 3B Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

Füzeyi aydınlatan ışının S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerinde yatay eksenle yaptığı açılar,

$$\theta m_{xy} = \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right) \tag{5}$$

$$\theta m_{xz} = \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right) \tag{6}$$

$$\theta m_{yz} = \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right) \tag{7}$$

hedefi aydınlatan ışının S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerinde yatay eksenle yaptığı açılar ise

$$\theta t_{xy} = \tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) \tag{8}$$

$$\theta t_{xz} = \tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) \tag{9}$$

$$\theta t_{yz} = \tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) \tag{10}$$

olarak tanımlanırlar.

Komuta kontrollü görüş hattı güdümü için S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerindeki füze komuta ivmeleri,

$$nc_{xy} = K(\theta t_{xy} - \theta m_{xy}) \tag{11}$$

$$nc_{xz} = K(\theta t_{xz} - \theta m_{xz}) \tag{12}$$

$$nc_{yz} = K(\theta t_{yz} - \theta m_{yz}) \tag{13}$$

olarak tanımlanır. S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin açık halleri,

$$n_{xy} = K\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \tag{14}$$

$$n_{xz} = K\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \tag{15}$$

$$n_{yz} = K\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \tag{16}$$

olarak ifade edilir.

1.2.2. 3B Işın İzleme Güdümü

Füzenin S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerine göre izleme istasyonundan olan uzaklıkları,

$$Rm_{xy} = \sqrt{x_m^{\,2} + y_m^{\,2}} \tag{17}$$

$$Rm_{xz} = \sqrt{x_m^{\,2} + z_m^{\,2}} \tag{18}$$

$$Rm_{yz} = \sqrt{y_m^{\,2} + z_m^{\,2}} \tag{19}$$

olarak tanımlanır.

Hedefin S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerine göre izleme istasyonundan olan uzaklıkları,

$$Rt_{xy} = \sqrt{x_t^{\,2} + y_t^{\,2}} \tag{20}$$

$$Rt_{xz} = \sqrt{x_t^{\,2} + z_t^{\,2}} \tag{21}$$

$$Rt_{yz} = \sqrt{y_t^{\,2} + z_t^{\,2}} \tag{22}$$

olarak tanımlanır.

İzleme istasyonundan hedefe olan görüş hattı ile füzenin arasındaki mesafe değeri S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerinde,

$$Rmb_{xy} = Rm_{xy}\sin\left(\theta t_{xy} - \theta m_{xy}\right) \tag{23}$$

$$Rmb_{xz} = Rm_{xz}\sin\left(\theta t_{xz} - \theta m_{xz}\right) \tag{24}$$

$$Rmb_{yz} = Rm_{yz}\sin\left(\theta t_{yz} - \theta m_{yz}\right) \tag{25}$$

olarak ifade edilir.

Işın izleme güdümü için S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerindeki komuta ivmeleri,

$$nc_{xy} = KRmb_{xy} \tag{26}$$

$$nc_{xz} = KRmb_{xz} \tag{27}$$

$$nc_{yz} = KRmb_{yz} \tag{28}$$

olarak tanımlanabilir.

S_{xy}, S_{xz} ve S_{yz} düzlemlerindeki füze komuta ivmelerinin açık biçimi,

$$n_{xy} = K\sqrt{x_m{}^2 + y_m{}^2}\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{y_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y_m}{x_m}\right)\right) \tag{29}$$

$$n_{xz} = K\sqrt{x_m{}^2 + z_m{}^2}\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{x_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{x_m}\right)\right) \tag{30}$$

$$n_{yz} = K\sqrt{y_m{}^2 + z_m{}^2}\sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{z_t}{y_t}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{z_m}{y_m}\right)\right) \tag{31}$$

olarak elde edilir.

1.2.3. 3B Düzeltilmiş Komuta Kontrollü Görüş Hattı Güdümü

MCLOS, CLOS güdümünün füze hareketindeki olası salınımları gidermek için, komuta güdümü ivmesinin elde edildiği eşitliğe sönümleme oluşturucu bir ekleme ile elde edilmektedir. Bu yeni yöntemde füze komuta güdüm komutu birinci dereceden bir aktarım işlevi ile işlenerek, füzenin hareketindeki salınımlar yok edilir. Böylece füzenin hedefine daha doğrusal bir yoldan ulaşması mümkün olmaktadır. MCLOS güdümünde kullanılacak olan komuta güdümü ivmesi,

$$n_c = -K_f \dot{n}_c + K_p\left(\theta_t - \theta_m\right) + K_d\left(\dot{\theta}_t - \dot{\theta}_m\right) \tag{32}$$

olarak tanımlanmıştır [3].

MCLOS güdümünde yer alan türev ifadeleri ile algılayıcılardan kaynaklanabilecek gürültü ön plana çıkabileceğinden, algılayıcıdan gelen (θ_t–θ_m) verisinin türevlenmeden önce alçak-geçirgen bir süzgeçten geçirilmesi uygun olacaktır. Böylelikle, S_{xy}, S_{xz}, S_{yz} düzlemlerindeki komuta ivmeleri frekans bölgesinde,

$$N_{xy}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{txy}(s) - \theta_{mxy}(s)\right) \tag{33}$$

$$N_{xz}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{txz}(s) - \theta_{mxz}(s)\right) \tag{34}$$

$$N_{yz}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{tyz}(s) - \theta_{myz}(s)\right) \tag{35}$$

olarak önerilmiştir.

1.2.4. 3B Düzeltilmiş Işın İzleme Güdümü

MBR güdümünde, yine MCLOS güdüm yöntemindeki hususlar göz önüne alınarak, komuta güdümü ivmesi,

$$n_c = -K_f \dot{n}_c + K_p R_{mb} + K_d \dot{R}_{mb} \tag{36}$$

olarak ifade edilir. Ancak, algılayıcıdan gelen R_{mb} sinyalinin türevlerinden kaynaklanabilecek sakıncaları bertaraf etmek için S_{xy}, S_{xz}, S_{yz} düzlemlerindeki komuta ivmeleri, frekans bölgesinde;

$$N_{xy}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{txy}(s) - \theta_{mxy}(s)\right) R_{mxy}(s) \tag{37}$$

$$N_{xz}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{txz}(s) - \theta_{mxz}(s)\right) R_{mxz}(s) \tag{38}$$

$$N_{yz}(s) = \left[\frac{K_p + K_d s}{K_f s + 1}\right]\left(\theta_{tyz}(s) - \theta_{myz}(s)\right) R_{myz}(s) \tag{39}$$

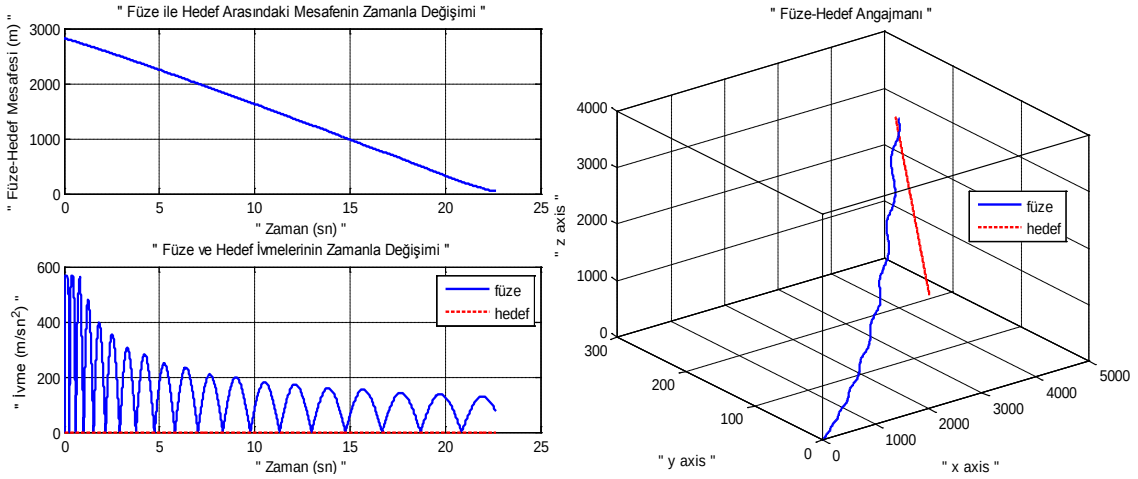
olarak önerilmiştir [3].

2. DOĞRUSAL-OLMAYAN BENZETİM ANALİZLERİ

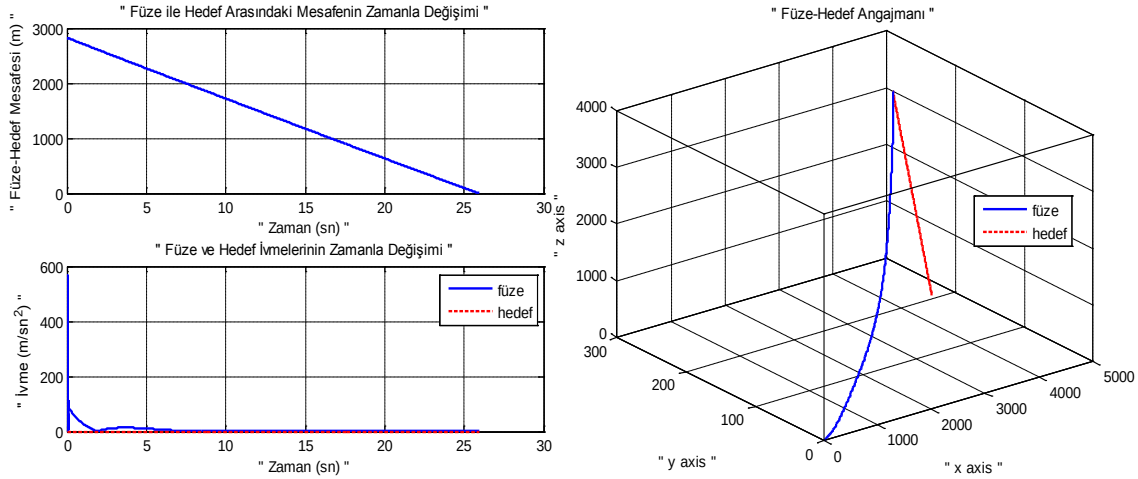
2.1. Üç Boyutlu Benzetim Çalışmaları

Bu kısımda, daha önce tanımı yapılmış olan güdüm yöntemlerinin üç boyutlu benzetim çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Benzetim çalışmaları sonrasında, güdüm yöntemlerinin performansları incelenirken, sapma mesafesi (miss distance) esas alınmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, sabit hızlı hedef senaryosu ve sabit ivmeli hedef senaryosu olmak üzere iki farklı senaryo denenerek, incelenen tüm güdüm yöntemlerinin bu senaryolardaki performansı incelenmiştir.

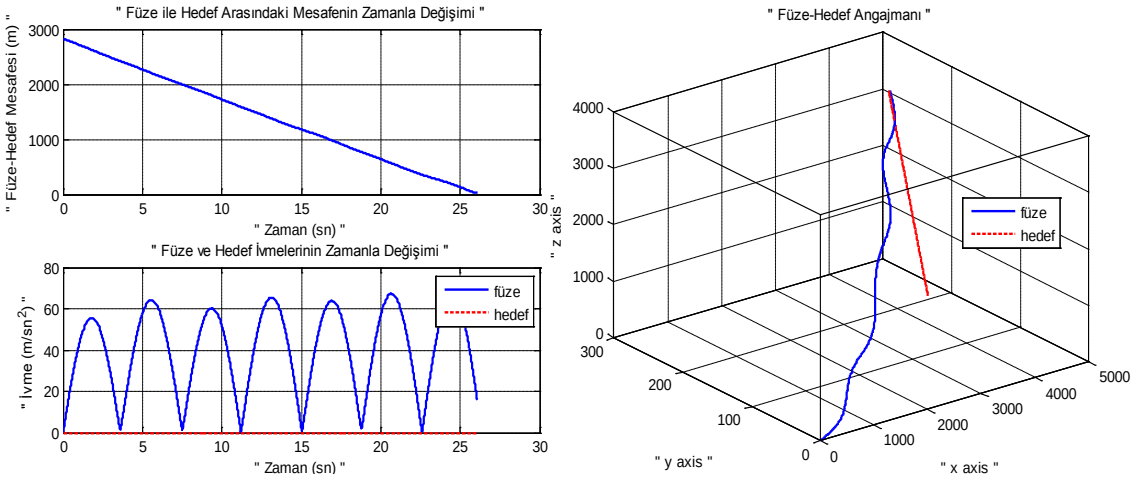
Sabit hızlı hedef senaryosunda [x; y; z] gösterimine göre, füze başlangıç pozisyonu [0; 0; 0] m ve hedef başlangıç pozisyonu [2000; 2000; 0] m' dir. Yine sabit hızlı hedef senaryosu için, füze hız değerleri ise sırasıyla, 200, 100, 0 m/s ve hedef hız değerleri 100, 50, 10 m/s' dir. Sabit ivmeli hedef senaryosunda [x; y; z] gösterimine göre, füze başlangıç pozisyonu [1000; 1000; 0] m ve hedef başlangıç pozisyonu [2000; 2000; 0] m' dir. Sabit ivmeli hedef senaryosu için, füze hız değerleri ise sırasıyla, 400, 200, 20 m/s ve hedef hız değerleri 100, 50, 10 m/s' dir. Sabit ivmeli hedef senaryosunda hedefin ivme değerleri ise sırasıyla 5, 10 ve 3 m/s^2 olarak seçilmiştir. Ayrıca, benzetim çalışmaları esnasında füzenin ve güdüm probleminin gerçekçiliği açısından, füze modelindeki her bir ivme kanalı (x,y ve z), maksimum 400 m/sn^2 ivme değeri çekebilecek şekilde sınırlandırılmıştır.



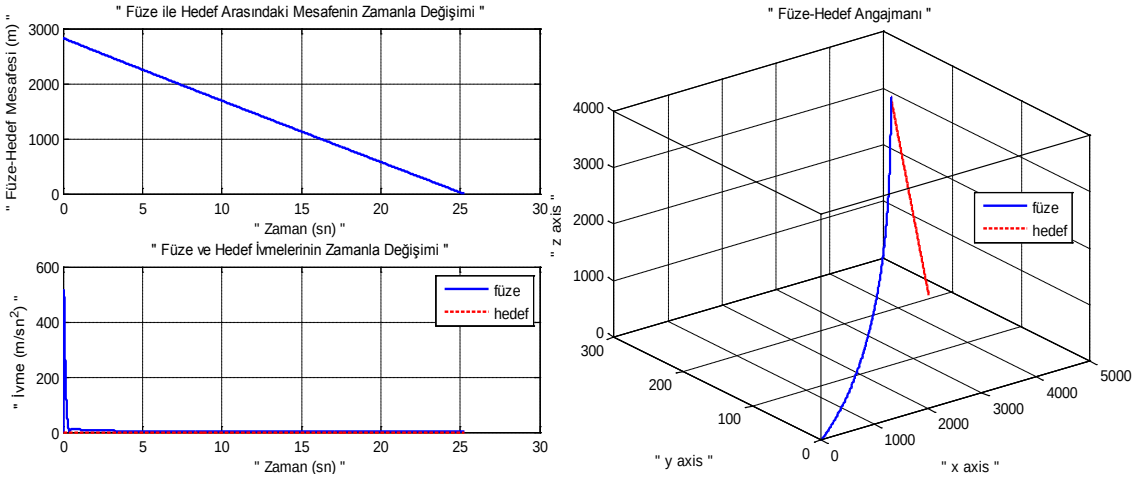
Şekil 2 Sabit Hızlı Hedef Senaryosu, CLOS Benzetim Sonuçları



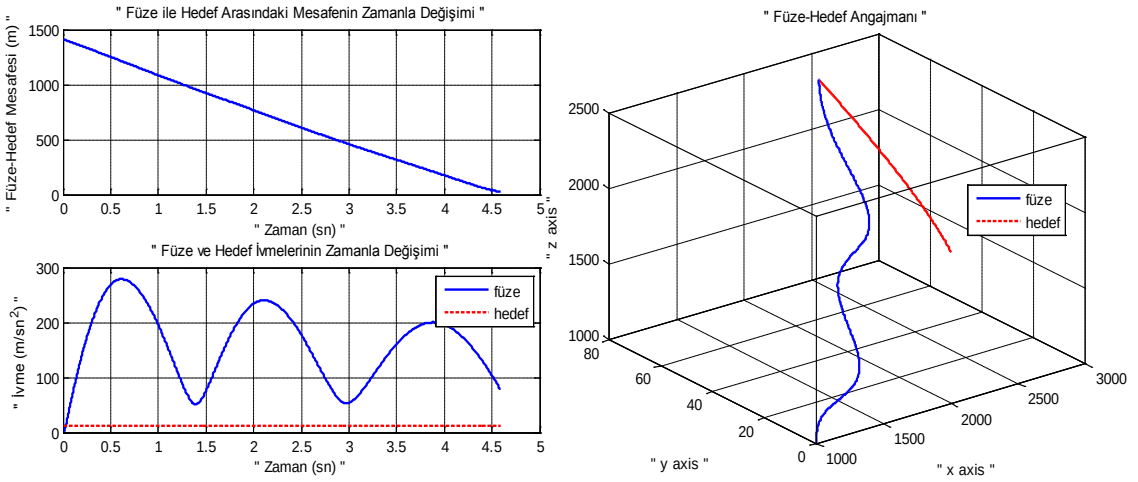
Şekil 3 Sabit Hızlı Hedef Senaryosu, MCLOS Benzetim Sonuçları



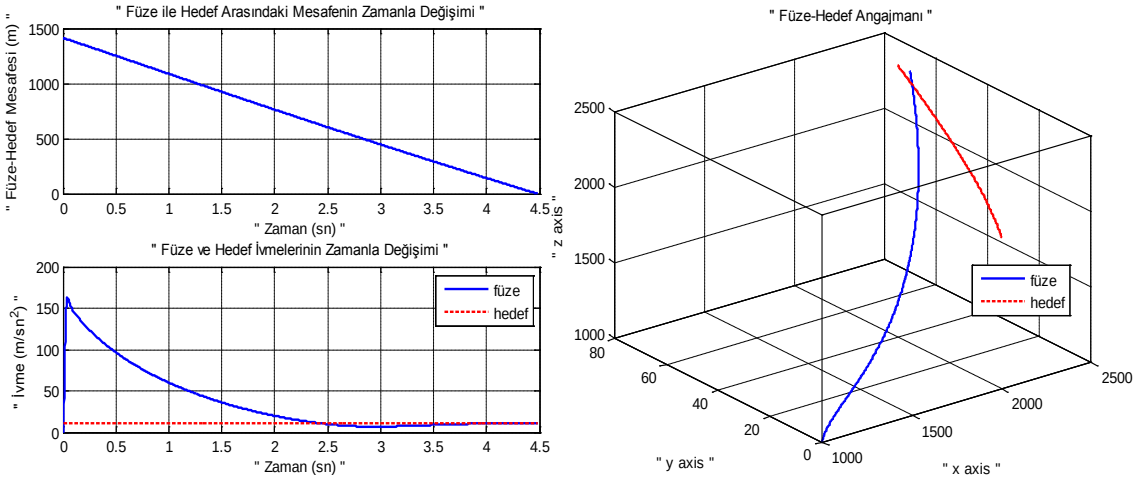
Şekil 4 Sabit Hızlı Hedef Senaryosu, BR Benzetim Sonuçları



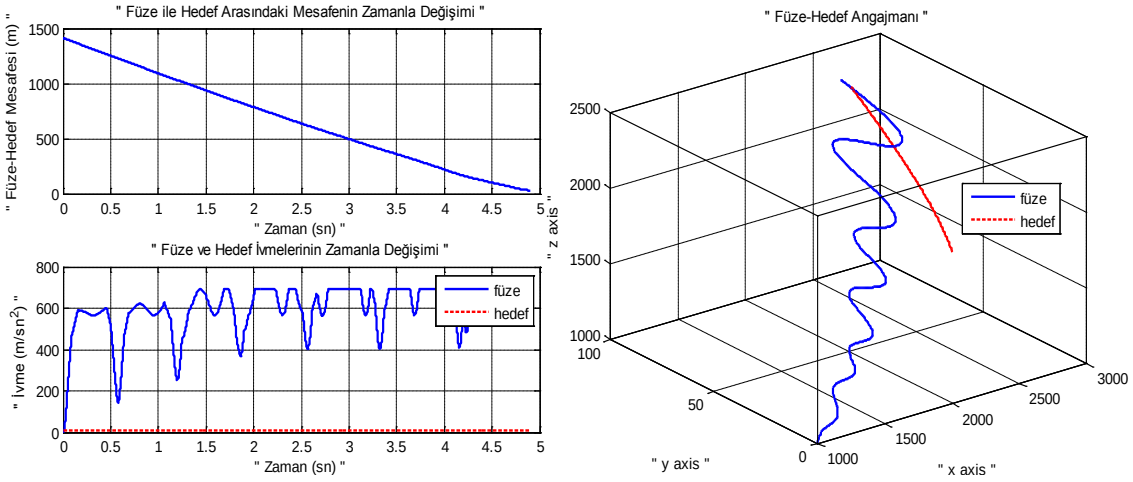
Şekil 5 Sabit Hızlı Hedef Senaryosu, MBR Benzetim Sonuçları



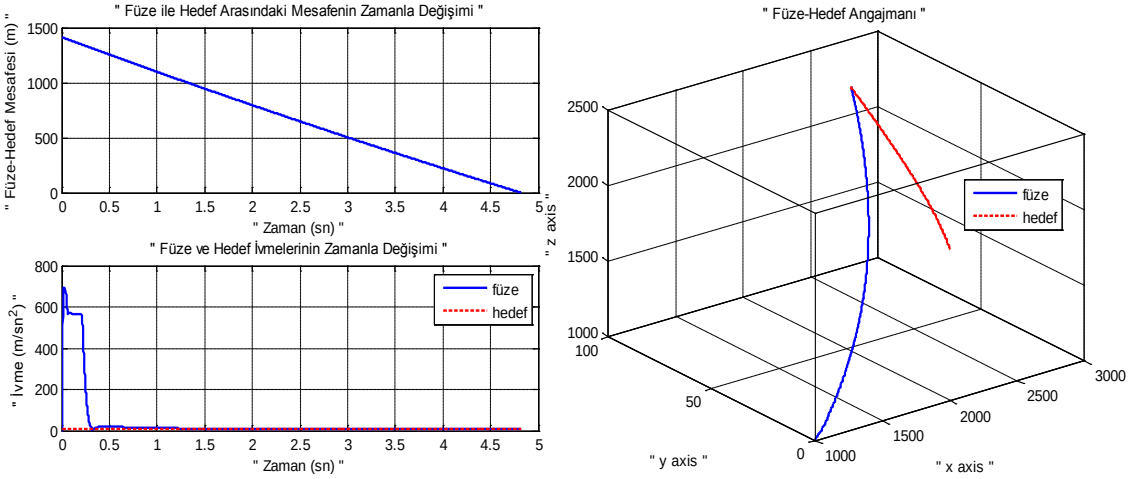
Şekil 6 Sabit İvmeli Hedef Senaryosu, CLOS Benzetim Sonuçları



Şekil 7 Sabit İvmeli Hedef Senaryosu, MCLOS Benzetim Sonuçları



Şekil 8 Sabit İvmeli Hedef Senaryosu, BR Benzetim Sonuçları



Şekil 9 Sabit İvmeli Hedef Senaryosu, MBR Benzetim Sonuçları

Çizelge 1'de sabit hızlı ve sabit ivmeli hedef senaryoları için CLOS, BR, MCLOS ve MBR güdüm yöntemlerinin koşturulması sonucunda elde edilen sapma mesafesi değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 1 Senaryolara Göre Sapma Mesafesi Değerleri

		CLOS	BR	MCLOS	MBR
Sabit Hızlı	Sapma Mesafesi (m)	43.7603	26.4612	1.7189	0.0752
Sabit İvmeli	Sapma Mesafesi (m)	29.8578	32.2438	4.9252	0.2025

3. SONUÇ

Bu çalışmada öncelikle komuta güdümü yöntemleri olan CLOS ve BR' nin üç boyutlu füze-hedef angajman modelleri ile formülasyonları verilmiş, sonrasında ise bu yöntemlerin komuta ivme denklemlerinin 1. dereceden bir aktarım işlevi ile çarpılması sonucunda elde edilen MCLOS ve MBR yöntemlerinin formülasyonları tanımlanmıştır. Ardından, doğrusal olmayan benzetim çalışmaları ile bu üç boyutlu formülasyonlar kullanılarak CLOS, BR, MCLOS ve MBR yöntemlerinin performansları irdelenmiştir.

Benzetim çalışmaları sırasında tartışılan tüm güdüm yöntemleri için sabit hızlı ve sabit ivmeli hedef senaryolarından faydalanılmıştır. Tüm yöntemler için güdüm sabitleri sapma mesafelerini minimum yapacak şekilde denenerek bulunmuştur. Benzetim sonuçları ise güdüm sabitlerinin bu nihai değerlerinin kullanılmalarıyla elde edilmiştir. Benzetim sonrasında elde edilen sonuçlar öncelikle grafikler aracılığıyla gösterilmiş, güdüm yöntemlerinin performansları ise sapma mesafelerinin yer aldığı bir çizelgeyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, MCLOS ve MBR için elde edilen sapma mesafesi değerlerinin CLOS ve BR için elde edilenlere göre daha küçük olduğu görülmüştür. Yine benzetim sonuçları incelendiğinde, MCLOS ve MBR güdüm yöntemlerinin, CLOS ve BR güdümlerinin füze hareketlerindeki salınımları giderdiği, komuta güdümü ivmelerinde de beklenilen şekilde sönümleme yapıcı etki yarattığı görülmektedir. Güdüm yöntemlerine yapılan bu eklemelerin düzeltici etkileri sayesinde, benzetim çalışmaları öncesinde beklendiği gibi; füzenin önceki durumlara göre daha doğrusal bir yol izlediği ve füze toplam ivme genliklerinin azaldığı gözlenmiştir.

4. KAYNAKÇA

[1] Moran, İ. (2005), Three Plane Approach for 3D True Proportional Navigation, Master Thesis, Turkish Naval Academy.

[2] Neri, F. (2001), Introduction to Electronic Defense Systems, Second Edition, Artech House.

[3] Milli, E. (2012), Taktik Füzelerde Kullanılan Sonlanma Güdümü Yöntemlerinin 3B Formülasyonları ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

[4] Zarhan, P. (2012) Tactical and Strategic Missile Guidance, 6th Edition, Progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA.

SANDVİÇ YAPILARDA KULLANILAN TEKRARLANABİLİR ÇEKİRDEK GEOMETRİLERİNİN ENERJİ EMME KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Alper Taşdemirci [(a)], Ali Kara [(b)], Ali Kıvanç Turan [(c)], Mustafa Güden [(d)]

[(a)] Dinamik Test ve Modelleme Laboratuarı, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, alpertasdemirci@iyte.edu.tr

[(b)] Dinamik Test ve Modelleme Laboratuarı, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, alikara@iyte.edu.tr

[(c)] Dinamik Test ve Modelleme Laboratuarı, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, kivancturan@iyte.edu.tr

[(c)] Dinamik Test ve Modelleme Laboratuarı, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, mustafaguden@iyte.edu.tr

ÖZ

Sandviç yapılar yüksek enerji emme kabiliyetlerinden dolayı savunma sanayi uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada sandviç yapılarda yaygın olarak kullanılan çekirdek geometrileri ile yeni geliştirilen alternatif bir çekirdek geometrisinin enerji emme karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Literatürde yaygın olarak incelenen silindir, kare ve altıgen kesitli geometrilerdir. Bu çalışmada önerilen kombine yarı küre ve silindirik alt destekten oluşmuş yapıların özellikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çalışma kapsamında yapıların enerji emme karakteristikleri düşen ağırlık testi ile deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik modelleme parametrelerinin doğrulukları deneysel sonuçlarla karşılaştırmalar yapılarak ortaya konmuştur. Modelin doğru çalıştığı görüldükten sonra aynı kütle ve boyda farklı çekirdek geometrilerin ezilme davranışları incelenmiştir. Önerilen kombine geometrinin, karşılaştırma için kullanılan geometrilerden kare kesitli yapı ile aynı miktarda enerji absorbe ettiği tespit edilmiştir. Kombine çekirdek malzemesinin yapıya ilettiği maksimum kuvvet miktarı ise diğer geometrilerden yaklaşık %30 daha azdır.

Anahtar Kelimeler: Düşen Kütle Testi, ezilme ile enerji emme, kombine çekirdek geometrisi, LS-DYNA, metalik sandviçler.

INVESTIGATION OF ENERGY ABSORPTION CHARACTERISTICS OF REPEATED CORE GEOMETRIES USED IN SANDWICH STRUCTURES

ABSTRACT

In this study, energy absorption characteristics of widely used core geometries and a novel core geometry were investigated. Besides the geometries widely investigated in the literature such as; cylindirical, square, and hexagonal honeycombs, characteristics of newly proposed combined geometry of a hemisphere cap and a cylindirical section are given comparatively. In the study, energy absorption characteristics were investigated experimentally using a drop weight impact test apparatus and numerically using LS-DYNA. Drop weight impact test simulations are used for validating the material model and its constants. After this verification, different core geometries having same mass and length were modeled and crushing behavior was investigated then compared. Proposed combined geometry absorbed nearly equal amounts of energy as square honeycomb geometry. Combined geometry also transmitted 30% lower maximum force to the structure.

Keywords: Drop weight impact test, absorption by crushing, combined core geometry, LS-DYNA, metallic sandwiches.

1. GİRİŞ

Sandviçler, yapılarında bulunan çekirdek malzemelerinin yüksek enerji emme kabiliyetleri dolayısıyla, enerji emiliminin önemli olduğu ezilme, çarpma problemleri ile otomotiv ve havacılık sektörlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sandviç yapılarda kullanılan çekirdek yapıları, enerji emilimini makro geometrik özellikleri sayesinde (deformasyon veya burkulma gibi) veya iç yapısal özellikleri (köpük benzeri malzemelerin özellikleri gibi) sayesinde gerçekleştirirler. Bu sebeple çok çeşitli malzeme ve geometrideki yapılar sandviç malzemelerde çekirdek olarak tercih edilmektedir. Literatürde araştırmacılar çekirdek malzemesi olarak, kare şekilli metalik bal peteklerini [1, 2], altıgen şekilli metalik bal peteklerini [3, 4], metalik köpükleri [5, 6], polimerik köpükleri [7, 8], metal piramit yapıları [9] çekirdek malzemesi olarak kullanmışlardır.

Araştırmacılar tekrarlanabilir yapıların ezilme davranışları hakkında bugüne kadar farklı açılardan çalışmalar yapmışlardır. Singace [10] silindirik tüplerin eksenel ezilmesinde çoklu lob modunun etkisini incelemiştir. Çalışmasında eksentriklik faktörünün ortalama ezilme yükünü etkilediğini ve bu yükün geometri ve lob sayısının bir fonksiyonu olduğunu belirtmiştir. Gupta ve Abbas [11] silindirik tüplerin eksenel ezilmesinin

analitik modellemesini gerçekleştirmişlerdir. İçe ve dışa katlanmanın büyüklüğünü ve ezilme yükünün değişimini incelemişlerdir. Hosseinipour ve Daneshi [12] çalışmalarında, üzerinde çevresel yivler açılmış tüplerin ezilme davranışlarını incelemişlerdir. Sonuçlarını yivsiz numune ile karşılaştırmışlardır. Ekledikleri yivler ile tüplerin enerji emme özelliklerini iyileştirdiklerini belirtmişlerdir. Güden ve Kavi [13] çalışmalarında içi boş ve alüminyum köpük dolu silindirik tüplerin ezilme davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Köpük doldurma ile deformasyon modunun asimetrik moddan simetrik moda dönüştüğü gözlenmiştir. Köpük ile doldurmanın enerji emilimini arttırdığını göstermişlerdir. Taşdemirci [14] silindirik tüplerin eksenel ezilmesinde sınır kısıtlarının etkisini deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Tek taraflı kısıtın kuvvet-yer değiştirme davranışı üzerinde bir etkisi olmadığını, çift taraflı kısıtın ise başlangıç kuvvet düşümü değerlerinde bir artış sağladığını göstermiştir. Liang ve Chen [15] kare kesitli bal peteklerinin eksenel olarak ezilmesini geliştirdikleri plak ve kiriş modeli ile incelemişlerdir. Niknejad ve arkadaşları [16] ise içi poliüretan köpük dolu kare bal peteklerinin eksenel ezilmesi esnasında kuvvet - şekil değiştirme davranışı arasında teorik bir bağıntı önermişlerdir. Sonuçlarını deney sonuçları ile karşılaştırılarak uyumlu sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Yamashita ve Gotoh [17] altıgen bal peteklerinin orta hızlardaki ezilme davranışlarını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Orta hızda gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre ezme başlığının yer değiştirmesi arttıkça, hücrelerin içinde sıkışan hava arttığından basma gerilmesinde bir artış görülmektedir. Nümerik sonuçlarına göre hücre içi açısı azaldıkça ezilme kuvvetinin arttığı belirlenmiştir. Zarei Mahmoudabadi ve Sadighi [18] çalışmalarında, altıgen bal peteklerinin kuasi-statik ve orta hızlarda ezilme davranışlarını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Kuasi-statik yükleme durumunda ortalama ezilme gerilmesinin ve katlanma modunun dalgaboyunun önemli olduğunu belirtmişler ve orta hızlarda ise emilen enerjiyi incelemişlerdir. Silindirik eğrilik etkilerini hesaba katan bir model geliştirerek sonuçlarını deneysel sonuçlarla ve diğer çalışmalarla karşılaştırmışlardır.

Bu çalışmada, tekrarlanabilir çekirdek geometrilerinin, sandviç yapıların enerji emme karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Bugüne kadar çeşitli sandviç uygulamalarında kullanılan silindirik tüp, kare bal peteği ve altıgen bal peteği geometrilerindeki çekirdek malzemelerinin yanı sıra, bu çalışmada yarı küresel ve silindirik kısımlar içeren kombine bir geometriye sahip yeni çekirdek yapılarının kullanımı da incelenmiştir. Yarı küresel geometrideki çekirdek malzemelerinin orta hızlardaki davranışları düşen kütle testi ile deneysel olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler LS-DYNA sonlu elemanlar programı kullanılarak simüle edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları ile literatürden alınan malzeme modeli ve parametrelerinin uygunluğu tespit edilmiştir. Bu malzeme modeli ve parametreleri diğer geometrilerin aynı şartlarda gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde de kullanılmıştır. Sonuçlar tüm geometriler için karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Deneysel olarak test edilmiş numuneler ile nümerik

olarak ezilmiş numune görüntüleri karşılaştırılmıştır. Nümerik simülasyonlar sonucu, yarı küresel yapının kare bal peteği ile hemen hemen aynı seviyede enerji emdiği, en yüksek enerji emilimini gerçekleştiren altıgen bal peteği yapıdan ise yaklaşık %16 daha az enerji emdiği tespit edilmiştir. Diğer taraftan, tüm diğer alternatiflere göre yarı küresel-silindirik kombine geometrinin yapıya ilettiği maksimum kuvvet %30 daha azdır. Bu da yapının diğer yapılarla rekabet edebilecek seviyede olduğunu göstermektedir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada aynı malzeme özelliklerine sahip farklı geometrilerdeki çekirdek yapılarının enerji emme özelliklerinin incelenmesi için yarı küresel şekle sahip paslanmaz çelik yapıların düşen kütle testleri gerçekleştirilmiştir. Test edilen yapıların dış çapı 40 mm, boyu 30 mm ve cidar kalınlığı 0.4 mm dir. Deneyi gerçekleştirilen yapı Şekil 1'de görülebilir.

Deneylerle yarı küresel çekirdek yapılarının enerji emme özellikleri incelenmekle birlikte malzeme modeli ve parametrelerinin uygunluğu da tespit edilmiştir.

Şekil 1. Deneyleri gerçekleştirilen yarı küresel çekirdek malzemesi

İYTE, Dinamik Test ve Modelleme Laboratuarı bünyesinde bulunan Fractovis Plus düşen kütle test cihazına adapte edilen 70 mm çapında ezme başlığı ile testler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen düşen kütle testinde 15.7 kg lık bir kütle, 2.88 m/s hız ile numune üzerine çarpmıştır. Ezme başlığına bağlı çubuk üzerinde bulunan piezoelektrik sensörlerden veri toplama cihazına aktarılan deney sonucu, kuvvet, enerji ve yer değiştirmenin zamana bağlı değişimi olarak kaydedilmiştir.

Gerçekleştirilen testler sonucu elde edilen deformasyon şekilleri ve modları incelenmiş ve sonuçlar simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılmıştır.

3. NÜMERİK SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Nümerik modelleme LS-DYNA programı [19] kullanılarak gerçekleştirilmiştir. LS-DYNA programı yüksek hızda gerçekleşen patlama, çarpma gibi olayların modellenmesi için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Nümerik simülasyon çalışmaları kapsamında, öncelikle yarı küresel geometri üzerinde gerçekleştirilen düşen kütle testleri modellenerek Tablo 1'de verilen modeli malzeme parametreleri gerçeklenmiştir. LS-DYNA'da *MAT_PLASTIC_KINEMATIC olarak tanımlanmış bu malzeme modeli, izotropik veya kinematik sertleşme prensibine göre plastik bölgenin tanımlanabildiği bir modeldir.

Tablo 1. 304 L Paslanmaz çeliği *MAT_PLASTIC_KINEMATIC malzeme model parametreleri [20].

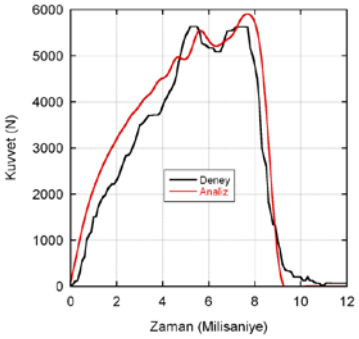
Yoğunluk (kg/m^3)	Elastiklik Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Tanjant Modülü (MPa)	Akma Gerilmesi (MPa)
8000	200	0.283	450	210

Yapılan simülasyonlarda, düşen kütleler, kütlesi tanımlanabilen ve ilk hızı belirlenebilen rijit duvarlar olarak modellenmişlerdir. Ezilme kafası, deney ile aynı olacak şekilde 2.88 m/s ilk hıza sahip 15.7 kg lık bir kütle olarak modellenmiştir. Alt tutucu ise sabit bir rijit duvar olarak modellenmiştir. Tekrarlanabilir yapılar ise tam integrasyonlu element formülasyonu 16 ile kabuk eleman olarak modellenmişlerdir. Tam integrasyon analiz süresini arttırsa da, yüksek deformasyon problemlerinde gerçekleşmesi olası sıfır enerji modlarını engelleyerek analizin doğruluğunu garantilemiştir. Modellenen kabuk elemanlar, gerçek yapının orta kesit boyutlarına sahiptir. Simülasyonlarda tekrarlanabilir yapıların kendi üzerlerine katlanmaları sırasında meydana gelecek olan temas *CONTACT_AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE algoritması ile modellenmiştir. Ayrıca silindir, kare bal peteği ve altıgen bal peteği yapılarda alt ve üst düğüm noktalarının, yarı küresel yapılarda ise sadece alt düğüm noktalarının dönel serbestlik dereceleri engellenmiştir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

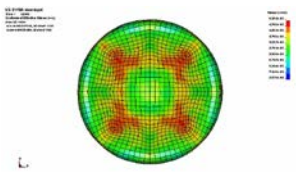
Yarı küresel yapı üzerinde gerçekleştirilen düşen kütle test sonucu Şekil 2a'da görülmektedir. Bu şekilde, deneyesel ve nümerik kuvvet-zaman eğrileri verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi yapı beşinci milisaniyeye kadar hemen hemen sabit eğimli bir şekilde yüklenmektedir. Bu andan sonra yaklaşık 200 N luk bir kuvvet düşüşü olmakta ve daha sonra yarım milisaniye kadar kuvvet artmakta ve sekizinci milisaniye itibariyle yükleme sonlanmaktadır. Bu deformasyon tarihçesine göre,

malzemenin küçük bir düzlenme (flattening) modu ile deformasyonu akabinde, asimetrik içe doğru kıvrılma (inward dimpling) modu ile deformasyonunu sürdürdüğü ve altı adet lob oluştuğu görülmektedir. Bu deformasyon modu yüksek R/t oranına ve düşük kalınlığa sahip malzemelerde sıkça gözlemlenmektedir ve enerji absorbsiyonunun önemli bir kısmını sağlamaktadır. Nümerik model, bu davranışı başarı ile yakalamıştır. Şekil 2b ve c'de ise sırasıyla deneysel ve nümerik olarak deforme edilmiş numuneler görülmektedir. Deformasyon modunun da başarı ile simüle edildiği bu şekillerden görülebilmektedir.



(a)

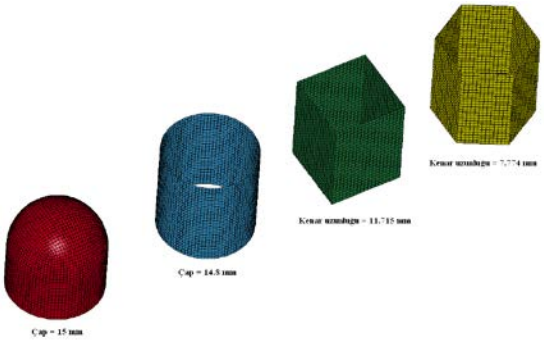
(b)



(c)

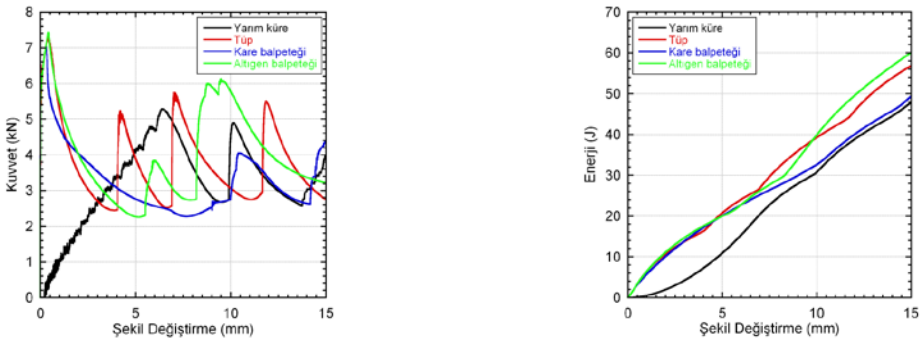
Şekil 2. (a) Yarı küresel yapının düşen ağırlık test sonucu, (b) deneysel deforme edilmiş numune ve (c) nümerik deforme edilmiş numune.

Şekil 2'de gösterilen başarılı sonuçlar sayesinde, Tablo 1'de verilen malzeme modeli sabitlerinin ilgili malzemeyi modellemekte kullanılabileceği görülmüştür. Bu aşamadan sonra diğer yapıların nümerik simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Tüm yapılar eşit boy, kalınlık ve ağırlığa sahip olacak şekilde modellenmiştir. Sabit bir kesidin ekstrüdesi ile oluşan alternatif geometrilerin taban alanlarının da aynı olacağı aşikardır. Bundan sonraki paragraflarda sonuçları verilen simülasyonlarda kullanılan geometrilerin özellikleri ve sonlu elemanlar ağları Şekil 3'de görülebilir.



Şekil 3. Aynı kalınlık, yükseklik ve kütleye sahip çekirdek yapıları

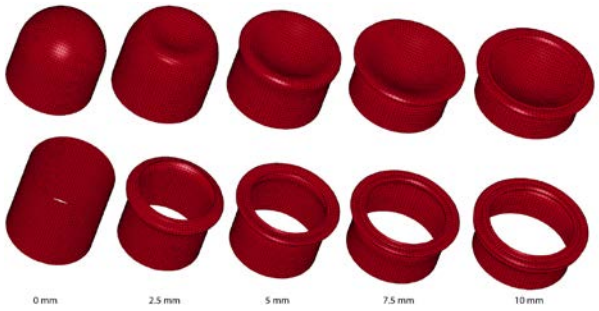
Şekil 3'den görülebileceği gibi yarı küresel geometrinin çapı yarıya düşürülmüştür. Malzeme özellikleri gerçeklendiğinden daha küçük geometriyi inceleyerek işlem süresinin kısalması sağlanmıştır. Analizdeki düşen kütle ve hız aynı bırakılmıştır.



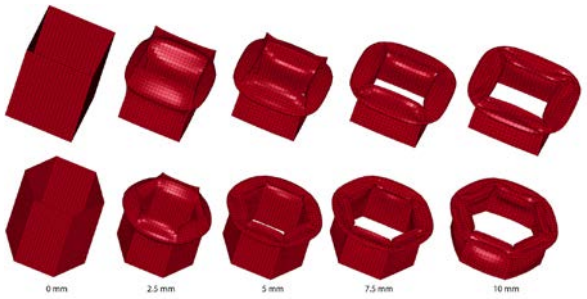
(a) (b)

Şekil 4. Çekirdek yapılarının (a) kuvvet–şekil değiştirme ve (b) enerji-şekil değiştirme eğrileri.

Şekil 4'de simülasyonları gerçekleştirilen yapıların kuvvet-şekil değiştirme ve enerji-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Şekil 4a'dan görülebileceği gibi yarım küre dışındaki yapılar yüklemenin ilk başlangıcında yaklaşık 7 kN değerinde bir yük taşımakta ve daha sonra maruz kaldıkları deformasyon moduna göre yük taşımaya devam etmektedirler. Yarı küresel yapı ise sabit bir eğimle yüklenmekte ve daha sonra kuvvet yaklaşık 5 kN gibi bir maksimum değere ulaştıktan sonra tekrar düşerek yük taşımaya devam etmektedir. Tüm yapılar ilk maksimum değerden sonra, yapılarında oluşan katlanmalar dolayısı ile iki veya daha fazla lokal maksimum yük taşımaktadırlar. Şekil 4b'de verilen enerji-şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde ise, en çok enerjinin altıgen bal peteği tarafından emildiği görülmektedir. Yarı küresel yapı, altıgen bal peteği yapıdan yaklaşık %16 daha az enerji emmiştir. Görülebileceği üzere, önerilen yarı küresel yapı kare bal peteği ile neredeyse eşit miktarda enerji emmektedir. Yarı küresel yapının ilettiği kuvvet yaklaşık %30 daha düşüktür, bu da görece düşük enerji emme kapasitesine rağmen, bu geometriyi diğerleri ile rekabet edebilecek seviyeye getirmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5. Çekirdek yapılarının deformasyon profilleri.

Şekil 5'da simülasyonları gerçekleştirilen çekirdeklerin deformasyon profilleri artan rijit duvar yer değiştirmesine göre verilmiştir. Görüldüğü gibi her bir yapı, deformasyon süresince burkulma ile enerji emilimini gerçekleştirmektedir. Yarı küresel geometri ise, yarı küresel kısmın deformasyonu süresince, daha düşük bir kuvvet iletmektedir.

5. SONUÇLAR

Sandviç yapılarda çekirdek malzemesi olarak kullanılan silindirik, kare ve altıgen geometriler ile, önerilen yarı küresel geometrilerin orta hızlardaki ezilme davranışları deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Deney sonuçları simülasyon sonuçları ile hem kuvvet tarihçesi açısından hem de deformasyon açısından uyum göstermektedir. Simülasyonlar, en çok enerjinin altıgen bal peteği yapı tarafından emildiğini ve yarı küresel yapının emdiği enerjinin bundan %16 az olduğunu göstermiştir. Yarı küresel yapı ile kare bal peteği yapı yaklaşık aynı miktarda enerji emmiştir. Yeni önerilen yarı küresel yapının diğer geometrilerle rekabet edebilir seviyede olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 112M141 no'lu TÜBİTAK projesi desteğiyle yürütülmüştür.

6. KAYNAKÇA

[1] Dharmasena, K. P., Wadley, H. N. G., Xue, A., Hutchinson, J. W. (2008), Mechanical response of metallic honeycomb sandwich panel structures to highly-intensity dynamic loading, *International Journal of Impact Engineering*, 35, 1063-1074.

[2] Rathbun, H.J., Radford, D.D., Xue, Z., He, M.Y., Yang, J., Deshpande, V.S., *et al.* (2006), Performance of metallic honeycomb-core sandwich beams under shock loading, *International Journal of Solids and Structures,* 43, 1746-1763.

[3] Zhu, F., Zhao, L. M., Lu, G., Gad, E. (2009), A numerical simulation on the blast impact of square metallic sandwich panels, *International Journal of Impact Engineering*, 36, 687–699.

[4] Zhu, F., Zhao, L.M., Lu, G., Wang, Z. (2008), Deformation and failure of blast loaded metallic sandwich panels – experimental investigations, *International Journal of Impact Engineering*, 35, 937–951.

[5] Zhu, F., Wang, Z., Lu, G., Zhao, L.M. (2009), Analytical investigation and optimal design of sandwich panels subjected to shock loading, *Materials & Design*, 30, 91–100.

[6] Hanssen, A.G., Enstock, L., Langseth, M. (2002), Close-range blast loading of aluminum foam panels, *International Journal of Impact Engineering*, 27, 593–618.

[7] Tekalur, S.A., Shukla, A., Shivakumar, K. (2008), Blast resistance of polyurea based layered composite materials, *Composite Structures*, 84, 271–281.

[8] Wang, E., Gardner, N., Shukla, A. (2009), The blast resistance of sandwich composites with stepwise graded cores, *International Journal of Solids and Structures*, 46, 3492–3502.

[9] Jackson, M., Shukla, A. (2011), Performance of sandwich composites subjected to sequential impact and air blast loading, *Composites: Part B*, 42, 155–166.

[10] Singace, A.A. (1999), Axial crushing analysis of tubes deforming in the multi-lobe mode, *International Journal of Mechanical Sciences*, 41, 865-890.

[11] Gupta, N.K., Abbas, H. (2000), Mathematical modeling of axial crushing of cylindrical tubes, *Thin-Walled Structures*, 38, 355-375.

[12] Hosseinipour, S.J., Daneshi, G.H. (2003), Energy absorbtion and mean crushing load of thin-walled grooved tubes under axial compression, *Thin-Walled Structures*, 41, 31-46.

[13] Güden, M., Kavi, H. (2006), Quasi-static axial compression behavior of constraint hexagonal and square-packed empty and aluminum foam-filled aluminum multi-tubes, *Thin-Walled Structures*, 44, 739-750.

[14] Taşdemirci, A. (2008), The effect of tube end constraining on the axial crushing behavior of an aluminum tube, *Materials and Design*, 29, 1992-2001.

[15] Liang, S., Chen, H.L. (2006), Investigation on the square cell honeycomb structures under axial loading, *Composite Structures*, 72, 446-454.

[16] Niknejad, A., Liaghat, G.H., Moslemi, Naeini H., Behravesh, A.H. (2011), Theoretical and experimental studies of the instantaneous folding force of the polyurethane foam-filled square honeycombs, *Materials and Design*, 32, 69-75.

[17] Yamashita, M., Gotoh, M. (2005), Impact behavior of honeycomb structures with various cell specifications—numerical simulation and experiment, *International Journal of Impact Engineering*, 32, 618-630.

[18] Zarei Mahmoudabadi, M., Sadighi, M. (2011), A theoretical and experimental study on metal hexagonal honeycomb crushing under quasi- static and low velocity impact loading, *Materials Science and Engineering A*, 528, 4958-4966.

[19] LSTC (2007), LS-DYNA Keyword's User Manual, Livermore Software Technology Corporation.

[20] İspir, İ., Esen, İ., Kadı, İ., Yaşar, M. (2011), AISI 304L malzemesi ile yarı küresel konik derin çekme işleminin Ansys LS-DYNA ile incelenmesi, *6.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 146-150

PATLAMA ETKİSİNİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ TESTLER VE SİMÜLASYONLARLA BELİRLENMESİ

İsmet Kutlay Odacı[(a)], Cenk Kılıçaslan[(b)], Alper Taşdemirci[(c)] ve Mustafa Güden[(d)]

[(a)] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Gülbahçe Kampüsü, kutlayodaci@iyte.edu.tr

[(b)] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Gülbahçe Kampüsü, cenkkilicaslan@iyte.edu.tr

[(c)] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Gülbahçe Kampüsü, alpertasdemirci@iyte.edu.tr

[(d)] İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Gülbahçe Kampüsü, mustafaguden@iyte.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada üretimi pahalı ve yapısı heterojen metal köpükler yerine yeni bir yapı olan çok katmanlı zikzak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapılar patlama etkisini oluşturmak amacıyla atış test sisteminde mermi olarak kullanılmıştır. Sandviç yapıların oluşturduğu basınç dalgasının patlama sırasında oluşan basınç dalgasına olan benzerliği Split Hopkinson Basınç Barı test ve simülasyonları ile belirlenmiştir. Sandviç yapılar ile gerçekleştirilen atış testlerinde 2 mm kalınlığında E-cam elyaf/polyester 0˚/90˚ kompozit plakalar test edilmiştir. Atış sisteminin tam geometrik modeli sonlu elemanlar kodu LS-DYNA ile oluşturulmuş ve sandviç yapı ve kompozit plakada oluşan hasarlar deneyler ile karşılaştırılarak model doğrulanmıştır. Sandviç yapı Johnson-Cook, kompozit plaka ise MAT162 malzeme modeli ile modellenmiştir. Deneyler sonucunda sandviç yapının kademeli olarak ezilerek plaka üzerinde patlama basıncını oluşturduğu, kompozit plakalarda ise sadece delaminasyon ve çökme şeklinde oluştuğu görülmüştür. Geliştirilen test sistemi ile oluşturulacak basınç dalgasının mermi olarak kullanılan ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapının geometrisine olan bağıntısı simülasyonlarla belirlenmiş ve patlama testlerini simüle edilebilecek bir yöntem geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlama, MAT162, kompozit, sandviç, LS-DYNA

THE DETERMINATION OF THE BLAST EFFECT VIA LABRATORY SCALE TESTS AND SIMULATIONS

ABSTRACT

In this study, novel multi-layered zigzag 3003 Al trapezoidal corrugated sandwich structures as alternative to relatively expensive and heterogeneous metal foams were used as projectile to generate the blast effect in the impact test system. The similarity of the pressure wave created by the sandwich structures to the pressure wave occurred at the blast tests was determined by the Split Hopkinson Pressure Bar tests. Two millimeter thick E-glass/polyester composite plates with 0°/90° ply orientation were projectile impact tested. The full geometric model of the impact test system was generated using the finite element code LS-DYNA and the fidelity of the developed model was confirmed by comparing the numerical experimental damages on the sandwich structure and composite plate. The sandwich structure and the composite plate were modeled using the Johnson-Cook and MAT 162 material model, respectively. Results have shown that the sequential collapse of the sandwich structure generated a blast pressure on the composite plate and the exposed pressure formed delamination and collapse regions on the tested composite plate. The relationship between the pressure developed using the projectile test system and the geometry of the trapezoidal corrugated core sandwich projector was determined via simulations and a method was developed to simulate the blast tests.

Keywords: Blast, MAT162, Composite, Sandwich, LS-DYNA

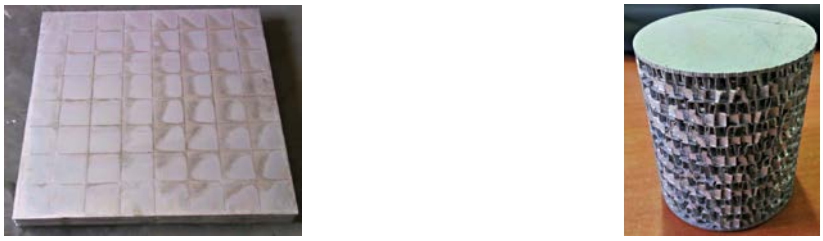
1.Giriş

Günümüzde patlama ile oluşan şok dalgalarına (blast) dayanıklı yapıların tasarlanması ve geliştirilmesinin en temel amacı çevredeki insanlarda ve yapılarda oluşacak hasarları mümkün olduğunca indirgemektir. Patlama esnasında kimyasal tepkimeler sonucunda basıncı 100-300 kilo bar ve sıcaklığı ise 3000-4000 °C aralığında değişen gazlar oluşur. Oluşan gazların genleşmesiyle, sıkıştırılan hava hızla hareket ederek (patlama dalgası) patlama enerjisini yapılara iletirler. Genişleyen patlama dalgasının basıncı zamanla sıcaklığın azalması sonucunda atmosferik basıncın altına düşer. Genleşen gazlar atmosferik basınçla küçük bir basınç farkı oluşturduğu için ters yönde yani hedeften patlama kaynağına doğru hareket eder ve basınç dengesi oluşana kadar gazların hareketi bu şekilde devam eder. Bu hareketler esnasında koruyucu malzemede en fazla deformasyonu ilk basınç dalgası ulaştığında oluşur; daha sonra ulaşan basınç dalgaları ise oluşan hasarı çok az bir miktarda değiştirir. Patlama testleri esnasında gerçekleşen malzeme hasarlarını laboratuvar ortamında belirlemek tehlikeli ve zordur. Son yıllarda, gözenekli alüminyum köpük yapıların hedef malzeme üzerine

yüksek hızda fırlatılması ile patlama testlerinde oluşan basıncı oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Silindirik alüminyum köpük malzemelerle Split Hopkinson Basınç Barında (SHBB) yapılan testlerde köpük yapıların oluşturduğu basınç-zaman eğrisinin hava ve sıvı basınç dalgalarını temsil ettiği gösterilmiştir [1-9]. Bu çalışmada ise basınç dalgasının oluşturulmasında yeni bir yapı olan çok katmanlı zik zak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapılar kullanılmıştır. Yarı-statik basma testlerinin sonuçları ile LS-DYNA da yapılan sonlu elemanlar simülasyon çalışmaları karşılaştırılmış ve malzeme modellerinin doğruluğu gösterilmiştir. Daha sonra SHBB modelleriyle çok katmanlı zikzak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapıların oluşturduğu basınç-zaman eğrisi incelenmiş ve 2 mm kalınlığında kompozit plakalar üzerine atışlar yapılarak basınç dalgasının etkisi deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

2. Malzemeler ve deneyler

Atış deneylerinde sert lehim yöntemi ile birleştirilmiş çok katmanlı zikzak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapılar mermi olarak kullanılmıştır. Geliştirilen sandviç yapı ile ilgili detaylı bilgi bir başka çalışmada verilmiştir [10]. Mermiler 600x600x50 mm'lik sandviç plakadan (Şekil 1(a)) tel erozyon yöntemi ile çıkartılmıştır. Çıkartılan mermiler 40 mm çapında ve 50 mm yüksekliğindedir (Şekil 1(b)). Tek bir mermi 32 gram ağırlığındadır. Sandviç yapının yarı-statik basma testleri plakadan çıkarılan 50x50x50 mm'lik kare numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basma deneyleri 10^{-3} ve 10^{-1} s^{-1} gerinim hızlarında üniversal basma test cihazında gerçekleştirilmiştir.



(a) (b)

Şekil 1. Çok katmanlı zikzak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapı: (a) plaka ve (b) mermi

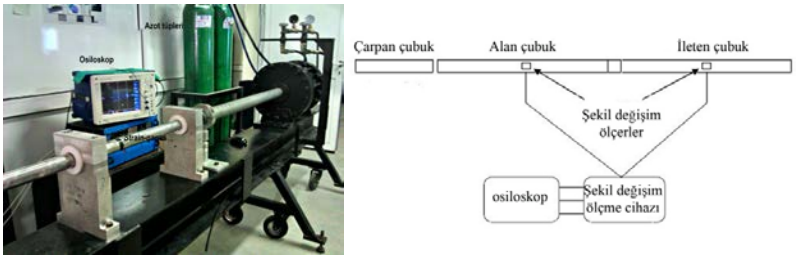
Atış testlerinde hedef olarak 2 mm kalınlığa sahip 0°/90° E-cam elyaf/polyester kompozit plakalar kullanılmıştır. Kompozit plakalar VARTM metodu ile hazırlanmıştır. Atış testleri Dinamik Test ve Modelleme Laboratuvarı bünyesinde 5 bar kapasiteli balistik atış sisteminde gerçekleştirilmiştir. Atış sistemi gaz tankı, namlu, numune tutucuları, lazer hızölçerler ve koruma kafesinden oluşmaktadır (Şekil 2(a)). Kompozit plakalar Şekil 2(b)'de gösterilen tutucu plakalar arasına konularak sabitlenmektedir. Koruyucu kafes içerisinde bir çifti namlu ucunda diğer çifti ise tutucu arkasında olmak üzere lazer hız okuyucular bulunmaktadır (Şekil 2(c)). Merminin ilk ve son hızları bu

okuyucular ile belirlenmektedir. Atış testlerinde kompozit plakanın ve sandviç yapının deformasyonu yüksek hızlı kamera (FASTCAM) ile 10000 fps kayıt hızında kaydedilmiştir.

(a) (b) (c)

Şekil 2. (a)Atış sistemi, (b)numune tutucu ve (c)lazer hız okuyucular

Alüminyum SHBB test düzeneği Şekil 3'de gösterilmektedir. SHBB test sistemi; gaz tabancası, çarpan çubuk, alan ve ileten çubuklar ve veri toplama ünitesinden oluşmaktadır. Gaz tabancasından, farklı hızlarda (v_o) fırlatılan çarpan çubuğun alan çubuğun ucuna çarpması ile tek yönlü bir basma gerilme/gerinim dalgası oluşmaktadır. Alan çubuk üzerinde ilerleyen tek yönlü basma gerilme dalgasının bir kısmı test edilen malzemenin mekanik empedansına bağlı olarak alan çubuk-numune ara yüzeyinden çekme gerilmesi olarak geri dönmekte ve kalan basma gerilmesi ise ileten çubuk üzerinde ilerlemektedir (Şekil 3). Gelen dönen ve iletilen gerinim miktarlarının ölçümü ile malzeme üzerindeki gerilme gerinim ve gerinim hızı değerleri hesaplanabilmektedir [11]. Hesaplamalar, uzun çubuklarda elastik gerilme dalgasının tek yönlü ilerleyişi varsayımı ile yapılmaktadır. Bu çalışmada SHBB sisteminin nümerik modeli oluşturularak çarpma işlemi yapılmıştır.

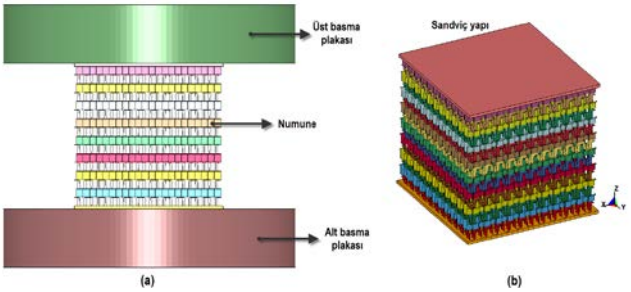


Şekil 3. (a) Alüminyum SHBB test düzeneği ve şematik gösterimi

3. Nümerik simülasyonlar

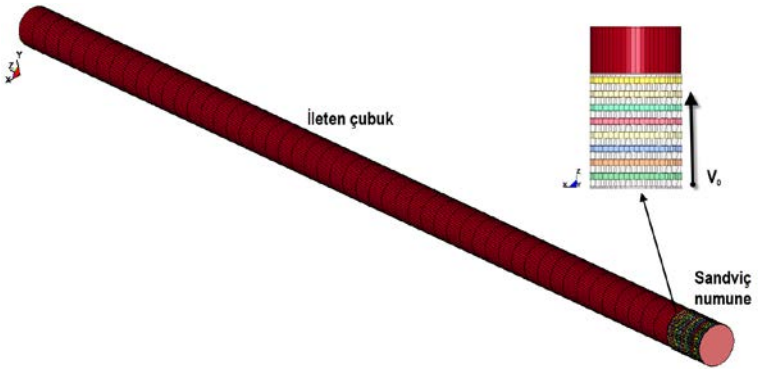
Sayısal simülasyonlar, LS-DYNA v.971 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde "explicit" sayısal çözüm yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada yarı-statik basma, SHBB ve atış deneyleri modellenmiştir. Şekil 4(a) ve (b)'de 10^{-1} s^{-1} gerinim hızındaki yarı-statik basma işleminin sayısal modeli gösterilmektedir. Sayısal model üst ve alt basma plakaları ile dalgalı sandviç yapıdan oluşmaktadır. Modelin sonlu elemanlar ağı 38400 adet katı rijit elemandan ve 264800

deforme olabilen katı ve kabuk elemanlardan oluşmaktadır. Dalgalı göbek yapıların sonlu elemanlar ağında dört kenarlı kabuk elemanlar, yüz plakalarında ise dört kenarlı katı elemanlar kullanılmıştır. Basma plakları MAT_RIGID malzeme modeli, 3003 Al malzemenin gerilme davranışı ise MAT_SIMPLIFIED_JOHNSON_COOK malzeme modeli ile modellenmiştir. İşlem sırasında sadece üst basma plakası z-ekseni boyunca 5 mm/saniye sabit hızında hareket etmekte, alt basma plakası ise hiç hareket etmeyecek şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 4. (a) Yarı-statik basma simülasyon modeli ve (b) sandviç yapının nümerik modeli

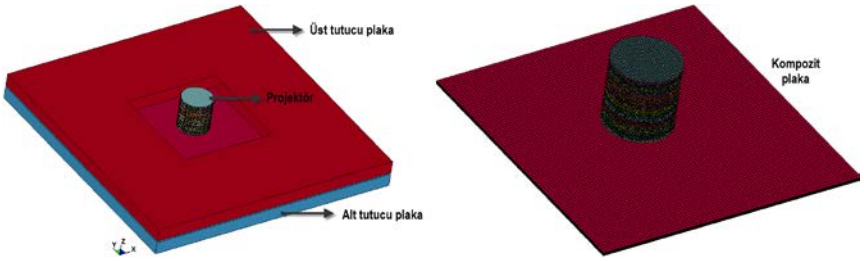
SHBB test sisteminin sayısal modeli Şekil 5'de gösterilmektedir. Modelde yalnızca ileten çubuk ve sandviç yapı modellenmiştir. Sandviç yapı gaz tabancasından belirli bir ilk hız (v_o) ile ileten çubuğa doğru fırlamaktadır. Numunenin çubuğa çarpması ile meydana gelen elastik gerilme dalgası çubuğun tam orta yüzeyinde bulunan elemandan okunmuştur. İleten çubuğun sonlu elemanlar ağı 33800 adet dört kenarlı elemandan oluşmaktadır. İleten çubuk MAT_ELASTIC malzeme modeli ile modellenmiştir. Çubuğun elastik modülü 70 GPa, Poisson's oranı ise 0.33 olarak alınmıştır. Çarpma sırasında çubuk tüm eksenlerden sabitlenerek hareket etmesi engellenmiştir. Sandviç numunenin ilk hızı 380 m/s'dir.



Şekil 5. SHBB test sisteminin nümerik modeli

Şekil 6'da atış test sisteminin nümerik modeli gösterilmektedir. Model üst ve alt tutucu plakalar, kompozit plaka ve sandviç mermiden oluşmaktadır. Deneyler sırasında üst tutucu cıvatalar ile sıkılarak kompozit plaka sabitlenmektedir. Bu durum

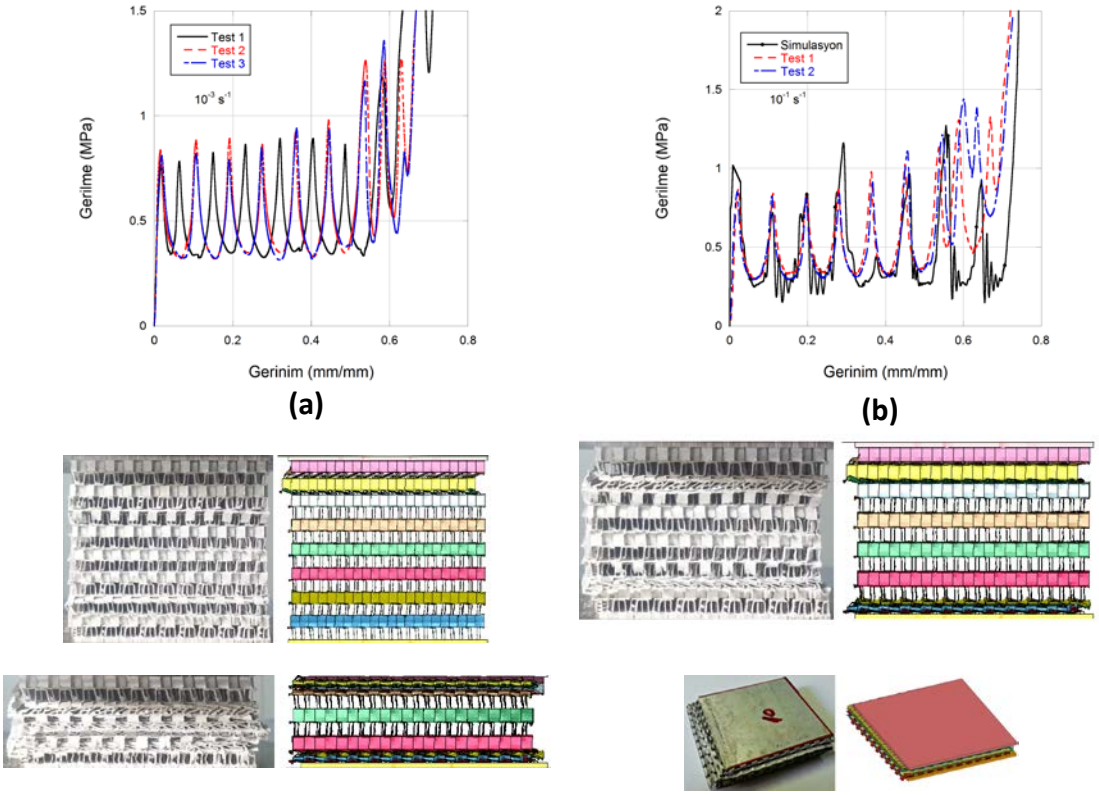
SET_LOAD kartı ile tutucu üzerine 500 N'luk bir basma kuvveti verilerek modellenmiştir. Deneylerde hız okuyucular tarafından okunan ilk çarpma hızı simulasyonlarda mermiye tanımlanmıştır. Kompozit plaka MAT162 COMPOSITE malzeme modeli ile modellenmiştir. MAT 162 malzeme modeli Matzenmiller hasar mekaniği ve Hashin ilerleyen bozulma prensiplerini kullanarak hasar başlangıcından sonra malzemenin yumuşama davranışlarını kullanılır [12, 13]. MAT 162 modeli matris malzeme bozulması, fiber kırılması, fiber ezilmesi ve delaminasyon hasarlarını bütün yükleme koşularında simüle edebilme özelliğine sahiptir. Bu malzeme modelinde 4 adet AM parametresi kullanılarak malzeme modelinde oluşan hasar modellenebilmektedir. AM1 ve AM2 parametreleri 1 ve 2 yönündeki hasarları, AM3 parametresi fiber ezilmesi ve fiber kayması hasarlarını ve AM4 parametresi matris ve delaminasyon hasarlarını belirlemektedir. MAT 162 malzeme modelindeki 42 adet parametre deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş ve modelde deneme ve yanılma yöntemleriyle geliştirilmiştir. MAT 162 malzeme model parametre belirleme metotları bir başka çalışmada verilmiştir [14].



Şekil 6. Atış sisteminin nümerik modeli

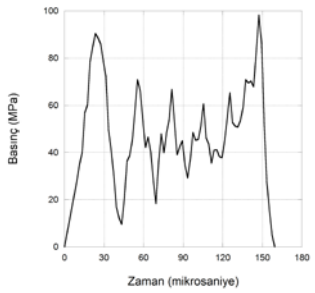
4. Sonuçlar ve tartışma

Şekil 7(a)'de dalgalı sandviç yapının 10^{-3} s^{-1} gerinim hızındaki gerilme-gerinim eğrileri gösterilmektedir. Yapının basma dayanımı yaklaşık 0,84 MPa civarındadır. Şekil 7(b)'de 10^{-1} s^{-1} gerinim hızında gerçekleştirilen basma işleminin simülasyon ve deney sonuçları gösterilmektedir. Simülasyon yapının ilk basma dayanımını yaklaşık 0.15 MPa fazla tahmin etmesine karşılık, sonuçlar yeterli yaklaşımı göstermiştir. İlk basma dayanımının deney sonuçlarından fazla hesaplanmasının nedenleri olarak sayısal modelde kullanılan yapının geometrik olarak "mükemmel" olması ve simülasyonda çözüm süresini kısaltmak amacıyla kullanılan "mass scaling" yöntemi sıralanabilir. Şekil 7(c)'de yükleme sırasında yapıda oluşan deformasyon deneysel ve sayısal olarak gösterilmektedir. İlk yükleme ile yapının bir katmanı ezilmektedir (Şekil 7(c)). Bu deformasyon yükleme sırasınca kademeli olarak diğer katmaların çökmesi ile devam etmekte, bu da gerilme eğrisinde uç noktaların oluşmasına neden olmaktadır. Gerinimin 0.65~0.70 olduğu noktada yapı tamamen sıkılaşmaktadır. Sayısal model dalgalı katmanlarda oluşan eğilmeyi tam olarak yakalamıştır. Sayısal simülasyon sonunda oluşan numune şekli deney ile birebir aynıdır.



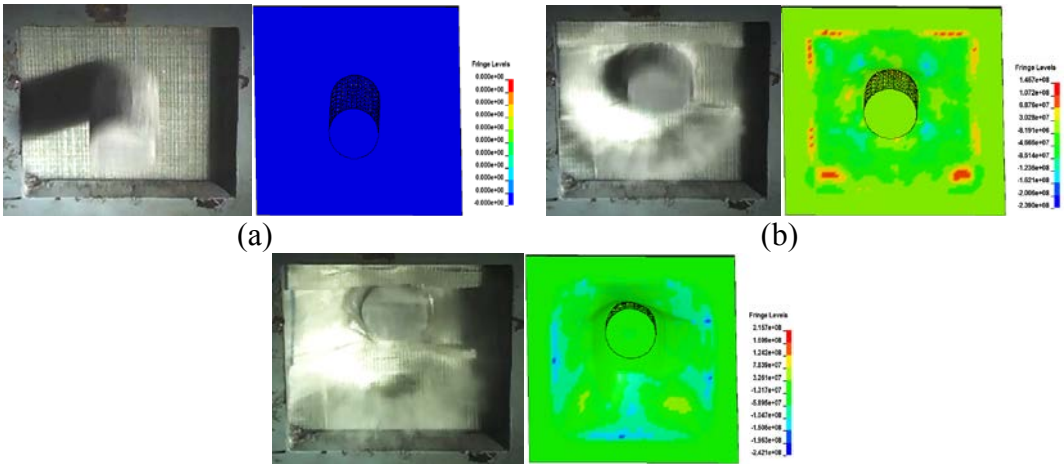
Şekil 7. Dalgalı sandviç yapının: (a) 10^{-3} s^{-1} gerinim hızındaki gerilme-gerinim eğrileri, (b) 10^{-3} s^{-1} gerinim hızındaki simülasyon ve deney gerinim hızındaki gerilme-gerinim eğrileri ve (c) simülasyon ve deneylerde oluşan deformasyon.

Şekil 8'de SHBB simülasyonundan elde edilen basınç-zaman grafiği gösterilmektedir. Sandviç yapı çubuk üzerinde maksimum ~90 MPa değerinde basınç oluşturmuştur. Sandviç yapıdaki katmanların ezilmesi ile basınç 45 mikrosaniyede minimum değer olan 10 MPa'a düşmüştür. Sandviç yapının meydana getirdiği maksimum basınç değerinin, Radford'un alüminyum köpük kullanarak elde ettiği basınç değerinden [4] yaklaşık 40 MPa daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca geri kalan katmanların ezilmesi ile basınç dalgası ortalama 50 MPa civarında 45 ile 120 mikrosaniyeler arasında devam ettirilmiştir. Chen'in TNT kullanarak yapmış olduğu su altı patlama testlerinde elde etmiş olduğu basınç-zaman eğrilerinde 12MPa maksimum basınç ve 1ms etki zamanı bulunmuştur. Bu çalışmada ise 380 m/s çarpma hızı kullanılarak 90 MPa maksimum basınç ve 0.15 ms etki süreci elde edilmiştir. [15]



Şekil 8. Dalgalı sandviç yapının SHBB simülasyonunda çubuk üzerinde oluşturduğu basınç dalgası

Şekil 9(a), (b) ve (c)'de hızlı kamera ile kaydedilen test ve simülasyon görüntüleri 150 mikro saniye zaman aralıklarıyla gösterilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde kompozit malzemelerde herhangi bir delinme tespit edilememiş, sadece katmanlar arasında ayrılma gözlenmiştir. İlk temas anında malzeme üzerinde lokal bir basınç dalgası yaratan mermi kademeli olarak ezilmeye devam ederek basınç dalgasının tüm kompozit yüzeyine dağılmasını sağlamıştır. Görüntülerden de anlaşılacağı gibi çarpma olayı 1. ve 2. görüntüler arasında gerçekleşmekte ve 2. görüntüde merminin %50 oranında ezildiği ve kompozit plaka üzerinde belirgin bir sehim oluşturduğu belirlenmiştir. 3. görüntü anına kadar kompozit malzeme ile mermi arasında plastik şok dalgası hareket etmiş ve sonrasında mermide yakalanarak kompozit plakayla beraber hareket etmiştir.



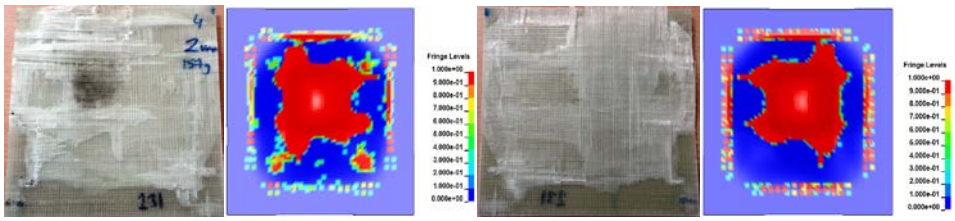
(a) (b)

(c)

Şekil 9. Test ve simülasyon görüntüleri; (a)0, (b) 150 ve (c) 300 mikro saniye

Deney sonrasında kompozit plakalar incelendiğinde orta kesimin 50,2 mm değerinde sehim yaptığı görülmüştür. Simülasyon çalışmasında ise ortadaki sehim miktarı 48,64 mm olarak ölçülmüştür. Simülasyon ve deneysel çalışmalar gözlemsel olarak karşılaştırıldığında, merminin çarptığı ön yüzeyde yoğun delaminasyon oluştuğu ve merminin bulunduğu kısmın alt ve üst bölgelerinde sağa ve sola doğru ilerlediği gözlemlenmiştir (Şekil 10(a)). Kompozit plakanın arka yüzeyinde merminin çarptığı

kısımda da delaminasyon oluşmuştur (Şekil 10(b)). Ön yüzeyde de olduğu gibi arka yüzeyde kompozit plakadaki fiberlerin 0°/90° oryantasyona sahip olması nedeniyle yatay ve dikey delaminasyonlar bulunmaktadır. Simülasyon hem arka hem de ön yüzde oluşan delaminasyonu ve delaminasyon şeklini yeterince yakaladığı görülmüştür.



(a) (b)

Şekil 10. Kompozit plakada meydana gelen hasar;(a) Ön ve (b) arka yüz

Kullanılan sandviç yapı homojen bir yapıya sahip olup, fin geometrisi ile yoğunluğu kolayca değiştirilerek farklı basınçların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada gösterilen yöntemle, yapılar patlama testleri öncesinde laboratuvar ortamında ve sayısal olarak test edilebilmektedir. Bu tür ön testler ve modeller patlama testlerine alınacak malzemeleri belirlemede kolaylık sağlayarak malzeme ve zaman kayıplarını azaltacaktadır niteliktedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada üretimi pahalı ve yapısı heterojen olan metal köpükler yerine yeni bir yapı olan çok katmanlı zikzak 3003 Al ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapılar patlama etkisini oluşturmak amacıyla atış test sisteminde mermi olarak kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonunda zikzak ikizkenar yamuk dalgalı göbekli sandviç yapıların doğrudan basınç dalgası oluşturma testlerinde kullanılabileceği ve literatürde test edilen alüminyum köpüklerden daha yüksek miktarda basınç değerleri oluşturduğu görülmüştür. Kullanılan sandviç yapı homojen bir yapıya sahip olup, fin geometrisi ile yoğunluğu kolayca değiştirilerek farklı basınçların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır.

6. KAYNAKÇA

[1] M. F. Ashby, A. G. Evans, N. A. Fleck, L. J. Gibson, J. W. Hutchinson, and H. N. G. Wadley, "Chapter 11 - Energy management: Packaging and blast protection," in *Metal Foams*, ed Burlington: Butterworth-Heinemann, 2000, pp. 150-170.

[2] A. Chen, H. Kim, R. J. Asaro, and J. Bezares, "Non-explosive simulated blast loading of balsa core sandwich composite beams," *Composite Structures,* vol. 93, pp. 2768-2784, 2011.

[3] G. J. McShane, D. D. Radford, V. S. Deshpande, and N. A. Fleck, "The response of clamped sandwich plates with lattice cores subjected to shock loading," *European Journal of Mechanics - A/Solids,* vol. 25, pp. 215-229, 2006.

[4] D. D. Radford, V. S. Deshpande, and N. A. Fleck, "The use of metal foam projectiles to simulate shock loading on a structure," *International Journal of Impact Engineering,* vol. 31, pp. 1152-1171, 2005.

[5] D. D. Radford, N. A. Fleck, and V. S. Deshpande, "The response of clamped sandwich beams subjected to shock loading," *International Journal of Impact Engineering,* vol. 32, pp. 968-987, 2006.

[6] D. D. Radford, G. J. McShane, V. S. Deshpande, and N. A. Fleck, "The response of clamped sandwich plates with metallic foam cores to simulated blast loading," *International Journal of Solids and Structures,* vol. 43, pp. 2243-2259, 2006.

[7] H. J. Rathbun, D. D. Radford, Z. Xue, M. Y. He, J. Yang, V. Deshpande, N. A. Fleck, J. W. Hutchinson, F. W. Zok, and A. G. Evans, "Performance of metallic honeycomb-core sandwich beams under shock loading," *International Journal of Solids and Structures,* vol. 43, pp. 1746-1763, 2006.

[8] Z. Wang, L. Jing, J. Ning, and L. Zhao, "The structural response of clamped sandwich beams subjected to impact loading," *Composite Structures,* vol. 93, pp. 1300-1308, 2011.

[9] Q. Xie, L. Jing, Z. Wang, and L. Zhao, "Deformation and failure of clamped shallow sandwich arches with foam core subjected to projectile impact," *Composites Part B: Engineering,* vol. 44, pp. 330-338, 2013.

[10] C. Kılıçaslan, M. Güden, İ. K. Odacı, and A. Taşdemirci, "The impact responses and the finite element modeling of layered trapezoidal corrugated aluminum core and aluminum sheet interlayer sandwich structures," *Materials & Design,* vol. 46, pp. 121-133, 2013.

[11] M. Guden, U. Yildirim, and I. W. Hall, "Effect of strain rate on the compression behavior of a woven glass fiber/SC-15 composite," *Polymer Testing,* vol. 23, pp. 719-725, 2004.

[12] A. Matzenmiller, J. Lubliner, and R. L. Taylor, "A constitutive model for anisotropic damage in fiber-composites," *Mechanics of Materials,* vol. 20, pp. 125-152, 1995.

[13] Z. Hashin, "Failure Criteria for Unidirectional Fiber Composites," *Journal of Applied Mechanics,* vol. 47, pp. 329-334, 1980.

[14] A. Tasdemirci, A. Kara, A. K. Turan, G. Tunusoglu, M. Guden, and I. W. Hall, "Experimental and Numerical Investigation of High Strain Rate Mechanical Behavior of a [0/45/90/ - 45] Quadriaxial E-Glass/Polyester Composite," *Procedia Engineering,* vol. 10, pp. 3068-3073, 2011.

[15] Y. Chen, Z. P. Tong, H. X. Hua, Y. Wang, and H. Y. Gou, "Experimental investigation on the dynamic response of scaled ship model with rubber sandwich coatings subjected to underwater explosion," *International Journal of Impact Engineering,* vol. 36, pp. 318-328, 2009.

SAVUNMA UYGULAMALARINDA MÜHENDİSLİK VE YÖNETİM İŞ SÜREÇLERİNİN ÇALIŞANLAR TARAFINDAN BENİMSENMESİ İÇİN BİR MODEL

Mustafa Değerli [(a)], Sevgi Özkan [(b)]

[(a)]TÜBİTAK, BİLGEM, İleri Teknolojiler Araştırma Enstitüsü, 06800, Ankara, Türkiye, md@mustafadegerli.com

[(b)]Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Enformatik Enstitüsü, 06800, Ankara, Türkiye, sevgiozk@metu.edu.tr

ÖZ

Savunma uygulamalarında sistemlerin veya yazılımların geliştirilmesi ve idamesinde işletilen mühendislik ve yönetim iş süreçleri, bu iş süreçlerinin üretilen ürünün kalitesini ve başarısını doğrudan etkilemesi bakımından önemlidir. İş süreçleri çalışanlar tarafından ne derece benimsenirse, iş süreçlerinin üretilen ürün üzerindeki etkisi o derece olacaktır. Bu nedenle iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesi önemli ve gereklidir. Bu bildiride iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesinin sağlanabilmesi için geliştirilen bir model ve bu modelin geliştirilmesine ilişkin detaylar sunulmuştur. Model geliştirilirken savunma uygulamalarında sıklıkla kullanılan süreç temelli bazı model/standartlarla (CMMI-DEV, ISO/IEC-15504, ISO-9001, ISO/IEC-27001, NATO-AQAP-160, NATO-AQAP-2110 ve AS-9100) ilişkili bireylerden veri toplamak için bir anket hazırlanmıştır. Hazırlanan anketi iyileştirmek amacıyla uzman gözden geçirmeleri sağlanmış ve 60 ayrı kullanılabilir veri ile bir pilot uygulama yapılmıştır. İyileştirmeler ve pilot uygulama sonrasında, geliştirilen anket veri toplamak için uygulanmış ve Asya, Avrupa ve Amerika'da savunma alanında mühendis, uzman, yönetici veya danışman olarak çalışan 368 kişiden veri toplanmıştır. Toplanan veriler çeşitli açılardan değerlendirilmiş, ayrıca anketin güvenilirlik ve geçerliliği sağlanmıştır. Modeli geliştirilmek için yapısal eşitlik modeli yaklaşımı kullanılmış ve bu bağlamda keşfedici ve doğrulayıcı faktör analizleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, 18 adet farklı faktör ve bu faktörler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerden oluşan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model savunma uygulamalarında mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesi için hem yöneticiler hem de çalışanlar açısından değerli, önemli ve gerekli bilgiler sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: CMMI, ISO, iş süreçlerinin benimsenmesi, iş süreci mühendisliği, mühendislik ve yönetim iş süreçleri, yapısal eşitlik modeli

A MODEL FOR THE ACCEPTANCE OF ENGINEERING AND MANAGEMENT BUSINESS PROCESSES IN DEFENSE APPLICATIONS BY EMPLOYEES

ABSTRACT

Engineering and management business processes defined and implemented in the development and maintenance of systems or software in defense applications are imperative owing to that these business processes directly influence the quality and success of developed products. The extent to what the business processes accepted by employees determines the degree of influence of business processes on the developed products. Therefore, the acceptance of business processes by employees is vital and required. In this paper, a model which was developed to ensure the acceptance of business processes by employees and details for the development of the model are provided. While developing the model, a questionnaire was prepared to collect data from people who have relations with certain process-focused model/standards (CMMI-DEV, ISO/IEC-15504, ISO-9001, ISO/IEC-27001, NATO-AQAP-160, NATO-AQAP-2110, and AS-9100) which are frequently used in defense applications. To refine and improve the questionnaire expert reviews were ensured, and a pilot study was conducted with 60 usable responses. After improvements and piloting, the questionnaire was applied to collect data, and 368 responses were collected from people working as engineers, specialists, managers or consultants in defense field in Asia, Europe, and America. Here, the collected data were evaluated regarding certain aspects, and reliability and validity of the questionnaire were ensured. Structural equation modeling approach was applied to develop the model, and in this context, exploratory and confirmatory factor analyses were applied. As a result, a model with 18 particular factors and their statistically significant relationships was developed. The model provides valuable, important, and expected information for managers, executives, and employees to provide and ensure the acceptance of engineering and management business processes in defense applications by employees.

Keywords: Acceptance of business processes, business process engineering, CMMI, engineering and management business processes, ISO, structural equation modeling

1. GİRİŞ

İş süreçleri temelli standartlar veya modeller kullanılarak yapılan iş süreci iyileştirmelerinin takvim ve maliyet performansı, ürün veya hizmet kalitesi, yatırım getirisi ve diğer birçok performans çıktısında iyileştirme sağlayabildiği artık doğrulanmıştır [1]. Günümüzde birçok organizasyon, özellikle savunma alanında sistem veya yazılım geliştiren ve idame ettiren organizasyonlar, bu nedenle tanımlı iş süreçlerini oluşturmakta ve iş süreci temelli çalışmaktadırlar.

Ayrıca Carnegie Mellon Üniversitesi, Yazılım Mühendisliği Enstitüsü tarafından "Bir sistem veya ürünün kalitesi, ilgili sistem veya ürünü üretmekte ve idame ettirmekte kullanılan iş süreçlerinin kalitesi tarafından yüksek oranda etkilenir." öncülü alınmış ve kalitenin sağlanması ile ilgili birçok standart veya model bu öncül üzerine inşa edilmiştir [2]. Bu nedenlerle, iş süreçleri organizasyonlar açısından çok değerli ve önemli varlıklardır. Ancak, iş süreçleri organizasyonlarda çalışanlar tarafından benimsenmedikçe ve uygulanmadıkça, iş süreçleri için gösterilen tüm çabalar zaman, kaynak ve para israfından öteye gidemeyecektir. Çünkü asıl olan iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesi ve bu yolla gereklerinin tam olarak yerine getirilmesi ve bu sayede de belirlenen bütçe, kalite, kapsam veya takvim hedeflerine ulaşılmasıdır [3]. Bu yüzden, çalışanların iş süreçlerini benimsemesi ve dolayısıyla bu yolla uygulaması önemlidir. Bu bildiride iş süreçlerinden istenilen faydayı elde etmede önemli bir etken olarak görülen iş süreçlerinin benimsenmesinin sağlanabilmesi için referans niteliğinde bir modelin geliştirilmesi ve modelin detayları açıklanmaktadır.

1.1. Problemin tanımı

Çeşitli konuların, sistemlerin veya teknolojilerin bireyler tarafından benimsenmesinde etkili olabilecek faktörlerin açıklanması veya araştırılması için yapılmış çok çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Örneğin Rogers'in innovasyon difüzyon teorisi [4], Fishbein ve Ajzen'nin planlı eylem teorisi [5], Davis, Bagozzi ve Warshaw'ın teknoloji benimseme modeli [6], Thompson, Higgins ve Howell'in kişisel bilgisayar kullanma modeli [7], Davis, Bagozzi ve Warshaw'ın motivasyon modeli [8], Ajzen'nin planlı davranış teorisi [9], Taylor ve Todd'un teknoloji benimseme modeli ve planlı davranış teorisini birleştirmesi çalışması [10], Campeau ve Higgins'in sosyal bilişsel teorisi [11], Venkatesh ve Davis'in teknoloji benimseme modelinin ikinci versiyonu [12], Venkatesh, Morris, Davis, F. ve Davis, G.'nin teknolojinin benimsenmesi ve kullanılması için birleştirilmiş modeli [13] ve Venkatesh ve Bala'nın teknoloji benimseme modelinin üçüncü versiyonu [14] bu bağlamdaki önemli örneklerdir. Ancak bu çalışmaların iş süreçlerinim benimsenmesi bağlam ve içeriğine geniş ve detaylı olarak uygulanmış bir hâli mevcut değildir.

Temelde sistemlerin varoluş amaçlarına ulaşılması için sistemlerin kullanıcılar tarafından benimsenmesi gerektiği kaçınılamaz bir gerçekliktir. Savunma uygulamalarında sistem veya yazılımların geliştirilmesi ve idamesinde işletilen mühendislik ve yönetim iş süreçleri, bu süreçlerin üretilen veya sunulan ürün veya hizmetin kalitesini ve başarısını doğrudan etkilemesi bakımından önemlidir. İş süreçleri organizasyonlarda çalışanlar tarafından ne derece benimsenirse, iş süreçlerinin üretilen ürün üzerindeki etkisi de o derecede olacaktır. Bu nedenle iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesi önemli ve gereklidir. Dolayısıyla iş süreçlerinin benimsenmesi veya benimsetilmesi hususunda ortaya çıkacak tespitler, hem yöneticiler hem de çalışanlar açısından önemli ve dikkate değer olacaktır.

1.2. Çalışmanın evrimi

Öncelikle iş süreçleri ve benimseme konularında bir literatür araştırması yapılmıştır. Sonrasında, buradan elde edilen bilgiler ışığında, organizasyonlarda mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin benimsenmesi bağlam ve içeriğinde faktörler belirlenmiş ve hipotezler oluşturulmuştur. Bu adımı başlangıç modelin geliştirilmesi ve önerilmesi takip etmiştir. Model önerilmesini müteakip olarak, bir anket enstrümanı geliştirilmiştir. Anketin geliştirilmesi ve sonrasında, anketin içerik olarak geçerliliği sağlanmıştır. Bu adımdan sonra, pilot çalışma için anket uygulanmış, bir miktar veri toplanmıştır ve toplanan veriler analiz edilmiştir. Daha sonra, anket daha büyük kitlelere uygulanarak veri toplanmıştır. Ardından toplanan veriler öncelikle tanımlayıcı istatistik açısından analiz edilmiş ve daha sonra tüm toplanan veriler çeşitli açılardan incelenmiştir. Bu sırada geliştirilen anketin güvenilirlik değeri de test edilmiş ve sağlanmıştır. Güvenilirlik sağlandıktan sonra, anket yoluyla toplanan veriye keşfedici faktör analizi uygulanmış ve ardından doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır. Daha sonra başlangıç model tahmin edilmiş ve değerlendirilmiştir. İlk tahmin ve değerlendirmeden sonra önerilen model güncellenmiş ve tekrar doğrulayıcı faktör analizi gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar sonrasında nihai model oluşturulmuş ve değerlendirilmiştir.

2. MODELİN GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI

2.1. Faktörler ve ilişkili maddelerin belirlenmesi

Modelin geliştirilmesi sırasında yapılan araştırma prensip olarak bazı faktörleri belirli teknoloji benimseme modelleri ve teorilerinden almış, bunlara iş süreçlerinin benimsenmesi bağlam ve içeriği ile ilgili kendi özel faktörlerini ekleyerek iş süreçlerinin benimsenmesi için geniş bir benimseme modeli oluşturmayı amaçlamıştır. Özel olarak, teknoloji benimseme modelinin [12] algılanan kullanışlılık, algılanan kullanım kolaylığı ve davranışsal niyet faktörleri, teknolojinin benimsenmesi ve kullanılması için birleştirilmiş teorinin [13] kolaylaştırıcı etkenler faktörü ve teknoloji benimseme modelinin üçüncü versiyonunun [14] sübjektif norm, çıktı kalitesi, sonuçların gösterilebilirliği, işle ilgililik ve objektif kullanılabilirlik faktörleri bu çalışmada içerilmiştir. Ayrıca iş süreçlerinin benimsenmesi bağlam ve içeriği ile ilgili özel ve özgün olarak bazı faktörler tanımlanmıştır. Bunlar organizasyon kültürü, denetim, uyarlama, işletme & bakım, kararlılık, detay seviyesi, geliştirmeye katılım, eğitim, medyum ve modellemedir. Sonuç olarak iş süreçlerinin benimsenmesi modeli için 19 farklı faktör tanımlanmıştır. Bu faktörlerin iş süreçlerinin benimsenmesindeki anlamları ve karşılıkları aşağıda açıklanmıştır. Bu faktörler belirlendikten sonra, bu faktörleri açıklayan ilgili maddeler literatürden beslenilerek oluşturulmuş ve aşağıda belirtilen 19 faktör ile ilgili toplamda 70 adet ilgili madde belirlenmiştir. Bu 70 madde veri toplamada kullanılan ankette katılımcılara yöneltilen soruları oluşturmuştur.

- ***Denetim (DNT)***: Bir şeyin dikkati bir şekilde kontrol edilmesi veya gözden geçirilmesi veya iş ürünlerinin veya iş süreçlerinin belirli kriterlere göre bağımsız bir şekilde incelenmesi ve değerlendirilmesi olarak tanımlanır [15].
- ***Davranışsal Niyet (DN)***: Bireyin bir davranışı yapmak veya yapmamak hakkındaki bilinçlilik, farkındalık ve niyet derecesi olarak tanımlanır [6].
- ***Kolaylaştırıcı Etkenler (KE)***: İlgili teknoloji veya sistemin kullanılmasını teşvik etmek veya kullanılmasına yardım etmek için var olan kurumsal, teknik veya prosedürel altyapı ve ayarlamalardır [13].
- ***Detay Seviyesi (DS)***: İyi detay seviyesi ne çok fazla ne de çok az bilgi içermek olarak tanımlanmıştır. Başka bir ifadeyle, süreçlerin olması gerektiği kadar, ne fazla ne de az bilgi ve detay içermesi gerektiği kastedilmiştir.
- ***İşle İlgililik (İİ)***: İşle ilgililik sistemin uygulanabilirliği ve iş veya görevlerle ilgili olması anlamına gelir [12].
- ***Medyum (MED)***: Medyum ile temelde üç şey kastedilmektedir. Bunlar iş süreçlerinin dokümante edildiği dil, iş süreci sisteminin medyası (basılı veya çevrimiçi) ve iş süreçlerinin içerdiği elementlerdir (metin, görsel öğeler, vb.).
- ***Modelleme (MDL)***: Bu faktörle iş süreçlerinin modellenmesi kastedilmiştir ve iş süreçlerinin modellenmesi iş süreci mimarisi, tasarım ve tanımlarının gösterimi şeklinde tarif edilir [16]. Tanımlayıcı iş süreçleri ne yapılacağını, tarif edici iş süreçleri ise nasıl yapılacağını belirtirler [17].
- ***Objektif Kullanılabilirlik (OK)***: Bir işi yapmak için algılanandan daha ziyade gerçekte harcanan zamanı ve eforu esas alır [12].
- ***İşletme & Bakım (İB)***: Bu faktörle iş süreçlerinin işletimi ve bakımı için adanan kaynak ve eforlar kastedilmiştir. İş süreçleri için iyi bir işletme ve bakım pratiğinin yetkin ve yeterli kaynakların iş süreçlerinin tanımlanması, yaygınlaştırılması ve bakımı için tahsis edilmesi ile mümkün olduğu varsayılmıştır.
- ***Organizasyon Kültürü (ORK)***: Bir organizasyonda kişilerin anlayışlarını ve hareketlerini şekillendiren kolektif birikimler olarak nitelendirilebilir. Çeşitli durumlardaki uygun ve kabul edilebilir hareket tarzlarını şekillendirir [18].
- ***Çıktı Kalitesi (ÇK)***: Sistemin işini iyi ve beklendik seviyede yerine getirme derecesi olarak tanımlanabilir [12].
- ***Geliştirmeye Katılım (GK)***: Bu faktörle, iş süreçleri tanımlanırken ve yaygınlaştırılmadan önce yöneticilerin, çalışanların ve diğer ilgili paydaşların iş sürecinin uygulanabilirliği ve uygunluğunu sağlamak üzere bu işlemlerin bir parçası olarak yer almaları kastedilmiştir.
- ***Algılanan Kullanım Kolaylığı (AKK)***: Kişinin bir şeyi kullanırken hissettiği kolaylık seviyesi ve rahatlık anlamına gelir [6].

- ***Algılanan Kullanışlılık (AK)***: Kişinin bir sistemi kullanırken veya sonucunda, iş yapılıyor, gerekler sağlanıyor ve gerektiğinde performans iyileşmesi oluyor diye düşünme derecesidir [6].
- ***Sonuçların Gösterilebilirliği (SG)***: Kişinin bir sistemi kullanması sonucunda, ortaya çıkan şeylerin elle tutulabilir, fark edilebilir ve üzerinde konuşulabilir olması seviyesidir [19].
- ***Kararlılık (KRR)***: Kararlılıkla iş süreçlerinin çok sık ve rahatsız edici derecede güncellenmemesi ve değiştirilmemesi, kararlı olmaları kastedilmiştir. İş süreçleri için iyi bir kararlılık düzeninde, iş süreçlerin sıkça ve rahatsız edici şekilde değil, planlı ve gerektikçe güncellenmesi ve değiştirilmesi ideal olarak varsayılmıştır.
- ***Sübjektif Norm (SN)***: İnsanların bir işi yaparken veya yapmazken kendileri için önemli olan diğer insanların düşünce ve davranışlarını önemsemeleri ve örnek almaları durumu olarak tanımlanır [5].
- ***Uyarlama (UYR)***: Uyarlama ile tanımlı iş süreçlerinin projelerde belirli bir amaç için, daha önce belirlenmiş kurallara göre uyarlanması ve ayarlanması kastedilmiştir [15].
- ***Eğitim (EĞT)***: Eğitim, sınıfta işlenen dersler, nedensel rehberlik, e-öğrenme, yönlendirmeli kendi kendine öğrenme, iş üzerinde eğitim, vb. gibi seçenekler içeren formal veya informal aktiviteleri içerir [15]. Eğitim faktörü ile, iş süreçleri, iş süreçlerinin amaçları, iş süreçleri sistemi, yapısı ve etkileşimleri hakkındaki eğitimlerin gerekliliğinin vurgulanması amaçlanmıştır.

2.2. Hipotezlerin ve ilk modelin geliştirme için oluşturulması

Genel olarak benimseme modellerinde, özel olarak da teknoloji benimseme modelinde temel olarak üç ana faktör bulunmaktadır. Bunlar algılanan kullanışlılık, algılanan kullanım kolaylığı ve davranışsal niyettir. Hipotezler oluşturulurken daha önce belirlenen 19 faktörden bu faktörler dışında arta kalanların her biri bu üç temel faktörle ilişkilendirilerek hangi faktörün hangi faktör(ler) üzerinde etkili olduğunu belirlemek üzere toplamda 51 hipotezden oluşan bir başlangıç model geliştirilmek için önerilmiştir.

2.3. Uygulanan bilimsel metot

Modelin geliştirilmesi sırasında yapılan çalışmada parçalı en küçük kareler yapısal eşitlik modelinden yararlanılmıştır. Uygulanan yapısal eşitlik modeli yedi temel adımdan oluşmuştur. Bunlar; verilerin toplanması, keşfedici faktör analizinin uygulanması, doğrulayıcı faktör analizinin uygulanması, başlangıç modelin tahmini ve değerlendirmesinin yapılması, model modifikasyonunun yapılması, doğrulayıcı faktör analizinin tekrar edilmesi ve nihai model tahmini ve değerlendirmesinin yapılmasıdır.

Uygulanan keşfedici faktör analizi 11 adımda gerçekleştirilmiştir. Bunlar; örneklem boyutu yeterliliğinin kontrol edilmesi, anti-görüntü korelasyon matrisinin analiz

edilmesi, Kaiser-Meier-Olkin ve Bartlett testlerinin uygulanması, çıkartılmış toplumluluk değerlerinin kontrol edilmesi ve adreslenmesi, faktör analizi çıkarım modunun tanımlanması ve uygulanması, döndürme metodunun tanımlanması ve uygulanması, madde ana yüklenmelerinin kontrol edilmesi, döndürülmüş bileşen matrisinin yaratılması, faktör sayısının belirlenmesi, açıklanan toplam varyansın değerlendirilmesi ve analiz edilmesi ve faktörler ve faktörler için maddelerin tanımlanması ve analiz edilmesidir.

Uygulanan doğrulayıcı faktör analizleri ise 7 adımda gerçekleştirilmiştir. Bunlar; modelin çizilmesi, parçalı en küçük kareler algoritmasının çalıştırılması, faktör yüklenmelerinin kontrol edilmesi, kompozit güvenilirliklerin kontrol edilmesi, çıkarılan ortalama varyans değerlerinin kontrol edilmesi, yakınsak geçerliliğin sağlanması ve diskriminant geçerliliğinin kontrol edilmesi ve sağlanmasıdır.

3. SONUÇ

Uygulanan kapsamlı metot ve yapılan detaylı analizler sonucunda, mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin organizasyonlarda çalışanlar tarafından benimsenmesi veya çalışanlara benimsetilmesi bağlam ve içeriğinde 18 adet farklı faktör belirlenmiştir. Bunlar; Organizasyon Kültürü, Sübjektif Norm, Denetim, Çıktılar & Sonuçlar, İşle İlgililik, İşletme & Bakım, Kararlılık, Detay Seviyesi, Objektif Kullanılabilirlik, Kolaylaştırıcı Etkenler, Algılanan Kullanışlılık, Algılanan Kullanım Kolaylığı, Medyum, Modelleme, Eğitim, Geliştirmeye Katılım ve Süreçlerin Benimsenmesi için Davranışsal Niyet'tir.

Yapılan analizler sonucunda, ayrı ayrı tasarlanan Çıktı Kalitesi ve Sonuçların Gösterilebilirliği faktörlerinin birleşik bir faktör gibi davrandığı tespit edilmiş ve yakın ve anlamlı ortak yönleri nedeniyle bu faktörler birleştirilerek Çıktılar & Sonuçlar (ÇS) şeklinde ifade edilmiştir. Geliştirilen modeldeki faktörlerin mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin benimsenmesi bağlam ve içeriğindeki anlam ve karşılıkları yukarıda 2.1 bölümünde verilmiştir.

Mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin benimsenmesi ile ilgili olarak belirlenen bu 18 farklı faktörün, organizasyonlarda çalışanların mühendislik ve yönetim iş süreçlerini benimsemeleri ile ilgili olarak toplam %71,583 oranında açıklayıcı ve sağlayıcı nitelikte olduğu saptanmıştır. Ulaşılan bu %71,583 değeri oldukça tatmin edici ve yüksek bir değerdir [20].

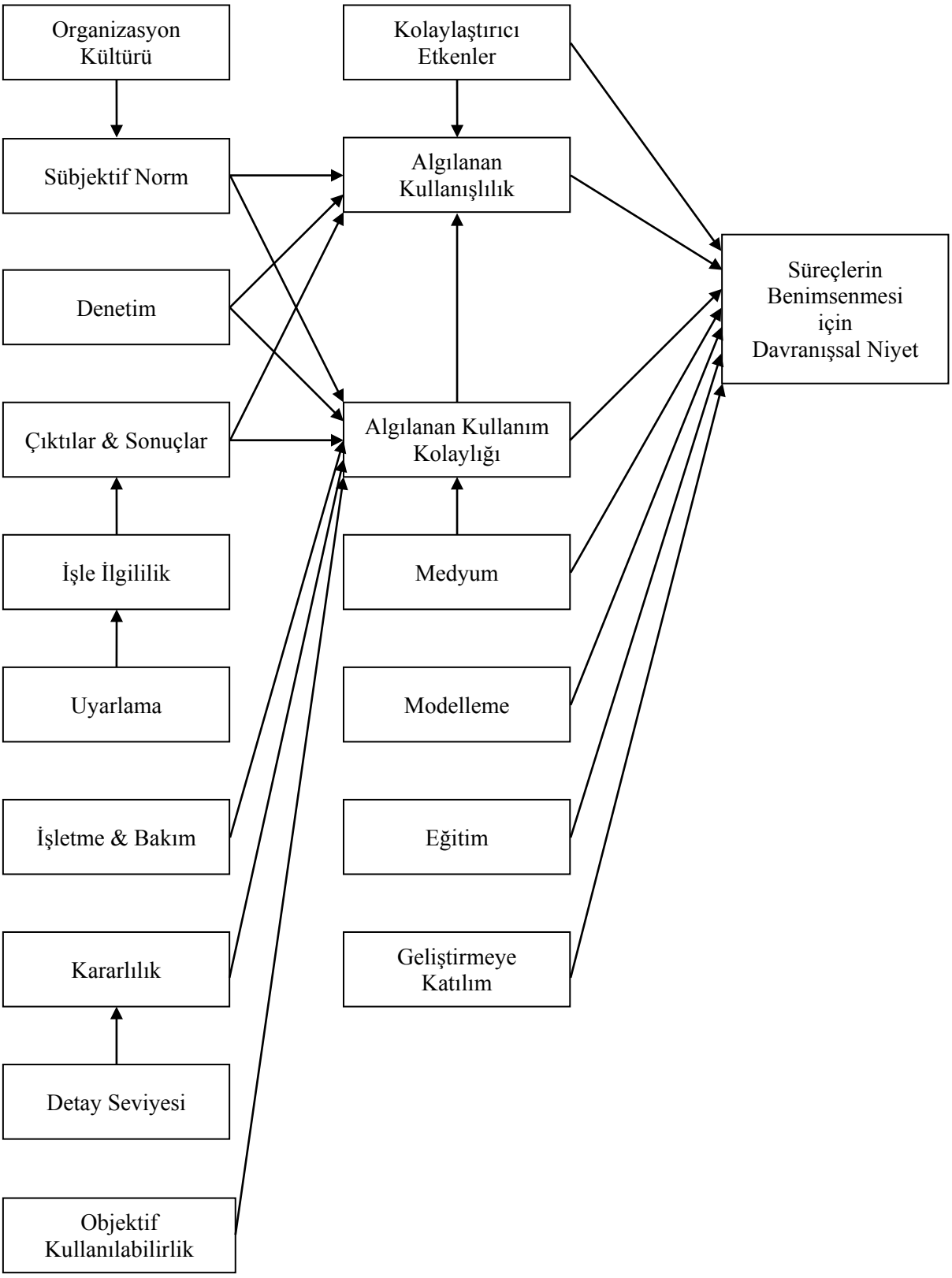
Uygulanan yapısal eşitlik modeli yaklaşımının analizleri sonucunda, iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesi bağlam ve içeriğinde tespit edilen faktörlerin birbirleriyle olan istatistiksel olarak anlamlı ilişkilerini tespit etmeye yönelik yapılan hipotez testlerinin sonuçları ve tespit edilen ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlılık değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Faktörler arasındaki anlamlı ilişkiler ve hipotez testi sonuçları

İlişki	T İstatistik Değeri	Anlamlılık Değeri	Hipotez Testi Sonucu
DNT → AKK	2,229483	0,025	Kabul
DNT → AK	2,090902	0,025	Kabul
KE → DN	1,88016	0,05	Kabul
KE → AK	3,090622	0,005	Kabul
DS → KRR	5,292544	0,0005	Kabul
İİ → ÇS	13,850943	0,0005	Kabul
MDL → DN	2,656718	0,005	Kabul
MED → DN	1,88127	0,05	Kabul
MED → AKK	4,900418	0,0005	Kabul
ORK → SN	6,726822	0,0005	Kabul
İB → AKK	3,610631	0,0005	Kabul
ÇS → AKK	3,647828	0,0005	Kabul
ÇS → AK	4,376938	0,0005	Kabul
OK → AKK	2,276482	0,025	Kabul
GK → DN	2,527817	0,01	Kabul
AKK → DN	2,390711	0,01	Kabul
AKK → AK	3,457146	0,0005	Kabul
AK → DN	2,933096	0,005	Kabul
SN → AKK	3,136113	0,005	Kabul
SN → AK	3,477861	0,0005	Kabul
KRR → AKK	2,064337	0,025	Kabul
UYR → İİ	10,113425	0,0005	Kabul
EĞT → DN	2,216268	0,025	Kabul

Geliştirilen iş süreçleri için benimseme modelindeki faktörler ve bu faktörler arasındaki istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler Şekil 1'de model olarak verilmiştir. Model üzerindeki okların yönü faktörler arasındaki ilişkileri ve yönlerini belirtmektedir.

Belirlenen tüm faktörler ve bu faktörlerin birbirleri ile aralarındaki tespit edilen istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler dikkate alındığında, mühendislik ve yönetim iş süreçlerinin benimsenmesi bağlam ve içeriğinde önemli sonuçlara ulaşılmıştır. Savunma alanında sistem veya yazılım ikmal eden ve geliştiren organizasyonların, geliştirilen bu modeldeki faktörleri ve bu faktörler arasındaki anlamlı ilişkileri, organizasyonlarda mühendislik ve yönetim iş süreçleri ile ilgili tanımlama, geliştirme, yaygınlaştırma, uygulama, bakım ve idame aşamalarında dikkate almaları iş süreçlerinin çalışanlar tarafından benimsenmesine önemli oranda olumlu katkı sağlayacak ve bu sayede de iş süreçlerinin gerçek amaçlarına ulaşılmasına imkân sağlayacaktır.



Şekil 1. İş süreçleri için benimseme modeli

4. KAYNAKÇA

[1] Chrissis, M. B., Konrad, M. D. ve Shrum, S. (2006), CMMI: Guidelines for process integration and product improvement (2nd ed.). Boston: Addison-Wesley.

[2] Gibson, D. L., Goldenson, D. R. ve Kost, K. (2006), Performance results of CMMI-based process improvement. (Rapor Nu. CMU/SEI-2006-TR-004).

[3] Değerli, M. (2012), Identifying factors influencing the acceptance of processes: An empirical investigation using the structural equation modeling approach. *Yüksek Lisans Tezi*. ODTÜ.

[4] Rogers, E. M. (2003), Diffusion of innovations (5th ed.). New York: FreePress.

[5] Fishbein, M. ve Ajzen, I. (1975), Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. Reading, MA: Addison-Wesley.

[6] Davis, F. D., Bagozzi, R. P. ve Warshaw, P. R. (1989), User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. *Management Science*, 35(8), 982-1003.

[7] Thompson, R. L., Higgins, C. A. ve Howell, J. M. (1991), Personal computing: Toward a conceptual model of utilization. *MIS Quarterly*, 15(1), 124-143.

[8] Davis, F. D., Bagozzi, R. P. ve Warshaw, P. R. (1992), Extrinsic and intrinsic motivation to use computers in the workplace. *Journal of Applied Social Psychology*, 22(14), 1111-1132.

[9] Ajzen, I. (1991), The theory of planned behavior. *OB and HD Processes*, 50(2), 179-211.

[10] Taylor, S. ve Todd, P. A. (1995), Understanding information technology usage: A test of competing models. *Information Systems Research*, 6(4), 144-176.

[11] Compeau, D. R. ve Higgins, C. A. (1995), Application of social cognitive theory to training for computers kills. *Information Systems Research*, 6(2), 118-143.

[12] Venkatesh, V. ve Davis, F. (2000), A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science*, 46(2), 186-204.

[13] Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. ve Davis, F. D. (2003), User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478.

[14] Venkatesh, V. ve Bala, H. (2008), Technology acceptance model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, 39(2), 273-315.

[15] CMMI Product Team (2010), CMMI for development, version 1.3: Improving processes for developing better products and services (Rapor Nu. CMU/SEI-2010-TR-033).

[16] Feiler, P. ve Humphrey, W. (1992), Software process development and enactment: Concepts and definitions (Rapor Nu. CMU/SEI-92-TR-004).

[17] Wang, Y. ve King, G. (2000), Software engineering processes: Principles and applications. Boca Raton, Fla.: CRC Press.

[18] Ravasi, D. ve Schultz, M. (2006), Responding to organizational identity threats: Exploring the role of organizational culture. *Academy of Management Journal*, 49(3), 433-458.

[19] Moore, G. C. ve Benbasat, I. (1991), Development of an instrument to measure perceptions of adopting an information technology innovation. *Information Systems Research*, 2(3), 192-222.

[20] Tabachnick, B. G. ve Fidell, L. S. (2001), Using multivariate statistics (4th ed.). Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.

TORPİDO KARŞI TEDBİR YÖNTEMLERİNİN BENZETİM ORTAMINDA KARŞILAŞTIRMALI BAŞARIMLARI

Halil Akçakaya [(a)], Ufuk Ülüğ [(b)], Tolga Alasağ [(c)], Melike Gürbüz [(d)], Dr. Nurşen Sarı[(e)], Ümit Özkan[(f)],

[(a,b,c,d,e,f)] TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN Sualtı Savunma Teknolojileri, Gebze-KOCAELİ, (halil.akcakaya, ufuk.ulug, tolga.alasag, melike.gurbuz, nursen.sari,umit.ozkan) @tubitak.gov.tr

ÖZ

Denizaltılar (D/A) torpido tehdidi karşısında torpido güdümünü kandırmak amacıyla D/A akustik özelliklerini taklit eden aldatıcı ve torpido sonarını etkisiz kılan karıştırıcı fırlatırlar. "Soft-Kill" adı verilen bu yöntemler torpidoyu kendi üzerine çekerek D/A'nın sakınmasını sağlarken torpidonun takat kaynağını da tüketmeye çalışırlar. Modern torpidoların güdümü, bu aldatma ve karıştırmaya karşı savunmasız değildir. Günümüzde torpidolar, hedefin hareketini analiz ederek aynı zamanda aldığı akustik sinyaller üzerinde gelişmiş analizler yaparak hedef, aldatıcı/karıştırıcı ayrımı yapma ve uygun angajman geliştirme yeteneğine sahiptir. Bu nedenle "Soft-Kill" karşı tedbir sistemlerinin torpido tehdidi karşısındaki başarımları tartışılmaya başlanmış ve D/A savunması için tehdidi daha hızlı ve yüksek olasılıkla yok edebilecek karşı tedbir sistemlerinin kullanılması gündeme gelmiştir.

Torpidonun fiziksel yapısına zarar vererek çalışmasını sonlandıran ve torpido tehdidini yüksek olasılıkla ortadan kaldıran yöntemler genel olarak "Hard-Kill" başlığı altında toplanmaktadır. Torpido tehditlerine karşı "Soft-Kill" ve "Hard-Kill" yöntemlerinin özelliklerini biraraya getirerek uygulayan çözümler de bulunmaktadır.. Bu çalışmada benzetim sisteminde oluşturulan senaryolarla D/A'nın uyguladığı taktiğe bağlı kullanılan "Soft-Kill" ve "Soft Kill+Hard-Kill" torpido karşı tedbir yöntemlerinin karşılaştırmalı başarımı ortaya konulmuştur. Benzetimde kullanılan modeller, tehdit torpidodan yeterince hızlı Anti-Torpido, D/A, tehdit torpido, aldatıcı, karıştırıcı ve sualtı ortamıdır.

Anahtar Kelimeler: Hard-Kill, Soft-Kill, Torpido Karşı Tedbir, Anti-Torpido, Benzetim

THE COMPARATIVE PERFORMANCE OF TORPEDO COUNTERMEASURE METHODS IN SIMULATION ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Submarines protect themselves from the threat of wire-guided torpedos by deploying decoys that mimic the acoustic characteristics of submarines and jammer that disables the sonar of the torpedo. This type of protection method of submarines is called “Soft-Kill” and is used to run out torpedo battery by attracting torpedoes on themselves. Modern torpedoes are not vulnerable to decoys and jammers. Today, torpedoes analyze targets’ movement and acoustic signals at the same time doing advanced analysis on the target to make the distinction of decoys and jammers, giving them to capability of developing appropriate engagement. For this reason, the effectiveness / success of the "Soft-Kill" countermeasure performances against the threat of torpedo have been re-considered and more effective and quick countermeasure effectors for the defense of submarines have been emerged.

The methods of employing physical damage to terminate the operation of torpedo in order to eliminate the threat of the torpedo are called “Hard Kill.” There are also methods that employ the features of both "Soft-Kill" and "Hard-Kill". In this study, a simulation system is presented that measures the success and compares the performances of both "Soft-Kill+Hard-Kill" and the "Soft-Kill" methods. The models used in the simulation system are anti-torpedo that is faster enough from the treat/target torpedo, submarine, treat/target torpedo, decoy, jammer and underwater environment.

Keywords: Hard-Kill, Soft-Kill, Torpedo Counter Measure, Anti-Torpedo Torpedo, Simulation

1. GİRİŞ

D/A’nın hayatta kalma şansını artıran en önemli yeteneği torpidolara karşı uyguladığı tedbir yöntemleridir. Günümüzde D/A’lar, torpidoya karşı tedbir amacıyla karıştırıcı ve/veya aldatıcı fırlatarak torpidonun çalışma ömrünü bitirmeyi hedefler. Karıştırıcılar ortama çok yüksek gürültü yayarak torpidonun D/A’dan aktif ve pasif temas almasını engellemeye çalışırken aldatıcılar, D/A gürültüsünü ve aktif ping cevabını taklit ederek torpidoyu kendi üzerine çekmeye çalışırlar. D/A’ların aldatıcı ve/veya karıştırıcı kullanarak torpidolara karşı kendilerini savunma yöntemleri “Soft-Kill” olarak adlandırılır. Bu çözüm yönteminde D/A’nın atacağı aldatıcı/karıştırıcı sayısı, fırlatma yönü (iskele, sancak), hareketli aldatıcı/karıştırıcı ise manevra bacakları ve fırlatma zamanı, D/A’nın kurtulma olasılığını etkileyen en önemli taktik parametreleridir.

Yeni geliştirilen torpidolar, aldatıcı ve/veya karıştırıcı tanımlama ve sadece D/A'ya hücum edebilme yetenekleri içeren karmaşık sonar sinyal analizi ve güdüm algoritmalarına sahiptirler. Bu sebeple, "Soft-Kill" adı verilen yöntemler D/A'nın torpidodan kurtulmasını garanti altına alamamaktadır.

Tel güdümlü ağır (*heavyweight*) torpidolar gibi D/A'ya yakın mesafede havadan atılan hafif (*lightweight*) torpidolar da D/A için yüksek bir tehlike oluşturmaktadırlar. Yeni üretilen ve ileride üretilmesi beklenen torpidolar daha da karmaşık karşı karşı tedbir metotlarına (ACCM-*Acoustic Counter Counter Measure*), düşük gürültü ve yüksek enerji verimliliğine sahip olacaktır. Tüm bu parametreler, D/A'nın torpidoya karşı savunma geliştireceği zamanı oldukça kısaltacak ve D/A'nın uygulayacağı "Soft-Kill" yöntemlerini etkisiz kılacaktır. Torpidoyu daha etkin kılacak ve torpidoya karşı D/A'nın savunma geliştireceği zamanı oldukça kısaltacaktır. Yakın gelecekte D/A'nın geliştirdiği taktik savunma sistemi, D/A'nın karşı tedbir sistemlerinden ve manevrasından bağımsız hale gelecektir. Bu nedenle "Soft Kill" yönteminin uygulanamayacağı tehdit durumlarına alternatif çözümlerin oluşturulması ihtiyacı bulunmaktadır. "Hard Kill" adı verilen bu alternatif çözümde torpidonun fiziksel yapısına zarar vererek kısa zamanda etkisiz hale getirmek ana hedeftir.

"Hard-Kill" yöntemi torpidoyu patlatmak, torpidoya hasar vermek veya torpidonun hareketini engellemek şeklinde olabilir. Suüstü gemileri ve D/A'lar tarafından uygulanan/uygulanması düşünülen "Hard-Kill" çözümleri ağ, şemsiye, patlayıcılar, anti torpido-torpido (ATT), süperkavite torpidolar ve süperkavite mermiler olarak verilebilir. D/A'lar için bu çözümlerden uygulanabilecek olanlar patlayıcılar, anti torpido-torpido (ATT) veya süperkavite savunma sistemleri başlıkları altında toplanabilir. Bu çalışmada "Hard Kill" yöntemlerinden Anti-Torpido Torpido (ATT) incelenmiştir.

2. HARD-KİLL SAVUNMA YÖNTEMLERİ

İlk bölümde de belirtildiği üzere yeni nesil torpidoların D/A'nın "Soft-Kill" yöntemlerine karşı dirençli olmasının yanı sıra D/A'lara havadan atılan torpidolara karşı D/A'ların oldukça kısa bir sürede angajman gerçekleştirme ihtiyacı nedeniyle kısa mesafede de etkili Süperkavitasyon Mermisi ve Anti-Torpido Torpido (ATT) gibi "Hard-Kill" çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Süperkavite yeteneğine sahip sistemlerin tasarımı yeni bir çalışma alanıdır ve gün geçtikçe süperkavite yeteneğine sahip sistem uygulamalarının sayısı artmaktadır. Çok yüksek hızla su altında ilerleyen bir cisim eğer uygun bir geometriyle modellendiyse ilerlediği yolda suyun buharlaşmasını sağlar. Süperkavitasyon adı verilen bu olay ile ortaya çıkan gaz ortamında, oldukça düşük sürtünmeye sahip cisim, hızını yüksek oranda koruyarak yörüngesinde ilerleyebilir. [1]

Şekil 1. Süperkavitasyon Mermisi-MEA-DSG Technology

DSG Technology grubu, su altı tehditlerine karşı Şekil 1'de verilen süperkavitasyon mermilerini geliştirmiştir. 100 m/sn'nin üzerindeki hızlarda bu merminin kavitorü merminin büyüklüğünü aşacak şekilde kavitasyon oluşturur.[2]

Şekil 2. Su üstünden atılan 30 mm süperkavitasyon mermisinin 125m derinlikteki MK46 torpidosuna verdiği hasar - DSG Technology

Su üstünden atılan süperkavitasyon mermilerinin MK-46 torpidosuna verdiği zarara ilişkin örnek Şekil 2'de verilmiştir [2]. DSG Technology, D/A'lara monte edilebilen silahlar ile bu mermiler su altından da atılarak torpidoyu etkisiz hale getirebileceğini belirtmiştir. Fakat bu mermilerin etki mesafesinin kısa, yüksek hızlı torpidoya karşı kısa angajman süresi gerekliliği nedeniyle torpidoya vereceği zarar konusunda etkin bir yöntem olup olamayacağı hala tartışma konusudur.

Torpido tehdidini ortadan kaldırmak için kullanılan torpidoya karşı torpido yani Anti-Torpido Torpido (ATT) 'lerin genel özellikleri aşağıdaki şekilde verilebilir. [3]

- ATT'ler yüksek hız ve yüksek manevra kabiliyeti ile torpido tehdidini ortadan kaldırabilirler.
- ATT'ler, D/A'ların aktif, pasif ve intercept sonarları ile torpidoyu tespit etmesinden sonra hızlı ve otonom karar verme mekanizması ile savunma sistemlerine entegreli olarak kullanılabilirler.
- ATT'ler, modifiye edilen torpido kovanlarından veya D/A'ya özel olarak yerleştirilen lançer kovanlardan fırlatılabilirler.
- ATT'ler, atıldığı D/A'ya zarar vermemesi için güvenli bölge tanımlama özelliğine sahiptir.
- ATT'ler, üzerindeki aktif ve pasif çalışan sonarları ile tehdidi tespit edebilir ve sınıflandırılabilir.

Önemli bir diğer husus ise yeni nesil ATT'lerin esnek bir tasarıma sahip olarak geliştirilmesidir. Böylece tak, çıkar, değiştir yapısına sahip olan ATT'ler her an bir torpidoya dönüştürebilme yeteneğine de sahip olacaktır.

3. BENZETİM

D/A'ların torpidoya karşı "Hard-Kill" yöntemi uygulamasının daha etkin olduğunu araştırıldığı bu çalışmadaki benzetim sisteminde kullanılan aldatıcı, karıştırıcı, D/A, torpido, anti torpido-torpido, sonar ve akustik ortam yüksek sadakatle modellenmiştir.

Benzetim çalışmasında kullanılan modern torpidolar karıştırıcıyı algıladığında, karıştırıcıyı arkasına alma ve sonrasında hedefi bulabilmek için en uygun arama algoritmasına ve hedefle beraber bir aldatıcıdan temas alması durumunda ise hedefi ayırt edecek en uygun yörüngeyi izleme algoritmasına sahiptirler.

Çizelge 1. Senaryo Parametreleri

SENARYO				
D/A	Konum:	X: 10000 m.	Y: 10000 m	Z: 40 m
	Rota	220 °		
	Sürat:	5 knots		
Torpido	Konum:	X: 12600 m	Y: 10 000 m	Z: 40 m
	Rota	270		
	Sürat:	35 knots / 45 knots		

Benzetim sisteminde D/A ve torpidonun suda olduğu bir tehdit senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryo benzetim sisteminde canlandırıldığında D/A sonarları ile torpidodan tespit aldıktan sonra sakınma taktiği uygulamaya başlamaktadır. Taktiğin

her adımı, D/A'nın manevrasını (manevra süresi, rota, sürat, umk) ve/veya atılacak karşı tedbir yönteminin (aldatıcı, karıştırıcı, ATT) detaylarını (atılma yönü, umk, sürat, rota) içerir.

Bu çalışma için hazırlanan senaryo parametreleri Çizelge 1'de ve taktik parametreleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Taktik Parametreleri

TAKTİK					
Adım			*Karşı Tedbir Yöntemi*		
Birinci Adım	Adım Süresi	15 sn.	Karıştırıcı	Atılma Yönü	Sancak
	D/A Umk	40 m.		Umk	50 m.
	D/A Rota	180 °		Rota	345 °
	D/A Sürat	20 knots		Sürat	4 knots
İkinci Adım	Adım Süresi	30 sn.	Aldatıcı	Atılma Yönü	Sancak
	D/A Umk	50 m.		Umk	50 m
	D/A Rota	120 °		Rota	255°
	D/A Sürat	20 knots		Sütat	10 knots
Üçüncü Adım	Adım Süresi	25 sn	Aldatıcı	Atılma Yönü	İskele
	D/A Umk	50 m		Umk	50 m
	D/A Rota	150 °		Rota	65°
	D/A Sürat	20 knots		Sürat	10 knots
Dördüncü Adım	Adım Süresi	185 sn	Anti Torpido Torpido (ATT)	Atılma Yönü	----
	D/A Umk	50 m		Umk	40 m
	D/A Rota	150 °		Rota	180 °
	D/A Sürat	20 knots		Sürat	56 knots

Canlandırmanın ilk bölümünde (taktiğin ilk üç adımında) "Soft-Kill" yöntemleri ile sakınma yapan bir D/A'nın başarısı incelenecektir. İkinci bölümünde ise önce "Soft-Kill" uygulayan (taktiğin ilk üç adımda) ve ardından "Hard-Kill" yöntemi ile (4. taktik adım ile) savunma yapan D/A'nın başarısı incelenecektir.

3.1. "Soft-Kill" Benzetimi

Soft-Kill benzetiminde Çizelge 1 senaryosu ve Çizelge 2'nin ilk 3 adımı kullanılmıştır. Çizelge 1'deki senaryoya göre 5 kts ile 40 metrede seyreden bir D/A'ya 2600 metre mesafe ve 130 derece iskelesinden bir torpido tehditi oluşturulmuştur. D/A pruva yönü 220 derece iken sakınma manevrası olarak sırasıyla 180, 120 ve 150'ye yönlenmiş ve süratini 20 kts'ye çıkarmıştır. Ayrıca her bir taktik adımın sonunda karıştırıcı veya aldatıcı fırlatarak torpido temasını kesmeye çalışmıştır. Örnek olarak verilen bu senaryo ve taktiğe ilişkin benzetim sonundaki ekran görüntüsü Şekil 3'te sunulmuştur.

Benzetim sonuçları bir analiz-performans aracında analiz edilerek değerlendirilmiştir Bu araç yardımıyla tehdit torpido ve sakınma yapan platforma (D/A) ilişkin hareketsel

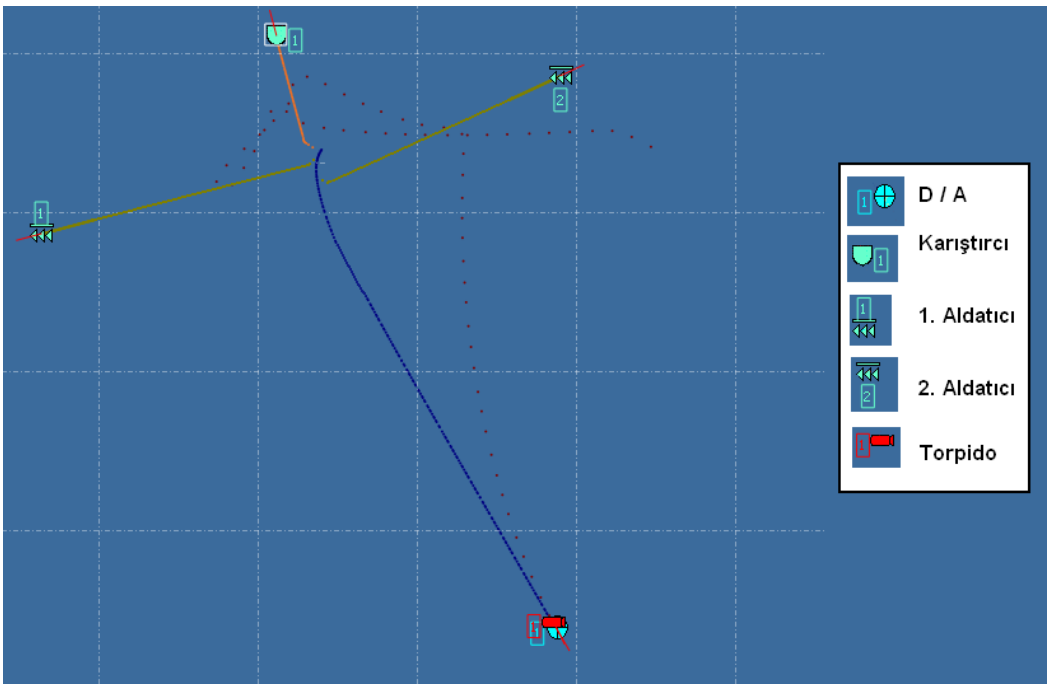
ve akustik birçok parametre analiz edilebilme, uygulanan sakınma taktiğinin başarımı ayrıntılı olarak incelenebilmektedir.

Benzetim ortamında oluşturulan senaryoların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için senaryo zorluk seviyesi kavramı oluşturulmuştur. Buna göre senaryoda bulunan bileşenlerin, D/A kurtulma olasılığını düşürücü etkisi matematiksel olarak hesaplanır. Senaryo zorluk derecesi hesabına katılan bazı parametreler şunlardır: tehdit torpido sayısı, tipi, mesafesi, ses hızı profili, dip derinliği.

"Soft-Kill" benzetiminde oluşturulan senaryo Çizelge 1'de verilen parametreler bakımından %48 senaryo zorluk derecesine sahiptir. D/A'nın uyguladığı 3 adımdan oluşan sakınma taktiği tehdit torpidodan sakınmak için yeterli olmamış ancak torpido bataryasının %15 seviyelerine kadar düşmesini sağlamıştır. Tehdit torpido bir kez karşı tedbir tedbir methodu (ACCM) uygulamış ve 3 kez yeniden atak (*Re-Attack*) fazına düşmüştür.

Analiz performans aracında D/A'nın torpido hasar dairesine olan uzaklığı, torpidonun sonlanma şekli, kullanılan Aldatıcı ve Karıştırıcı (A/K) sayısı, D/A'nın batarya sarfiyatı gibi birçok parametreye göre hesaplanan taktiğin performans puanı %40 olarak belirlenmiştir.

Örnek senaryo altında D/A'nın uygulayacağı sakınma manevrası ve Aldatıcı ve Karıştırıcı sarfiyatına dayalı sakınma taktiği, torpidonun D/A ile olan temasını keserek batarya sarfiyatına neden olsa da, D/A'nın torpido tehdidinden kurtulması için yeterli olmamaktadır.

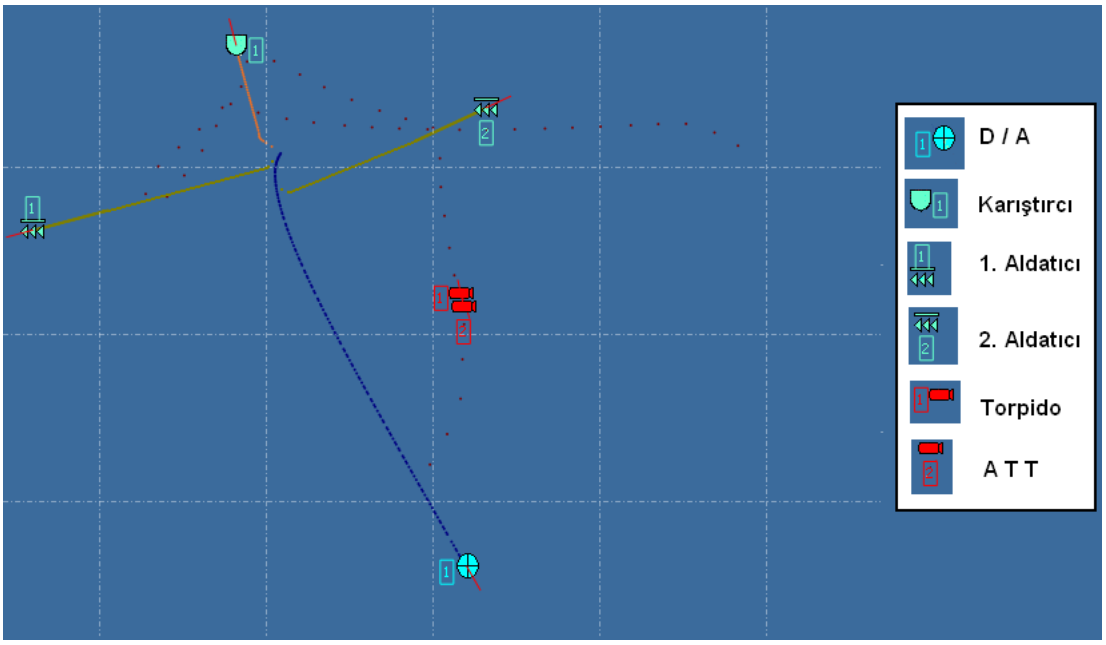


Şekil 3. "Soft-Kill" benzetiminin ekran görüntüsü

3.2. "Soft-Kill" ve "Hard-Kill" Benzetimi

"Soft Kill ve Hard Kill" benzetiminde Çizelge 1 senaryosu ve Çizelge 2'nin tüm adımları kullanılmıştır. "Hard-Kill" benzetiminde "Soft-Kill" benzetimiyle aynı senaryo kullanılmış, ancak D/A'nın uyguladığı taktiğe ATT fırlatma adımı eklenmiştir. "Hard-Kill" benzetiminde uygulanan taktiğe göre D/A sakınma manevralarının yanında A/K fırlatarak torpido temasını kesmeye çalışacak, son adımda ise ATT kullanacaktır. "Hard-Kill" benzetimine ilişkin ekran görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.

Senaryo bileşenleri değişmediğinden senaryo zorluk seviyesi "Soft-Kill" benzetimi ile aynı seviyede olacaktır. D/A'nın uyguladığı manevra ve A/K kullanımı torpido temasını keserek torpidonun bir kez karşı tedbir tedbir metodu (ACCM) uygulamış ve 3 kez yeniden atak (Re-Attack) fazına düşmüştür. D/A aldatıcı ve karıştırıcı atarak torpidodan yeterince uzaklıklaştıktan sonra torpidonun D/A'ya yönlenerek atak fazına geçmesiyle D/A ATT fırlatmış ve tehdit torpido D/A'ya 600 metre mesafede imha edilmiştir.



Şekil 4. "Hard-Kill" yönteminin ekran görüntüsü.

"Soft-Kill" ve "Hard-Kill" karşı tedbir sistemlerinin birlikte uygulandığı durumda taktik performans puanı %40'tan %50 seviyesine yükselmiştir. Tehdit torpido ATT tarafından imha olsa da hesaplanan taktik performans puanında torpido sonlanma şeklinin yanında D/A'ya olan uzaklık, kullanılan Aldatıcı ve Karıştırıcı sayısı, D/A'nın batarya sarfiyatı gibi parametreler de kullanıldığından taktik performans puanındaki artış sınırlı kalmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, torpido tehdidini ortadan kaldırmak için torpidoya karşı "Soft-Kill" yöntemlerini kullanan D/A'nın bu yöntemlerle torpidoyu oyalayabildiği ancak torpidonun tekrar tekrar atakta bulunmasını engelleyemediği için başarısız olduğu gözlenmiştir. Bununla beraber torpido tehdidi karşısında "Soft-Kill" ve "Hard-Kill" yöntemlerini birlikte kullanarak savunma yapan D/A'nın daha başarılı olduğu yapılan ikinci benzetim sonuçları ile ortaya konulmuştur. Çünkü, D/A Soft-Kill yöntemleri ile torpidodan yeterince uzaklaşabilmiş ve ATT atabilmek için zaman kazanmıştır. Bu nedenle "Soft-Kill" yöntemleri ile oyalanan torpidoya fiziksel olarak zarar veren, işlevselliğini ve/veya hareket yeteneğini yok eden "Hard-Kill" yönteminin torpido tehditlerine karşı daha etkili ve kesin bir çözüm olduğu söylenebilir. Bu çalışmada örnek olarak belirli bir tehdit durum karşısında sadece "Soft-Kill" yöntemi ile yapılan bir savunma ile "Soft-Kill+Hard-Kill" yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla yapılan bir savunmanın sonuçları paylaşılmıştır. "Soft-Kill" ile birlikte "Hard-Kill" yöntemlerinin başarısını ölçen bu benzetim literatürde yeni bir çalışma alanıdır. Her iki yöntemin performansını istatistiksel olarak analiz edebilme ve değerlendirebilme yeteneğine sahip olan benzetim sistemi ile daha detaylı analizler yapılması ilerleyen çalışmalarda planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Richard Rand (1997), "Impact Dynamics of Supercavitating Underwater Projectile", ASME Design engineering Technical Conferences September 14-17, 1997, San Francis, California

[2] DSG Technology,(2012) Supercavitating Ammunition is Changing the Rules, http://www.dtic.mil/ndia/2012armaments/Wednesday14038morgan.pdf

[3] Atlas Elektronik (2010), "SeaSpider-Torpedo Defense Hardkill" Ürün Broşürü - IDEF 2010

SİMÜLASYONLAR İÇİN ESNEK DAVRANIŞ TANIMLAMA ALTYAPISI

Dr. Aydın OKUTANOĞLU[(a)], Hasan Gündüz AYDIN [(b)]

[(a)] Simsoft Bilgisayar Teknolojileri, ODTÜ Teknokent,
aydin.okutanoglu@simsoft.com.tr
[(b)] Simsoft Bilgisayar Teknolojileri, ODTÜ Teknokent, hasan.aydin@simsoft.com.tr

ÖZ

Simülasyon sistemlerinde bulunan senaryolarının temel olarak sahne ve davranış tanımlamaları olarak iki ana bileşeni bulunmaktadır. Sahne içerisinde, senaryonun nerede geçtiği, içinde bulunan nesneler ve çevre koşulları gibi bilgiler tanımlanmaktadır. Sahne içerisindeki akıllı nesnelerin sanal ortam içerisinde ne gibi davranışlar sergileyecekleri, hangi olaylara ne şekilde tepkiler verecekleri, kendilerine atanmış görevleri ne şekilde yerine getirecekleri ise davranış tanımlamaları olarak ele alınmaktadır.

Simülasyon dünyasında sahne tanımlama konusunda birçok standart bulunmasına rağmen genel kullanıma uygun davranış tanımlama konusunda yeterince detaylı ve genel kullanıma uygun çalışmalar yaygınlaşmamıştır. Bu durumun en önemli nedeni olarak farklı simülasyon alanlarında davranış tanımlama ihtiyaçlarının çok farklı olması gösterilebilir.

Bu çalışma içerisinde durum makinesi ve betik programlama teknolojilerinin harmanlanmasıyla oluşturulan ve simülasyon alanından tamamen bağımsız, gerektiğinde çalışma zamanı içerisinde de güncellenebilecek bir davranış tanımlama altyapısı ile ilgili bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Eğitim Simülatörleri, Davranış Tanımlama Altyapısı, Yapay Zeka, Çatışma Simülasyonu, Betik Programlama, Durum Makineleri.

FLEXIBLE BEHAVIOUR DEFINITION INFRASTRUCTURE FOR SIMULATIONS

ABSTRACT

Two main components of simulation scenarios are scene and behavior definition. Scene definition contains environmental information that the simulation takes place, information about the entities inside scenario, their placements and initial attributes. How the artificial entities in the scene behaves in the virtual environment, their reactions according to the events in scenario, how they realize task that are assigned to them are the parts of the behavior definition.

Although there are many standards to define simulation scene, there are no behavior definition infrastructure that widely used and appropriate for common usage. Reason for this situation is the domain specific nature of the behavior definition.

In this work we present a behavior definition infrastructure that integrates state machines and script programming. This infrastructure is completely domain independent and behaviors defined can be dynamically changed during runtime.

Keywords: Educational Simulators, Behavior Definition Infrastructure, Artificial Intelligence, Combat Simulation, Script Programming, State Machines.

1. GİRİŞ

Simülasyon sistemlerinde bulunan senaryolarının temel olarak sahne ve davranış tanımlamaları olarak iki ana bileşeni bulunmaktadır. Sahne içerisinde, senaryonun nerede geçtiği, içinde bulunan nesneler ve çevre koşulları gibi bilgiler tanımlanmaktadır. Sahne içerisindeki akıllı nesnelerin sanal ortam içerisinde ne gibi davranışlar sergileyecekleri, hangi olayları ne şekilde tepkiler verecekleri, kendilerine atanmış görevleri ne şekilde yerine getirecekleri ise davranış tanımlamaları olarak ele alınmaktadır.

Simülasyon içerisindeki nesnelerin davranışları genel olarak simülasyonu yapılan konu ile doğrudan ilgili bir şekilde tanımlanmaktadır. Örneğin bir çatışma simülasyonu içerisinde bulunan teröristlerin davranış kalıpları ile trafikte hareket etmekte olan yayaların davranış kalıpları birbirinden tamamen farklıdır. Bu farklı tipteki davranış kalıplarının oluşturulması genel olarak farklı yazılım kütüphaneleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum çeşitli kodlama ve tasarım tekrarlarına sebep olduğu gibi farklı alanlardaki yeteneklerin harmanlanarak kullanılmasının önünde engel teşkil etmektedir. Örneğin çatışma simülasyon için oluşturulmuş olan terörist yapay zeka modellemesinin farklı bir proje ihtiyacı içerisinde yaya olarak kaldırımda yürütülmesi

gerektiğinde trafik ve çatışma yapay zekasının entegrasyonu mümkün olamayabilmektedir.

Davranış tanımlama altyapısı oluşturmanın önemli bir başka nedeni de gerçekleştirilmiş olan davranış kalıplarının değişen ihtiyaçlar karşısında kolaylıkla adapte edilebilir bir yapıya kavuşturulmasıdır. Örneğin bir çatışma simülasyondaki teröristin davranışı, hedef grup üzerine ilk önce 1 el bombası ile saldırıp daha sonra tüfeği ile saldıracak şekilde modellendikten sonra bu davranışın ilk önce tüfek ile daha sonra kaçarken el bombası ile saldıracak şekilde değiştirilmesi, gerçekleştirilmiş olan yazılımın değiştirilmesi anlamına gelebilmektedir.

Bu çalışma içerisinde anlatılan davranış tanımlama altyapısı ile farklı alanlar için gerçekleştirilmiş olan yapay zeka modellemelerinin entegrasyonunun sağlanması ve davranış kalıplarının kullanıcı dostu bir şekilde modellenebilmesi veya var olanların güncellenebilmesi amaçlanmaktadır.

2. BENZER ÇALIŞMALAR

Simülasyon dünyasında sahne tanımlama konusunda birçok standart bulunmasına rağmen genel kullanıma uygun davranış tanımlama konusunda yeterince detaylı ve genel kullanıma uygun çalışmalar yaygınlaşmamıştır. Hem oyun dünyasında [2, 6] hem simülasyon dünyasında [5, 8] davranış tanımlamalarıyla ilgili farklı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Durum makineleri davranış modellemesinde kullanılan temel yöntemlerden biridir. Her makine modellenen sistemde belirli bir koşullar kümesine karşılık gelmektedir. Bu koşullar sağlandıkça sistem bu durumda kalır. Sistemde olan değişiklikler durum makineleri arasındaki geçişler olarak modellenmiştir. Değişikliğin yapısına göre sistem başka makinelere geçiş yapar. Sistem aynı anda sadece bir durumda bulunabilir [1]. Durum makinelerinin bu basit ama etkin işlevselliği, makinelerin hiyerarşik olarak iç içe kullanılması ve aynı anda birden çok makinenin etkin olabilmesi özellikleri eklenerek daha karmaşık sistemlerin modellenmesinde kullanılabilir [7].

Durum makineleri, görsel olarak davranış tanımlamalarında kullanılması geliştirme süreçlerinin kısaltılmasında da etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır [4, 5]. Özellikle karmaşık davranış kalıplarının modellenmesinde kodlama yönteminin kullanılması ve hatta ihtiyaç durumunda davranışın güncellenmesi yazılım geliştiriciler için bile zorluklar oluşturmaktadır. Görsel olarak davranışın tanımlanabilmesi hem geliştiriciler için hem de alt yapıyı daha sonra kullanan alan uzmanları için ciddi kolaylıklar sağlamaktadır.

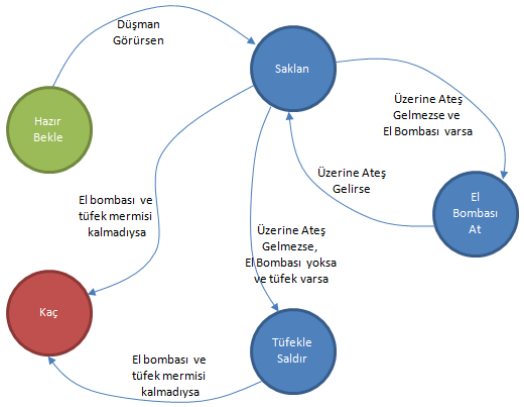
Karar ağaçları davranış tanımlamada kullanılan bir diğer yöntemdir [3]. Durum makinelerine benzer bir şekilde elemanlar ve aralarındaki bağlantılar kümesinden oluşan karar ağaçlarında ana elemanlar olarak durumlar yerine ağaç şeklinde organize edilmiş olan görevler ve bunlara bağlı alt görevler tanımlanabilmektedir.

3. DAVRANIŞ TANIMLAMA ALTYAPISI

Geliştirilmiş olan Davranış Tanımlama Altyapısı modellenecek olan nesnenin davranış bütününü bir durum makinesi olarak ele almaktadır. Bu durum makinesi temel olarak nesnenin olası durumlarını, her durum için nesnenin yapması gereken komutları ve bu durumlar arasındaki geçiş koşullarını tanımlamaktadır.

Yandaki şekilde çatışma davranışının modellendiği bir durum makinesi bulunmaktadır. Standart hali ile durum makineleri durumları ve durumlar arasındaki geçişleri tanımlamaktadır. Makine içindeki durumlar içinden özel olan başlangıç (Hazır Bekle) ve bitiş (Kaç) durumları özel durumlar olarak ele alınmaktadır.

Bu örnek üzerinde, bir nesnenin ne zaman saklanmaya başlayacağı, ne zaman hangi silahlar ile ateş edeceği ve hangi koşulda kaçmaya başlayacağı kavramsal olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1 - Örnek Çatışma Durum Makinesi

Geliştirilmiş olan Davranım Tanımlama Altyapısı içerisinde standart durum makinesi yapısı ile yapay zeka modellemesi arasında bir entegrasyon yapısı oluşturulmuştur. Ayrıca yazılımsal değişikliklere ihtiyaç kalmadan veya minimuma seviyede değişiklik yapılarak farklı modelleme ihtiyaçlarının geliştirilmesine olanak sağlanmaktadır.

3.1. Temel Yapay Zeka

Nesnelerin davranışlarının durum makineleri üzerinden oluşturulabilmesi amacıyla her nesnenin temel yeteneklerinin ve sahip olduğu özelliklerin yazılımsal olarak oluşturulması gerekmektedir. Yukarıdaki örnekte "Hazır Bekle", "Saklan", "El Bombası At", "Tüfekle Saldır" ve "Kaç" terörist nesnesinin temel yetenekleri, el bombası ve tüfek mermisi miktarları ise özellikleri olarak tasarlanmıştır.

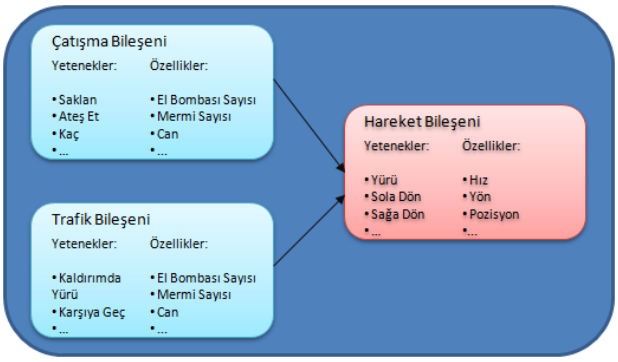
İlgili nesne, bu yetenekleri ne şekilde uygulayacağını detaylı bir şekilde bilmektedir. Örneğin saklanma görevini yerine getirirken kendisine verilen parametreler doğrultusunda uygun kaya veya binanın tespit edilmesi ve oraya gidildiğinde eğilmenin gerekli olup olmadığının tespit edilmesi temel yetenek olarak tasarlanmıştır. Nesnelerin temel yeteneklerinin neler olacağı ve bu yeteneklerin hangi detay seviyesinde gerçekleştirileceği temel olarak nesne tasarımıyla ilgili bir konudur ve Davranış Tanımlama Altyapısı içerisinde bu konu ile ilgili herhangi bir kısıtlama getirilmemiştir.

Durum makinesi içerisinde kullanılmadan önce her bir nesne birbiriyle ilişkilendirilmemiş bir yetenekler ve özellikler kümesinden oluşmaktadır. Bu yetenek ve özelliklerin oluşturulması için bileşen tabanlı bir nesne yapısı geliştirilmiştir. Bu yapı içerisinde her bir nesne çeşitli alt bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin her biri

kendi içerisinde tanımlamış oldukları yetenek ve özellikleri nesne için kullanılmak üzere dışarıya sunmaktadır.

Yandaki Şekil 2'de terörist nesnesi için örnek bir bileşen yapısı gösterilmiştir. Burada bulunan her bir bileşenin kendi içinde tanımlamış olduğu yetenekler nesneye komut olarak verilebilmekte, özellikler ise nesne için sorgulanabilmektedir.

Örnek nesne yapısındaki Trafik ve Çatışma kontrol bileşenleri, Hareket ise uygulama bileşeni olarak tasarlanmıştır.

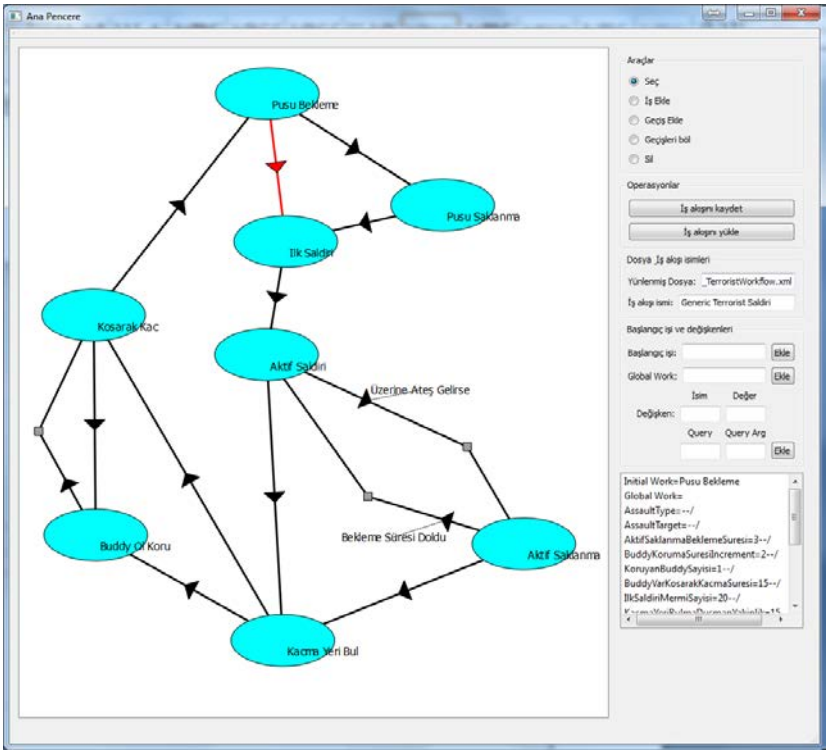


Şekil 2 - Örnek Terörist Nesnesi

3.2. Durum Makinesi Entegrasyonu

Yukarıda bahsedilen altyapı ile gerçekleştirilmiş olan nesnelerin davranışlarının tanımlanabilmesi için bir durum makinesi tanımlama uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama içinde nesneye ait durumlar ve aralarındaki bağlantılar tanımlanabilmektedir. Her bir durum kendi içinde nesnenin bu duruma geçtiği zaman uygulaması gereken bir komutu içermektedir. Simülasyon sırasında yeni bir duruma geçildiğinde nesneye bu yeni durum için tanımlanmış olan komut gönderilmektedir. Durumlar içerisinde komutlara argümanlar verilebilmektedir. Örneğin Ateş Et komutu ile beraber hangi tip silah ile ateş edileceği, hedef bilgileri ve kaç merminin atılacağı gibi parametreler verilebilmektedir. Bu durum farklı davranış gereksinimleri için aynı yeteneğin farklı şekillerde kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

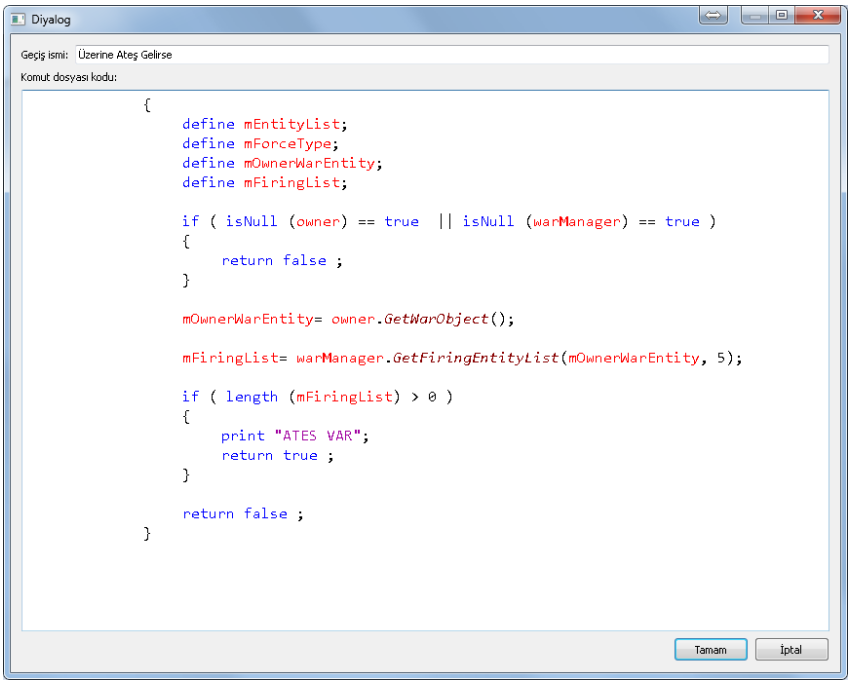
Aşağıdaki Şekil 3'de terörist nesnesi için bahsedilen uygulama ile oluşturulmuş bir durum makinesi gösterilmiştir. Bu makine içerisinde örneğin "Aktif Saklanma" dan "Aktif Saldırı" durumuna geçildiğinde hangi hedefe ateş edileceği, hangi silah ile ateş edileceği bilgisi nesneye komut argümanları olarak iletilmektedir.



Şekil 3 Davranış Tanımlama Uygulaması

Davranış Tanımlama Altyapısı içerisinde çalışma zamanındaki durumlar arasındaki geçişin kontrolü için bağlantılar üzerinde tanımlanmış olan betik programlama yeteneği kullanılmaktadır. Durum makinesinin çalıştırılması sırasında aktif duruma ait tüm çıkış bağlantı betikleri tek tek çalıştırılmaktadır ve bu betikler arasından "true" değeri dönen ilk bağlantının karşılığı olan hedef duruma geçiş yapılmaktadır.

Şekil 4'de "Aktif Saldırı" durumundan "Aktif Savunma" durumuna geçiş bağlantısı için tanımlanmış olan "Üzerine Ateş Gelirse" isimli örnek bir betik gösterilmiştir. JavaScript benzeri bir gramer ile oluşturulmuş olan betik yapısı "owner", "timer", "scene" gibi bazı önceden tanımlı değişkenleri içermektedir. Kullanıcı ayrıca hem bağlantıya özel hem de durum makinesi için global değişkenler tanımlayabilmektedir. Değişkenler temel olarak tip bilgisini içermemektedir ve tip bilgisi sadece değerler üzerinde bulunmaktadır. Simülasyon nesnesi tipindeki nesneler için betik içerisinden özellikler sorgulanabilmektedir. Örneğin "GetWarObject" bir özellik sorgulama kullanımıdır.



Şekil 4 - Örnek Bağlantı Betiği

Geliştirilmiş olan betik programlama yapısı uygulamanın yüklenmesi aşamasında derlenmekte ve özel bir veri yapısı içerisinde tutulmaktadır. Çalışma zamanı içerisinde derlenmiş olan bu yapı çalıştırılmakta ve özellikle büyük betikler için yaşanması muhtemel performans kayıplarının önüne geçilmektedir.

Modelleyicilerin davranış oluşturmasına kolaylık sağlanması amacıyla istisna durumları özel bir şekilde tanımlanabilmektedir. İstisna durumlarına örnek olarak Şekil 1'de verilmiş olan durum diyagramı içerisindeki "El bombası ve tüfek mermisi kalmadıysa" koşulu gösterilebilir. Bu koşul nesnenin aktif durumu ne olursa olsun "Kaç" durumuna geçmesini gerektirecektir. Normal durum diyagramları içerisinde bu tip koşullar tüm durumlardan "Kaç" durumuna aynı koşullu bağlantının eklenmesiyle mümkün olabilmektedir. Davranış Tanımlama Altyapısı içerisinde bu tip istisna durumlarını her durum için ayrıca belirtmek yerine global durum üzerinde bağlantılar tanımlayarak gerçekleştirebilmektedir. Çalışma zamanı içerisinde nesnenin aktif durumuna ait bağlantılarının yanında bu global duruma ait bağlantıları da sürekli olarak kontrol edilmekte ve gerekli durumlarda global bağlantıların gösterdiği hedef durumlara geçiş yapılmaktadır.

Davranış Tanımlama Altyapısı ile tanımlanmış olan durum makineleri koddan bağımsız bir şekilde XML dosyaları içerisinde saklanmaktadır. XML dosyası içerisinde durumlar, durumlar arasındaki bağlantılar, bağlantılara ait betik programları ve durum makinesinin görselleştirilmesiyle ilgili çeşitli bilgiler saklanmaktadır. Yapının XML kullanılarak saklanması sayesinde nesneler için tanımlanmış davranışlar yazılımdan bağımsız bir şekilde eklenebilmekte veya güncellenebilmektedir.

Davranış tanımlama konusunda önemli problemlerden biri de çalışma zamanı sırasında hata ayıklama işleminin ne şekilde yapılabileceğidir. Geliştirme veya ürün aşamasında

beklenmedik bir davranışın sebebinin bulunması özellikle bu şekilde betik programlama ve konfigürasyonlar üzerinden çalışan sistemlerde ciddi bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Bu konunun kolaylaştırılması amacıyla çalışma zamanı sırasında hangi durumun aktif olduğu, global olarak ve bağlantılar için lokal tanımlanmış değişkenlerin değerleri görsel olarak takip edilebilmektedir. Bu sayede modelleyici oluşturmuş olduğu davranış tanımlamasını çalışma zamanı içerisinde çok daha detaylı bir şekilde gözlemleyebilmekte ve gerekli müdahaleleri yapabilmektedir.

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Geliştirilmiş olan Davranış Tanımlama Altyapısı simülasyonlar için oluşturulmuş olan nesnelerin yapay zekâlarının farklı senaryo ihtiyaçları doğrultusunda modelleyiciler tarafından konfigüre edilebilmelerini sağlamaktadır. Bu amaçla nesneler tarafından tanımlanmış olan temel yetenekler ve nesne özellikleri durum makinesi yapısı kullanılarak birbirleriyle ilişkilendirilebilmekte ve senaryo ihtiyaçları doğrultusunda anlamlı bir bütün oluşturulabilmektedir.

Simülasyonlar içinde davranış tanımlama işlemleri alana olan bağımlılıkları nedeniyle genellikle yazılımların içine gömülmüş olan davranış kalıpları sayesinde gerçekleştirilmektedir. Her ne kadar davranışlara ait bazı parametreler konfigürasyon dosyalarından verilebilse de bu yöntem davranışın farklı ihtiyaçlar karşısında değiştirilmesini oldukça zorlaştırmaktadır.

Davranış modellemenin yazılım kodundan bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmesinin bir diğer yolu da ilgili davranışların tamamen betik programlama yöntemiyle gerçekleştirilmesidir. Bu yöntemin ana problemi tanımlanacak olan davranışın tek bir betik programa sığdırılmaya çalışılmasıdır. Bir süre sonra betik oldukça karmaşık bir hale gelmekte ve karşılaşılan hataların bulunması veya davranışın değiştirilmeye çalışılması konusunda ciddi zorluklar yaşanabilmektedir.

Davranış Tanımlama Altyapısı kullanmış olduğu durum makinesi yapısıyla yapay zeka davranışlarını anlamlı gruplar halinde ele almakta ve yönetilmesi ve güncellenebilmesini kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda sunmuş olduğu betik yeteneği sayesinde yazılımdan bağımsız bir şekilde yeni davranışların tanımlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Geliştirilmiş olan bu altyapı tarafımızca geliştirilmiş olan çatışma simülasyonları ve trafik simülasyonları içerisinde hem kavramsal modelleme hem de ürün geliştirme aşamalarında kullanılmıştır. Bu çalışma içerisinde, sağlamış olduğu hızlı davranış modeli oluşturma, performans ve hata giderme özellikleri sayesinde etkili bir çatışma simülasyonu oluşturmada ciddi katkılar sağlamıştır.

5. KAYNAKÇA

[1] Ferrentino, A. B., & Mills, H. D. (1977, November). State machines and their semantics in software engineering. In Proc. IEEE COMPSAC'77 Conference (pp. 242-251).

[2] Fu, D., & Houlette, R. (2003). The ultimate guide to FSMs in games. In S. Rabin (Ed.), I Game Programming Wisdom 2.

[3] Xiaobing Geng, Sijiang Liu, Yongshi Jiang, Yiping Yang, *A visual authoring framework for intelligent flight trainer*, Proceedings of International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 2010), pp.382-385.

[4] Fu, D.; Houlette, R.; *Putting AI in entertainment: an AI authoring tool for simulation and games*. Intelligent Systems, IEEE, vol.17, no.4, pp. 81- 84, Jul/Aug 2002.

[5] Fu, D., Houlette, R., Jensen, R., & Bascara, O. (2003). *A Visual, Object-Oriented Approach to Simulation Behavior Authoring*. Proceedings of the Industry/Interservice, Training, Simulation & Education Conference (I/ITSEC 2003)

[6] David Diller, William Ferguson, Alice Leung, Brett Benyo, Dennis Foley. *Behavior Modeling in Commercial Games*. In Proceedings of the Thirteenth Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation. (2004)

[7] James Cremer, Joseph Kearney, Yiannis Papelis, *HCSM: a framework for behavior and scenario control in virtual environments*, ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation(TOMACS), v.5 n.3, p.242-267, July 1995.

[8] Kallmann, M.; Thalmann, D. *A behavioral interface to simulate agent-object interactions in real time*. In proceedings of Computer Animation, 1999. pp.138-146, 1999.

"SİMÜLASYON SİSTEMLERİNİN KKBS'YE KATKILARI: MSYS (MUHAREBE SAHASI YÖNETİM SİSTEMİ)-TACCIS (TACTICAL AREA COMMAND AND CONTROL INFORMATION SYSTEM) İLE JTLS (JOINT THEATRE LEVEL SIMULATOR) ENTEGRASYONU ÇALIŞMASI"

Eray ESENGİN [(a)], Suha KARABEY [(b)]

(a) (b) BİLGİ Coğrafi Dönüşüm ve Yönetim Sistemleri Tic. Ltd. Şti., Çetin Emeç Bulvarı Cevizlidere Cad. 1/10 Yukarı Öveçler ANKARA, 06520,

{eraye, suhak}@bilgigis.com

ÖZ

Muharebe sahasındaki birlik, tesis, personel, malzeme, kontrol özelliği, hedef gibi unsurların ortak anlaşılırlığını gözeterek, sevk ve idareye ilişkin özelliklerinin (personel ve malzeme mevcutları, ast/üst ilişkileri, kabiliyetleri, durumu, konumu, v.b.) modellenmesi sonucunda bu unsurların KKBS içinde yönetimi mümkün olmaktadır. Ortak anlaşılırlığın son noktasını oluşturan "Müşterek Harekât Resmi" (COP – Common Operational Picture) modellenen tüm bu unsurların standartlar ile belirlenmiş kurallar çerçevesinde ve uygun askeri işaretler kullanılarak coğrafi haritalar (veya uydu fotoğrafları) ile harmanlanmış bir şekilde gösterimini sağlamaktadır. Bu modelleme ve gösterim çalışmalarının nihai amacı komuta kademesi için durum farkındalığı yaratmaktır.

KKBS'lerin simülasyon sistemlerine sorumluluk devri yapabileceği birçok fonksiyon noktası bulunmaktadır. Cari harekâttaki işleyişin büyük oranda simülasyon sistemleri ile unsurların kabiliyetleri, mevcutları, durumları gibi özellikleri ve arazi koşulları dikkate alınarak modellenmesi ve oynatılmasının ardından bu unsurların durumlarındaki, konumlarındaki, mevcutlarındaki değişimlerin izlenmesi, gerçekte karşılaşılabilecek durumlara ön hazırlık yapılması açısından önem arz etmektedir. Bir simülasyon sistemi gerekli girdileri (unsurların mevcut durumları, konumları v.b.) KKBS'den alarak işletimini kendi iç kuralları çerçevesinde yapabilir ve belirlenen zaman aralıklarında simülasyon sistemindeki durum KKBS'ye yansıtılarak durum üzerinde yeni planlar yapılması veya cari harekâtın ilerleyişinin yönlendirilmesi sağlanabilir. Ayrıca KKBS'ler

değerlendirmeye yönelik araçları sayesinde simülasyon sonucunda oluşan durumun değerlendirmesinin yapıldığı ortam olarak da görev yapabilir.

MSYS/TACCIS KKK'lığı ve NATO Kolordusunun temel KKBS'si olarak harekâtın plânlanması, cari harekâtın icra edilmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesi amaçlarına hizmet etmek üzere tasarlanmış modülleri ve perspektifleri kullanıcıya sunmaktadır. JTLS (Joint Theatre Level Simulator) etkileşimli olarak, çok taraflı, lojistik ve istihbarat destekli hava, kara ve deniz muharebesinin bilgisayar destekli olarak simülasyonunu gerçekleştiren bir sistemdir. Bu iki sistemin entegrasyonu çalışmaları kapsamında; simülasyon verilerinin MSYS/TACCIS ile hazırlanması ve JTLS'e aktarılması, JTLS'te simülasyon ile gerçekleşen değişikliklerin MSYS/TACCIS üzerinden izlenmesi, JTLS simülasyonuna emirler aracılığı ile MSYS/TACCIS tarafından müdahale edilmesi ve MSYS/TACCIS ile simülasyonun değerlendirmesinin yapılması işlemlerinde kaynak ve zaman tasarrufu sağlayacak başarı seviyesine ulaşılmıştır.

Bu çalışma ile KKBS ile simülasyon sistemi entegrasyonunda karşılaşılabilecek simülasyon zamanının gerçek zamandan farklı işlemesi, unsurların gösterimindeki (askeri işaretler) farklılıklar, arazinin modellenmesindeki farklılıklar, simülasyon sistemindeki ve KKBS'deki unsurların farklı modellenmiş olmaları gibi problemlere ilişkin birçok saptama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: C2, JTLS, KKBS, MSYS, TACCIS

"BENEFITS OF SIMULATION SYSTEMS OVER C2IS: INTEGRATION STUDY FOR JTLS (JOINT THEATRE LEVEL SIMULATOR) WITH MSYS (BATTLEFIELD MANAGEMENT SYSTEM)-TACCIS (TACTICAL AREA COMMAND AND CONTROL INFORMATION SYSTEM)"

ABSTRACT

It is possible to manage assets such as units, facilities, personnel, equipment, control features and targets inside a C2IS by modeling their command and control properties (personnel and equipment holdings, parent/sub relationships, capabilities, status, location, etc.) taking into account common understandability. Common Operational Picture (COP), which is the endpoint of common understandability, provides representation of all these modeled assets with the rules defined by standards and using appropriate military symbols combined over geographic maps (or satellite imagery). The final objective of these modeling and representation efforts is to construct situation awareness for commanders.

C2IS has many function points where responsibility can be delegated to a simulation system. After modeling and executing properties like capabilities, holdings, status of assets taking into account the terrain conditions during operations execution using mainly simulation systems, monitoring the changes in status, location and holdings of these assets is very important to be prepared for possible real scenarios. A simulation system can execute governed by its internal rules after obtaining required inputs (current holdings, locations, etc. of assets) from a C2IS and state in the simulation system can be transferred to the C2IS periodically to prepare new plans for the current situation and to control the operation. In addition, C2IS can function as the environment where assessment of the operation is carried out with its tools designed for assessment.

MSYS-TACCIS provides modules and perspectives designed to serve for the purpose of planning the operation, monitoring and executing the operation and assessment as the fundamental C2IS for Turkish Land Forces and NATO RDC (Rapid Deployable Corps). JTLS (Joint Theatre Level Simulator) is a system performing interactive, multi-sided, supporting logistics and intelligence of air, land and maritime operations in computer environment. In the context of the integration of these two systems, resource and time savings are accomplished successfully in preparation of simulation data in MSYS-TACCIS and transfer of those data to JTLS, monitoring changes in the JTLS simulation over MSYS-TACCIS, contributing to the JTLS simulation via orders sent by MSYS-TACCIS and assessment of the simulation with MSYS-TACCIS.

This study has brought into light many C2IS and simulation system integration issues such as problems due to difference of simulation time and real time, military symbol differences in the representation of assets, differences in the modeling of the terrain, modeling differences of assets in simulation systems and C2IS.

Keywords: C2, JTLS, KKBS, MSYS, TACCIS

1. GİRİŞ

JTLS, bilgisayar destekli tatbikatlarda kullanılan, muharebe sahasını temsil eden, stratejik ve operatif seviyede bir simülasyon sistemidir. Günümüzde harekât subaylarının taktik seviyede eğitim desteğinde aktif olarak kullanılmaktadır. Ancak JTLS, harekât planlarının hazırlanması ile ilgili harekât geliştirme birimlerinin kullanabileceği bir arayüz sunmamaktadır. Bilindiği üzere tatbikat öncesi hazırlıklar olsun ya da gerçek dünyada yapılacak askeri harekâtlar, operasyonlar birden fazla birimin ortak geliştirdiği harekât planları üzerinden yapılmaktadır. Dolayısı ile harekât planları tatbikat ve gerçek dünyada vazgeçilmez olarak değerlendirilebilir. JTLS dünyasında harekât planı karşılığı olarak senaryo kavramı konulabilir. Tatbikat öncesi hazırlıklarda kuvvetler (kara, deniz, hava) tatbikatta yer almasını istedikleri birlik ve hiyerarşilerini HOSİM'e (Harp Oyunları Simülasyon Merkezi) bildirirler. HOSİM'de ilgili personel bu bilgiler doğrultusunda

tatbikat senaryosunu geçmiş senaryo kopyası üzerinde gerekli değişiklikleri yaparak yeni tatbikat için gerekli senaryo çalışmasını hazırlar. Bu çalışma kapsamında binlerce birlik olduğu düşünüldüğünde senaryo hazırlık süreci oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir süreçtir. Ayrıca hazırlanan senaryonun gerçek birlik mevcutlarını (ekipman, tüketilebilir malzeme miktarları) yansıtması genellikle mümkün olmamaktadır. Bunun nedeni ise birlik büyüklüğüne göre (bölük, tabur, kolordu vb.) bulunması gereken mevcut sayıları ve hatta bu mevcutlara göre bulunması gereken personel mevcutları kısıtları CEP (Combat Events Program) tarafından kontrol edilerek senaryonun derlenmemesi ve Combat Engine'nin çalışmamasına sebep olmaktadır. Bu kısıtlar hareket ve ateş kabiliyetine göre mevcut kontrollerinin yapılmasına kadar gitmektedir. Bu kısıtların bulunması da kara, deniz, hava kuvvetlerinin kendi belirlediği mevcutlara göre daha gerçekçi bir simülasyonun hazırlanması üzerinde en büyük engeli oluşturmaktadır. JTLS-KKBS entegrasyonu bu nedenle kritik öneme sahiptir.

Bu makalede JTLS ile planlamadan, harekâtın icrasına kadar tüm adımları içinde barındıran MSYS/TACCIS (Muharebe Sahası Yönetim Sistemi / Taktik Saha Komuta Kontrol Bilgi Sistemi) entegrasyonu detaylı olarak anlatılacaktır. JTLS, senaryonun hazırlanmasından bu senaryonun icrasına kadar birden fazla adımı barındırdığı için kısaca bu adımları açıklayalım.

a) Senaryonun hazırlanması ya da mevcut senaryonun çevrimdışı veri tabanına aktarımı

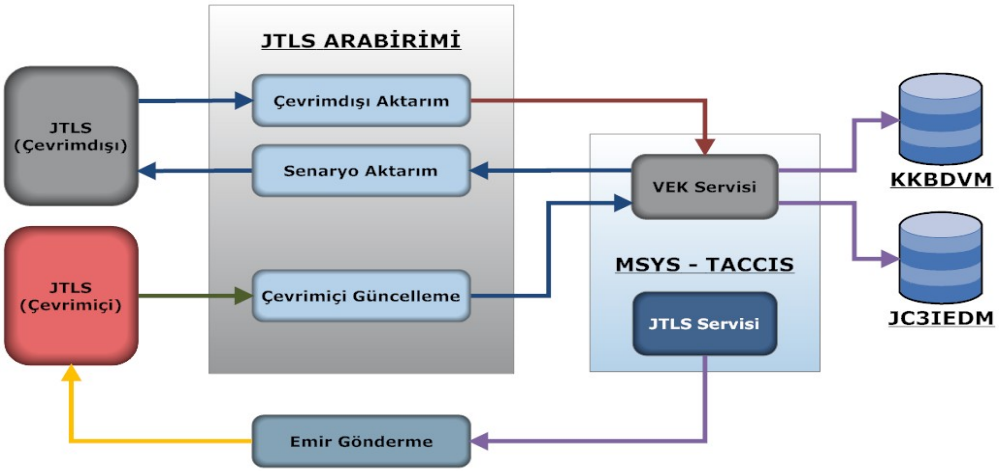
b) Senaryonun geçerlemesi (Scenario verification)

c) Çevrimiçi kullanıcı kılavuzu oluşturulması (OPM-Online Player Manual)

d) Senaryonun ilklendirilmesi (Scenario initialization).

e) CEP (Combat Events Program) çalıştırılması

f) Oyuna belli bir hız verilmesi. (Senaryonun icrası).



Şekil 1. JTLS MSYS/TACCIS Arabirimi veri aktarım şeması

2. JTLS MSYS/TACCIS ARASINDA ÇEVRİMDIŞI AKTARIM

2.1. MSYS/TACCIS'TEN JTLS'E SENARYO AKTARIMI

MSYS/TACCIS, TSK-KKK KKBDVM (Kara Kuvvetleri Bilgi Değişim Veri Modeli) veya MIP NATO JC3IEDM (Joint C3 Information Exchange Data Model) veri modelleri üzerinde çalışabilen, çok katmanlı mimariye sahip, web tabanlı, birlik, organizasyon, konvoy, tesis, personel, olay/görev, hedef, tip, yetenek yönetim, analiz, raporlama araçları ile harekât planı/emir ve eklerinin oluşturulmasından, bu harekât planının cari harekât ağacına aktarılmasına ve harekâta ait tüm unsurların (birlik, tesis, malzeme, hedef, kontrol tedbirleri, olay) gösterimlerinin HRG (Harekât Resmi Görüntüleyicisi) üzerinde standartlara uygun askeri işaretlerle gösteriminin sağlandığı Kara Kuvvetleri Komutanlığı'nın temel komuta kontrol bilgi sistemidir.

Bu kabiliyetlerle komutan ve karargâhın doğru karara ulaşması için gerekli tüm fonksiyonları içermektedir.

MSYS/TACCIS uygulaması kullanıcıya planlama ve cari olmak üzere iki perspektif sunmaktadır. Planlama perspektifinde amaç belli bir harekât planı dahilinde, harekât ihtiyaçlarını karşılayacak muharebe için tertiplenme (ORBAT-Order of battle) ve bu doğrultuda hazırlanmış birlik hiyerarşisi, organizasyon, tesisler, hedeflerin harekât planı bağlamlarına eklenmesi ve harekât icrası noktasına gelindiğinde bu harekât planının harekât emrine ve bu emirden harekâta çevrilerek cari perspektifte ilerleyen harekât ile ilgili durumsal farkındalık sağlamaktır. Planlama perspektifinde bahsedilen adımlarla aslında savaş simülasyon sistemi için gerekli bilgileri içeren, bağlamlardan oluşan veri kümeleri oluşturulmuştur. JTLS arabirimi MSYS/TACCIS uygulaması tarafından sunulan servis tabanlı mimariye sahip VEK (Veri Erişim Katmanı) kullanarak planlama ya da cari perspektifte oluşturulmuş verileri çeker, üzerinde gerekli veri dönüşümlerini yaparak JTLS çevrimdışı (DDS-Offline) veri tabanına aktarır. JTLS arabirimi kullanıcıya sunduğu arayüz üzerinden dost/düşman kara, hava, deniz birlikleri, tesisler (havaalanı, korunak, cephanelik vb.), hedef listesi aktarımlarını seçimle ya da sorgulama sonucu bulunmuş hiyerarşik olarak bağlı birliklerin bulunduğu üst birlik seçilerek alt birliklerin aktarımlarını otomatik olarak yapabilmektedir. Aktarım sırasında birlik, hedef ve tesislerin konum, milliyet, muharebe gücü, operasyonel durumu, dost/düşmanlık durumu (JTLS arabiriminde seçilmiş olan taraf bilgisine göre), ekipman ve tüketilebilir malzemeleri, kabiliyetleri (hareket kabiliyeti, ateş kabiliyeti, depolama kabiliyeti) otomatik olarak aktarılır.

Senaryo aktarımında en çok zorluk yaşanan bölüm aktarılan birliklere ait sembollerin doğru olarak JTLS tarafında görüntülenmesidir. MSYS/TACCIS uygulaması sembol oluşturulmasını tip, birlik büyüklüğü bilgilerini kullanarak yapmaktadır. JTLS tarafında tip bilgisine karşılık PROTOTYPE kavramı bulunmaktadır. Sorun KKBDVM ya da JC3IEDM veri modellerinde çok detaylı tip seçimi yapılabilmesine karşılık JTLS veri

modelinde yer alan PROTOTYPE'ların daha kısıtlı olması ve farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Diğer bir sorun ekipman/teçhizat/araç aktarımında karşımıza çıkmaktadır. JTLS veri modelinde bulunan ekipmanların birçoğu K.K.K ya da NRDC-T envanterinde bulunan ekipmanlarla uyumsuzluk göstermektedir. Bu sorunun JTLS seviyesinde aşılma imkanı bulunmaktadır. JTLS farklı tipte ekipman/tüketilebilir malzeme tanımlanmasına olanak vermektedir. Ancak tüm envanter tiplerinin "lanchestrian" parametreleri ile birlikte JTLS'te tanımlanması çok fazla zaman ve emek harcanmasını gerektirir. Bu nedenle daha kısa vadeli çözüm olarak JTLS arabirimi üzerinde mevcut JTLS ekipman/tüketilebilir malzemelerinin KKBDVM-JC3IEDM veri modelleri üzerinde MSYS/TACCIS tarafından oluşturulmuş ekipman/tüketilebilir malzemelerle eşleştirilmesine olanak sağlayan arayüz tasarlanmıştır. Bu sayede envanterde bulunan tüm ekipman/malzeme aktarımının yapılması sağlanıp, aktarım sırasında eşleştirilmemiş ekipman/malzeme bulundu ise aktarım sonunda kullanıcıya aktarım raporunda aktarılamayan malzeme bilgisi verilerek bu ekipman/malzemelerin sonradan eşleştirilmelerinin yapılarak aktarılmasına imkan verilmiştir. Yapılan eşleştirmelerin daha sonraki tatbikatlarda kullanılabilmesi için eşleştirmelerin XML formatında dışa aktarımı yapılabilmektedir. Yeni yapılacak olan tatbikatta tekrar emek harcamadan bu XML dosyasının içe aktarımı ile tüm eşleştirmeler KKBDVM ve JC3IEDM modellerinin ikisini de kapsayacak şekilde hazır olacaktır.

Aktarım her ne kadar sorunsuz yapılsa da JTLS tarafında senaryo geçerlemesi yapılması gerekmektedir. Burada karşılaşılan hata mesajları genellikle JTLS birlik tip ve kabiliyetine uygun ekipman/malzeme/personel bulunamamasıdır. Diğer sık karşılaşılan hata ise aktarılmış olan ekipmanı kullanacak yeterli sayıda personel bulunmamasıdır. Ayrıca aktarılan birliklerin hiyerarşik yapılarında herhangi bir kopukluk olmaması gerekmektedir. Bu nedenle kullanıcıların aktarımlarında hiyerarşik aktarımla ORBAT yapısını otomatik olarak aktarmaları tavsiye edilmektedir. Senaryo geçerlemesi sırasında alınan uyarı mesajları göz ardı edilebilmesine karşın hata mesajlarında belirtilen hususlar düzeltilmediği taktirde CEP (Combat Engine Program) çalıştırılamayacak ve simülasyon başlatılması mümkün olmayacaktır.

JTLS-MSYS/TACCIS Arabirimi, çevrimdışı aktarımda zorunlu olan konfigürasyon parametrelerinin girilmesine olanak sağlayan konfigürasyon paneli de sağlamaktadır. Bu panel üzerinden taraf (side) seçimi, JTLS'te tanımlı taraf bilgileri ile KKBDVM-JC3IEDM veri modelleri üzerinde bulunan milliyetlerin (affiliation) eşleştirilmesi imkânı verilmiştir.

2.2. JTLS'TEN MSYS/TACCIS'E VERİ AKTARIMI

JTLS arabirimi JTLS ile yapılan tatbikatların KKBS üzerinden izlenebilmesini sağlamak üzere JTLS çevrimdışı (DDS-Offline) veri tabanından MSYS/TACCIS kullanıcılarının ilgisi dahilinde olan dost düşman birlik, tesis, hedef unsurlarının aktarımını MSYS/TACCIS uygulamasının bağlı bulunduğu KKBDVM/JC3IEDM veri tabanları üzerine yapmaktadır. Bu aktarım aslında çevrimiçi aktarım bölümünde inceleyeceğimiz senaryonun icrası aşamasında yapılan sürekli eşleştirme adımının gerektirdiği zorunlu veri aktarımıdır.

JTLS, tatbikat katılımcılarının tatbikatı izleyebileceği ya da ilerleyen simülasyon dahilinde emirler vasıtası ile etkileşimde bulunabileceği ağ tabanlı bir istemci sunmaktadır. O zaman neden bu aktarıma ihtiyaç var?

HOSIM liderliğinde hazırlanan JTLS tatbikatları genelde müşterek kuvvetlerle gerçekleştirildiğinden (kara, deniz, hava) kara kuvvetleri sadece kendi ilgisi dahilinde olan unsur hareketlerini takip etme ihtiyacı duyabilmektedir.

Tatbikat sırasında kullanıcılar bu sayede MSYS/TACCIS uygulamasını muharebe ortamında kullanma imkanına sahip olmaktadırlar. Uygulama üzerinde JTLS istemcisin sağlamadığı analiz araçlarını kullanarak komuta kontrol yeteneklerini de arttırmış olmaktadırlar.

3. JTLS MSYS/TACCIS ARASINDA ÇEVRİMİÇİ AKTARIM

3.1. JTLS'TEN MSYS/TACCIS'E VERİ AKTARIMI

JTLS'ten MSYS/TACCIS uygulamasının kullanmış olduğu veri tabanına çevrim dışı aktarım tamamlandıktan sonraki aşama Combat Engine'in (CEP-Combat Events Program) çalıştırılmasıdır. Sonrasında JTLS yöneticisi oyuna belli bir hız vererek simülasyonun icrasını başlatır. Senaryo icrası sırasında JTLS unsurlarında aşağıda belirtilen değişiklikler oluşmaktadır:

- Birlik, tesis, hedef konumları.
- Birlik muharebe gücü.
- Birlik ve tesis operasyonel durumları.
- Birlik ve tesislerin ekipman/tüketilebilir malzeme miktarları.
- Muharebe etkinliği belli bir seviyenin altına düşmüş unsurların oyun dışına atılması.
- Birlik ast üst ilişkilerinde değişiklik (Order of battle) ya da bir birliğin başka bir birliğe destek olarak verilmesi.

- Birliğin bölünmesi (detach) ya da bir birliğin başka birlikle birleşmesi (attach).
- Belirli t zamanı sonrası senaryo gereği önceden aktif olmayan bir birliğin aktif hale gelmesi.
- Yeni bir birliğin, hedefin oyuna katılması.

Senaryonun icrası sırasında oluşan bu değişiklikler komuta kontrol bilgi sistemleri için önemlidir. JTLS-MSYS/TACCIS Arabirimi oluşan bu değişiklikleri JTLS çevrimiçi (online-SDR) veri tabanında ilgili tablolarda bulunan tetikleyicileri (trigger) kullanarak takip etmektedir. Tespit edilen değişiklikler JTLS-MSYS/TACCIS Arabirimi tarafından KKBDVM/JC3IEDM veri modellerinin iş kurallarına uygun olarak dönüştürülerek VEK (Veri Erişim Katmanı) servisi üzerinden MSYS/TACCIS uygulamasının çalıştığı veri tabanına aktarılır. Birlik, ekipman/malzeme, hedeflerle ilgili oluşan değişikliklerin izlenmesi ve aktarım işlemleri ayrı thread'lerle yapılarak JTLS-MSYS/TACCIS Arabiriminin değişiklikleri aktarma hızı arttırılmıştır. Değişiklik oluşan ve aktarımı yapılan unsurlar anlık olarak JTLS-MSYS/TACCIS Arabirim ekranında kullanıcıya gösterilir.

JTLS yöneticisi devam eden simülasyonun durdurma, yeniden başlatma ya da belli kontrol noktaları (check-point) oluşturarak durdurulan oyunun kaldığı yerden devam etmesini sağlayabilir. Bu ihtiyaç JTLS'in çalışması sırasında karşılaşılan hata ya da dış sistem entegrasyonunda yaşanan problemlerden kaynaklanabilir. Durdurulan oyunun yeniden başlatılması sırasında çevrimiçi (online-SDR) veri tabanı tablolarındaki veriler silinerek yeniden yazılır. Bu sırada değişiklik takibinde kullanılan tetikleyicilerin aktif halde bulunması verilerin yeniden yazılması sırasında JTLS-MSYS/TACCIS Arabiriminde değişiklik olarak görüneceğinden bunu önleme amaçlı JTLS-MSYS/TACCIS Arabirimi çevrimiçi paneli üzerinden tetikleyicilerin aktif/pasif hale getirilebilmesi sağlanmıştır. Kontrol dışı veri yazılması durumunda ise tampon bellekte tutulan değişikliklerin silinerek yedekleme tablosuna aktarılması ve JTLS yeniden başlatıldığı anda tüm verilerin ya da seçilen veri tiplerinin güncellenmesi için kontrol paneli sağlanmıştır. Bu şekilde hatalı ya da birden fazla aynı verinin yazılması engellenmiştir.

KKBDVM/JC3IEDM veri tabanlarında konum, muharebe gücü, operasyonel durum değişikliklerinin rapor verisi kullanılarak yazılması gerekmektedir. Rapor verisi oluşturma sırasında simülasyon zamanı rapor verisine uygun formata çevrilerek yazılır. Bu sayede MSYS/TACCIS uygulaması geçmiş tarihteki değişikliklerin gösterimine olanak sağlamaktadır. Örnek olarak HRG (Harita Resmi Görüntüleyicisi) üzerinden birliklerin iz bilgilerinin gösterimi yapılarak simülasyon başlangıcından geçen sürede birliğin (kara, deniz, hava) izlediği yol görüntülenebilmektedir.

3.2. JTLS'E EMİR GÖNDERİMİ

JTLS Emirleri, MSYS/TACCIS uygulamasında Görev Yöneticisi kullanılarak JTLS uygulamasının beklediği şekilde hazırlanan emirlerdir. Bu emirler sayesinde JTLS simülasyonunda yer alan bir unsur için çeşitli emirler verilebilmekte, verilen emirlerin etkileri JTLS simülasyonunda gerçek zamanlı takip edilebilmektedir.

JTLS servisi ile gönderilebilecek emirler NATO MIP JC3IEDM veri tabanında tanımlanmış görev tipleri ile JTLS emirlerinin eşleştirilmesi ile tespit edilmiştir.

JTLS emirlerinin MSYS/TACCIS uygulaması üzerinden gönderimi, MSYS/TACCIS uygulamasının servis tabanlı tasarımı ile JTLS servisi geliştirilerek sağlanmıştır. JTLS Servisi her bir emir için farklı parametre girişlerinin sağlandığı arayüzler sunar. JTLS Servisinden gönderilen emirlerin JTLS tarafından kabul edildiğine dair kullanıcıya geri bildirim yapılır. Eksik parametrelerle ilgili olarak kullanıcı bilgilendirilir. JTLS-MSYS/TACCIS Arabirimi çevrimiçi (online) paneli servis üzerinden gönderilen emirlerin takip edilmesine imkân verir. JTLS simülasyonu devam ederken gönderilen emirler sonucu birlik, tesis, hedef gibi unsurlarda oluşan değişiklikler JTLS arabirimi tarafından algılanarak MSYS/TACCIS uygulamasının bağlı olduğu KKBDVM ya da JC3IEDM veri tabanına aktarılır. Bunun sonucunda kullanıcı JTLS servisi üzerinden göndermiş olduğu emrin etkilerini ilgili birlik, tesis yöneticisi ya da HRG (Harekât Resmi Görüntüleyici) üzerinden görme imkanına sahip olur.

JTLS tarafından gönderilebilen 200 civarı emre karşılık JTLS Servisi ile bunların 29 tanesi gönderilebilmektedir. Daha kapsamlı eşleştirme çalışması ile bu sayı arttırılabilir. JTLS Servisi ile gönderilebilen emirlere örnek olarak, geçici savunma düzeni almak, oyalamak, mayın döşemek/dökmek, mayın karşı tedbirleri (MKT) harekâtı yapmak (sınırlı temizlemek), mevzi/yer değiştirmek, tahrip/imha etmek, yakın hava desteği, amfibi harekât icra etmek, taktik hava keşfi verilebilir.

4. SONUÇ

JTLS arabirimi bir çok tatbikatta başarı ile kullanılmış, zaman ve insan kaynağı açısından tasarruf sağlamış, KKBS ve harp simülasyonu arasında sağlanan entegrasyonla simülasyona harekât planı bakış açısı katmıştır.

Çevrimiçi modunda JTLS'ten MSYS/TACCIS'e sağlanan veri akışı ile kullanıcıların JTLS istemcisine bağımlığı azaltılmış, simülasyonu karargâh ortamında kullanılan KKBS yazılımı olan MSYS/TACCIS üzerinden takip etme ve sadece ilgisi dahilinde olan unsurları takip etme imkânı sağlanmıştır.

JTLS arabirimi ile sağlanan tatbikattan veri akışı ile MSYS/TACCIS kullanıcı eğitimlerinin sanal harp ortamında yapılması sağlanmıştır. Bu da bize simülasyon ve

KKBS entegrasyonunun komuta kontrol bilgi sistemlerinin kullanıcı eğitimleri için de önemli rol oynadığını göstermiştir.

Çevrimiçi modunda MSYS/TACCIS üzerinden JTLS servisi aracılığı ile emir gönderilebilmesi ile KKBS sistemlerinin aynı zamanda simülasyonun bir parçası haline gelebileceğini göstermiştir.

MSYS/TACCIS üzerinden JTLS'e aktarılan senaryolarla henüz tatbikat gerçekleştirilmemiş olsa da senaryo aktarımının yapılabileceğine dair çok önemli adımlar atılmıştır. Bu başarım tamamlandığında MSYS/TACCIS üzerinde cari durumu yansıtan gerçek bilgilerin hızlı bir şekilde simülasyona aktarılarak komuta kademesinin karar verme süreçlerine katkı sağlayacak veriler elde edilmesi mümkün olacaktır.

5. KAYNAKÇA

[1] MSYS/TACCIS Projesi, JTLS Arabirimi Yazılım Tasarım Dökümanı (2010), Bilgi GIS Ltd. Şti.

[2] MSYS/TACCIS Projesi, JTLS Arabirimi Kullanıcı Kılavuzu (2010), Bilgi GIS Ltd. Şti.

[3] JTLS Executive Overview (2009), JTLS 3.4.0.0 Dağıtımı

[4] JTLS Player Guide (2009), JTLS 3.4.0.0 Dağıtımı

[5] JTLS DDS User Guide (2009), JTLS 3.4.0.0 Dağıtımı

[6] Seo, C. ve Zeigler, B.P. (2009), DEVS namespace for interoperable DEVS/SOA, Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, 1311-1322.

[7] Pullen, J. M., Hieb, M. R., Sudnikowich, W. P. ve de Cahmps, P. (2006), An International Experiment in Command and Control -- Simulation Interoperability Using Web Services, Proceedings of the Tenth IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, pp.

[8] Pullen, J. M., Corner, D., Singapogu, S. S. ve McAndrews P. (2009), Interpreted Web Services as a Tool for Development of Command and Control Interoperability with Simulations, 13th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications

[9] Lee, T. ve Ghosh, S. (2006), Simulating Asynchronous, Decentratized Military Command and Control, Arizona State University

BİLİNEN ALICI VE VERİCİ POZİSYONLARI İÇİN YANSIMA MERKEZİNİN KESTİRİMİNE YÖNELİK BİR ÇALIŞMA

Kamil Yavuz Kapusuz [(a)], Ali Kara [(b)]

[(a)] Atılım Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kızılcaşar Mahallesi, 06836 İncek Gölbaşı - Ankara – Türkiye, kapusuz.kyavuz@gmail.com
[(b)] Atılım Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kızılcaşar Mahallesi, 06836 İncek Gölbaşı - Ankara – Türkiye, akara@atilim.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, alıcı tarafından açısal bilgisi ölçülmüş bir yansı için muhtemel yansıma noktaları ve bu noktalar ile muhtemel yansıma merkezi tahmini için bir yöntem sunulmaktadır. Temelde yöntem, elektromanyetik dalga yayılımı kuramına dayanarak belirli varsayımlar ile ölçülmüş bir yansının düzgün olmayan yeryüzü üzerindeki merkezini kestirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla geometrik optik (GO) kuramından faydalanılmıştır. Bu kapsamda, Fresnel bölgesi kuramı GO kuramına uygun olarak çalıştırılmakta, yeryüzüne yönelik sayısal coğrafi bilgiler (Coğrafi Bilgi Sistemleri-CBS) ile alıcı ve verici konumlarının bilindiği varsayılmaktadır. Önerilen yöntemin, UHF ve üstü bantlarda, özellikle radar ve elektronik harp uygulamalarındaki menzillerde geçerli olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik Dalga Yayılımı, Fresnel Bölgeleri, Radyo Haberleşmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

ESTIMATION OF SCATTERING CENTER FOR A GIVEN TRANSMITTER AND RECEIVER POSITIONS

ABSTRACT

In this work, a method for estimating scattering center (or point) of a multipath is presented provided that the direction of arrival of the multipath is known by the receiver. The method is based on classical electromagnetic wave principles in order to estimate scattering center over irregular terrain. Geometrical optics (GO) along with Fresnel Zone concept is employed as the receiver and the transmitter positions are assumed to be provided through geographical information systems(GIS). The proposed method could be used over UHF bands, especially, in radar and electronic warfare applications.

Keywords: Electromagnetic Wave Propagation, Fresnel Zones, Radio Communications, Geographical Information Systems (GIS)

1. GİRİŞ

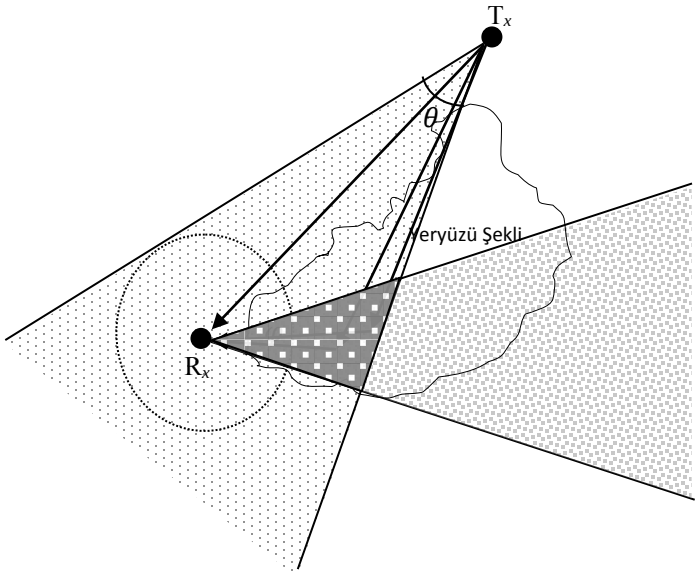
Işın izleme temelli dalga yayılımı modellemesi, kablosuz haberleşmede özellikle yansıma, kırınım ve saçılma etkilerinin olduğu durumlarda oldukça etkin olarak kullanılabilmektedir [4]. Karmaşık geometri ve materyal özelliklerinin dikkate alındığı dalga yayılım problemlerinde, sayısal yöntemler yüksek doğruluk sağlamasına karşın, uzun hesaplama sürelerine ihtiyaç duyulur ve farklı varsayımlar ile farklı çalışma zamanları ortaya çıkmaktadır [2][4]. Çalışma dalga boyunun ortamdaki nesnelerin ve/veya etkilerin boyutlarına göre çok küçük olduğu durumlarda, elektromanyetik dalgalarının geometrik optik (GO) veya kırınım mekanizmalarının eklenmesi ile elde edilen yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması mümkün olmaktadır [2][3][5].

Bu çalışmada, bilinen alıcı ve verici pozisyonları için, alıcı tarafından açısal bilgisi ölçülmüş bir yansı için muhtemel yansıma merkezinin kestirimine yönelik olarak geliştirilmiş basit bir yöntem sunulmaktadır. Temelde yöntem, elektromanyetik dalga yayılımı kuramına dayanarak belirli varsayımlar ile ölçülmüş bir yansının düzgün olmayan yeryüzü üzerindeki merkezini kestirmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla, Fresnel bölgesi kavramı GO kuramına uygun olarak çalıştırılmakta, yeryüzüne yönelik sayısal coğrafi bilgiler (Coğrafi Bilgi Sistemleri-CBS) ile alıcı ve verici konumlarının bilindiği varsayılmaktadır. Önerilen yöntemin, UHF ve üstü bantlarda, özellikle radar ve elektronik harp uygulamalarındaki menzillerde geçerli olacağı varsayılmaktadır.

2. PROBLEMİN TANIMI

Probleme ait geometri Şekil 1'de verilmektedir. Tx vericiyi ve Rx alıcıyı temsil etmektedir. Vericinin dar huzmeli bir anten (θ) ile emisyon yaptığı, alıcının yön bulma yeteneği olan bir anten sistemi (yatayda tüm açılarda ölçüm yapabilme yeteneği olan) ile hem alıcıdan direk gelen hem de sinyal-gürültü eşik seviyesini geçebilen çok yollu yansıların geliş açılarını belirli bir hata marjları (φ) içerisinde ölçebildiği varsayılmaktadır. Verici ve alıcı arasındaki direk mesafe (line of sight-LOS) d'dir. Şekil 1'de gösterildiği gibi verici hem alıcıyı hem de farklı özelliklerdeki yeryüzünü aydınlatmakta, dolayısıyla hem direk hem de yeryüzünden farklı yansımaların alıcıya ulaşması mümkün olmaktadır. Verici huzme açısı, yansıyan ışının (yansı) geliş açısı bilindiği taktirde yansımanın aranacağı bölge kestirilebilir ve Şekil 1'de örnek 2 yansıma merkezi gösterilmektedir. Dolayısıyla problem, hem alıcı hem de verici tarafından görünür bölgede yansıma merkezinin (veya noktasının) aranmasına indirgenmiş olur. GO kuramına göre, yansıma merkezi veya noktalarının ilgili bölgedeki yüksek noktalarda olması olasılığı yüksektir. Bununla birlikte, yeryüzü

eğimi, materyal yapısı vs. gibi sebepler ile farklı noktalarda olma olasılığı da göz ardı edilmemelidir.



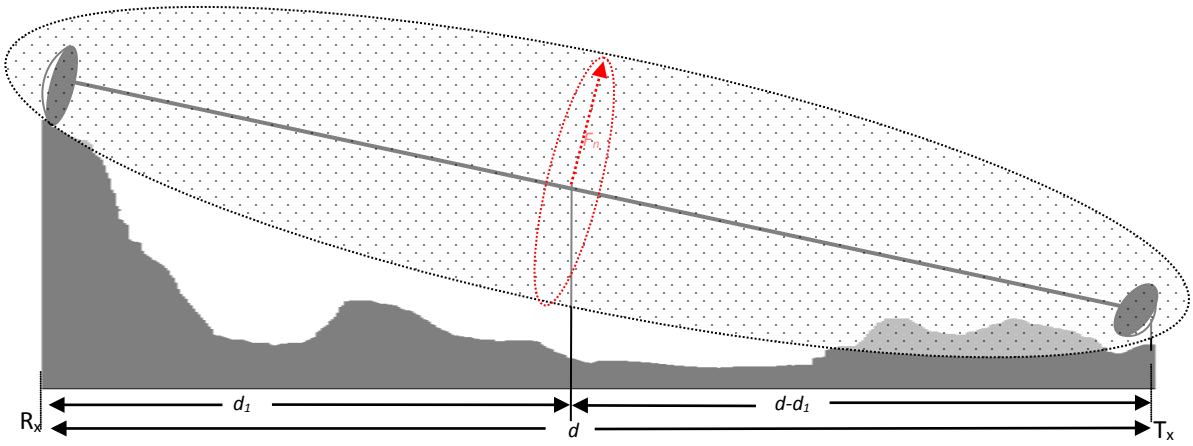
Şekil 1. Problemin tanımı

Bu nedenle yeryüzü şekli üzerinde alıcının ve vericinin beraber gördüğü en yüksek noktalardan başlayarak, farklı açılardaki dikey yeryüzü kesitleri üzerinde, Fresnel bölgelerini dikkate alarak muhtemel yansıma noktalarını aramak iyi bir kestirim yöntemi olabilir. Ancak yansıma, özellikle yüksek eğimlerin olduğu bölgelerde birbirinden uzak farklı noktalardan ortaya çıkabilir. Bu durumda yansıma noktasından ziyade farklı kesitler ile yansıma merkezini tespit etmek gerekecektir. Bu nedenle bu çalışmada, tek bir noktadan ziyade bir çok noktayı temsil edecek bir merkezden yansıma olacağı düşünülmektedir. Yansıma sağlayacak noktalar ile yansıma merkezi kestirimi yapmak gerekmektedir. Yansıma sağlayacak noktalara karar vermek için yayılım teorisindeki Fresnel bölgesinden faydalanılmaktadır.

3. FRESNEL BÖLGESİ

Fresnel bölgesi, dalga yayılımında sıklıkla kullanılan bir kavramdır. İki nokta arasında elektromanyetik dalga, eş merkezli iki dairenin oluşturduğu elips içerinde yayılmaktadır [1]. Gönderilen sinyalin direk olarak alıcıya ulaşması için Fresnel bölgesine hiçbir engelin girmemesi, diğer bir deyişle, Fresnel bölgesinin temiz olması gerekmektedir. Bu durumu, önceki bölümdeki geometriyi dikkate alarak genişletirsek; yansıma noktası tahmini yapabilmek için verici ile belirlenen yüksek nokta arasındaki Fresnel bölgesi ile bu yüksek nokta ile alıcı arasındaki Fresnel bölgelerinin temiz olması kısaca hiç bir engel olmaması gerekmektedir. Bu şartlarda, bu yüksek noktanın muhtemel bir yansıma noktası olabileceği söylenebilir. Şekil 2'de gösterildiği üzere Fresnel bölgesi alıcı ve verici arasındaki direk görüş etrafında eş merkezli iki dairenin oluşturduğu bölgedir.

Fresnel bölgesi, farklı yarıçaplarda birden çok olabilir ve tipik olarak ilk bölge en kritik olandır.



Şekil 2. Fresnel Bölgesi gösterimi

Verilen uzaklıklar için Şekil 2'deki F_n, n'nci Fresnel bölgesinin yarıçapını ifade etmektedir ve denklem 1 ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1(d - d_1)}{d}} \qquad (1)$$

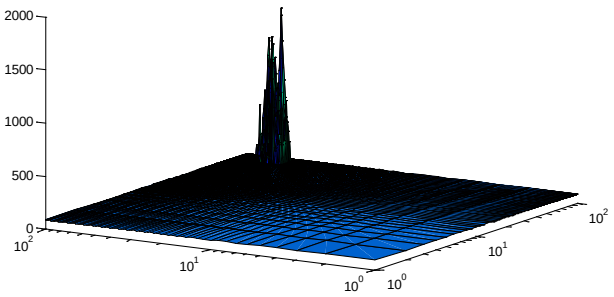
Bu denklemde n Fresnel bölgesinin derecesini ve λ 'da gelen elektromanyetik dalganın dalga boyunu ifade eder. Bu denklem ile Fresnel bölgelerinin boyutlarının çalışma frekansına bağımlılığı da gözlemlenebilir [3].

Fresnel bölgesinin yarıçapı, verici ve alıcı arasındaki uzaklığın tam orta noktasında en büyük olur ve uçlara gittikçe azalır. Her ne kadar teorik olarak tüm Fresnel bölgeleri hesaplanabiliyor olsa da, ilk bölge en kritik olandır ve bu bölgede yayılım engelleyecek nesnelerin olmaması veya en az düzeyde girmesi arzu edilir. Bu şekilde, Fresnel bölgesi kavramı ile elektromanyetik açıdan görünürlük analizleri yapılabilir. Fresnel bölgesi içersindeki nesneler varsa, elektromanyetik dalgaların bu nesneler ile etkileşimi dikkate alınmalı ve ortaya çıkan kayıp dikkate alınmalıdır. Şekil 2'de örnek bir senaryo verilmektedir. Bu durumda yansıma, kırınım, saçılma gibi etkilerin hesaplanması gerekmektedir.

4. YERYÜZÜ BİLGİLERİ

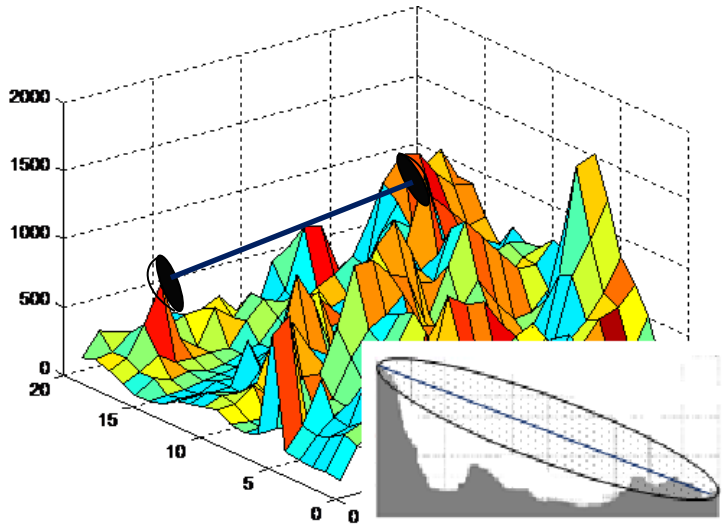
Son dönemde oldukça etkin bir şekilde çok farklı alanlarda kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) sayesinde, yüksek çözünürlükte sayısal haritaların kullanımı mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada, kapsamlı sayısal haritalar üzerinden veri işleme yerine, ücretsiz bilinen bir harita programından örnek bir bölge ele alınmış ve konum ve yüksek

verileri harita üzerinden okunarak hesaplanmıştır. Bu amaçla, örnek bir senaryo için kullanılan yeryüzü yapısına yönelik sayısallaştırılmış bir geometrisi Şekil 3'de verilmektedir. Bu yeryüzü yapısı, Ege bölgesinde kıyı şeridinden bir kesit olarak alınmış ve 1800'ye varan yüksekliği ile bölge 500m'lik hücrelere bölünmüştür. Büyük kısmını denizin oluşturduğu kesit, 100x100 hücre büyüklüğünde olup 50km x50km boyutlarındadır.



Şekil 3. 3 boyutlu yeryüzü şekli

Yükselti farklı renkleri ile Şekil 3'de gösterilmektedir. Sonraki kısımlardaki görünürlük kestirimleri, farklı noktalara alıcı ve vericilerin yerleştirilmesi yürütülmüştür. Mesela, sadece kara parçası üzerinde alıcı ve vericinin yerleştirildiği tipik bir iletim hattı Şekil 4'de gösterilmektedir.

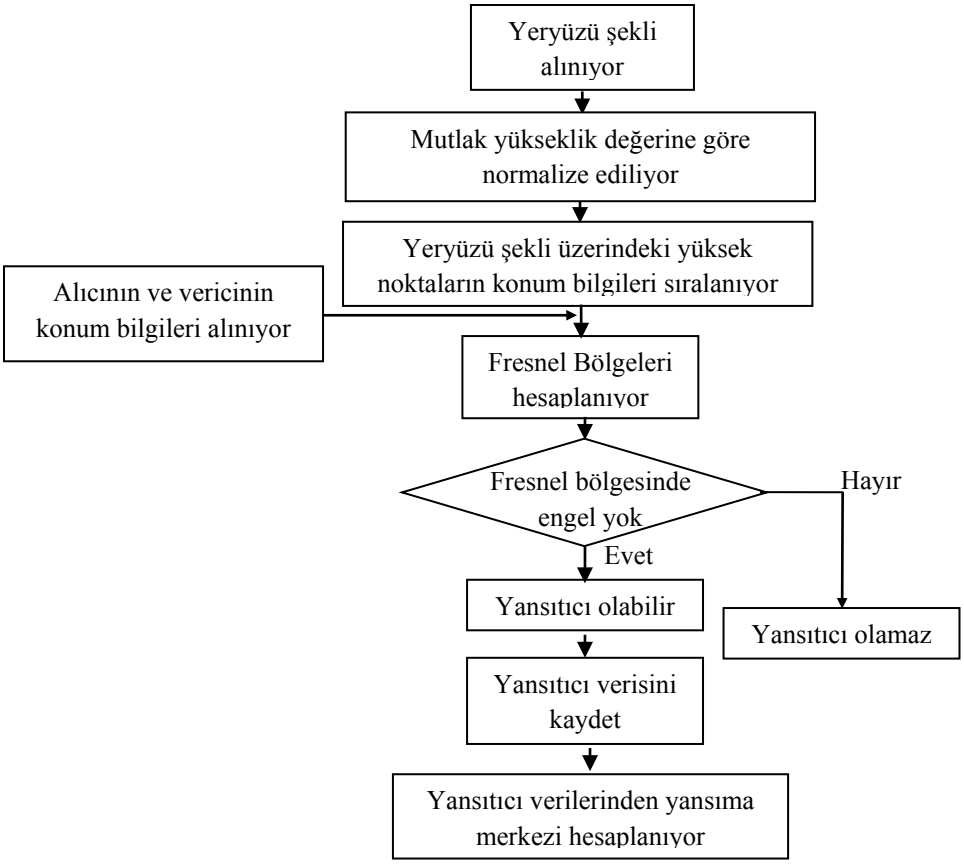


Şekil 4. 3 Boyutlu eksen üzerinde link hattı

5. KESTİRİM ALGORİTMASI

Yansıma merkezinin kestiriminde kullanılacak algoritma için girdi parametreleri, tipik olarak frekans, sayısal yeryüzü verisi, alıcı ve verici konumları olabilir. Algoritmanın çalışması kısaca şu şekilde açıklanabilir. Öncelikle sayısal yeryüzü verisi üzerinde ve deniz seviyesi altındaki en düşük yükseltiye göre normalizasyon işlemi yapılır. Ardından, geliş açısı bilgisine göre muhtemel yansıma bölgesi içerisindeki tepe noktalar tespit edilir. Tepe noktalar muhtemel yansıma noktaları olarak ele alınmaktadır ve en yüksekten başlanarak istenildiği sayıdaki muhtemel yansıma noktası tespit edilir.

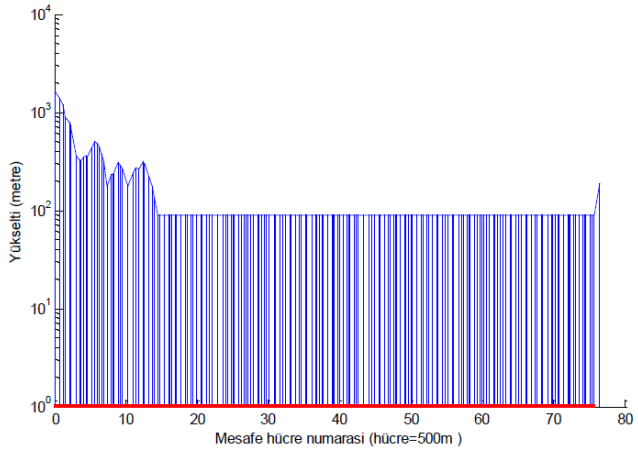
Önceki kısımda anlatılan Fresnel teorisi kullanılarak, öncelikle muhtemel yansıma noktaları (tepe noktaları) ile verici ve ardından da yansıma noktaları ile alıcı arasındaki Fresnel bölgeleri oluşturulur. Fresnel bölgelerine girme durumları test edilerek en az girme olan kesitler tespit edilir. Fresnel bölgesine girmenin en az olduğu noktalar en yüksek yükseklik/yükselti değerlerinden başlanarak sıralanır. Bu sıralanan noktaların ortasında yansıma merkezi bulunur. Bu nokta ile yansımanın tek bir noktadan değil bu noktalar örüntüsünde oluşacak bir merkezden yansıyacağı tahmini yapılabilir. Algoritma için akış şeması Şekil 5'da gösterilmektedir.



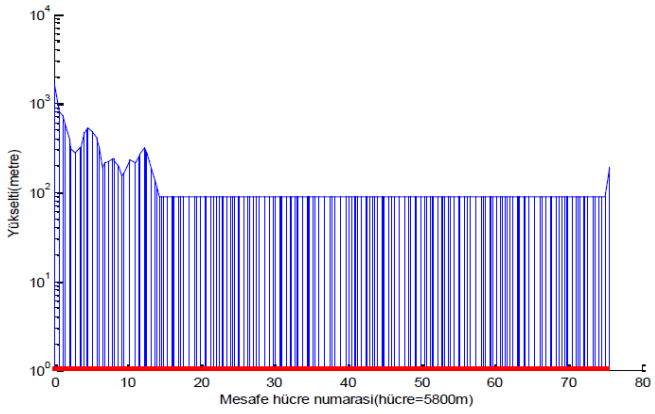
Şekil 5. Algoritma akış şeması

6. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Şekil 6'da seçilen yeryüzü şekli üzerindeki (57,87) ve (57,86) pozisyonlarındaki noktalar ile verici arasında, en yüksek noktadan başlanarak yeryüzü görüntüleri oluşturulmuştur. Şekilde mavi parçalı olarak gösterilmiş çizgiler verici ile yüksek nokta arasındaki yükseltileri simgelemektedir. Kırmızı noktalar ise mavi yükseltiler ile simgelenmiş yükseltilerin Fresnel bölgesine ne kadar girdiğini göstermektedir. Bu hesaplamalar yapılırken Şekil 2'de sunulan geometri ve denklem 1 kullanılmaktadır.



a. (57, 87)

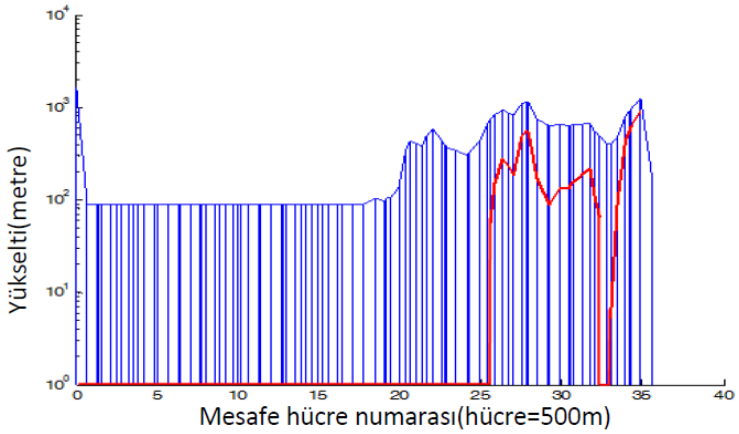


b. (57, 86)

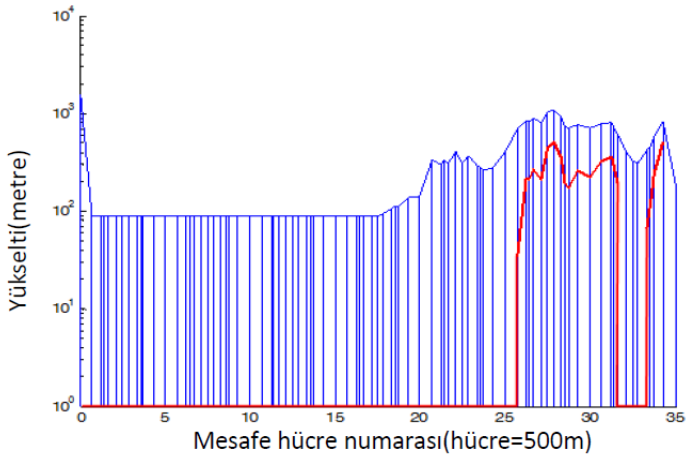
Şekil 6. Yüksek noktalar ile verici arasındaki yeryüzü görüntüleri

Şekil 6'da ortalama 100 metre yükselti değeri deniz seviyesini ifade etmektedir. Yeryüzü şekli üzerinde mutlak yükselti değeri deniz seviyesinin altında olduğu için bu değere göre yeryüzü şekli normalize edildiğinde deniz seviyesi ortalama 100 metre olarak görülmektedir. Şekil 6'da görüldüğü üzere yeryüzü şekli üzerindeki yüksek noktalar ile verici arasındaki yeryüzü görüntülerinde hiçbir yükseltinin Fresnel bölgesine girmediği gözlemlenmiştir.

Şekil 6'da verici ile en yüksek üç nokta sıralanırken Şekil 7'de alıcı ile en yüksek iki nokta arasındaki yeryüzü görüntüleri, en yüksek noktadan başlanarak sıralanmıştır. Şekilde mavi ve kırmızı ile belirtilmiş doğrular Şekil 6'daki doğrular ile aynı anlamları taşımaktadırlar.



a. (57, 87)



b. (57, 86)

Şekil 7. Yüksek noktalar ile alıcı arasındaki yeryüzü görüntüleri

Alıcı ile seçilen en yüksek aynı üç nokta arasındaki yeryüzü görüntüleri Şekil 7'de sunulmuştur. Şekilde (a)' da ifade edilen alıcı ile en yüksek nokta arasında Fresnel bölgesine giren noktalar kontrol edildiğinde yaklaşık olarak 27 (x hücre çözünürlüğü)' de ki bir engelin Fresnel bölgesine girdiği görülmektedir. Alıcı ile en yüksek ikinci nokta arasındaki yeryüzü görüntüsü (b) de sunulmuştur. Yaklaşık olarak aynı nokta bir engelin olduğu gözlemlenmiştir. Bunu nedeninin yeryüzü şeklinde, en yüksek nokta ile en yüksek ikinci noktanın pozisyonlarının bitişik olmasından kaynaklandığı

düşünülmektedir. Bu nedenle en yüksek iki noktanın yansıma noktası olamayacağı söylenebilir.

Tablo 1'de seçilen yeryüzü şekli üzerindeki beş nokta ile verici arasında, en yüksek noktadan başlanarak yeryüzü görüntüleri ve alıcı ile seçilen en yüksek aynı beş nokta arasındaki yeryüzü görüntüleri sunulmuştur. Tabloda A yeryüzü şekli üzerindeki en yüksek noktayı(tepe nokta), E ise beşinci en yüksek noktayı(tepe noktayı) ifade etmektedir.

Çizelge 1. Yeryüzü şekli üzerindeki verici-5 nokta ve 5 nokta-alıcı arasındaki Fresnel Bölge bilgileri

Verici-Yüksek Noktalar		Yüksek Noktalar -Alıcı	
Yüksek Nokta	Fresnel Bölgesi	Yüksek Nokta	Fresnel Bölgesi
A	Temiz	A	Engel var
B	Temiz	B	Engel var
C	Temiz	C	Engel var
D	Temiz	D	Temiz
E	Temiz	E	Temiz

Tabloda görüldüğü üzere, verici ile yeryüzü şekli üzerindeki A, B, C, D ve E, en yüksek noktaları arasında Fresnel bölgesine hiçbir engelin girmediği yani hattın/bölgenin temiz olduğu belirtilmektedir. Ancak yeryüzü şekli üzerindeki aynı beş nokta ile alıcı arasındaki bölge incelendiği zaman A, B ve C noktaları ile alıcı arasındaki bölgede engellerin olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan D ve E noktaları ile alıcı arasındaki bölgelerin ise temiz olduğu görülmektedir.

Tablo 1'den faydalanarak yeryüzü şekli üzerindeki en yüksek dördüncü ve beşinci noktaların, yani D ve E noktalarının, yansıma noktası ve bu iki nokta arasındaki pozisyonun ise yansıma merkezi olacağı sonucu çıkarılabilir. Ancak daha etkin bir çözüm için pratikte çok daha fazla tepe/yüksek noktanın dikkate alınması gerekebilmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, rastgele seçilen yeryüzü şekli için yansıma noktası ve yansıma merkezi kestirimi/tahmini yapılmıştır. Seçilen yeryüzü şekli üzerinde verici ve alıcı pozisyonları ile en yüksek beş nokta arasındaki Fresnel bölgeleri kontrol edilmiş. Fresnel bölgesinde engel olup olmamasına göre yansıma olup olamayacağına karar verilmiştir.

Bu çalışmada yansıma, kırınım ve saçılma etkileri dikkate alınmamaktadır. Coğrafi bölge ve yapılara göre bu etkilerin dikkate alınması gerekmektedir. Ancak pratikte direk

görüşün olduğu durumlarda yansıma ve kırınım etkileri ihmal edilebilir. İleriki çalışmalarda bu etkiler de incelenerek kestirim sürecine dahil edilmesi sağlanabilir. Ancak kırınım, saçılma ve yansıma teorileri hesaba katıldığında, yansıma noktası kestiriminin hesaplama sürelerinde ciddi artış olması muhtemeldir. Bu nedenle bu çalışma kısa süre zarfında karar verilmesi gereken uygulamalar için daha iyi bir çözüm olması beklenebilir.

8. KAYNAKÇA

[1] Bertoni, H. L. (2000), Radio Propagation for Modern Wireless Systems, Prentice Hall; New Jersey, ABD.

[2] Tabakcioglu, M. B. (2009), Development of an Improved Algorithm for Multiple Diffractions in Urban Radio Propagation, Master's Thesis in Electrical & Electronics Engineering, Atilim University, Turkey.

[3] Tabakcioglu, M. B., ve Kara, A. (2010), Improvement on slope diffraction for multiple wedges, Electromagnetics, 30(3), 285-296.

[4] Chen, Z., Delis, A., ve Bertoni, H. L. (2004), Radio-wave propagation prediction using ray-tracing techniques on a network of workstations (NOW), Journal of Parallel Distribution Computation, 64(10), 1127-1156.

[5] Bertoni, H. L., Felsen, L. B., ve Hessel, A. (1971), Local properties of radiation in lossy media, IEEE Transactions on Antennas and Propagations, 19(2), 226-237.

SİMÜLASYON İŞLETİMİNDE İŞLETİM ZAMANLI ANALİZ

M. Fatih Hocaoğlu [a, c], Erdem Reşber[b], İsa Tuncer [c]

[a] İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

[b] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, Maltepe/İstanbul 34844 İstanbul
erdem.resber@agenabst.com

[c] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri Ltd., Bilkent CyberPark, Akara
isa.tuncer@agenabst.com

ÖZ

Simülasyonda işletim zamanlı olarak istatistiki analizlerin yapılması ve bu analizlerin sonuçlarına dayalı olarak işletimin yönlendirilebilmesi, önemli bir tasarım esnekliği sağlayacaktır. Bir senaryonun yönetimi, senaryo varlıklarına atanmış olan görevlerin ve kaynakların değiştirilmesini, koşum yinelemelerinin ve koşum uzunluğunun belirlenmesini, ısınma süresinin belirlenmesini içeren ve bunlarla sınırlı kalmayan geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır.

SZAM koşum öncesi ve koşum sırasında tanımlanan fonksiyonları, yapılan her değer güncellemesini hesaba katarak işletir ve yordamlara ilişkilendirilmiş olan kuralları yürüterek ilgili model davranışlarını yönetir. Bu yönetim koşum sonrası yapılan istatistiki analizleri koşum zamanına taşıma ve analizlerden elde edilen sonuçlarla simülasyonu yönlendirme avantajı sağlar.

Anahtar Kelimeler: Çevrim içi analiz, Etmen tabanlı simülasyon, EtSiS, Koşum sonrası analiz, Model güdümlü simülasyon, Simülasyon yönetimi

EXECUTION TIME ANALYSIS IN SIMULATION

ABSTRACT

In simulation, being able to do statistical analysis in run time and manage simulation execution depending on the analysis results provides a distinguished flexibility. Managing a simulation scenario consists of a wide range including altering resources, determining replications and length of execution, computing warm up period, and not limited by all these.

SZAM executes all functions defining before execution and during execution taking each value updates into account and manages the scenario performing scenario management rules related with the functions. The management provides an advantage to carry post-data analysis into execution time and to be able to use the analysis results to derive simulation execution.

Keywords: AdSiF, Agent driven simulation, Execution time analysis, Model driven simulation, Post-data Analysis, Simulation Management

1. GİRİŞ

Simülasyon teknolojilerinde istatistik modellemenin her safhasında önemli bir konuma sahiptir. Girdi verilerinin hazırlaması ve simülasyon çıktı analizleri modelleme sürecinde ayrıştırılmış ve istatistik yoğun iki safha olarak görülebilir. Her iki safha simülasyon işletim zamanının öncesinde ve sonrasında işletilen, işletim zamanı dışı analizleri içerir. İşletim öncesi analizler, girdi verilerinin hazırlanmasına yönelik analizleri içerirken, çıktı verileri analizleri, ağırlıklı olarak, simülasyon senaryolarının tasarımına dönük geri beslemeler elde etmek ve karar oluşturmak için kullanılır.

Bu çalışmada, çıktı verileri üzerinde yürütülen istatistiki analizlerin, koşum zamanında yürütülerek, senaryo tasarımlarının işletim zamanlı yürütülmesi sağlanmıştır. Bölüm 2'de işletim zamanlı analiz yaklaşımından, Bölüm 3'de oluşturulan çözüme ilişkin mimari tasarımdan ve Bölüm 4'de işlevsel tanımlamalardan bahsedilecektir. Geliştirilen modelin fonksiyonları Bölüm 5'de yeralan örnek uygulama ile örneklendirilecektir. Kazanılan yetenekle ilgili değerlendirmeler sonuç bölümünde ele alınmıştır.

2. İŞLETİM ZAMANLI ANALİZ

Temel olarak işletim zamanlı analiz, simülasyonda uygulanan çıktı verileri analizlerinin, verilerin üretildiği koşum anında analizlere tabi tutulması ve analiz sonuçlarının doğrudan uygulanmasını içerir. Koşum uzunluğunun belirlenmesi, tanımlı istatistiki değerlere ulaşıldığında koşumun sonlandırılması, koşum yineleme sayılarının belirlenmesi, sistemin kararlılık noktasının tespiti ve kararlılık noktası öncesinin istatistiklerden çıkartılması işletim zamanında yürütülen analizler arasındadır. Literatürde çoğunlukla işletim sonrası analizler kapsamında araçlar geliştirilmiştir [1].

Bunlar arasında koşum yığın analizleri [2], [3], yineleme hacmi belirleme [4] sık karşılaşılan analiz tipleridir. Çalışma burada anılan analizleri de içeren genel bir çözüm çerçevesi tanımlayarak, işletim zamanında yürütülerek otomatik karar mekanizması oluşturmayı amaçlamaktadır.

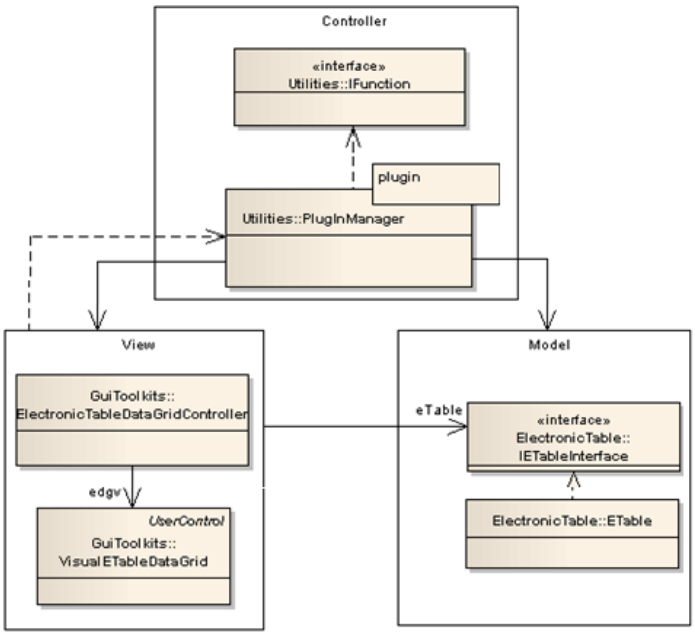
İşletim zamanlı analiz Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi (EtSiS)'nde [5],[6] geliştirilen bir simülasyon çözüm yaklaşımıdır. Analize konu olacak verinin kaynağı simülasyon senaryosunda bulunan modeller tarafından üretilen, öznitelik değerleri ve işletim esnasında modellerin olay iletimi ile ilettikleri verilerdir. Analiz modeli tarafından elde edilen veriler zaman etiketli olarak bir bilgi tabanında tutulur. Analiz modeli üzerinde tanımlanan fonksiyonlar bilgi tabanındaki verileri girdi olarak alırlar ve ürettikleri çıktılar diğer fonksiyonların girdisi olarak tanımlanabilirler. Analiz sonucu elde edilen sonuçlar doğruluk değeri üreten bir şart tanımı olarak geliştirilebilir. Tanımlanan şartlar EtSiS gramerinde davranış olarak tanımlanan eylemler kümesini tetikleyen, sonlandıran, askıya alan veya tekrar işletime alan şartlar olarak kullanılabilir. Bu kapsamda, sistemin bir kararlılık noktası yakaladığı matematiksel olarak hesaplanıp, yeni bir koşum yinelemesi başlatıcı davranışın tetiklenmesi pratik bir uygulama olarak görülebilir. Çözüm bir karalılık noktasına ulaşan bitişsiz sistemlerde kararlılık noktasının belirlenmesinin alternatifi olarak, uzun bir koşumun aralarındaki kovaryansın (covariance) sıfır olduğu alt kümeler oluşturma ve yeterli istatistik analiz kümeleri hazırlama işlevi de görür. Bitişli sistemlerde ise tanımlı koşum sonlanma şartının ardından yeni bir yineleme başlatılmasını ve ardışık yinelemelerin yeterli analiz kümesi oluşturuncaya kadar istatistiklerinin ölçülerek yinelemelerin yürütülmesi sağlanabilir. Analiz modelinin yetenekleri burada verilen örnekler ile sınırlı değildir. Model yetenekleri tanımlanan dinamik kütüphaneler ve davranış yapıları ile genişletilebilmektedir.

Genel fikir olarak, bilgi tabanı ve içerdiği kurallar seti tandem kural tabanı olarak tasarlanmış ve bir matematik hesaplamadan elde edilen sonuçların kural tabanında yeralan kuralları tetiklemesi ve ilişkili davranışı yürütmesi esasına dayandırılmıştır. Pratik uygulaması, karar vericiyi koşum zamanlı olarak sisteme dahil eden ve bunu algoritmalar ile sağlayan bir yapı olarak görülebilir.

3. ÇÖZÜM MİMARİSİ

EtSiS mimarisinin bir gereği olarak model, analiz yürütülecek veriyapılarını olay etkileşimleri ve öznitelik aboneliği ile gerçekleştirilmektedir. Modelin yürüteceği fonksiyonlar eklenti(plugin) mimarisi ile genişletilebilmektedir ve dinamik olarak koşum zamanında yüklenebilmektedir. MVC mimarisi şekilde görüldüğü gibi (Şekil 1) model arayüzü (View), model veriyapısı (Model) ve kontrol bileşeni (Controller) olarak ayrıştırılmıştır. Model arayüzü, elektronik tablo ile görselleştirilmiştir ve tablonun her bir hücresi veri veya formül eklenecek şekilde düzenlenmiştir. Model veriyapısı, analiz

yürütülecek verilerin ve analiz fonksiyonlarının tutulduğu matris gösterimdir. Her fonksiyon bir girdi matrisi adres tanımlamalarına sahiptir ve her fonksiyon matrisi içerisindeki bir hücrede tanımlanır. Bir fonksiyonun girdi seti içerisinde tanımlı diğer fonksiyonlar içerisinde yeralabilir. Hesaplama kütüphanelerinin işletimi ve veriyapılarının kullanımı kontrol birimi tarafından yürütülmektedir. Herhangi bir komut işletiminde, veriler model veriyapısından alınarak, ilgili eklenti kütüphanesine yönlendirilir ve sonuçlar kullanıcı ekranında ve model veri yapısında güncellenir.



Şekil 1. SZAM Mimarisi

Model ile hesaplama yordamlarını içeren plugin kütüphaneleri arasında herhangi bir yazılım bağımlılığı bulunmamaktadır. Kütüphaneler işletim zamanında model davranışları ve kullanıcı etkileşimi ile komut satırından yüklenebilmektedir.

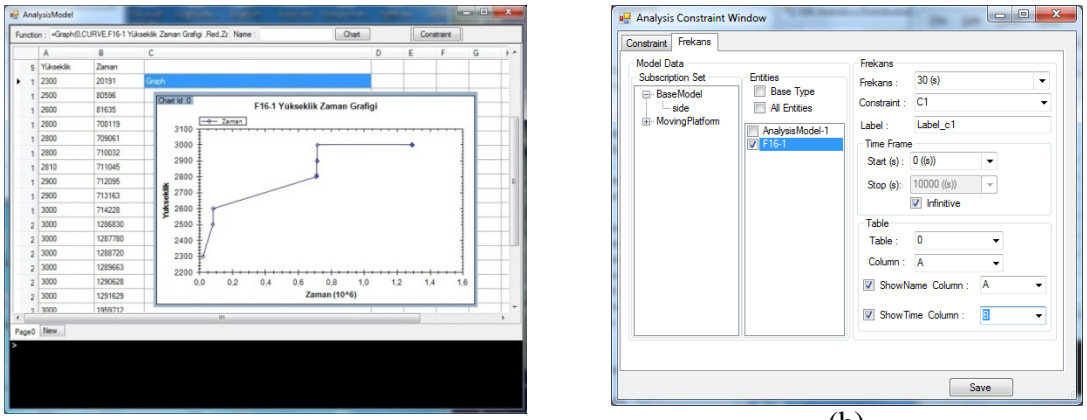
4. İŞLEVSEL TANIMLAR

SZAM elektronik tablolama yaklaşımı ile işletilen bir yapıda geliştirilmiştir. Simülasyon ortamında analize dahil edilen modellerin ilgili öznitelikleri ve modeller tarafından gönderilen veriler e-tabloda adreslendikleri alanda gösterilir.

4.1. Model Fonksiyonları

Model işletimi EtSiS model işletim semantiği ile aynı yapıda, genişletilmiş durum diyagramlarının işletimi ile sağlanır. Şekil 2 (a)'de görülen arayüz modeller tarafından gönderilen olay mesajları veya analiz modeli tarafından abone olunarak elde edilen öznitelik değerleri görülmektedir. E-tabloda fonksiyon tanımları hücrelerde tanımlanmıştır ve simülasyon işletimi esnasında fonksiyonların girdi seti matrisinde gerçekleşen herhangi bir güncelleme ile ilgili fonksiyonlar işletilerek güncel değerler

hesaplanır. Hesaplama aralarında bağımlılık olan fonksiyonların hiyerarşisi dikkate alınarak yayılır. Şekil 2 (b)'de görülen arayüz ile tanımlı zaman aralıkları için, tanımlı frekansta abone olunan özniteliklerden seçilenlerin değerleri takip edilerek e-tabloda gösterilir. Mantıksal değer dönen (boolean) fonksiyon tanımları ile kısıt tanımlamaları gerçekleştirilir ve tanımlar davranış yönetiminde kullanılır. Şekil 3'de tanımlanan *C1* kısıtının *Fsa_Stopper* isimli davranışı başlatan bir şart olarak tanımlanışı görülmektedir. C1'in tablodaki herhangi bir değer değişiminde *true* değer dönmesi *Fsa_Stopper* isimli davranışı tetikler. Örneğimizde kısıt F16-1'in yüksekliğinin 3500 m'den daha büyük olması olarak tanımlanmıştır ve girdi veri seti olarak e-tablo A kolonu kullanılarak e-tablo D6 hücresinde tanımlanmıştır. Şekil 2 (a)'da ayrıca izlenen değerler için çizdirilen ve koşum boyunca sürekli güncellenen bir grafik görülmektedir.

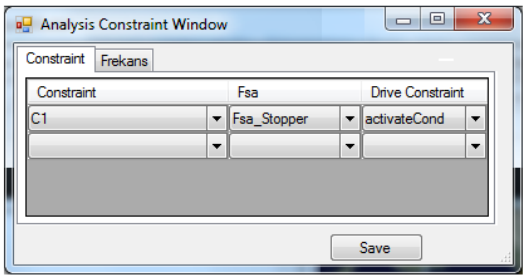


(a) (b)

Şekil 2. SZAM Arayüzü

4.2. Analiz Kütüphaneleri

Sistemde kavramsal model kapsamında tanımlanmış ve sınıflandırılmış kütüphane yapıları yazılım uzantısı (plugin) olarak yüklenebilirler. Aşağıda belirtilen fonksiyonlar simülasyon koşum sonrası analizlerde yaygın olarak kullanıldığı için varsayılan olarak sistemle birlikte yeralması önerilir. Sözkonusu analizler kavramsal modelden bağımsız bir özelliğe sahiptir.



Şekil 3. SZAM Davranış Yönetim Arayüzü

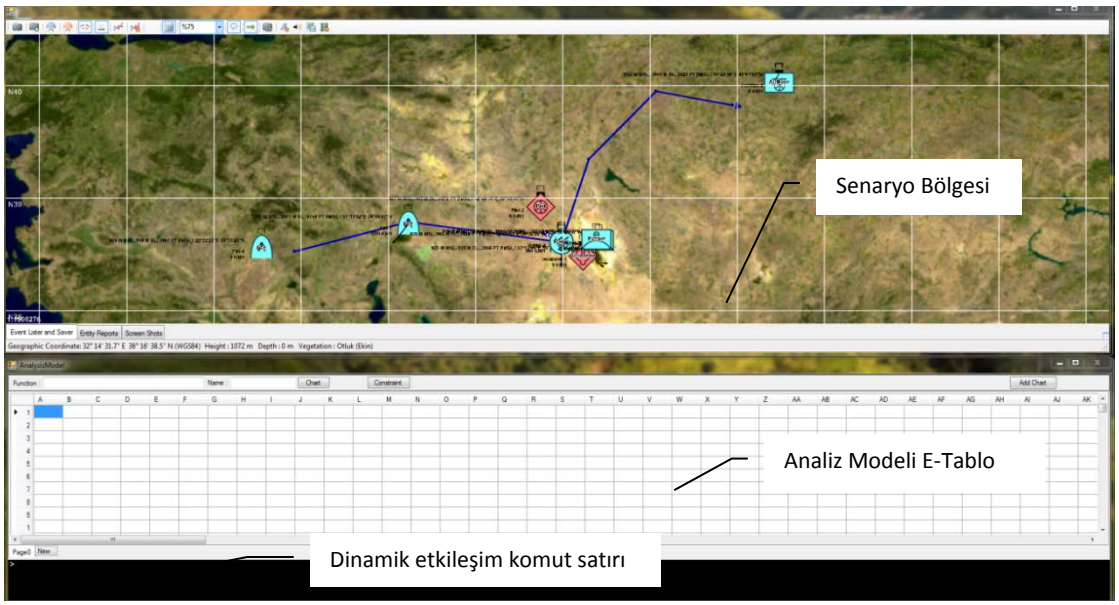
- Sorgulama fonksiyonları

  - Davranış sorgulama: Sorgulanan davranışların aktive edilme zamanları, aktif kalma süreleri, durum geçişleri, aktive edilme sayıları ve yürüttükleri olaylar sorgulanır.
  - Durum sorgulama: Durumların giriş ve çıkış zamanları ve aktif olma süreleri sorgulanır.
  - Öznitelik sorgulama: İlgili özniteliğin simülasyon koşumu boyunca aldıkları değerler ve değer değişim zaman noktaları sorgulanabilir.
  - Birleştirilmiş sorgular: Durum ve öznitelik sorgularının farklı sayıda kombinasyonlarının mantıksal ve aritmetik operatörler ile birleştirilerek karmaşık sorgu yapıları elde edilmesi sağlanır.

- İstatistik kütüphanesi
  - Merkezi eğilim ölçüleri; ortalama ($\bar{X}$), standart sapma (σ), varyans (σ^2), değişim aralığı (R), değişim katsayısı ($\frac{\bar{X}}{\sigma}$)
  - Güven aralığı hesaplamaları; seçilen sorgu sonuç değer serisi için 1, 2 ve 3 σ için güven aralığı değerleri hesaplanır.
  - İstatistiki anlamlılık testleri; ortalamaya dayalı testler, standart sapmaya dayalı testler, parametrik olmayan testler ve varyans indirgeme teknikleri uygulanır. Burada amaç, uygulanan bir senaryo tasarım kararının etkisinin belirlenmesidir.
- Analiz kütüphanesi; Özel veriyapıları için hazırlanmış kullanıcı tanımlı analiz fonksiyonlarını içerir.
- Grafik kütüphane; Veri kümelerinin çeşitli tiplerde grafiksel gösterimini gerçekleştirir.
- Budama algoritmaları: Bitişsiz sistemlerde başlangıç eğilimin elimine edilmesi için (warm up period) uygulanan algoritmalar (fisherman, marusaki) bir kütüphane içerisinde sunulur ve koşum sırasında istatistiklerin belirlenen periyottan sonrası için alınması sağlanır [7], [8], [9].

5. ÖRNEK UYGULAMA

Yer konuşlu bir hava savunma simülasyonu örnek olarak seçilmiştir. Ele alınan örnek senaryoda radar, füze bataryası ve bataryayı yöneten bir komutan modeli ile bataryaya hücum gerçekleştiren 5 uçaktan oluşan füze yüklü bir uçak filosu mevcuttur. Şekil 4'de senaryo konuşlanması ve kırmızı hücum birimlerinin hücum rotası görülmektedir.



Şekil 4. Örnek Senaryo Tasarımı

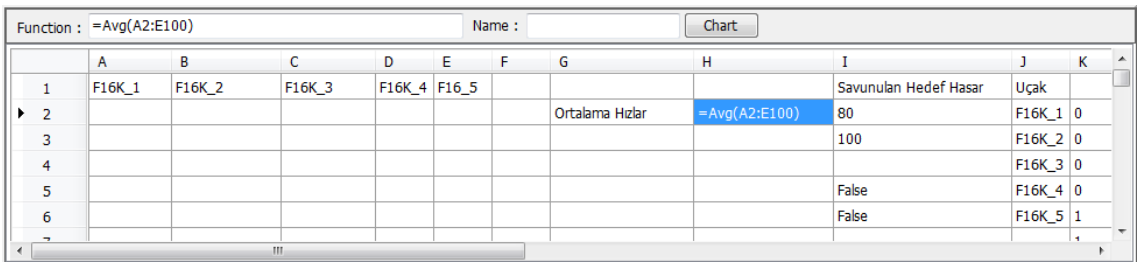
Senaryoda kırmızı kuvvetlerin görevi hücum rotasını takip edilerek hedeflere angajman sağlamaktır. Mavi savunma unsurları ise hava hücumuna karşı savunma yürüteceklerdir. Simülasyon işletimi boyunca Tablo 1'de görülen veriler modeller tarafından gönderilen olaylar ile ve modelin özniteliğine analiz modelinin abone olmasıyla analiz modeli tarafından elde edilebilecektir.

Tablo 1. Analiz Modeline iletilen Veriler

Gönderen Varlık	**Gönderilen Veri**	**Gönderim Yöntemi**
Kırmızı Uçaklar	Hız Yükseklik Yakıt Miktarı Durum bilgisi (Düştü/Görevde)	Olay Olay Öznitelik aboneliği Olay
Kırmızı/Mavi Füzeler	Hız Yükseklik	Olay Olay Öznitelik aboneliği
Savunulan hedef	Hasar Bilgisi	Öznitelik aboneliği

Analiz modelinde tanımlı fonksiyonlar ile hız değerlerinin ortalamaları, yükseklik değerlerinin maksimumu ve yakıt miktarı minimum değeri hesaplanır. Vurulan uçağın düşüş durum bilgisi analiz modeline bir olay iletimi ile bildirilir. Her düşen uçak bir fonksiyon olarak sayılır ve mevcut uçakların tamamının düşmüş olması bir şart olarak tanımlanır. Tanımlanan şartın sağlanması simülasyon sonlanma şartı olarak tanımlanır ve şart koşum sonlandırma davranışı tetikleyicisi olarak seçilir. Yer konuşlu savunma unsurunun imha bilgisi analiz modeline olay etkileşimi ile gönderilir ve koşumun

yinelenme kısıtı olarak seçilir. Şekil 3'de koşum esnasında alınan analiz modeli arayüzü görülmektedir. Arayüzde seçilen C1 şartı olarak isimlendirilen şart; kırmızı hücum uçaklarının tamamının düşürülmüş olması veya savunulan hedefin imha edilmiş olma şartı olarak belirtilmiştir. Şartı oluşturan her iki bileşen de (uçakların düşmesi veya hedefin vurulması) modellerin e-tabloya gönderecekleri veya özniteliklerinden takip edilerek tabloda gösterilecektir (Tablo 1). C1 şartının sağlanması durumunda simülasyonu sonlandıran *Fsa_Stopper* davranışı aktive edilecektir.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	F16K_1	F16K_2	F16K_3	F16K_4	F16_5				Savunulan Hedef Hasar	Uçak	
2							Ortalama Hızlar	=Avg(A2:E100)	80	F16K_1	0
3									100	F16K_2	0
4										F16K_3	0
5									False	F16K_4	0
6									False	F16K_5	1

Şekil 5. Fonksiyon Tanımları

Şekil 5'de görüldüğü gibi I2 hücresi savunulan hedef hasar seviyesini, I3 ulaşılacak değeri, I5 =GreaterEqual(I2:I3) fonksiyonunu ile hedefin vurulduğu, K2-K6 arası her bir uçağın vurulma durumunu (1 ise düşürülmüştür), K7 =Sum(K2:K6) ile tüm uçakların düşürüldüğü, K8 ulaşılacak değeri I6 =Equal(K7:K8) fonksiyonunu ile tüm uçakların düşürüldüğü ve nihai olarak I7 (C1) =Or(I5:I6) fonksiyonunu ile angajman sonlandırma şartını göstermektedir. Koşum boyunca öznitelik ve olay gönderimlerinden alınan değerler ile güncellenen e-tablo ve işletilen fonksiyonlar ile sağlanan C1 şartı koşumu sonlandıracaktır.

6. SONUÇ

Bildiride sunulan çalışma ile işletim zamanlı analiz ile simülasyon işletiminin yönetilmesi ve kontrolünün sağlanması için bir yöntem ve model tasarımı sunulmuştur. İşletim zamanlı kontrol senaryo tasarımlarına bir dinamizm kazandırırken, işletim zamanında yürütülen muhakeme ile senaryoların elde edilen istatistiklere dayalı olarak yönetilmesi sağlanır.

Sistem temelde koşum sonrası, çevrim dışı olarak yürütülen analizleri, işletim zamanında ele alır. Yürütülen analiz fonksiyonlarının, model kütüphanesi ve kavramsal modelden bağımsız olması ve herhangi bir yazılım bağımlılığı doğurmaması, önemli bir yazılım mühendisliği özelliği olarak görülebilir. Sağlanan işletim zamanlı grafik gösterimler, debrifing raporu girdileri hazırlama, sorgu şablonları işletimi, e-tabloların çoklu-sayfa kullanımı ile yönetimi işletim zamanlı analizlerin kullanım alanını genişleten özelliklerdir. Sistem yalnızca hesaplama imkanları sağlamakla kalmayıp, yapılan hesaplamaların davranış yönetimine yönlendirilebiliyor olması, simülasyon

zamanında hesaplanan istatistikler ile simülasyon yönetimini ve karar yapımı sağlayan bir yetenek olarak sunulmaktadır.

7. KAYNAKÇA

[1] Lee, J., Kim, L., (2010), "A Frame Study for Post-Processing Analysis on System Behavior: A Case Study of Deadline Miss Detection",*Journal of Computer Science* 6 (12): 1505-1510.

[2] Chih, M., Song, T.W., (2012), "An efficient approach to implement dynamic batch means estimators in simulation output analysis", *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers* Vol. 29, No. 3, April 2012, 163–180.

[3] Song, T. W., (2011), "A Finite-Memory Algorithm for Batch Means Estimators in Simulation Output Analysis*",IEEE Transactions On Automatic Control*, Vol. 56, No. 5, May 2011.

[4] Kelton, W. D., (1997), "Statistical Analysis Of Simulation Output", Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference ed. S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, and B. L. Nelson

[5] Hocaoğlu, M. F., (2005), "AdSiF: Agent Driven Simulation Framework", *The Huntsville Simulation Conference 2005*, 26-27 October.

[6] Hocaoğlu, M. F., (2011), "EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi", 4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS'2011, Ankara, Türkiye.

[7] Banks, J.,Carson, J. S., (1984), "Discrete Event System Simulation", Georgia institute of Technology, New Jersey.

[8] Hocaoğlu, M. F., (1994), "Siman Simülasyon Dili ile Atelye Tipi Üretim Sistemleri Simülasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, endüstri Mühendisliği ABD.

[9] Başlıgil, H., Hocaoğlu, M. F., (1993), "Atelye Tipi Üretim Sistemlerinde Performans Kriteri Değerlendirme Ve Bir Simülasyon Örneği", ORENKO'93, Trabzon.

KURAL TABANLI SİLAH-HEDEF EŞLEŞTİRME VE HEDEF DEĞERLENDİRME OPTİMİZASYONU

M. Fatih Hocaoğlu [a,b], Seçkin Ünver [a]

(a) İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
{mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr; seckin.unver@medeniyet.edu.tr}

(b) Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri Ltd. CyberPark Ankara,
hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Karadan ya da denizden havaya silah-hedef tahsis optimizasyonu ile ilgili çalışmaların temeli 1950'li yıllara kadar uzanmaktadır. Genel olarak silah-hedef tahsis problemleri statik ve dinamik olmak üzere iki ana başlıkta incelenebilir. Statik problemlerle ilgili yapılan ilk çalışmalarda tek hedef, tek silah, tek angajman ve tek atış modeli ele alınmış ve ilişkiler doğrusal programlama ile gösterilmiştir. Problemin amaç fonksiyonu, hedefe verilen zararın maksimize edilmesi ya da hücum edilen hedeflerin kurtulma olasılıklarının minimize edilmesi şeklinde genellenebilir. Takip eden çalışmalarda ise varlıklara ait parametreler işleme dahil edilerek, doğrusal olmayan çözümler elde edilmiştir. Tek silah-tek hedef probleminin yerini, çoklu silahlar ve çoklu hedefler almıştır. Dinamik problemlerde ise zaman ekseni boyunca, değişen problem parametreleri ele alınmış ve kısıtlarda meydana gelen artış sebebiyle, statik modellere göre, daha karmaşık bir yapıya kavuşmuştur.

Silah-hedef tahsis probleminin en önemli kısımlarından birini de karar verme aşaması oluşturmaktadır. Bu aşamada çok sayıda ve çeşitte silahın, çok sayıda ve çeşitte hedefe tahsisleri, ateşleme zamanlamaları, ateş doktrin seçimleri gibi kritik kararların verilmesi gerekmektedir. Önerilen çözümde, silah-hedef tahsisleri için optimizasyon modeli geliştirilirken, optimizasyona girecek değişkenlere ait değerler ve problemin formülasyonu kural tabanlı bir yapı ile hazırlanmaktadır. Çözüm kullanıcılara, yeni hedef seçim kriteri ekleyerek çözüme dahil etme ve kural tabanını genişletme esnekliği sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dinamik programlama, Doğrusal programlama, Doğrusal olmayan programlama, EtSiS, Hava savunma simülasyonu, Kural tabanlı hedef değerlendirme, Optimizasyon, Silah-hedef tahsis problemi

RULE BASED TARGET EVALUATION AND WEAPON ASSIGNMENT OPTIMIZATION

ABSTRACT

The earliest studies about surface-to-air defense Weapon-Target Assignment (WTA) optimization problems arose in 1950s. In general, there are two main approaches for the WTA problems; Static and Dynamic. The Static approach was first considered as a single target, single weapon, single engagement and single shot model and considered as a Linear programming model. The objective of problem is to maximize the damage that is given to target or minimize the probability of survival of targets that are being attacked. Non-linear solutions obtained by adding the assets as a parameter in problems and multiple weapons-multiple targets considered instead of single weapon-single target problems for the following studies. As for the Dynamic approach, changes in problem parameters through timeline are considered whereas increase in number of constraints cause the problem is more complicated than the static problem.

One of the most important part of WTA problems is the decision-making stage. Many critical decisions such as assigning multiple and various weapons to targets, choosing firing doctrines and timings are made at this stage. The aim of proposed solution in this paper is to prepare a rule-based construction for formulation of problem and values of variables in optimization model, while the optimization model for WTA is developed. The solution offers the users flexibility to add new criterions to solution for choosing target and to expand the rule base.

Keywords: AdSiF, Air defense simulation, Dynamic programming, Linear programming, Non-linear programming, Rule-based threat evaluation, Optimization, Weapon-target assignment problem

1. GİRİŞ

Silah-Hedef eşleştirme problemleri, askeri yöneylem araştırması alanında karşılaşılan klasik kısıt kombinasyonlu optimizasyon problemleri olarak ele alınır ve savunma uygulamalarında temel konulardan birini oluşturmaktadır. Asıl olarak erişilmek istenen amaç, uygun durumda düşman hedefleriyle mevcut silahları eşleştirerek belirli taktiksel hedeflere ulaşılmasıdır.

Bu bildiride amaç, hedef değerlendirme ve silah tahsis problemi olarak bilinen problem için statik optimizasyon modelinin baz alınarak, simülasyon işletimi kapsamında kural tabanlı olarak, dinamik karakteristikli bir çözüm önerisi sunmaktır.

Bildiri problemin tanımı ve fazlarını içeren Bölüm 2, optimizasyon modelini içeren Bölüm 3ve çözümün değerlendirildiği sonuç bölümlerinden oluşmaktadır.

2. PROBLEM TANIMI VE FAZLARI

Problem hedef değerlendirme ve silah eşleştirme optimizasyonu olarak iki temel fazı içerir. Bunlar hedef değerlendirme ve silah seçimi (silah-hedef eşleme) olarak isimlendirilir. Problem iki temel stratejiyi içerir; Savunulan tesisin esas alındığı ve korunulma değerini maksimize eden Savunma öncelikli strateji ve hedefin hayatta kalma miktarını enazlayan hedef öncelikli strateji. Savunulan tesis başına düşen hedef sayısının düşük olduğu durumlarda, hedef öncelikli stratejinin daha yüksek başarı sağlaması beklenir.

2.1. Hedef Değerlendirme

Hedefler, Kabiliyet ve Amaç olarak adlandırılan iki ölçüte göre değerlendirilir. İlk ölçüt olan Kabiliyet, hedefin savunulan tesislere zarar verebilme yeteneğini belirtir. Hedeflerin değerlendirilmesi sırasında dikkate alınan faktörler arasında hedeflerin oluşturduğu grubun dizilişi, bileşimi ve büyüklüğü; savunulan tesise olan uzaklığı; silah ve gözetleme sistemlerinin özelliklerinin çeşitli saldırı teknikleri açısından ilişkilerini saymak mümkündür. Diğer, bir ölçüt olan amaç ise, hedefin zarar vermeye olan istek ve kararlılığını belirtmektedir. Kabiliyetin aksine amaç daha ziyade bakış açısına göre değişebilen bir özelliğe sahip olduğu için değerlendirmesi de daha zordur. Ancak hedefin amacını tespit ederken hedefin hızı, rotası ve taşıdığı yükü, savunulan tesise göre irtifası ve yaklaşma yönü, Ateş-Kontrol radarından yayılan sinyallerin tespiti, tahmini hareket tarzı ve tespit edilmeyi önlemeye karşı kullandığı taktikler gibi çeşitli faktörler dikkate alınabilir.

Hedef değerlendirme kriterleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir. Belirlenen kriterler optimizasyon parametresi olarak girdi sağlar.

- Varış süresi; korunmakta olan tesise varış süresi en kısa olan hedef yüksek önceliğe sahip olur,
- Hasar değeri; en düşük hasara sahip hedef en yüksek önceliğe sahip olur. Bu kural ile hasar derecesi yüksek seviyede olan bir hedefin önceliği düşürülür. Kuralın varsayımı hasar alan varlığın tehdit derecesinin düşüyor olmasıdır.
- Yüksek öncelikli hedef; hedeflerin tiplerine göre öncelikleri bir kural seti olarak belirtilir ve hedef önceliği hedef üzerindeki en yüksek öncelikli bileşeni tarafından belirlenir.

2.2. Silah-Hedef Eşleştirme

Silah sistemlerinden hangilerinin atanacağının tespiti esnasında genellikle aşağıdaki iki anlayıştan birisi doğrultusunda hareket edilir:

- Tekli platform anlayışı, hedeflere karşı kendi kendini savunabilen en uygun silah sisteminin seçildiği tek bir platformu belirtir.

- Kuvvetlerin koordinasyonu anlayışı, savunulan tesislere karşı oluşturulan hedefleri ve en uygun silahlarla donatılmış platformları, bu hedeflere karşı koymak için değerlendiren Komuta Kontrol Merkezini belirtir. Komuta kontrol çalışmada üç yapıda ele alınmıştır;
    - Merkezi komuta kontrol; Tüm savunma noktaları ve savunma gerçekleştiren silah sistemleri merkezi bir komuta kontrol tarafından yönetilirler. Yürütülen tehdit değerlendirme ve silah atama işlemi tüm alt komuta birimleri dikkate alınarak tek bir noktadan yürütülürler.
    - Koordineli komuta kontrol; Savunma birimleri tespit ve hesaplanan tehdit değerlendirme indeksini koordineli oldukları komuta kontrol birimi ile paylaşırlar. Her bir komuta kontrol birimi koordinasyonda olduğu komuta kontrol biriminden aldığı tespit bilgilerini optimizasyona dahil eder.
    - Otonom komuta kontrol; Komuta kontrol unsurları tekil olarak çalışırlar. Yürüttükleri hesaplamalar kendi sorumluluk sahalarına ve tespitlerine ilişkindir.

Ayrıca, silah sistemlerinin atanması için uygulanan bu yaklaşımı incelerken yaygın olan iki yaklaşım vardır. Bunlar:

- Hedeflerin tek tek incelendiği ve silah sistemlerinin hedeflere sırayla atandığı, tekli hedef yaklaşımı. Böylece en uygun silah sistemi yüksek öncelikli hedeflerden düşük öncelikli hedeflere doğru sırayla eşleştirilerek atama işlemi yapılır. Çözümün yerel optimuma yakalanma sorunu vardır.
- Çoklu hedef yaklaşımında ise silah sistemlerinin hedef gruplarına atanması eşzamanlı olarak yapılır. Böylece atamanın bir bütün olarak en iyi şekilde yapılması sağlanmış olur.

Bahsedilen bu iki yaklaşım da aslında biçimsel açıdan birer optimizasyon problemidir. İkisini birbirinden ayıran kısım ise hedefleri tek tek incelerken bir çeşit Açgözlü algoritması (Greedy Algorithm) temel alınır. Çoklu hedef atamasında ise verilen bir amaç fonksiyonu ve belirli kısıtlar çerçevesinde optimizasyon yapılmasından ibarettir [1], [2].

Silah eşlemede seçilen kriterler ise hedef tipine bağlı olarak belirlenir.

- Öldürme olasılığı (probability of kill -Pk); seçilen mühimmatın hedef özelliğine bağlı olarak, oluşan öldürme olasılığı en yüksek olan tercih edilir.
    - Pk hesaplama; hedef ve silah sisteminin seçilen parametrelerine göre oluşturulan Pk tablosu kullanılarak çevrim boyunca tehdit değerlendirme hesabına dahil edilir.

- Mühimmat sayısı; en yüksek sayıda mühimmat en yüksek tercih edilme değerine sahiptir,
- Serbest Zaman; Ateşlenen mühimmatın minimum infilak mesafesine ulaşma süresi ile hedefin paralanma noktasına ulaşma süresi arasındaki fark olarak tanımlanır ve en kısa süreli olan hedef mühimmat eşlemesi en yüksek puana sahiptir.

Yapılan hesaplamalar nihai hedef değeri hesaplamaya girdi olacak şekilde normalize edilir.

Literatürde mevcut algoritmaları performans açısından değerlendiren çalışmalar mevcuttur [3]. Burada ele alınan çalışma simülasyon çevrimi içerisinde sıklıkla işletilecek olan bir optimizasyon modeli olacağı için, çözüm performansı önem taşımaktadır.

2.3. Nihai Hedef Değeri Hesaplama ve Simülasyon

Bölüm 2.1ve 2.2'de belirtilen kriterler dikkate alınarak bireysel olarak yapılan hedef değeri hesaplama işlemlerinden sonra, problem birleşik bir indeks olarak nihani hedef değerinin hesaplanması şekline dönüşür. Literatürde Bayesian Network ve Fuzzy mantık ile hesaplamalar yürütülmüştür. Johansson ve Falkham çalışmalarında bu iki yaklaşımı kıyaslamışlar ve zayıf ve güçlü yönlerini ortaya koymuşlardır. Bayesian network'ün sahip olduğu güçlü matematik arka planı sebebiyle, eksik bilgiyi daha iyi yönetebildiğini görmüşlerdir [4]. Fakat, bulanık mantık hesaplamalarına göre daha fazla işlem gücü gerektirmektedirler. Çalışmamızda nihai tehdit değerlendirme puanı tehdidin hızı, yaklaşma yönü, varış süresi, Pk değeri dikkate alınıp tartılandırılarak hesaplanır. Mühimmatların hedef üzerinde oluşturacağı etki (imha değeri) statik modelde olasılık olarak tanımlanmıştır.

Simülasyon içerisinde kullanılan bir optimizasyon çözümünde önemli soru optimizasyon modelinin tetiklenerek çevrime dahil edilme kararının verilmesidir. Bu süreklilik arz eden simülasyon işletiminin kalitatif kesiklilik noktalarına ayrıştırılması ve bir anlamda kalitatif bir uzaya resmedilmesi anlamı taşır. İşletim sırasında hedef puanlarında değişim olması veya her bir hedefe angajman sağlandıktan sonra optimizasyon modeli oluşan yeni simülasyon sahnesi için işletilir ve mevcut senaryo sahnesi bir statik model olacak şekilde çözüm oluşturulur.

Uygulamamızdan farklı olarak literatürde ele alınan dinamik modeller, problemi safhalar bazında kesikli bir uzaya resmederken[5], zaman parametresi bir iterasyon olarak dikkate alınmış olup,simülasyonda geçerli olan sürekli zaman kullanımından farklıdır ve bir Monte Carlo deneme iterasyonudur.

Ele alınan örneğin hava savunma simülasyonu olması yönü ile problem aynı zamanda hava görev emri planlama probleminde bir alt optimizasyon problemidir[6], [4].

Optimizasyon probleminin genel gösterimleri literatürde yoğun olarak çalışılmıştır [7]. Burada ele alınan doğrusal olmayan çözüm yaklaşımından farklı olarak geometrik programlama yaklaşımları [8], sezgisel yöntemler [9], bir çizelgeleme problemi [10]ve koloni optimizasyon modeli [11]olarak ele alındığı görülmektedir.

3. HEDEF-SİLAH EŞLEŞTİRME MODELİ

Hedef-Silah eşleştirme problemi, savunulan tesislerde meydana gelebilecek hasarı minimum düzeye indirmek için silahları hedeflere eşleştiren bir atama problemidir. Hedef-Silah eşleştirme problemi Statik ve Dinamik olmak üzere iki ana başlığa ayrılmaktadır.

Statik modelde, problemin bütün girdileri sabittir ve hedeflerle silahların eşleştirmesi tek bir aşamada yapılır. Silahların eşleştirmeleri ve ateşlenmeleri aynı anda yapılmaktadır. Hasar değerlendirmesi ise bütün hedef-silah angajmanları tamamlandıktan sonra yapılmaktadır.

Problemin formülasyonu şu şekildedir:

$[T]$:Toplam hedef sayısı

T: Hedef grubu,$T = \{T_1, T_2, \ldots, T_{[T]}\}$.

$[W]$:Toplam silah sayısı

W:Silah grubu, $W = \{W_1, W_2, \ldots, W_{[W]}\}$

Q_i: Hedef değerlendirme işlemi ile hesaplanan i. hedefin değeri, $i = 1,(1),[T]$

P_{ik}:k. silahın i. hedefe eşleştirilmesi durumunda hedefi etkisiz hale getirme olasılığı

$k = 1,(1),[W]$, $i = 1,(1),[T]$

X_{ik}= 1,eğer k. Silah i. Hedefle eşleştirilmişse, $X_{ik} = 0$, aksi durumda,
k=1,(1),[W],i=1,(1),[T]

ST_{ik}: i. Hedefe atanan k. Silah için hesaplanan serbest zaman,

Amaç fonksiyonu:
$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{[T]} Q_i \prod_{k=1}^{[W]} (1 - P_{ik})^{X_{ik}} \tag{1}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i=1}^{[T]} X_{ik} = 1 \qquad k = 1,\ldots,W \tag{2}$$

$$X_{ik} ST_{ik} \geq 0 \qquad i = 1,\ldots,T, k = 1,\ldots,W \tag{3}$$

$$ST_{ik} = \left(F_i - \frac{R_k}{V_k} \right) \qquad i = 1,...,T, k = 1,...,W \tag{4}$$

$$X_{ik} = \{0,1\} \tag{5}$$

Öncelikle (1) numaralı amaç fonksiyonu, hedefin yok edilememe durumunu enküçüklemektedir. (2) numaralı kısıtta ise her silahın yalnızca bir hedef ile eşleştirilmesi sağlanmıştır. (3) numaralı kısıt bize i. hedefe atanan k. silahın serbest zamanının sıfırdan büyük yada eşit olma durumunu göstermektedir. (4) numaralı kısıttda F_i, i. hedefin paralanma noktasına varış süresi, R_k, k. mühimmatın minimum infilak menzil mesafesi ve V_k, k. mühimmatın ortalama hızı olarak tanımlanmıştır. (5) numaralı kısıt ise X_{ik}'nın yalnızca 0 ile 1 değerleri aldığını göstermektedir.

Kurulan model [12]'de sunulan modelin ateşleme süresi ile genişletilmesi ile elde edilmiştir. Optimizasyon problemi bağımsız bir model olarak geliştirilen optimizasyon modeli tarafından çözülür. Koşulların sağlanması durumunda, optimizasyon modeli senaryoyu hedef değerlendirme ve silah tahsisi yaparak yönlendirir ve simülasyonun devamını sağlar. Bağımsız bir model olarak tasarlanan optimizasyon modeli, senaryo ortamını paylaştığı modeller ile olay etkileşimi kurar ve hesaplama sonucunda aldığı nihai kararı olay etkileşimleri ile modellere iletir. Bu etkileşimler, hangi komuta kontrol biriminin hangi hedefe, hangi mühimmat ile angaje olacağını belirten olayları içerir.

Optimizasyon modeli problem sahasını komuta kontrol yapısına göre belirlemektedir. Otonom komuta kontrol yapısında, yalnızca komuta kontrol birimi sorumluluk alanı için dar bir alanda fakat çok sayıda komuta kontrol birimi için çözüm sağlarken, merkezi komuta kontrol yapısında, merkezi komuta biriminin yetki sahasındaki tüm alanı kapsayan bir çözüm yürütülmektedir. Koordineli atış komuta kontrol yapısında ise optimizasyon çözümü merkezi komuta kontrol çözümüne benzer olarak yürütülür. Önemli farklılık, optimizasyona giren tespit bilgilerinin güvenirliğinden kaynaklanmaktadır. Merkezi komuta kontrol yapısında bağlı tüm birimlerden gelen tespit bilgilerinden daha sağlıklı sonuçlar çıkarılırken, koordineli atışta yalnızca paylaşım yapılan sınırlı bir saha bilgisi ile yetinilmektedir.

4. SONUÇ

Hedef değerlendirme ve silah tahsis problemi çözümünde statik optimizasyon modeli, simülasyon işletiminde, tanımlı safhalarda işletilerek bir zaman ekseni üzerinde dinamik bir çözüm modeli olarak kullanılabilmektedir. Tanımlı safhalar; hedef değerlendirme puanlarındaki değişimler, bir hedefe angajmanın sağlanmış olması vebir hedefin hedef olma niteliğini kaybetmesi olarak belirlenebilir.

Optimizasyon modeli problem formülasyonunu komuta kontrol yapılarını dikkate alarak oluşturmakta ve çözüm sağlamaktadır. Komuta kontrol yapıları optimizasyon probleminin girdi verilerini oluşturan tespit bilgi detayını ve doğruluğunu da belirleyen

önemli bir faktördür. Korelasyonu yapılan tespit verisi arttıkça, veri doğruluğu artmakta ve bu optimizasyon sonucunu daha güvenilir kılmaktadır.

Oluşturulan optimizasyon modeline hedefe angajman zaman gecikimleri de dahil edilerek daha geniş bir problem alanı çözülmeye çalışılırken, statik modellerin baz alınması ile daha hızlı çözümlerin oluşturulması hedeflenmiştir.

Çalışmaya füze modelleri dahil edilmiş olup, uçaksavar türünde mermi atan silah sistemleri dahil edilmemiştir. Çalışmanın bir sonraki adımı olarak, yüksek hazırlık ve angajman süresi gerektiren mermi mühimmatları modele dahil edilecektir.

5. KAYNAKÇA

[1] Bellman, Dreyfus, Gross, Johnson, On the computational solution of Dynamics programming processes: XIV: Missile Allocation Problems, RM 2282, RAND, Santa Monica California, 1959.

[2] Z.J. Lee, S.F. Su, C.Y. Lee, A genetic algorithm with domain knowledge for weapon-target assignment problems, Journal of the Chinese Institute of Engineers 25 (3) (2002) 287–295.

[3] Johansson, F., (2010), "Evaluating the performance of TEWA Systems", Örebro University, ISBN 978-91-7668-761-1.

[4] Johansson, F.,Falkman, G., (2008), "A Bayesian network approach to threat evaluation with application to an air defense scenario, in: Proceedings of 11th International Conference on Information Fusion, 2008, pp. 1–7.10.

[5] Xin, B.,Peng, Z., "An Efficient Rule-Based Constructive Heuristic to Solve Dynamic Weapon-Target Assignment Problem", IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics—Part A: Systems And Humans, Vol. 41, No. 3, May (2011).

[6] Bayrak, A. E., (2010), "Optimization Algorithms For Resource Allocation Problem Of Air Tasking Order Preparation", in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in computer engineering, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.

[7] Rosenberger, J. M.,Yucel, A., (2005), "The Generalized Weapon Target Assignment Problem", 10th International Commandand Control Research and Technology Symposium The Future of C2June 13-16, 2005, McLean, VA.

[8] Passy, U., (1970), "Nonlinear Assignment problems treated by Geometric programming", Israel institute of Technology.

[9] Ahuja, R. K., Kumar, A., Jha, K. C., Orlin, J. B., (2003), "Exact and Heuristic Algorithms for the Weapon Target Assignment Problem", technical report, Department of Industrial and Systems Engineering, University of Florida, Gainesville, FL 32611.

[10] Naeem, H.,Masood, A., (2010), "An optimal dynamic threat evaluation and weapon scheduling technique", Knowledge-Based Systems 23 (2010) 337–342.

[11] Lee, Z.J., Lee, C.Y., Su,S.F. (2002), An immunity based ant colony optimization algorithm for solving weapon-target assignment problem, AppliedSoft Computing 2 (2002) 39–47.

[12] Turan, A., (2012) "Algorithms For The Weapon–Target Allocation Problem", A Thesis Submitted To The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, july,.

HAREKÂT ALANI TAKTİK SİMÜLASYONLARINDA HABERLEŞME UNSURLARININ MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

İbrahim GENÇ [a,b], M. Fatih Hocaoğlu [a,b], A. Arif Ergin [b,c]

[a] İstanbul Medeniyet Üniv., Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kadıköy – İstanbul, {ibrahim.genc, mfatih.hocaoglu}@medeniyet.edu.tr

[b] Agena Bilişim ve Savunma Tekn. San. Tic. Ltd. Şti., Maltepe – İstanbul, {genc, hocaoglu, aergin}@AgenaBST.com

[c] Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze– Kocaeli, aergin@gyte.edu.tr

ÖZ

Harekât alanı taktik simülasyonlarında muharip unsurlar ile sensörlerin yanı sıra bu varlıkların arasındaki haberleşme şebekesini kuran varlıklarının da modellenmesi ve simülasyonuna gereksinim duyulmaktadır. Harekât alanında kullanılan haberleşme varlıkları çeşitlilik göstermekle birlikte, kavramsal model tanımında kurulan hiyerarşik modelleme yaklaşımıyla, tüm unsurların modelleri oluşturulurken modeller arasında tasarlanan ilişkiler sayesinde, modelleme ve geliştirme eforu azaltılabilmektedir. Telsiz haberleşeme modeli ise daha fazla çeşitlilik içermekte olup kullanılan haberleşme sisteminin özellikleri yanı sıra yayılım kanalında oluşan bozucu etkenler, coğrafi konumlanma, kullanılan frekans bandı bilgileri model parametrelerine dâhil edilmiştir. Telsiz haberleşme modelinde temel olarak alıcı ve verici arasındaki iletim problemi çözülmüş ve uzaktaki alıcı sisteme vericiden çıkan dalgaların ne kadar iletilebildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada iletim hesaplarında Friis denklemi ele alınmış, onun üzerine yol kayıpları, doğa şartlarından kaynaklanan kayıplar ve kırınım yoluyla oluşan kazanç / kayıplar eklenerek / çıkartılarak geçerli modeller elde edilmiştir. Haberleşme sisteminde propagasyon formülleri haricinde röle kullanımı, telsiz çevrimine katılma ve çevrimden ayrılma, mesajlaşma protokolleri, mesaj kuyrukları gibi daha üst seviye etkileşim ve algoritmalar da ayrı modüller olarak modellenmiş ve modeller arası ilişkiler kurularak hiyerarşik bir yapıda simülasyona dahil edilmiştir. Geliştirilen modeller Uluslararası Haberleşme Birliği (ITU) tarafından yayınlanmış raporlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: EtSiS, Haberleşme, Modelleme, Propagasyon, Simülasyon.

MODELING AND SIMULATION OF COMMUNICATION ENTITIES IN TACTICAL BATTLEFIELD SIMULATIONS

ABSTRACT

In tactical battlefield simulations, the platforms and sensors need to be modeled as well as the telecommunication links between them. Although there is a wide variety of telecommunication devices that need to be modeled in the battlefield, the modeling effort can be drastically reduced by carefully tailoring the hierarchical structure that supports model-to-model relationships at the conceptual design phase. The wireless communication devices in their own right offer different modeling challenges since it is not enough to model the device itself but the effects that deteriorate its performance such as the effects of geographical positioning and precipitation, which heavily depend on the operation frequency, must be included in the propagation channel model. This complicated model is handled by calculating how much of the transmitted power of the electromagnetic waves is received by the receiving device. The basic calculation relies on Friis' transmission equation and the losses and enhancements of the natural effects are added upon the basic formula. Although the propagation model serves as the basis of the communication model, more complex structures are implemented by modeling relays, loop protocols, messaging protocols, message queuing and similar higher level interactions. The developed propagation models are validated by comparison with the results published by ITU.

Keywords: AdSiF, Communication, Modeling, Propagation, Simulation

1. GİRİŞ

Savaş oyunları askeri dünyada politika ve strateji geliştirmede, eğitimde ve planlamada giderek artan bir oranda kullanılmaktadır. Modelleme ve simülasyon araçlarının gelişmesi ve doğruluk ve hassasiyetlerinin artması da bu kullanımı desteklemektedir. Planlama sürecinde ilk başta yer alan strateji geliştirme daha çok askeri kuvvetlerin politik araçlar olarak değerlendirilmesini sağlar ve bir savaşın başından sonuna kadar tüm safhalarını inceler. Planlamada ikinci adımı operasyonel planlama oluşturur ki bu seviyede organizasyonel düşünceler öne çıkarak birimlerin nasıl oluşturulacağı belirlenir. Son adım taktik seviye olup burada askeri birimlerin ve silahların çarpışmada uygun kullanımı ile düşmanın mağlup edilmesi hedeflenir [1]. Dolayısıyla taktik seviyedeki çalışmalar çoklukla harekât alanı üzerinde olup askeri kuvvetler ve sensör, silah, haberleşme araçları gibi unsurların nasıl yerleştirileceği, nasıl kullanılacağı ile birbirleri arasındaki ilişkileri en iyileştirerek düşmanı yenmeyi sağlayacak yöntem ve pratikleri araştırır.

C4ISR kavramı içerisinde yer alan ve askeri, yapılanma ve harekât esaslarını teşkil eden komuta-kontrol, istihbarat, gözetleme ve keşif yöntemleri savaş olgusunun başlangıcından beri temel özelliklerini korurken son dönemde en büyük gelişme ve değişiklik teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bilgisayar ve haberleşme unsurlarının harekât alanında kullanımında ortaya çıkmaktadır.

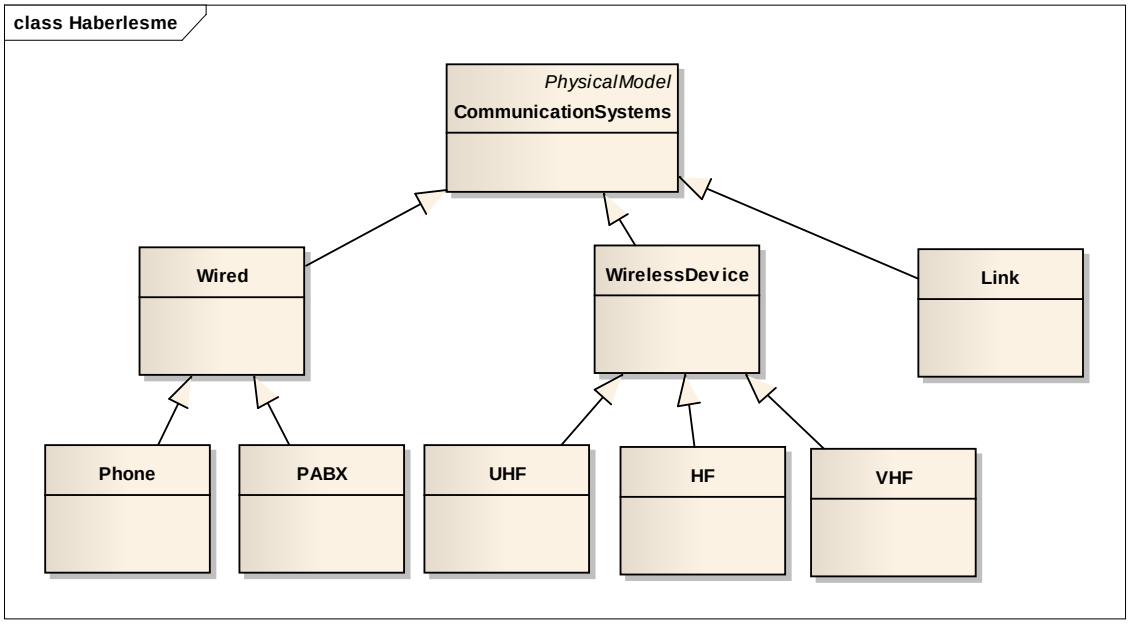
Askeri yapılanma içerisinde muhabere her dönem önemli bir konumu işgal etmekle birlikte yeni cihazlar, yöntemler, elektronik harp karşı tedbirleri ve karşı-karşı tedbirleri de göz önünde bulundurulduğunda harekat alanı simülasyonlarının doğru ve geçerli yapılabilmesi açısından haberleşme sistemlerinin aslına sadık modellenmesi ve simülasyon çevriminde doğru işletilmesi kritik bir konum almaktadır.

Bölüm 2'de haberleşme sistemlerinin modellenmesi genel olarak ele alınarak hiyerarşik bir yapıda tanımlanmıştır.

Telsiz haberleşme unsurları ise daha fazla çeşitlilik içermekte olup ayrıca ele alınmış ve modelleme yaklaşımı Bölüm 3'te anlatılmıştır.

2. GENEL HABERLEŞME MODELLEMESİ

Haberleşme sisteminde röle kullanımı, telsiz çevrimine katılma ve çevrimden ayrılma, mesajlaşma protokolleri, mesaj kuyrukları gibi daha üst seviye etkileşim ve algoritmalar da ayrı modüller olarak modellenmiş ve modeller arası ilişkiler kurularak hiyerarşik bir yapıda simülasyona dâhil edilmiştir. Modellerin yapısı özet olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Haberleşme modelleri hiyerarşik yapısı

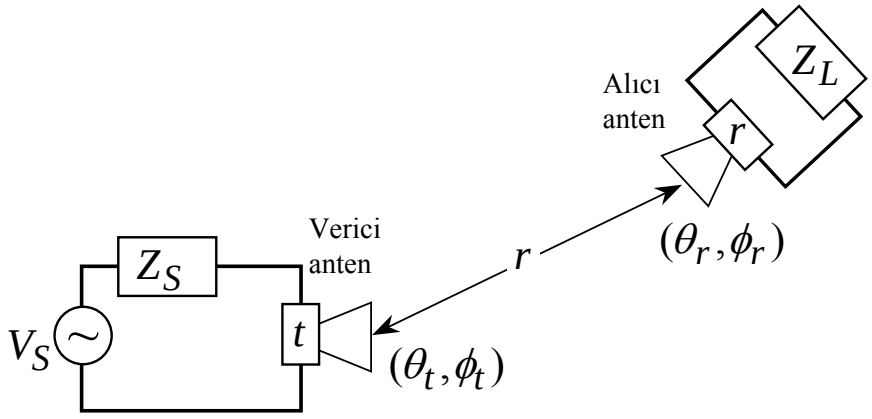
Burada, bildirimsel bir betik dili olan EtSis® (AdSiF®)'in [2], [3] sahip olduğu genel amaçlı, çoklu-paradigmalı yapı, tekrar kullanılabilirlik ve karşılıklı işletilebilirlik özellikleri ile modellemecilere etmen programlama yaklaşımı sağlamaktadır.

Sınıflar, durumlar, davranışlar, davranış setleri, olaylar ve miras mekanizması ile durum-davranış ve davranış-davranış arasında kurulan temporal ilişkiler, tanımlanan davranışların ve davranışları oluşturan durumların eriştikleri atomik fonksiyonlar, Şekil 1'de gösterilen yapıda dikeyde ve yatayda tekrar kullanılabilirlik imkânlarını sunar. Modeller bazında sağlanan miras yapısı dikey tekrar kullanılabilirliği, temel ve benzer atomik yapıların paralel modeller arasındaki ortak kullanımı yatay tekrar kullanılabilirliği oluşturur.

3. TELSİZ HABERLEŞMEDE PROPAGASYON MODELLERİ

Telsiz haberleşme modeli iyi bilinen Friis'in iletim denklemi üzerine inşa edilmiştir [4]. Bu denklemin genel yapısı Bölüm 3.1'de sunulacaktır. Friis iletim denklemi boş uzayda radyo dalgalarının iletimini modellediği için yol kayıpları, doğa şartlarından kaynaklanan kayıplar, yerden ve çevreden yansımanın etkileri ve kırınım etkileri bu temel denklemin üzerine eklenerek propagasyon modeli olgunlaştırılmıştır.

3.1. Friis İletim Denklemi



Şekil 2. Anten linki.

Friis iletim denklemi şu pratik sorunun cevabını verir: Bir antene azami P_S gücü verebilecek bir verici bağladıktan sonra bu vericiden r uzaklığında duran bir antene bağladığımız bir alıcının üzerinde göreceğimiz sinyal gücü ne kadardır?

Şekil 2'de bu soruya cevap verebilmek için gerekli olan parametreler gösterilmiş olup "t" alt indisi verici ve "r" alt indisi alıcı antene ait parametreleri temsil etmektedir. Alıcıda görülecek güç, alıcı antenin uyumluluk faktörü hesaba katılarak alıcı antenin verebileceği azami güç cinsinden yazılabilir:

$$P_L = q_r P_C \,. \tag{1}$$

Alıcı antenden alınabilecek azami güç ise anten üzerine gelen güç yoğunluğunun efektif alanla çarpımına eşit olur:

$$\begin{aligned} P_L &= q_r A_e W_{inc} \\ &= q_r \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r(\theta_r,\phi_r) \left|\hat{\mathbf{p}}_r(\theta_r,\phi_r)\cdot\hat{\mathbf{p}}_t(\theta_t,\phi_t)\right|^2 W_{inc}. \end{aligned} \tag{2}$$

Burada (θ_r,ϕ_r) alıcıya göre vericinin hangi yönde bulunduğunu, (θ_t,ϕ_t) ise vericiye göre alıcının hangi yönde olduğunu göstermektedir. Alıcı üzerindeki güç yoğunluğu yerine verici antene gelen güç, vericinin güç kazancı ve iki anten arasındaki uzaklığın doğurduğu uzay faktörü konulursa

$$P_L = q_r \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r(\theta_r,\phi_r) \left|\hat{\mathbf{p}}_r(\theta_r,\phi_r)\cdot\hat{\mathbf{p}}_t(\theta_t,\phi_t)\right|^2 \frac{G_t(\theta_t,\phi_t)}{4\pi r^2} P_A \tag{3}$$

bağıntısı ortaya çıkar. Son olarak verici antene gelen güç de sinyal kaynağının verebileceği azami güce uyumluluk katsayısı ile bağlıdır. Sonuç olarak yüke gelen güç

$$P_L = q_r \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r(\theta_r,\phi_r) \left|\hat{\mathbf{p}}_r(\theta_r,\phi_r)\cdot\hat{\mathbf{p}}_t(\theta_t,\phi_t)\right|^2 \frac{G_t(\theta_t,\phi_t)}{4\pi r^2} q_t P_S \tag{4}$$

olarak bulunur. Bu denkleme Friis iletim denklemi denir. Bazen alınan gücün 1 mW'lık güce oranı dB cinsinden ifade edilerek

$$\begin{aligned} P_L[\text{dBm}] = {} & P_S[\text{dBm}] + G_r[\text{dB}] - q_r[\text{dB}] + G_t[\text{dB}] - q_t[\text{dB}] \\ & -20\log r[\text{km}] - 20\log f[\text{MHz}] - 20\log\left|\hat{\mathbf{p}}_r(\theta_r,\phi_r)\cdot\hat{\mathbf{p}}_t(\theta_t,\phi_t)\right| \\ & -32.44 \end{aligned} \tag{5}$$

şeklinde dB denklemi olarak da yazılır. Eğer alıcıya gelen güç P_L alıcının hassasiyetinden daha düşük ise iletim sağlanmamış olur. Diğer durumlarda iletimin gerçekleştiği varsayılır ve alıcının yolladığı sinyal vericiye iletilir.

Telsiz haberleşme modelinde Friis iletim denklemi kullanılmıştır. Bu denklemde bilinmeyen parametreler olan uyumluluk faktörleri $q_r = q_t = 1 = 0$ dB olarak ve polarizasyon uyumsuzluğunu gösteren $20\log\left|\hat{\mathbf{p}}_r(\theta_r,\phi_r)\cdot\hat{\mathbf{p}}_t(\theta_t,\phi_t)\right| = 0$ dB olarak kullanılmıştır. Anten kazançlarının bilinmediği durumlarda kazanç, dipol antenin 1.5 değerindeki kazancına eşit kabul edilmiştir.

Denklem (5)'e ilave olarak karasal haberleşmede görülen yol kayıpları ve yağmurdan dolayı oluşan kayıplar da eklenerek modelin daha gerçekçi olması sağlanır.

3.2. Yağmur Kayıpları

Yağmurun radyo sinyallerini zayıflatma hesaplamalarında ITU-R P.838-3 ve ITU-R P.837-4 tavsiye raporlarında verilen model kullanılacaktır [5]-[6]. Bu modelin temel denklemi, R yağmurun mm/saat cinsinden şiddeti ve zayıflama miktarının birimi dB/km olmak üzere şekildedir:

$$\text{zayıflama} = kR^{\alpha}$$

ITU-R P.838-3 nolu raporda k ve α sabitlerinin değerlerinin polarizasyon, frekansa ve alıcı ve verici arasındaki yükseklik farkına bağlı olarak tablolar ve formüller halinde verilmiştir[5]. Bu iki parametrenin hesabı için benimsenen formüller aşağıda verilmiştir:

$$k = \left[k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta\cos(2\tau) \right] \Big/ 2$$

$$\alpha = \left[k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta\cos(2\tau) \right] \Big/ 2k$$

Bu formüllerde θ alıcı-verici arasındaki yükselme açısı ve τ polarizasyon açısıdır. Polarizasyonun bilinmediği durumlarda polarizasyon açısı 45 derece olarak alınmıştır. Diğer parametreler için örnek değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yağmur kaybı için katsayılar.

Frekans [GHz]	k_H	α_H	k_V	α_V
1	0.0000259	0.9691	0.0000308	0.8592
5	0.0002162	1.6969	0.0002428	1.5317
10	0.01217	1.2571	0.01129	1.2156

3.3. Çoklu Yansıma Etkileri

Yol kayıpları modellenirken Hata [7], Bullington [8], ITU-R P.530 [9] ve ERC Rep 68 [10] propagasyon modellerinden yararlanılır. Özellikle Bullington modelinde

$$L_1 = 20\log_{10}\left| 2\sin\frac{\Delta}{2} + j\left[(1+R)+(1-R)A\right]e^{j\Delta/2} \right| \tag{6}$$

formülü kullanılır. Burada Δ yerden yansımadan dolayı olan faz kaymasını, R yer yüzeyinin yansıma katsayısını (genellikle -1) ve A yüzey dalgası zayıflama faktörünü göstermektedir.

3.4. Doğrulama yaklaşımı

Bu modelin doğrulanması için sabit güçlü bir verici ile bir alıcı görüş hattında çalıştırılır. Farklı mesafe ve farklı alıcı hassasiyetleri durumları için alıcı-verici çifti

arasında haberleşme kurulup kurulamadığına bakılır. Bu senaryolarda elde edilen sonuçlar [7] ve [10]'da verilen formül ve eğrilerle karşılaştırılır.

4. SONUÇ

Harekât alanında kullanılan haberleşme varlıkları modellenmiş, telsiz haberleşme modelinde alıcı ve verici arasındaki temel iletim problemi çözülmüştür. Geliştirilen modeller Uluslararası Haberleşme Birliği (ITU) tarafından yayınlanmış raporlarla karşılaştırılarak doğrulanmış, harekat alanı taktik simülasyonlarında kullanılmış ve haberleşme sistemleri ile bu sistemlerin çalışma şartlarının harekata etkileri gözlenmiştir.

Burada tartışılan modeller ve EtSiS®'in sunmuş olduğu özellikler kullanılarak modeller kolayca geliştirilebilir ve şekillendirilebilir. Örneğin özellikle HF frekanslarına inildiğinde sonuçları görülen kırınım etkileri çoklu yansıma etkilerinin modele dahil edilişiyle aynı şekilde modele eklenebilir. Benzer şekilde TDMA özellikli kablosuz iletişim sistemleri mevcut modellerden kalıtım ve polimorfizm özelliklerinin de yardımıyla kolayca modellenebilmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] Clausewitz, C.V. (2008), On War, A Modern Military Classic, p. 89, Wilder Publications.

[2] Hocaoğlu, M. F. (2005), AdSiF: Agent Driven Simulation Framework, *The Huntsville Simulation Conference 2005*, 26-27.

[3] Hocaoğlu, M. F. (2011), EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi, *4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS'2011*.

[4] Balanis, C.A. (2005), Antenna Theory: Analysis and Design (3. Baskı), Wiley-Interscience, ABD.

[5] ITU-R-P.838, ITU (2003), International Union ofTelecommunications. ITU-R P.838-3 Recommendation: Specific attenuation model for rain for use in prediction method. France.

[6] ITU-R P.837, ITU (2004), International Union of Telecommunications. ITU-R P.837-4 Recommendation: Characteristics of precipitation for propagation modeling. France.

[7] Hata M. (1980), Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Services, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 29(3).

[8] Bullington K. (1977), Radio Propagation for Vehicular Communications, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 26(4).

[9] ITU-R P.530, ITU (2007), International Union of Telecommunications. ITU-R P.530-12 Recommendation: Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems. France.

[10] ERC Rep 68, (2000), MonteCarlo Radio Simulation Methodology, Naples.

K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Benzetimle Eniyileme İçin Metamodel Oluşturma Yaklaşımı

Emre İrfanoğlu [(a)], İlker Akgün [(a)], Murat Günal [(a)]

[(a)] Deniz Harp Okulu, Tuzla/İstanbul,
[eirfanoglu@dho.edu.tr, iakgun@dho.edu.tr, mgunal@dho.edu.tr]

ÖZ

Benzetimle eniyileme alanında metamodelleme; benzetim modelinin çıktılarına regresyon modelleri uygulayarak çıktılar ile girdiler arasındaki ilişkiyi tanımlamaya yarayan istatistiksel yöntemdir. Metamodelleme karmaşık bir benzetim modelinin genel davranış özelliklerini ortaya çıkarmak veya hangi sistem parametresinin, sistem performansını daha çok etkilediğini belirlemek için kullanılabilir. Bu çalışmada K-means kümeleme algoritması ve çoklu regresyon bütünleşik kullanılarak benzetimle eniyileme için yeni bir metamodelleme yaklaşımı önerilmiştir. Dört aşamalı bu yaklaşımın birinci aşamasında herhangi bir sisteme ait benzetim modeli çalıştırılarak çıktılar elde edilmekte, ikinci aşamada benzetim modelinin girdileri arasındaki benzerlikler K-means kümeleme algoritması vasıtasıyla belirlenerek kümelenmektedir. Üçüncü aşamada ise kümelenmiş olan bu veriler ile tipik uygulamalardaki tek bir metamodel yerine küme sayısı kadar metamodel oluşturulmaktadır. Dördüncü aşamada oluşturulan metamodellerin en küçük (veya en büyük) noktaları bulunarak eniyileme yapılmaktadır. Bu yaklaşım yaygın olarak kullanılan ve benzetimle eniyileme yapan paket yazılımların örneklerine uygulanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu yaklaşım neticesinde oluşturulan çoklu metamodellerin istatistikî olarak daha iyi sonuçlar (toplam hatanın azalması, doğruluğun artması vb.) verdiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemler bize kümeleme algoritmalarının, benzetimle eniyileme için metamodel oluşturmak maksadıyla kullanılmasının faydalı olabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Benzetimle Eniyileme, Çoklu Regresyon, K-means Kümeleme Algoritması, Metamodelleme, Modelleme ve Benzetim.

Metamodeling Approach by using Multiple Regression Integrated K-Means Clustering Algorithm for Simulation Optimization

ABSTRACT

Metamodeling in simulation optimization is a statistical method which describe the relationship between inputs and outputs of simulation models by means of regression methods. Metamodeling is used for to reveal general behavior of a complex simulation model or to determine which system parameter affects the system performance without

the need for further experimentation. In this study, we propose a new metamodeling approach by using multiple regression integrated K-means clustering algorithm especially for simulation optimization. The explanation of this approach is organized as follows; first, we run the simulation model of a system. Second, simulation model inputs are clustered according to the similarities between them by using K-Means clustering algorithm. Third, different from classical metamodeling, we generated one metamodel for each cluster, instead of one metamodel for all data. Fourth, we seek the minima (or maxima) of each metamodel for optimization. This approach is applied to instances of the widely used software packages, which is used for simulation and optimization, for benchmarking. We observed that this approach increases the accuracy of a metamodel and decreases the sum of squared errors. These observations give us some insights about usefulness of clustering in metamodeling for simulation optimization.

Keywords: K-means clustering, metamodeling, Modeling and simulation, multi-regression, simulation optimization.

1. GİRİŞ

Yöneylem Araştırması tarihinde, benzetimle eniyileme teknikleri; eniyileme ile benzetim modellemesinin avantajlarının birleştirilmesi maksadıyla 1990'lı yıllarda ortaya çıkmış ve son on yılda bu alandaki araştırmalar hız kazanmıştır [1-3]. Benzetim teknikleri, sistemlerdeki karmaşıklığı, sahip olduğu esneklik sayesinde çözümleyebilmektedir. Diğer taraftan eniyileme yöntemleri, modelleme kadar esnek olmamasına rağmen, uygulanabildiği takdirde benzetime kıyasla daha hassas ve hızlı sonuçlar üretebilmektedir. Benzetimle eniyileme maksadıyla birçok teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler ikinci kısımda detaylı olarak açıklandığı gibi temel olarak dört ana başlık altında toplanabilir; eğim tabanlı rastgele arama algoritmaları, evrimsel algoritmalar ve meta-sezgisel yaklaşımlar, matematiksel programlama temelli yaklaşımlar ve istatistiksel arama teknikleri. Metamodel uygulamaları da istatistiksel arama teknikleri kapsamında yer almaktadır.

Bu çalışmada, benzetimle eniyileme için metamodelleme sürecini iyileştiren dört aşamalı bir yaklaşım öngörülmüştür. Bu aşamalar; benzetim deneyleri, kümeleme, metamodel oluşturma ve eniyilemedir. İlk aşamada, geleneksel benzetim deney teknikleri (faktöriyel tasarım gibi) kullanılarak belirlenen benzetim girdileri, benzetim modelinde koşturularak benzetim çıktıları elde edilmektedir. İkinci aşamada, ilk aşamada belirlenen benzetim girdilerine bir kümeleme algoritması olan k-means algoritması uygulanarak, benzetim girdileri, aralarındaki uzaklıklara göre kümelenmektedir. Böylece ilk aşamada önemsiz/etkisiz değişkenlerin çıkarılmasıyla küçültülen tasarım uzayı, ikinci aşama ile birlikte mevcut değişkenlerin (benzetim girdilerinin) boyutu azaltılarak biraz daha küçültülmektedir. Üçüncü aşamada ise ikinci

aşamada elde edilen her küme için farklı bir metamodel oluşturulmaktadır. Son olarak da her bir metamodele eniyileme teknikleri uygulanmaktadır. Benzetimle eniyileme kullanılan klasik metamodel yaklaşımından farklı olarak, tüm tasarım uzayı için bir metamodel oluşturmak yerine, kümeleme algoritmaları kullanılarak tasarım uzayı küçültülüp, her küme için bir metamodel oluşturulmuştur.

Bu kapsamda makalenin ikinci kısmında literatürde var olan bazı benzetimle eniyileme yöntemlerine kısaca değinilmiş, üçüncü ve dördüncü kısımlarda sırasıyla metamodelleme ve kümeleme algoritmaları hakkında kısa bilgi verilmiş, beşinci kısımda ise klasik yaklaşım ile öngörülen yaklaşım karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşım bir (s,S) politikasına sahip envanter sistemi benzetim modelinde uygulanmış ve klasik yaklaşımdan daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

2. BENZETİMLE ENİYİLEME TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Benzetimle eniyileme de, benzetim modeli bir sistemin performansını tahmin etmek için kullanılırken, eniyileme algoritması ise bu tahmine dayalı olarak sistem performansını enbüyükleyecek veya enküçükleyecek yeni girdi değerlerini bulmak için kullanılır. Sıkça kullanılan benzetimle eniyileme teknikleri aşağıda kısaca incelenmiştir:

Gradyen tabanlı ve rassal arama algoritmaları (ör: stokastik yaklaşım) : Gradyen tabanlı arama yöntemleri, eniyi bir çözüm bulmak için amaç fonksiyonunun eğimini kullanan eniyileme tekniklerindendir [4]. Algoritmanın her iterasyonunda, karar değişkenlerinin değerleri değiştirilerek, daha düşük amaç fonksiyon değeri elde edilmektedir. Gradyen temelli yöntemler yerel enküçüğü olmayan çok boyutlu uzaylarda iyi sonuçlar vermektedir. Yöntemin dezavantajı ise global enküçüğün bulunamama ihtimalinin olmasıdır.

Evrimsel algoritmalar ve meta-sezgisel yaklaşımlar (ör: genetik algoritma, yasaklı saha (tabu) araması, benzetilmiş tavlama (simulated annealing) algoritmaları) : Sezgisel-tabanlı yöntemler arama (exploration) ve daha iyiyi bulma arasında gözle görülür bir denge oluşturmuştur. Bu denge yerel enküçüğün belirlenmesine imkân vermekle birlikte global eniyi çözümün bulunmasını da teşvik eder [5]. Arama alanı büyükse ve doğrusal değilse, sezgisel teknikler iyi bir aday çözüm üretir.

Matematiksel programlama temelli teknikler (ör: Sample Path yöntemi) : Sample path eniyileme yöntemi geleneksel matematiksel programlama çözüm algoritmalarını kullanarak benzetim ile elde edilen sonuçları eniyilemeye çalışır [6].

İstatiksel arama teknikleri (ör: Tepki Yüzeyi Metodolojisi) : Tepki yüzeyi metodolojisi (TYM) benzetim modelinin girdi ve çıktıları ile regresyon modeli oluşturan istatistiksel bir yöntemdir [5]. TYM'nin amacı karar değişkenlerindeki (benzetim girdileri) değişimin çıktıyı nasıl etkilediğini gösteren, girdi ve çıktı arasında

fonksiyonel bir ilişki oluşturmaktır. TYM tarafından oluşturulan ilişki genellikle "metamodel" olarak isimlendirilir [7]. TYM, benzetimdeki önemsiz değişkenleri eleyen bir tarama safhası içerir [8]. Tarama safhasından sonra, bir yüzey oluşturmak ve eniyi bölgenin bulunması için doğrusal modeller kullanılır. Daha sonra, karar değişkenlerinin eniyi değerlerini bulmak için ikinci veya daha yüksek mertebeli modeller kullanılır.

TYM'deki nihai amaç sistem için eniyi çalışma koşullarını tespit etmek veya çalışma koşullarının sağlandığı bir faktör uzayı bölgesini tanımlamaktır [9]. TYM'nin eniyileme ve deney tasarımı kapsamındaki uygulamalarının en önemli adımlardan biri yanıt üzerinde en çok etkisi bulunan parametrelerin tespit edilmesini sağlayan faktör taramasıdır [10]. Ancak, bizim konumuz olan kesikli-olay benzetim modellerinin eniyilemesinde, bu parametrelerin zaten tespit edilmiş olduğunu varsaymaktayız. Çoğu kesikli olay benzetim modellerinde, çeşitli parametrelerin etkisi hakkında kabaca bir fikir veren analitik modeller vardır. Örneğin üretim sistemleri ve telekomünikasyon ağları üzerinde çalışan bir analist, kuyruk modelleri kapsamında hangi yönlendirme olasılığı ve hizmet süresinin performans ölçütleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu tahmin edebilir.

3. METAMODEL

Metamodel bir benzetim modelinin girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiyi gösteren, genellikle aşağıdaki gibi en küçük kareler polinom regresyon modelidir;

$$E[y] = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \ldots + \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{k} \beta_{ij} x_i x_j \qquad (1)$$

Bir metamodel, karmaşık bir benzetim modelinin genel davranış karakteristiklerini ortaya çıkartabilir. Metamodelin amacı benzetim modelinin oluşturulmasındaki amaca yardımcı olacak şekilde, benzetim modelinin girdileri ve çıktılarını etkili bir biçimde ilişkilendirmektir [11]

Bu çalışmada bizim amacımız kümeleme algoritması kullanarak metamodel oluşturmak olduğu için müteakip bölümde kümeleme algoritmalarına ilişkin literatür çalışmaları incelenmiştir. Amacımız girdi değişkenlerini, aralarındaki benzerliklere göre sınıflandırmak ve bu sınıflandırma neticesinde oluşan küme sayısı kadar metamodel oluşturmaktır. Bu yaklaşımın detayları kümeleme algoritmalından bahsedildikten sonra beşinci ve altıncı bölümlerde açıklanmıştır.

4. KÜMELEME ALGORİTMALARI

Kümeleme nesneler veya veriler arasındaki benzerlikleri veya farklılıkları belirleme yöntemidir. Veriler, aynı kümedeki nesnelerin özelliklerinin benzer, farklı kümelerdeki nesnelerin özelliklerinin farklı olduğu gruplar şeklinde kümeleşmektedir. Bahse konu benzerlik ve farklılığın her ikisi de açık ve anlamlı bir şekilde tespit edilebilir olmalıdır. Benzerliğin ölçüsü uygulamaya bağlıdır. Kümeleme çok yaygın olarak kullanılmakla

birlikte farklı alanlardaki problemleri çözmek için birçok kümeleme algoritması geliştirilmiştir. Ancak evrensel olarak tüm problemleri çözebilecek tek bir kümeleme algoritması bulunmamaktadır[12].

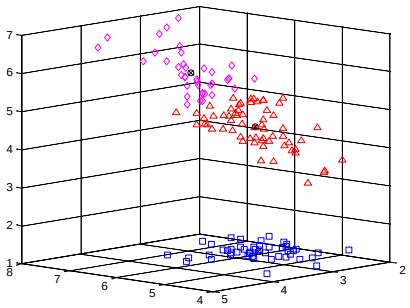
Kümeleme, mühendislikten (makine öğrenmesi, yapay zekâ, örüntü tanıma, makine mühendisliği, elektrik mühendisliği), bilgisayar bilimlerine (web madenciliği, mekânsal veri analizi, metinsel belge toplama, görüntü segmentasyonu), toprak bilimlerinden (coğrafya, jeoloji, uzaktan algılama), sosyal bilimlere (sosyoloji, psikoloji, arkeoloji) ve ekonomiden (pazarlama) tıp bilimlerine (genetik, biyoloji, mikrobiyoloji, paleontoloji, psikiyatri, klinik, patoloji) kadar hayatın değişik alanlarında geniş bir yelpazede kullanılmaktadır[13-14].

Oluşturulan kümelerin özelliklerine göre iki temel kümeleme tekniği vardır [13-15]; hiyerarşik kümeleme ve bölümlenmiş (partitioned) kümeleme. Hiyerarşik kümeleme verileri çeşitli derecelere göre bir küme ağacı oluşturarak gruplara ayırır.

Bölümlenmiş kümeleme de ise, veriler belirlenmiş sayıda kümeye ayrılır. K-means kümeleme algoritması bu kategorideki en iyi bilinen kümeleme algoritmasıdır. K-means, verileri birbirinden bağımsız k adet kümeye ayırır. Bizim uygulamamızda benzetim girdilerini kümelemek için bu algoritma kullanılmıştır.

K-Means kümeleme algoritması verideki her bir gözleme (burada benzetim girdisi), uzayda bir konuma sahip nesneymiş gibi davranır. Daha sonra her bir küme içindeki nesneyi kendisiyle aynı kümede bulunan diğer nesnelere mümkün olduğunca yakın, diğer kümelerde bulunan nesnelere ise mümkün olduğu kadar uzak olacak şekilde bir ayrım yapar. Bu ayrımı yaparken kümelenmek istenen veri türüne bağlı olarak farklı mesafe ölçü birimleri kullanılabilir.

Her bir küme, kümede bulunan nesneler ve merkez noktası ile tanımlanır. Her bir kümenin merkez noktası o kümedeki tüm nesnelerin merkez noktaya olan mesafelerinin toplamının minimum olduğu noktadır. Algoritma sonucunda birbirlerinden çok iyi ayrılmış kümeler elde edilmektedir. Şekil-1 kümelenmiş bir verinin grafiğini göstermektedir.



Şekil 1. Kümelenmiş veri örneği (Matlab örneklerinden alınmıştır)

5. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

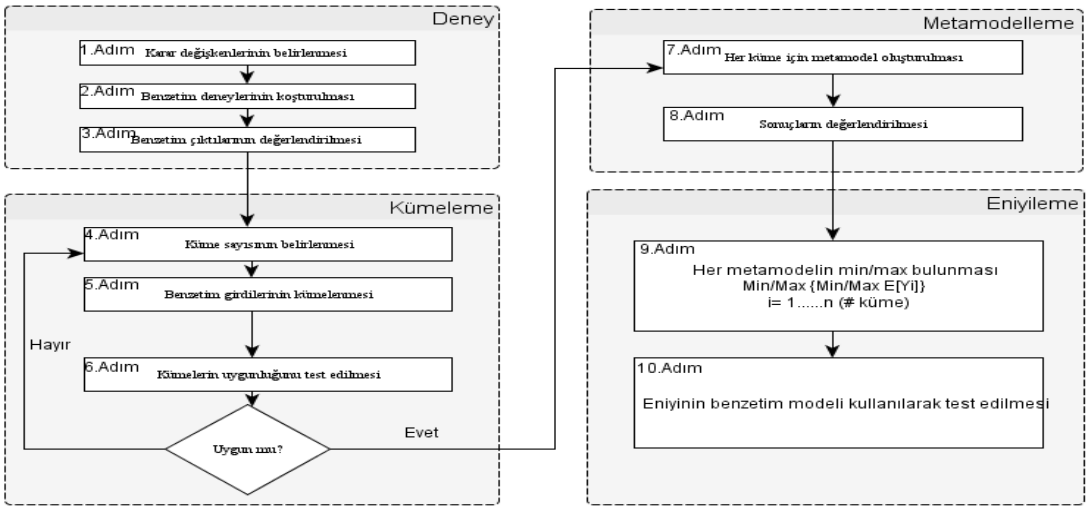
Bu çalışmada K-means kümeleme algoritması ve çoklu regresyon bütünleşik kullanılarak benzetimle eniyileme için yeni bir metamodelleme yaklaşımı önerilmiştir. Yaklaşımımız; benzetim deneyleri, kümeleme, metamodel oluşturma ve eniyileme olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Şekil-2'de belirtildiği gibi toplamda 10 adım içermektedir. Bu kapsamda elimizde, bir benzetim modeli ve optimize edilmeye çalışılan bir amaç fonksiyonu bulunduğu varsayılmaktadır. Ilk aşama olan benzetim deneyleri aşamasında, arama alanının büyüklüğüne göre [9]'daki teknikler kullanarak deneyler tasarlanmaktadır.

İkinci aşamada benzetim girdileri kümelenmektedir. Bu tekrarlamalı (iterative) aşamada, her tekrarda bazı performans kriterlerine bakılmakta, eğer kümeleme için belirlenen kriter kabul seviyesinin altında ise küme sayısı artırılmaktadır. Örneğin K-means kümeleme algoritmasında performans kriteri siluet değeridir. Altıncı kısımda siluet değeri detaylı olarak anlatılmıştır.

Üçüncü aşamada her küme için bir metamodel oluşturulmakta ve daha önceki aşamada olduğu gibi bazı performans kriterleri kontrol edilmektedir (Ör:R^2, PRESS, p-değeri, toplam hata vs).

Son aşama ise eniyileme aşamasıdır. Burada amaç fonksiyonuna bağlı olarak her metamodelin minimum veya maksimum noktaları bulunmaya çalışılmaktadır. Daha sonra bulunan bu değerlerin en küçüğü (veya en büyüğü) eniyi nokta olarak aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

$$f_{opt} = Min\left\{ f^{1}_{meta\,model}, f^{2}_{meta\,model}, \ldots, f^{n}_{meta\,model} \right\} \quad (2)$$



Şekil 2. Metodoloji

6. UYGULAMA

6.1. Problemin Tanımlanması

Yaklaşımımızı test etmek için ARENA [16] programıyla hazırlanmış (s,S) envanter politikası örneğine ait benzetim modeli kullanılmıştır. Bahse konu model önerilen yaklaşımın karşılaştırılması için seçilmiş ve modelinin yapısı ve parametreleri [17]'de belirtildiği şekilde kullanılmıştır. Örneğimizde tek bir çeşit ürüne ait en iyi envanter politikası belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda envanter seviyesi *I(t); t* anında (gün olarak) elde bulunan envanter seviyesini göstermektedir. Başlangıçta elde bulunan ürün adedi: *I(0)* = 60'tır. Müşterin gelişleri ortalaması (λ=0.1) olan üssel dağılıma uymaktadır. Gelen müşteriler 0.167 olasılıkla 1 adet, 0.333 olasılıkla 2 adet, 0.333 olasılıkla 3 adet ve 0.167 olasılıkla 4 adet ürün talep etmektedirler. Gelen müşterinin talebi elde bulunan envanterden karşılanabiliyorsa müşteri talebinin hepsini almaktadır. Ancak elde bulunan envanter miktarı müşterinin talep ettiği miktardan az ise müşteri envanterde bulunan miktar kadar almakta, talebin geri kalan kısmı ise yoksatma (backorder) kapsamında yeni ürün gelince karşılanmaktadır

Her günün başlangıcında envanter miktarı kontrol edilmekte ve envanter seviyesinin daha önce belirlenen miktarın (s) altına düşmesi durumunda, envanter seviyesini yine daha önce belirlenmiş olan miktara (S) tamamlayacak sayıda sipariş verilmektedir. Siparişler gecikmeksizin verildiği anda gelmektedir. Bu kapsamda *t* gününün başlangıcında envanter seviyesi kontrol edildiğinde $I(t) < s$ ise $S-I(t)$ kadar sipariş verilmekte, $I(t) > s$ ise o gün boyunca sipariş verilmemekte ve ertesi günün başlangıcında $(t+1)$ envanter seviyesi tekrar kontrol edilmektedir.

Aşağıda belirtilen maliyetler çerçevesinde 120 gün süresince oluşacak günlük ortalama toplam maliyeti minimum yapacak (s,S) politikası belirlenmek istenmektedir:

-Günlük Ortalama Sipariş Maliyeti: Her sipariş verildiğinde sipariş miktarından bağımsız olarak $32'lık bir maliyete ve sipariş edilen ürün başına $3'lık sipariş maliyetine katlanılmaktadır.

-Günlük Ortalama Elde Bulundurma Maliyeti: Elde bulundurulan her ürün için ($I(t)>0$) günde $1'lık maliyet oluşmaktadır.

-Günlük Ortalama Yok Satma Maliyeti: Yok satma ($I(t)<0$) durumuyla karşılaşıldığında her ürün için günde $5'lık ceza maliyeti oluşmaktadır.

6.2. Metodoloji'nin Adımları

1.Adım: Karar değişkenlerinin belirlenmesi: Günlük ortalama toplam maliyeti belirlemek için karar değişkenlerinin sınırları S (X_1) için 2 ile 100, s (X_2) için 1 ile 99 olarak alınmıştır.

2.Adım: Benzetim deneylerinin koşturulması: Bu aşamada kendimizin belirlemiş olduğu deney tasarımının yerine, Arena programının eniyileme yazılımı olan OptQuest tarafından belirlenen deneyler kullanılmıştır. Bunun bir nedeni çoklu koşturmaları daha hızlı bir şekilde yapabilmek, diğer sebebi ise önerilen metodolojiyi başka bir metodoloji ile karşılaştırabilmektir. OptQuest tarafından belirlenen 189 deney sonucunda; amaç fonksiyonu 117.13, X_1 değeri 65 ve X_2 değeri 29 olarak bulunmuştur.

3.Adım: Benzetim çıktılarının değerlendirilmesi: $s<S$ koşulunu sağlamadığı dolayısıyla uygun bölgede bulunmadığı için 189 deneyden 46 tanesi elenmiştir.

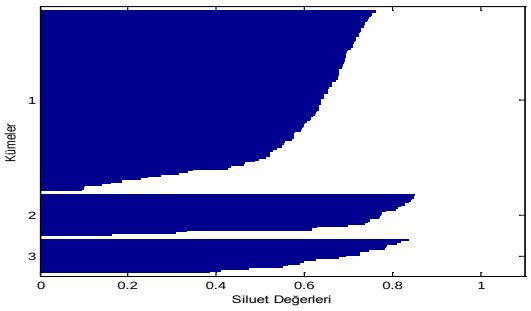
4.Adım: Küme sayısının belirlenmesi: Bu aşamada benzetim çıktıları kümelenerek silüet değerlerine göre analiz edilmiştir. Silüet plotu verilerin komşu kümelerle olan yakınlık/uzaklık değerini gösteren bir diyagramdır. Silüet değeri +1 ve -1 arasında bir değer olmakla birlikte, değerin +1 olması verinin diğer kümedeki verilere çok uzak olduğunu, 0 olması verinin hangi kümede olduğunun tam olarak belli olmadığını, -1 olması ise verinin yanlış kümeye atanmış olduğunu gösterir. Siluet değeri aşağıdaki formül yardımıyla belirlenmektedir;

$$S(i) = (\min(b(i,k),2) - a(i)) / \max(a(i),\min(b(i,k))) \quad (3)$$

a(i) i. verinin kendi kümesindeki diğer verilere olan uzaklıkların ortalamasını, b(i,k) i. verinin k. kümedeki verilere olan uzaklığının ortalamasını göstermektedir.

5.Adım: Benzetim girdilerinin kümelenmesi: Girdiler Öklid mesafesi kullanılarak, siluet plotlarının karşılaştırılması maksadıyla 7 kümeye kadar kümelenmiştir.

6.Adım: Kümelerin uygunluğunun test edilmesi: Kümelerin uygunluğunun belirlenmesi için siluet plotları ve siluet değerlerinden faydalanılmış ve en iyi görüntü Şekil-3'te görüldüğü gibi, verilerin 3 kümeye ayrılmasıyla (silüet ortalaması 0.61) elde edilmiştir. Bu nedenle 3 adet metamodel oluşturulmaya karar verilmiştir.



Şekil 3. Verilerin Siluet Görüntüsü

7.Adım: Her küme için metamodel oluşturulması: 6. Adımda belirlendiği şekilde Minitab [18] programı kullanılarak aşağıda belirtilen 3 metamodel oluşturulmuştur.

$$f_1 = 183.473 - 1.56656 * X_1 - 1.08941 * X_2 + 0.0092 * X_1^2 + 0.0109 * X_1 * X_2 + 0.0117 * X_2^2 \quad (3)$$

$$f_2 = 124.704 + 0.0821 * X_1 - 1.12507 * X_2 + 0.00049 * X_1^2 + 0.0028 * X_1 * X_2 + 0.0168 * X_2^2 \quad (4)$$

$$f_3 = 259.732 - 5.1758 * X_1 - 0.97494 * X_2 + 0.05773 * X_1^2 - 0.0087 * X_1 * X_2 + 0.0233 * X_2^2 \quad (5)$$

8.Adım: sonuçların değerlendirilmesi: 7. adımda oluşturulan metamodeller istatistikî olarak Çizelge-1'de değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Metamodellerin İstatistikleri

		R-kare	R-kare (pred)	S ($\sqrt{MS_E}$)
Kümelenmemiş Metamodel		91.67%	88.06%	2.08
Önerilen Yaklaşım	Metamodel-1	89.70%	87.44%	1.41821
	Metamodel-2	97.22%	92.08%	0.855386
	Metamodel-3	99.81%	99.49%	1.80490

9.Adım: Her metamodelin max/min olduğu değerlerin bulunması: Amaç fonksiyonlarını eniyilemek maksadıyla Matlab [19]'den faydalanılmıştır. Bu kapsamda Çizelge-2 amaç fonksiyonu ve değişkenlerin değerlerini göstermektedir. Tabloda da görüldüğü gibi en küçük amaç fonksiyon değeri metamodel-1'e aittir. Bu kapsamda metamodel-1'in minimum noktası olan $116.96 önerilen yaklaşım sonucu bulunan amaç fonksiyon değeridir. Önerilen yaklaşım sonucu bulunan eniyi ($116.96) OptQuest'in sezgisel yaklaşımla bulduğu eniyi değere ($117.13) %0.1 yakındır.

Çizelge 2. Amaç Fonksiyonları ve Karar Değişkenlerinin Karşılaştırılması

Yöntem		Amaç Fonk. Değ.	Karar Değ. [X1,X2]	Test Edilmiş Amaç Fonk. Değ.
OptQuest		$117.13	[65 29]	-
Önerilen Yaklaşım	Metamodel-1	$116.96	[74 17]	$122.5
	Metamodel-2	$122.42	[80 26]	$123.23
	Metamodel-3	$123.7	[45 29]	$121.28
Kümelenmemiş		$119.2	[71 28]	$124.27

10.Adım: Eniyinin benzetim modeli kullanılarak test edilmesi: Her bir metamodelin 9. adımda bulunan eniyi değeri Arena benzetim modelinde test edilmiştir. Bu kapsamda Çizelge-2'de en son sütunda bulunan değerler elde edilmiştir. Önerilen yaklaşım sonucu elde edilen test değeri OptQuest'in eniyi değerine %4.5 yakınlıkla bulunmuştur.

7. SONUÇ

Bu çalışma ile literatürde mevcut olan benzetimle eniyileme yöntemlerine yeni bir yaklaşımla katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Yaklaşımımız, Arena programında mevcut olan OptQuest eniyileme aracıyla test edilmiş ve verilerin kümelenerek daha az hataya sahip metamodeller elde edilebileceği dolayısı ile daha iyi tahminleme ve optimuma yakın eniyinin bulunabileceği görülmüştür. Önerilen yaklaşımın, çözüm uzayının çok büyük olduğu ve aramanın maliyetli olduğu problemlerde eniyi noktanın bulunmasında, sezgisel yaklaşımlara alternatif olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Diğer taraftan önerilen metodoloji altı hörgüçlü deve sırtı [20] ve çağrı merkezi [17]

modellerinde de denenmiş ve eniyi noktalar optimuma çok yakın bir şekilde bulunmuştur. Bu kapsamda önerilen yaklaşımın genelliği , başka modelleme çalışmaları ve kümeleme algoritmaları ile denenerek araştırılabilir.

8. KAYNAKÇA

[1] Tekin, E. and Sabuncuoglu, I., 2004."Simulation Optimization: A Comprehensive Review on Theory and Applications". IEEE Transactions, 36:1067-1081.

[2] Law, M. and Kelton W. D., 2001. Simulation Modeling and Analysis, 2th.ed., McGrawHill.

[3] Fu, M., 2002. "Optimization for Simulation: Theory vs. Practice", INFORMS Journal on Computing 14(3):192-215.

[4] Waziruddin, S., Brogan,D. C., Reynolds, P. F.:"Coercion through Optimization: A Classification of Optimization Techniques" Proceedings of the 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, September 2004.

[5] Carson ,Y. and A. Maria: "Simulation Optimization: Methods and Applications" Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, 1997.

[6] Rubinstein, R. Y. and A. Shapiro. 1993. Discrete Event Systems: Sensitivity Analysis and Stochastic Optimization by the Score Function Method. New York: John Wiley & Sons.

[7] Fu, M.: "Simulation Optimization" Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, 2001.

[8] R. H. Myers and D. C. Montgomery: Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments, Wiley-Interscience, 2002.

[9] Montgomery, D.C. (1991) Design and Analysis of Experiments, John Wiley & Sons, NY.

[10] Fu, M.C.1994 Optimization via simulation:a review. Annals of Operations Research, 53, 199–247.

[11] Sargent ,R.G.: "Reesearch Issues in Metamodeling" Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference, 1997.

[12] Xu, R.:"Survey of Clustering Algorithms" IEEE Transactıons on Neural Networks, Vol. 16, No. 3, pp. 645–678, May 2005.

[13] B. Everitt, S. Landau, and M. Leese, Cluster Analysis. London:Arnold, 2001.Biography.

[14] J. Hartigan, Clustering Algorithms. New York: Wiley, 1975.

[15] A. Jain, M. Murty, and P. Flynn, "Data clustering: A review," ACM Comput. Surv., vol. 31, no. 3, pp. 264–323, 1999.

[16] Arena Simulation Software, http://www.arenasimulation.com/, [accessed Jan.2013]

[17] Kelton, W. D. Sadowski, R. P. and Sturrock, D. T. 2007. Simulation with Arena, McGrawHill, Fourth Edition, United States.pp 195-285.

[18] Minitab, http://www.minitab.com, [accessed Jan.2013]

[19] Matlab, http://www.mathworks.com/products/matlab/ , [accessed Jan.2013]

[20] Branin, F. H. and Hoo, S. K. (1972) A method for finding multiple extrema of a function of n variables. Numerical Methods for Non-Linear Optimization, Ed. F. Lootsma, Academic Press, NewYork, pp. 231–237

KARAR DESTEK SİSTEMLERİNDE DURUM-UZAY MODELİ YAKLAŞIMI

Ufuk Ülüğ [(a)], Ahmet Faik Güven [(b)], Semuel Franko [(c)], Mehmet Haklıdır [(d)], Nurşen Sarı [(e)], Melike Gürbüz [(f)], Ümit Özkan [(g)]

[(a,b,c,d,e,f,g)] TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN Sualtı Savunma Teknolojileri, Gebze-KOCAELİ, (ufuk.ulug, ahmet.guven, semuel.franko, mehmet.haklidir, nursen.sari, melike.gurbuz, umit.ozkan)@tubitak.gov.tr

ÖZ

Karar Destek Sistemleri, belirli bir durum karşısında karar verme mekanizmasına destek olabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Duruma verilecek tepki yalnızca o anı değil, bundan sonra oluşacak durumları da etkilemektedir. Dolayısıyla verilecek tepkinin sonuçlarının kestirilebilmesi sistemin başarımı açısından çok önemlidir. Çoğu zaman durum-tepki-sonuç zincirinin tüm değişimlerinin tam olarak tecrübe edilmesi ve sisteminin bu bilgi kümesinden faydalanmasını sağlamak imkansızdır. Bu nedenle mevcut sistemlerde genellikle az sayıda tecrübeden oluşturulmuş kural tabanlı yapılar kullanılmaktadır.

Benzetim yardımıyla, durum-tepki-sonuç zinciri tam olarak kurulabilmektedir. Ancak modellerin sadakati ile sistemin kaynak ihtiyacı arasındaki doğru orantı, sistemin ihtiyaç duyduğu girdileri kabul edilebilir zamanda almasını engelleyecektir. Performans kriterleri de göze alındığında, kısıtlı zamanda çıktı üretebilmek imkansız gözükmektedir. Bu nedenle taktik duruma ilişkin tüm değişimleri temsil edebilen simülasyonlarda, çeşitli değişkenlerin belirlenen aralıklarda örneklenmesiyle yapılan koşumlara ilişkin durumların genelleştirilmesi ve bir uzaya dönüştürülmesi yeni bir yaklaşımdır.

Bu çalışmada, geliştirilen bir taktik simülatörde taktik durumu temsil eden parametreler uygun duyarlılıkta ve çözünürlükte değiştirilerek mümkün olduğunca geniş bir uzay oluşturulmaktadır. Simülatörden alınan koşum sonuçları, girdi parametreleri ile birlikte durum uzayını oluşturmakta ve veritabanına kaydedilmektedir. Karar Destek Sistemi gerçek zamanlı mevcut durum bilgileri için, veritabanındaki Durum Uzayı'nda sorgulama yaparak Çözüm Uzayı'nı oluşturur. Buradaki tüm çözümler analiz edilerek Taktik Çözüm Kümesi oluşturulur ve kullanıcıya karar önerisi sunulur.

Anahtar Kelimeler: Benzetim, Duyarlılık Analizi, Karar Destek Sistemleri, Taktik

CASE-SPACE MODEL APPROACH IN DECISION SUPPORT SYSTEMS

ABSTRACT

Decision Support Systems are used to support decision-making mechanisms in particular situations. The responses to these situations affect not only a particular moment but cases occurred afterwards. Therefore, predicting the results of responses is important for the success of such systems. Most of the time, it is impossible to fully experience all the changes in the situation-response-and-effect chain and to set the system to benefit from this chain of information. Therefore, the present systems generally use structures based on rules generated from fewer experiences.

With the help of simulation, case-response-and-effect chain can be fully established. However, a direct correlation between the resource requirements of the system with fidelity of models prevents the system to get needed information in an acceptable time. Giving the expected performance criteria of such systems, it appears impossible to produce an output at the limited time. For this reason, generalization of cases that uses run results of sampling at various variables at specified intervals and turning them into a space is a new approach for the simulations that represent all the changes on the tactical situation.

In this study, a wider space is generated by changing the parameters representing the tactical situation at appropriate sensitivity and resolution using an already developed tactical simulator. The run results of the simulator, along with input parameters, generate a state space and are recorded into the database. Decision Support System creates a solution space by querying for real-time status information available in the state space. A decision is proposed to the user by the tactical solution cluster created by analyzing all solutions in the solution space.

Keywords: Decision Support Systems, Simulation, Sensitivity Analysis, Tactics

1. GİRİŞ

Karar verme süreci incelendiğinde, sorunu tanımlama, veri toplama, soruna uygun bütün strateji seçeneklerinin listelenmesi, her stratejiyi takip eden bütün sonuçların saptanması, sonuçların karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmesi şeklindeki adımlardan oluştuğu görülür. Bu temel adımların, karar verme süresinin kısıtlı ve taktik ortamının gergin olduğu askeri uygulamalarda gerçekleştirilebilmesi için kullanımı kolay, taktik ortamın tanımlanması için ihtiyaç duyulan tüm parametrelere ve bunların birbirleri ile

etkileşimine hakim, karar verme süresini kısaltacak karar destek sistemlerine ihtiyaç duyulur [2].

Çalışmanın ikinci bölümünde karar destek sistemi durum uzayının oluşturulmasında kullanılan benzetim altyapısından bahsedilmiştir. Parametrelerin karar destek sistemindeki etkinliğinin belirlenmesinde kullanılan duyarlılık analizi prensibi üçüncü bölümde sunulmuştur. Dördüncü bölümde durum uzayının genel yapısı hakkında bilgi verilmiş olup son bölümlerde durum farkındalığı ve taktik öneri mekanizması hakkında bilgi verilmiştir.

2. BENZETİM

Karar destek sisteminin ihtiyaç duyduğu durum uzayı veritabanı bir benzetim ortamı yardımıyla oluşturulabilir. Taktik sahada etkili olan unsurların mümkün olduğu kadar yüksek seviyede sadakat ile modellendiği bir benzetim ortamından elde edilecek çıktılar karar destek sisteminin başarımı için en önemli şartlardan biridir.

Geliştirilen benzetim modelinde sakınma yapan platform, torpido, aldatıcı ve karıştırıcılara ilişkin akustik ve dinamik özellikler gerçekçi bir biçimde modellenmiştir. Sakınma yapan platformun torpido tehdidi altında gerçekleştireceği sakınma manevrası ve aldatıcı/karıştırıcı kullanımından oluşan sakınma taktiği benzetim ortamında tanımlanabilmekte ve bileşen davranışları tecrübe edilebilmektedir. Sakınma yapan platform, torpido ve ortam bilgilerinden oluşan senaryo verisi, platformun uygulayacağı taktik adımlardan oluşan bir sakınma taktiği ile birlikte koşturularak taktiğe ilişkin bir başarı puanı belirlenir. Karar destek sistemi için gerekli olan durum uzayı, benzetim ortamında oluşturulan senaryo bilgileri, taktik bilgileri ile taktiğin başarı puanından oluşacaktır.

3. DUYARLILIK ANALİZİ

Çalışmamızdaki Karar Destek Sistemi, önceden kaydedilmiş senaryo verileri ile anlık olarak elde edilen verileri karşılaştırmaktadır. Karşılaştırma sonucunda elde edilen benzerlik düzeyi ise hangi taktiğin ve manevranın seçileceği konusunda etken olmaktadır. Çok sayıda giriş değişkenine sahip sistemlerde (örn:20-25) bütün parametre setlerini karşılaştırmak, hem performans hem de optimizasyon sorunları yaratmaktadır. Bu nedenle hangi parametrelerin sistem üzerinde daha etkili olduğunu belirlemek için duyarlılık analizi yapılmaktadır.

Duyarlılık analizinin aşağıdaki gibi temel amaçları vardır:

- Giriş değişkenlerini önemlerine göre sıralamak

- Çıkış değişkenlerini riskli noktalara getiren giriş kombinasyonlarını bulmak
- Değişkenlik ve belirsizlik kaynaklarını tanımlamak
- Kritik limitleri belirlemek
- Model doğrulaması gerçekleştirmek

Duyarlılık analizini Frey 3 madde halinde açıklamıştır [1]. Matematiksel, İstatistiksel, Grafiksel yöntemler.

- Matematiksel yöntemlerde temel olarak, giriş için belirlenen aralık içindeki birkaç farklı değer için çıkış hesaplanır. Matematiksel metotlar, girdi varyantlarından dolayı meydana gelen çıktı varyantlarının yerini belirlemez, ancak girdilerin varyasyonunun çıktı değeri üzerine etkisini değerlendirebilir. Matematiksel metotlar en önemli girdilerin belirlenmesine de yardımcı olur.

- İstatiksel metotlar simülasyon sırasında girdilerin olası dağılımlara atanması ve çeşitli girdilerin çıktı dağılımına etkisinin tayinini içermektedir. Bu metotta bir veya daha çok girdi aynı anda değiştirilir. İstatiksel metotlar, çoklu girdilerin arasındaki etkileşimlerin etkilerinin tanımlamasına izin verir.

- Grafiksel metotlar duyarlılığı grafikler, çarklar ve yüzeyler formunda gösterilmesini sağlar. Genel olarak grafiksel metotlar girdi çeşitlerine göre çıktının nasıl değiştiğinin görsel olarak gösterilmesinde kullanılır. Girdi ve çıktı arasındaki karmaşık ilişkilerin veya gerçekleşecek analiz metotlarının önceden gösterilmesinde kullanılan bir metottur.

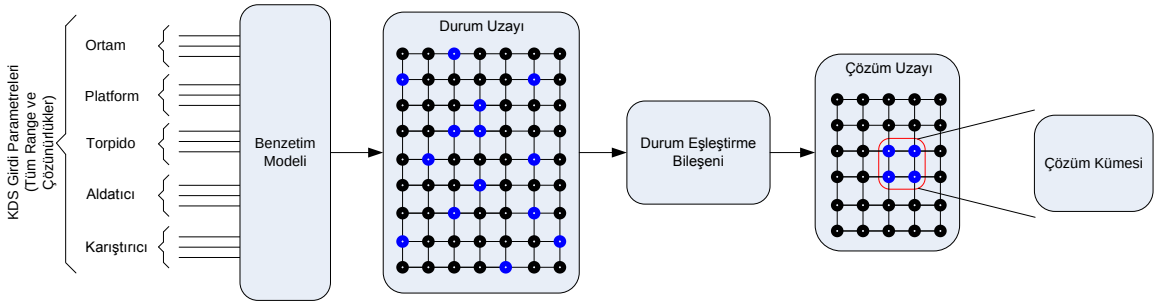
Tüm giriş değişkenlerinin değerleri belirli aralıklarla değiştirilerek, belirlenen referans senaryolara girdi olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak hangi girişlerin çıkış için daha etkili olduğu bulunmuştur ve en etkili parametreler seti elde edilmiştir. Senaryo karşılaştırma yapılırken de bu parametre seti kullanılmıştır.

4. DURUM UZAYI YAPISI

Durum farkındalığı, karar destek sistemleri için büyük önem arz etmektedir. Özellikle zaman kritik ve mevcut durumun sürekli değiştiği sistemler için içinde bulunulan ana ilişkin durum tespitinin doğruluğu doğrudan karar verme sürecinin başarısını etkilemektedir. Gerçek dünya koşulları göz önüne alındığında sürekli zamanlı bir durum uzayı ancak sonsuz sayıda örnekle ifade edilebilir. Durum tespiti için sonsuz sayıda örnek alınamayacağından, yapılacak örneklemenin sayısının çokluğu oluşturulacak ayrık durum uzayını sürekli zamanlı durum uzayına yaklaştıracaktır. Ancak karar destek sisteminin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için örnekleme sayısı miktarının kabul

edilebilir limitler arasında olması gerekmektedir. Bunu sağlamak üzere öncelikle durum farkındalığı ve taktik başarısını etkileyecek parametrelerin, bu parametrelerin alacağı sınır değerlerin ve parametre bazında yapılacak örnekleme çözünürlüğünün belirlenmesi oluşturulacak durum uzayının hem olası tüm durumları kapsama oranını hem de yapılacak hesaplama yükünü belirleyecektir. Nasıl ki karar destek sistemi için durum uzayını tam kapsayan ancak yoğun hesaplamalar gerektiren ve dolayısıyla da sonuç vermesi uzun süre gerektiren bir sistem istenmez ise hızlı cevap veren ancak mevcut durumla tespit edilen durum arasındaki sapmanın büyük olduğu bir sistem de arzu edilmez. Bu nedenle hesaplama yükü ve kapsama oranı arasında kurulacak denge karar destek sisteminin başarısında belirleyici role sahip olacaktır.

İdeal bir durum uzayı; benzetim modeli simülasyonunun, karar destek sistemi durum uzayını oluşturmak üzere belirlenen parametreler için belirlenen sınır değer ve örnekleme çözünürlüğünde koşturulması ve her bir durumda uygulanan taktik ve bu taktiğin uygulanması sonucunda elde edilen başarı bilgisinin o durum ile eşlenmesi ile oluşturulur. Böylece durum uzayını oluşturan her bir durum için belirli bir başarı yüzdesine sahip bir taktik belirlenmiş olur. Karar destek sistemine yapılacak sorgular oluşturulan durum uzayı ile karşılaştırılarak mevcut duruma en yakın durumlar ve bu durumlara karşılık gelen taktikler kolayca elde edilebilir. Karar destek sistemi durum uzayı gösterimi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Karar Destek Sistemine Genel Bakış

5. DURUM FARKINDALIĞI VE BENZERLİK

Birden fazla parametre içeren iki durum arasındaki farklılık veya benzerlik düzeyini belirlemek için yeni bir uzaklık ölçütü tanımlamak gerekir. Bilgi kümesi parametreler açısından birbirlerine dik eksen takımlarından oluşan S boyutlu bir uzay olarak tanımlansın. Tanımlanan uzayda S parametreden oluşan bilgi kümeleri noktalar şeklinde ifade edilebilir. P_1 ve P_2 noktaları arasındaki mesafe l_2 normuna göre şu şekilde hesaplanabilir:

$$\boldsymbol{M} = \sqrt{\sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{S}} \left(\boldsymbol{P_1(i)} - \boldsymbol{P_2(i)}\right)^{\boldsymbol{2}}}$$

l_2 normuna dayalı farklılık hesabı için temel gereksinim eksenlerin aynı birim veya birimsizliğe sahip olmasıdır. Birbirlerinden çok farklı birimlere sahip olabilen parametrelerin aynı birim altında toplanması imkansız olduğundan birimsizleştirme işlemi normalizasyon yapılarak gerçekleştirilir. Bilgi kümesinde bulunan bir parametrenin normalize karşılığı, parametrenin uzayda tanımlanmış alabileceği en büyük değere oranı şeklinde tanımlanır.

Durum kümeleri arasındaki farklılık düzeyi üzerinde tüm parametrelerin etkisinin aynı olması beklenemez. Dolayısıyla parametrelerin farklılık düzeyine etkisi ağırlıklandırma işlemi ile gerçekleştirilir. Normalizasyon ve ağırlıklandırma işlemleri ile birlikte iki bilgi kümesi arasındaki farklılık düzeyi şu şekilde tanımlanabilir.

$$\mathbf{P}^{\boldsymbol{norm,ağırlık}} = \mathbf{P} * \mathbf{N^{-1}} * \mathbf{A}$$

$\mathbf{N}_{1xS}$: Normalizasyon vektörü

$\mathbf{A}_{1xS}$: Ağırlık vektörü, $0 \leq \mathbf{A}_i \leq 1$, $\Sigma\mathbf{A}=1$

$$Fark = \left\| P_1^{norm,ağirlik}, P_2^{norm,ağirlik} \right\|_2$$

$||.||_2$: l_2 normu

Benzerlik düzeyi ile hesaplanan farklılık miktarı arasında birebir ilişki bulunur. Tanımlanan normalizasyon ve ağırlık vektörleri için en büyük farklılık düzeyi $Fark_{maks}$ belirlenerek iki bilgi kümesi arasındaki benzerlik düzeyi şu yolla hesaplanabilir:

$$Fark_{maks} = \left\| \mathbf{0}, P_{maks}^{norm,ağirlik} \right\|_2$$

$$Benzerlik = 1 - Fark_{maks}$$

6. TAKTİK ÖNERİ MEKANİZMASI

Mevcut durum bilgi kümesini girdi olarak alan Karar Destek Sistemi mümkün olan en kısa sürede taktik öneri çıktısı sunmayı amaçlar. Sistem tasarımına göre simülasyon ortamındaki tecrübelerden oluşturulmuş veritabanı, mevcut durum parametrelerinden oluşan senaryo verileri ile uygulanması tavsiye edilen taktik verilerinden oluşmaktadır. Karar destek sisteminin veritabanında kayıtlı tüm senaryo verileri ile mevcut durum bilgi kümesi arasında benzerlik hesabı yapması kısa sürede çıktı üretmesini imkansız

kılacaktır. Bu sebeple benzerlik hesabı yapılacak veritabanı altkümesini belirleyecek bir arama algoritması geliştirilmiştir.

```
while(senaryo sayısı < çıktı üretilecek taktik sayısı)
        VT sorgulama aralığı belirle
        VT kayıt sayısı sorgula
end
VT ilgili kayıtları sorgula
Mevcut durum ile VT kayıtları arası benzerlik düzeyi hesapla
Benzerlik düzeyi en yüksek senaryoların ilgili taktiklerini sorgula
Taktik önerisini oluştur
```

Veritabanı altkümesini oluşturma aşamasında kullanılacak parametre sorgulama aralıkları her adımda arttırılarak, çıktı üretilecek taktik sayısına ulaşılmadığı sürece tüm durum uzayının değerlendirilmesi sağlanır. Eşik sayının üstüne veritabanı kaydına ulaşıldığında senaryo benzerlik düzeyi belirleme algoritmasına girdi olacak veri kümesi sorgulanır ve mevcut durum arasındaki benzerlik düzeyi hesaplanır. En yüksek benzerliğe sahip belirli sayıdaki senaryo ile ilişkilendirilmiş taktik veri kümesi sorgulanarak taktik çözüm kümesi oluşturulur.

7. SONUÇ

Mümkün olduğunca kısa sürede ve yüksek doğrulukta çıktı üretmesi beklenen karar destek sistemleri için yeni bir öneri sunulmuştur. Benzetim ortamında oluşturulmuş durum uzaylarından oluşan bir veritabanında arama yaparak en yakın benzerliğe sahip durumları belirleyen karar destek sistemi, çıktı olarak taktik önerisini sunacaktır.

8. KAYNAKÇA

[1] H.C.Frey, A. Mokhtari, T. Danish (2003), Report, North Carolina State University, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC

[2] Haklidir, M., Franko, S., Guven, A.F., Ulug, U., (2010) “Decision Support System for Torpedo Threats (DeSuS)”, Ship Survivability Conference 2010, Berlin, Germany, October 2009. – The Winner of Ship Survivability Solution Award 2010.

DENİZALTI SAVUNMA SİSTEMLERİNİN BENZETİMİNDE SAKINMA TAKTİĞİNİN ANALİZİ

Tuğba Özbilgin [(a)], Ufuk Ülüğ [(b)], Dr. Nurşen SARI [(c)], Melike Gürbüz [(d)], Ümit Özkan [(e)]

[(a, b, c, d, e)] TÜBİTAK BİLGEM, Gebze 41470 Kocaeli, (tugba.ozbilgin, ufuk.ulug, nursen.sari, melike.gurbuz, umit.ozkan)@tubitak.gov.tr

ÖZ

Denizaltı savunma sistemlerinin benzetimi ile elde edilecek en önemli sonuçlardan biri torpido tehdidine karşı uygulanan sakınma taktiğinin başarısıdır. Benzetim çıktılarının değerlendirilmesi sadece sakınan platformun kurtulup kurtulmaması üzerinden olabileceği gibi sonuçların detaylı analizi ile sakınma taktiğinin eksikliklerinin tespit edilip giderilmesi şeklinde de olabilir. Bu noktada benzetim sisteminin çıktılarının iyi analiz edilmesi gerekir.

Sakınma taktiğinin başarısının değerlendirilmesindeki en önemli ölçüt sakınan platformun kurtulma olasılığıdır. Kurtulma olasılığı, sakınma taktiğinin belirlenmiş bir tehdit senaryosu ile çok sayıda koşturulup başarılı koşum sayısının toplam koşum sayısına oranlanması ile elde edilir. Birden fazla sayıda koşum yapılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile yapılan analize çoklu koşum analizi denir. Çoklu koşum analizi ile sakınma taktiğinin rastsallığı gözlenir. Sakınma taktiğinin başarısız olduğu durumlarda başarısızlığın sebeplerini anlamak için koşumdaki önemli parametrelerin zamana göre değişimleri izlenir, koşumdaki önemli anlar tespit edilip parametrelerin bu anlardaki durumları incelenerek benzetim sonuçları hakkında yorum yapılır. Bu amaçla yapılan analiz ise tekli koşum analizi olarak adlandırılır. Tekli koşum sonuçlarının analiz edilmesiyle sakınma taktiği iyileştirilerek tekrar sınanabilir.

Bu çalışmada, belirli senaryolarda denizaltının uyguladığı taktiğin tekli ve çoklu olarak koşturulması ile elde edilecek benzetim sonuçlarının analiz edilmesi için kullanılan yöntemler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çoklu koşum, denizaltı savunma sistemi, sakınma taktiği, taktik analiz, taktik başarı puanı

EVASIVE TACTIC ANALYSIS IN THE SIMULATION FOR THE SUBMARINE DEFENCE SYSTEM

ABSTRACT

Performance of the evading tactic applied against torpedo threat is one of the most important outputs of submarine defence systems. The simulation results can be evaluated by either just utilizing the survival or destruction of the evading platform or with a more detailed analysis the deficiencies of the evading tactic. For this reason the output of the simulation system should be well analyzed.

The most important criterion in the evaluation of the performance of the evading tactic is the survival probability of the platform. Survival probability is computed by multiple running the evading tactic with a certain threat scenario and then dividing the number of runs, in which the platform survives, to the total number of runs. The analysis in which the system is run more than one time is called multiple run analysis. By multiple run analysis the randomness of the evading tactic is observed. When the evading tactic fails, the variation of important parameters with respect to time is observed to find out the factors leading to a failure(s). This observation is also used to determine important instants and investigation of behaviour of the parameters in these instants. The analysis of this content/goal is called single run analysis. By analyzing the single run results the evading tactic can be ameliorated and then re-tested.

In this work, methods utilized to analyze the simulation results obtained by single or multiple running the submarine evading tactic in a certain scenario is presented.

Keywords: Multiple run, submarine defence system, evading tactic, tactic analysis, tactic performance score.

1. GİRİŞ

Denizaltı savunma sistemlerinin gelişmesi ve çeşitlenmesi bu sistemlerin modellenip benzetim ortamında değerlendirilmesini gerektirmiştir. Sakınma yapan platformun torpidoya karşı başarısını etkileyen birçok etmenin etkili bir şekilde modellenip sakınma kabiliyetini değerlendirmek üzere yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur [1]-[6]. Bir sistemin benzetimi gerçekleştirilirken benzetime ait önemli verilerin kaydedilmesi, benzetimin kayıtlı verilerle tekrarlanabilmesi veya benzetim sonuçları üzerinden analizlerin yapılabilmesi için çok önemlidir. Kaydedilmiş benzetim sonuçları üzerinden yapılacak analizler, torpido tehdidine karşı uygulanan taktiğin değerlendirilmesi ve eksik taraflarının belirlenerek tekrar test edilebilmesi açısından gereklidir. Benzetim sisteminde koşumun tekli olarak koşturulması ile (tekli koşum) koşumdaki önemli parametrelerin zamana göre değişimlerinin izlenebileceği gibi çoklu olarak koşturulması ile (çoklu koşum) parametrelerdeki rastsallığın sonuçlara etkisi de gözlenebilir.

Denizaltı savunma sistemlerinde torpido tehdidine karşı uygulanan sakınma taktiğinin başarısı sakınan platformun kurtulup kurtulmaması ile ölçülür. Sakınan platform kurtulduysa sakınma taktiği başarılı, imha olduysa başarısız olarak değerlendirilir. Gerçekleştirilen benzetimlerde aynı tehdit koşulu için uygulanan farklı sakınma taktiklerinin her birinin bu anlamda başarılı olduğu gözlenebilir. Ancak hangi taktiğin

diğerlerine göre daha başarılı olduğunu bilmek karar destek sistemlerinde yapılacak taktik seçimi açısından oldukça önemlidir. Kullanıcının çok sayıda taktiği aynı anda değerlendirebilmesine olanak sağlamak ve karar destek sistemlerinde yapılacak sakınma taktiği seçimi işlemi için taktik başarısının sayısal olarak ifade edilmesi yani bir taktik başarı puanının belirlenmesi yardımcı olabilir.

2. ANALİZ SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME

Benzetim sistemlerinde gerçekleştirilen koşumun yeniden oynatılması ile benzetim sonuçları istenilen zamanda ve hızda değerlendirilebilir. Ancak bu şekilde yapılan analiz ile sadece tek bir zaman anındaki sonuçlar görselleştirilebilir. Sağlıklı bir analiz yapmak için resme yukarıdan bakmak yani benzetimin başından sonuna kadar olan sonuçları bir arada görüp değerlendirmek gerekebilir. Bu ihtiyaç doğrultusunda benzetim anında kaydedilmiş verileri kullanarak analiz edip değerlendirecek bir aracın oluşturulması kullanıcıya yardımcı olacağı gibi benzetim sonunda sakınma taktiğinin başarısı ile ilgili yapılacak yorumların güvenilirliğini de artıracaktır. Elde edilen değerlendirme sonuçları karar destek sistemleri için önemli girdiler oluşturmaktadır.

2.1. TEKLİ KOŞUM ANALİZİ

Benzetim esnasında koşum elemanlarına ait veriler anlık olarak izlenebilir olsa da önemli görülen birçok parametrenin anlık olarak yorumlanması mümkün değildir. Bu nedenle benzetim esnasında üretilen verilerin zamana bağlı olarak saklanması, koşum sonuçlarının istenilen zamanda daha detaylı olarak izlenmesine, incelenmesine ve analiz edilebilmesine imkân sağlamaktadır. Bu çalışmada, kaydedilmiş tekli koşum sonuçlarının analizi grafiksel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir.

2.1.1. Benzetim sonuçlarının grafiksel analizi

Kaydedilmiş tekli koşum sonuçları, önemli parametrelerin zamana bağlı değişimlerinin gösterildiği grafikler olarak yorum katılmadan görselleştirilir. Bu grafiklerden bir kısmı doğrudan model çıktıları olup diğer bir kısmı da bazı analizler sonucu dolaylı yoldan elde edilirler. Örneğin sakınma yapan platform, tehdit torpido, aldatıcı ve karıştırıcılara ilişkin konum, sürat, oryantasyon grafikleri doğrudan görselleştirilirken bileşenler arası mesafe, kerteriz, torpidoların platform güvenlik çemberine anlık olarak uzaklıkları gibi veriler bazı hesaplamalar sonucu elde edilerek sunulur. Ekler bölümünde bir koşumun analizine yönelik olarak sergilenen grafiklerden örnekler sunulmuştur (Şekil 2- Şekil 5). Şekillerdeki “SYP”, “T”, “A” ve “K” etiketleri sırasıyla sakınma yapan platform, torpido, aldatıcı ve karıştırıcıları temsil etmektedir. Şekil 5’te bileşenlerin x-y ve x-z düzlemindeki izdüşümleri görülmektedir. Bu grafikte bir zaman çubuğu (Şekil 6) yardımıyla bileşenlerin hangi anda nerede oldukları görülebilmektedir. Grafiksel sunumun yanı sıra platformun uyguladığı sakınma taktiğinin belirli bir senaryo altında performansı hakkında bilgi veren torpidonun katettiği mesafe, uyguladığı ACCM (Anti

Counter Counter Measure) ve RA (Reattack) sayısı, bileşenleri takip etme süreleri ile çeşitli fazlarda kalma süreleri gibi veriler hesaplanarak sunulur.

Örnek olarak sunulan koşuma ilişkin grafikler yorumlanacak olursa, Şekil 2'de sunulan grafiğe göre, platform yaklaşık 1000 metre manevra çapı ile emredilen rotaya dönmüş ve derinlik emrini 160 saniyede gerçekleştirmiştir. Şekil 3'teki grafiklere göre platform-torpido kerteriz değişimi başlangıçta küçük iken 200-300 saniyeleri arası kerteriz değişimi artmıştır. Mesafe grafiği ile birlikte yorumlandığında, yakın mesafedeki torpidonun platforma yönlenmediği, platformun torpido temasını kırdığı düşünülebilir.

Şekil 4'te verilen torpido oryantasyonu grafiği, platform ile diğer bileşenler arası kerteriz grafiği ile birlikte değerlendirildiğinde torpidonun amlık olarak hangi hedefe yönlendiği ve hangi zaman aralıklarında dairesel arama yaptığı gözlemlenebilir. Torpido sonarındaki SNR seviyesini gösteren grafikler akustik olarak aldatıcı ve karıştırıcının görevini gerçekleştirmedeki başarısını özetlemektedir. Pasif sonar için aldatıcı ve karıştırıcı gürültü seviyesinin platform gürültü seviyesinin altında kaldığı, aktif sonar için ise aldatıcı sahte ekolarının platform ekolarından seviye olarak düşük olduğu zaman aralıkları, torpidonun platform ile temasını kesemedikleri durumları göstermektedir. Verilen grafikler topluca değerlendirilerek uygulanan taktiğin farklı durumlardaki başarımı ve başlarımını arttıracak yönde yapılabilecek değişimler tespit edilebilir.

2.2. ÇOKLU KOŞUM ANALİZİ

Çoklu koşum verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilecek en önemli analiz bilgisi sakınma yapan platformun kurtulma olasılığıdır. Kurtulma olasılığı dışındaki sonuçlar, önemli parametrelerin histogramları, frekans tabloları veya ortalama, değişinti, en az ve en çok değerlerinin verilmesi ile analiz edilir. Ayrıca bazı parametrelerin zamana bağlı değişimlerinin üst üste çizdirildiği grafikler yardımıyla çoklu koşumu oluşturan her bir tekli koşum sonucundaki farklılaşmanın karakteri görselleştirilir.

2.2.1. Benzetim sonuçlarının grafiksel analizi

Benzetim ortamında bir senaryo ve taktiğin 20 kez koşturulduğu çoklu koşum sonucunun analizine yönelik grafikler ekler bölümünde sunulmuştur. Torpidonun çalışma süresi, koşum sonunda kalan takat kaynağı seviyesi ve katettiği mesafe Şekil 7'deki histogram grafiklerinde verilmiştir. Şekil 8'de bütün çoklu koşumların zamana bağlı mesafe ve kerteriz grafikleri üst üste çizdirilerek patern grafikleri elde edilmiştir. Bu şekilde başarılı ve başarısız olan koşumlardaki farklılıkların nerede başladığı gözlenmektedir. Çoklu koşum sonucuna göre platformun %70 oranda kurtulmasına neden olan taktiğin belirli kriterler altında elde ettiği puan her bir koşum için ayrıntılı bir biçimde Şekil 9'daki puan detayları tablosunda sunulmaktadır. Koşum sonunda platformun torpido hasar dairesine uzaklığı, torpidonun sonlanma şekli, kullanılan A/K sayısı, torpidonun uyguladığı ACCM/RA sayısı gibi kriterler için hesaplanan puan taktiğin toplam performansı hakkında önemli bilgiler vermektedir. Koşum sayısının

fazlalaşmasıyla her bir koşuma ait sonuçların tek tek analizi zorlaşacağından kriterlere ilişkin istatistikler sunulabilmekte ve taktiğin genel performansı belirlenebilmektedir.

Örnek olarak sunulan grafiklerden Şekil 8'deki mesafe ve kerteriz için çizdirilen patern grafikleri şöyle yorumlanabilir: Gerçekleştirilen 20 adet koşumdan taktiğin başarılı sonuç verip vermediği 160. saniyeden sonra tespit edilebilmektedir. Mesafe zamana göre doğrusal azalırken taktiğin başarılı olduğu durumda bu patern değişmektedir. Benzer şekilde platforma göre torpido kerteriz değişim hızı başarılı taktikler için belirli zaman aralığında artmaktadır.

2.3. TAKTİK BAŞARI PUANI

Denizaltı savunma sistemlerinin benzetimi ile görülmek istenen en önemli sonuç sakınan platformun torpido tehdidinden kurtulup kurtulmadığıdır. Kurtulma durumu bir taktiğin başarısının değerlendirilmesindeki en önemli ölçüt olsa da taktiğin avantajlı ve avantajsız olduğu yönlerin değerlendirilmesi için yeterli değildir. Özellikle belli bir torpido tehdidi durumunda değişik taktikler geliştirilerek her birinin tehdit durumuna karşı başarısı gözlenip hangisinin tercih edileceğine karar vermek karar destek sistemleri açısından önemli bir problemdir. Örneğin her ikisi de sakınan platformun kurtulmasını sağlayan iki taktikten birinde hiç aldatıcı karıştırıcı kullanılmayıp diğerinde envanterdeki bütün aldatıcı ve karıştırıcılar sarf ediliyor olabilir. Bu durumda hiç aldatıcı karıştırıcı kullanılmayan taktik diğerinden daha başarılı sayılır. Sonuç olarak karar destek sistemlerinde kısıtlı zaman içinde kullanıcıya mevcut taktikler arasından en uygununun otomatik olarak seçilip sunulması için taktiğin başarısının sayısal olarak ifade edilmesine, böylece diğerleri ile karşılaştırılabilmesine ihtiyaç duyulur.

Benzer kurtulma başarısı göstermiş taktiklerin sayısal olarak değerlendirilebilmesi için öncelikle karşılaştırma ölçütleri belirlenir. Bu ölçütler torpidoların hayatta kalma süresi (tehdit durumunu daha çabuk bitiren taktik daha başarılı sayılır), torpidoların uyguladığı toplam ACCM/RA sayısı (torpidonun daha fazla ACCM/RA yapmasına sebep olan taktik daha başarılı sayılır), benzetim sonunda torpido-platform mesafesi (koşum sonlandığında, torpidonun platforma çok yakın olduğu taktikler daha başarısız sayılır), kullanılan toplam aldatıcı ve karıştırıcı sayısı (daha az aldatıcı karıştırıcı sarf ederek platformun kurtulmasını sağlayan taktik daha başarılı sayılır), platformun batarya sarfiyat durumu (platformun daha az batarya kullanmasını sağlayan taktik daha başarılı sayılır) ve minimum torpido-platform mesafesi (koşum boyunca platformu torpidodan daha uzakta tutmayı başarabilen taktik daha başarılı sayılır) olabilir.

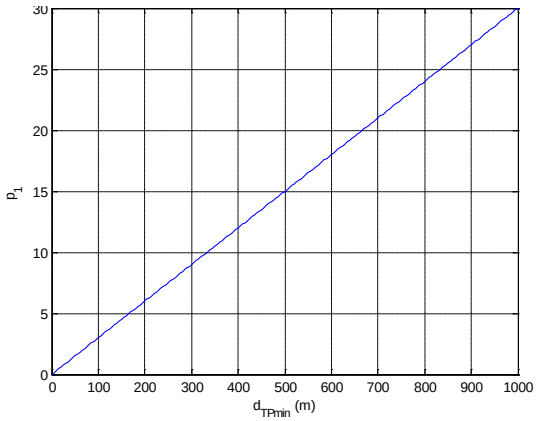
Belirlenen kriterler önem sıralarına göre sıralanarak her biri için bir ağırlık puanı (w_i) belirlenir. Örneğin 5 kriter kullanılmış, ağırlıkları Çizelge 1'deki gibi belirlenmiş olsun.

Kriter	**Ağırlığı**	**Ağırlıklı Puanı**
Kriter 1	w_1 = %30	p_1
Kriter 2	w_2 = %25	p_2
Kriter 3	w_3 = %20	p_3
Kriter 4	w_4 = %15	p_4
Kriter 5	w_5 = %10	p_5

Çizelge 1. Kriter tablosu

Öncelikle her bir kriter için bir başarım hesabı formülü belirlenir. Örneğin %30 ağırlığa sahip birinci kriter koşum boyunca görülen minimum torpido-platform mesafesi d_{TPmin} olsun. Bu değerin alabileceği en yüksek değer tehdit durumunun başındaki torpido-platform mesafesi d_{TP0}'dır. Eğer koşum boyunca torpido platforma hiç yaklaştırılmamış ise d_{TPmin}= d_{TP0} olur. Bu durumda taktik bu kriter açısından en yüksek değer olan 30 puanı alır. d_{TPmin} başlangıç değeri d_{TP0}'dan daha az oldukça alınan puan da azalacak, alabileceği en küçük değer olan 0 m'de ise 0 olacaktır. Bu puan azalmasını lineer bir şekilde (1)'deki gibi formülleştirerek ifade edersek Şekil 1'deki grafiği elde ederiz.

$$p_1 = w_1 \frac{d_{TP\min}}{d_{TP0}} \tag{1}$$



Şekil 1. Minimum torpido-platform mesafesi parametresi grafiği (d_{TP0}=1000m için)

Benzer şekilde bütün kriterler için p_j puanları hesap edilir ve AHP, Electre, WSM ve TOPSİS [7] gibi çok kriterli değerlendirme yöntemlerinden biri kullanılarak taktiğin başarı puanı p hesaplanır. Burada bütün ölçütlerin birbirinden bağımsız olduğu kabul edilmiştir. Aslında belirlenen ölçütler birbiri ile bağıntılı olabilir, bu yüzden mümkün olduğunca bağımsız kriterler belirlenmelidir. Burada örnek olarak verilen kriter lineer bir şekilde formülleştirilmiş olsa da her kriter karakterine en uygun şekilde, örneğin üssel, formülleştirilmelidir. Taktik başarı puanlarının değerlendirilmesi ile iki farklı yarar elde edilir. Birincisi aynı tehdit durumunda aynı kurtulma başarısını göstermiş taktikler başarı puanları üzerinden karşılaştırılarak karar destek sistemlerinde yapılacak seçim esnasında seçim kolaylığı sağlanır. İkincisi başarı puanları detaylı incelenerek

taktiğin nerelerden puan kaybettiği gözlenerek iyileştirilmesi sağlanabilir. Örneğin aynı tehdit durumunda koşturulmuş ve her birinde platformun kurtulduğu 3 farklı taktik T1, T2 ve T3 olsun. Bu taktiklerin her bir kriterden kazandıkları puanlar da Çizelge 2'de verildiği gibi olsun.

Çizelge 2. Örnek bir taktik karşılaştırma

Taktik i	Kriter 1 p_{i1} (%30)	Kriter 2 p_{i2} (%25)	Kriter 3 p_{i3} (%20)	Kriter 4 p_{i4} (%15)	Kriter 5 p_{i5} (%10)
T1	30	11	17	5	4
T2	7	21	14	10	10
T3	19	12	15	4	3

Başarı puanı p'yi hesap etmek için TOPSİS yöntemini kullanalım. Çizelgedeki p_{ij} değerleri kullanılarak ağırlıklı standart karar matrisi V oluşturulur.

$$V = \begin{bmatrix} 30 & 11 & 17 & 5 & 4 \\ 7 & 21 & 14 & 10 & 10 \\ 19 & 12 & 15 & 4 & 3 \end{bmatrix} \tag{3}$$

TOPSİS yönteminin ideal çözüm seti oluşturma aşamaları takip edilerek V matrisinin sütun değerlerinin en büyükleri ve en küçüklerinden oluşan A^* ve A^- değerleri, ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçüleri elde edilir ve son olarak bunlar kullanılarak ideal çözüme göre yakınlık değeri C_i^* hesaplanır. Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında olup $C_i^*=1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir. C_i^* değeri en yüksek çıkan taktik en başarılı kabul edilir. Bu yöntemle belirli bir taktik için elde edilecek puan o taktik başka taktiklerle karşılaştırdığında başka olacaktır. Eğer elde edilen puanların standart olması yani T1 taktiğinin T2 ve T3 dışındaki başka taktiklerle karşılaştırıldığında da aynı puanı vermesi böylece taktik puanıyla ilgili standart bir fikir elde edilmek isteniyorsa $A^*=w$ ve $A^-=[0\ 0\ \ldots 0]$ alınmalıdır. Burada w vektörü kriterlerin ağırlıklarının olduğu ve elemanlarının toplamı 1 olan ağırlık vektörüdür. Çizelge 2'ye göre w (4)'teki gibidir.

$$w = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.25 & 0.2 & 0.15 & 0.1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

T1, T2 ve T3 için (8) kullanılarak hesap edilen C_i^* değerleri sırasıyla 0.67, 0.55 ve 0.56'dır. Başka bir deyişle taktik başarı puanları 100 üzerinden 67, 55 ve 56'dır. Bu sonuçlara bakılarak daha yüksek puan almış T1 taktiğinin seçilmesinin daha uygun olabileceği düşünülür. Aynı zamanda T2 taktiğinin %30 ağırlığı olan birinci kriter açısından sadece %7 puan alabildiği ve çok kaybı olduğu, yani torpidoyu platformdan yeteri kadar uzak tutamadığı anlaşılır. T2 taktiğinin ikinci kriterden yüksek puan almasının yani az sayıda aldatıcı karıştırıcı kullanmasının birinci kriterden çok puan

kaybetmesine sebep olmuş olabileceği düşünülür. Bu bilgi ışığında T2 taktiği geliştirilirken bu hususlara dikkat edilip, önlemler alınabilir.

3. SONUÇ

Denizaltı savunma sistemlerinin benzetimi sonucunda elde edilecek verilerin analiz edilerek değerlendirilmesi özellikle karar destek sistemlerine girdi oluşturması açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, bir tehdit durumu altında uygulanan sakınma taktiğinin bir veya birden çok kere koşturulması ile elde edilecek benzetim verilerinin analiz edilip değerlendirilmesine olanak sağlayan yöntemler örneklerle verilmiştir. Sakınma taktiğinin başarısının sayısal olarak ifade edilebilmesi için bir yöntem sunulmuş ve bu yöntemin karar destek sistemlerine hangi taktiğin seçilmesi hususunda girdi oluşturabileceği gibi taktik geliştirmek için de kullanılabileceği gösterilmiştir.

4. KAYNAKÇA

[1] Cho, D., Son, M., Kang, J., Lee, S., Cha, J., Yoo, S., Lee, H., Lee., K., Kim., T. W. Ve Ko Y. (2007), Analysis of a submarine's evasive capability against an antisubmarine warfare torpedo using DEVS modeling and simulation, *Proceedings of the 2007 Spring Simulation Multiconference SpringSim*, 307-315.

[2] Armo, K. R. (2000), The Relationship Between a Submarine's Maximum Speed and Its Evasive Capability, Master Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

[3] Seo, K. M., Hong, J. H. veKim, T. G., DEVS-Based Underwater Warfare Simulation Development for Effectiveness Analysis

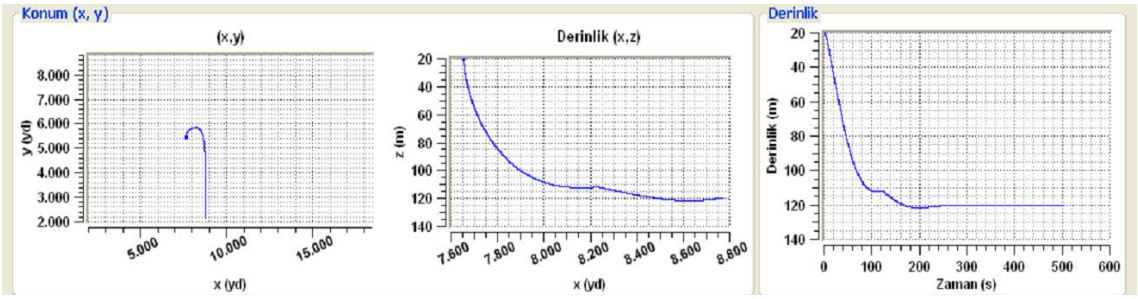
[4] Krishnabrahmam V., Design-by-Simulation: Antitorpedo Decoy (2000), *Defence Science Journal*, 119-122.

[5] Frits, A. P., Formulation of an Integrated Robust Design and Tactics Optimization Process for Undersea Weapon Systems (2004), PHD Tezi, School of Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology.

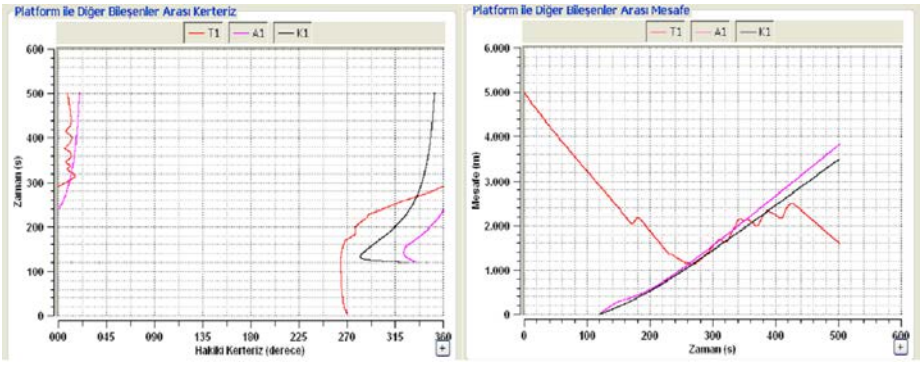
[6] Bakos, G. K., Submarine Approach and Attack Tactics - Simulation and Analysis (1995), PHD Tezi, Naval Postgraduate School, Monterey, California.

[7] Evangelos Triantaphyllou (2000), Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

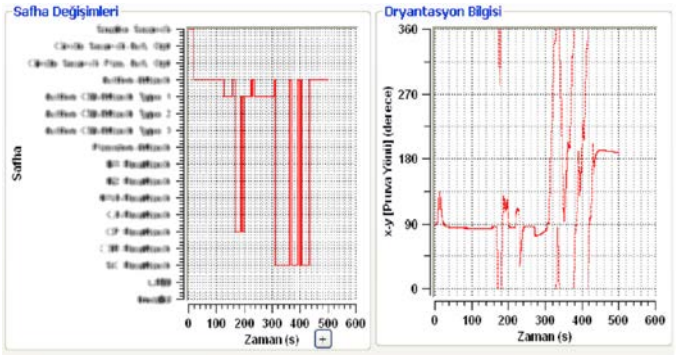
EK



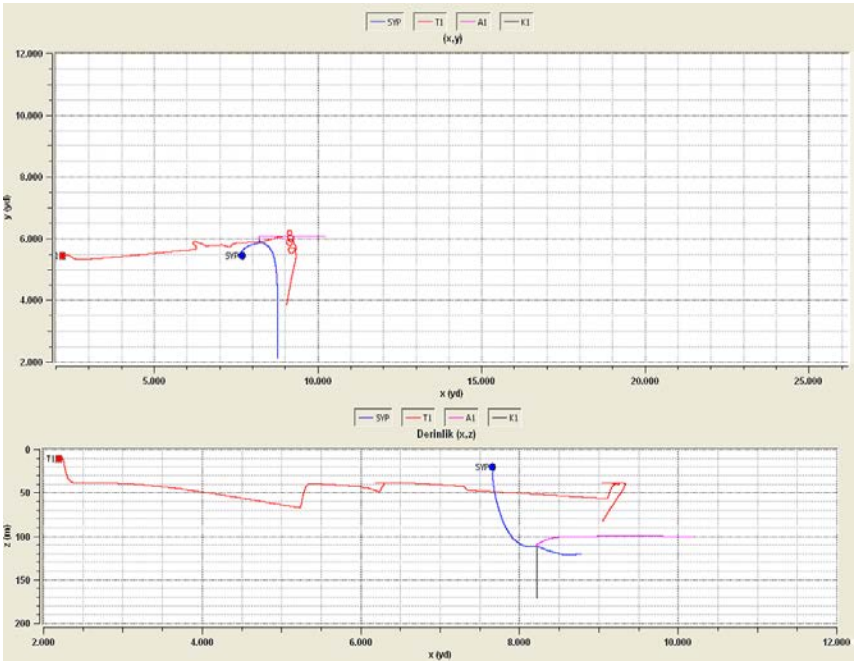
Şekil 2. Tekli Koşum Analizi; Platform x-y, x-z ve Zaman-Derinlik Grafikleri



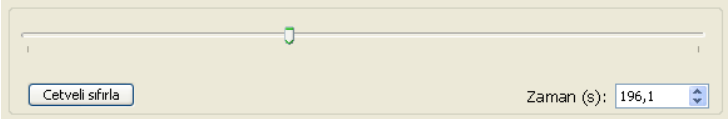
Şekil 3. Tekli Koşum Analizi; Platform ile Diğer Bileşenler Arası Kerteriz ve Mesafe-Zaman Grafikleri



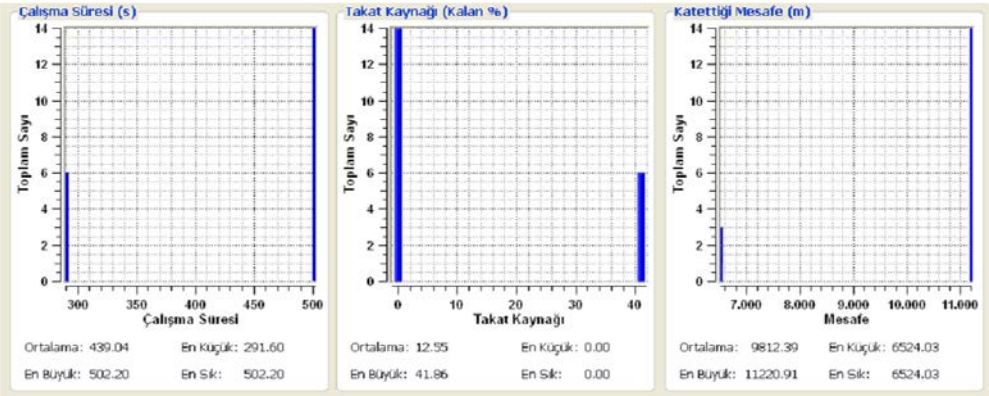
Şekil 4. Tekli Koşum Analizi; Torpido Güdüm Safhaları Değişimi ile Oryantasyon-Zaman Grafikleri



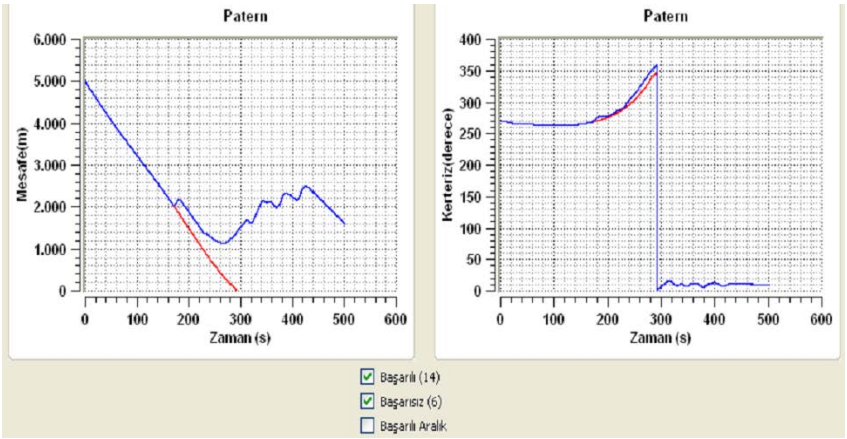
Şekil 5. Tekli Koşum Analizi; Torpido, Platform, Aldatıcı ve Karıştırıcı Konum (x-y) – Derinlik (x-z) Grafikleri



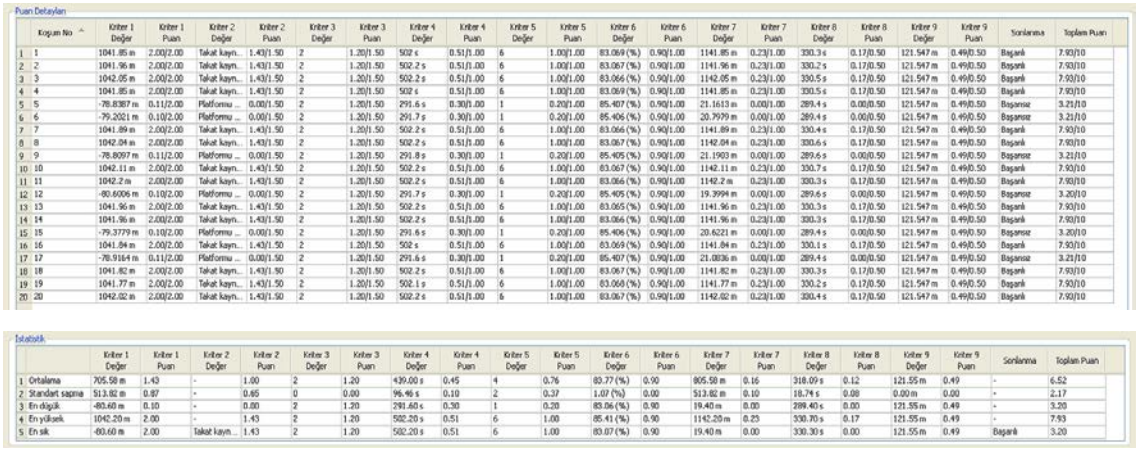
Şekil 6. Tekli Koşum Analizi; Zaman Çubuğu



Şekil 7. Çoklu Koşum Analizi; Torpido Parametre Histogramları ve İstatistikleri



Şekil 8. Çoklu koşum mesafe ve kerteriz için patern grafikleri



Puan Detayları

	Koşum No	Kriter 1 Değer	Kriter 1 Puan	Kriter 2 Değer	Kriter 2 Puan	Kriter 3 Değer	Kriter 3 Puan	Kriter 4 Değer	Kriter 4 Puan	Kriter 5 Değer	Kriter 5 Puan	Kriter 6 Değer	Kriter 6 Puan	Kriter 7 Değer	Kriter 7 Puan	Kriter 8 Değer	Kriter 8 Puan	Kriter 9 Değer	Kriter 9 Puan	Sonlanma	Toplam Puan
1	1	1041.85 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.069 (%)	0.90/1.00	1141.85 m	0.23/1.00	330.3 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
2	2	1041.96 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.067 (%)	0.90/1.00	1141.96 m	0.23/1.00	330.2 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
3	3	1042.05 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.066 (%)	0.90/1.00	1142.05 m	0.23/1.00	330.5 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
4	4	1041.85 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.069 (%)	0.90/1.00	1141.85 m	0.23/1.00	330.5 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
5	5	-78.8387 m	0.11/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.6 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.407 (%)	0.90/1.00	21.1613 m	0.00/1.00	289.4 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.21/10
6	6	-79.2021 m	0.10/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.7 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.406 (%)	0.90/1.00	20.7979 m	0.00/1.00	289.4 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.21/10
7	7	1041.89 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.066 (%)	0.90/1.00	1141.89 m	0.23/1.00	330.4 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
8	8	1042.04 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.067 (%)	0.90/1.00	1142.04 m	0.23/1.00	330.6 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
9	9	-78.8097 m	0.11/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.8 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.405 (%)	0.90/1.00	21.1903 m	0.00/1.00	289.6 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.21/10
10	10	1042.11 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.067 (%)	0.90/1.00	1142.11 m	0.23/1.00	330.7 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
11	11	1042.2 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.066 (%)	0.90/1.00	1142.2 m	0.23/1.00	330.3 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
12	12	-80.6006 m	0.10/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.7 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.405 (%)	0.90/1.00	19.3994 m	0.00/1.00	289.6 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.20/10
13	13	1041.96 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.065 (%)	0.90/1.00	1141.96 m	0.23/1.00	330.3 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
14	14	1041.96 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.066 (%)	0.90/1.00	1141.96 m	0.23/1.00	330.3 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
15	15	-79.3779 m	0.10/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.6 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.406 (%)	0.90/1.00	20.6221 m	0.00/1.00	289.4 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.20/10
16	16	1041.84 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.069 (%)	0.90/1.00	1141.84 m	0.23/1.00	330.1 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
17	17	-78.9164 m	0.11/2.00	Platformu ...	0.00/1.50	2	1.20/1.50	291.6 s	0.30/1.00	1	0.20/1.00	85.407 (%)	0.90/1.00	21.0836 m	0.00/1.00	289.4 s	0.00/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarısız	3.21/10
18	18	1041.82 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.067 (%)	0.90/1.00	1141.82 m	0.23/1.00	330.3 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
19	19	1041.77 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.1 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.068 (%)	0.90/1.00	1141.77 m	0.23/1.00	330.2 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10
20	20	1042.02 m	2.00/2.00	Takat kayn...	1.43/1.50	2	1.20/1.50	502.2 s	0.51/1.00	6	1.00/1.00	83.067 (%)	0.90/1.00	1142.02 m	0.23/1.00	330.4 s	0.17/0.50	121.547 m	0.49/0.50	Başarılı	7.93/10

İstatistik

		Kriter 1 Değer	Kriter 1 Puan	Kriter 2 Değer	Kriter 2 Puan	Kriter 3 Değer	Kriter 3 Puan	Kriter 4 Değer	Kriter 4 Puan	Kriter 5 Değer	Kriter 5 Puan	Kriter 6 Değer	Kriter 6 Puan	Kriter 7 Değer	Kriter 7 Puan	Kriter 8 Değer	Kriter 8 Puan	Kriter 9 Değer	Kriter 9 Puan	Sonlanma	Toplam Puan
1	Ortalama	705.58 m	1.43	-	1.00	2	1.20	439.00 s	0.45	4	0.76	83.77 (%)	0.90	905.58 m	0.16	318.09 s	0.12	121.55 m	0.49	-	6.52
2	Standart sapma	513.82 m	0.87	-	0.65	0	0.00	96.46 s	0.10	2	0.37	1.07 (%)	0.00	513.82 m	0.10	16.74 s	0.08	0.00 m	0.00	-	2.17
3	En düşük	-80.60 m	0.10	-	0.00	2	1.20	291.60 s	0.30	1	0.20	85.06 (%)	0.90	19.40 m	0.00	289.40 s	0.00	121.55 m	0.49	-	3.20
4	En yüksek	1042.20 m	2.00	-	1.43	2	1.20	502.20 s	0.51	6	1.00	85.41 (%)	0.90	1142.20 m	0.25	330.70 s	0.17	121.55 m	0.49	-	7.93
5	En sık	-80.60 m	2.00	Takat kayn...	1.43	2	1.20	502.20 s	0.51	6	1.00	83.07 (%)	0.90	19.40 m	0.00	330.30 s	0.00	121.55 m	0.49	Başarılı	3.20

Şekil 9. Çoklu Koşum Analizi; Taktik Performans Puanı Kriterleri Tablosu

CANLI, SANAL, YAPISAL SİMÜLASYON SİSTEMLERİNİN ENTEGRASYONUNA YÖNELİK ÖRNEK BİR ÇALIŞMA

Turgay ÇELİK [(a)], Güral VURAL [(b)] , Serdar BAKLAN [(c)]

MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş. Teknokent ODTU 06800 Ankara

[(a)] tcelik@milsoft.com.tr

[(b)] gvural@milsoft.com.tr

[(c)] sbaklan@milsoft.com.tr

ÖZ

Artan eğitim ve sınama ihtiyaçları, birlikte çalışabilirlik ve tekrar kullanılabilirlik bağlamında canlı (*live*) sistemler, sanal (*virtual*) ve yapısal (*constructive*) simülasyonların entegrasyonu sıcak bir konudur.

Bu bildiride IEEE 1516 HLA standardına uyumlu yapısal bir taktik ortam simülasyon sistemi ile PC tabanlı bir uçuş simülatörü, JEE tabanlı bir geniş alan komuta kontrol sistemi ve web tabanlı zengin bir taktik resim yönetim uygulamasının entegrasyon çalışması ele alınacaktır. Bu çalışmada farklı türlerde bağımsız dört ürünün servis arayüzleriyle entegrasyonu kavramsal olarak modellenmiş, entegrasyon mimarisi tasarlanmış, entegrasyon gerçekleştirilmiş ve son olarak dört alt sistemden oluşan büyük sistem test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Benzetim Sistemleri, Komuta Kontrol Sistemleri, Ağ Destekli Yetenek, LVC, HLA, JMS, Web Servisleri, Birlikte Çalışabilirlik, Tekrar Kullanılabilirlik

A CASE STUDY ON INTEGRATION OF LIVE, VIRTUAL AND CONSTRUCTIVE SIMULATION SYSTEMS

ABSTRACT

In context of increasing training and test requirements, interoperability and reusability expectations; integration of Live, Virtual and Constructive Simulation Systems is a hot topic.

In this paper, we present integration of an IEEE 1516 HLA compliant Tactical Environment Simulation, a PC-based Flight Simulator, a JEE based Wide Area Command and Control System and a Web-based Tactical Picture Management

application. In this work, the integration of these four different types of systems via service interfaces is conceptually modeled, the integration architecture is designed, the integration is performed and finally the integrated system is tested.

Keywords: Simulation Systems, Command Control Systems, Net Enabled Capability, LVC, HLA, JMS, Web Services, Interoperability, Reusability

1. GİRİŞ

Artan eğitim ve sınama ihtiyaçları, birlikte çalışabilirlik ve tekrar kullanılabilirlik bağlamında canlı (live) sistemler, sanal (virtual) ve yapısal (constructive) simülasyonların entegrasyonu tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de sıcak bir konudur [1][2][3][4]. Entegre edilecek sistemlerin yapısal ve davranışsal farklarından dolayı bu tip entegrasyonların gerçekleştirilmesi kolay değildir. Örneğin entegre edilecek sistemler HLA [5][6], DDS [7], JMS [8] gibi farklı haberleşme mimarileri kullanıyor olabilirler. Ayrıca entegre edilecek sistem sayısı arttıkça farklı sistemlerin entegrasyonu giderek daha da zorlaşır.

Bu bildiride IEEE 1516 HLA standardına uyumlu yapısal bir taktik ortam simülasyon sistemi olan MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonu [9] ile PC tabanlı bir uçuş simülatörü olan Prepar3D [10], MilSOFT bünyesinde geliştirilmekte olan JMS uyumlu bir geniş alan komuta kontrol sistemi ve web tabanlı zengin bir taktik resim yönetim uygulamasının entegrasyon çalışması ele alınacaktır. Farklı türlerdeki bağımsız bu dört ürünün entegrasyonu, sistemlerin sağladığı servis arayüzleri üzerinden yapılmıştır.

İlk adımda entegrasyon kavramsal olarak modellenmiş, ikinci adımda entegrasyon mimarisi tasarlanmış, üçüncü adımda entegrasyon gerçekleştirilmiş ve son olarak dört alt sistemden oluşan entegre sistem test edilmiştir.

Bildirinin ikinci kesiminde entegre edilecek sistemler kısaca tanıtılacaktır. Üçüncü kesimde entegrasyon adımları açıklanacaktır. Dördüncü kesimde yapılan çalışmanın sonuçları tartışılacak ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalardan bahsedilecektir.

2. ENTEGRE EDİLECEK SİSTEMLER

Bu kesimde entegre edilecek dört sistem sırasıyla kısaca tanıtılacaktır.

2.1. MilSOFT Taktik Ortamı Simülasyonu

MilSOFT Taktik Ortamı Simülasyonu, IEEE 1516 HLA uyumlu bir taktik ortam simülasyonudur. Sistem, senaryo yapıtaşlarını tanımlamak için kullanılan bir referans veritabanı, senaryo tanımlamak için kullanılan harita tabanlı bir senaryo editörü, senaryo koşumunu sağlayan harita tabanlı bir senaryo oynatıcı ve kayıt/tekrar oynatma/değerlendirmeden sorumlu bir görev sonrası analiz aracından oluşur. MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonu, hava/kara/deniz platformları, RF/EO füzeler, Radar,

Muhabere, Elektronik Harp sistemleri modellerini içerir. MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonu, farklı yeteneklerde ölçeklendirilebilir taktik çevre sistemleri oluşturmak için geliştirilmiş MilSOFT Taktik Çevre Uygulama Çatısı [9] üzerine inşa edilmiştir.

2.2. MilSOFT Geniş Alan Komuta Kontrol Sistemi

MilSOFT Geniş Alan Komuta Kontrol Sistemi, farklı noktalardaki RF/EO algılayıcı kaynaklarından gelen bilgileri birleştirip farklı coğrafi pozisyonlardaki komuta merkezleri arasında paylaşılmasına olanak sağlayan bir sistemdir. MilSOFT Geniş Alan Komuta Kontrol Sistemi, Java Platform Enterprise Edition – JEE [8] teknolojileri kullanılarak geliştirilmektedir. Bu proje, MilSOFT'un Bilgi Teknolojileri ürün hattının temelini oluşturan TURKUAZ altyapısı [11] üzerine inşa edilmektedir. MilSOFT Geniş Alan Komuta Kontrol Sistemi, haberleşme altyapısı olarak JEE'nin bir parçası olan Java Messaging Service [8] kullanır.

2.3. LM Prepar3D

Lockheed Martin Prepar3D, kullanıcıların hava, deniz ve kara ortamında eğitim senaryoları oluşturmalarına olanak sağlayan görsel bir simülasyon platformudur [10]. Prepar3D, Microsoft ESP ürünü temel alınarak geliştirilmiştir. Microsoft ESP, Microsoft Flight Simulator X'in ticari ve genişletilebilir versiyonudur [12]. Bu sayede Flight Simulator için geliştirilmiş eklentiler Prepar3D ortamında kullanılabilir.

Prepar3D, dış sistemlerle entegrasyonu sağlamak için senaryo koşum bilgilerini dışa aktarabilir ve dış ortamdan bilgi alabilir.

2.4. MilSOFT Web Tabanlı Taktik Resim Uygulaması

Taktik resim, harekat alanındaki unsurlar, algılayıcı kaplama alanları, unsurlar arası bağlantılar ve görüş hattı durumu gibi bilgilerin harita altlığı üzerine MIL-STD-2525 veya APP-6 gibi sembolojilere uygun olarak görselleştirildiği resimdir.

MilSOFT, öncelikle kendi geliştirdiği simülasyon, komuta kontrol, veri link gibi askeri, afet yönetim, lojistik planlama gibi sivil sistemlerin ihtiyacını karşılamak ve dış müşterilere RAHAT ürün olarak satmak üzere Pirimap Coğrafi Bilgi Sistemini geliştirmiştir. Pirimap Coğrafi Bilgi Sistemi, Java Platformu üzerine geliştirilmiştir.

Geçmişte Coğrafi Bilgi Sistemlerinin PC tabanlı uygulamaları desteklemesi yeterli olsa da, gelişen teknolojiyle birlikte sistemlerin farklı coğrafi konumlar ve PC, cep telefonu, tablet gibi farklı tipte cihazlardan erişilebilir olması beklentisi oluşmuştur. Bu kapsamda Pirimap, HTML5, JavaScript gibi teknolojiler kullanılarak ve Web Map Service – WMS [13], Web Feature Service – WFS [14] gibi standartlar uygulanarak harita destekli zengin web uygulamaları destekleyecek yapıdadır. Pirimap, dış sistemlerle entegrasyon için standart Java ve JavaScript API'lerinin yanısıra, SOAP tabanlı web servisi arayüzleri de sağlar.

3. ENTEGRASYON ADIMLARI

Bu kesimde, bir önceki kesimde bahsedilen dört sistemin entegrasyonu ele alınacaktır.

3.1. Entegrasyon için Motivasyon

Entegrasyonun nasıl gerçekleştirildiğini anlatmadan önce bu kesimde bu çalışmaya konu olan entegrasyona neden ihtiyaç duyulduğu ele alınacaktır. Entegrasyon ihtiyacının çıkış noktası, MilSOFT Dağıtık Komuta Kontrol sisteminin test, eğitim ve demo gibi ihtiyaçlarını karşılamak için test verileri üretecek bir sisteme ihtiyaç duyulmasıdır. Geliştirilecek sistemin, temel olarak senaryo oluşturma, senaryo koşma ve senaryo koşumu esnasında oluşan verileri komuta kontrol sistemine iletme yeteneklerinin olması beklenmektedir. Senaryo koşumu esnasında komuta kontrol sistemine beslenmesi gereken temel veriler, sensörlerin anlık konumları ve tespit ettikleri iz bilgileridir. Sistemden beklenen en temel özelliklerden birisi, birçok farklı noktadaki algılayıcıdan farklı zamanlarda gelen tespit verilerinin komuta kontrol sistemi tarafından ilişkilendirilmesi (korelasyon) ve aynı kaynağa ait olduğu düşünülen izlerin birleştirilmesi (füzyon) yeteneklerinin denenmesini mümkün kılmasıdır. Bu kapsamda sıfırdan bir senaryo editörü ve senaryo oynatıcı geliştirmek yerine, bu yetenekleri fazlasıyla karşılayan MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonu ile MilSOFT Dağıtık Komuta Kontrol Sisteminin entegre edilmesine karar verilmiştir.

MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonu, senaryodaki platformlar için yol noktası (*waypoint*) tabanlı rota modelleme yetenekleri ve 2B-3B görselleştirme yetenekleri sağlar. Rotaları yol noktası tabanlı olarak modellenen platform modelleri taktik ortam simülasyonu bağlamında yeterli olsa da, bazı durumlarda belirli platformların daha detaylı modellenmesine ihtiyaç duyulabilir. Örneğin bu bildiriye konu olan entegrasyon çalışması esnasında, Dağıtık Komuta Kontrol Sisteminin tespit etmesi hedeflenen hava platformlarından birisinin yüksek çözünürlükte modellenmesi, detaylı olarak 3B görselleştirilmesi ve joystick gibi cihazlarla kontrol edilebilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Geliştirme süresini kısaltmak ve tekrar kullanılabilirliği arttırmak adına, MilSOFT Taktik Ortam Simülasyonuna ilgili yeteneklerin eklenmesi yerine, PC tabanlı hazır bir uçuş simülatörünün sisteme entegre edilmesi kararı alınmıştır. Bu kapsamda, sağladığı entegrasyon yetenekleri, yeterli modelleme çözünürlüğünü sağlaması ve maliyet anlamında etkin olması dolayısıyla Prepar3D ürününün sisteme entegre edilmesine karar verilmiştir.

Son olarak, dağıtık komuta kontrol sisteminin oluşturduğu taktik resmin coğrafi konumdan bağımsız olarak farklı cihazlardan erişilebilmesi ihtiyacını karşılamak adına, komuta kontrol sistemi ile web tabanlı taktik resim uygulamasının entegre edilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

3.2. Kavramsal Entegrasyon Modeli

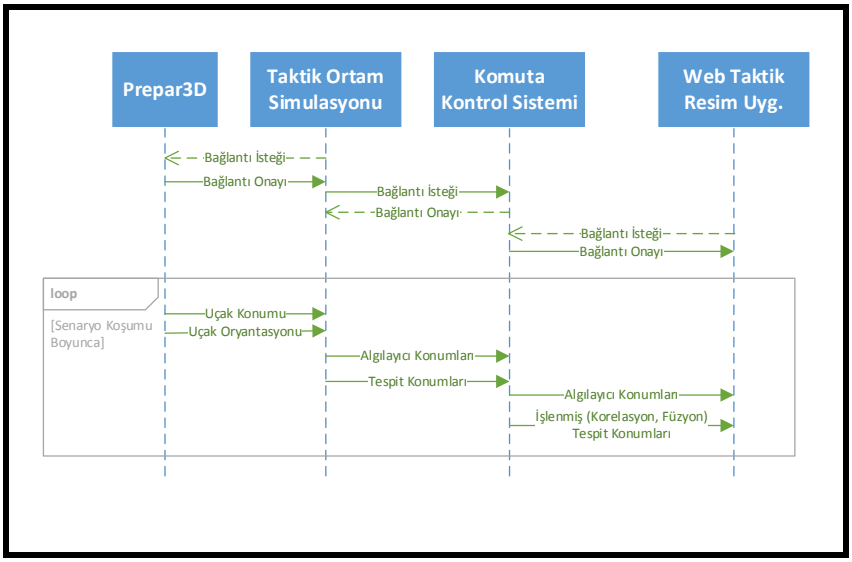
Entegrasyon sürecinin ilk adımı olarak, entegrasyon kavramsal olarak modellenmiştir. Kavramsal model kapsamında paylaşılacak nesneler belirlenmiş ve akış modellenmiştir. Senaryo akışının kavramsal gösterimi Şekil 1'deki ardıl işlem çizeneğinde verilmiştir. Şekilde de gösterildiği gibi, öncelikle sistemler arasında bağlantılar kurulur.

Senaryo koşumu boyunca Prepar3D kontrol edilen uçağın konum ve oryantasyon bilgilerini taktik ortam simülasyonuna besler. Farklı kaynaklardan gelen bilgilerin simüle edilmesi için şekilde de gösterildiği gibi birden çok taktik ortam simülasyonu koşuma katılabilir.

Taktik ortam simülasyonları, koşum devam ettiği sürece periyodik olarak algılayıcı konumlarını ve tespit edilen izleri günceller. MilSOFT ortamındaki mevcut konfigürasyonda taktik ortam simülasyonları Komuta Kontrol sistemini her 3 saniyede bir beslemektedir.

Komuta Kontrol sistemi, taktik ortam simülasyonlarından gelen algılayıcı ve tespit bilgilerini kullanarak iz korelasyonu ve füzyonu işlemlerini gerçekleştirir. İz oluşturma işlemi sonuçlandığında izler harita üzerinde gösterilir ve iz veritabanı güncellenir.

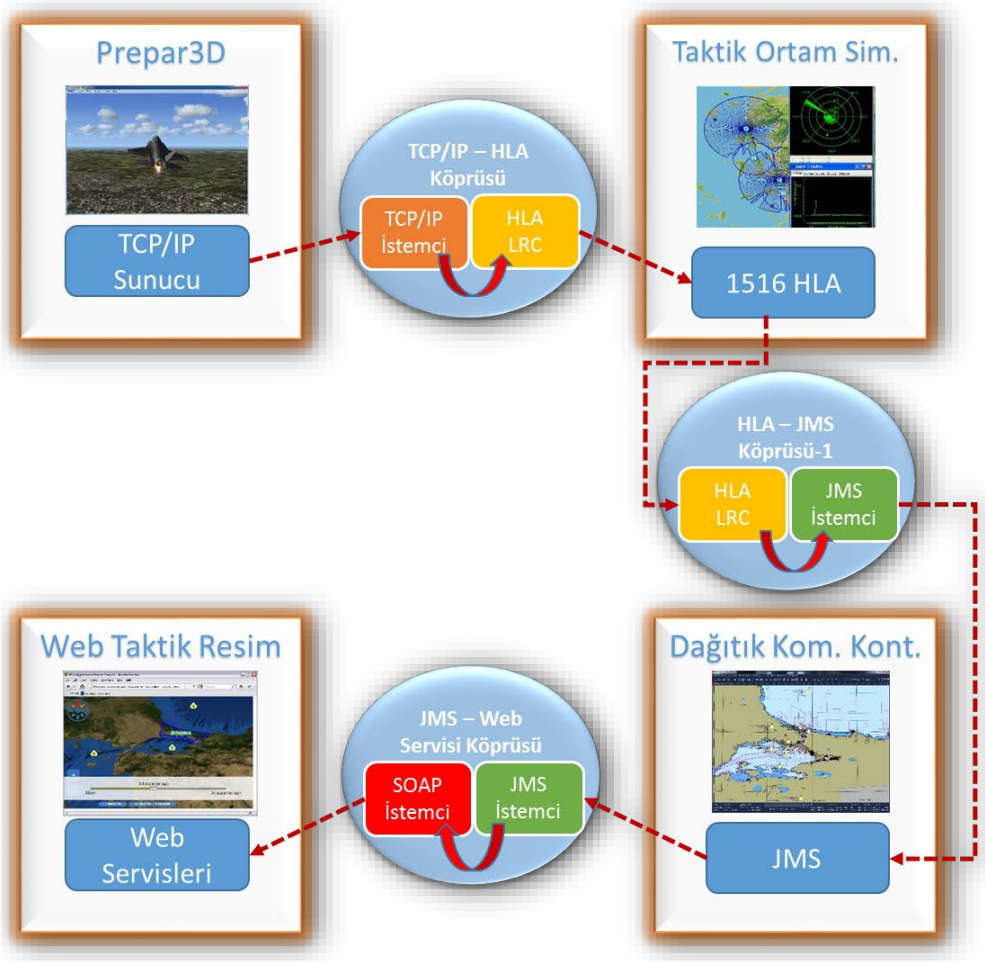
Buna işlemlere ek olarak, Komuta Kontrol sistemi, iz bilgilerini Web Tabanlı Taktik Resim uygulamasına besler ve izler web ortamında görselleştirilir. Web Tabanlı Taktik Resim uygulamasına PC tabanlı herhangi bir web tarayıcısından erişilebileceği gibi, tablet veya cep telefonu gibi cihazlardan da erişilebilir. Böylece Uçuş Simülatörü, Taktik Ortam Simülasyonları ve Komuta Kontrol sisteminden geçerek oluşan bilgiler hafif mobil cihazlara kadar taşınmış olur.



Şekil 1 Senaryo Akışının Kavramsal Gösterimi

3.3. Entegrasyonun Mimari Tasarımının Yapılması ve Gerçekleştirimi

Entegrasyonun kavramsal modeli oluşturulduktan sonra, bir sonraki adımda entegrasyon mimarisi tasarlanmıştır. Entegrasyon için sistemler arasında, kaynak sistemden gelen verileri hedef ortamın biçimine çevirerek hedef ortama gönderen üç farklı tipte köprü uygulaması geliştirilmiştir. Üst seviye entegrasyon mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2 Üst Seviye Entegrasyon Mimarisi

Şekil 2'de gösterildiği gibi, Prepar3D ile Taktik Ortam Simülasyonu arasındaki entegrasyonu sağlamak için bir TCP/IP – HLA köprüsü geliştirilmiştir. Prepar3D uygulamasının çalıştığı bilgisayarda kullanıcının kontrol ettiği uçağın pozisyonlarını periyodik olarak alıp TCP/IP üzerinden köprü uygulamasına gönderen bir uygulama çalıştır. Köprü uygulaması da gelen TCP/IP paketlerini açıp uçağın pozisyon ve oryantasyon bilgisini HLA FOM nesne sınıfı biçimine çevirerek HLA üzerinden Taktik Çevre Ortamına yayımlar.

Taktik Ortam Simülasyonları ile Dağıtık Komuta Kontrol Sistemi arasındaki entegrasyon HLA-JMS köprüleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Her bir Taktik Çevre Simülasyonu için ayrı bir köprü uygulaması çalıştırılır. Alternatif bir yaklaşım tek bir köprü uygulamasının birden çok taktik ortamdan veri toplayıp Komuta Kontrol sistemine aktarmasıdır. Taktik Ortam Köprü Uygulamaları, MilSOFT Taktik Çevre Uygulama Çatısı yetenekleri kullanılarak doğrudan Taktik Çevre Simülasyonuna eklenti olarak geliştirildiğinden dolayı her Taktik Çevre Simülasyonu için ayrı bir köprü eklentisi çalışmaktadır. Bu yaklaşım alternatif merkezi köprü uygulamasına göre ağ trafiğini daha etkin kullanma ve tek göçme noktası *(single point of failure)* oluşturmama anlamında daha iyidir. Bir HLA-JMS köprüsü, ilgili Taktik Ortam Simülasyonunun model elemanlarının üye olduğu HLA federasyonuna katılır. Köprü uygulaması, algılayıcı ve tespit bilgisi FOM nesne sınıflarına üye olur. Bu nesne sınıflarının olguları güncellendikçe köprü uygulaması bunlara karşılık gelen JMS mesajları üreterek Komuta Kontrol Sisteminin JMS kuyruklarına ekler. Komuta Kontrol Sistemi de JMS üzerinden kendisine aktarılan algılayıcı ve tespit bilgilerini aynen gerçek kaynaklardan geliyormuş gibi işler.

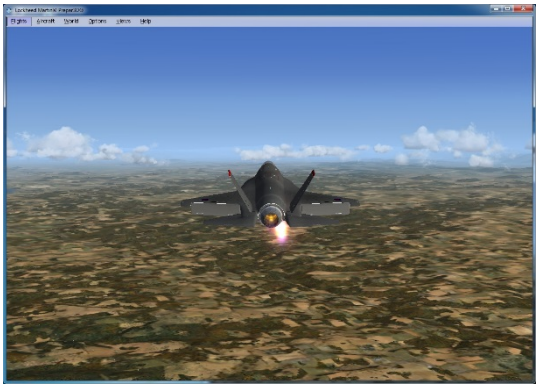
Dağıtık Komuta Kontrol Sistemi ile Web Tabanlı Taktik Resim Uygulaması arasında JMS – Web Servisi köprüsü geliştirilmiştir. Bu köprü uygulaması, kendisine gelen JMS mesajlarına karşılık SOAP [15] standardına uygun olarak gerekli Web Servisi çağrılarını yaparak Web Tabanlı Taktik Resim Uygulamasına gönderir.

3.4. Entegrasyonun Denenmesi

Entegrasyon kavramsal olarak modellenip, mimari olarak tasarlanıp köprü uygulamaları geliştirildikten sonra, MilSOFT laboratuvar ortamında çeşitli örnek senaryolarla test edilmiştir.

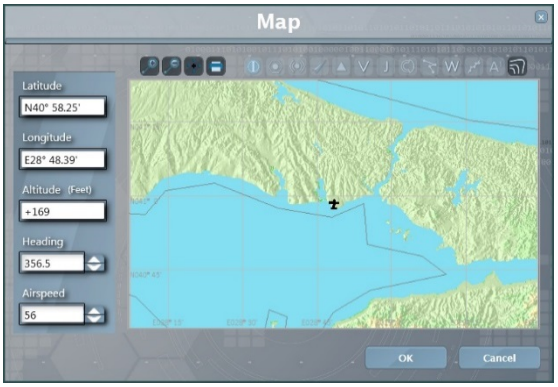
Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da senaryo koşumu esnasında Prepar3D ortamından alınan ekran görüntüleri verilmiştir. Şekil 3'de havaalanından kalkış, Şekil 4'te uçak dışından görünüm, Şekil 5'de kokpit görünümü ve Şekil 6'da harita görünümü verilmiştir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi, Prepar3D bir tam uçuş simülatörü (*full flight simulator*) kadar olmasa da, detay seviyesi iyi olan PC tabanlı bir simülatördür. Benzer yetenekleri Taktik Ortam Simülasyonu için sıfırdan geliştirmek yerine bu tip bir sistemin entegre edilmesi geliştirme sürecinin etkinliğini önemli ölçüde arttırmıştır.

Şekil 3 Prepar3D Havaalanından Kalkış



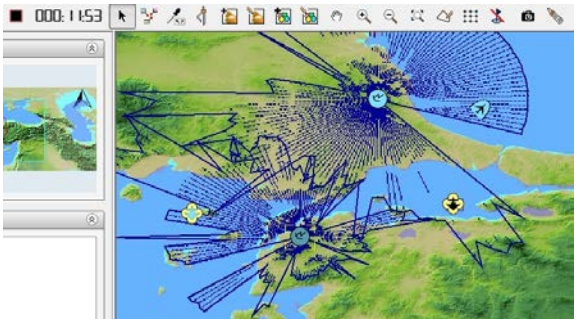
Şekil 4 Prepar3D Uçak Dışı Görünüm

Şekil 5 Prepar3D Kokpit İçi Görüntü

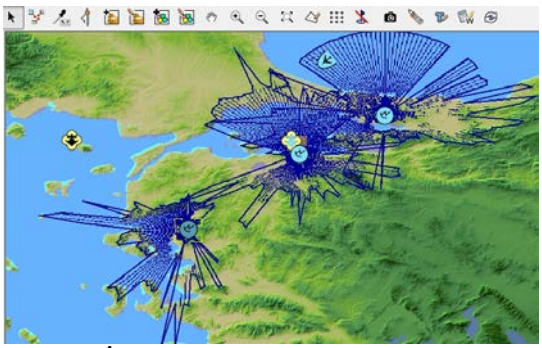


Şekil 6 Prepar3D Harita Görünümü

Taktik Ortam Simülasyonunun farklı noktalardaki algılayıcıları gösteren ekran görüntüleri Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Farklı noktalardaki algılayıcılardan aynı platformlara dair iz bilgisi gelmesi durumunu simüle etmek amacıyla hedef platformlar her iki şekilde de aynıdır. Senaryo koşumu esnasında hangi platformun ne zaman tespit edileceğinin kolayca izlenebilmesi için şekillerde de gösterildiği gibi senaryo oynatıcıda radar algılayıcıların kaplama alanları da gösterilmektedir.



Şekil 7 Birinci Taktik Ortam Simülasyonu

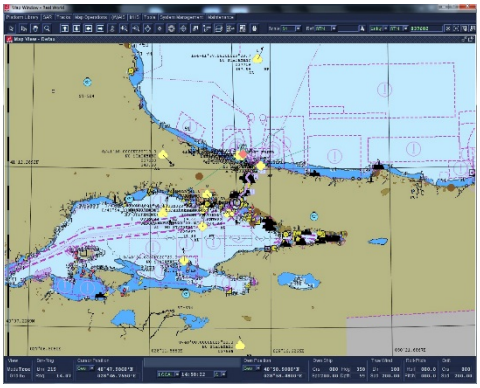


Şekil 8 İkinci Taktik Ortam Simülasyonu

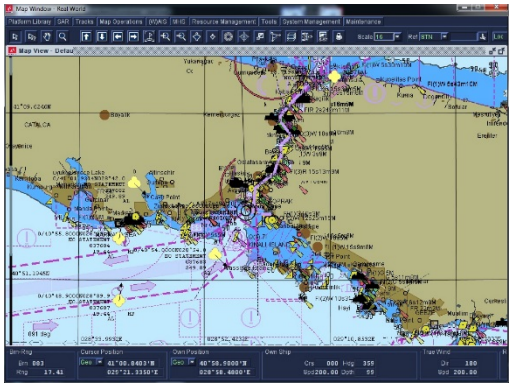
Şekil 9 ve Şekil 10'da senaryo koşumu esnasında dağıtık komuta kontrol merkezinin farklı iki düğümün ekran görüntüleri verilmiştir. Şekil 11'de ise, farklı kaynaklardan

gelen iz bilgilerine korelasyon ve füzyon algoritmaları uygulandıktan sonra oluşan nihai iz bilgilerini içeren Komuta Kontrol Sistemi merkezi iz veritabanı gösterilmiştir.

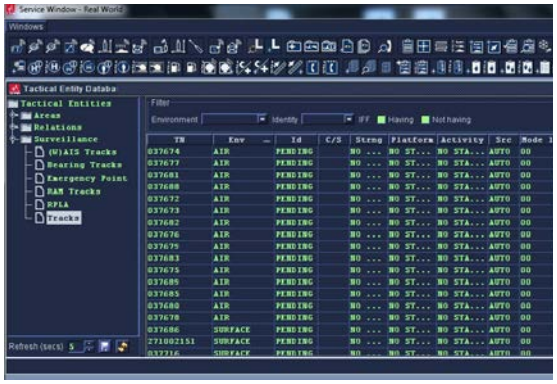
Şekil 12'de ise, Web Tabanlı Taktik Resim Uygulamasında iz bilgilerinin görselleştirilmesi gösterilmiştir.



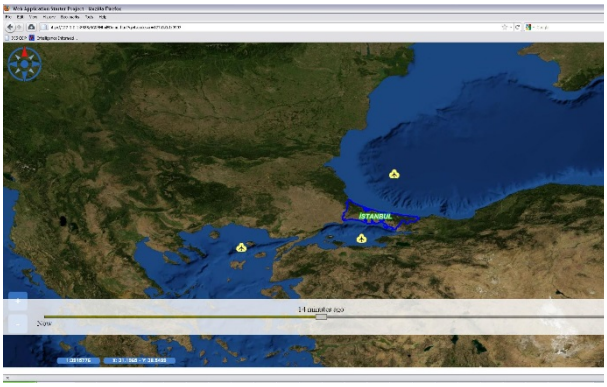
Şekil 9 Dağıtık Komuta Kontrol Sistemi Uç Düğüm



Şekil 10 Dağıtık Komuta Kontrol Sistemi Merkezi Düğüm



Şekil 11 Dağıtık Komuta Kontrol Sistemi Merkezi İz Veritabanı



Şekil 12 Web Tabanlı Taktik Resim Görüntüleyici

4. SONUÇ

Bu çalışmada dört farklı sistem birleştirilerek bütünleşik bir sistem oluşturulması ele alınmıştır. Sistemlerin entegrasyonu için farklı sistemler arasında veri köprüleri geliştirilmiştir. Entegre edilen sistemler farklı senaryolar ile denenmiş ve entegrasyon çalışmasının başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışma aslında nihai bir ürün değil, bir entegrasyon prototipidir. Gelecek çalışmalar kapsamında entegrasyonun daha da genişletilmesi ve performans, ölçeklendirilebilirlik gibi kalite faktörlerine göre iyileştirilmesi hedeflenmektedir. Bu aşamada sistemler arasında taşınan veriler aslında sistemlerin ürettiği verilerin kısıtlı bir altkümesidir. Entegrasyonun genişletilmesi bağlamında sistemler arasında paylaşılan verilerin çeşitliliği arttırılacaktır.

Entegrasyon mimarisi incelendiğinde, veri akışının hep tek yönlü olduğu gözlemlenebilir. Gelecek çalışmalar kapsamında gerekli kesimlerde çift yönlü veri akışı sağlanarak entegrasyonun geliştirilmesi ve daha faydalı hale getirilmesi hedeflenmektedir. Örneğin, Taktik Ortam Simülasyon sisteminden gelen bilgilere göre Komuta Kontrol Sistemi üzerinde kilitlenme ve atış gibi kararlar alınmaktadır. Bu kararlar Taktik Ortam Simülasyonuna geri beslenerek simüle ortamda kilitlenme ve atış gerçekleştirilebilir, kullanılan füzenin uçuşu ve hedefi vurup/vurmaması modellenebilir. Bu sonuçlar tekrar Komuta Kontrol Sistemine beslenerek ve benzer şekilde Komuta Kontrol Sistemindeki olaylar tekrar simülasyon sistemine gönderilerek etkin bir çift yönlü entegrasyon sağlanabilir.

5. KAYNAKÇA

[1] B. Zeigler, S. Mittal, and X. Hu, (2008), "Towards a Formal Standard for Interoperability in M&S/System of Systems Integration", AFCEA-George Mason University Symposium, May 2008

[2] T.K. Ramesh, Z.Khan, J.Lee, A.Meyer, K.Prindle, D.Nelson, S. Ditlinger, M. Picollo, and D. Gregory, (2010), Live, Virtual, and Constructive Integrated Middleware Environment (LVC-IME) Capability Pattern, NCOIC Technical Report

[3] Allen, G. W., R. Lutz, and R. Richbourg. (2010). "Live, Virtual, Constructive Architecture Roadmap Implementation and Net-Centric Environment Implications." International Test and Evaluation Association (ITEA) Journal, 31, 355--364.

[4] A. Tolk and J.A. Muguira, (2003), The Levels of Conceptual Interoperability Model, 2003 Fall Simulation Interoperability Workshop, 03f-siw-007.

[5] IEEE, (2000), High Level Architecture Standard 1516-2000.

[6] F.Kuhl, R. Weatherly, J.Dahhman, (1999), Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to the High Level Architecture.

[7] OMG, (2006), Data Distribution Service for Real-Time Systems Ver 1.2, http://www.omg.org

[8] Oracle, (2013), The Java EE 6 Tutorial, http://www.docs.oracle.com/javaee/6/tutorial/doc/

[9] T.Celik, G.Gokdogan, K.Ozturk, B.Sarikaya, (2012), "An HLA Based Tactical Environment Application Framework", Journal of Defense Modeling and Simulation-JDMS. DOI: 10.1177/1548512912465993.

[10] Lockheed Martin, (2013), Prepar3D, http://www.prepar3d.com

[11] MilSOFT, (2013), Turkuaz, http://www.milsoft.com.tr/turkuaz.php

[12] Microsoft, (2013), Microsoft ESP, http://msdn.microsft.com

[13] Open Geospatial Consortium, (2013), Web Map Service, http://opengeospatial.org/standards/wms

[14] Open Geospatial Consortium, (2013), Web Feature Service, http://opengeospatial.org/standards/wfs

[15] W3C, (2013), Simple Object Access Protocol, http://www.w3cschools.com/soap/default.asp

TAKTİK SAHADA AĞ DESTEKLİ YETENEK KULLANIMI VE CANLI-SANAL-YAPISAL ORTAMDA BENZETİMİ

Erdem Türker KIVCI [(a)], Mustafa Hadi Dilek [(b)] , İlker Argın [(c)], Fatih Orhan [(d)] , Emre Barış Aksu[(e)]

[(a)] Anel Araştırma ve Geliştirme Danışmanlık A.Ş., Hacettepe Teknokent 2. ARGE binası 1. Kat no:11 Beytepe Ankara, erdem.kivci@anelarge.com

[(b)] Savunma Teknolojileri ve Mühendislik A.Ş., Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi 5. Cadde Bilkent Ankara, hdilek@stm.com.tr

[(c)] Anel Araştırma ve Geliştirme Danışmanlık A.Ş., Hacettepe Teknokent 2. ARGE binası 1. Kat no:11 Beytepe Ankara, ilker.argin@anelarge.com

[(d)] Anel Araştırma ve Geliştirme Danışmanlık A.Ş., Hacettepe Teknokent 2. ARGE binası 1. Kat no:11 Beytepe Ankara, fatih.orhan@anelarge.com

[(e)] Savunma Teknolojileri ve Mühendislik A.Ş., Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi 5. Cadde Bilkent Ankara, eaksu@stm.com.tr

ÖZ

Ağ Destekli Yetenek (ADY) konsepti çerçevesinde taktik sahada mobil cihazların kullanımı durumsal farkındalığın arttırılması, daha hızlı karar alınabilmesi ve uygulanabilmesi açısından önemli bir kullanım alanı oluşturmaktadır. Bununla birlikte mobil cihazların taktik sahadan komuta merkezindeki bilgilere ulaşması; güvenlik, iletişim, enerji gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Taktik Ortam Destek Sistemi (TODES) (Savunma Sanayi Müsteşarlığı, 2012) bu sorunlara odaklanarak tabur/bölük seviyesinden Tek Er seviyesine kadar operasyonel anlamda ortak durumsal farkındalığı arttırmaya yönelik bir sistem olarak geliştirilmiştir. Servis Odaklı Mimari yaklaşımı ve Anlamsal Ağ Teknolojileri kullanılarak geliştirilen sistem taktik sahada mobil uygulama ve karargâhtaki komuta kontrol uygulaması ile merkezi bir servis sağlayıcı aracılığıyla durumsal farkındalığı artırmayı, daha hızlı karar alınabilmesini ve görevin yerine getirilmesi için gereken eforun daha etkin olarak kullanılabilmesini hedeflemektedir.

Çalışma kapsamında geliştirilen sistem; taktik sahada ağ trafiğini nasıl etkilediği, bant genişliği ihtiyacının ne olduğu veya ağdaki trafikte bir yavaşlama olduğunda uygulamanın nasıl etkilendiğini gözlemlemek amacıyla, daha önce geliştirilen Askeri Ağlar Bilgi Güvenliği Simülasyonu (AABGS) (Savunma Sanayi Müsteşarlığı, 2011) ile bütünleştirilmiş ve canlı-sanal-yapısal (Covelli, 2012) simülasyon ortamı

oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında belirlenen senaryolar dahilinde mobil cihazların merkezi sunucu ile haberleşmesi bu simülasyon altyapısı üzerinden geçirilerek ölçümler alınmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile mobil cihazların taktik sahada ihtiyaç duydukları bant genişliği ile iletişim kalitesinin ağın normal ve saldırı altındaki davranışları arasındaki farklar simülasyon yoluyla ölçülmüş ve sonuçlar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: taktik saha, ağ simülasyonu, mobil uygulama, ağ kullanımı, siber saldırı

USE OF NETWORK ENABLED CAPABILITY AND LIVE-VIRTUAL-CONSTRUCTIVE SIMULATION IN TACTICAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

Pursuant to network enabled capability the use of mobile devices is very important in terms of situation-awareness, quick decision making and decision performing. Access of mobile devices to information on command-control center brings about security, communication and power issues. Tactical Environment Support System (abbr. TODES in Turkish), with focus on these issues, is developed as a system to increase the situation awareness throughout the operation from battalion level down to “Single Soldier” level. The system, developed using Service Oriented Architecture approach and Semantic Web Technologies, aims to increase situation-awareness, to quicken decision- making and to make the effort that is to be spent more efficiently while accomplishing a mission by making use of a command-control application in military headquarters and a central service provider.

With the aim of observing how network traffic in tactical area is affected, how much bandwidth is required and how application responds to the deceleration in network, the system has been integrated with Military Networks Information Security Simulation (abbr. AABGS in Turkish) and live-virtual-constructive simulation environment has been built. Some simulation scenarios are created within the scope of the study and measurements have been carried out during the simulation on communication between mobile devices and central service provider. With experimental studies, differences between bandwidth requirements and communication under normal circumstances and those during attack are observed and then analyzed.

Keywords: tactical enviroment, network simulation, mobile application, network usage, cyber attack

1. GİRİŞ

Askeri alanda stratejik seviyeden taktik seviyeye kadar bilgi akışının doğru, etkin, hızlı ve çift yönlü olarak gerçekleştirilmesi, askeri birliklere ciddi avantaj sağlamakta, birlikler bu sayede güçlerini daha etkin, çevik ve ekonomik bir şekilde kullanarak hedefe ulaşabilmektedirler. Bu bilgi akışı esnasında veriler bilgiye dönüşmekte, bilgi ise durumsal farkındalık (situational awareness) ve ortak durumsal idrak (situational understanding) oluşmasını sağlayarak, taktik ve operasyonel ortamda birliklerin daha öz-zamanlamalı (self-synchronized) ve kendilerini değişen koşullara adapte edecek şekilde savaşabilmelerini sağlamaktadır.

TODES projesi kapsamında STM A.Ş., AnelARGE ve ODTÜ TSK-MODSİMMER ile ortaklaşa yürütülen bir çalışma ile bir prototip sistem geliştirilmiştir. Bu prototip sistem ile taktik sahada mobil haberleşme cihazı ve çeşitli sensörlerle ile desteklenmiş en uçtaki askeri birimlerle sabit ya da hareketli bir komuta kontrol merkezi arasında bilginin iki yönlü olarak etkin şekilde aktarımı ile hem sahada hem komuta kademesinde ortak anlayışın oluşturulması ve bu suretle operasyonların başarılı bir şekilde yönetilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında ADY'nin temel sağlayıcısı olan iletişim ağında oluşabilecek siber atak ya da yoğun veri trafiği durumlarını test etmek amacıyla, AABGS projesi prototip sistemi ile TODES prototip sistemi entegre edilmiştir.

Geliştirilen prototip sistem ODTÜ TSK-MODSİMMER'deki Görselleştirme Laboratuvarı'na kurulmuş olup, bu ortamda sistem üzerinde çeşitli testler, simülasyonlar ve demonstrasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu makalede TODES sisteminin MODSİMMER görselleştirme ortamındaki kurulum mimarisi, test koşturumlarının nasıl yapıldığı, elde edilen performans verileri ve AABGS sistemi üzerinde trafik simülasyonları çalıştırmak suretiyle TODES sisteminin başarım durumunun nasıl test edildiğine değinilecektir.

2. TODES - AABGS ENTEGRASYONU

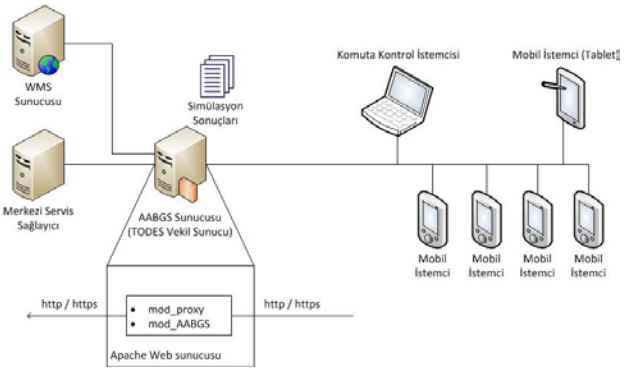
TODES projesinde fiziksel ağ altyapısı üzerine odaklanılmamasına karşın TODES sisteminin bir IP ağı üzerinde çalışacağı düşünülmüş ve benzetim yoluyla bu IP ağına yönelik sanal bir trafik üretilerek TODES sisteminin ağdaki bu trafikten nasıl etkilendiği gözlemlenmeye çalışılmıştır.

AABGS sistemi yapısal (constructive) bir benzetim ortamı sunmaktadır. Dolayısıyla öncelikle MODSİMMER laboratuvarında kullanılan ağ topolojisi bu ortamda tanımlanmıştır. Daha sonra bu benzetim ortamına gerçek trafik üreticilerinin üreteceği trafiği girdi olarak vermek yerine önceden kurgulanmış bir trafik senaryosuna uygun şekilde (normal durum veya saldırı) sanal bir ağ trafiği benzetim yoluyla oluşturulur. Bu

nedenle bu noktada yapısal bir benzetim yöntemi uygulanmış olmaktadır. Benzetim ortamında oluşturulan bu trafiğin, ağ iletişimini paket gecikmeleri şeklinde nasıl etkileyeceği hesaplanarak sonuç itibariyle zamana bağlı bir grafik elde edilebilmiştir.

Geliştirilen TODES Vekil Sunucusu, elde edilen bu sonuçları girdi olarak kullanmak suretiyle kendi üzerinden akan trafiğe gerçek zamanlı olarak uygulayabilmektedir. Bir başka deyişle benzetim yoluyla zamana bağlı olarak elde edilen bu etkileri, çalışma zamanında kendi üzerinden akan trafiğe zamana bağlı şekilde yansıtmakta ve bu şekilde önceden yapılan benzetim sonuçlarını gerçek hayatta tekrar canlandırmaktadır (sanal ortam). Bu noktada, aslında gerçekleşmiyor olan bir trafiğin (sanal trafik), gerçek ortamdaki sistem ve kullanıcıları etkilemek suretiyle gerçek ortama yansıtılması, bir başka deyişle sanal benzetim uygulanması söz konusudur.

AABGS Vekil Sunucusu, basitçe bir tür ters vekil (reverse proxy) sunucu olarak çalışır durumdadır. İstemciler, gerçek sunucular yerine AABGS Vekil Sunucusu IP adresini kullanacak şekilde yapılandırılmışlardır. Böylece AABGS Vekil Sunucusu istemcilerle sunucular arasına yerleşmiş şekilde TODES sistemine bütünleştirilmiştir. Bu durum Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. TODES AABGS Entegrasyon Mimarisi

AABGS Vekil Sunucusu, TODES sistemi içinde istemcilerle sunucular arasında yerleştirilerek, çalışma zamanı öncesinde canlandırılan sanal trafik etkilerinin paket gecikmeleri şeklinde istemci sunucu iletişimini yavaşlatması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla AABGS Vekil Sunucusu istemcilerden kendine gelen HTTP veya HTTPS isteklerini değerlendirerek benzetim sonuçlarına göre o anki sanal trafiğin sebep olacağı bir gecikme ile sunuculara aktarmakta, sunuculardan dönen cevapları da yine benzer şekilde geciktirilerek istemcilere aktarılmaktadır.

3. TODES – AABGS VEKİL SUNUCU ÇALIŞMA ORTAMI

TODES projesi kapsamında mod_aabgs modülü geliştirilmiş olup, Apache mod_proxy modülü, bunu kullanacak şekilde güncellenmiştir. Apache Web sunucusunun ters vekil sunucu olarak da çalışmasını sağlayan bu modül mod_aabgs yetenekleri kazanınca daha

önce yapısal ortamda toplanmış olan AABGS senaryosunun çıktılarını ve gelen istekleri değerlendirerek hem istek, hem de cevapları transfer ederken gecikmeler ekleyebilmektedir.

Yapısal ortamda elde edilen sonuçların sanal ortamda kullanılabilmesi için veri iletiminde kullanılan mesaj tiplerine göre sunucu istemci trafiği analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların gerçek ortama uygun zaman birimi ile sanal ortamda uygulanabilmesi için yapısal ortamdaki simülasyon birim zamanı gerçek zamana dönüştürülmüştür.

3.1. TODES Sunucu İstemci Trafiğinin Analizi

TODES sunucu istemci trafiği TODES vekil sunucu üzerine kurulan paket yakalayıcı aracı yardımıyla analiz edilmiştir. Temel olarak Kontrol ve Çoklu ortam olarak 2 tip mesajlaşma ele alınmıştır.

Bu mesaj tipleri aynı şekilde AABGS sisteminde sunucu ve istemci mimarisi doğrultusunda birebir modellenmiştir. Değişken olabilecek Application Data kısmı için ise AABGS HTTP modelinde kullanılan HTML nesne boyutu modellemesi kullanılmıştır. Bu modellemeye göre Truncated Log normal (μ7.90272, σ1.7643) dağılımı (Lee & Gupta, 2007) kullanılarak uygulama yükü hesaplanmıştır.

3.2. AABGS Vekil Sunucu Üzerinde Gecikme Sürelerinin Hesaplanması

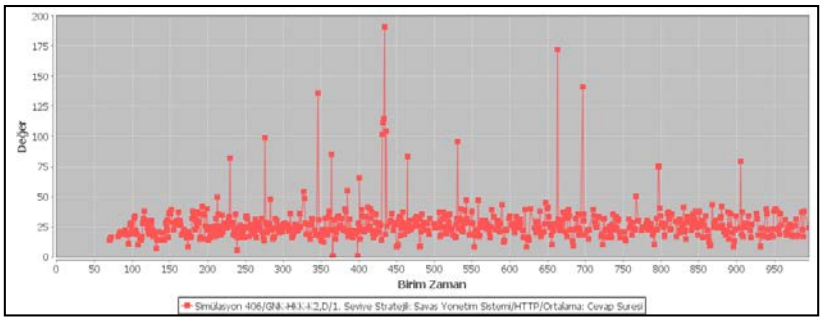
AABGS sistemi ayrık olay modeline dayalı bir simülasyon olup, tüm veriler sistemin ürettiği birim zamanlar cinsinden hesaplanmaktadır. Her bir ağ elemanı veya uygulama 1 birim zamanda tamamlayacağı işleri tamamlamakta (veriyi oluşturmak, işlemek veya yönlendirmek) ve sonraki birim zamanı beklemektedir. Bu sebepte simülasyon sonuçları sistemin ürettiği birim zaman cinsinden sunulmaktadır.

Örneğin Çizelge 1'de bir simülasyon çıktısının HTTP protokolü için ortalama cevap süresi grafiği verilmiştir. Burada X ve Y eksenlerinin birim zaman olarak ifade edildiğine dikkat edilmelidir.

Çizelge 1'de 300'üncü birim zamandaki ortalama cevap süresi yaklaşık 25 birim zaman büyüklüğünde bir süreyi kapsamaktadır. Bu 25 birim zamanda sistem 3 temel işlem yapmıştır. Buna göre bir paketin gidiş yolu üzerindeki bir yönlendiriciden diğerine ulaşması esnası 1 birim zaman sürmüş, paketin ulaştığı yönlendiriciden çıkış yapacağı linke karar verilmesi yani yönlendirme esnasında 1 birim zaman geçmiş ve çıkış noktasındaki kuyruk uzunluğuna göre belirli birim zamanlarda paketler yönlendirici üzerinde beklemiştir. Yani sistem üzerinde gecikme süreleri denklem (1)'de gösterildiği gibi olacaktır.

Gecikme = Σ İletim Gecikmesi + Σ Yönlendirme Gecikmesi + Σ Kuyruk Gecikmesi (1)

Çizelge 1 Örnek bir cevap süresi grafiği



Bu nedenle AABGS üzerinde çalışan simülasyon tamamlandığında süreleri gerçek zamana dönüştürmek için fazladan bir işlem daha yapılmıştır. Simülasyon çalışırken paketin iletildiği yol üzerindeki toplam linkler paket ile ilişkilendirilmiş. Hop sayısı (paketin geçtiği düğüm sayısı) hesaplanmış ve kuyrukta bekleme süreleri yine paket başına kaydedilmiştir. Bu bağlamda bakıldığında örneğin 25 birim zamanlık cevap süresine sahip olan bir iletimin 5 yönlendiriciden geçtiği varsayılırsa, 6 birim zaman iletim gecikmesi, 5 birim zaman yönlendirme gecikmesi olarak geçmiş olup cevap eğer aynı yolu izlemişse yine 6 birim zaman iletim gecikmesi ve 5 birim zaman yönlendirme gecikmesi olmak üzere toplam 22 birim zaman iletimde harcanmış 3 birim zaman ise paket kuyrukta beklemiştir. Yapısal ortamda toplanan simülasyon sonuçlarında birim zaman olarak belirtilen bu zaman aralıkları canlı sanal ortamda kullanılacağında her birim zaman, bir saniyeye karşılık gelecek şekilde bir dönüşüm yapılmıştır. Bu dönüşümü gerçekleştirmek için yönlendirme ve iletim gecikme süreleri sabit alınmaktadır. 100 ms iletim gecikmesi ve 20 ms yönlendirme gecikmesi sabit alınmıştır. Bu şekilde örnekteki toplam gecikme 12*100 ms + 10*20 ms = 1400 ms = 1.4 s olarak hesaplanabilir. Bu yöntemde kuyruk uzunluğu dikkate alınmamıştır.

4. TODES - AABGS GERÇEK YAPISAL SANAL ORTAMDA TEST SONUÇLARI

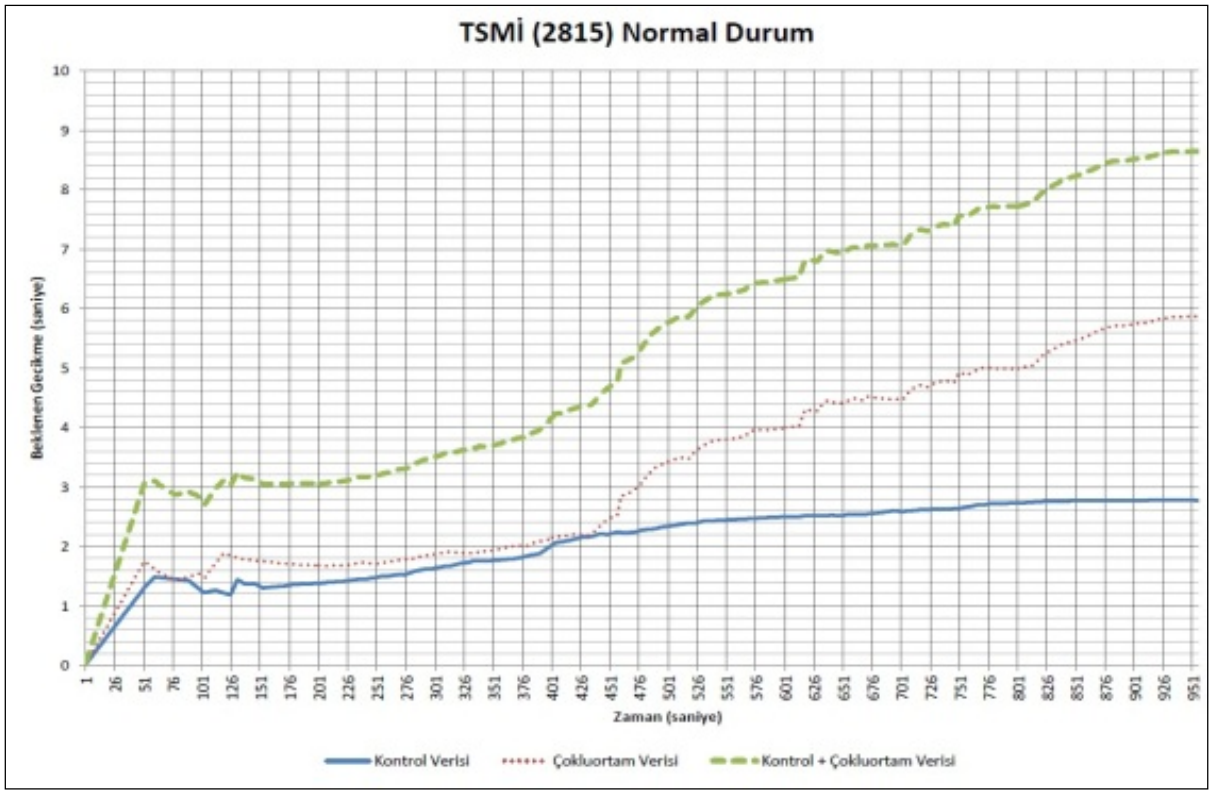
TODES projesinde AABGS vekil sunucusu sisteme entegre edilmiş olup MODSİMMER laboratuvarında testler yapılmıştır. Gerçek ortamda yapılan testler sonucunda Apache Web sunucusu üzerinden kayıtlar incelenmiş ve sistemdeki kontrol(istihbarat raporu, emir vb. verisi) ve çoklu ortam tipindeki verilerin merkezi servis sağlayıcısı ile istemciler arasındaki iletim süreleri ölçülmüştür. Gerçek ortamda (AABGS üzerinden geçirilen paketlere herhangi bir müdahale yapılmadan iletilmesi durumunda: mod_proxy (Apache Software Foundation)) istihbarat raporu (kontrol tipi veri) ve çoklu ortam verilerinin sunucuya gönderilmesi işlemi tekrarlanmış ve ortalama iletim süresi hesaplanmıştır. Bu sonuçlarda ortalama bir istihbarat raporu bilgisinin

ortalama iletim süresi 3.01 saniye test amaçlı oluşturulan video verisinin 6.99 saniye olduğu gözlemlenmiştir.

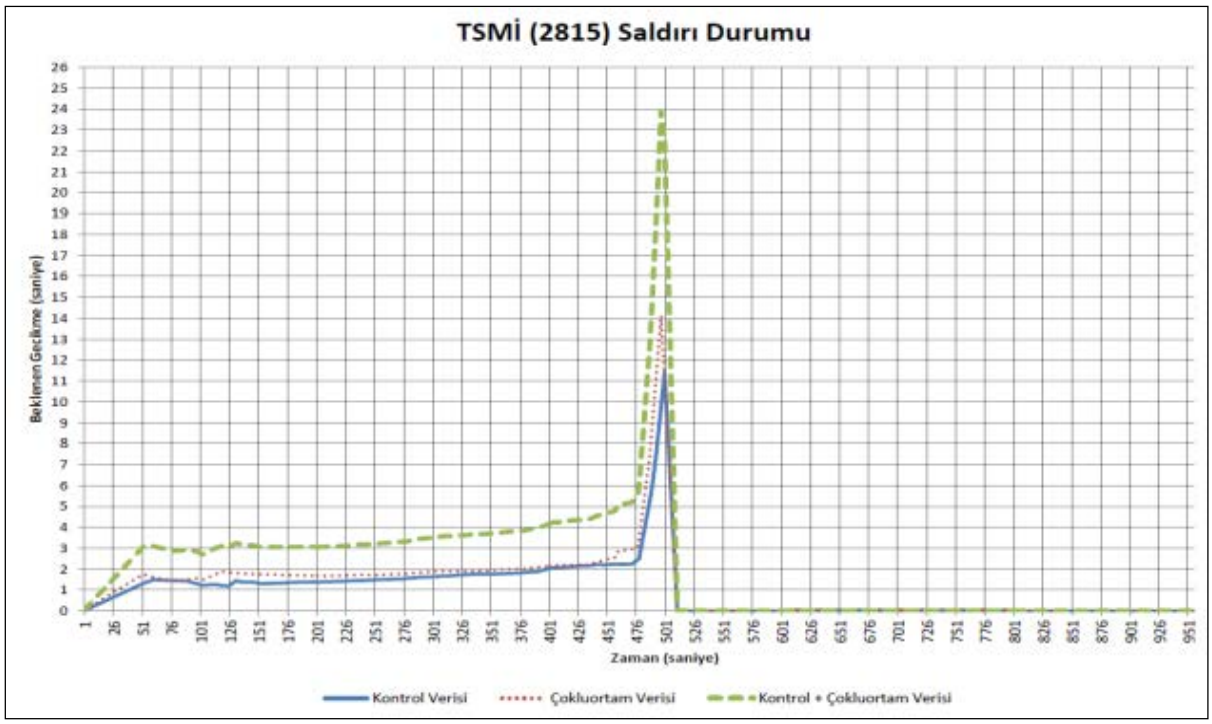
4.1. Yapısal Ortamda Elde Edilen Paket İletim Gecikme Süreleri

TODES kapsamında AABGS vekil sunucusu üzerinde yapısal ortamda TODES ağ topolojisi modeli oluşturulmuş olup sunucu ve istemcilerin tamamen benzetiminin yapıldığı bir ortamda paket gecikme süreleri ölçülmüştür. Çizelge 2'de normal durum senaryosu, Çizelge 3'de ise siber saldırı senaryosu sonuçları bulunmaktadır. Grafiklerde, metin içerikli komuta kontrol mesajları (emir, ateş destek, istihbarat vb.) "Kontrol Verisi", video/fotoğraf ve ses içerikli mesajlar ise "Çoklu ortam Verisi" olarak ifade edilmiştir. TSMİ(Taktik Saha Mobil İstemcisi)'den MSS(Merkezi Servis Sağlayıcı)'ye çoklu ortam verisi gönderilmesi sürecinde bu verinin meta verisi ayrı bir mesajla gönderilmektedir. Veri içeriği ve iletişim koşulları göz önünde bulundurulduğunda çoklu ortam meta verisi, "Kontrol Mesajı" niteliği taşımaktadır. Bu nedenle TSMİ'nden MSS'ye çoklu ortam verisi gönderiminde oluşacak toplam gecikme de grafiklerde verilmektedir. Grafikler simülasyon süresi boyunca yaşanan gecikme süresini göstermektedir.

Çizelge 2 Normal Durum Gecikme Grafiği



Çizelge 3 Siber Saldırı Gecikme Grafiği



4.2. Sanal Ortamda Paket İletim Sürelerinin Ölçülmesi

TODES AABGS entegrasyonu testleri sırasında sanal ortam, AABGS vekil sunucusu üzerinde mod_ABGS modülünün, yapısal ortamda işletilmiş olan senaryo sonuçlarını, üzerinden geçen trafikte gecikmeler oluşturarak uygulaması suretiyle sağlanmıştır. Sanal ortam, başladıktan sonra belirli zaman dilimlerinde ölçümler yapılmıştır. Tablo 1, normal trafik sanal ortamı için, Tablo 2 ise siber saldırı durumu için hesaplanan gecikme sürelerini göstermektedir.

Tablo 1 Normal Trafik Sanal Ortamı Gecikme Süreleri

Mesaj türü	Gerçekleşme zamanı	Gerçek ortam iletim süresi (sn)	Sanal ortam iletim süresi (sn)	Hesaplanan gecikme süresi (sn)
İstihbarat raporu	180. sn	3.01	4.29	4.29 – 3.01 = 1.28
	300. sn	3.01	4.08	1.07
	600. sn	3.01	6.16	3.15
Çokluortam (video)	180. sn	6.99	12.80	12.80 – 6.99 = 5.81
	300. sn	6.99	12.13	5.14
	600. sn	6.99	14.34	7.35

Tablo 2 Siber Saldırı Sanal Ortamı Gecikme Süreleri

Mesaj türü	Gerçekleşme zamanı	Gerçek ortam iletim süresi (sn)	Sanal ortam iletim süresi (sn)	Hesaplanan gecikme süresi (sn)
İstihbarat raporu	180. sn	3.01	4.35	4.35 – 3.01 = 1.34
	450. sn	3.01	6.52	3.51
	478. sn	3.01	6.16	4.38
	498	3.01	7.39	11.77
	530	3.01	∞ (bağlantı koptu ve sunucuya iletim gerçekleşmedi)	∞
Çokluortam (video)	450. sn	6.99	14.15	14.15 – 6.99 = 7.16
	472. sn	6.99	14.91	7.92
	493. sn	6.99	∞ (bağlantı koptu ve sunucuya iletim gerçekleşmedi)	∞

Her iki senaryoda TSMİ ve MSS arasındaki iletişimde grafiklerde gözlenen gecikmeler ile sanal ortam başladıktan sonra belirli zaman dilimlerinde ölçülmüş olan gecikmelerin birbirine çok yakın olduğu ve sanal ortamdaki gecikmenin yapısal ortamdaki gecikme

düzenini takip ettiği görülmüştür. Yine sanal ortamdaki siber saldırı senaryosunda yukarıdaki grafiklerde de gözlenebileceği gibi belirli bir süreden sonra TSMİ'lerin iletişimi kesilmiş ve daha önceden MSS'den sağlamış oldukları verileri kullanarak çevrimdışı olarak çalışmaya devam ettikleri, aynı alt ağda bulunan istemcilerin birbirlerine algılayıcı verilerini gönderdikleri görülmüştür.

5. SONUÇ

TODES ve AABGS entegrasyonu ile canlı, sanal ve yapısal ortamlarda yapılan test sonuçlarına bakıldığında sanal ortamdaki gecikmeler yapısal ortamda elde edilen gecikme sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. Canlı ortamda sistem ve performans testlerinin yapılması her ne kadar gerçek sonuçları birebir sunacak olsa da insan kaynağı ve kapsamlı bir fiziksel altyapı çalışması gerektirdiği için tekrar edilmesi zor ve pahalı işlemlerdir. AABGS vekil sunucusu mod_proxy ile yapısal ortamda hazırlanan karmaşık topolojiye ve geniş yaygınlığa sahip olan ağ mimarileri üzerinde sanal ortamda testler gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda yapısal ortamda oluşturulan modeller üzerinde koşturulan senaryo sonuçlarının canlı ortamda testlerde kullanımı ile sistem ve performans testleri için uygun ortam maliyet etkin bir şekilde sağlanabilmektedir. Ayrıca regresyon testleri için gerekli kontrollü ortam canlı ortam kullanımı ile karmaşık ağ altyapıların yapılandırılması ve takip edilmesinde çok daha kolay bir yöntemle sağlanabilmektedir.

Proje kapsamında hazırlanan bu simülasyon ortamı ADY kapsamında geliştirilecek olan uygulamaların karmaşık ağ altyapılarına sahip olan ortamlarda geliştirme sürecinde maliyet etkin biçimde testlerinin koşturulmasını, yapısal ortamda koşturulacak senaryo sonuçlarının sanal ortamda uygulanması ile sağlayacağı görülmüştür.

6. KAYNAKÇA

[1] Savunma Sanayi Müsteşarlığı. (2012). *TODES Fizibilite Raporu*.

[2] Savunma Sanayi Müsteşarlığı. (2011). *AABGS Fizibilite Raporu.*

[3] Covelli, J. (2012). *Live, Virtual, and Constructive Modeling and Simulation for Training*. CK-12 Foundation.

[4] Lee, J. J., & Gupta, M. (2007). *A New Traffic Model for Current User Web Browsing Behaviour.* 2013 tarihinde http://blogs.intel.com/intellabs/2007/09/13/a_new_traffic_model_for_curren/ adresinden alınmıştır.

[5] Apache Software Foundation. *Apache Module mod_proxy*. Mart 4, 2013 tarihinde http://httpd.apache.org/docs/2.2/mod/mod_proxy.html adresinden alınmıştır.

GÖREV KRİTİK SİSTEMLER AÇISINDAN DDS ARAKATMAN MİMARİSİNİN PERFORMANS ANALİZİ

K. Doğuş Türkay [(a)], M. Haluk Canberi[(b)], Alper Kılıç [(c)]

[(a)]Gate Elektronik A.Ş., dogus.turkay@gateelektronik.com.tr

[(b)]Gate Elektronik A.Ş., haluk.canberi@gateelektronik.com.tr

[(c)]Gate Elektronik A.Ş., alper.kilic@gateelektronik.com.tr

ÖZ

Görev Kritik Sistemler ve Simülasyon Sistemlerinde son yıllarda DDS (Data Distribution Service) ara katman mimarisi sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte DDS ara katman mimarisinin gerçek zamanlı çalışmaya uygunluğu, mesaj gecikme parametrelerinin öngörülebilir olması, ağa bırakılan mesaj yükünün (Throughput) gecikme üzerindeki etkisi kritik önem taşımaktadır. Özellikle yüksek yoğunluklu ve gerçek zamanlı veri aktarımı içeren uygulama ve sistemlerde gecikme parametrelerinin değerlendirilmesi ve görev kritik sistemlerdeki etkisinin değerlendirilmesi oldukça önemli ve öncelikli olmaktadır. Bu çalışmada DDS ara katman performansı hakkında somut ve deterministik ölçümler elde edebilmek için Ortalama Gecikme ve Ağa Bırakılan Mesaj Yükü (Throughput) testleri, ölçüm ve değerlendirmeleri yapılarak elde edilen sonuçların Görev Kritik Sistemler ve Canlı-Sanal-Yapısal Simülasyon Sistemleri kapsamında uygunluğu araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Veri Dağıtım Servisi, DDS, Ara katman Mimarileri, Görev Kritik Sistemler, Canlı-Sanal-Yapısal Simülasyon Sistemleri.

DDS MIDDLEWARE ANAYSIS IN TERMS OF MISSION CRITICAL SYSTEMS

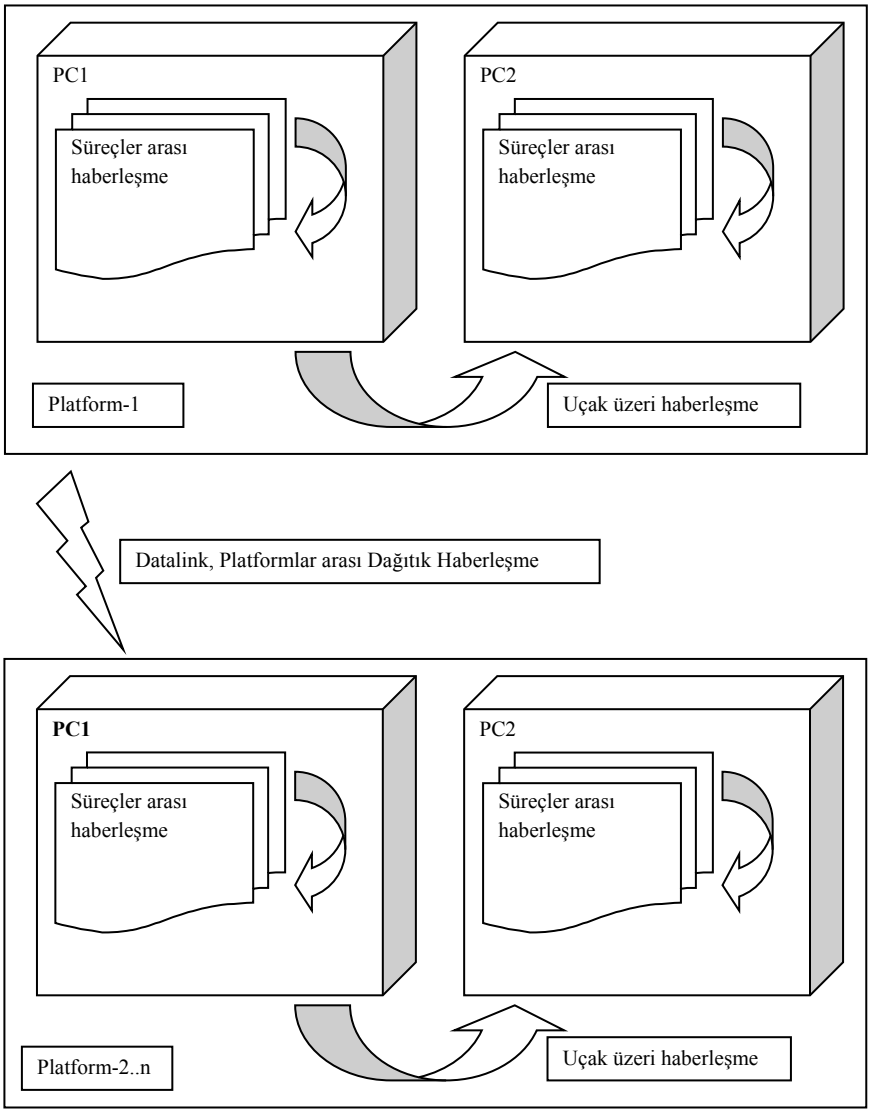
Data Distribution Service (DDS) middleware architecture has been widely used in mission-critical systems and simulation systems recently. Moreover, some of the most critical questions are if DDS architecture is suitable for real-time requirements, and if message latency parameters are deterministic. Throughput load effect on latency will be vital for these critical systems that need to have higher bandwidth. They should meet intensive and real-time communication requirements. In this work, average latency and

throughput test and measurements have been done, and evaluated if DDS is proper to mission-critical systems and live-virtual-constructive (LVC) simulation systems.

Keywords: Data Distribution Service, DDS, Middleware Architectures, Mission Critical Systems, Live Constructive Simulation Systems.

1. GİRİŞ

Görev Kritik Sistemler teknolojik gelişmelerin oldukça önemli olduğu savunma sistemlerinde önemli bir noktada bulunmaktadır. Bu kapsamda veri aktarımının söz konusu olduğu uygulamalarda aktarım yoğunluğunun yüksek ve güvenilir olması, ölçülebilir ve ölçeklenebilir sistemlerin geliştirilebilmesi için önemli bir kriter olarak öne çıkmaktadır. Son yıllarda dağıtık sistemler ve gerçek zamanlı gömülü simülasyon sistemleri çerçevesinde DDS (Data Distribution Service) mimarisi [1] görev kritik sistemler başlığı altında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır [2, 3, 4]. DDS Ara katman mimarisi veri merkezli (data-centric) ve yayımla-abone ol (publish-subscribe) yaklaşımına dayalı bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Gerçek zamanlı ve görev kritik sistemlerin dağıtık ortamdaki ihtiyaçlarını karşılamak üzere DDS ara katmanı oldukça geniş servis kalitesi (Quality of Service, QoS) yönetimini destekleyebilmektedir [5]. Örneğin muharip pilotların harbe hazırlık ve harbe hazırlığın devamı niteliğindeki eğitimleri için gömülü eğitim/simülasyon sistemleri geliştirilmiş ve eğitimin dağıtık mimari ile çok aktörlü olarak yapılabilmesine yönelik görev kritik sistemler geliştirilmektedir [6]. GATE Elektronik A.Ş. bünyesinde Dağıtık Gömülü Simülasyon Sistemleri kapsamında muharip pilotların eğitilmesine yönelik, 4MBit/sn hızında ve yüksek yoğunlukta veri iletim kabiliyeti bulunan dağıtık mimaride "Data Link Tabanlı Dağıtık Gömülü Simülasyon Sistemi" geliştirilmektedir. Bu gömülü simülasyon sisteminde görev kritik sistemlerde olduğu gibi veri aktarımı performansının öngörülebilir ve deterministik olması beklenmektedir. Şekil 1'de geliştirilen sistemin haberleşme mimarisi gösterilmiştir. Buna göre muharip uçak platformu üzerinde iki adet yüksek başarımlı bilgisayar bulunmaktadır. DDS ara katman mimarisi ise süreçler arası (interprocesses) haberleşme, bilgisayarlar arası haberleşme ve datalink aracılığı ile platformlar arası haberleşme için kullanılmaktadır. Bu mimariye göre platform içi ve platformlar arası haberleşmede sadece fiziksel katman tanımlaması değişerek hafıza, Ethernet ya da RF (radio frequency) olabilmektedir.



Şekil 1. Data Link Tabanlı Dağıtık Gömülü Simülasyon Sistemi Haberleşme Mimarisi

Dağıtık sistemler, dolayısıyla veri aktarımının önemli olduğu gömülü simülasyon sistemlerinde kullanılan DDS ara katman mimarisinin gerçek zamanlı çalışmaya uygunluğu, mesaj gecikme parametrelerinin öngörülebilir olması, ağa bırakılan mesaj yükünün (Throughput) gecikme üzerindeki etkisi kritik önem taşımaktadır [7]. Özellikle yüksek yoğunluklu ve gerçek zamanlı veri aktarımı içeren uygulama ve sistemlerde gecikme parametrelerinin değerlendirilmesi ve görev kritik sistemlerdeki etkisinin değerlendirilmesi oldukça önemli ve öncelikli olmaktadır. Kritik öneme sahip bu sistemler ile DDS ara katman mimarisinin birlikte kullanılabilirliğinin analiz ve değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

Ağa bırakılan mesaj yükünün gecikme üzerindeki etkisi, bir mesajlaşma çözümünün gerçek zamanlı uygulamalar için uygunluğunu saptamada temel ölçütlerden biridir. Bu çalışmada yüksek başarımlı ve yoğun veri aktarımı ihtiyacı bulunan gömülü simülasyon sistemleri çerçevesinde DDS ara katman performansı hakkında somut ve deterministik ölçümler elde edebilmek için Ortalama Gecikme ve Ağa Bırakılan Mesaj Yükü testleri, ölçüm ve değerlendirmeleri yapılarak elde edilen sonuçların Görev Kritik Sistemler ve Canlı-Sanal-Yapısal Simülasyon Sistemleri kapsamında uygunluğu araştırılmıştır.

2. PERFORMANS DEĞERLENDİRME KONFİGÜRASYONU

Test ortamı biri yayıncı (Publisher) dördü abone (Subscriber) olan beş bilgisayarın gigabit eternet yönlendirici (switch) üzerinden birbirlerine bağlanıp, her birinde RTI [8] Connext DDS kütüphanesini kullanan test kodlarının çalıştırılması ile oluşturulmuştur. Bu kapsamda Tablo 1'de detaylandırılan konfigürasyonlar oluşturulmuştur.

Tablo 1: Performans Değerlendirme Konfigürasyonu

Test Konfigürasyonları	**Özellik**
DDS Konfigürasyonu	• RTI Connext DDS 4.5f Ara katman yazılım Kütüphanesi • IPv4 üzerinden UDP • Güvenilir mesajlaşma QoS
Yayımcı Konfigürasyonu	• MS Windows XP SP3 • Intel Core i7-2600 @3.40 GHz • RealtekPCIe GBE Family Controller
Abone 1 Konfigürasyonu	• MS Windows XP SP3 • Intel Core i7-2600 @3.40 GHz • RealtekPCIe GBE Family Controller
Abone 2 Konfigürasyonu	• MS Wındows XP SP2 • Intel Core Duo2 E6750 @2.66 GHz • Atheros L1 Gigabit Ethernet 10/100/1000 Base-T Controller
Abone 3 Konfigürasyonu	• MS Windows XP SP3 • Intel Core i5-2500 @3.30 GHz • Intel 82579C Gigabit Network Connection
Abone 4 Konfigürasyonu	• MS Windows XP SP3 • Intel Core i7-2600 @3.40 GHz • Realtek PCIe GBE Family Controller
Ağ Konfigürasyonu	• DrayTek Vigor Switch G2080 Switch

Ortalama gecikme test durum senaryoları ve sonuçları için gecikme parametresi, yayıncının (DDS DataWriter) aboneden (DDS DataReader) gelen yansıma (echo) mesajlarını alması ve bu sürenin ölçülmesi ile elde edilmiştir. Böylelikle mesajları gönderen konfigürasyon üzerinde ortalama dolaşım zamanı (Round Trip Time, RTT) değerleri hesaplanabilmiştir.

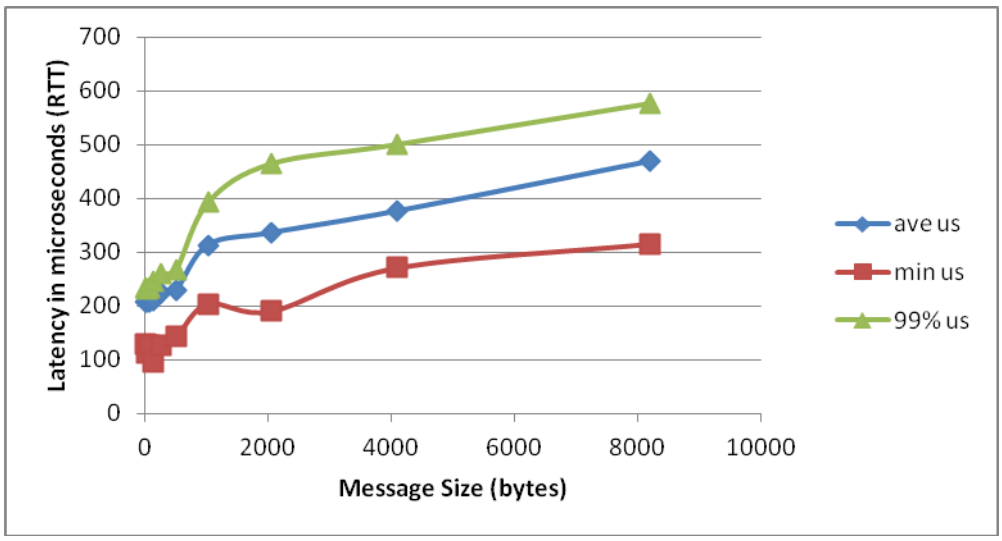
2.1. Ortalama Gecikme Test Durumu–1

İlk test durumu, bir yayıncının (publisher) tek aboneye (subscriber) değişik mesaj uzunluklarında mesaj başına 100.000 örnek göndermesi ile gerçekleştirilmiştir. Test, 3 defa koşturulmuştur. Her bir koşu için istatistiksel tablolar oluşturulmuş ve "Ortalama Gecikmeye karşı Mesaj Uzunluğu" çizgi ve kutu (box plot) grafikleri bu sonuçların değerlendirilerek ortalamalarının alınması ile çizilmiştir.

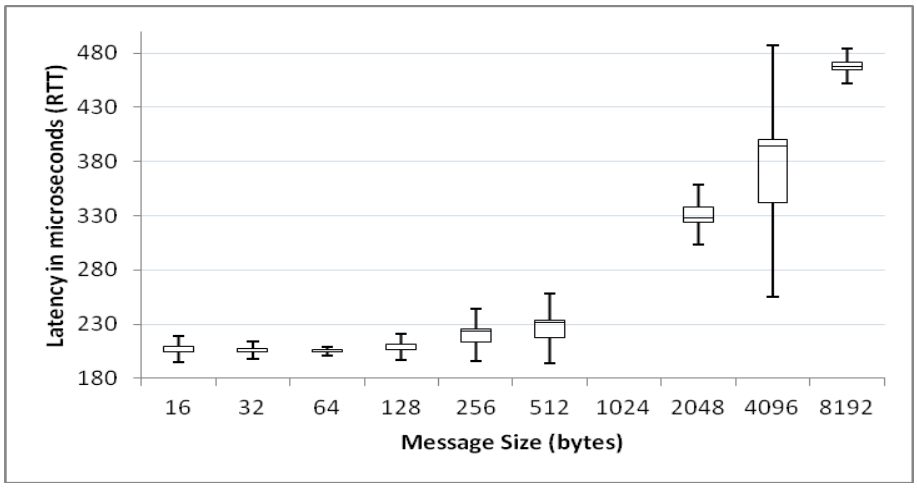
Alttaki grafiklerde ortalama RTT değerleri ve 99 yüzde birlik (percentile) değerler bulunmaktadır. Şekilde de görülebileceği üzere ölçülen değerlerin %99'u bu çizgi altında kalmaktadır. Kırmızı çizgi ise ölçülmüş en düşük RTT değerlerini göstermektedir.

Tablo 2. Ortalama Gecikme Test Durumu–1 Koşu-1

bytes	stdev µs	ave µs	min µs	50% µs	90% µs	99% µs	99.99%	max µs
16	13.2	207.7	127.7	204	212	234	876	2046.1
32	25.3	206.5	112	204	210	232	844	7109.1
64	12	207.3	126.9	204	210	234	836	1052.2
128	14.2	210.7	95.8	206	220	246	852	1070.4
256	15.4	223.6	126.6	224	228	260	892	1062.7
512	16.2	229	142.2	232	236	268	884	1074.1
1024	17.2	312.8	203.6	310	312	392	988	1159.5
2048	28.6	335.5	189.8	328	338	464	1010	1170.1
4096	42.8	375.9	270.7	394	400	500	1020	4195.9
8192	29.7	468.5	315.2	468	480	576	1120	1303.9



Şekil 2. Gecikmeye Karşı Mesaj Büyüklüğü Çizgi Grafiği



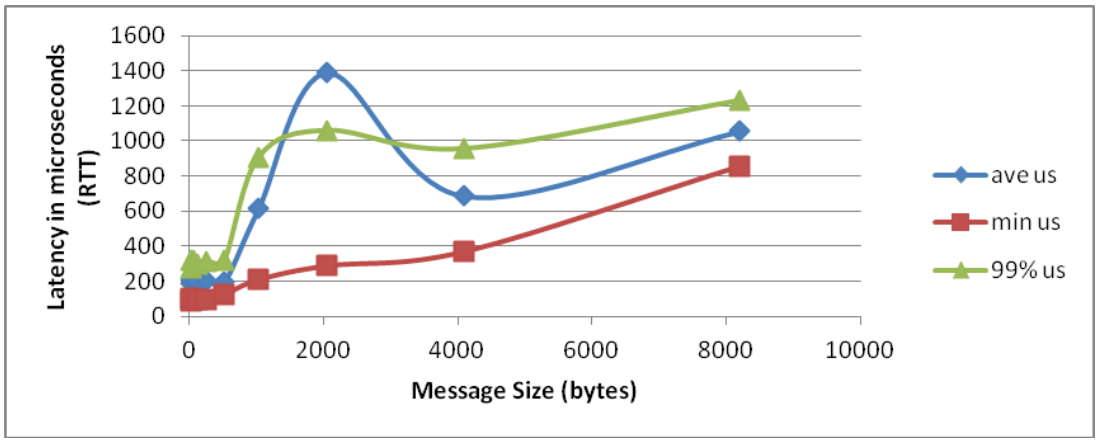
Şekil 3. Gecikmeye Karşı Mesaj Büyüklüğü Kutu Grafiği

2.2. Ortalama Gecikme Test Durumu–2

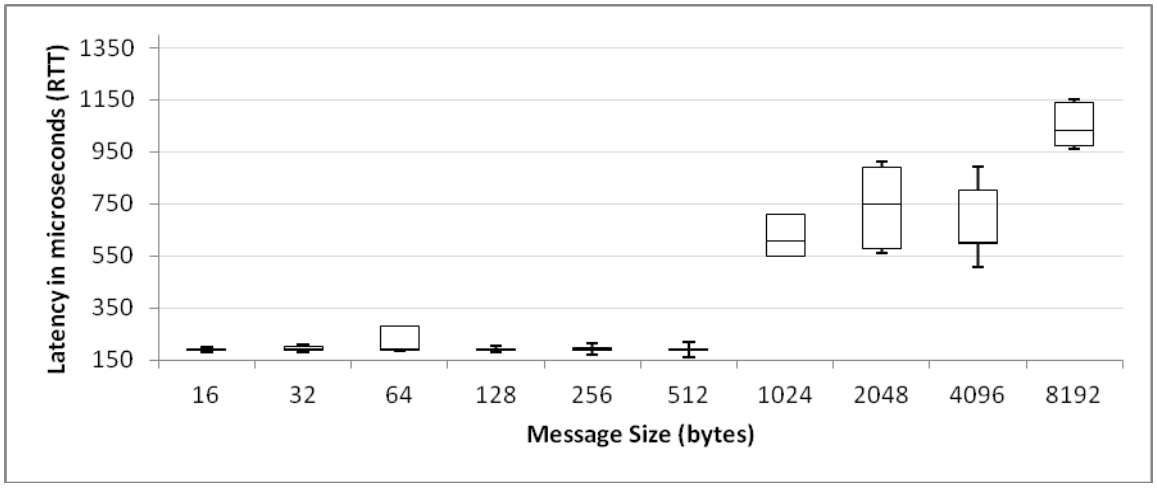
Bu test durumunda, bir yayıncının (publisher) dört aboneye (subscriber) değişik mesaj uzunluklarında ve mesaj başına 100.000 örnek göndermesi ile gerçekleştirilmiştir. İlgili test, 3 defa koşturulmuştur. Her bir koşu için istatistiksel tablolar oluşturulmuş ve "Ortalama Gecikmeye karşı Mesaj Uzunluğu" çizgi ve kutu (box plot) grafikleri çizilmiştir.

Tablo 3. Ortalama Gecikme Test Durumu-2

bytes	stdev µs	ave µs	min µs	50% µs	90% µs	99% µs	99.99%	max µs
16	20.5	191.5	100.5	188	189	191	198	274
32	45.2	209.4	90	188	189	204	284	316
64	51.7	227.5	93	188	195	282	290	318
128	32	198.6	94.6	188	189	194	224	300
256	40.5	206.4	94	187	189	199	282	314
512	24.1	195.8	125.2	187	189	194	216	318
1024	135.2	614.2	210.3	548	606	708	774	908
2048	10962.5	1388.3	289.7	580	750	892	932	1060
4096	124.8	685.8	371.2	596	600	804	852	956
8192	105	1054.3	857.4	972	1030	1140	1170	1230



Şekil 4. Gecikmeye Karşı Mesaj Büyüklüğü Çizgi Grafiği



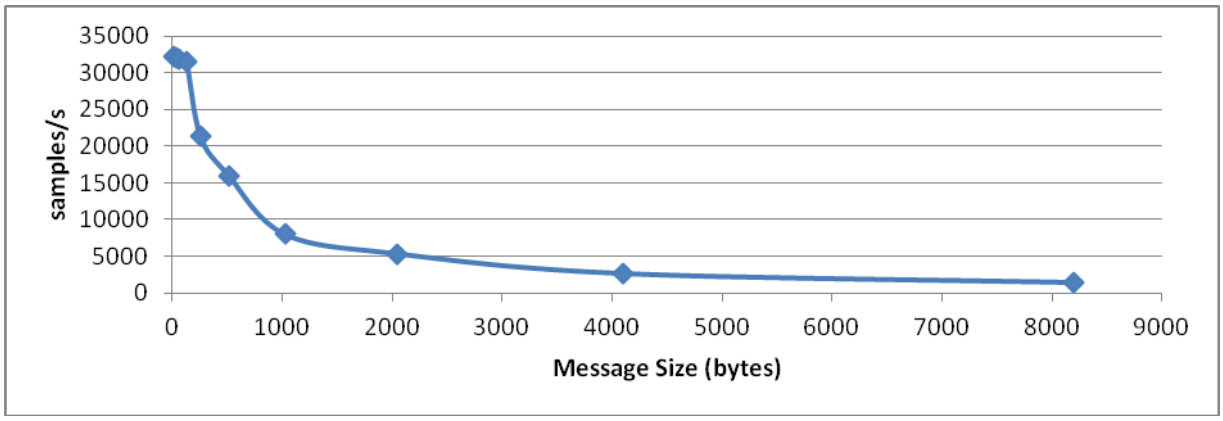
Şekil 5. Gecikmeye Karşı Mesaj Büyüklüğü Kutu Grafiği

2.3. Ağa Bırakılan Mesaj Yükü Performans Test Durumu-1

Bu test, bir yayıncıdan (publisher) tek bir aboneye (subscriber) değişik byte uzunluklarına sahip mesajların her 10 ms'de 1000 adet gönderilmesi sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Hangi mesaj uzunluğunda saniyede kaç mesaj yollandığı ve ne kadar bir bant genişliği kullanıldığına dair tablo, "Saniyedeki Mesaj Sayısına karşı Mesaj Büyüklüğü" ve "Saniyedeki Bant Kullanımına karşı Mesaj Büyüklüğü" grafikleri oluşturulmuştur.

Tablo 4. Mesaj Yükü Performansı Test Durumu–1

bytes	samples	samples/s	Mbit/s
16	322000	32148.4	4.1
32	321000	32048.6	8.2
64	319000	31849	16.3
128	316000	31588.7	32.3
256	214000	21332.6	43.7
512	161000	15999.2	65.5
1024	81000	7999.6	65.5
2048	54000	5333.1	87.4
4096	27000	2662.5	87.2
8192	15000	1422.2	93.2



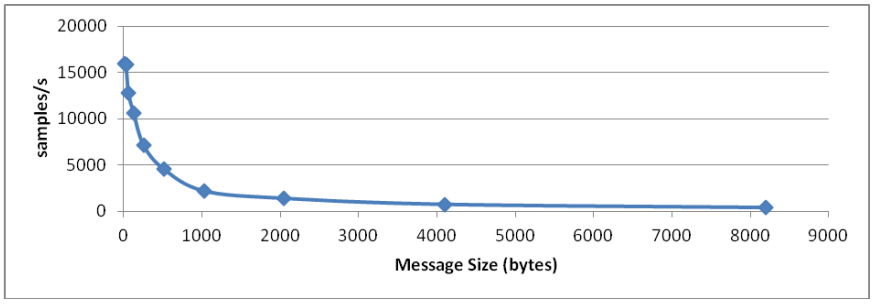
Şekil 6. Saniyedeki Mesaj Sayısına Karşı Mesaj Büyüklüğü Grafiği

2.4. Ağa Bırakılan Mesaj Yükü Performans Test Durumu–2

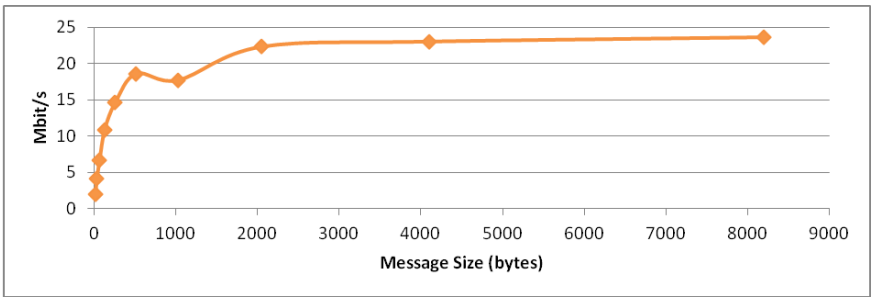
Bu test durumunda ise, tek bir yayıncıdan (publisher) dört ayrı aboneye (subscriber) değişik veri uzunluklarına (byte) sahip mesajların her 10ms'de 1000 adet gönderilmesi sağlanarak gerçekleştirilmiştir. Hangi mesaj uzunluğunda saniyede kaç mesaj iletildiği ve ne kadar bir bant genişliği kullanıldığına dair tablo, "Saniyedeki Mesaj Sayısına karşı Mesaj Büyüklüğü" ve "Saniyedeki Bant Kullanımına karşı Mesaj Büyüklüğü" grafikleri oluşturulmuştur.

Tablo 5. Mesaj Yükü Performansı Test Durumu -2

bytes	samples	samples/s	Mbit/s
16	160000	15949.3	2
32	160000	15898.7	4.1
64	129000	12799.4	6.6
128	10700	10649.7	10.9
256	72000	7110.8	14.6
512	46000	4551.6	18.6
1024	22000	2166.1	17.7
2048	14000	1361.6	22.3
4096	8000	702.3	23
8192	4000	359.5	23.6



Şekil 7. Saniyedeki Mesaj Sayısına Karşı Mesaj Büyüklüğü



Şekil 8. Saniyedeki Bant genişliği Kullanımına Karşı Mesaj Büyüklüğü

3. SONUÇ

Ağa bırakılan mesaj yükünün (Throughput) gecikme üzerindeki etkisi, bir mesajlaşma çözümünün gerçek zamanlı uygulamalar için uygunluğunu saptamada temel bir ölçüttür. Mesajlaşma oranı ve Ağa bırakılan mesaj yükü arttığı durumda gecikme değerinin deterministik olması ve davranışının modellenebilmesi görev kritik sistemler ve simülasyon uygulamaları gibi pek çok uygulama için oldukça kritik olmaktadır [9]. Görev kritik sistemlerde, simülasyon sistemlerinde ve veri aktarım yoğunluğunun yüksek olduğu diğer uygulamalarda DDS ara katman mimarisi sistemin gerçek zamanlı ihtiyaçlarını en kötü durum senaryolarında bile karşılayabilmelidir.

Tek abonenin bulunduğu ortalama gecikme testlerinde elde edilen tablo ve grafiklerden de anlaşılacağı üzere mesaj büyüklüğünün arttığı durumda ortalama mesaj gecikme süresi oransal ve öngörülebilir olarak ~250 µsn artış göstermiştir. Her üç test koşusunun ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak oluşturulan grafikler incelendiğinde bu artışın deterministik olduğu değerlendirilmektedir.

Dört abonenin bulunduğu test durumu da tek abonenin bulunduğu test durumuna paralellik göstermiş ve gecikme zamanları 512 baytlık mesaj boyutuna kadar tek aboneli test durumdakine yakın değerler üretmiştir, fakat 512 baytı geçen mesaj boyutlarında gecikme zamanları ~1000 µsn'ye yükselerek büyük bir artış göstermektedir. Her üç test koşusunun sonuçları incelendiğinde dört aboneli test durumlarında da öngörülebilir ve kabul edilebilir sonuçlar oluştuğu gözlenmiştir.

Ağa bırakılan mesaj yükü testlerinde, gönderilen mesajların büyüklüğü arttıkça saniyede yollanan mesaj sayısının düştüğü fakat bant genişliğinin daha verimli kullanıldığı gözlemlenmiştir. Gerçek zaman gereksinimi bulunan görev kritik uygulamalar için referans değerler elde edilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilecek testler ile mesaj büyüklüğü ve bant genişliği optimizasyonu gerçekleştirilerek sistemin performans kriterleri belirlenecektir. Bu kapsamda, DDS ara katman mimarisinin gerçek zamanlı görev kritik sistemlerde ve simülasyon sistemlerinde kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir.

4. KAYNAKÇA

[1] Pardo-Castellote, Gerardo, Bert Farabaugh, and Rick Warren. "An Introduction to DDS And Data-Centric Communications.", Real-time Innovations, 2005.

[2] Pardo-Castellote, Gerardo. "Omg Data-Distribution Service: Architectural Overview." Distributed Computing Systems Workshops, Proceedings 23rd International Conference on. IEEE, 2003.

[3] Joshi, Rajive, and Gerardo-Pardo Castellote. "A Comparison and Mapping of Data Distribution Service and High-Level Architecture." Technology, The Netherlands. His research interests include parallel and distributed computing, component based architectures, and embedded systems, 2006.

[4] Zheng, Shupeng, et al. "An Optimized Distributed Real-Time Simulation Framework For High Fidelity Flight Simulator Research." Information and Automation, ICIA'09. International Conference on. IEEE, 2009.

[5] Kutluca, H., Çetin, İ. E., Deniz, E., Bal, B., "Milsoft Dds Ara Katmanı ve DDS'in Savaş Yönetim Sistemlerinde Simülasyon Amaçlı Kullanımı", Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme Ve Simülasyon Konferansı, USMOS, 2008

[6] Kılıç, A.,Canberi H. "Muharip Hava Platformları için Gömülü Eğitim/Simülasyon Sistemi", Savunma Teknolojileri Kongresi, SAVTEK, 2012

[7] Xiong, Ming, et al. "Evaluating The Performance of Publish/Subscribe Platforms for Information Management in Distributed Real-Time and Embedded Systems.", Object Management Group, OMG, 2011

[8] Schneider, S. "Data-Centric Future, Performance", White Paper, Real-time Innovations.

[9] Onat, İ., Karslıoğlu, A., Çakır, U., "Güvenli Gömülü Yazılım", Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, UYMS, 2012

YÜKSEK SADAKATLİ ASKERİ SİMÜLASYON UYGULAMALARINDA SUÜSTÜ VE SUALTI PLATFORMLARIN BİRBİRLERİNDEN VE KARADAN SAKINMASI

Levent Hakkı Şenyürek[(a)], Semuel Franko[(b)], Deniz Aldoğan[(c)] , Ömer Eroğlu[(d)]

Yasin Kanpara[(e)]

TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN Sualtı Teknolojileri Bölümü, TÜBITAK
Gebze Yerleşkesi UEKAE P.K.:21 41470 Gebze / KOCAELI

{ levent.senyürek, semuel.franko, deniz.aldogan,
omer.eroglu,yasin.kanpara}@tubitak.gov.tr

ÖZ

Eğitim amaçlı askeri simülasyon uygulamaları; taktik durum temsili amacıyla senaryo hazırlama, bilgisayar tarafından üretilmiş olan sanal kuvvetlerin (Computer Generated Forces-CGF) ve taktiksel davranışların benzetimi gibi işlevlerin gerçekleştirilmesi için kullanılır. Bu simülasyon uygulamalarında askeri platformlar, koordinata intikal ve rota takibi gibi temel işlevleri gerçekleştirebildiği gibi paralelde simülasyon bileşenlerinin birbirleri ve çevreyle etkisi modellenerek simülasyon sisteminin sadakatinin artırılması hedeflenmektedir. Taktik ortamda yer alan platformların birbirlerinden ve karadan sakınma durumları bu duruma örnek teşkil eder.

Eğitim amaçlı benzetim uygulamasının kazançlarını artıracak gerçekçi bir platform simulasyonu karadan ve -hedef denizaltılar özelinde- deniz zemininden sakınmayı gerektirmektedir. Hedefler taktik görevlerini yerine getirirken kara ile ilişkileri de gerçekçi bir şekilde ele alınmalıdır. Başka bir deyişle, suüstü platfromlar taktik davranışlarına paralel olarak karina derinliğinden daha sığ eğitim alanlarından ve hedef denizaltılar da derinlik değerlerinden daha sığ alanlardan kaçınacak şekilde otomatik davranış sergilemelidir. Benzer şekilde, karaya veya sığ bölgelere yakın mesafede bulunan bir platforma azami sürâtle kara veya sığ bölgeye intikal görevi verilmesi gibi güç durumlarda platformun karaya oturması gerçekçi/doğru bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde denizde çatışmayı önleme kurallarına göre suüstü platformlarının birbirlerine öncelik verme/birbirlerinden sakınma davranışları da bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Simülasyon, ticari bir benzetim aracı olan VR-Forces API'leri kullanılarak geliştirilmiştir. Sakınma algoritmaları için geliştirilen modül ve kütüphanelerin yanında platformların hareket modelleri ve alt seviye bulanık mantık konrolcüleri de bir bütün olarak bu benzetim aracı çatısı altında entegre edilmiştir. Yapılan testlerde zor şartlarda bile platformların sakınma ve çatışmayı önleme davranışlarını gerçekci ve kurallara uygun olarak uyguladıkları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CGF, Çatışmayı Önleme, Dağıtık Simülasyon, Karadan Sakınma

LAND AND COLLISION AVOIDANCE OF SURFACE AND SUBMARINE PLATFORMS IN HIGH-FIDELITY MILITARY SIMULATION APPLICATIONS

ABSTRACT

Simulation applications for military training purposes are widely utilized for scenario preparation including models of computer generated forces (CGF) with tactical behaviors. In such simulation applications, it is intended to increase the overall fidelity of the simulation system via autonomous military platform models, which can accomplish basic missions such as moving to a given location or moving along a given route while avoiding collisions both with each other and with the surrounding environment.

A realistic platform simulation for training necessitates the integration of avoidance behavior from land regions for surface entities. Submarine models should avoid the sea floor as well. Interaction of these platforms with land while performing their assigned tasks must be handled in a realistic manner. In other words, surface platforms must avoid from regions shallower than their own draft values whereas submarines must avoid from regions shallower than their depth values. Similarly, it is considered as a realistic/valid outcome that a platform runs aground in case it is commanded to cruise towards land with large speed values. Furthermore, collision avoidance behavior for surface platforms is also modeled according to the international collision avoidance rules.

The simulation application in this study has been developed using API's of VR-Forces, which is a commercial simulation infrastructure. Motion models of platforms and low-level fuzzy logic controllers along with the modules and libraries for avoidance algorithms are integrated into the framework provided by this simulation tool. Test results show that platform models implemented in our study, apply realistic land and collision avoidance behavior in different test conditions.

Keywords: CGF, Collision Avoidance, Distributed Simulation, Land Avoidance.

1. GİRİŞ

Eğitim amaçlı yüksek sadakatli simülasyon uygulamasında, platform modelleri kendilerine verilen görevleri yerine getirirken birtakım sakınma davranışlarını da paralel ve otonom olarak gerçekleştirebilmelidir. Bu çalışmada, suüstü ve denizaltı platformlarının karadan, deniz zemininden ve birbirlerinden sakınma davranışları ele alınmıştır. 2. bölümde suüstü platform modellerinin karadan, denizaltı modellerinin

karadan ve deniz zemininden sakınması ile denizde çatışmayı önleme algoritmaları anlatılmıştır. 3. bölümde bu algoritmaların simülasyon yazılımına entegrasyonu konu edilmiştir. 4. bölümde ise koşturulan örnek simülasyonlara ait deneysel sonuçlar sergilenmiştir. 5. bölümde çalışmaya ait çıkarımlar belirtilmiştir.

2. SAKINMA ALGORİTMALARI

Çalışma kapsamında temel olarak karadan sakınma ve denizde çatışmayı önleme olmak üzere 2 temel konu ele alınmıştır. Karadan sakınma kapsamında suüstü platform modellerinin karadan sakınma ve sualtı platform modellerinin karadan ve deniz zemininden sakınma davranışları gerçekleştirilmiştir.

2.1. Karadan Sakınma

2.1.1. Suüstü Platform Modellerinin Karadan Sakınması

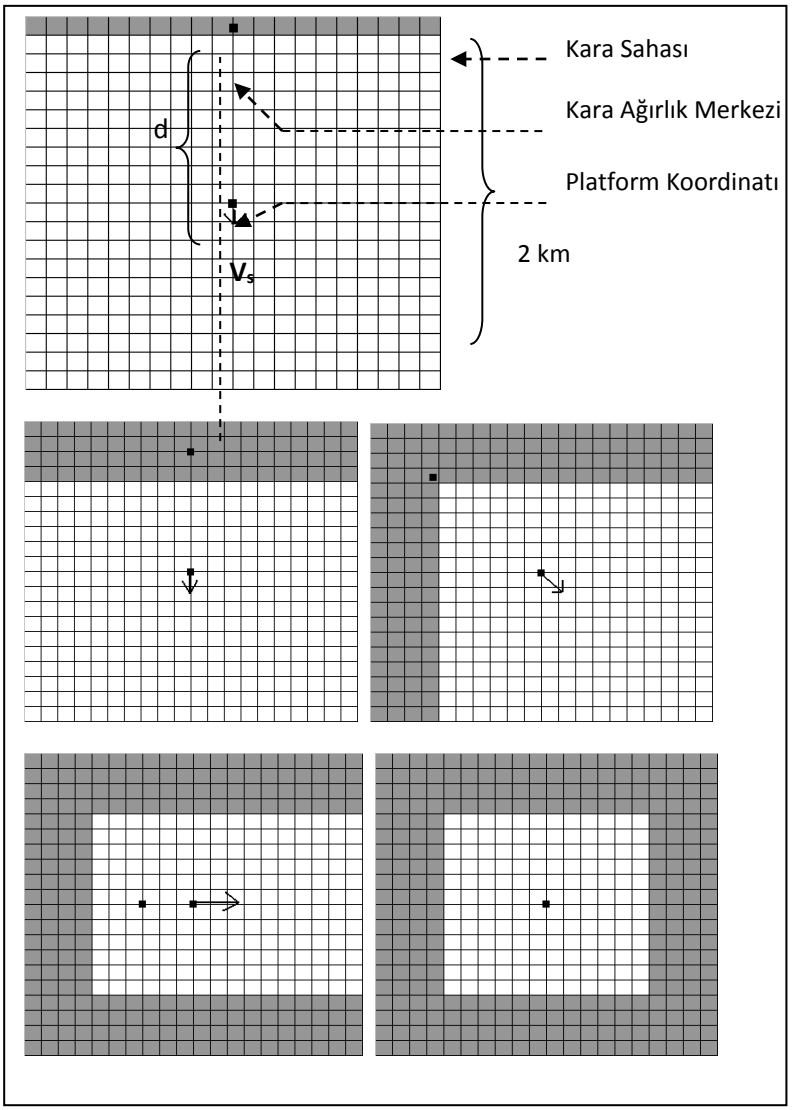
Otomatik karadan sakınma problemi için literatürde bu amaçla kullanılan farklı yöntemlerden uygulama için en uygun olan vektör alanı temelli yol planlama (vector field path planning) yaklaşımı tercih edilmiştir. VR-Forces aracı, yükseklik haritaları aracılığıyla, verilen bir doğrultuda kara bulunup bulunmadığı bilgisini sağlayabilmektedir. Ancak, platformların sadece kıyı çizgisinden değil aynı zamanda karina/platform derinliğinden sığ alanlardan sakınmaları gerekli olduğu için harita yükseklik verisi yeterli değildir. Ayrıca platformlar, istemli veya istemsiz olarak, sadece baş istikâmetinde hareket sergilemeyecekleri için belli bir doğrultu üzerinde tespit edilen kara verisi yeterli olmayacaktır. Platformlar, sağlıklı bir karadan sakınma davranışı için çevrelerinde bulunan tüm kara alanlarını göz önünde bulundurmalıdırlar. Vektör alanı yol planlama yaklaşımı bu açıdan da uygun bir tercihtir.

Vektör alanı yaklaşımında, varış noktaları ve istenen sürat verileri, platformlar için çekici potansiyel (attractive potential) oluştururlar. Buna karşılık, engellerin (simulasyon uygulamasında kara alanları) oluşturduğu bir itici potansiyel (repulsive potential) bulunmaktadır. Platformlar bulundukları noktaya göre bu iki potansiyelin vektörel toplamına göre davranarak hem hedeflerine yaklaşmış hem de engellerden sakınmış olurlar.

Karadan sakınma platform karaya 1 km'den daha fazla yaklaştığında devreye girmektedir. Bu mesafe, azami süratte seyir eden bir platformun durabilmesi için gereken azami mesafeden daha büyük bir tam sayı değer olarak belirlenmiştir. Sakınma hesabı herhangi bir noktanın merkezinde bulunduğu 2kmx2km'lik kare alandaki sığ noktalar dikkate alınarak koşum esnasında dinamik olarak hesaplanmaktadır. Şekil 1'de farklı durumlarda hesaplanan yaklaşık sakınma potansiyel vektörlerinin örnek gösterimleri verilmiştir.

Sakınma değeri, ilgili noktadaki boyutsuzlaştırılmış bir sakınma potansiyel vektörü (Vs) ile ifade edilir. Haritadaki, ilgili platformun merkezinde bulunduğu 2km kenar

uzunluğuna sahip bir kare içindeki sığ alanların ağırlık merkezi (iki boyutlu olarak) hesaplandıktan sonra, bu ağırlık merkezi ile platform koordinatının oluşturduğu doğrultu bulunur. Sakınma potansiyel vektörünün yönü bu doğrultuda ve platform koordinatına doğrudur. Vektörün (boyutsuzlaştırılmış) değeri ise iki noktanın birbirlerine uzaklıklarıyla ters orantılı olacak şekilde hesaplanmaktadır. Yani iki nokta arasındaki mesafe minimum (0 km) ise sakınma vektör değeri 1, mesafe azami (√2 km) ise bu değer 0 olarak hesaplanmaktadır.



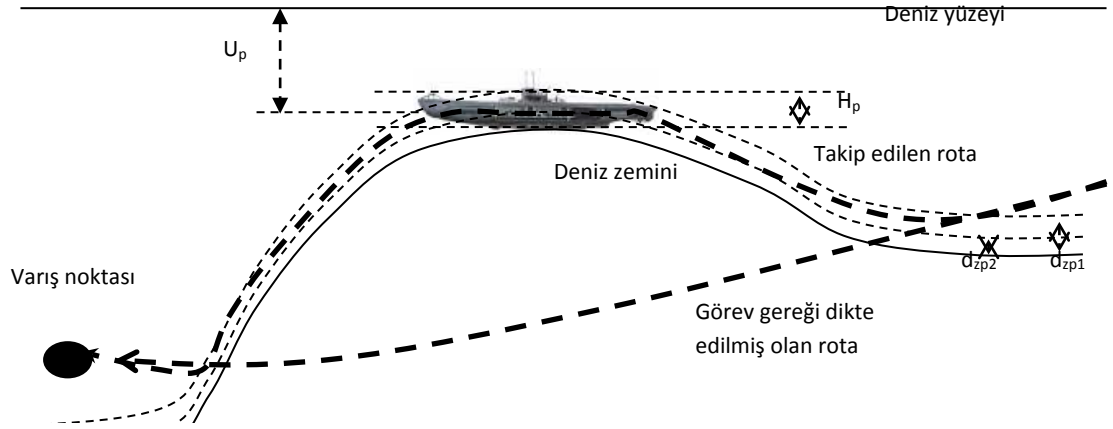
Şekil 1 . Farklı durumlar için karadan sakınma potansiyel vektörlerinin gösterimi

2.1.2. Denizaltı Modellerinin Karadan Sakınması

Hedef denizaltılar suüstü platformlardan farklı olarak z koordinatları boyunca da kara ile temas tehdidi taşırlar. Deniz zemininden/tabanından sakınma amacıyla yunuslama yön değiştirmeyi sağlayan amudî dümen kullanılır. Bu davranış, ufkî dümeni kullanan

ufkî karadan sakınma davranışı ile beraber üç boyutlu sakınma davranışını yeterli ölçüde tamamlayabilmektedir. Yunuslama yönelim açısı, ufkî dümenin yön değiştirme yeteneğine etki etse de bu etki yunuslama yönelimin sınırlı değişimi nedeniyle ufkî sakınma açısından ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenlerle üç boyutlu sakınma ufkî ve amudî olmak üzere iki bileşene ayrılmak yoluyla paralel olarak ele alınabilmektedir. Deniz zemininin kendi üzerine kapanmayan yapısı (z aksına paralel çizgiler zemini tek noktadan kesmektedirler) da bu yaklaşıma izin vermektedir. Böylece üç boyutlu hareket olanağının neden olabileceği karmaşa en aza indirilmektedir.

Amudî, yani deniz zemininden kaçınma davranışını sağlayan üst kontrolcü; zemine belli bir mesafe (dzp1) kala devreye girerek, görev gereği dikte edilen hedef derinliği - platform umkundan (Up) derinde olduğu sürece- devreden çıkarır ve platformu deniz zemininin, dzp1 değerinden daha az olan belli bir mesafe (dzp2) kadar yukarısına yönlendirir. Zemin derinliği (Dz) değiştikçe platformun yönlendirildiği derinlik de değişecektir (Şekil 2). (dzp1 ve dzp2 değerlerinin yeterince farklı olması kontrolün devreye girip çıkması sırasında osilasyon oluşmasını engellemektedir.)



Şekil 2. Hedef denizaltının deniz zemininden sakınması

Zeminden sakınma üst kontrolcüsü, görev gereği dikte edilen derinlik değerinin denizaltı umkundan daha az olması durumunda (Dg > Up) otomatik olarak devreden çıkacaktır. Böylece hedef denizaltı, dikte edilen derinlik değeri kendi umkundan daha büyük olduğu sürece deniz zemininin 6 metre yukarısında seyir ederken, umk değeri dikte edilen derinliğin altına indiğinde gerektiği gibi zeminden yükselmektedir.

2.2. Denizde Çatışmayı Önleme Davranışı

Gerçekçi suüstü platform davranışının modellenmesi için denizde çatışmayı önleme davranışının da –Uluslarası Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'ne uygun olarak– göz önünde bulundurulması gereklidir [1].

Çalışmamız kapsamında, asgari derinlik ve azami karina limitleri nedeniyle denizaltıların suüstü platformlarla çatışması olasılığı bulunmamaktadır. Ayrıca

denizaltıların denizaltılar ile çarpışması düşük olasılıklı bir durum olarak değerlendirilerek performans gerekçesiyle göz ardı edilmiştir.

Suüstü platformlar yön ve sürat eyleyicilerini istenen yön ve süratlere ulaşacak şekilde kontrol eden alt seviye kontrolcülerle hareket ettirilmektedir. İstenen yön ve süratler ise hepsi kendi yön ve sürat taleplerini bildiren orta seviyeli karadan sakınma, görev ve denizde çatışmayı önleme davranışları/kontrolcüleri aracılığı ile belirlenmektedir. En üst seviyede bu orta seviyeli davranış kontrolcülerinin isteklerini bir arada değerlendiren üst düzey bir kontrolcü kurgulanmıştır. Bu bir arada değerlendirme önceliklendirme veya kaynaştırma yöntemleri ile uygulanmaktadır. Önceki bölümlerde açıklandığı üzere, karadan sakınma davranışının sürat ve yön taleplerinden oluşan vektör ile görev davranışının sürat ve yön talep vektörü, vektörel olarak toplanarak ortak bir çıktı oluşturulmaktadır. Böylece platform bir yandan görevini uygularken, aynı zamanda da karadan sakınabilmektedir. Çünkü görev boyunca karadan sakınma gerekebilir. Buna karşılık denizde çatışmayı önleme davranışı daha nadiren uygulanması gereken bir davranıştır ve öncelikli olduğu değerlendirilmiştir. Denizde çatışmayı önleme durumu oluştuğunda görev davranışı askıya alınarak denizde çatışmayı önleme davranışı geçici olarak uygulanmaktadır. Böylece literatürde suüstü platformlarının otonom kontrolü için sıklıkla uygulandığı görülen [2,3] hiyerarşik ve paralel bir kontrol/davranış yapısı oluşturulmuştur.

Literatürde otonom suüstü platformların çatışma önleme davranışının sağlanması için çarpışma noktasının hesaplanarak çarpışma olasılığının ortadan kalkacağı şekilde yeni rotaların otomatik olarak tanımlandığı yaklaşımlar geliştirilmiştir [4]. Ancak çalışmamızda otonom bir suüstü platform davranışı geliştirmekten çok gerçek suüstü davranışının mümkün olduğunca gerçekçi olarak modellenmesi hedeflendiği için suüstü platformlarının çatışma davranışları, uluslararası denizde çatışmayı önleme kurallarının doğrudan uygulanacağı şekilde geliştirilmiştir.

Bu kurallarda tanımlanan çatışma durumları yine kurallarda tanımlanan uygun davranışların [1] uygunlanmasıyla çözümlenmektedir: (1) İki suüstü platform pruva pruvaya geldiğinde her iki platform da rotasını kendi sancağına alarak diğerinin yolundan çıkacaktır. (2) İki tekne çatışma tehlikesi doğuracak şekilde aykırı (kesişen) rotalarda karşılaştığında diğerini sancağında gören onun yolundan çıkacaktır. (3) Bir tekne başka bir tekneye yetişiyorsa, yetişen tekne yetiştiği teknenin yolundan çıkacaktır. Kurallar diğer platformun rotasını ve süratini değiştirmemesi gerektiğini dikte etmektedir. İlgili kurallardan gemi tipine göre değişiklikler tanımlanmış olsa da çalışmamız kapsamındaki tüm platformlar “kuvvetle yürütülen tekne” sınıfına dahil oldukları için platformlar arasında önceliklendirme yapılmasına gerek kalmamıştır.

Performans gereksinimlerini azaltmak için çarpışma tespit çalışmalarında kullanılan mekansal bölme tekniği ile senaryo haritası uygun boyutta bölgelere ayrılıp, sadece aynı bölge içinde yer alan platformlar için çatışmayı önleme durumu oluşup oluşmadığı

kontrol edilmektedir. Bölgeler, sınırlarda yer alan platformların çatışma durumlarının gözden kaçırılmaması için birbirleriyle kesişecek şekilde tanımlanmıştır.

3. YAZILIM ENTEGRASYONU

Bu çalışmada gerçekleştirilen karadan ve deniz zemininden sakınma davranışları, VR-Forces adlı ticari bir uygulama çatısı kullanılarak yüksek sadakatli hareket modellerine sahip su-üstü ve denizaltı platformlarına entegre edilmiştir. Bir diğer deyişle, VR-Forces simülasyon motoru, bu çalışma kapsamında bilgisayar tarafından üretilen sanal kuvvetlerin yönetimi için özelleştirilmiştir. VR-Forces altyapısında bulunan orijinal su-üstü platform ve denizaltı modellerinin yeterli derecede sadakatli davranış modelleri yoktur. VR-Forces mimarisi ile ilgili detaylara [5,6]'dan ulaşılabilir.

VR-Forces bileşen mimarisinde sensörler, kontrolcüler ve eyleyiciler olmak üzere 3 çeşit bileşen bulunmaktadır. Sensörler, nesnelerin ortam bilgilerini almasına yardımcı olurken, kontrolcüler arayüzden gelen görev komutlarını alarak nesneleri kendilerine atanan görevleri tamamlamaları için yönlendirirler. Eyleyici bileşenler kontrolcü bileşenden gelen yönlendirmeler doğrultusunda hareket modelini çalıştırarak, bu model çıktılarına göre nesne durumunu güncellemekten sorumludur. Bir nesne, bir çok sayıda aynı veya farklı bileşenlere sahip olabilir. Bu bileşenler bileşen listelerinde saklanır ve bileşen yöneticisi tarafından işletilirler.

Bu çalışmada, su-üstü ve denizaltı platformlar için kullanılan yüksek sadakatli hareket modelleri VR-Forces'dan bağımsız birer C++ modülü olarak hazırlanmış ve özelleştirilmiş VR-Forces eyleyici sınıflarına üye değişken olarak tanımlanmışlardır. Çalışmadaki VR-Forces tabanlı kontrolcülerin her biri ise platformlara atanabilen ayrı bir görev ile ilişkilendirilmiştir. Örneğin, bir platform, bir rota boyunca ilerleme görevi aldığında, bu görev için özelleştirilmiş kontrolcü, üye değişkeni olan C++ programlama dilinde yazılmış sakınma denetleyicilerini kullanarak görev için gereken platform hız ve yönünü sakınma davranışının etkisini katacak şekilde günceller. Yine ilgili görev kontrolcüsünün üye değişkeni olan bulanık mantık denetleyicisi modülü sayesinde de dümen açısı ve şaft değerleri güncellenmiş istenen hız ve yön bilgilerine göre üretilir. Son olarak, üretilen bu değerler platformun hareket modelini çalıştırırken kullanması için eyleyici bileşenine aktarılır.

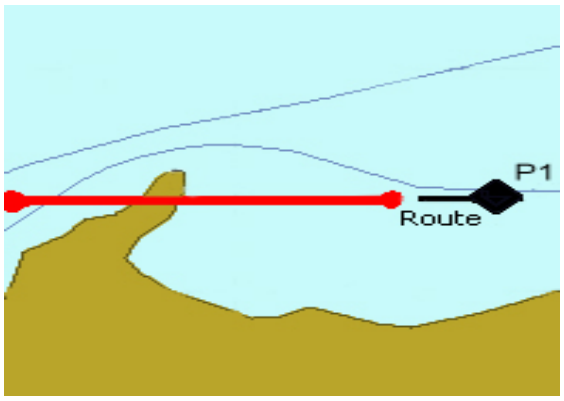
4. DENEYSEL SONUÇLAR

Suüstü platformlarının karadan sakınmasına ilişkin koşturulan testte başlangıç durumu Şekil 3'deki gibi olan platforma (P1) şekilde görülen rota (route) boyunca intikal görevi verilmiştir. Platformun koşum boyunca konum değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir.

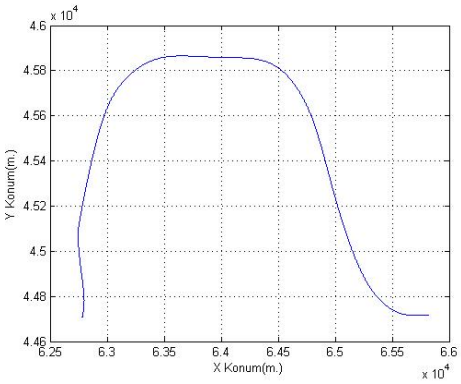
Denizaltı zeminden sakınma testinde iki denizaltıya farklı derinlik ve koordinatlara intikal görevi verilmiştir. Her iki platforma dikte edilen rota da ikili bir ada takımının üzerinden geçmektedir (Şekil 7). Denizaltı 1, 14 metre derinliğindedir. Denizaltı 1'in

görev boyunca derinliğini sabit tutması istenmektedir. Denizaltı 2 de, 14 metrede göreve başlamıştır. Bu platforma 50 metreye dalma görevi verilmiştir. Platformların senaryo boyunca yüksek süratle intikal etmeleri istenmiştir.

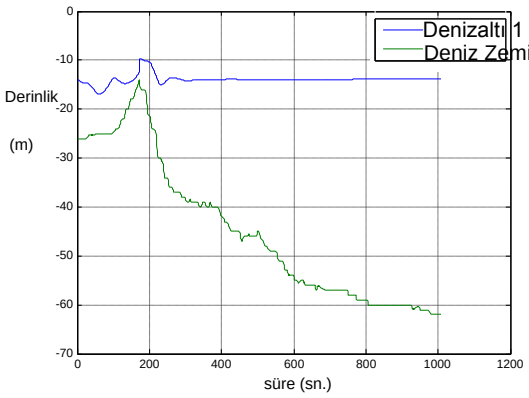
Şekil 5 ve Şekil 6'da zeminden sakınan Denizaltı 1 ve 2'nin derinliği zemin derinliği ile birlikte verilmiştir. Dip derinliği uygun olduğu sürece Denizaltı 1 emredilen derinliği korumuştur, aksi durumda zeminden sakınmak için umk değiştirmiştir. Denizaltı 2 ise 50 metreye dalmaya çalışmıştır ancak zeminden sakınma kontrolcüsü gemiyi zeminden yüksekte tutmuştur. Senaryonun devamında derinlik uygun olduğunda denizaltı 50 metreye dalmış ve derinliğini korumuştur.



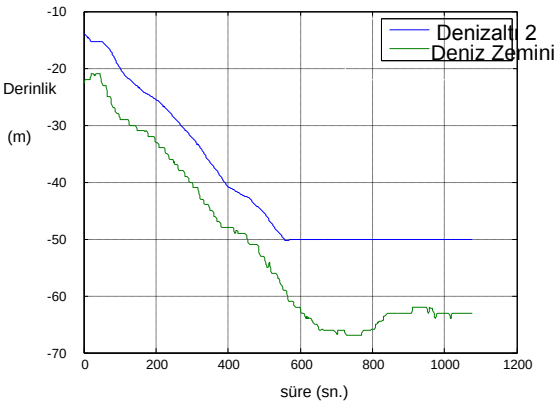
Şekil 3. Suüstü Platform ve Görev Rotası



Şekil 4. Platform Konum Değişimi

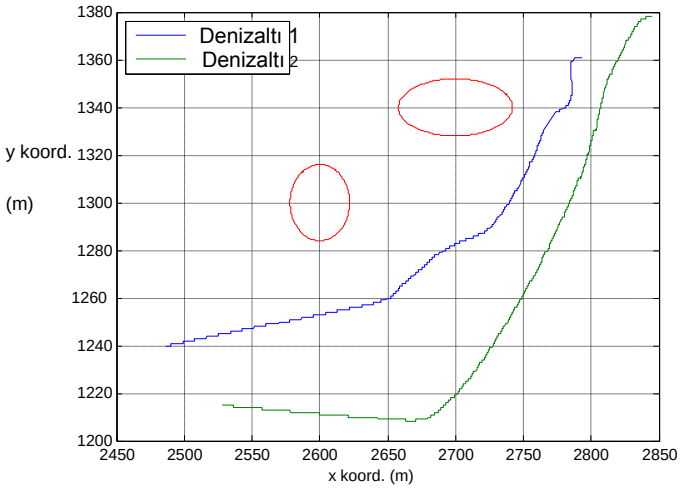


Şekil 5. Denizaltı 1'in zeminden sakınması



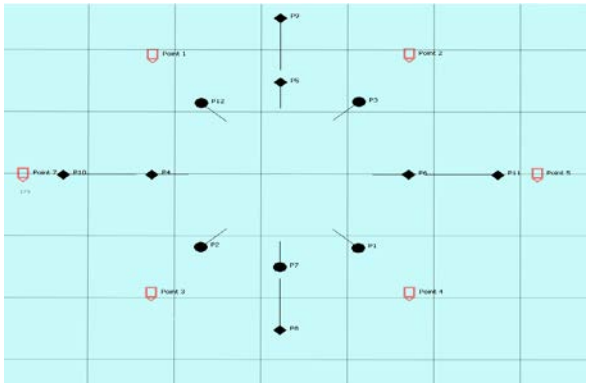
Şekil 6. Denizaltı 2'nin zeminden sakınması

Denizaltı zeminden sakınırken aynı zamanda karadan da sakınması gerekmektedir. Şekil 7'de karadan sakınma sonuçları görülmektedir. Kırmızı daireler sakınma yapılan adalardır. Başlangıç rotaları aynı olmasına rağmen, derinleşme ve bu nedenle sakınılması gereken karanın genişlemesi nedeniyle Denizaltı 2 daha büyük bir çap ile dönüş yapmaktadır. Zeminden ve karadan sakınma senaryoları, denizaltı kontrolcü davranışının seyridümen davranışına benzer/gerçekçi bir yaklaşımla gerçekleştiğini göstermektedir

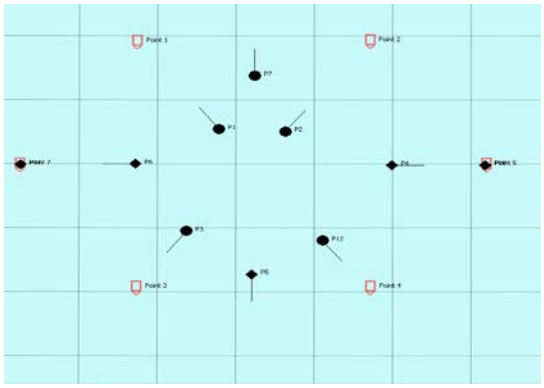


Şekil 7. Denizaltıların karadan sakınması

Çoklu hedeflerin çatışmayı önleme test simulasyon koşumu için başlangıç durumu Şekil 8'de verilmiştir. Tüm platformlar görevleri gereği olarak birbirlerine doğru ilerlemektedirler. Simülasyon koşumu sonrasında hedeflerin aldıkları durum Şekil 9'da verilmiştir. Platformların numaralarına göre birbirine en yakın olduğu mesafeler Çizelge 1'de gösterilmiştir. Çizelge, bu zorlu çatışma senaryosunda dahi denizde çatışmayı önleme tüzüğüne uygun hareket eden platformların birbirleri ile mesafelerini büyük oranda çatışmayı önleyecek şekilde koruyabildiğini göstermektedir. 60 çarpışma durumundan sadece 3 çarpışma meydana geldiği (100m. altı mesafeler çarpışma olarak değerlendirilmiştir.) ve %95 oranla çarpışmanın önlendiği görülmektedir.



Şekil 8. Simülasyon başlangıcı



Şekil 9. Simülasyon sonu

Çizelge 1. Platformların birbirine en yakın geçiş mesafeleri (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	X	15	1318,1	1003,9	879,4178	1268,7	753,4029	1088,6	1484,1	1247	2168,6	185,384
2	X	X	277,9466	1953,4	575,6122	827,447	1001,3	2236,1	1018,8	2757,9	2070,1	913,2974
3	X	X	X	1171,2	1381,2	448,3346	292,1406	604,9398	2664,4	2257,2	2716,3	1101,4
4	X	X	X	X	634,8662	136,7082	919,6821	242,2146	76,2106	325,9922	316,1	547,4297
5	X	X	X	X	X	302,0237	172,1007	305,2006	313,1221	1938,8	1334,6	12,5925
6	X	X	X	X	X	X	527,7469	281,6366	1261,1	312,1001	312,5003	388,8491
7	X	X	X	X	X	X	X	320,6522	415,7222	1897,5	2391,6	23,4
8	X	X	X	X	X	X	X	X	744,4188	372,0046	935,3873	692,2631
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	607,9569	579,436	508,6215
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	559,7827	1272,6
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	106,6092
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

5. SONUÇ

Bu çalışma sonucunda suüstü platform ile denizaltı modellerine VR-Forces ortamında, gerçekçi karadan sakınma ve çatışmayı önleme davranışı kazandırılmıştır. Platformların kendilerine verilen asli görevleri yerine getirirken çarpışmaları da önleyebildiği gösterilmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmanın çeşitli aşamalarında bu çalışmaya doğrudan ve dolaylı olarak katkıda bulunan Hakkı Murat Genç, Mehmet Haklıdır, Cemil Akdemir, Lalehan Can ve Seniha Köksal'a da katkılarından dolayı teşekkürü borç biliriz.

7. KAYNAKÇA

[1] S. Campbell, W. Naeem ve G.W. Irwin (2012), A review on improving the autonomy of unmanned surface vehicles through intelligent collision avoidance manoeuvres, Annual Reviews in Control 36 (2012) 267–283

[2] P. Krishnamurthy ve F. Khorrami (2011), A Hierarchical Control and Obstacle Avoidance System for Unmanned Sea Surface Vehicles, 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC)

[3] Aveek K. Das, Rafael Fierro, Vijay Kumar, James P. Ostrowski, John Spletzer ve Camillo J. Taylor (2002), A Vision-Based Formation Control Framework, IEEE Transactions on Robotic and Automation, Vol. 18, No. 5

[4] Michael R. Benjamin, Henrik Schmidt, Paul M. Newman ve John J. Leonard (2010), Nested Autonomy for Unmanned Marine Vehicles with MOOS-IvP, Journal of Field Robotics 27(6), 834–875

[5] (2006) VR-Forces Developer's Guide, MAK Technologies

[6] (2011) VR-Forces The Complete Simulation Toolkit, MAK Technologies.

LABVIEW TABANLI PID VE BULANIK MANTIK DENETİMLİ DENİZALTI DERİNLİK KONTROL SİMÜLATÖRÜ

Mehmet EKİCİ[(a)], Hakan Kahveci[(b)], A. Sefa AKPINAR[(c)]

[(a),(b),(c)] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Trabzon,

[(a)] mehmet.ekici@ktu.edu.tr, [(b)] hknkahveci@ktu.edu.tr,[(c)] akpinar@ktu.edu.tr

ÖZ

LabVIEW (Laboratuary Virtual Instruments For Engineering Workbench) akademik ve endüstriyel uygulamalarda popüler simülasyon programlarından biridir. Denizaltı derinlik kontrol simülatörü için LabVIEW yazılımı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, Denizaltını deniz seviyesinden aşağıda belirli bir referans derinlikte tutmak için ana denetleyici olarak Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) gerçekleştirildi. İkincil denetleyici olaraktan PID (Proportional Integral Derivative) kullanıldı. PID ve BMD'nin denizaltı sistemine olan etkisi araştırılmıştır ve iki denetleyici arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Deniz altı aracının referans derinliğe oturma süresi ve aşma ölçüt olarak alınmıştır. Tasarlanan sistemin kararlılık analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bulanık mantık denetleyicinin sisteme olan etkisinin PID denetleyicinin etkisine göre daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık; Denizaltı; Kontrol; LabVIEW; PID; Simülatör.

LABVIEW BASED A SUBMARINE DEPTH CONTROL SIMULATOR WITH PID AND FUZZY CONTROLER

ABSTRACT

LabVIEW (Laboratuary Virtual Instruments For Engineering Workbench) is one of the popular simulation program in the academic and industrial applications. In this paper, online simulator for the depth control of a submarine has presented. In order to keep the submarine at a certain level below the sea surface, a fuzzy logic controller (FLC) as a major control unit was designed and employed with Labview Control Design and Simulation Toolkit. Also comparison between fuzzy logic (FL) and PID controlled system was presented. Simulation results show that system has better settling time and no overshoots with FLC.

Keywords: Fuzzy Logic; Submarine; Control; LabVIEW; PID; Simulator;

1. GİRİŞ

LabVIEW(Laboratory for Virtual Instrumentation Engineering Workbench) National Instrument firmasının grafiksel programlama dili olarak bilinen yazılımıdır [1]. Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ile birlikte, geleneksel kontrol sistemlerinin simülasyonlarının dezavantajları ortaya çıkmaya başladı. LabVIEW yazılımını kontrol sistemlerini tasarlamada kullanmak sadece donanım maliyetlerini azaltmakla kalmadı aynı zamanda kontrol yöntemlerini mühendislik uygulamalarında eğitimi ve öğrenmeyide kolaylıkla gelişmesine sebeb oldu. Günümüzde, görsel programlama dilleri bilimsel hesaplama, süreç denetimi, araştırma ve geliştirme, endüstriyel uygulama faliyetlerinide önemli ölçüde kolaylaştırmıştır. Grafiksel programlama dili olarak LabVIEW esnek bir proramlama mimarisine sahiptir. Mühendislik uygulamaları için geniş bir kütüphaneye sahip olmasıyla gerçek dünyadaki anolog işaretleri DAQ (Data Aqusation) arayüzlerini kullanarak bilgisayar ortamına taşımanızı ve bu işaretleri işlemenizi kolaylaştırmaktadır.

Denizaltı derinlik kontrolü ve modelleme üzerine araştırmacılar çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Mality yaptığı çalışmada denizaltı derinlik simülatörü gerçekleştirmiştir. Çalışmasında oransal denetleyicinin sistem üzerine etkisini incelemişitir [3]. Hao ve diğerleri, denizaltı derinlik konrolörü tasarımında hatadaki değişimi incelemek için yedi üyelik fonksiyonlu bulanık mantık denetleyici kullanmışlardır [4]. Guo ve diğerleri, yaptıkları çalışmada denizaltı derinlik kontrolörü için PD denetleyici kullanmışlardır [5]. Demirci, yaptığı çalışmada denizaltı derinlik kontrolü için dolaylı adaptif kontrol yöntemi kullanmıştır [6]. Özkop, yaptığı çalışmada bulanık mantık denetleyici için beş kurallı üyelik fonksiyonu kullanmış ve sistemin kararlılık analizlerini gerçekleştirmiştir.

Denizaltı referans derinliğie en kısa sürede ve en az osilasyon ile ulaşmalıdır.referans derinlik etrafındaki osilasyonlar denizaltı için ekstra basınç demektir. Bunu ortadan kaldırmak için denizaltının derinliği sürekli bir denetleyici tarafından kontrol edilmelidir.

Yapılan bu çalışmada, bir denizaltının LabVIEW tabanlı derinlik kontrol simülatörü gerçekleştririlmiştir. Denizaltı derinlik kontrolü için bulanık mantık denetleyici ve PID denetleyici kullanılmıştır. PID paremetreleri kullanıcı tarafından online olarak değiştirilebilmekte ve simulasyon esnasında sisteme etkisi izlenebilmektedir. Bulanık mantık denetleyici ve PID deneteleyicinin sistem üzerindeki etkileri araştırılmış ve kararlılık analizi yapılmıştır.

2. DENİZALTI SİSTEMİ

2.1. Sistemin Matematiksel Modeli

Denizaltının derinliğini temsil eden matematiksel model tranfer denklem şeklinde ifade edilmiştir. Denklem (2) de denizaltı sisteme ait transfer fonksiyonu yer almaktadır. Denklem (3) de sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu ifade edilmiştir.

Şekil 1. Kapalı - çevrim denizaltı derinlik kontrol sistemi

$$G1 = \frac{5}{s^2 + 9s + 25} \; ; \; G2 = \frac{1}{s} \; ; \qquad (1)$$

$$G3 = G1 * G2 = \frac{5}{s^3 + 9s^2 + 25s} \qquad (2)$$

Kapalı çevrim denizaltı kontrol sistemi Şekil 1'de gösterilmektedir. Eğer denetleyici kazancının K'ya eşit olduğunu düşünürsek sisteme ait kapalı çevrim transfer fonksiyonu denklem (3) deki gibi ifade edilebilir.

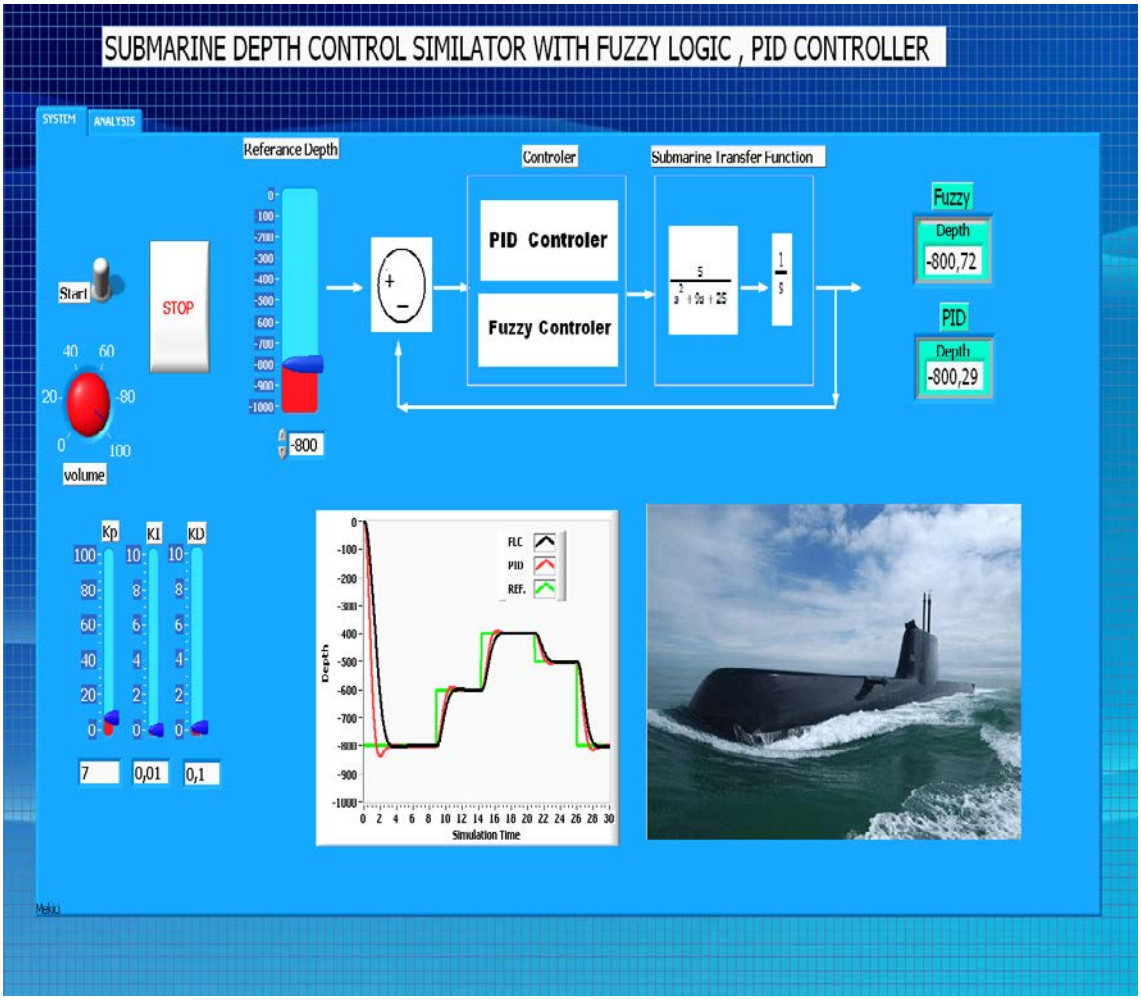
$$T.F(s) = \frac{K * G3}{1 + K * G3} = \frac{K * 5}{s^3 + 9s^2 + 25s + K * 5} \qquad (3)$$

Eğer K=1 kabul edersek sistemi sürekli durum modeli denklem (4) deki gibi ifade edbiliriz.

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_1(t)}{dt} \\ \frac{dx_2(t)}{dt} \\ \frac{dx_3(t)}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -9 & -6,25 & -1,25 \\ 4 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} . \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0,25 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} .u$$

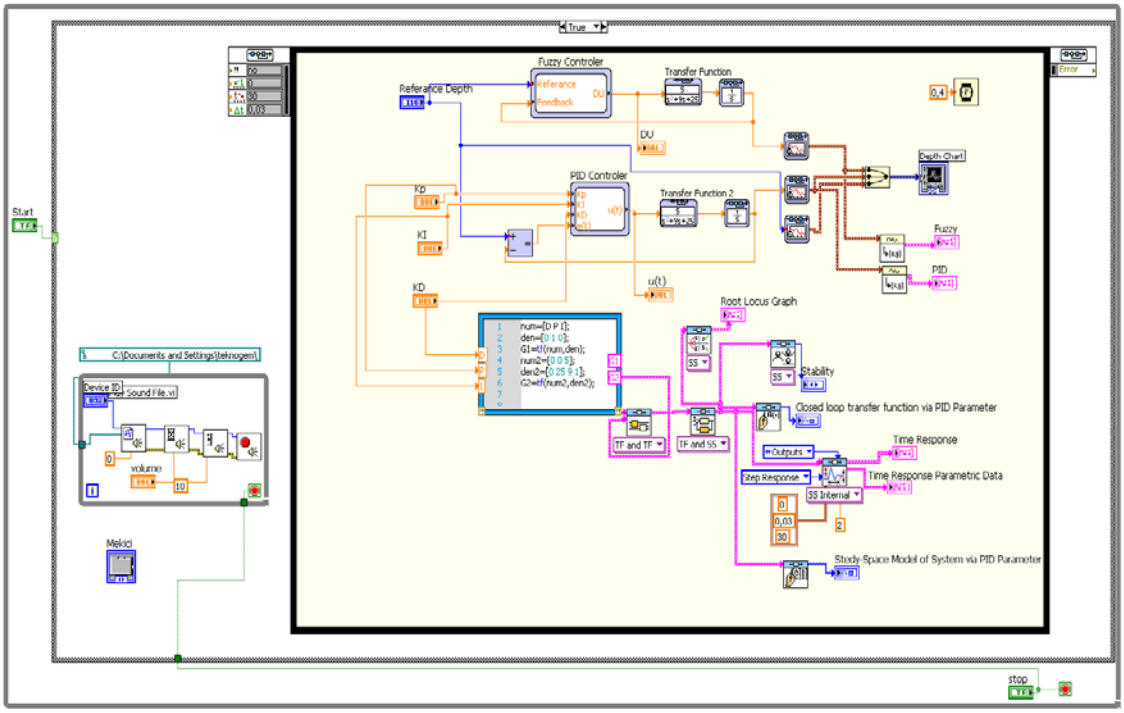
$$y = \begin{matrix} 0 & 0 & 5 \end{matrix} . \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \qquad (4)$$

2.2. Sisteme ait Ön Panel ve Blok Diyagramı



Şekil 2. Front Panel

Şekil 2'de sisteme ait ön panel görülmektedir. Ön panel üzerinde simülatör ile ilgili girdi ve çıktıları kontrol eden butonlar, göstergeler gibi nesneler yer almaktadır. Simülasyona ait referans derinlik , PID paremetreleri bu arayüzden ayarlanmaktadır. Sistemin denetleyicilere göre performansı bu arayüzdeki grafik göstergeden simulasyon zamanına göre izlenebilmektedir. Kullanıcı simülasyon esnasında parametrelere müdahale edebilmekte ve çıktılarını izliyebilmektedir. Sisteme , kullanıcının denizaltının içindeymiş gibi hissetmesi için sonar sesi eklenmiştir. Sonar ses kontrolüde yine bu arayüzden yapılabilmektedir. Front panel üzerindeki grafik göstergeden sistemin performansı bulanık mantık denetleyici ve PID denetleyiciye göre eş zamanlı izlenebilmektdir. Sayısal göstergelerden de bulanık mantık ve PID denetleyicilere göre anlık derinlik düzeyi izlenebilmektedir.



Şekil 3. Blok Diyagram

Şekil 3'de sistemin blok diyagramı yer almaktadır. LabVIEW de blok diyagramda grafiksel kaynak kod yer almaktadır. Ön paneldeki nesnelere ait terminaller block diyagramda görülmektedir. C dilindeki gibi algoritma blok diyagram arayüzünde kod haline getirilir .Denizaltı sistemine ait kapalı çevrim transfer fonksiyonu, PID ve bulanık mantık denetleyicileri ve kararlılık analiz fonksiyonları bu arayüzde yer almaktadır. Simulasyon süresi 30 sn, ODE çözücü Runga-Kutta 3 ve adım boyutu 0.03 sn olarak alınmıştır.

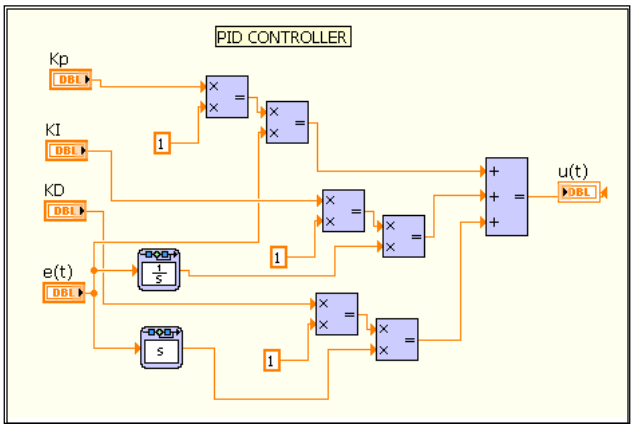
2.3. PID Denetleyici Tasarımı

Şekil 4'de sistem için tasarlanan PID denetleyici görülmektedir. PID parametreleri Kd, Ki, Kp değerleri simulasyon esnasında kontrol edilebilmektedir. PID paremetreleri hatayı (e) hesaplayabilmek için referans değeri (SP) ile süreç değişkenini (PV) karşılaştırırlar.

$$e = SP - PV \qquad (5)$$

Denetleyici kazancı Kc sayesinde kontrol çıkışı U(t) hesaplanır.

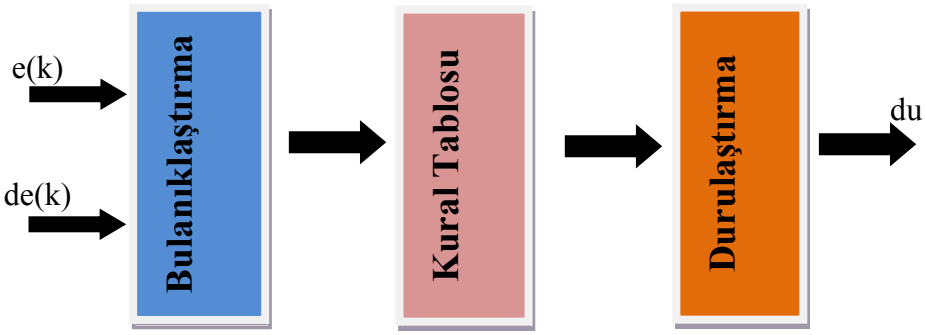
$$u(t) = K_c e + \frac{K_c}{T_i}\int_0^t e dt + K_c T_d \frac{de}{dt} \qquad (6)$$



Şekil 4. PID Denetleyici

2.4. Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)

Bulanık mantık denetleyici üç bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden ilki kesin değerlerin bulanık değerlere dönüştürüldüğü bulanıklaştırıcı bölümü, ikinci olarak bulanık değerlerin kurala işlendiği kural tabanı bölümü ve üçüncü ve son bölüm olan bulanık sonucun kesin sonuca çevrildiği durulaştırıcı bölümüdür [8]. Kontrol hatası e(k) ve bu hatanın bir örnekleme sürecindeki değişimi olan de(k) bu iki boyutlu uzayın temel elemanlarıdır. Şekil 5'de bulanık mantık denetleyicinin basit yapısı görülmektedir.



Şekil 5. Bulanık Mantık Denetleyicinin basit yapısı

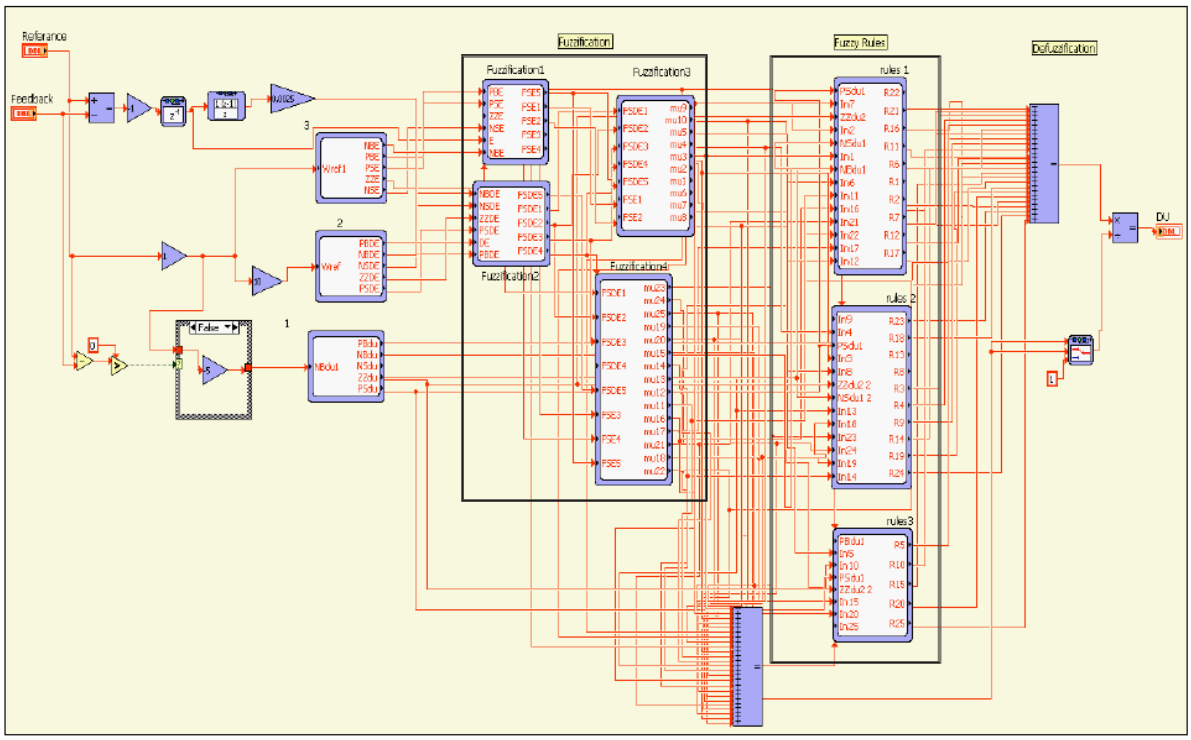
Bulanık mantık denetleyicide değişkenler kural tablosunda temsil edilebilir.
Çizelge 1'de bu kuralların birkaçı gösterilmiştir. Kural tablosu, karar verme aşamasını ve kontrol eylemini temsil eder. Kural işleme bölümü bulanık mantık denetleyicinin ikinci kısmıdır. Kural yazılımı ise genel olarak şu şekilde ifade edilir;

EĞER e; A **VE** de; B **İSE** du; C' dir.

A, B ve C parametreleri NB, NS, ZZ, PS ve PB nin yerine kullanılmıştır.Kural tabanı 25 kuraldan oluşmaktadır. (NB: Negatif Büyük, NS: Negatif Küçük, ZZ: Sıfır, PS: Positif Küçük, PB: Positif Büyük). Bu modelde üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 6'da LabVIEW de hazırlanan üçgen üyelik fonksiyonları, bulanıklaştırma, kural tabanı ve durulaştırma bölümleri görülmektedir.

Çizelge 1.Bulanık Kural Karaverme Tablosu

		Δe				
		NB	NS	ZZ	PS	PB
e	PB	ZZ 1	PS 2	PS 3	PB 4	PB 5
	PS	NS 6	ZZ 7	PS 8	PS 9	PB 10
	ZZ	NS 11	NS 12	ZZ 13	PS 14	PS 15
	NS	NB 16	NS 17	NS 18	ZZ 19	PS 20
	NB	NB 21	NB 22	NS 23	NS 24	ZZ 25



Şekil 6. Bulanık Mantık Denetleyici (Bulanıklaştırma,Kural Tabanı,Durulaştırma)

Şekil 6'da tasarlanan denetleyici bir alt sistem bloğu olarak sisteme entegre edilmiştir.

3. SONUÇ

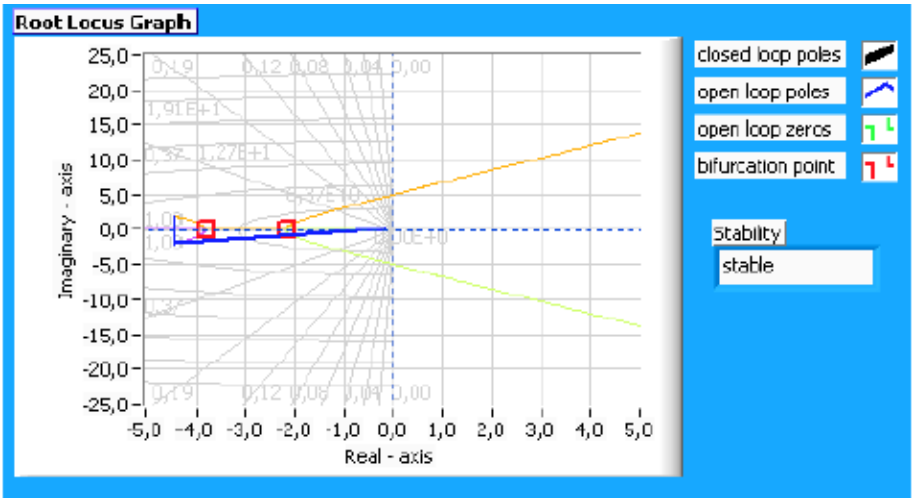
Bu çalışmada PID ve BMD ile denizaltı derinlik kontrol simülatörü tasarlanmıştır. PID ve BMD nin sistem üzerine etkisi araştırılmıştır. Denizaltının belirlenen referans derinliğe ulaşmasında P.O (yüzde aşma), Ts (oturma süresi) ve Es (Sürekli durum hatası) kriter olarak alındığında denetleyicilerin türüne göre farklı sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 2. PID denetleyici etkisi (PO, Ts, Ess)

P I D	P I D	P I D	P I D	P I D
3-0.01- 0.2	4-0.01- 0.3	5-0.01- 0.1	6-0.01- 0.1	7-0.01- 0.1
P.O. 0	0	0	%1.8	%4.48
Ts 6s	5s	4.6s	4.2s	4s
Ess %0.55	%0.32	%0.20	%0.14	%0.10

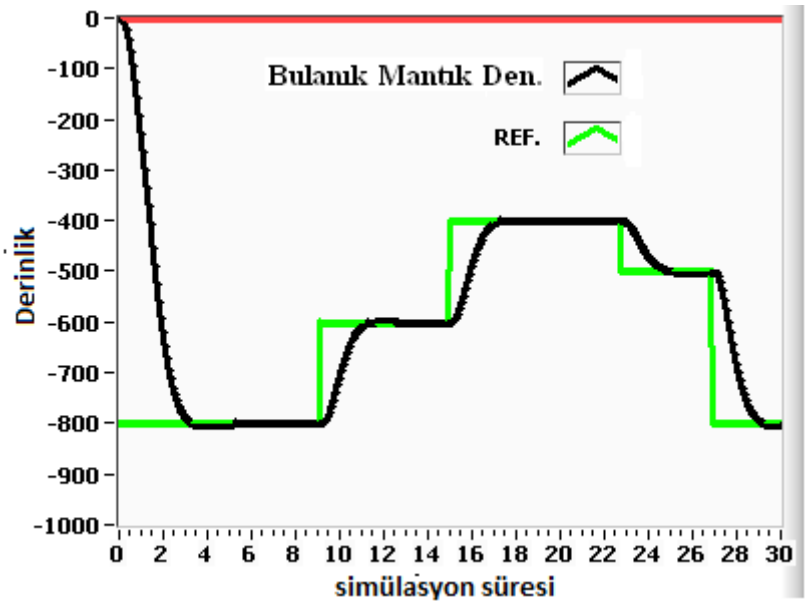
Çizelge 3. BMD nin etkisi (PO, Ts, Ess)

Bulanık Mantık Den.	
P.O.	0.16
Ts	4s
Ess	0

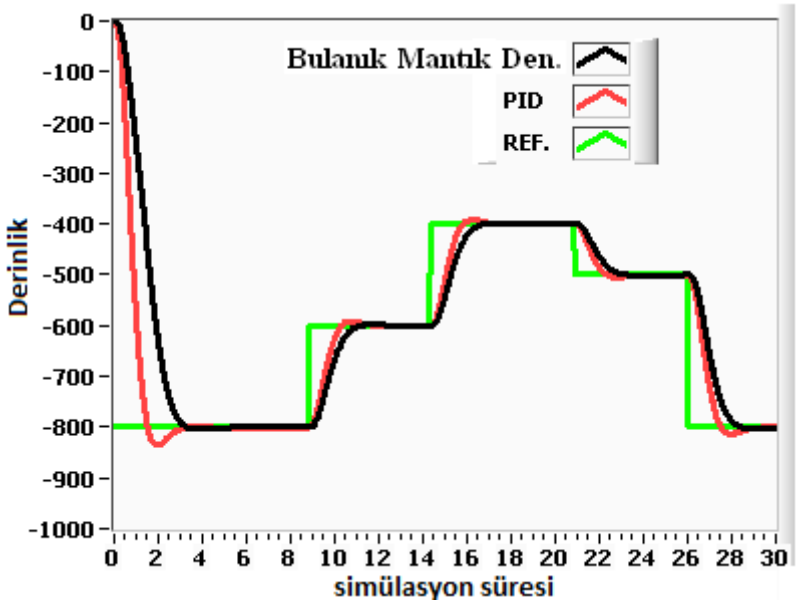


Şekil 7. Sisteme ait kök-yer ve kararlılık eğrisi

Sistemin kök-yer eğrileri Şekil.7'de görülmektedir. Sistemin kararlılık analizi yapılmış ve sistemin kararlı olduğu görülmektedir.



Şekil 8.(-800m,-600m,-400m,-500m) Referans derinlik için BMD'nin Etkisi



Şekil 9.(-800m,-600m,-400m,-500m) Referans derinlik için BMD ve PID dentleyici etkisi

PID denetleyicinin sisteme etkisi Çizelge.2'de gösterilmiştir. PID için Kp=5, Ki=0.01, Kd=0.1 değerleri için en iyi sonuç elde edilmiştir. BMD ve PID denetleyicilerin sistem üzerine etkileri karşılaştırıldığında BMD nin daha iyi sonuç verdiği Şekil 9'dan gözlenebilmektedir.

4. KAYNAKÇA

[1] X. Xuejun et. All ‘’Real-time Digital Simulation of Control System with LabVIEW Simulation Interface Toolkit’’ Proceedings of the 26th Chinese Control Conference pp. 319-322, July 26-31, 2007

[2] P. Thepsatom et. All, “DC Motor Speed Control using Fuzzy Logic based on LabVIEW” SICE-ICASE International Joint Conference, pp. 3617-3620, Oct. 2006

[3] http://www.facstaff.bucknell.edu/mastascu/eControlHTML/Problems/ThemeProblems/Submarines/Submarine3Ord1.htm

[4] Yangling Hao,Donghui Shen and Zhilan Xiong, ".Design of Submarine Near Surface Depth controller", Procedding of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automaion, , Hangzhou, P.R. China, 4530-4533, June 2004

[5] Yang Gao, Meng Joo Er,"An Intelligent Adaptive Control Scheme for Postsurgical Blood Pressure Regulation", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 16, No. 2, 475-483, March 2005.

[6] Ufuk Demirci, Feza Kerestecioğlu, "Active Reconfigurable Control of a Submarine with Indirect Adaptive Control", 0-933957-30-0 IEEE, 2491-2495, 2003

[7] Emre Ozkop,Bulanık Mantık Denetleyici ile Denizaltı Derinlik Kontrolü (2005), TOK 2005

[8] İsmail H. Altaş, "A fuzzy logic controlled tracking system for moving targets," Proceeding of the 12 th IEEE, International symposium intelligent control, Istanbul-TURKEY, 16-18 july 1997

[8] http://www.ni.com

[9] http://www.ni.com/white-paper/7565/en

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA ETKİLİŞİMLERİN HAD İLE İNCELENMESİ

Erhan Turan [(a)], Can Özcan [(b)]

[(a)] Akro Mühendislik Ltd., GOSB Teknopark Gebze / Kocaeli,
erhan.turan@akromuhendislik.com

[(b)] Akro Mühendislik Ltd., GOSB Teknopark Gebze / Kocaeli,
can.ozcan@akromuhendislik.com

ÖZ

Bu makalede örnek bir insansız hava aracı (İHA) tasarımı, açık kaynak kodlu ve ticari hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımları ile benzetilerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Benzetimler, 3 boyutlu tüm uçak modeli üzerinde Reynolds ortalamalı Navier-Stokes (RANS) çözümlemeleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca açık kaynak kodlu yazılım kullanılarak, iki İHA arasındaki etkileşim çeşitli konfigürasyonlarda incelenmiştir. Araçların aerodinamik performans özellikleri çıkartılmıştır. Son olarak, açık kaynak kodlu akışkan yazılımının güvenilirliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akışkanlar Mekaniği, HAD, İHA, OpenFOAM, RANS

AN INVESTIGATION OF INTERACTIONS ON UNMANED AERIAL VEHICLES

ABSTRACT

In this article, design of a representative unmanned aerial vehicle is compared by means of open source and commercial Computational Fluid Dynamics (CFD) packages. The Simulations are performed on 3D full body models using Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) equations. In addition, various configurations of two UAV's are investigated using the open source solver. The aerodynamic performance of the planes is extracted. Finally, the validity and reliability of the open source package is investigated.

Keywords: CFD, Fluid Mechanics, OpenFOAM, RANS, UAV

1. GİRİŞ

İkinci dünya savaşının patlak vermesi ile dünya tarihinde önemli bir yer tutmaya başlayan havacılık, o günden bu güne sayısız değişiklik geçirdi. Son yıllarda yaşadığımız en büyük gelişme ise bu hava araçlarının artık pilotsuz bir biçimde uçurulabiliyor olması. Güvenlik kaygıları ile insan taşıyan ticari uçaklar halen üzerlerindeki pilotlar ile uçmaya uzun bir süre daha devam edecek. Öte yandan, olası bir askeri operasyonda en fazla riske maruz kalan savaş pilotlarının hayatları, insansız hava araçlarının (İHA) ortaya çıkması ile daha fazla korunabilecek. Günümüzde insansız hava araçları öncelikleri olan gözlem ve izleme görevleri dışında artık taktik saldırılarda da kullanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, farklı boyutlarda farklı amaçlarla üretilen bu araçların aerodinamik açıdan incelenmeleri büyük önem arz etmektedir. Yaptığımız çalışmanın asıl hedefi, İHA'ların hali hazırda herkesin erişimine açık olan Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programları ile incelenmesidir.

Lisanslı paket programların kullanılması, geliştirici firmaların yıllardır edindikleri tecrübeleri yansıtmaları ve de endüstrinin ve akademinin ihtiyaçlarını karşılayabilmiş olmaları açısından güven vericidir. Teknik destek hizmetini ücretli bir sistem dahilinde sağlayabilmektedirler. Ayrıca gelişmiş bir kullanıcı altyapısı olduğu için, şirket harici kaynaklardan da sorunların çözümüne yönelik saptamalarda bulunmak mümkündür. Lakin, ticari yazılımların önemli dezavantajları da vardır. Sorunların başında, bu programların ücret karşılığı kullanılıyor olmasıdır. Her ne kadar akademik çevreler için büyük indirimler[1] söz konusu olsa da özellikle Ar-Ge konusunda çalışan firmalar için bu meblağlar önemli bir külfet sayılmaktadır. İlk satın alınmaya ek olarak, her sene teknik desteğin devamı niteliğinde, firmadan firmaya değişiklik gösterse de, ortalama olarak lisans için ödenen ücretin %20'si mertebesinde yenileme lisansı da istenmektedir. Parallel bir simülasyon yapılmak istenildiğinde programların lisansları çok daha pahalı olmaktadır; bu oran kullanıcı sayısına göre lisanslandırma işlemi ile paralellik göstermektedir. Bütün bunlara ek olarak, program içinde sunulan çözüm yöntemlerinde ve seçeneklerinden başkasının uygulanması, kaynak kodunun kullanıcılara açılmaması nedeni ile kısıtlı kalmaktadır.

Tüm bu sorunlar ışığında, ticari paketlerle aynı mertebede başarı sağlayacak fakat yukarıda sıralanan kısıtlamalardan yoksun bir açık kaynak kodlu yazılımın varlığı önem arz etmektedir. OpenFOAM yazılımı yukardı bahsi geçen noktalarda sunduğu çözümlerle iyi bir örnek oluşturmaktadır. Esneklik sağlayan tasarımı, aynı zamanda yeni çözücülerin uygulanmasını ve ana program ile aynı hızda çalıştırılmasını olanaklı

[1] Kullanılan programların ya özellikleri sınırlanmıştır ya da programı kullanan öğrenciler endüstri için çalışmaya başladıklara zaman aynı programa ihtiyaç duyduklarından yeni satın alımlar devam edecektir.

kılmaktadır. Ayrıca, OpenFOAM geniş bir kullanıcı alt yapısına sahip olduğundan, analizinde sorun yaşayanlar için önemli çözümler sunmaktadır. İşte bu açıdan bakıldığında, bir ticari yazılım karşısında OpenFOAM programının kullanımı çok önemlidir. Bu vesile ile, bir örnek model seçilip 2.bölümde anlatılan uygun akış koşullarında incelenmiştir. 3. bölümde, ayrıntıları verilen geometrinin bilgisayar uygulaması konusu ele alınmıştır. Daha sonra ise elde edilen verilen incelenmiş ve sonuçların tartışılmıştır.

2. PROBLEM TANIMI

Türbülanslı akışkanların modellenmesi için DNS, LES, RANS gibi çeşitli yöntemler mevcuttur [1]. Bu problemde, Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılmıştır. Türbülanslı akışlar için ilk akla gelen yöntemlerden biri olan RANS metodunun, sıkıştırılamaz akışkanlar için zamandan bağımsız denklemleri aşağıda verilmiştir [2]. u_j hız bileşenlerini; ρ yoğunluğu, p basıncı, τ stress değerini, T sıcaklığı, c_p spesifik ısı sabitini, k iletkenliği, Φ ısı kaybını ve de x_j yönleri belirtmektedir. Değişkenler üzerindeki $\bar{}$ ise ortalama değerleri simgelemektedir.

$$\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j\right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\bar{\tau}_{ij} - \rho \overline{u_i' u_j'}\right) \tag{2}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho c_p \overline{T}\,\bar{u}_j\right) = \bar{u}_j \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_j} + \overline{u_j' \frac{\partial p'}{\partial x_j}} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - \rho c_p \overline{T' u_j'}\right) + \bar{\Phi} \tag{3}$$

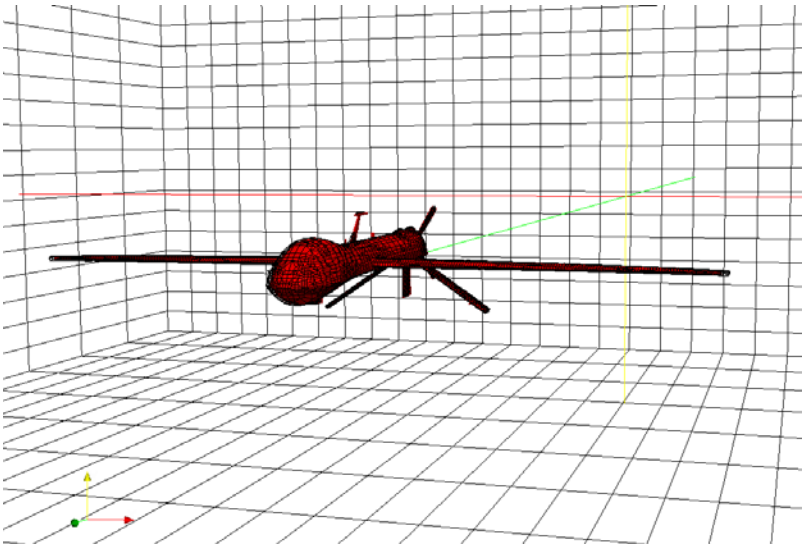
2.1. Türbülans modeli

RANS denklemlerinin kapatılabilmesi için, ek denklemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Seçilen modele göre, birinci ya da ikinci seviyede kapanışlar tercih edilebilse de en fazla kullanılan yöntemler, birinci seviyedeki kapanışlarda 0-2 denklemli yaklaşımlardır [1]. Bu yaklaşımlar, sisteme katılan yeni bilinmeyenlerin sayısına göre sınıflandırılmıştır. En sık kullanılanlar, $k-\varepsilon$ ve $k-\omega$ olarak sayılabilir. Bu çalışmada $k-\varepsilon$ metodu tercih edilmiştir. k değeri, türbülans kinetik enerjisini ve ε değeri ise türbülansın yitim oranını simgelemektedir. Standart $k-\varepsilon$ modeli aşağıdaki gibi verilebilir. Denklemlerdeki diğer değişkenlerin ayrıntıları [3]'te verilmiştir.

$$\nabla \cdot (\rho k u) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \nabla k \right) + 2\mu_t S_{ij} . S_{ij} - \rho \varepsilon \tag{4}$$

$$\nabla \cdot (\rho \varepsilon u) = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \nabla \varepsilon \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} 2\mu_t S_{ij} . S_{ij} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{5}$$

2.2. Örnek Model



Şekil 1. İHA Modeli

Bu analiz için, ABD yapımı olan MQ-1 Predator İHA aracı benzeri bir geometri üzerinde çalışılmıştır [4]. En fazla kullanılan İHA'lardan olan MQ-1 ile ilgili bazı ölçüler Tablo 1 de verilmiştir. Geometri gerçeğine yakın bir şekilde kullanılmış olsa da, tamamen aynı ölçü kullanımından kaçınılmıştır. Ayrıca, orijinal araçta bulunan mühimmat geometriden silinmiş ve bazı küçük ayrıntılar da şekilden temizlenmiştir. Aracın tipik seyahat hızı 36-46 m/s mertebesindedir. Bu çalışmamızda, 40 m/s'lik bir uçuş hızı uygun görülmüştür. Ayrıca 5^o atak açısı ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu uçuş koşullarında, sıkıştırılamaz akış koşulları sağlandığı için denklemler ona göre seçilmiştir.

Tablo 1. İHA Ölçüleri

Uzunluk	9.5 m
Yükseklik	2.8 m
Kanat genişliği	16.8 m
Kanat alanı	16.5 m^2

3. HESAPLAMA METODU

Test modeli olarak seçilen MQ-1 insansız hava aracının modellenmesi için Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemleri kullanılmıştır. Sıkıştırılamaz hava kabulü ile gerekli çözümün sağlanması için OpenFOAM programı seçilmiştir [5]. Açık kaynak kodu (Open Source) mantığı ile hazırlanmış olan bu program içinden simpleFOAM adlı çözücü kullanılmıştır. Hesaplamalar zamandan bağımsız olarak verilmiştir.

3.1. OpenFOAM

3.1.1. Çözücü

Akış alanının elde edilmesi için, OpenFOAM içindeki "simpleFOAM" çözücüsü kullanılmıştır. Bu çözücünün özelliği, zamandan bağımsız sıkıştırılamaz türbülanslı akışları modelleyebilmesidir. OpenFOAM, doğası gereği her analizde, zamana bağlı çözümler üretse de, problemin doğasına bağlı olarak zamandan bağımsız bir çözüm sağlamak için zaman aralıkları ile oynayarak hızlı bir sonuç elde edilmesini sağlar.

3.1.2. Verilerin değerlendirilmesi

Çözüm alanın görsel bir şekilde incelenmesi için ParaView programı kullanılmaktadır [6]. OpenFOAM içinden, "paraFOAM" komutu ile açılan bu program, sonuçları otomatik olarak ekrana yansıtarak yorumlamaya yardımcı olur.

3.2. Ticari Program

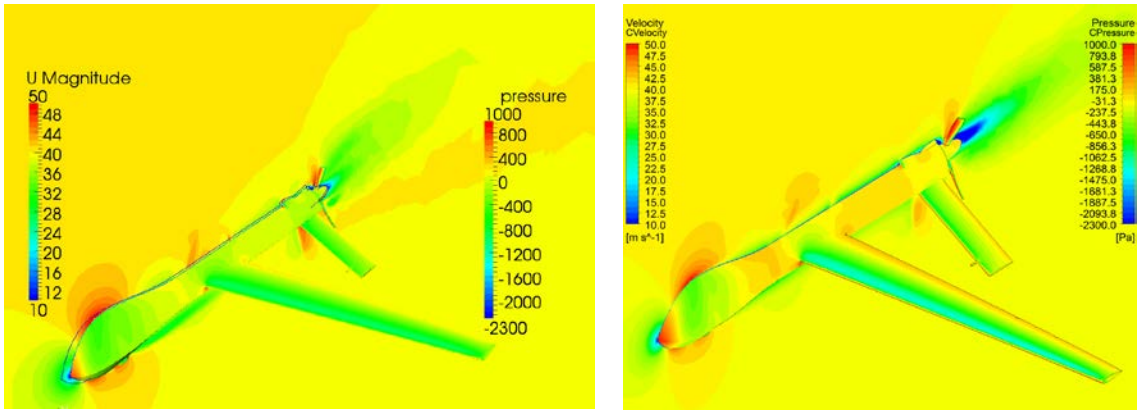
Sonuçların karşılaştırılması için, lisans karşılığı kullanılabilen bir ticari akışkanlar dinamiği programı da kullanılmış ve benzer koşullar ile simülasyonlar yapılmıştır.

4. SONUÇ

Bu araştırmada 3 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. İlk senaryoda, İHA tek başına uçurulurken, ikinci ve üçüncü senaryolardan iki İHA tandem uçuşta simüle edilmiştir. Sonuçlar ticari bir yazılımın, OpenFOAM ile karşılaştırılması üzerinden tartışılmıştır. Tüm modellerde, 2. bölümde belirtildiği gibi 40 m/s'lik bir hız verilmiştir. Problemler 100x50x200 m^3lük bir çözüm alanında incelenmiştir. Daha geniş alanlar da çözüm de mümkündür. Alt üst ve yan sınırlara, simetri koşulları verilmiştir. Başlangıç olarak $k = 0.5$ ve $\varepsilon = 10$ olarak kabul edilmiştir. Hesaplamalar, İntel Core i7-3770 @ 3400 Mhz işlemcilerle 32 Gb sistem hafızası ile yapılmıştır. OpenFOAM uygulaması için Ubuntu 12.04 işletim sistemi kullanılmıştır. Ticari yazılım hesapları Windows 7 işletim sisteminde yapılmıştır.

4.1. Senaryo 1

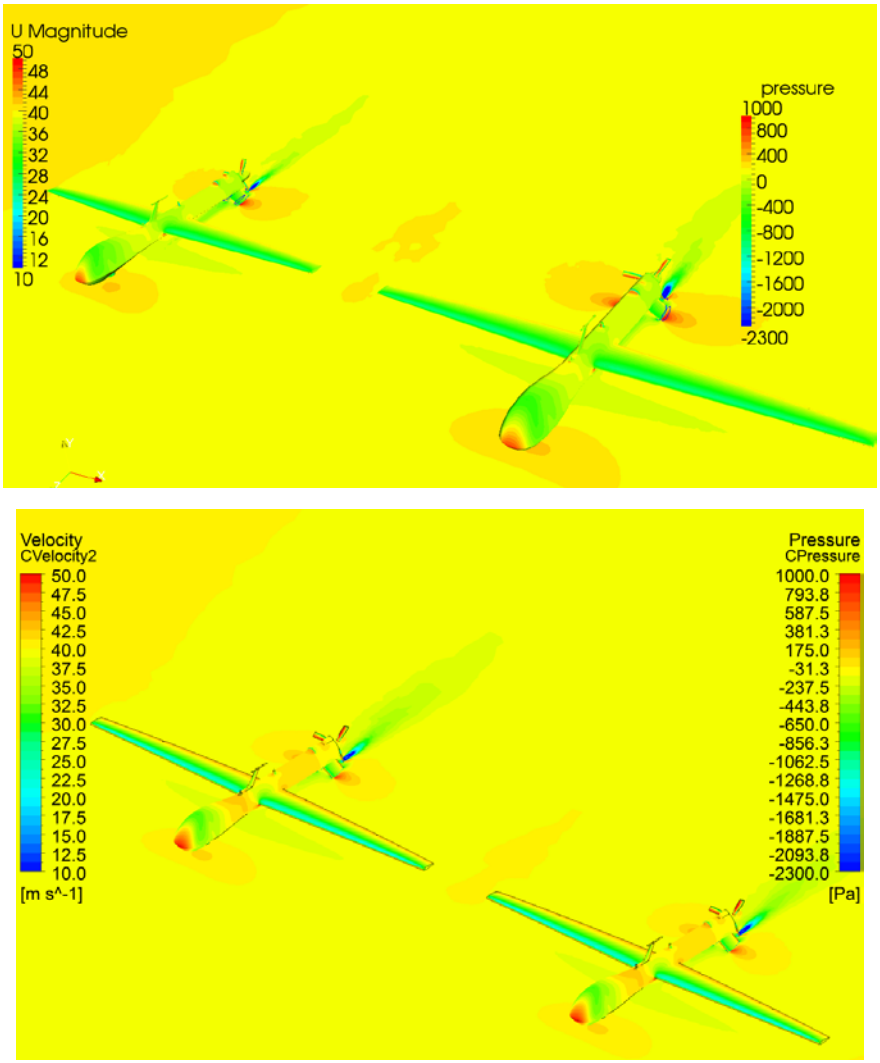
Bu senaryoda İHA tek başına uçmaktadır. Şekil 2'de, İHA üzerindeki basınç dağılımı ile, dik kesit üzerindeki hız dağılımı verilmiştir. Programlarda, $k-\varepsilon$ modelinin kullandığı parametrelerin ayarlanmasındaki ufak farklardan dolayı, aynı çözüm alanları elde edilmese de, çözümler birbirine çok yakındır. Kullanılan çözüm ağında 3.9 milyon adet sonlu hacim bulunmaktadır.



Şekil 2. Senaryo 1 için çözüm karşılaştırılması (sol: OpenFOAM, sağ: Ticari Yazılım)

4.2. Senaryo 2

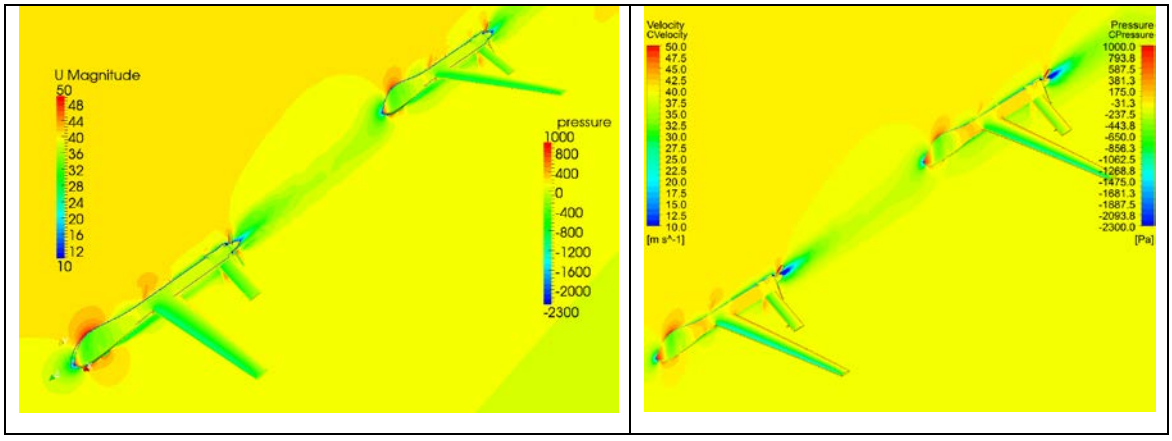
Üzerinde simülasyon yapılan ikinci senaryoda, iki İHA'nın merkezleri arasında tek İHA'lık alanın 20% daha fazla boşluk bırakacak şekilde yan yana uçmaları sağlanmıştır. Şekil 3'te de görüldüğü üzere, kanatlar arasında çok az bir mesafe vardır. Toplamda yaklaşık olarak 7.8 milyon adet sonlu hacim kullanılmıştır.



Şekil 3. Senaryo 2 için çözüm karşılaştırılması (üst: OpenFOAM, alt: Ticari Yazılım)

4.3. Senaryo 3

İkinci senaryodaki gibi, bu analizde de iki İHA birden simüle edilmiştir. Bu kez, ikinci İHA, birincinin arkasında bir noktaya konuşlandırılmış ve araya yine bir İHA'lık mesafede konuşmuştur. Elde edilen çözüm alanları Şekil 4'te verilmiştir. Yapılan karşılaştırmada iki çözümün birbirine benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu modelde de yine yaklaşık olarak 7.8 milyon sonlu hacim kullanılmıştır.



Şekil 4. Senaryo 3 için çözüm karşılaştırılması (sol: OpenFOAM, sağ: ticari yazılım)

Her üç senaryo için kaldırma ve engelleme kuvvetleri Tablo 2 de verilmiştir. Ticari yazılımın OpenFOAM'a göre farkları, Tablonun ikinci kısmında parantezler içinde verilmiştir. Görüldüğü üzere fark en fazla engelleme kuvvetlerinde ve %8 mertebesinde hesaplanmıştır. Kaldırma kuvvetlerinde çok uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2. Kaldırma kuvvetleri (KK) ve Engelleme kuvvetleri (EK)

		İHA 1		İHA2	
		EK (N)	KK (N)	EK (N)	KK (N)
Ticari Yazılım	Senaryo 1	913,8	8794,7	-	-
	Senaryo 2	908,5	8950,4	907,8	8956,3
	Senaryo 3	910,7	8830,2	895,1	7014,2
OpenFOAM	Senaryo 1	857,9 (%6)	8759,5 (%0)		
	Senaryo 2	839,9 (%8)	9072,1 (-%1)	839,9 (%7)	9072,1 (-%1)
	Senaryo 3	840,2 (%8)	8955,2 (-%1)	854,9 (%4)	7187,4 (-%2)

İki İHA'nın üstüste olacağı bir senaryo özellikle kullanılmamıştır zira gözlem görevi nedeniyle üzerlerinde kamera taşıyan İHA'ların birbirlerinin görüş açısını kapatacak bir şekilde uçmaları tarafımızdan ön görülmemiştir. Ayrıca, her ne kadar bu analizde göz önüne alınmamış olsa da, araçlarda bulunacak roket türü silahların atılması sırasında oluşacak kısmi düşüşün alttaki İHA'ya temas etmemesine hususu da ele alınmıştır.

Yapılan çalışmada, OpenFOAM programının ticari programlar kadar başarılı olduğu görülmüştür. Öte yandan, bir kullanıcı arayüzü olmadan çalışıyor olması ve Linux işletim sistemine ihtiyaç duyuyor olması, sadece orta ve ileri seviye araştırmacılar tarafından kullanılabilmesi hususunda kısıtlayıcıdır. Lakin, ticari programlara nazaran çok daha dik olan eğitim eğrisinin aşılmasıyla, araştırmacılara çok daha esnek ve lisans derdi olmayan bir çözüm sistemi ortaya koymaktadır.

HAD ile elde edilen sonuçlar, hele hele türbülanslı akışlarda, netice itibarı ile kesin doğru olarak kabul edilmemelidir. Fakat, akışın fiziğini anlamak açısından çok önemli bilgiler elde edilmektedir. Doğru mertebede çözüm elde edebildiğimiz bir problemin, açık kaynak kodlu bir program ile de sağlanıyor olması, araştırmacıları ticari yazılımların ortaya çıkardığı külfetten kurtaracaktır. Ayrıca bu tarz bir yaklaşım, dışa bağımlılığı da azaltacağından milli bir çözücünün de yaratılmasına, daha programlama odaklı bir analiz olacağından, katkı sağlayacaktır.

İlerideki çalışmalarda, İHA'nın arkasındaki pervanelerin de modellenmesi sağlanacaktır. Hareketli ve sabit çözüm ağının beraber çözülmesi ile açık kaynak kodlarının daha zor problemlerdeki başarısı test edilecektir. Yapılabilecek diğer bir çalışma ise, radar kesit alanının birden fazla İHA ile tertip edilen uçuşlarda irdelenmesi ve uygun bir uçuş konfigürasyonunun belirlenmesidir. Son olarak, paralel bilgisayarlarda hızlandırılmış benzetim çalışmalarının da yapılması planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Blazek, J. (2005), Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications, Elsevier: Amsterdam, Hollanda.

[2] Tannehill, J.C., Anderson, D.A. ve Pletcher, R.H. (1997), Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer, Taylor & Francis: Philadelphia, ABD.

[3] Versteeg, H.K., Malalasekera, W. (2007) An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method, Prentice Hall: Essex (İngiltere)

[4] MQ-1B Predator Fact Sheet. USAF. 2009.

[5] OpenFOAM, OpenFOAM Foundation, www.openfoam.org

[6] ParaView, Kitware Inc, www.paraview.org

TAŞINABİLİR BİR İNSANSIZ SUALTI ARACININ MEKANİK TASARIMI

Çağatay Hasan DOĞAN[(a)], Fırat Yılmaz CEVHER[(a)],
Emre EGE[(a,b)], Kemal LEBLEBİCİOĞLU[(a,b)]

[(a)] Desistek Robotik,ODTÜ Teknokent SEM-2 Binası A-3

{cagatay.dogan,firat.cevher,emre.ege,kleb}@desistek.com.tr

[(b)] ODTÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü; {eege, kleb}@metu.edu.tr

ÖZ

Taşınabilir insansız sualtı araçları, sualtı yapılarının incelenmesi, sualtı biyolojik araştırmaların yapılması, baraj araştırmaları, anlık görüntü ve fotoğraf alımı, kayıp arama gibi sivil ihtiyaçlar ile liman-güvenlik desteği, dalgıç desteği, boğulma-kaybolma vakaları ve kanıt araştırma gibi askeri ihtiyaçlar için kullanılabilecek çok maksatlı araçlardır. Kablo, sualtı aracı ve operatör konsolu olmak üzere üç temel birimden oluşmaktadır. Kablo, araç ve operatör konsolu arasındaki veri aktarımını ve güç iletimini sağlar. Operatör konsolu yardımıyla araç kontrol edilir ve araçtan gelen veriler gözlemlenir. Sualtı aracı elektronik ve mekanik olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bu bildiri, taşınabilir insansız sualtı aracının mekanik tasarım sürecini içermektedir. Aracı mekanik olarak tasarlarken belli kıstaslar göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan tasarım, aracın çalışacağı derinlikteki su basıncına dayanabilmeli, sürtünmeden doğan ve aracın hareketini engelleyecek yöndeki kuvvetleri azaltmalı, gerekli ekipmanları taşıyabilmeli, üretimi kolay olmalı, modüler olmalı ve kolay taşınabilmelidir. Belirtilen kıstasları sağlamak amacıyla araç üzerinde sanal ortamda stres, akışkanlar dinamiği analizi yapılmıştır. Buna ek olarak, araca uygulanan kaldırma kuvveti ve aracın ağırlığına bağlı olan denge hesaplaması yapılmıştır. Bu analiz sonuçlarının ışığında aracın nihai tasarımı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akışkan analizi, Denge hesaplaması, Mekanik tasarım, Stres analizi, Taşınabilir insansız sualtı aracı.

MECHANICAL DESIGN OF A ROV

ABSTRACT

Remotely operated underwater vehicles (ROVs) are multi – purpose vehicles that can be used for civilian purposes such as inspection of underwater structures, marine biology survey, inspection of dams, instant imaging, locating lost objects and for military purposes such as port security support, diver support, drowning victims and evidence search. They usually have three main parts such as tether, underwater vehicle and operator console. Communication and power transfer between operator console and underwater vehicle is done via tether. Operator console is used for controlling the underwater vehicle and monitoring data coming from sensors. The underwater vehicle can be divided into two sub-group such as electronics and mechanics. In this paper, mechanical design of the ROV is discussed. There are several criteria that should be considered during mechanical design. Firstly, the vehicle should resist water pressure depending on operation depth. Secondly, shape of the vehicle should be designed for reducing drag force. Next, it should have a capability for carrying external sensors or tools such as sonar, robot arm etc. In addition, easy-production, portability and modularity can be considered as other design criteria. Stress analysis and fluid dynamics analysis are done by using simulation environment in order to satisfy the criteria. Furthermore, balance calculation corresponding to buoyancy and weight of the vehicle is done. According to analysis results, the final design of the vehicle is obtained.

Keywords: Balance calculation, Fluid dynamics analysis, Mechanical design, Remotely operated underwater vehicle, Stress analysis

1. GİRİŞ

Taşınabilir insansız sualtı araçlarının tarihte ilk olarak kim tarafından geliştirildiği tam olarak bilinmese de günümüze gelene kadar büyük bir gelişime uğradığı ve günümüzde birçok alanda kullanıldığı bilinmektedir. Bu araçların kullanım alanlarını endüstriyel, askeri ve akademik/bilimsel olmak üzere üç ana başlığa indirgeyebiliriz. Petrol çalışmaları(boru hattı, petrol arama), platform kurma, montaj işlemleri, denizaltı kablo serme, bakım-onarım işlemleri gibi görevler endüstriyel uygulamalara örnek olarak verilebilir. Askeri açıdan bu araçlar günümüzde daha çok mayın arama/ yerleştirme ve istihbarat amaçlı kullanılmaktadır. Taşınabilir insansız sualtı araçlarının en yaygın kullanıldığı alan bilimsel çalışmalardır. Canlı ya da cansız objelerden örnek almak, gözlem yapmak, kayıt almak, anlık ya da sürekli ölçüm yapmak ve benzeri görevlerde bu araçlar kullanılır. Düşük maliyetli, kompakt ve küçük araçların yaygınlaşması ile bu araçların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu araçlar birbirlerini yakından ilgilendiren alt sistemler içermektedir. Dolayısıyla, öncelikle alt sistemlerle ilgili

kararlar alınıp daha sonra tüm sistem üzerinden gerekli modifikasyonlar yapılmalıdır. Alt bileşenleri sualtı aracı, kablo ve operatör konsolu olarak sınıflandırabiliriz. Bu çalışmada taşınabilir bir insansız sualtı aracının gövde tasarımı ele alınmıştır. Gövde tasarımında ilk olarak yurt dışında çeşitli üniversiteler, araştırma kuruluşları ve özel şirketler tarafından geliştirilmiş sualtı araçları incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda araçların benzer özellikler gösterdikleri görülmüştür. İlk olarak diğer araçlara benzer bir tasarım yapılmış ve o tasarım üzerinden yapılan analiz sonuçlarına bağlı olarak tasarım değiştirilmiştir. Yapılan analizler, stres analizi, akışkan dinamiği analizi ve denge hesaplamasıdır.

2. DIŞ GÖVDE TASARIMI

Yapılan literatür taramaları sonucunda en çok tercih edilen gövde şeklinin silindirik yapı olduğu görülmüştür [3]. Araçlar tek bir silindirden oluşabileceği gibi, birbirine bağlı birden fazla silindirik yapıdan da oluşabilir. Sualtı araçlarının en önem taşıyan özelliği sızdırmaz olmalarıdır ve taşınabilir sualtı araçlarının sızdırmazlık sağlanan bölümü ne kadar küçükse sızdırmazlık açısından o kadar güvenli olduğu söylenebilir [2]. Elektronik aksamın sorunsuz çalışabilmesi için sızdırmazlık son derece önemlidir. Aracın sızdırmazlığının büyük oranda lastik segmanlar yardımıyla sağlanması düşünülmektedir.

Gövdenin şekli ile ilgili olarak ortada elektronik kısmı barındıran ana silindir ve ana silindirin iki yanında iticilerin bulunduğu iki küçük silindir olması düşünülmüştür (Şekil 1). Aracın gövde tasarımı Solidworks adlı 3D modelleme programıyla yapılmıştır. İlk tasarım aracın Şekil 1'de görünen dış görünüşünü belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Şekil 1. Aracın dış görünüşü

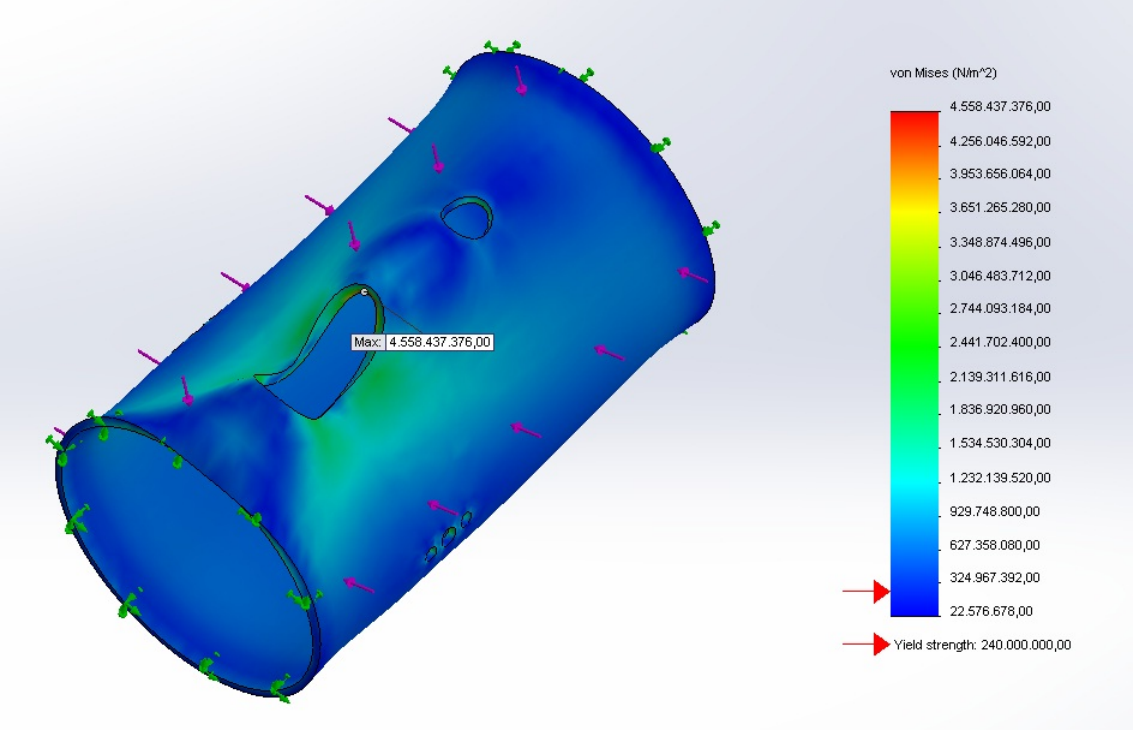
Tasarımın detayları yapılan analizler sonucu ortaya çıkmaktadır. Aracın istenilen derinlikte çalışabilmesi için o derinlikteki basınca dayanabilmesi şarttır. Sanal ortamda

yapılan testlere oranla gerçek test sonuçlarının güvenilirliği tartışılmazdır, fakat gerçek testler gerek mali yönden gerekse çok zaman alması yönünden ilk etapta tercih edilmemiştir. Yapılan analizler en kötü senaryo düşünülerek yapılmıştır.

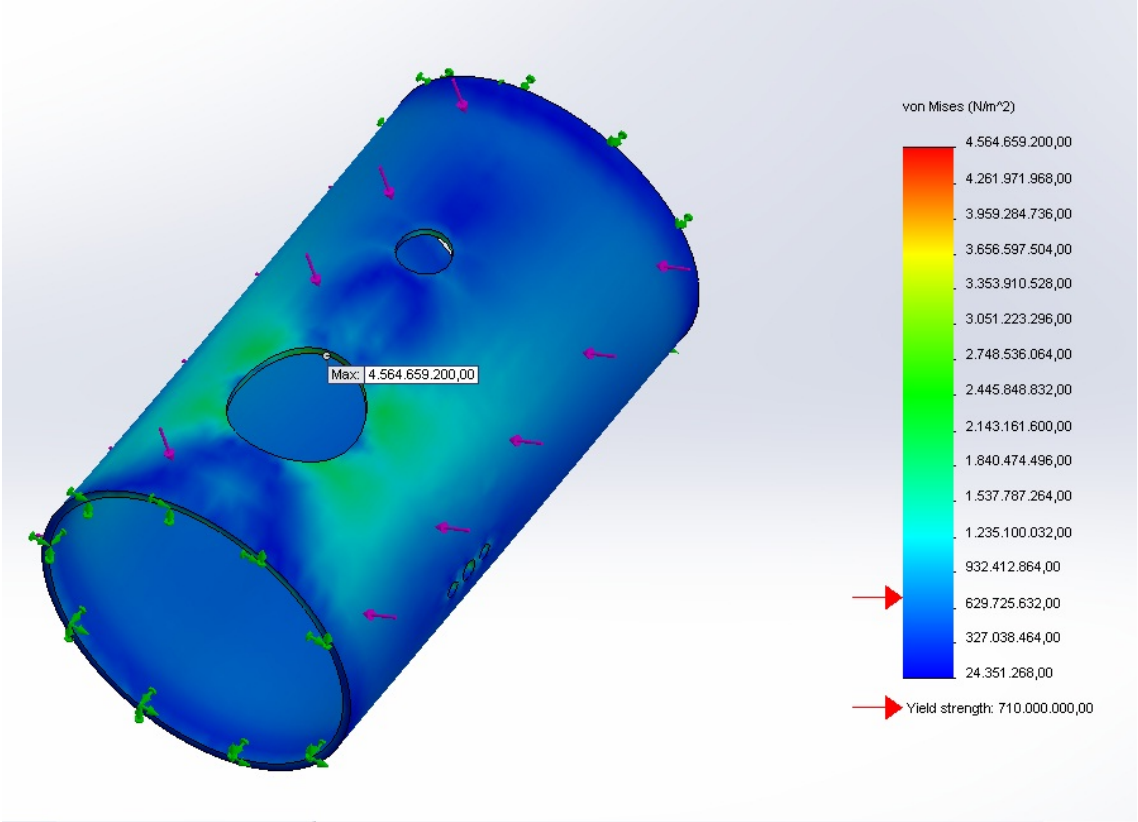
2.1. Stres analizi

Gövdenin stres analizi, aracın çalışması istenen maksimum derinlikteki basınca göre yapılmıştır. Basıncın etki ettiği her parçanın ayrı ayrı analizi yapılmalıdır. Örnek olarak ana silindirin stres analizi gösterilmiştir.

Bu analizin yapılmasının amacı gövdenin üretileceği malzemeyi seçmek ve silindir kalınlıklarını belirlemektir. Derinlik olarak 300 metre alınmıştır. Diğer parametreler sabit tutulup sadece malzeme çeşidine bağlı olarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2'de alüminyum(Al) 5052 malzemesinin 300 metredeki basınca bağlı olarak ana silindirdeki bozulma görülmektedir. Şekil 3'te AISI(American Iron and Steel Institue) 4340 çelikten yapılmış malzemenin stres analizi görülmektedir ve alüminyum 5052'ye göre şeklinde bir bozulma olmamıştır.



Şekil 2. Al 5052'nin 300 metredeki stres analizi sonucu



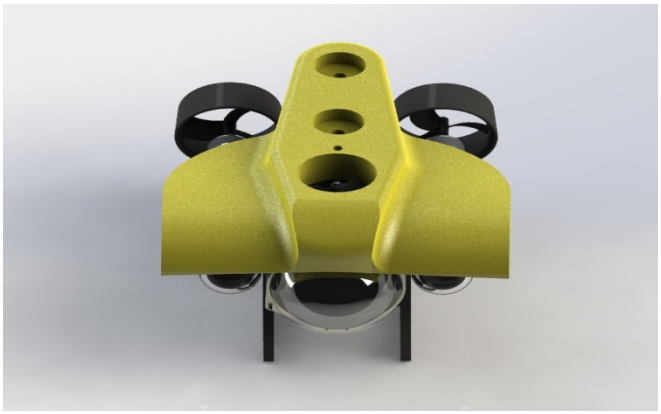
Şekil 3. AISI 4340'ın 300 metredeki stres analizi sonucu

Güvenlik katsayısının büyüklüğü dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Gövdenin üzerinde bulunan delikler stres konsantrasyonunu artıran etmenlerdir. Şekil 2 ve Şekil 3'ten de anlaşılacağı gibi bu bölgelere daha çok dikkat edilmelidir. Sekiz farklı malzeme çeşidi farklı kalınlıklarda test edilmiştir. Basınca dayanımı ve tedarik edilme kolaylığı göz önünde bulundurularak uygun kalınlık ve uygun malzeme seçimi yapılmıştır.

2.2. Akışkan dinamiği analizi

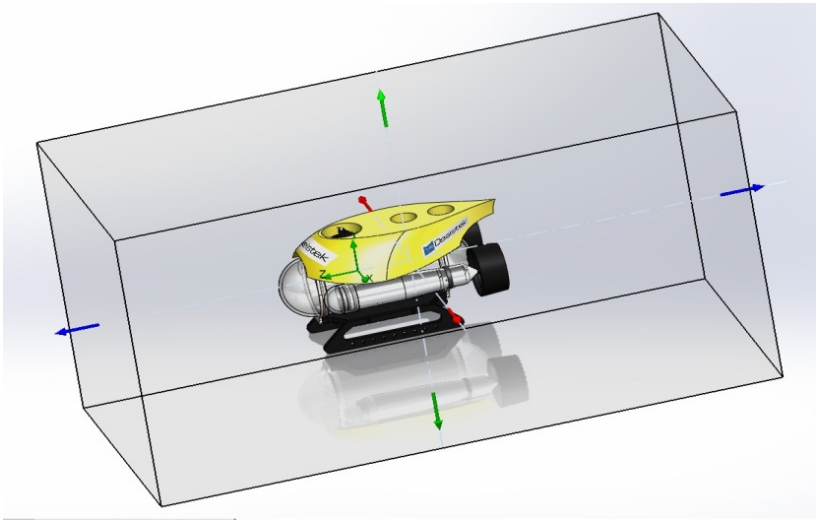
Gövde tasarımında söz sahibi olan bir diğer analiz akışkan dinamiği analizidir. Gövdenin, hidrodinamik açıdan araca uygulanan karşı kuvvetleri azaltacak bir şekle sahip olması gerekmektedir [3]. Yapılan literatür araştırmaları silindirik ve eliptik yapıların hidrodinamik açıdan daha uygun olduğunu göstermektedir [4]. Üretim kolaylığı yönünden silindirik yapı tercih edilmiştir. Model ve analiz için Solidworks programı kullanılmıştır.

Bu analizde gövdenin yanı sıra kullanılan modülün de önemi büyüktür [2]. Sürüklenme kuvvetini en aza indirmek için çeşitli şekillerdeki modüller kullanılarak araç üzerinde analiz yapılmıştır. Şekil 4, modül çeşitlerinden bir tanesine örnektir.



Şekil 4. Modül çeşitlerinden bir örnek

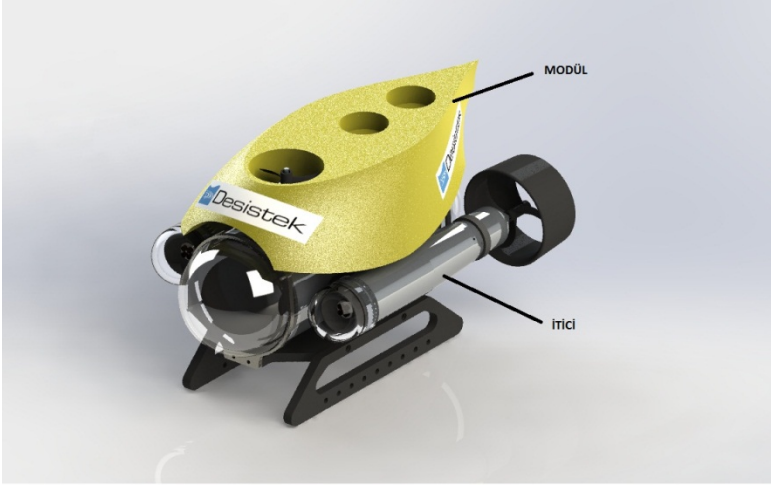
Türbülans modeli olarak K-epsilon modeli kullanılmış ve enerji denklemleri kullanılmamıştır [5]. Analiz için Şekil 5'te görünen çözüm hacmi kullanılmış ve sınır koşul olarak 2m/s'lik akış verilmiştir. Farklı modüller kullanılarak yapılan analiz sonuçları değerlendirilmiş ve sürüklenme kuvvetine en az katkıyı yapan modül seçilmiştir. Şekil 5'te de görünen bu modül uçak kanatlarından esinlenilerek tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yaklaşık 27 N (2.76kgf) karşı kuvvet araca etki etmektedir. Dış tasarım karmaşıklaştıkça bu karşı kuvvet değerinin artması beklenebilir. Elde edilen karşı kuvvet sonucuna bağlı olarak araca uygun itici seçimi yapılmalıdır.



Şekil 5. 3 boyutlu çözüm hacmi

2.3. Denge Hesaplaması

Sualtı araçlarında ve gemi gibi su yüzeyinde ilerleyen araçlarda kaldırma kuvveti merkezi (Cb) ile ağırlık merkezinin (Cg) konumları son derece önemlidir [2]. Öncelikli olarak bu iki merkezin x ve y eksenlerindeki konumlarının aynı, z eksenlerindeki konumlarının ise farklı olacak şekilde konumlandırılması gerekmektedir. Bu sağlanmadığı takdirde araç, bu iki merkezi z ekseninde aynı hizaya getirecek şekilde kendi kendine dönecektir ve istenilen şekilde su içinde dengede durmayacaktır.



Şekil 6. Modül ve itici

İkinci dikkat edilmesi gereken nokta ise bu iki merkezden kaldırma kuvveti merkezinin mümkün olduğunca yukarıda, ağırlık merkezinin ise mümkün olduğunca aşağıda olmasının sağlanmasıdır. İki merkez arasındaki fark aracın x ekseni etrafındaki olası dönüşlerini düzeltici etkide bulunup eski konuma döndürmektedir. Bu etki araca kendi ekseni etrafındaki dengesi ile ilgili bir kararlılık katmaktadır. Bu şekilde merkezlere sahip bir tasarım için ağır parçaları aracın alt tarafına, hafif olanları ise üst tarafına yerleştirmek gerekir. Aracın kaldırma kuvveti merkezini yukarı çekmek amacıyla Şekil 6'da göründüğü gibi, araçtaki en düşük yoğunluğa sahip malzeme olan modül en üst kısma; ağırlık merkezini aşağı çekmek amacıyla aracın en ağır parçaları olan iticiler konulabilecek en alt kısma yerleştirilmiştir. Aracın dengesini sağlamak ve ağırlık merkezini daha çok aşağı çekmek amacıyla ek ağırlıklar kullanılabilir [2].

3. SONUÇ

Taşınabilir insansız sualtı araçları için mekanik tasarım aracın istenilen görevleri gerçekleştirmesi açısından son derece önemli bir aşamadır. Aracın görevleri yerine getirirken zorluklarla karşılaşmaması ve ortam koşullarına uygun olması aracın mekanik tasarımına bağlıdır. İstenilen koşulları oluşturmak ve tasarımın o koşullardaki tepkilerini görmek amacıyla modelleme ve simülasyonlara ihtiyaç vardır. Tasarımdaki hatalar, yapılan analizler sonucu ortaya çıkar ve tasarımda iyileştirilmeye gidilir. Bu iyileştirmelerin sanal ortamda yapılması hem zaman bakımından hem de mali kayıpları

önlediğinden, faydası büyüktür. Bu doğrultuda ilerleyerek, analiz sonuçlarının ışığında geliştirilen sualtı aracının nihai tasarımına yaklaşılmıştır. Bu aşamadan sonra üretime geçilip gerçek testlere başlanılmalıdır. Analizler ve gerçek testler sayesinde elde edilen tecrübelerin ilerleyen yıllarda üretilecek daha gelişmiş sualtı araçları açısından faydalı olacağı muhakkaktır.

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 111E267 kodlu TÜBİTAK 1001 projesi dahilinde desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi arz ederiz.

5. KAYNAKÇA

[1] Budybas, Richard G. And Nisbett J. Keith (2008), Shigley's Mechanical Engineering Design, McGrawHill, 8. Edition

[2] Christ, Robert D. and Wernli, Robert L. (2007), The ROV Manual, Elsevier Ltd: Butterworth-Heinemann.

[3] Gomes, Rui MF and Martins, A and Sousa, A and Sousa, JB and Fraga, SL and Pereira, F Lobo. (2005), A new rov design: issues on low drag and mechanical symmetry, *OCEANS Europe 2005*, 957 - 962

[4] N. Cevheri, F. Şenel, S. K. İder, M. H. Aksel, L. Parnas (2008), Bir İnsansız Sualtı Aracı: ULİSAR Gövde Tasarımı, *SAVTEK Savunma Teknolojileri Kongresi*, Cilt I, s. 547-556.

[5] Sighard F. Hoerner(1965), Fluid Dynamic Drag, 2. Edition

GERÇEK ZAMANLI DİNAMİK SENSÖR SİMÜLASYONU

Mehmet Sadık Akyol [(a)]

Gökçe Yıldırım [(b)]

(a) SİMSOFT, ODTÜ Teknokent SATGEB, sadik.akyol@simsoft.com.tr

(b) SİMSOFT, ODTÜ Teknokent SATGEB, gokce@simsoft.com.tr

ÖZ

Tam görev simülasyonlarında gerçekçi sensör simülasyonu gerçekçi bir eğitim için önemli bir faktördür. Özellikle görev sahnesinde mevcut olan simülasyon elemanlarının durum değişimlerinin ve çevre şartlarının etkisi görsel olarak yansıtılabilmesi önemli ihtiyaçtır. Bu çalışmanın amacı günümüz ekran kartı teknolojilerinin gelişimlerinden faydalanarak sensör görüntülerinin dinamik olarak gerçek zamanda simüle edilebilmesi ve kilit sistemlerinin gerçek hayattaki çalışma prensibi ile simülasyon esnasındaki çalışma prensibi arasındaki farkların ortadan kaldırılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Gerçek Zamanlı Simülasyon, Görsellik, Sensör Simülasyonu, Piksel Efektleri, Kilit Sistemleri

REAL TIME DYNAMIC SENSOR SIMULATION

ABSTRACT

In full mission simulations realistic sensor simulation is an important factor for realistic training. Especially simulation task scene elements ability to visually reflect the effect of changes of state and environmental conditions is an important requirement. The purpose of this study is dynamic sensor simulation in real-time by taking advantage of today's graphics card technologies and elimination of the lock systems differences between simulation working principle and real-life working principle.

Keywords: Real Time Simulation, Visualisation, Sensor Simulation, Pixel Effects, Lock Systems

1. GİRİŞ

Çalışmada Kızılötesi sensör görüntüsünün bilgisayar ortamında dinamik bir şekilde görüntülenebilmesi amaçlanmıştır. Kızılötesi (Kızılaltı, IR veya Infrared) ışınım,dalgaboyu görünür ışıktan uzun fakat mikrodalgalardan daha kısa olan elektromanyetik ışınımdır. Teknolojide kabul edilen ismi olan infrared Latince'de aşağı anlamına gelen infra ve ingilizce kırmızı anlamına gelen red kelimelerinden oluşmaktadır ve kırmızı altı anlamına gelir. Kırmızı görünür ışığın en uzun dalgaboyuna sahip rengidir. Kızılötesi ışınımın dalgaboyu 750 nanometre ile 1 mikrometre arasındadır.

1.1. Kullanım Alanları

Kızılötesi görüntüleme hem sivil hem de askeri kullanım alanları bulmuştur. Hedef tesbiti, gözlemleme, gece görüşü, güdüm ve takip sistemleri gibi askeri kullanım alanlarının yanında, ısıl verimlilik analizi, uzaktan sıcaklık ölçme, kısa mesafeli kablosuz iletişim, spektroskopi ve hava tahmini gibi alanlarda da kullanılmaktadır. Kızılötesi gökbilim algılayıcılarla donatılmış teleskoplar kullanarak uzayın normal teleskoplarla, moleküler bulutlar gibi uzay tozları yüzünden görüntülenemeyen alanlarını görüntülemekte, gezegenler gibi soğuk cisimleri bulmakta ve Evren'in uzak geçmişinden kalan yüksek miktarda kırmızıya kayma'ya sahip nesneleri görüntülemekte kullanılmaktadır. [1]

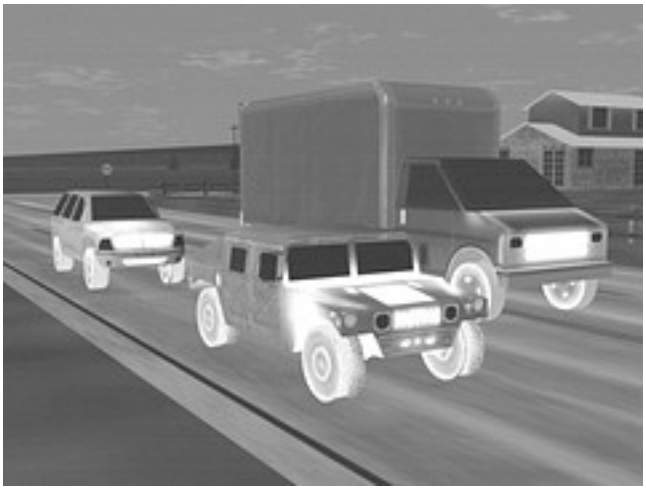
1.2. Çalışma Prensibi

Kızılötesi ışınım her sıcaklıktaki cisim tarafından yayınlandığından termografi (termal görüntüleme)sayesinde hiç ışık olmaksızın bütün ortamı görmek mümkündür. Bir cismin yaydığı kızılötesi ışınım miktarı sıcaklıkla birlikte arttığından, termografi sıcaklık farklarını görmeyi sağlar.

1.3. Mevcut Benzetim Teknikleri

Kızılötesi ışınım simülasyonu daha çok askeri görev simülatörlerinde kullanılmaktadır. Simülasyon yazılımları endüstride görüntü üretici olarak tanımlanan gerçek zamanlı grafik yazılımları vasıtasıyla sensör görüntülerini oluştururlar. Görüntü üreteçlerinin üretim teknikleri açık literatürde dokümante edilmemektedir ancak uygulama analizleri vasıtasıyla kullanılan modelleme tekniğinin statik olduğu görülmektedir. Bu yöntemde simülasyon nesnelerinin kızılötesi görünümleri doku veya boyama tekniği ile bir kere oluşturulur ve bütün simülasyon süresi boyunca aynı görüntü statik olarak kullanılır. Şekil 1'de presagis firması tarafından oluşturulan statik kızılötesi ışınımının ekran görüntüsü görülmektedir.

Şekil 1. Statik Kızılötesi Işınım Ekran Görüntüsü



Boyama veya doğrudan doku kullanımı hızlı bir yöntem olmakla birlikte görüntünün simülasyondaki değişimleri yansıtamaması ve kızılötesi ışınımın nesne sınırları ile sınırlanması gibi dezavantajları bulunmaktadır. Çalışmamızda piksel başına dinamik hesaplama yöntemi kullanarak mevcut uygulamalara göre daha yüksek sadakatte benzetim sağlamak hedeflenmiştir.

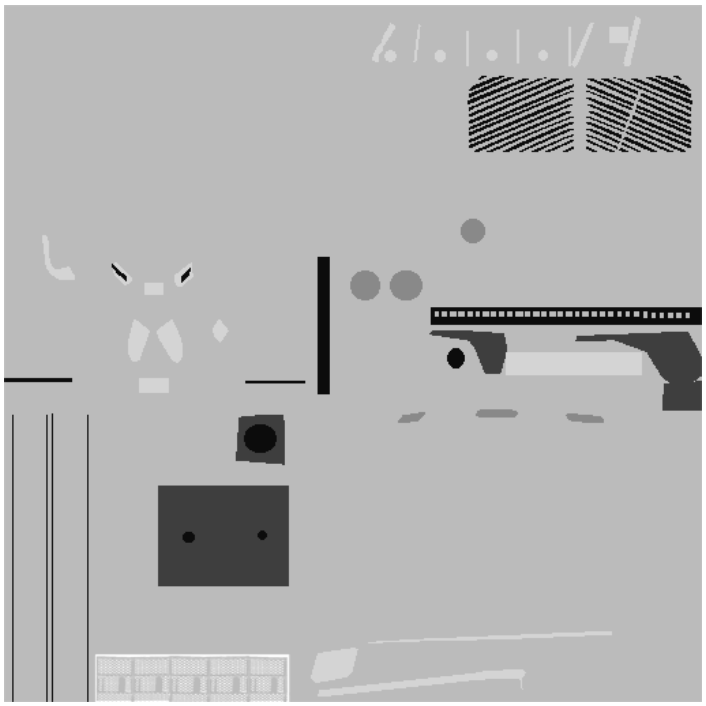
2. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Sistem tasarımı çizimi yapılacak simülasyon elemanının modellenmesi, sıcaklık kaynaklarının modellenmesi ve çevresel etkilerin modellenmesi olarak 3 ana konuda esas alınarak yapılmıştır.

2.1. Simülasyon Elemanlarının Modellenmesi

Kızılötesi ışınım T anındaki görüntülenecek olan noktanın sıcaklığı ile orantılıdır. Bir noktanın sıcaklığı ise ilgili noktanın ısı iletkenliği ve sıcaklık kaynaklarına olan teması (veya uzaklığı) olmak üzere 2 parametreye bağlıdır. Örneğin güneşi bir sıcaklık kaynağı olarak düşünürsek yerde duran alüminyum bir levha havaya nazaran daha yüksek bir ısı iletkenliğine sahip olduğu için daha yüksek bir sıcaklığa sahip olacak ve bunun sonucunda daha yüksek bir kızılötesi ışınım yapacaktır. Çalışmamızda kullanılan materyal tipleri ve ısı yalıtkanlıkları Çizelge 1'de verilmiştir. [2] Simülasyon elemanlarının ısı iletkenliklerini sisteme tanıtmak için materyal kodu adını verdiğimiz dokular kullanılmıştır. Şekil 2'de çalışmamızda kullanılan bir kara aracına ait örnek bir materyal kodu dokusu gösterilmiştir. Bu dokular sayesinde shader programlama dilleri kullanılarak bir noktanın çiziminin yapılışı esnasında o noktaya ait olan ısı iletkenlik katsayılarına ulaşılabilmektedir.

Şekil 2. Örnek Materyal Kodu Dokusu



Çizelge 1. Isı İletkenlik Katsayıları

Material	Thermal Conductivity(- k - W/(m.K))	Gray Scale Value Range	Gray Scale Color Value	Color
Empty - Air	0,024	0-24	12	
Fabric	0,029	25-49	37	
Plastic	0,03	50-74	62	
Fiber	0,05	75-99	87	
Lastic	0,08	100-124	112	
Glass	1,05	125-149	137	
Organic	1,5	150-174	162	
Steel	43	175-199	187	
Aluminium	250	200-224	212	
Reserved	-	225-249	237	

2.2. Sıcaklık Kaynaklarının Modellenmesi

Sıcaklık kaynakları oluşturduğu maksimum sıcaklık ve sıcaklığın etki alanı parametreleri modellenmiştir. Örneğin bir motor 90°'de çalışırken bu sıcaklığın etki alanı yaklaşık 2 metre çapında olacaktır. Araç motoru önde olan bir arabanın bagaj kısmına kızılötesi ışınım açısından bir etkisi olmayacaktır. [3] Güneş ise sonsuz etki alanlı sıcaklık kaynağı olarak tanımlanmıştır ancak mesafeye göre etkisinin azalması simüle edilmiştir. Örneğin ekvatordaki bir alüminyum levha ile Türkiye'deki alüminyum bir levhanın T anındaki kızılötesi ışınım miktarları farklıdır.

2.3. Çevresel Etkilerin Modellenmesi

Özellikle hava koşulları sensör görüntülerde gürültüye neden olabilmektedir. Yağmurlu ve karlı havalar kızılötesi ışınıma negatif bir etki yaparak parazitli bir görüntü oluşmasına neden olur.[4] Parazitli görüntülerin oluşturulmasında GPU'da pixel başına zaman parametresi kullanılmıştır.

3. UYGULAMA

Yaptığımız modelleme çalışmasına uygun olarak aşağıdaki denklemler kullanılarak kızılötesi ışınım miktarı hesaplanmaktadır. [5]

$$T=tc*(h/L)$$

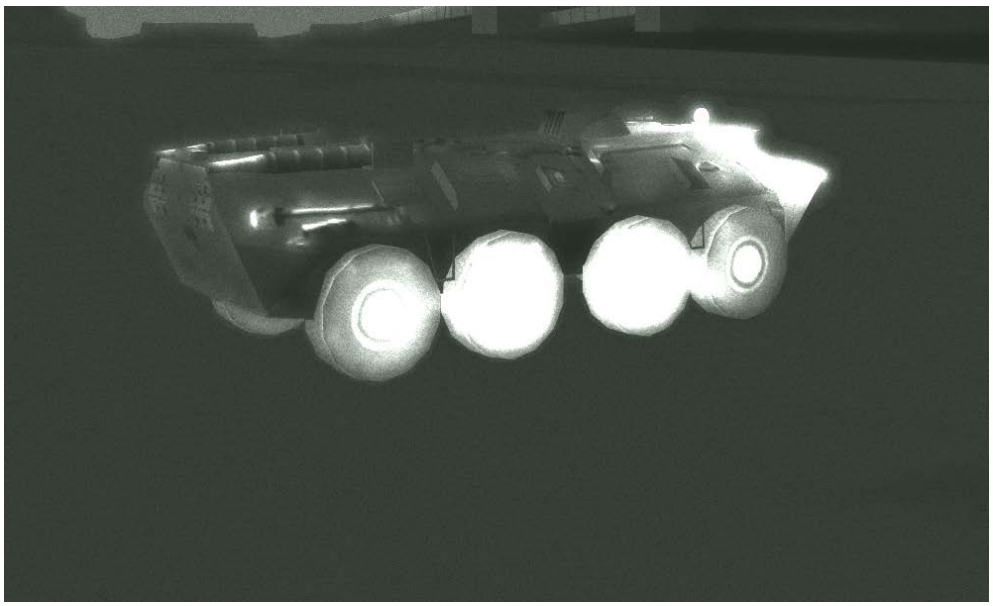
(T: sıcaklık, tc: ısı iletkenliği, h: sıcaklık kaynağı maksimum sıcaklığı, L: sıcaklık kaynağı etki menzili)

$$IR=T*\exp(-sigma*R)$$

(IR: kızılötesi ışınım miktarı, T: sıcaklık, sigma: hava koşulu parametresi, R: menzil (km))

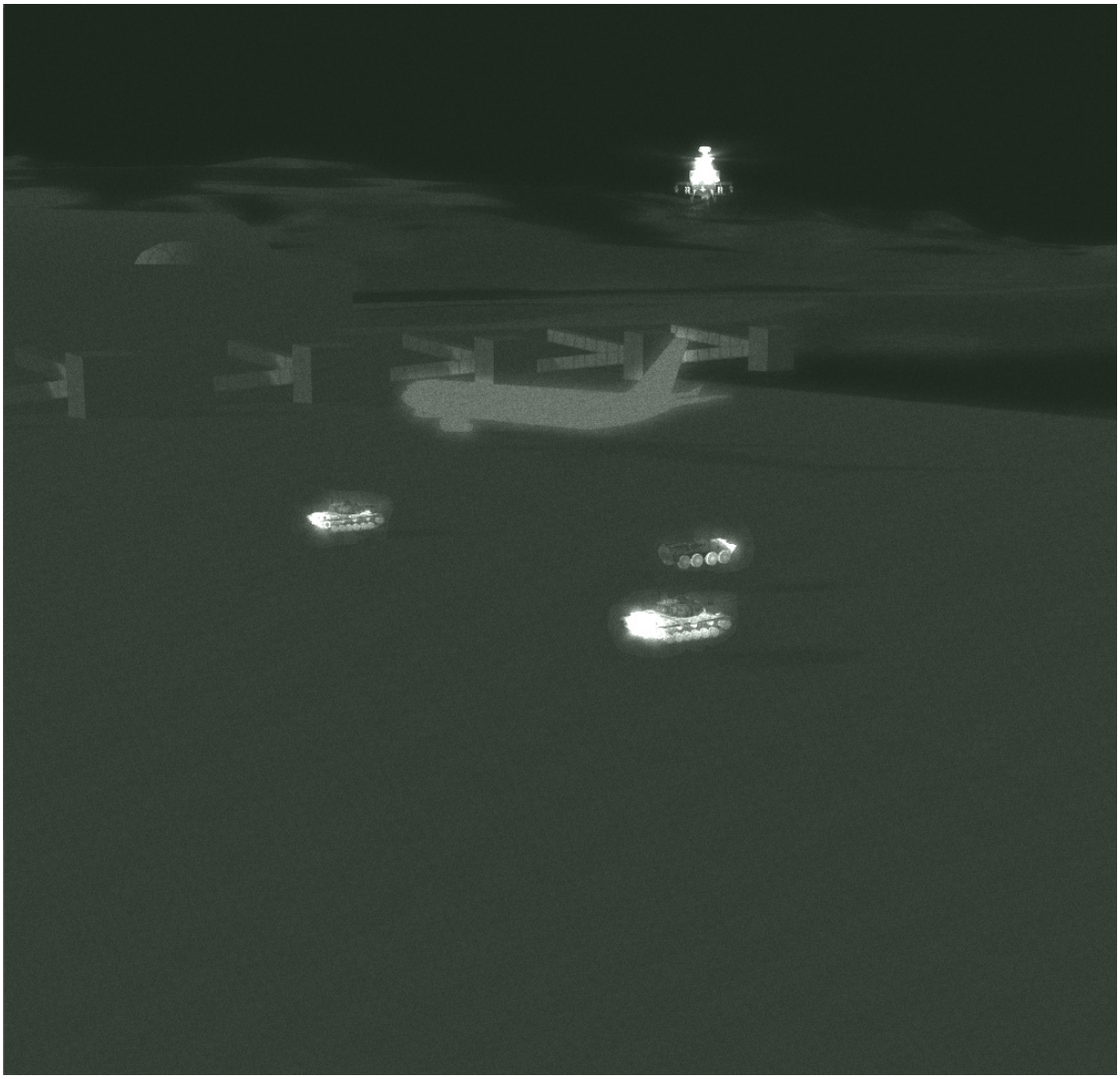
Uygulama kızılötesi ışınımları piksel bazında hesapladığı için sıcaklığın poligon sınırları aşıp havaya olan etkisi de simüle edilebilmektedir. Şekil 3'de kızılötesi görünümü simüle edilen askeri aracın ışınım etkisinin havaya karışımı görülmektedir.

Şekil 3. Askeri Aracın Kızılötesi Görünümü



Sıcaklık kaynakları dinamik olarak açılıp kapatılabilecek ve sıcaklıkları değiştirilebilecek bir yapıda oluşturulmuştur bu sayede yeni çalışan bir araç veya çalışmaya henüz başlamamış bir araç ile uzun müddet çalışmış bir araç arasındaki fark sahneye yansıtılabilmiştir. Bu sayede hiç ısı yaymayan bir aracı kilit sistemleri algılayamayacak veya daha önce kilitlendiği bir araçtan daha uzun süre çalıştırılmış bir araca kilit kayması gerçekleşebilecektir. Bu yöntem ile kilit sistemlerinin davranışları daha gerçekçi modellenebilecektir. Şekil 4'de çalışmayan bir yolcu uçağı ile farklı süreler boyunca çalıştırılmış askeri araçlar arasındaki ısınım farkları görülmektedir.

Şekil 4. Çeşitli Süreler Boyunca Çalıştırılmış Araçlara Ait Kızılötesi Görünüm

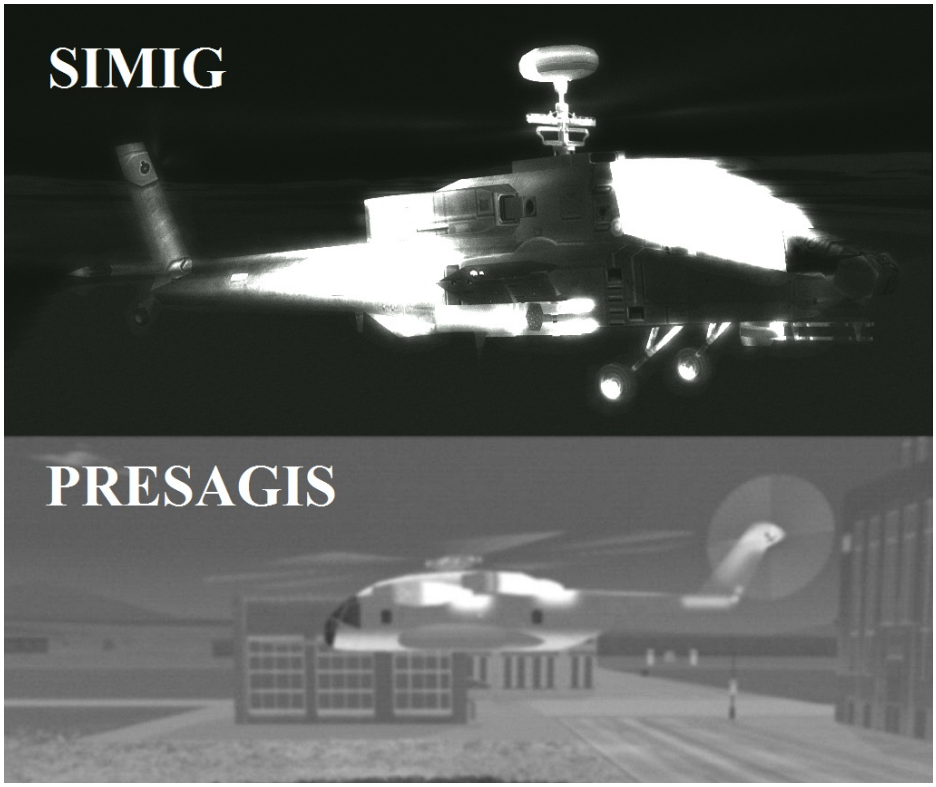


4. SONUÇ

Mevcut görüntüleme yöntemlerinin eksiği olarak görülen simülasyon nesnelerinin anlık değişimlerinin görüntüye yansıması, çevre şartlarının anlık değişimlerinin görüntüye yansıması ve kızılötesi ışınımın nesne sınırları ile sınırlı kalmayıp dağılabilmesi özellikleri uygulamamızda başarıyla yerine getirilmiştir. GPU'de bulunan paralel işlemcilerin optimize edilerek kullanılmasıyla[6] statik görüntüleme yöntemlerine yakın bir zaman tutarı görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kızılötesi ışınım modelimiz başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve Simsoft tarafından geliştirilen görüntü üreteci serilerine (SIMIG 1000, SIMIG 3000, SIMIG 6000) modül olarak eklenmiştir. Şekil 5' de SIMIG ve PRESAGIS görüntü üreteçlerinden alınmış helikopter araçlarına ait kızılötesi ekran görüntüsü karşılaştırılmaktadır.

Şekil 5. Karşılaştırma



Gerçek zamanlı dinamik sensör simülasyonu modülü bugün gerek Simsoft gerekse de diğer bazı savunma kuruluşları tarafından geliştirilen gizli savunma projelerinde başarıyla kullanılmaktadır. Bu projelerdeki tarayıcı ve kilit sistemleri gerçeğine uygun bir şekilde görevlerini yerine getirebilmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared, 2013.02.11.
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_thermal_conductivities, 2013.02.11.
[3] Jonas Dehlin, Joakim Löf, "Dynamic Infrared Simulation: A Feasibility Study of a Physically Based Infrared Simulation Model", *Student thesis*, LITH-ISY-EX--06/3815--SE, 2006.
[4] *Radar Conference - Surveillance for a Safer World, 2009. RADAR. International* , vol., no., pp.1, 12-16 Oct. 2009
[5] Powell, G.; Martin, R.; Marshall, D.; Markham, K.; , "Simulation of FLIR and LADAR data using graphics animation software ," Computer Graphics and Applications, 2000. Proceedings. The Eighth Pacific Conference on , vol., no., pp.126-134, 2000
[6] Coiras, E.; Ramirez-Montesinos, A.; Groen, J.; , "GPU-based simulation of side-looking sonar images," *OCEANS 2009 - EUROPE* , vol., no., pp.1-6, 11-14 May 2009

FARKLI ÖZELLİKLERE SAHİP KOMPLEKS POLİGONLARDAN OLUŞAN COĞRAFİ ALAN BİLGİLERİNE ERİŞİM YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Arıl Bircan [(a)], Mehmet Ömer Özek [(a)]

[(a)] Havelsan Simülasyon ve Eğitim Sistemleri, Mustafa Kemal Mah. 2120.Cad No:39 PK.06510 Çankaya ANKARA, {abircan, mozek}@havelsan.com.tr

ÖZ

Coğrafi bilgi sistemlerinde (GIS) gerçek dünyaya ilişkin bilgiler farklı uygulamalara yönelik farklı veri yapılarında tutulmaktadır. Bu konuda ESRI Shape ".shp" ve Google Maps ".kml" formatlar yaygın kullanım alanına sahiptir. Orman Yangınlarıyla Mücadele simülasyonu (OYMES) projesi kapsamında, coğrafi sınırları kompleks poligonlarla belirlenen bitki örtüsü (meşcere) bilgilerine, çok hızlı ve düşük hafıza kullanımıyla erişilmesi gerekmektedir. Bu makalede ilgili erişim ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılabilecek çeşitli veri yapıları ve veri erişim yöntemleri karşılaştırılmaktadır. Dörtlü-ağaç (quadtree) yapısı, vektör veri yapıları, poligon algoritmaları ve tüm bu yöntemlerden yararlanarak OYMES projesi kapsamında tasarlanan yeni bir veri erişim yöntemi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: coğrafi bilgi sistemleri (GIS), dörtlü-ağaç veri yapısı (quadtree), ESRI Shape, poligon, vektör veri.

COMPARISON OF ACCESS METHODS TO ATTRIBUTE INFORMATION OF GEOGRAPHICAL AREAS DEFINED BY COMPLEX POLYGONS

ABSTRACT

In Geographical Information Systems (GIS), real world data is stored in different data structures oriented to variety of applications. ESRI Shape ".shp" and Google Maps ".kml" formats are among the popular. In the scope of Forest Fire Fighting Simulation (OYMES) project, fast and memory efficient access to the stand (plant properties) information, whose geographical boundaries are defined by complex polygons, is required. For such access, various data structures and methods are compared. Quadtree data structure, vector data format, polygon algorithms and a custom designed data structure and access method are analyzed.

Keywords: Geographical Information Systems (GIS), quadtree, ESRI Shape, polygon, vector data.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojilerinin hızlı gelişimiyle birlikte coğrafya, jeoloji, haritacılık, ziraat gibi sektörler de kendi alanlarındaki ihtiyaç ve sorunların çözümünde giderek artan bir oranda bilgisayar tabanlı uygulamalar kullanmaktadır. Bu tarz uygulamalar coğrafi bilgi sistemleri (GIS) genel başlığında toplanmıştır. GIS uygulamalarında en problemli alanlardan biri çok büyük arazi verisinin oluşturulması, saklanması, görselleştirilmesi ve gerektiğinde ilişkisel olarak incelenebilmesidir.

Bilgisayar teknolojileri ve ilgili algoritmaların olgunlaşması sayesinde giderek daha çok detaya, daha büyük bölgeyi kapsayabilecek şekilde daha hızlı erişim mümkün olmaktadır. Ancak imkanlar arttıkça beklentiler de yükselmekte, dolayısıyla hızlı erişim ve hafıza verimliliği önemini korumaya devam etmektedir. Özellikle son dönemde taşınabilir akıllı cihazlar sektörü, ucuzlayan hafıza donanımının verimli kullanılmasının önemini hem maliyet olarak hem de enerji tasarrufu açısından tekrar arttırmıştır.

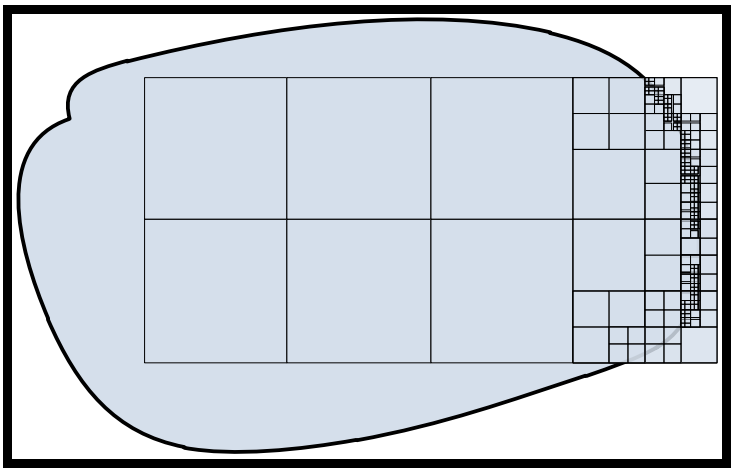
Bugün GIS veri tabanı sistemleri farklı ihtiyaçlara yönelik hiyerarşik, ağ (network) veya ilişkisel veri modelleri kullanmaktadır. Harita uygulamalarında sıkça kullanılan vektör veri modeli, nokta, çizgi (arc) ve poligon gibi geometrik gösterimleri kullanmaktadır ve ilişkisel veri tabanı teknolojileriyle gerçekleştirilmektedir. ESRI Shape (.shp) formatı bu tarz bir veri modelidir [1]. Vektör veri formatı topolojik (birbiriyle bağlı veya bağlı olmayan yollar gibi) özellikleri de ifade edebilmektedir. Bu format hafıza açısından verimli olmakla birlikte analiz ve hesaplamalarda poligon algoritmaları nedeniyle işlem yükü getirmektedir [2].

Raster / ızgara (grid) formatı GIS yanısıra görüntü işleme uygulamalarında da sıkça kullanılan bir veri modelidir. Vektör veri ile karşılaştırıldığında optimize edilmemiş ızgara veri yapıları daha fazla hafıza tüketmektedir. Ancak bu yapılar iyi bilinen tekniklerle (dörtlü-ağaç yapı, run-length kodlama) daha makul hafızalara sığmaktadır [3]. Hiyerarşik bir model olan adaptif dörtlü-ağaç (quadtree) yapısı ile makul hafıza kullanımı sınırlarında kalarak veriye hızlı erişim mümkün olmaktadır. Ancak bu tarz yapılarda, vektör yapılara göre çözünürlüğe bağlı doğruluk daha düşük olabilmektedir.

Teknolojik imkanların artmasıyla farklı veri modellemelerinin sentezinden oluşan yapılar da önerilmiştir [4]. Google Maps ilk sürümlerinde farklı detay seviyelerinde farklı ızgara tabanlı bitmap grafik gösterimi yaparken, güncel versiyonlarında özellikle mobil platformlarda vektör tabanlı grafik gösterimini seçmiştir. Yeni iPhone Maps uygulaması daha farklı ve tamamen vektör tabanlı grafik gösterimi kullanmaktadır. İki uygulama karşılaştırıldığında iPhone Maps'in daha az veri kullandığı görülmüştür [5].

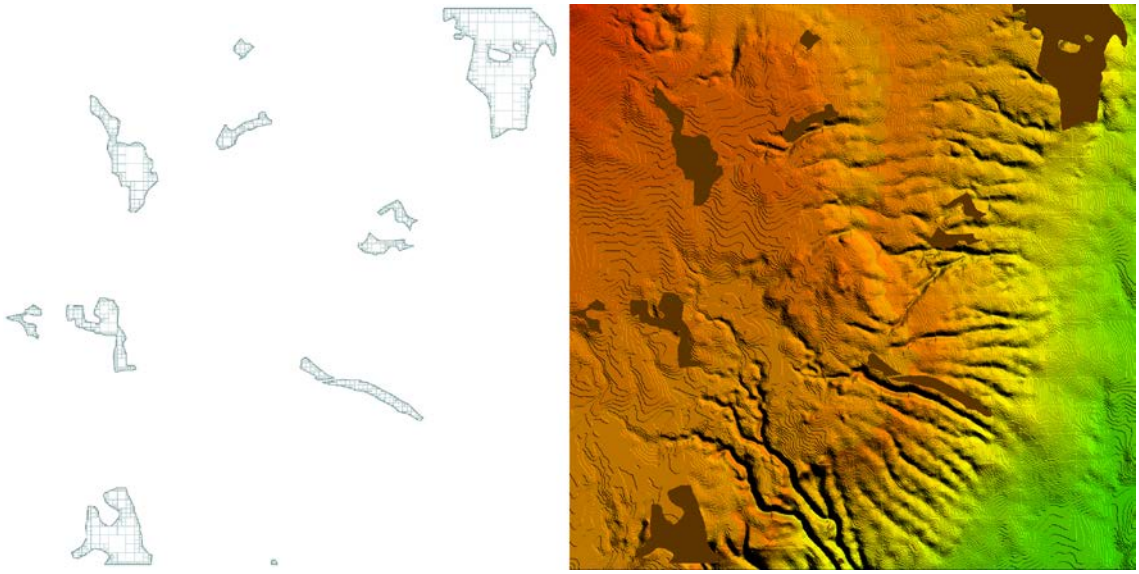
2. COĞRAFİ ÖZELLİK BİLGİSİNİN DÖRTLÜ AĞAÇ VERİ YAPISINDA SAKLANMASI

Orman Yangınlarıyla Mücadele simülasyonu (OYMES) projesi kapsamında, coğrafi sınırları kompleks poligonlarla (içinde boşluk olabilen konveks veya konkav poligonlar) belirlenen meşcere (bitki örtüsü) bilgileri, ESRI shape formatıyla tedarik edilmiştir. Simülasyon esnasında her periyodda pek çok coğrafi noktadaki özellik bilgilerine erişilebilmesine yönelik, simülasyona hazırlık safhasında "shp" formatlı vektör bilgi, rasterlaştırma gibi yöntemlerle dörtlü ağaç veri yapısına dönüştürülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Temsili poligon bölgenin dörtlü ağaç yapısı ile tanımlanması

Şekil 2'de gerçek saha verilerinin, dörtlü ağaç yapısına dönüşmüş hali yanısıra, dijital yükseklik modeli (DEM) formatlı tif dosyası üzerine raster edilmiş (pikselleşmiş) hali verilmiştir. DEM formatı da ızgara (grid) tabanlı olup dörtlü ağaç yapısıyla uyumludur.



Şekil 2. Gerçek meşcere alanlarının DEM tabanlı imaj dosyasında raster edilmesi

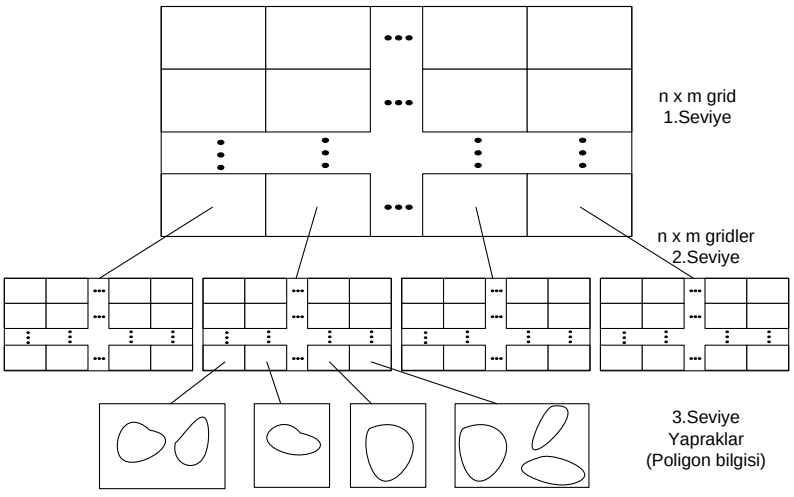
Vektör bilgi, ayarlanan çözünürlükte dörtlü ağaç yapısına (adaptive quadtree konusunda detaylı bir çalışma için [6] incelenebilir) aktarıldığında, yapının yaprakları (leaf) tek bir meşcere özellik grubuna işaret etmektedir. Böylece coğrafi konum ile poligon eşleştirme işlemleri koşum anı yerine hazırlık anına aktarılmış, koşum anı performansı arttırılmıştır. Simülasyon esnasında sorgulanacak konum bilgilerine erişimin performans ve hafıza kullanımları incelenmiştir (Tablo 1).

3. COĞRAFİ ÖZELLİK BİLGİSİNİN ÇOK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ AĞAÇ YAPISINDA SAKLANMASI

OYMES projesi kapsamında sadece meşcere bilgileri değil farklı çözünürlük katmanlarına ait bilgilerin de akıllı veri yapılarında saklanması gerekli olduğundan, kaç seviye derinlik olduğu ayarlanabilen ama aşağıda 3 seviye derinlik için gerçekleştirilmiş, ağaç tabanlı bir yapı tasarlanmıştır (Şekil 3). Yapı, paralel işlem parçacıklarının eş zamanlı erişimine olanak sağlamaktadır.

Bu yaklaşımda simülasyona hazırlık safhasında yapı hücreleri (node) bir veya daha çok poligonla ilişkilendirilmiştir. Simülasyon esnasında poligon sorgulama işlemini optimize edebilmek açısından hazırlık safhasında hücreler ile ilişkilendirilen poligonlar kompleksten konveks poligonlara dönüştürülmüştür [8], [9].

Coğrafi bir konuma ait alan bilgileri sorgulandığında yapıda karşılık gelen hücre bulunduktan sonra ilgili noktanın hücredeki hangi konveks poligonun içerisinde olduğu, poligon algoritmalarıyla hesaplanmaktadır [2]. Yapı hafıza açısından ve hassaslık bakımından daha verimlidir. Simülasyon esnasında sorgulanacak konum bilgilerine erişimin performans ve hafıza kullanımları incelenmiştir (Tablo 1).



Şekil 3. Çok çözünürlüklü ağaç yapısı

4. SONUÇ

OYMES projesi kapsamında coğrafi bilgilerin tutulmasına yönelik en uygun veri yapısı ve erişim yöntemi için tasarım alanı araştırması (design space exploration) gerçekleştirilmiştir. Mevcut teknolojiler ve yaklaşımlar araştırılıp [7] en uygun görülen yöntem ile projeye özel geliştirilmiş yöntem karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Testler için Intel Core 2 Duo CPU E8400 3GHz, 3GB RAM, Linux kernel 2.6.32 32-bit platformu kullanılmıştır.

Tablo 1. Erişim methodları karşılaştırması

6km x 6km **1. Bölge**, ~1m Hassasiyet		
Yöntem	**Hücre Hafıza Kullanım**	**Perfomans** (100000 sorgu)
Dörtlü Ağaç Izgara	67,98 MByte	13ms
Çok Çözünürlüklü Ağaç	6,45 MByte	30ms
8km x 5km **2. Bölge**, ~1m Hassasiyet		
Dörtlü Ağaç Izgara	452,09 MByte	13ms
Çok Çözünürlüklü Ağaç	13,66 MByte	33ms

Beklendiği üzere dörtlü ağaç yapısı, neredeyse hafıza sorgusu gibi çalıştığından ötürü daha performanslı çıkmıştır. Ancak özellikle simülasyona hazırlık evresinde çok miktarda hafıza kullanmaktadır. Çok Çözünürlüklü Ağaç ise, daha iyi hassasiyet, daha az hafıza kullanımı ve dengeli yapısı sayesinde paralelleştirmeye daha müsait yapısı ile farklı açılardan avantajlar sağlamaktadır.

Kullanılan girdi verilere göre dörtlü ağaç yapının kullandığı hafıza miktarı değişkenlik gösterebilmektedir. Çok çözünürlüklü ağaç ise bu açıdan daha dengelidir.

Daha önceden yapılan çalışmalar [7] proje kapsamında ilerletilerek, farklı ihtiyaçlara yönelik coğrafi bilgi sistemi altyapısı oluşturulmuştur. Projenin ilerleyen safhalarında, kullanılan yöntemlerin performansının daha da iyileştirilmesi için, paralel işletime yönelik çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya olan katkıları için tüm HAVELSAN A.Ş. OYMES projesi çalışanlarına; kullanılan yazılımların geliştirilmesine olan katkıları için Semih Kekül'e; sağladığı yönlendirme ve yapıcı eleştirileri için Başar Kasım'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

[1] ESRI (1998), ESRI Shapefile Technical Description, *www.esri.com/library/whitepapers/*

[2] Haines, E. (1994), Point in Polygon Strategies, *Graphics Gems IV, ed. Paul Heckbert, Academic Press*, p. 24-46, 1994.

[3] Egenhofer, M.J., Herring, J.R. (1991), High-Level Spatial Data Structures for GIS, In: Maguire D.J., Goodchild M.F., Rhind D.W. (eds.) *Geographical Information Systems: principals and applications*, Longman, London, 227-237, Vol 1.

[4] Pilouk, M., Tempfli, K. (1993), An Integrated DTM-GIS Data Structure: A Relational Approach, *Auto Carto 11 Proceedings. Minneapolis: ACSM-ASPRS, 1993*, 1: 278-287.

[5] Klug, B., Bhagwat, S. (2012), The iOS 6 Review: Maps Thoroughly Investigated and More, *http://www.anandtech.com/show/6302/apple-ios-6-review-maps-investigated-and-more/2*

[6] Frey, P.J. ve Marechal, L. (1998), Fast Adaptive Quadtree Mesh Generation, *International Meshing Roundtable - IMR Conference*, 211-224.

[7] İlter, B., Oğuztüzün H., et.al. (2009), Hareketli Etmenler İçeren Benzetimlerde Bellek İçi Uzamsal Dizin Yapıları ve Uzamsal Sorgulamalar, *Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS 2009)*

[8] Tiny Polygon Partitioning and Triangulation Library, *http://code.google.com/p/polypartition*

[9] Keil, M. ve Snoeyink, J. (2002), On the time bound for convex decomposition of simple polygons, *International Journal of Computational Geometry and Applications,* 12(3):181-192

STANDART KAZANÇLI HORN ANTEN TASARIMI SİMÜLASYONU VE ÜRETİMİ

Sezgi YIKILMAZÇINAR [(a)], Metin GÜR [(b)], Serdal ELMAS [(c)], Okyanus TULGAR [(d)]

[(a)]Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörülüğü, Tuzla/İstanbul, sezgi.yikilmazcinar@arcelik.com

[(b)]Arçelik A.Ş. Pişirici Cihazlar İşletmesi, Bolu, metin.gur@arcelik.com

[(c)]Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörülüğü, Tuzla/İstanbul, serdal.elmas@arcelik.com

[(d)]Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çayırova Gebze/Kocaeli, otulgar@gyte.edu.tr

ÖZ

Arçelik A.Ş. Ar-Ge Direktörlüğü altında 2GHz-3GHz bandında mikrodalga ısıtma/pişirme üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Mikrodalga fırının kaçak seviyesinin sınırları IEC 60335-2-25 standardında belirlenmiştir [1]. Kaçak noktasının tam olarak belirlenebilmesi için dar hüzmeli, yüksek kazançlı ve düşük geri yansıma oranına sahip bir referans antene ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçla bir horn anten tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan sistem CST MWS [2] üzerinde modellenmiş ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan standart kazançlı horn anten üretilmiş ve daha sonra yansımasız odada ölçümler alınarak CST MWS yazılımı üzerinden alınan sonuçların doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Bütün ölçüm ve simülasyon işlemlerinde uzak alan koşulu sağlanmıştır. Tasarım sonucunda, kullanılan CST MWS yazılımının doğrulaması gerçekleştirilmiş, kurum gideri azaltılmış, kuruma benzer tasarımların gerçekleştirilme yeteneği kazandırılmış ve ihtiyaç bulunan referans anten üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CST MWS, dalga kılavuzu, empedans, geri yansıma, huzme genişliği, kazanç, standart kazançlı horn anten, WR340.

DESINGING STANDARD GAIN HORN ANTENNA SIMULATIONS AND MANUFACTURING

ABSTRACT

Arçelik A.Ş. R&D Department currently works on microwave heating and cooking technologies between 2GHz – 3GHz frequency band. But, when microwave is used in

household appliances, safety rules must be obeyed. These rules have been described and directed in IEC 60335-2-25 in which leakage power of microwave ovens is limited [1]. So one of the objects for the microwave ovens is the requirement for the detection of location, magnitude and frequency of leakage power. Thus, an antenna, which has high gain, low return loss and narrow beam width between 2GHz – 3GHz frequency band, is needed. A standard gain horn antenna is designed and simulated in CST [2]. After reaching target values of antenna parameters, the simulated standard gain horn antenna is manufactured. Then, antenna is measured in anechoic chamber and compared with simulated results which has been gathered by CST MWS. The measurement data support simulation results. Thus, the corporate expenses are reduced, ability to design similar products is acquired, and the required antenna is manufactured.

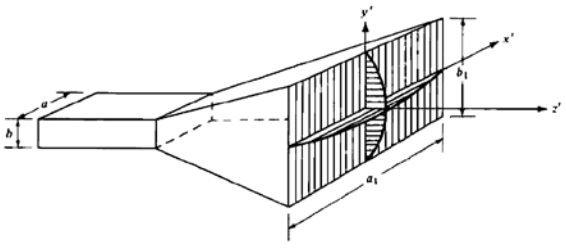
Keywords: CST MWS, waveguide, impedance, reflection, beam width, gain, standard gain horn antenna, WR340.

1. GİRİŞ

Arçelik A.Ş. ArGe Direktörlüğü, Elektronik ve Kontrol Teknolojileri Yöneticiliğinde mikrodalga ısıtma-pişirme teknolojileri çalışılmaktadır. Mikrodalga ısıtma-pişirme sistemlerindeki sızıntı değerleri IEC 60335-2-25'de izin verilen değerleri aşmamalıdır [1]. Bu nedenle mikrodalga fırın kapağında elektromanyetik güç sızıntılarının konum tespitinin yapılması ve bu bölgelerin yol açtığı sızıntıların azaltılması önemlidir. Bu çalışmada, sızıntı ölçümlerde kullanmak üzere referans anten tasarımı yapılmıştır.

2. TASARIM PARAMETRELERİ

Sızıntı konumu tespiti için yüksek kazançlı bir antene ihtiyaç duyulmaktadır. Hem üretiminin hem de tasarımının kolay olması nedeni ile Şekil 1'de görülen standart kazançlı horn (Standard Gain Horn) anteni tasarım için seçilmiştir. Teknik açıdan tasarlanacak antenin 10dB üzerinde kazanca sahip olması ve geri yansıma katsayısının (S_{11}) belirtilen frekans aralığında en yüksek -10dB olması istenmektedir. Kullanım alanı göz önüne alındığında tasarlanan antenin 2.4GHz - 2.5GHz frekans bandında istenen performansta çalışması yeterli görülmüştür.



Şekil 1 Standart kazançlı horn anten

Antenin horn boyutları, 150mm kenar uzunlukları (a_1 ve b_1 uzunluğu) ve antenin girişindeki dalga kılavuzu boyutları, WR340 standart dalga kılavuzuna uygun olacak şekilde 86,36mm uzun kenar (a uzunluğu) ve 43,18mm kısa kenar (b uzunluğu) olarak seçilmiştir. Buna göre en yüksek anten kazancı,

$$G_0 = \frac{4\pi}{2\lambda^2} a_1 b_1 \tag{1}$$

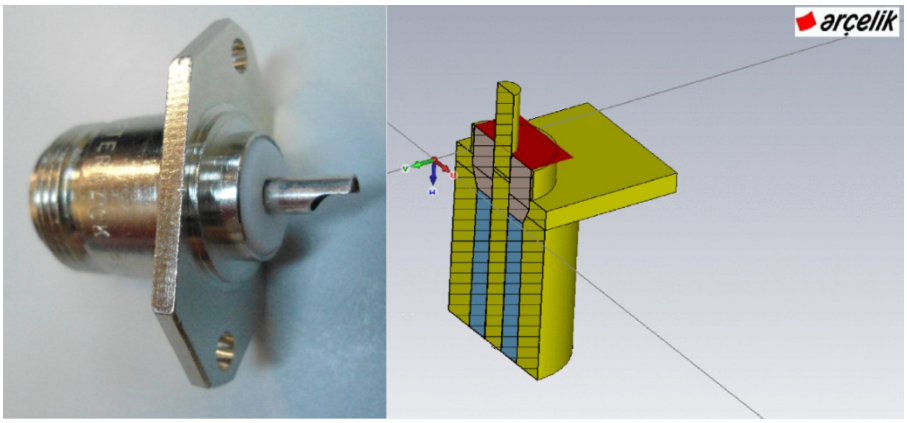
ifadesine sahiptir [3], [4]. Dalga kılavuzundan yayılan alanın grup ve faz hızları,

$$V_f = \frac{c^2}{V_g},\ V_g = c\sqrt{1-\left(\frac{f_c}{f}\right)^2},\ f_c = \frac{c}{2\pi}\sqrt{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2+\left(\frac{m\pi}{b}\right)^2} \tag{2}$$

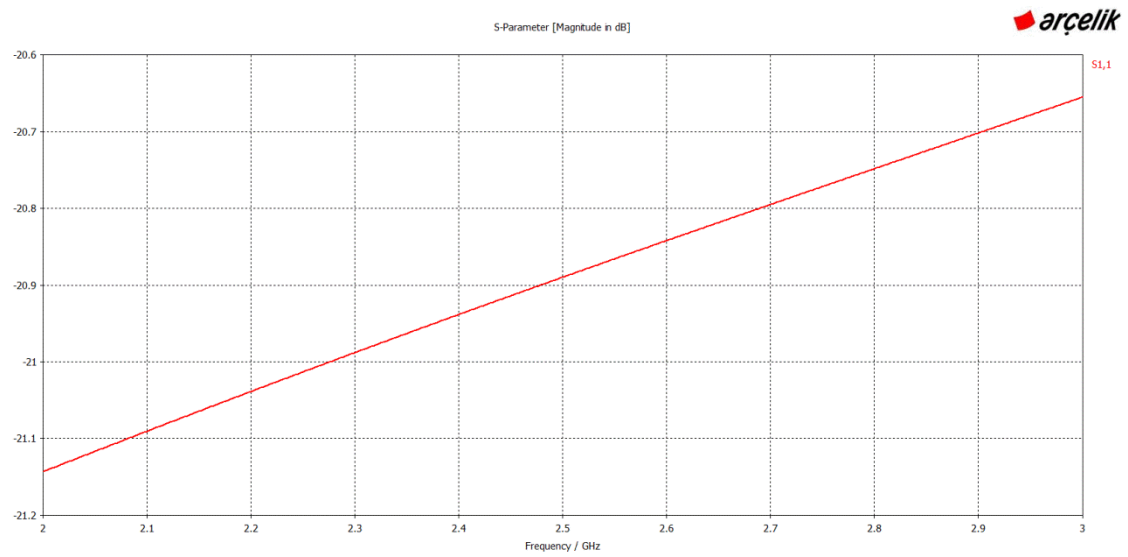
formülleri ile hesaplanabilir [5]. Burada f_c dalga kılavuzunun her bir moda ait kesim frekansıdır. Dalga kılavuzundan 1.7369GHz kesim frekanslı TE_{10} baskın modu yayılmaktadır. Bu moda ait dalga boyu (1)'de yerine konulduğunda en yüksek kazanç 2.45GHz frekansı için 12.7775dB, 2.4GHz frekansı için 12.7872dB, 2.5GHz frekansı için ise 12.7826dB olarak hesaplanmıştır. CST MWS yazılımı sayesinde elde edilen simülasyon sonuçlarında ise kazançlar 2.4GHz frekansı için 11.971dB, 2.45GHz frekansı için 12.208dB ve 2.5GHz frekansı için ise 12.360dB olarak elde edilmiştir.

3. CST MWS SİMÜLASYONLARI

CST MWS yazılımında simülasyonun gerçekleştirilebilmesi için öncelikle N tipi konnektör Şekil 2'de gösterildiği gibi modellenmiştir ve konnektörün S parametresi sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Simülasyonların yüksek doğrulukta olması için yapı üzerindeki mesh sayısı 7500000 civarında tutulmuş ve simülasyonlar uzak alan koşullarını sağlayan sınır koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

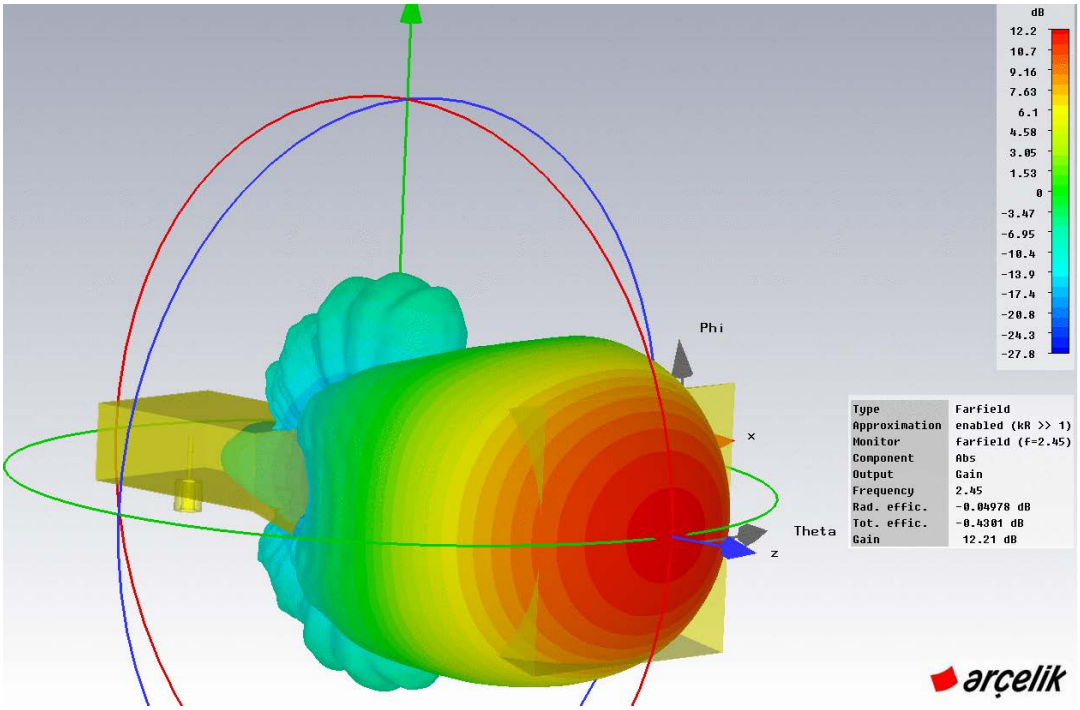


Şekil 2 N tipi yüzey montaj konnektör ve CST MWS modeli



Şekil 3 CST MWS yazılımı üzerinde modellenen N tipi konnektörün S_{11} parametresi

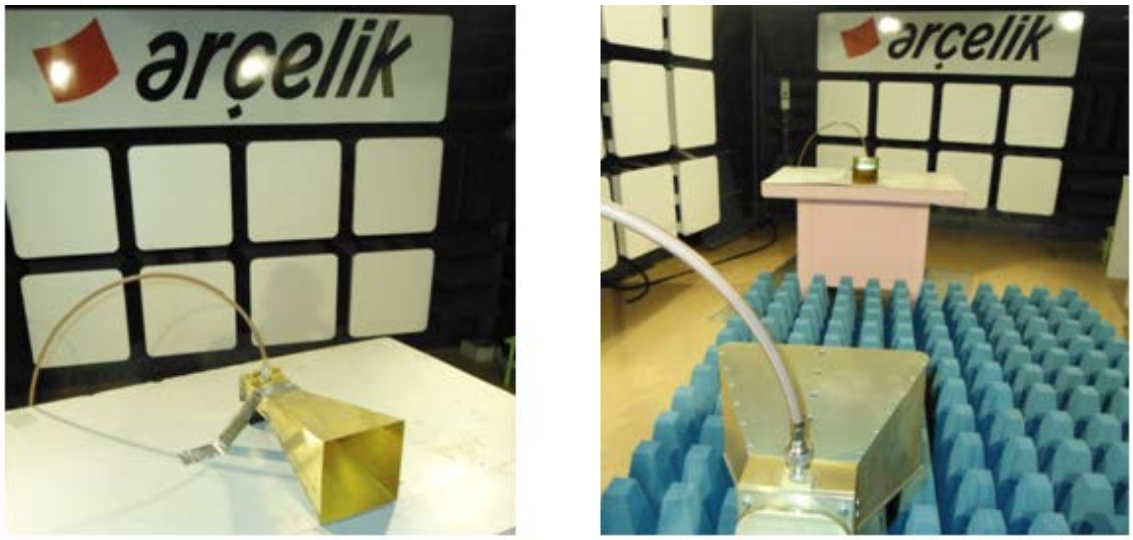
Şekil 4'de görüldüğü üzere tasarlanan anten, bakış ekseni olan $+z$ doğrultusunda en yüksek kazanca (12.208dB) sahiptir. Eşitlik (1)'e göre teorik kazanç değeri ise 12.7775dB'dir. Buna göre, CST sonucu ile teorik değer arasında 0.5695dB fark vardır.



Şekil 4. CST yazılımı ile tasarlanan antenin açıya bağlı kazancı

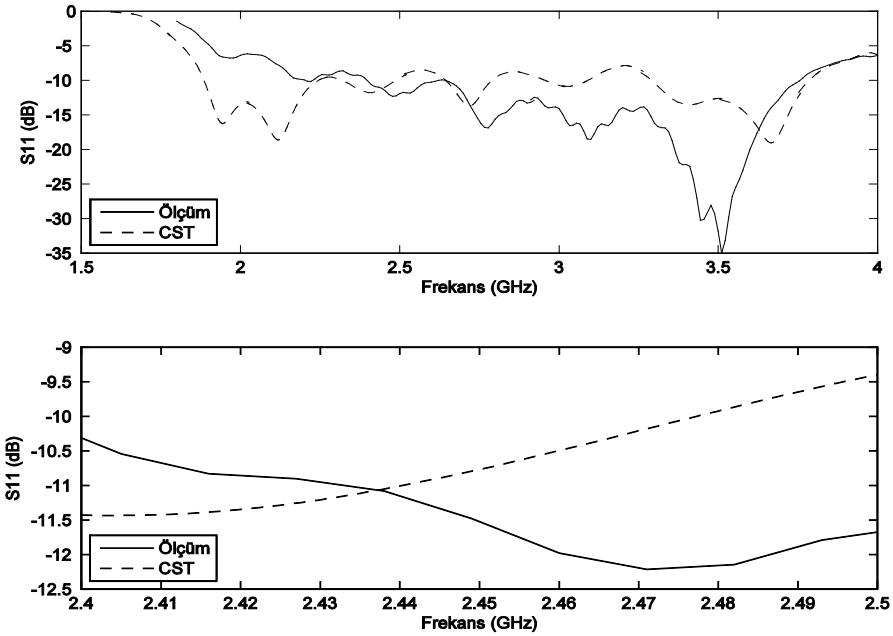
4. ÜRETİM VE ÖLÇÜMLER

Şekil 5'de pirinç malzemesinden üretilen anten ve üretilen antenin yarı yansımasız oda içerisindeki ölçümleri görülmektedir.



Şekil 5 Üretilen horn anten ve yansımasız odada ölçümleri

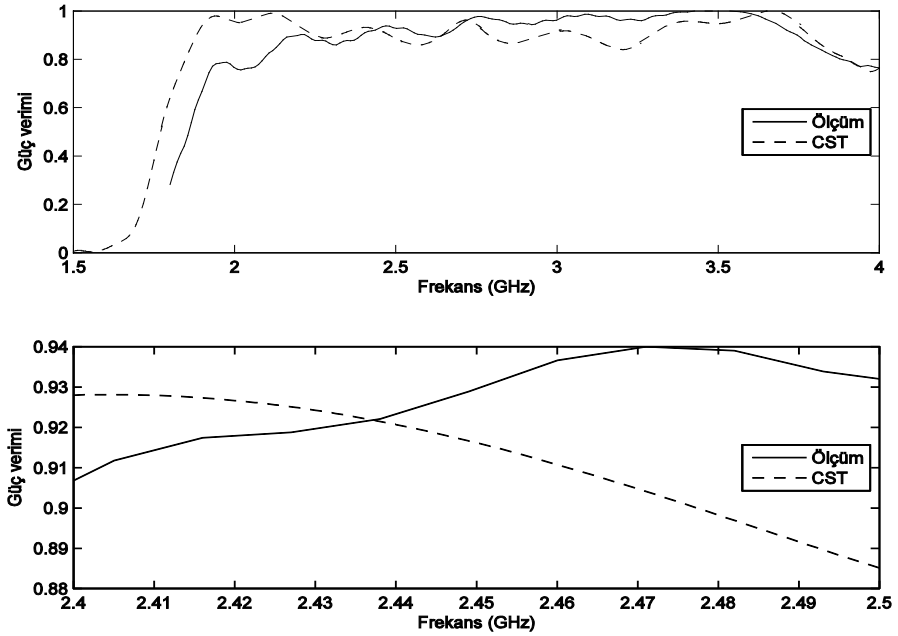
Şekil 6'da sistemin S_{11} parametresi gözükmektedir. Simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Ayrıca S_{11} parametresine zaman uzayında bakıldığı zaman, geri yansımanın büyük çoğunluğunun besleme bölgesinden geldiği görülmüştür.



Şekil 6 Sistemin geri yansıma değerleri

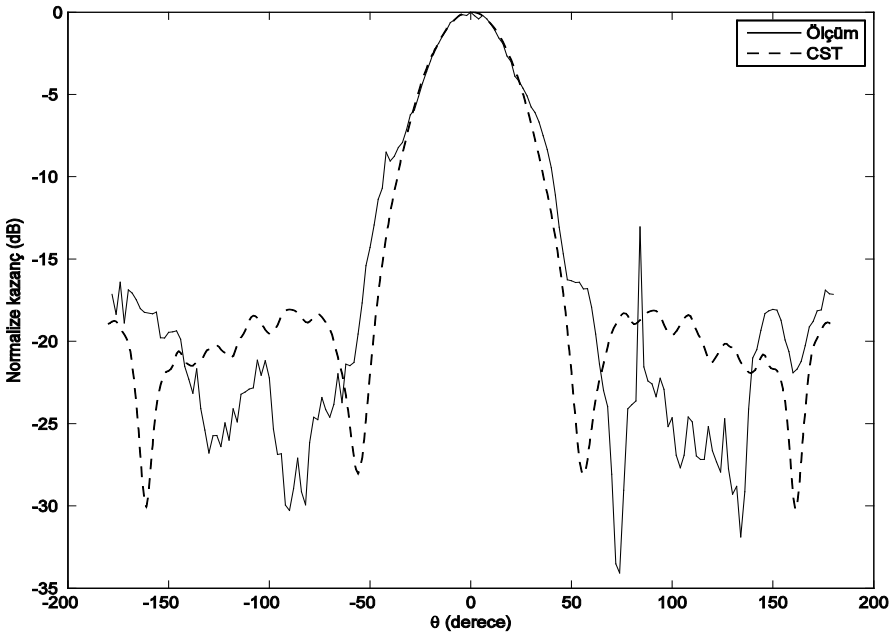
Antenin üretimi esnasında kullanılan konnektörün tam gerçek modeli CST yazılımı ile modellenmemiştir. Bunun yerine, CST yazılımında gerçek konnektöre yaklaşım yapılabilmiştir. Ayrıca, antenin prototipleme aşamasında konnektörün konumunda yapılan ufak üretim hataları, besleme bölgesindeki geri yansıma değerlerini değiştirmektedir. Bu temel sebeplerle, Şekil 6'da görüldüğü üzere, 2.4GHz ile 2.5GHz arasındaki simülasyon sonuçlarında S_{11} parametresi artarken, üretilen antenin aynı frekans bandındaki S_{11} parametresi 2.47GHz frekansına kadar düşmektedir. Bu frekans bandında her iki sonuç arasındaki en yüksek fark 2.2dB'dir. Bu fark 2.5GHz frekansında görülmektedir. Söz konusu frekanstaki CST simülasyonu sonucuna göre geri yansıma -9.5dB olduğu için, iletilen güç %88.7798'dir. Üretilen antenin aynı frekans noktasındaki geri yansıması -11.7dB olduğundan, iletilen güç %93.2392'dir. Dolayısıyla, CST sonuçları ile gerçek ölçüm sonuçları arasındaki S_{11} farkının en yüksek olduğu frekansta %5'lik iletilen güç farkı bulunmaktadır. Bu fark, istenilen iletim düzeyi için yeterlidir.

Şekil 7'de ise sistemin güç verimi gözükmektedir. Hedeflenen değerlere ulaşılmıştır.



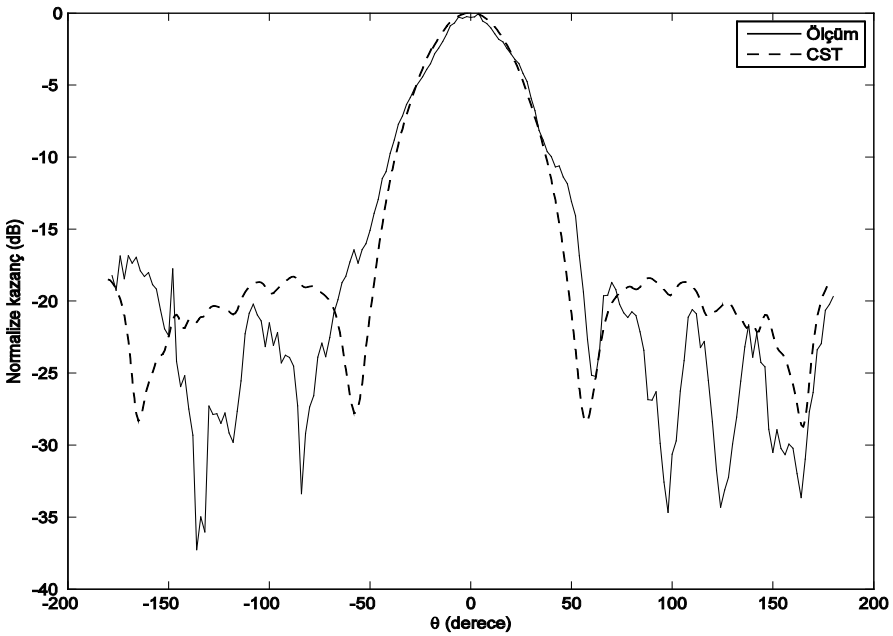
Şekil 7 Sistemin güç verimi

Şekil 8'de 2.45GHz'de simülasyon sonuçları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması gözükmektedir. 3dB hüzme genişliği simülasyon sonuçlarında ve ölçüm sonuçlarında yaklaşık 40^0 çıkmıştır. İki sonuç arasındaki bazı farklılıkların üretim töleransları ve ölçüm hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



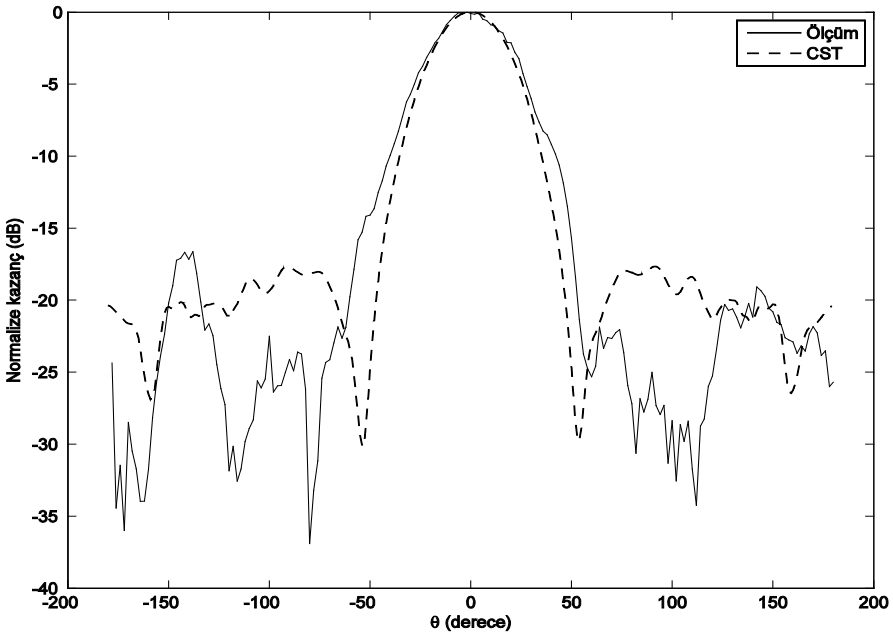
Şekil 8. 2.45GHz'de anten huzmesi simülasyon ve ölçüm sonuçları

Şekil 9'da ise 2.4GHz'de 3dB hüzme genişliğinin simülasyon sonuçlarında 42^0 ve ölçüm sonuçlarında yaklaşık 40^0 olduğu gözükmektedir.



Şekil 9. 2.4GHz'de anten hüzmesi simülasyon ve ölçüm sonuçları

Şekil 10'da 2.5GHz'de 3dB hüzme genişliğinin simülasyon sonuçlarında 40^0 ve ölçüm sonuçlarında yaklaşık 44^0 olduğu gözükmektedir.



Şekil 10. 2.5GHz'de anten huzmesi simülasyon ve ölçüm sonuçları

5. SONUÇ

Bu çalışmadaki standart kazançlı horn anten, gelecekte yapılacak olan ürün tasarım testlerinde kullanmak üzere imal edilmiştir. Analitik formüllerden yaralanarak, CST MWS yazılımı sonuçlarının, tasarımın teorik alt yapısı ile örtüştüğü gözlemlenmiştir.

CST MWS yazılımı ile tasarlanan antenin gerçeklenmesi amacıyla prototip üretimi yapılmıştır. Üretilen antenin yansımasız odada ölçümleri alınmıştır. Teorik kazanç değeri ile CST MWS yazılımında elde edilen kazanç değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Bununla birlikte geri yansıma grafiği ve anten huzme genişliği incelendiği zaman CST MWS yazılımı üzerinden gerçekleştirilen simülasyonlar ile prototip üzerinden alınan ölçüm sonuçları birbirine yakın çıkmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda kuruma standart kazançlı horn anten üretimi kabiliyeti ve ölçüm yeteneği kazandırılmıştır.

6. KAYNAKÇA

[1] IEC 60335-2-25, Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-25: Particular requirements for microwave ovens, including combination microwave ovens 2010.

[2] Computer Simulation Technology, Microwave Studio, CST MWS 2012.

[3] S. Ikram ve G. Ahmad, "Design & Implementation of a Standart Gain Horn Antenna for Optimized Gain and Radiation Pattern Using MathCAD & HFSS", *Second International Conference on Electrical Engineering,* pp. 1-5, 2008.

[4] Constantine A. Balanis, Antenna Theory and Design, New York, Harper & Row, 1982.

[5] Constantine A. Balanis, Advanged Engineering Electromagnetics, Wiley, 2012.

MODEL TABANLI SİMÜLASYON GELİŞTİRME İÇİN ARAÇ DESTEĞİ

Anıl Öztürk [(a)], Müge Canpolat [(b)], Umut Durak [(c)]

[(a)] ROKETSAN A.Ş., aozturk@roketsan.com.tr

[(b)] ROKETSAN A.Ş., mcanpolat@roketsan.com.tr

[(c)] ROKETSAN A.Ş., udurak@roketsan.com.tr

ÖZ

Model Tabanlı Tasarım (MTT) gömülü sistem tasarım, uygulama ve doğrulamasını tümleştiren, son yıllarda popülerliği iyiden iyiye artmış bir geliştirme yöntemdir. Bu yöntem simülasyonu geliştirme sürecinin ana unsuru haline getirerek, sürekli prototipleme olanağı sağlar. Simülasyonun geniş şekilde kullanımına dayanan MTT geliştirme yaşam döngüsünde gereksinim belirlemeden tasarıma; gerçeklemeden teste her adımda yenilikçi pratikler sunmaktadır. Simülasyona dayalı MTT pratikleri simülasyon sistem geliştirme süreçlerine de uygulanabilmektedir. Birçok rafta hazır model geliştirme ürünü MTT için farklı ölçülerde de olsa destek sağlamaktadırlar fakat yöntem ve akışlar olgunlaşmadığı için araçtan araca, hatta aynı aracın sürümleri arasında dahi farklılık göstermektedir. Bu da simülasyon sistemleri geliştirmek için standart bir MTT süreci yapılandırmanın önünde önemli bir engel teşkil etmektedir. Kurumlarda tek araç kullanımı başarılabilse dahi tek sürüm kullanımı sağlamak imkansız gözükmektedir. Bu çalışma kapsamında ele alınan MATLAB, MTT için yıllar içinde gelişen birçok araç desteği sunmaktadır. Bunlar modellerin statik analizinden, kod üretimine, model test kapsamı çözümlemesinden döngüde model testlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Araçların kullanım biçimleri ve yetenekleri her yeni sürümde değişmekte ve gelişmektedir. Bu çalışmada MTT ile simülasyon sistemi geliştirme süreci ve MATLAB'ın geçtiğimiz beş yıl içinde yayınlanan sürümlerindeki MTT araçları soyutlanarak tasarlanan ROKETSAN MTT Araç Kutusu tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Model Tabanlı Tasarım, Simülasyon Sistemi Geliştirme Süreci, MATLAB.

TOOL SUPPORT FOR MODEL BASED SIMULATION DEVELOPMENT

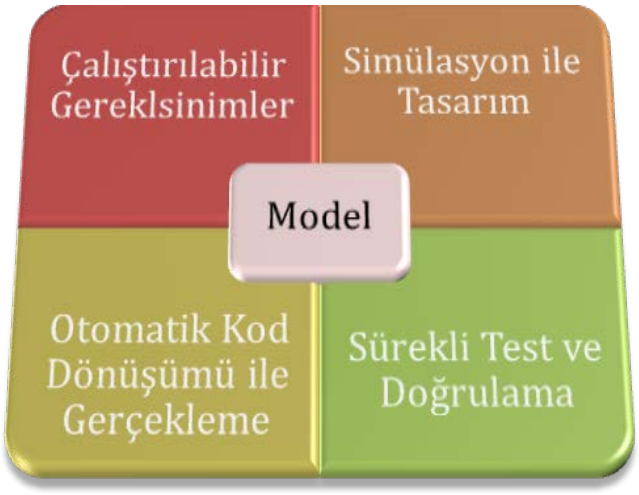
ABSTRACT

Model-Based Design (MBD) has been one of the popular embedded systems development approaches in recent years. MBD is an efficient development approach, which integrates system design, realization and verification/validation processes. The main advantage of MBD lies behind placing the simulation practice at the core of development process and thereby encouraging rapid prototyping. MBD approach provides innovative practices at every phase of system development lifecycle, through the system analysis/specification to system design and test. MBD practices are also applicable to simulation systems development. Many COTS (Commercial Off-The-Shelf) simulation environments provide support for MBD practices at different extents, and the mechanisms of support varies through each of these simulation environments and even in each different version of the same environment since the MBD methodology is not that mature yet. This constitutes a significant obstacle in developing a system simulation via a standardized MBD methodology. Even though many organizations achieved converging to a single simulation environment to support their MBD processes, it seems almost impossible to freeze a specific version of the environment. MATLAB provides tools that have been developed for years to support MBD. These tools present a wide spectrum of functionalities including static code analysis, code generation and model test coverage analysis. The usage and the functionality of tools have been subject to changes and evolution with each new version. This study introduces the ROKETSAN MBD Toolbox, which is developed to abstract MATLAB MBD tools that have been published in the past five years. Thus standardization can than be achievable in MBD process.

Keywords: Model-Based Design, System Simulation Development Lifecycle, MATLAB

1. GİRİŞ

Model Tabanlı Tasarım (MTT) gereksinimlerin belirlenmesinden, tasarıma, gerçeklemeden teste tüm geliştirme sürecinin sistem modeli etrafında ele alan bir yöntemidir. Bu yaklaşım farklı alanlarda farklı nüanslar ile yorumlanıp, modelleme için farklı standartlar kullanılmaktadır. Bu makalede gömülü sistemler için kullanım pratikleri temel alınmıştır. Çalışma Mathworks firmasının MTT yaklaşımı üzerine yapılandırılmıştır [1].



Şekil 1 Model Tabanlı Tasarım Döngüsü [1]

Şekil 1'de sunulduğu gibi MTT ilk adımda modelleri çalıştırılabilir gereksinim olarak sunar. Girdilere karşı beklenen çıktılar ile geliştirilen sistemin başarımının tanımlanmasını salık verir. Bunun yanında modeller metin olarak tanımlanmış gereksinim belgelerine bağlanarak izlenebilirlik sağlanabilmektedir [2]. Sonrasında ise tasarım geliştirilen model ile tanımlanır ve simülasyonlar ile en iyilenir. Gerçekleme aşaması sadece geliştirilen modelin koda çevrilmesi olarak tanımlanmaktadır. Tasarımın tanımlandığı modellerin çalıştırılabilir yapısı, geliştirmenin erken aşamalarından itibaren sürekli bir doğrulama ve geçerleme faaliyetine olanak sağlamaktadır.

Simülasyona dayalı MTT pratikleri simülasyon sistem geliştirme süreçlerine de uygulanabilmektedir [3]. Open Modelica [4] SimulationX [5], Dymola [6], Ptolemy II [7] gibi birçok model geliştirme aracı MTT için farklı ölçülerde de olsa destek sağlamaktadırlar fakat yöntem ve akışlar olgunlaşmadığı için araçtan araca, hatta aynı aracın sürümleri arasında dahi farklılıklar görülmektedir. Bu da simülasyon sistemleri geliştirmek için standart bir MTT süreci yapılandırmanın önünde önemli bir engel teşkil etmektedir. Birçok kurumda tek araç kullanımı başarılabilse dahi tek sürüm kullanımı sağlamak olanaksız gözükmektedir. Bu çalışma kapsamında MATLAB [8][9][10] tarafından sunulan MTT olanakları ele alınacaktır. MATLAB, MTT için yıllar içinde gelişen birçok araç desteği sunmaktadır. Bu araçlar işlevsel olarak modellerin statik analizinden, kod üretimine, model test kapsamı çözümlemesinden döngüde yazılım testlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Araçların kullanım biçimleri ve yetenekleri her yeni sürümde değişmekte ve gelişmektedir. Bu çalışmanın katkısı standart bir MTT süreci yapılandırmak için MATLAB'ın geçtiğimiz beş yıl içinde yayınlan sürümlerindeki MTT araçları soyutlamak amacı ile geliştirilen ROKETSAN MTT Araç Kutusudur. Bu sayede kullanılan MATLAB sürümlerinden bağımsız olarak ROKETSAN MTT Araç Kutusu tarafından sağlanan fonksiyonlar ile geliştirilen sistem simülasyonlarının standart bir süreç işletilerek üretilmesi mümkün kılınmıştır.

Makalenin ikinci bölümünde MTT ile simülasyon geliştirme, üçüncü bölümde Roketsan MTT Araç Kutusu sunulacaktır. Bildiri sonuç bölümü ile tamamlanacaktır.

2. MTT ile Simülasyon Sistemlerinin Geliştirmesi

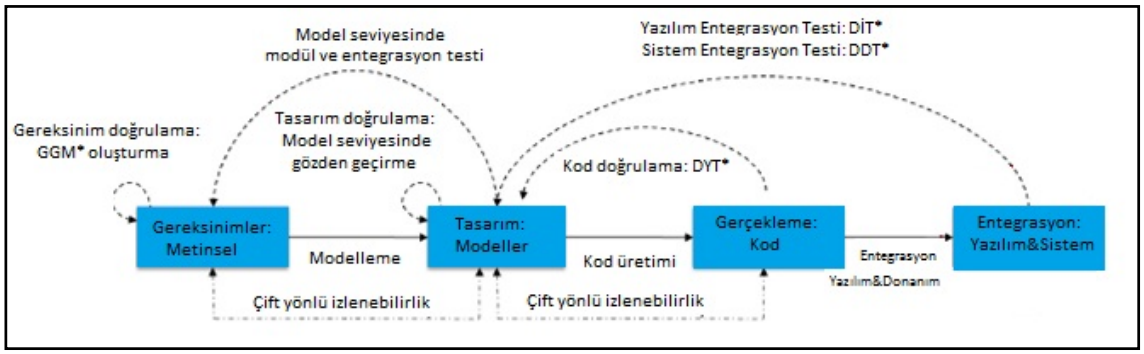
MTT kullanılarak simülasyon sistemlerinin geliştirilme yaşam döngüsü [11][12][13] literatürde önerilen MTT ile sistem geliştirme yöntemlerine paralellik göstermektedir [3]. MTT temel alınarak ortaya konulan simülasyon sistemi geliştirme sürecinin adımları, geleneksel geliştirme süreci adımları ile benzerlik göstermesine rağmen, bu temel adımlar kapsamında yapılan işlemler, buna bağlı olarak her adım için gerekli girdi/çıktılar ve adımlar arasındaki ilişkiler birbirlerine göre oldukça farklılık göstermektedir. İlk olarak MTT ile sistem geliştirme kapsamında yer alan gereksinim toplama ve analizi, tasarım, gerçekleme, doğrulama ve geçerleme adımları, bu adımlar içinde yer alan aktiviteler ve fazların birbirleriyle olan ilişkileri Dillaber ve arkadaşları tarafından ortaya koyulan hususlar [6] ışığında gözden geçirmek faydalı olacaktır.

Gereksinim toplama ve analizi adımında geleneksel yöntemden farklı olarak, model kullanılarak çalıştırılabilir gereksinimler oluşturulur. Oluşturulan model Geçerlenebilir Gereksinim Modeli (GGM) olarak anılmaktadır. Bu sayede, geleneksel yöntemde ancak doğrulama ve geçerleme sonunda yapılabilen gereksinim doğrulaması daha ilk aşamada gerçekleştirilmiş olur.

Tasarım adımındaki amaç, geleneksel yöntemde olduğu gibi, eldeki gereksinimlerin karşılanabilmesi için ihtiyaç duyulan ana mimari, arayüzler, fonksiyonlar ve prosedürlerin açıklanması ve detaylandırılmasıdır. Ancak, farklı olarak MTT'de tasarım, dokümanlar üzerinden değil, oluşturulan modeller üzerinden açıklanır. Gereksinim toplama adımının çıktısı olan çalıştırılabilir gereksinimler, bu adım için önemli bir girdi oluşturur. Oluşturulan tasarım modelinin, isterleri tam olarak karşılayabileceğinden emin olunması içinse benzetim veya sürekli prototipleme yöntemi kullanılır.

Gerçekleme adımında tasarım adımının çıktısı olan tasarım modeli girdi olarak işlenir. Bu işlem sonucunda tasarım modeli, çalıştırılabilir kaynak koduna dönüştürülür. Geleneksel yöntemle, tasarım temel alınarak elle yazılan kaynak kod, MTT yaklaşımında otomatik kod dönüşüm araçları ile üretilir. Bu sayede tasarım modelinden sapma ortadan kaldırılır ve kodlama zamanı önemli ölçüde azaltılmış olur.

MTT yaklaşımında, doğrulama ve geçerleme işlemlerinin sürecin ilk adımı olan gereksinim tanımlama adımından başlayarak, sürecin geneline yayıldığı ve süreklilik gösterdiği gözlemlenmektedir.

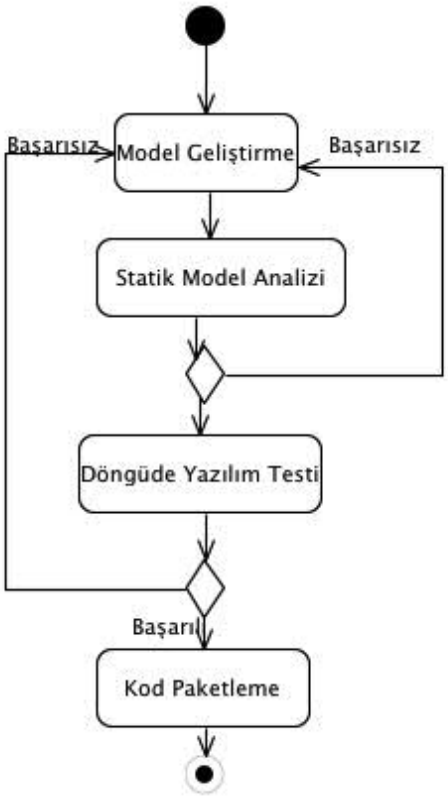


Şekil 2 MTT Doğrulama ve Geçerleme İş Akışı [2]

Şekilden de anlaşılacağı gibi, doğrulama ve geçerleme işlemi ilk olarak gereksinim fazında GGM oluşturularak başlamış olur. Gereksinimlerin doğrulanması ardından, oluşturulan GGM de kullanılarak tasarım modelleri oluşturulur. Oluşturulan tasarım modellerinin gereksinimleri tam olarak karşılaması ve açıkta gereksinim bırakmaması çift yönlü izlenebilirliğin sağlanması açısından önemlidir. Oluşturulan tasarım modelleri, tasarım fazı boyunca sürekli bir gözden geçirme işlemine tabi tutulur; ve elde edilen tasarım modeli, modül ve entegrasyon testine tabi tutulur; herhangi bir hata durumunda gereksinimlerden başlanarak anlatılan işlemler tekrarlanır. Başarı sağlanması durumunda ise kaynak kod üretimi gerçekleştirilir. Üretilen kaynak kod Döngüde Yazılım Testine (DYT) tabi tutularak doğrulanır. Sonrasında ise yazılım ve hedef donanım entegrasyonu gerçekleştirilir. Bu safhada doğrulama ve geçerleme fazının son işlemi olan yazılım ve donanım testleri gerçekleştirilir. Bu amaçla sırasıyla Döngüde İşlemci Testi (DIT) ve Döngüde Donanım Testleri (DDT) gerçekleştirilir. Özellikle gerçek zamanlı platformalar üzerinde koşacak gömülü eğitim simülatörleri gibi simülasyon sistemlerinde DİT ve DDT büyük önem taşımaktadır. DYT, DIT ve DDT'de karşılaşılabilecek hata durumunda tasarım modeline dönülür; ve hata giderme sonrasında anlatılan işlemler tekrarlanır. Başarı durumunda tasarımın ve tasarım sonucunda üretilen kaynak kodun isterleri tam ve hatasız olarak karşıladığı doğrulanmış olur.

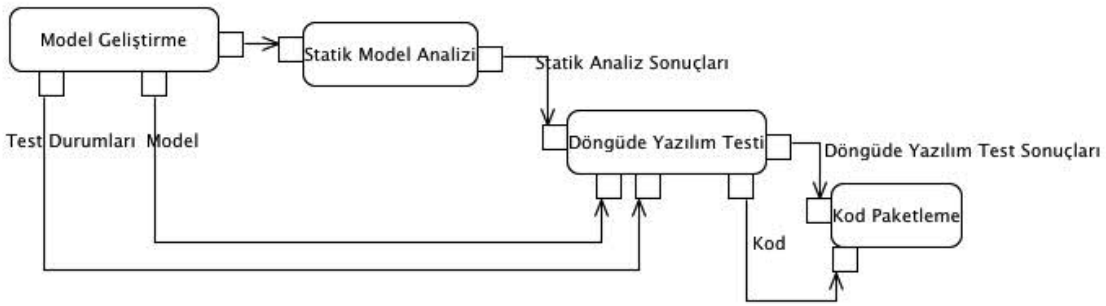
3. Roketsan MTT Araç Kutusu

Roketsan MTT Araç Kutusu, MTT doğrulama ve geçerleme iş akışında sunulan tasarım modelinin doğrulanması, kod üretim, ve DYT ile kod doğrulamasını hedeflemektedir. Bu kapsamda aşağıda sunulan akış uyarınca tasarım modelinin statik analizi için *check_model*, DYT içinse *run_sil_test* ve oluşturulan kodun paketlenmesi içinse *generate_code_package* fonksiyonları geliştirilmiştir. Bu temel fonksiyonlara ek olarak kullanıcının statik analiz ve döngüde donanım test sonuçlarını detaylı analiz edebilmesine yönelik *generate_model_checking_report* ve *generate_sil_test_report* fonksiyonları geliştirilmiştir.



Şekil 3 Roketsan MTT Araç Kutusu Kontrol Akışı

Statik Kod Analizi aşamasında *check_model* fonksiyonu MATLAB'ın sahip olduğu servisleri soyutlayarak geliştirilen tasarım modelinin döngüde yazılım testi açısından uygunluğunu kontrol eder. Girdi olarak model dizini, model adı ve alt model adını alır ve çıktı olarak ise statik model analizinin başarılı olup olmadığı bilgisini döner. Bu kapsamdaki kontrolde öncelikli olarak tasarım modelinin ayrık örnekleme zamanına sahip olması kontrol edilir. Sürekli örnekleme zamanına sahip modeller başarısız olarak işaretlenir. Bu kapsamda ayrıca modelin daha önceden belirlenmiş olan modelleme pratikleri ve kod dönüşüm ayarlarına sahip olup olmadığı incelenir. Kod dönüşüm ayarları ve modelleme pratikleri belirlenmesi sırasında kullanıcının Mathworks Automative Advisory Board tarafından hazırlanan MATLAB ile kontrol algoritmaları tasarlama kılavuzu [14] ve DO 178B uyumluluğa yönelik modelleme pratiklerinden [15] seçilen bir kümeye uyması sağlanmaktadır. Belirlenmiş olan bu ölçütlere göre model kontrol edilerek tasarım modeli başarılı veya başarısız olarak işaretlenir. Uyumsuzluk durumunda kullanıcının sürecin kalan kısımları işletmesine izin verilmez ancak rapor aracılığıyla uyumsuzlukları görüp gidermesine ve süreci yeniden işletmesine olanak sağlanır.



Şekil 4 Roketsan MTT Araç Kutusu Nesne Akışı

Döngüde Yazılım Testi için önce Döngüde Yazılım Testi modeli oluşturulur. Oluşturulan test modeli hem kullanıcının geliştirdiği modeli hem de buna karşılık gelen MATLAB s-function modelini içerir. İlgili s-function modeli oluşturulurken öncelikli olarak kullanıcının tasarım modeli daha önceden belirlenmiş olan kod dönüşüm ayarları kullanılarak koda çevrilir. Daha sonra, bu kodun MATLAB ortamı ile haberleşmesini sağlayacak şekilde kabuk yapıda bir s-function modeli oluşturulur. Sonraki adım ise test modeli kapsamında bu iki modelin aynı girdileri alacak şekilde birleştirilmesidir. Ayrıca Döngüde Yazılım Test modeli her iki modelin de çıktılarını kaydedecek yapıya sahiptir. *run_sil_test* fonksiyonu girdi olarak statik analiz sonucunu, döngüde yazılım test modelini, test durumlarını alır. Çıktı olarak ise her iki modelin zamana bağlı çıktıları ve model çıktılarından tolerans dışında kalanların bilgisini içeren DYT sonuçlarını verir.

Kod Paketleme sürecinde; Döngüde Yazılım Testi aşamasında üretilen kod, kod bağımlılıkları göz önünde bulundurularak bir pakete dahil edilir. DYT sonuçları ve paket içeriği kullanılarak bir checksum oluşturulur. Sadece DYT sonuçlarının başarılı olması durumunda, yani bütün parametrelerin kullanıcının belirlediği tolerans aralığında bulunması durumunda checksum oluşturulmaktadır. Böylelikle tüm süreç adımlarının başarı ile işletildiğinden emin olunur.

generate_model_checking_report statik kod analizi sonuçlarını HTML formatında bir rapor olarak kullanıcıya sunar. *generate_sil_test_report* ile temel olarak iki sonuç HTML formatında birer rapor olarak kullanıcıya sunulur. Birinci raporda simülasyon çıktılarının hem model hem de s-function için zamana bağlı değerleri kullanıcıya sunulur. Bu çıktıların farklılığı kullanıcının belirlemiş olduğu toleranslar dahilinde incelenir. Tolerans dışında kalan parametrelerin bilgisi yine bu rapor aracılığıyla kullanıcıya sunulur. İkinci raporda ise kullanıcının tanımlamış olduğu test durumlarının yeterliliği bilgisi (coverage report) kullanıcıya sunulur. Kullanıcı bu rapordan elde

edeceği bilgiye göre ek test durumları ihtiyacını belirleyip, ek test durumları tanımlayarak bu ana kadarki süreci yeniden işletebilir.

4. SONUÇ

MATLAB tarafından sunulan MTT araçlarının kullanım biçimleri ve yetenekleri her yeni sürümde değişmekte ve gelişmektedir. Bu durum birçok MATLAB sürümünün aynı anda kullanıldığı organizasyonlarda standart bir geliştirme süreci tanımlamanın önünde engel teşkil etmektedir. Bu çalışmada MATLAB'ın farklı sürümlerinde sunulan MTT araçlarını soyutlayan Roketsan MTT Araç Kutusu geliştirilmiştir. Makale MTT ile simülasyon sistemlerinin geliştirilme sürecini ve Roketsan MTT Araç Kutusunu tanıtmaktadır.

Makalede konuya süreç ve araç yeteneklerinin tanıtılması kapsamında yaklaşılmış, geliştirilen araç kutusunun tasarımına, işleyişine ve MATLAB araçlarını ne şekilde soyutladığına değinilmemiştir. Bunun yanında statik analizde denetlenecek model ve kod çevrim özellikleri, MATLAB kod çevriminin kurumsal gereksinimlere göre yapılandırılması, döngüde yazılım testleri için kullanılan yöntem tartışmaları hak etmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] Smith, P. F., Prabhu, S. M., Friedman, J., "Best Practices for Establishing a Model Based Design Culture", SAE Technical Paper 2007-01-0777, 2007.

[2] Peter J. Schubert, Lev Vitkin, ve Frank Winters, "Executable Specs: What Makes One, and How are They Used?" 2006 SAE World Congress, Detroit, MI, April 2006, 2006-01-1357.

[3] Canpolat, M., Durak, U., "Model Tabanlı Simülasyon Yazılımı Geliştirme", VI. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu, Yazılım Mühendisliği ile Modelleme ve Simülasyon Sinerjisi Çalıştayı, 2012.

[4] Fritzson, P., Aronsson, P., Pop, A., Lundvall, H., Nystrom, K., Saldamli, L., ve Sandholm, A., "OpenModelica-A free open-source environment for system modeling, simulation, and teaching", In Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control, 2006 .

[5] SimulationX Web Sitesi, http://www.itisim.com/simulationx/

[6] Brück, D., Elmqvist, H., Mattsson, S. E., & Olsson, H., "Dymola for multi-engineering modeling and simulation", In Proceedings of 2nd International Modelica Conference, 2002.

[7] Davis, J., Goel, M., Hylands, C., Kienhuis, B., Lee, E., Liu, J., ve Xiong, Y., "Ptolemy II: Heterogeneous concurrent modeling and design in Java", University of California, Berkeley, Tech. Rep. UCB/ERL M, 99.

[8] MATLAB Simulik Web Sitesi, http://www.mathworks.com/products/simulink/

[9] . Dillaber E, Kendrick L, Jin W ve Reddy V. "Pragmatic Strategies for Adopting Model-Based Design for Embedded Applications". 2010, The Mathworks.

[10] MATLAB Embedded Coder, http://www.mathworks.com/products/embedded-coder/

[11] Wiedenbeck, J.K., Kline, D.E., “System Simulation Modeling: A Case Study Ilustration of Model Development Lifecyle”, Wood and Fiber Science, 26 (2), 1992.

[12] Nance, R. E. “Model representation in discrete event simulation: The conical methodology.” Tech. Rep. CS81003-R, Department of Computer Science, Virginia Tech, Blacksburg, VA, 1981.

[13] Nance, R. E. ve Balcı, O., “The objectives and requirements of model management.” In M. Singh, ed. Systems and control encyclopedia: Theory, technology, and applications. Pergamon Press, Oxford, 1986

[14] Board, MathWorks Automotive Advisory. "Control Algorithm Modeling Guidelines Using MATLAB." Simulink, and Stateflow, Version 3, 2012.

[15] Potter, B., Use of The MathWorks Tool Suite to develop DO-178b certified code.”, In ERAU/FAA Software Tools Forum, Daytona Beach, FL., US, 2004.

BİLGİ GÜVENLİĞİ VE SİBER SAVUNMA KONULARINDA SİMÜLASYON VE MODELLEMENİN ÖNEMİ VE KULLANIM ALANLARI

Aydın DİRESKENELİ [(a)], Bülent BAŞKUŞ [(b)], Özlem DURA [(c)]

(a) STM A.Ş., Bilkent Cyberpark, E Blok, 5.Cadde, No: 6/A, 06800, Bilkent – Çankaya/ANKARA, adireskeneli@stm.com.tr

(b) STM A.Ş., Bilkent Cyberpark, E Blok, 5.Cadde, No: 6/A, 06800, Bilkent – Çankaya/ANKARA, bbaskus@stm.com.tr

(c) STM A.Ş., Bilkent Cyberpark, E Blok, 5.Cadde, No: 6/A, 06800, Bilkent – Çankaya/ANKARA, odura@stm.com.tr

ÖZ

Bilgi güvenliğine ilişkin olarak ABD hükümeti tarafından idame edilen Ulusal Zafiyet Veritabanına (NVD) kaynak oluşturan ve açık kaynak olarak ulaşılabilen zafiyet veritabanları ve listeleri bulunmaktadır. Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından başlatılan Bütünleşik Siber Güvenlik Sistemi (BSGS) fizibilite çalışması kapsamında, STM A.Ş. ve ANEL ARGE tarafından prototip bir ürün geliştirilmektedir. Prototip ürün ile bu veritabanlarından çekilen bilgiler işlenerek bilgi güvenliği ve zafiyet ontolojisine uygun olarak güvenlik uzmanlarına sağlanacak arayüzler vasıtası ile bilgi güvenliği zafiyetlerinin önsel koşullarının ve olası sonuçlarının analizi için bir ortam sağlanacaktır. Bu bildiri ile BSGS fizibilite çalışması ve ara çıktılarından da yararlanılarak; bilgi güvenliği ve siber savunma konularında simülasyon ve modellemenin önemi ve kullanım alanları ele alınmıştır. Siber uzayın simüle edilmesi için tehditlerin ve varlıkların gerçekçi olarak modellenmesi, siber ataklara karşı geliştirilecek savunma tekniklerinin deneneceği sınama ortamlarının oluşturulması, muhtemel siber saldırı durumları ve önleyici kurumsal uygulamalar, kritik altyapıların ve SCADA sistemlerinin güvenliği konularında incelemeler ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bilgi Güvenliği, Kritik Altyapı, Modelleme, SCADA, Siber Savunma, Simülasyon

IMPORTANCE AND USAGE OF MODELING AND SIMULATION IN INFORMATION SECURITY AND CYBER WARFARE AREAS

ABSTRACT

Undersecretariat for Defense Industries has started the feasibility study of "Integrated Cyber Security System (ICSS)" to develop a proof of concept prototype, which will use and process open source data from USA Government maintained National Vulnerability Database and lists. This prototype is being developed by STM A.Ş. and ANEL ARGE and will analyze preconditions and estimated results based on information security and vulnerability ontology and provide user interfaces to the information security experts. With this article, importance and usage of modeling and simulation is discussed in information security and cyber defense area by taking advantage of the ICSS feasibility study and its outcomes. Modeling threats and network entities with high fidelity in order to simulate cyber space, building testbeds to test defense techniques against cyber attacks, possible cyber attacks and preventive enterprise applications, security of critical infrastructures and SCADA systems are reviewed and discussed.

Keywords: Critical Infrastructure, Cyber Defense, Information Security, Modelling, SCADA, Simulation

1. GİRİŞ

Ülkelerin bilgi sistemleri ve stratejik kurumlarına yapılan sanal saldırıların, fiziksel hasarlardan çok daha büyük yıkımlar oluşturduğu günümüzde, ulusal güvenliğin, ekonomik ve sosyal gelişimin sağlanması için siber güvenlik politikalarının geliştirilmesi ve bu alana yapılan yatırımların planlanması önem kazanmaya başlamıştır. Yapılan siber saldırıların etkisinin tüm siber uzayda hissedilmesi ve güvenlik seviyesinin en zayıf seviyede korunan sistem seviyesinde sağlanabilmesi, bu alanda dikkat edilmesi gereken önemli bir husustur. Dünyada yakın zamanda gerçekleşmiş olan siber saldırılar göstermiştir ki, siber saldırılar kamu kurum ve kuruluşlarına, maddi zarara sebebiyet vermesi, özel nitelikli bilgilerin korunmasında zaafiyete yol açması, kurumlara duyulan güven ve saygınlığı zedelemesi gibi zararlar vermektedir.

Siber güvenlik alanında yapılan araştırma ve pratikler son 20 yılda artmakla beraber tamamıyla çözümlenmiş değildir. Bu alanda geliştirilen uygulamalar, siber güvenlik ile simülasyon arasındaki etkileşimin de artmasına yol açmıştır. Modelleme ve simülasyon teknikleri, güvenlik önlemlerinin sistemlerin performansına etkisinin analiz edilebilmesi, zafiyetlerin, bilinen atak tiplerinin, sistem konfigürasyonunun göz önüne alınarak risk değerlendirmesi yapılması, sistemlerin canlı kullanıma geçirilmeden önce

siber saldırılara karşı denenmesi gibi pek çok alanda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. (1)

Günümüzde organize ve planlı siber saldırılar ülkelerin kritik altyapılarını hedef almaktadır. Kritik altyapıların bu saldırılara karşı zafiyetlerinin belirlenmesi için geleneksel bilgi güvenliği süreçlerinin kullanılması yeterli ve maliyet etkin olmamaktadır. Bu doğrultuda, modelleme ve simülasyon tekniklerinin kullanılması özellikle SCADA sistemlerine yönelik saldırıların önlenmesinde etkin rol oynayacaktır.

2. BÜTÜNLEŞİK SİBER GÜVENLİK KONSEPTİ VE KURUMSAL UYGULAMALAR

NATO, 2010 yılında Lisbon'da düzenlediği zirve ile yeni stratejik konseptini belirlemiş ve Siber Güvenlik bu konseptte yerini almıştır (NATO Stratejik Konsepti 2010, 12. ve 19. maddeler).(2) Bu stratejiye paralel olarak, 2007 yılında Estonya'da kurulmuş olan NATO Cooperative Cyber Defence Center of Excellence (NATO CCDCoE) kuruluşunun önemi ve bütçesi artırılmıştır. Bu mükemmeliyet merkezinin amacı, siber savunma konusunda stratejiyi ve yol haritasını belirlemek ve NATO üyesi ülkeler arasında Siber Güvenlik alanında işbirliğini artırmaktır. Bu bağlamda değişik zamanlarda Siber Güvenlik tatbikatları düzenlenmekte, NATO üyesi ülkelerin geliştirdiği siber güvenlik sistemlerinin denenmesi ve değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Siber Güvenlik ile ilgili NATO içerisindeki yetkili ajans NC3A, 2012 yılı Mart ayında NATO tarihinin en büyük bütçeli Siber Güvenlik sözleşmesine imza atmıştır. Toplamda 58 Milyon Euro bütçesi olan bu projenin amacı, NATO Computer Incident Response Capability (NCIRC) yeteneklerinin geliştirilmesi, siber saldırılara karşı bir komuta kontrol konseptinin hayata geçirilmesi ve NATO'nun siber saldırılara karşı korunup, NATO üyesi ülkelere; eğer istenirse; siber güvenlik amaçlı yardım edilmesi için gerekli olan altyapının kurulmasıdır. Bu kapsamda 2 önemli konu ön plana çıkmaktadır:

- Ortak Bilgi Güvenliği Resmi (Common Information Assurance Picture: CIAP)
- Dinamik Risk Değerlendirme Sistemi

Tüm kurum ve kuruluşların siber saldırılara karşı korumak zorunda oldukları verileri vardır. Bu verileri korumak amacıyla birçok ticari ürün kullanılmakta ve saldırı çeşitlerine göre önlem alınmaktadır. Firewall, antivirüs yazılımları, IDS (Intrusiton Detection System), IPS (Intrusion Prevention System) gibi ürünler bunların başında gelmektedir. Kurumlar ne kadar İnternet ile iç içe iseler o kadar risk altındadır. Örneğin, yazışmaların veya özel raporların tutulduğu bir Elektronik Belge Yönetim Sistemi (eBYS) olan bir kurum, bu belgeleri internet üzerinde erişime açtığında saldırı risklerine açık hale gelmiş olacaktır. Bu riskleri azaltmak ve saldırılara karşı koymak amacıyla kurumlar, güvenlik ürünleri kullanmak ve eBYS gibi kritik yazılımların, güvenli

yazılım geliştirme yöntemleriyle geliştirildiğinden ve test edildiğinden emin olmak zorundadır.

Kurumlar tek tek güvenlik ürünleriyle ancak bir noktaya kadar tedbir almış olacaklardır. Bu doğrultuda Türkiye'de ulusal çalışmaların yapılmasının ihtiyacı doğmuş ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı'nın himayesinde Bütünleşik Siber Güvenlik Sistemi (BSGS) Fizibilite Çalışması başlatılmıştır.

Bilgi güvenliğine ilişkin olarak ABD hükümeti tarafından idame edilen Ulusal Zafiyet Veritabanına (NVD) kaynak oluşturan CVE (Common Vulnerabilities and Exposures), CWE (Common Weakness Enumeration), CPE (Common Platform Enumeration); CAPEC (Common Attack Pattern Enumeration and Classification) ve CVSS (Common Vulnerability Scoring System) listeleri bulunmaktadır. Açık kaynak olarak ulaşılabilen bu veritabanı ve listelerden çekilen bilgiler sürekli olarak güncellenmektedir. Güvenlik Zafiyet Analizi ve Risk Değerlendirme Sistemi makalesinde belirtildiği üzere, söz konusu listelerden oluşturularak hazırlanan ayrık olay simülasyon yazılımı, Askeri Ağlar için Bilgi Güvenliği Sistemi'nde (AABGS) kullanılmış ve kullanıcıya risk değerlendirme sonuçları sunulmuştur.[3]

STM A.Ş. ve ANELARGE tarafından geliştirilen BSGS ile yukarıda bahsi geçen veri tabanlarından çekilen bilgiler işlenerek bilgi güvenliği ve zafiyet ontolojisine uygun olarak güvenlik uzmanlarına sağlanacak arayüzler vasıtası ile bilgi güvenliği zafiyetlerinin önsel koşullarının ve olası sonuçlarının analizi için bir ortam sağlanacaktır. BSGS gibi Kurumsal Bilgi Teknolojileri (BT) yapısında büyük resmi görüp zafiyet ve risk analizi yapacak sistemlerin kullanılması, kurumların yeni nesil kurumsal proaktif ve reaktif siber savunma mekanizmalarını tanımlamalarını sağlayacaktır. Tasarlanan simülasyon ortamı kurumların kendi ağ yapılarını modellemesine olanak sağlayabilecek ve böylece kurumlar gerçek sistemler üzerinde değil de simülasyon ortamında proaktif siber savunma yeteneklerini geliştirecekler, reaktif savunma yeteneklerini gözden geçirebileceklerdir.

Yeni nesil kurumsal siber savunma sistemleri büyük resmi ortaya çıkarmak adına tüm sistemlerin loglarını analiz edip, zafiyet haritasını çıkarıp, risk analizi yaparak güvenlik uzmanlarına, tüm sistemi koruma konusunda ileri seviyede destek olacaktır.

BSGS örneğinde olduğu gibi sınama ortamları yaratıp, zafiyetleri tanımlama, çözüm üretme ve gerçek sistemler üzerinde yapılamayacak işlemleri gerçekleştirme olanaklarına sahip olunarak, kurumsal ağların güvenliğini sağlamada ileri bir adım atılmış olunacaktır. Bu sınama ortamlarının modellenmesinde ve simülasyonların gerçek durumlarla eş sonuçlar ortaya konulmasında izlenebilecek farklı yöntemler vardır. Bunlardan biri sınama ortamını tamamen yazılım üzerinde modelleme yöntemidir. Bu modelde sistemin ağ trafiği, kapasitesi, sunucuları, trafik yönlendiricileri, güvenlik duvarları, ağ trafiği yönlendiricileri, saldırılar vs. yazımsal

olarak modellenmektedir. Diğer bir yaklaşım ise kurumsal sistemin küçük bir örneğinin sanal sunucular üzerinde tanımlandığı, saldırı ve ağ trafiğini simüle eden ağ cihazların kullanıldığı modelleme ve simülasyon yaklaşımıdır.

Bu tür sınama ortamları yeni nesil saldırı türlerine karşı sistemlerin zafiyetlerini sisteme herhangi bir saldırı olmadan anlayıp tedbir alma imkanı da sunmaktadır.

3. KRİTİK ALTYAPILARIN GÜVENLİĞİ

Kritik Altyapılar; bir ülkede toplum ve ekonominin fonksiyonlarını yerine getirmesi için gerekli olan ve zarar görmesi halinde toplumun ve milli ekonominin dolayısıyla milli menfaatlerin büyük ölçüde zarar görmesine neden olacak tesis ve altyapılardır.

ABD'de yayınlanan "Cyber Security Act of 2012"[(4)] yasa taslağı; kaybı veya işlev görememesi halinde kitle ölümü, kitle göçü, geri dönülemez zararlar ve ulusal güvenliğin tehlike altına girmesine yol açacak altyapıları "kritik" olarak tanımlamaktadır. Bu tanımdan yola çıkarak enerji altyapıları, su toplama arıtma ve dağıtım altyapıları, ulaştırma/iletişim altyapıları ve finans kurumları öne çıkmaktadır. Ülkemizi de göz önüne alarak verebileceğimiz diğer kritik altyapılara örnek olarak; ekonomide katma değeri yüksek endüstri tesisleri, nükleer laboratuar/reaktörler, hava savunma erken ihbar radarları, harekât merkezleri, kritik devlet yönetim birimleri, stratejik askeri üsler/birlikler ve stratejik coğrafi bölgeler verilebilir.

Ülkenin gerek askeri gerekse ekonomik açıdan kritik, stratejik veya hassas olarak bilinen altyapılarının çeşitli tehditlere karşı korunması önem arz etmektedir. Hassas ve kritik tesislere tehdit olabilecek başlıca unsurlar arasında siber saldırılar da yer almaktadır.

Kritik altyapıların siber saldırılara karşı dayanıklılığını ölçmek, ilave yatırımlara ihtiyaç olup olmadığını değerlendirmek amacı ile de modelleme teknolojilerinden yararlanılmaktadır. Saldırı ağaçları oluşturarak zafiyetlerin belirlenmesi, Bayesian savunma grafikleri ile muhtemel kayıpların tahmin edilmesi[(5)], geçmiş kullanım örüntülerinin analizi ile sistem ve ağların normal aktivite profillerinin çıkarılması, Markov-chain modeli kullanılarak anamolilerin tespit edilmesi, ajan bazlı yaklaşımlar ile siber güvenlik mekanizmalarının test edilmesi bu amaçla kullanılan modelleme ve simülasyon yaklaşımlarına örnek olarak verilebilir.[(6)]

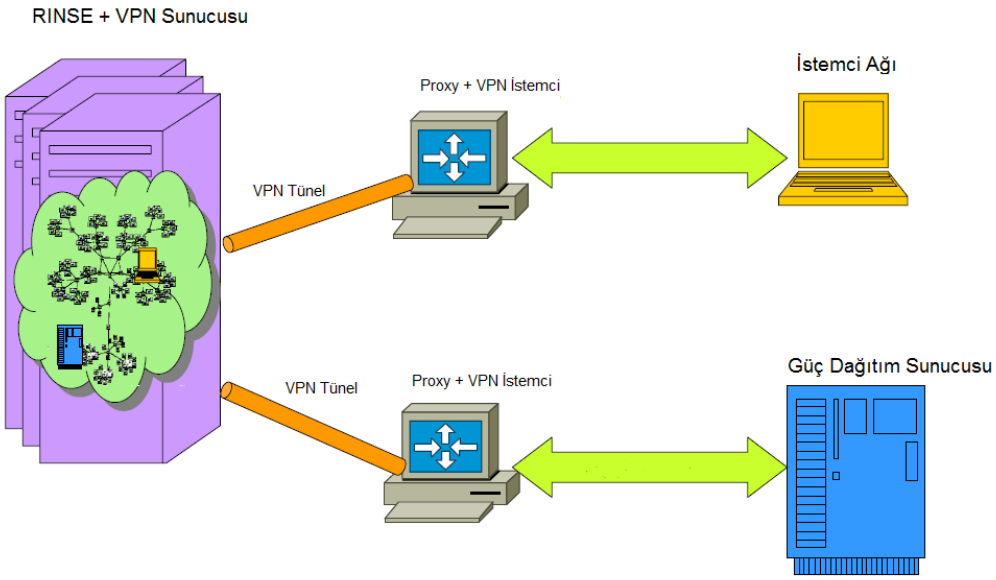
Siber saldırılar asimetrik bir yapıya sahiptir. Birçok durumda, karşı tarafta görebilen veya net olarak konumlanabilen bir düşman unsuru yoktur. Saldırı noktaları herhangi bir yerde olabilmekte, değişik sayısal yöntemlerle kendilerini gizleyebilmektedir. 2010 yılında ülkelerin altyapılarındaki SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) sistemlerine saldıran Stuxnet ile yeni siber tehditlerin ortaya çıkması, siber saldırıların ne kadar dinamik olduğunun kanıtıdır.

Doğrudan hedefe yani SCADA sistemlerine yönelik yapılan bu saldırı Siemens'in geliştirdiği santrifüj motorları kontrol ünitesine bulaşarak yanlış çalışmasına sebep olmuş, siber saldırıların sadece BT altyapılarına değil kritik hayati önem taşıyan altyapılara da (elektrik, doğalgaz, su dağıtım sistemleri, nükleer reaktör kontrol merkezleri, enerji santralleri kontrol merkezleri gibi.) yapılabileceğini göstermiştir. Yeni nesil SCADA sistemleri pahalı özel mikrodalga link ve telefon hatları yerine veri ağlarını kullanmaya başlamıştır. Bu durum, beraberinde sistemlerin veri ağlarının yapılan saldırılardan (DDOS saldırıları vs.) etkilenmesine neden olmaktadır.

SCADA sistemlerinin dahil olduğu BT yapıları, Kurumsal BT yapılarından oldukça farklıdır. Yazılım güncellemeleri ve sızma testleri gibi güvenlik çalışmalarının yapılması ya da bakım amaçlı olarak bu sistemlerin kapatılması çoğu zaman mümkün olmamakta veya çok yüksek maliyetli olabilmektedir. SCADA sistemlerinde meydana gelebilecek saldırıların etkilerini gözlemlemek, alınacak tedbirleri belirlemek ve çeşitli testler yapabilmek için SCADA sisteminin modellenmesi, simülasyon imkanının sağlanması amacıyla sınama ortamlarının hazırlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu maksatla birçok üniversite, kurum ve kuruluşta sınama ortamı oluşturma çalışmaları yapılmaktadır. İllinois Üniversitesi Elekrik ve Bilgisayar Mühendisliği bölümünden C. M. Davis, J. E. Tate, H. Okhravi, C. Grier, T. J. Overbye, and D. Nicol bu tür çalışmalar yapan onlarca gruptan biridir.(7) Bu grubun çalışmasında elektrik dağıtım sistemi örnek alınarak simülasyon ortamı beş bölümde modellenerek oluşturulmuştur:

- İstemci Ağı: Her bir istemcinin herhangi bir sunucuya erişimini sağlayabilen, elektrik güç hatlarının kapatılıp açılmasına imkan verebilen yapıda olup, gerçek ağ özeliklerine sahiptir. İstemcilerin elektrik güç durumlarını izledikleri ekranları barındırır.
- Güç Dağıtım Sunucuları: Güç dağıtımını simüle eden, istemciden aldığı komutlara göre sistemi simüle edip sonuçları istemciye ileten, SCADA verisini oluşturup istemciye ileten yapıda olup, iletim hattı durumu, jeneratör ve hat yük durum bilgilerini simüle edip istemciye iletir.
- Sunucu – İstemci Protokolü: Sunucu ve istemci arasında iletişim TCP/IP protokolü ile yapılmaktadır.
- Ağ Emülasyonu: Gerçeğe yakın ağ trafiği ve saldırı örnekleri yaratabilmek amacıyla RINSE (The Real-time Immersive Network Simulation) aracı kullanılmıştır.(8)
- Protokol Çevirici: Güç dağıtım merkezi protokolleri ile gerçek SCADA protokolleri arasında dönüşümü sağlar. Böylece istemcinin doğrudan donanıma erişim arayüzü oluşturulmuş olmaktadır.

Tanımlanan bu modellemenin simülasyon ortamı entegrasyonu Şekil 1'de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İstemci, Sunucu, RINSE Entegrasyon Şeması

4. SONUÇ

Basit bir saldırı örneğinin bile gerçek sistemler üzerinde denenmesi yüksek maliyetlere ve büyük hasarlara sebep olacaktır. Bu sebeple kritik alt yapıların ve bu altyapıların kullandığı SCADA gibi sistemlerin modellemesi ve bu modeller ile simülasyon ve sınama ortamlarını oluşturulmasının büyük önem arz ettiği değerlendirilmektedir.

Siber atakların gerçeğe yakın ve performansının iyi bir şekilde modellenebilmesi için pek çok kriterin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunların başlıcaları saldırı senaryolarının esnekliği, modellenen ağın kontrol edilebilirliği, analiz için gerekli detayda veri üretilebilmesi diyebiliriz. Bu kriterleri sağlayabilmek için de ağ cihazlarının (yönlendiriciler, sunucular, algılayıcılar, anahtarlayıcılar, vb.) ve ağ trafiğinin modellenmesi başlı başına ele alınması gereken konular olarak ortaya çıkmaktadır.

Siber uzayda, farklı kaynaklara ve davranışlara sahip pek çok unsur bulunmakta, bu unsurlar birbirleriyle etkileşimde bulunmaktadır. Simülasyon modellerinin tasarımı esnasında, unsurların modellenmesinin yanı sıra farklı tipteki unsurlar arası etkileşimin de gerçeğe yakın bir şekilde modellenmesi önem taşımaktadır.

Son yıllarda araştırmacılar tarafından oyun teorisinin siber güvenlik problemleri çözümünde kullanımına yönelik çalışmaların yapıldığı da görülmektedir. Yapılan çalışmalarda, geleneksel ağ güvenlik çözümlerinin nicel karar mekanizmaları

sunmadaki eksikliklerinin giderilmesi için, oyun teorisinin çelişkili amaçlar için birbiri ile yarışan, çok oyunculu modelleme ve analiz yaklaşımı kullanılarak siber güvenlik problemlerine çözüm aranmaktadır.(9)

BSGS Prototip ürününün, gelecekte geliştirilecek siber savunma ve saldırı projelerinde gerçek trafik üretimi, ağ cihaz ve konfigürasyonlarının denenmesi, ağ operasyonlarının analizi, koordineli siber savunma, siber saldırı yöntemleri, adli bilişim gibi konularda kullanılmak üzere aynen veya geliştirilerek kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca prototip üründen yararlanılarak; bütünleşik siber savunma isterlerinin ve gereksinimlerin belirlenmesi, bu isterleri karşılayacak hazır sistem ve yazılımların tespiti ve en iyi kullanım yöntemlerinin oluşturulması, Ulusal bilgisayar olayları müdahale ekibi (BOME) ve siber güvenlik koordinasyon merkezleri kurulmasına ait ihtiyaçlar, Bütünleşik siber güvenlik konseptinde yer alması olası araçların, analiz yöntemlerinin, süreçlerin ve rollerin belirlenmesi ve bütünleşik siber savunma konseptinin geliştirilmesi, kazanılması gereken yetenek ve kabiliyetlerin ve yol haritasının belirlenmesi fizibilite raporunda detaylı olarak incelenmektedir.(10)

5. KAYNAKÇA

[1] Stephanie D. Harwell, Christopher M. Gore (2012), Synthetic Cyber Enviroments for training and Exercising Cyberspace Operations, ITSEC 2012-paper 12408.

[2] Strategic Concept for the Defence and Security of the Members of the North Atlantic Treaty Organisation adopted by Heads of State and Government in Lisbon, Article 12 and 19, http://www.nato.int/cps/en/natolive/official_texts_68580.htm

[3] Mehmet Özer Metin, Mert Karadağlı, Onur Ak (2011) Güvenlik Zafiyet Analizi ve Risk Değerlendirme Sistemi, USMOS 2011, pp. 158-169.

[4] Cybersecurity Act of 2012, http://www.govtrack.us/congress/bills/112/s2105/text

[5] T. Sommestad, M. Ekstedt, and P. Johnson (2009), Cyber security risks assessment with Bayesian Defense graphs and architectural models, 42nd Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-20.

[6] C.-W. Ten, M. Govindarasu, and C.-C. Liu (2007), Cybersecurity for electric power control and automation systems, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Montreal, pp. 29-34.

[7] Michael Liljenstam, Jason Liu, David Nicol, Yougu Yuan, Guanhua Yan, Chris Grier (2005) SCADA Cyber Security Testbed Development, 38th North American Power Symposium (NAPS), pp. 483-488.

[8] Michael Liljenstam, Jason Liu, David Nicol, Yougu Yuan, Guanhua Yan, Chris Grier (2005), RINSE: the Real-time Immersive Network Simulation Environment for Network Security Exercises, Principles of Advanced and Distributed Simulation, pp. 119-128.

[9] Qishi Wu, Sajjan Shiva, Sankardas Roy, Charles Ellis, Vivek Datla, On Modeling and Simulation of Game Theory-based Defense Mechanisms against DoS and DDoS Attacks Department of Computer Science University of Memphis.

[10] Lloyd Wihl, Maneesh Varshney (2012), A virtual Cyber Range for Cyber Warfare Analysis and Training, ITSEC 2012-paper 12211.

KOŞUM-ZAMAN ALTYAPISI İÇİN FEDERASYON TOPOLOJİSİNE DİNAMİK OLARAK ADAPTE OLAN HİBRİT BİR BAĞLANTI MODELİ

Serkan Özen [(a)], Selim Temizer [(b)]

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ve
ODTÜ - TSK Modsimmer Merkezi, Mobility Araştırma Laboratuvarı,
Çankaya, 06800, Ankara, Türkiye

[(a)] e1543537@ceng.metu.edu.tr
[(b)] temizer@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Koşum-zaman altyapılarında (run-time infrastructure, RTI) federe ile federasyon arasındaki bağlantı modeli, altyapının dizaynında dikkat edilmesi gereken önemli bir unsurdur. Mevcut sistemlerde ortak hafıza, UDP ve TCP/IP gibi yöntem ve protokoller kullanılmaktadır. Bu çalışmada hibrit bir bağlantı modelinin uygulanabilirliği araştırılacaktır. Bağlanan federelerin bağlantı noktalarına göre sistemin değişik bağlantı modelleri sunabilmesi için gerekli dizayn, veri yapıları ve sistemin performans ölçümünün yapılacağı deney altyapısının dizaynı ve özellikleri belirtilecektir.

TCP/IP protokolü yapısı gereği çok katmanlı, hata kontrolü yapan ve ekstra kontrol paketlerinin alışverişini gerektiren bir protokoldür ve zaman açısından en verimli model değildir. Bu çalışmada sunulacak yöntemde ilk olarak federelerin nereden bağlandığı bilgisi koşum-zaman programı tarafından algılanacaktır. Şayet federelerin hepsi aynı fiziksel makine üzerinden bağlanıyorsa, koşum-zaman programı TCP/IP protokolü yerine federelere göstereceği bir ortak hafıza alanı üzerinden onlarla iletişim kuracaktır. Ancak herhangi bir anda bir federe farklı bir makineden bağlanırsa, koşum-zaman altyapısı dışarıdan bağlanan federe ile UDP ya da TCP/IP üzerinden iletişim kuracaktır.

Bu yeni iletişim modelinin yapısı ve dizaynının gerçekleştirilmesi, var olan açık kaynak kodlu koşum-zaman altyapılarının iletişim modellerinin incelenmesini gerektirmektedir. Bu nedenle sunulacak çalışmada var olan açık-kaynak kodlu sistemlerin veri iletişim altyapıları da incelenecek ve önerilen modelin farklı özellikleri vurgulanacaktır. Ayrıca performans karşılaştırılması için kullanılacak olan test kurulumu da anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık simülasyon, hibrit bağlantı, koşum-zaman altyapısı, yüksek performanslı iletişim, yüksek seviye mimari

A HYBRID CONNECTION MODEL THAT ADAPTS DYNAMICALLY TO THE FEDERATION TOPOLOGY FOR THE RUN-TIME INFRASTRUCTURE

ABSTRACT

The communication model between the federates and the federation is an important point that should be considered carefully when designing run-time infrastructure (RTI) software. Some of the methods and protocols used in existing systems include shared memory, UDP and TCP/IP. In this study, the applicability and the feasibility of a hybrid communication model will be discussed. The underlying design and data structures for providing different communication methods to different federates based on their points of connection, and the structure and features of the framework that will be used to test the performance of the system will be presented.

TCP/IP protocol is not the most time-efficient model due to its layered structure, error checking nature and its use of additional control packets that need to be exchanged between communicating parties. In the proposed model, the RTI first identifies the hosts from which the federates connect from. If all federates connect from the same physical host, then the RTI will communicate with them through a shared memory region that is created and announced by the RTI. If, however, another federate connects later from a remote host, then the RTI will communicate with that federate through UDP or TCP/IP.

The design and implementation of the proposed communication model will require the analysis of the communication models of existing open-source RTI implementations. Therefore, communication models of available open-source systems will be investigated and the differences between the proposed model and the existing models will be emphasized as part of this study. Additionally, the test setup that will be used to measure and compare the performances will be described.

Keywords: Distributed simulation, high level architecture, high performance communication, hybrid connection, run-time infrastructure

1. GİRİŞ

Simülasyon sistemlerinin artan kullanımından dolayı, dağıtık haldeki bu sistemlerin birlikte çalışması kaçınılmaz bir zorunluluk olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı (Department of Defense, DoD), Yüksek Seviye Mimari (High Level Architecture, HLA) isimli standartla, simülasyon sistemlerinin birlikte çalışabilmesi için uymaları gereken bir dizi kurallar belirlemiştir [1]. Yüksek Seviye Mimari zaman

içerisinde geliştirilerek, günümüzde kullanılan son versiyon olan IEEE 1516 - HLA Evolved standardı adını almıştır [2]. Yüksek Seviye Mimari standardı, dağıtık simülasyonların bir arada çalışabilmesini sağlamak üzere oluşturulmuş tüm bu kuralları çeşitli başlıklar altında toparlamıştır. Bu başlıklar, kuralları daha çok bir çerçeve şeklinde verip, uygulama detaylarını tamamen koşum-zaman altyapısı (run-time infrastructure, RTI) yaratıcısına bırakmıştır.

Piyasada varolan RTI ürünlerinden ancak açık kaynak kodlu olanların bağlantı modelleri ve veri iletişim altyapılarının incelenmesi mümkündür. Şu an incelenebilecek açık kaynak kodlu başlıca projeler; OHLA, Certi, OpenRti ve Portico'dur. Bu projelerden OHLA ve OpenRTI iletişim altyapısında TCP modelini, CERTI ise TCP'ye ek olarak UDP desteğini de sunmaktadır [9].Portico'da ise bağlantı modeli esnek bir yapıya sahiptir. Portico sahip olduğu bu esnek tasarım modeli sayesinde, istenilen biçimde modifiye edilip kullanılabilir [8]. Pitch RTI'nin shared memory, UDP ve TCP kullanan sürümleri mevcuttur [10]. RTI uygulamalarının çoğunda model olarak TCP'nin seçilmesinin başlıca nedeni, bu protokolün diğer modellere göre daha kolay uygulanabilmesi ve farklı ortamlardan bağlanma olanağı sunması olabilir. Ek olarak yüksek performans gerektiren ve dağıtık çalışması gereken simulasyonlar içinse UDP kullanan RTI'lar güzel bir alternatif oluşturabilir. Ancak TCP'nin bağlantı gerektirmesi, paket eklenmesi, çözümlenmesi gibi durumlarından dolayı, RTI'nın kritik uygulamalarda, görece yavaş çalışabileceği de göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle RTI veri iletişim altyapılarında değişik yöntemlerin kullanılabilmesi araştırma konusu olmuştur. Örneğin Richard Fujimoto'nun ortak hafıza (shared memory), yüksek hızlı yerel ağ ve normal hızlı yerel ağlarda TCP/IP üzerinden performans karşılaştırma deneyleri ilerleyen kısımlarda detaylarıyla anlatılacaktır [3]. Certi proje grubu ise yayınladıkları makalelerinde ortak hafıza ve TCP yöntemlerini karşılaştırmışlardır [7].

Açık kaynak kodlu projelerden farklı olarak, RTI'nin ticari sürümleri de mevcuttur. Bu ürünler Windows, Linux, Solaris gibi farklı platformlar üzerinde çalışmaktadır [5]. Ürünlerin geliştirilmesinde ağırlıklı olarak C++, daha seyrek olarak ise Java ve C# dilleri kullanılmıştır [5]. Bu ürünlerin bazıları DMSO (DoD Defense Modeling and Simulation Office) tarafından onaylanmıştır. Bazıları da onay aşamalarının değişik süreçlerinde beklemektedirler.

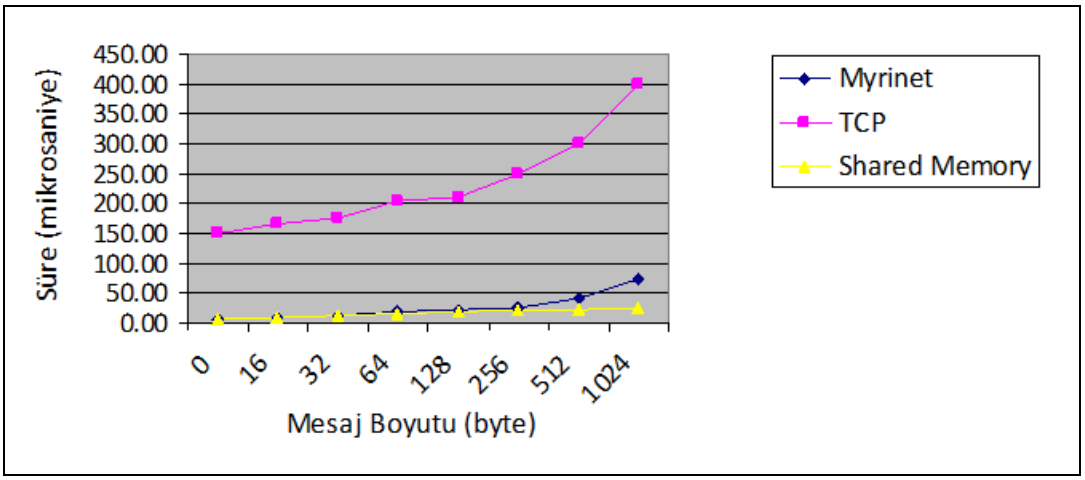
Milli bir RTI ürünümüz bulunmamakla beraber, SimBA isimli milli RTI ürünü METEKSAN tarafından geliştirilmektedir. SimBA'da TCP/IP yerine UDP/IP'nin tercih edileceği belirtilmiştir [6].

HLA dünya genelinde, simülasyon sistemlerinin birlikte çalışabilirliği konusunda lider bir standarttır. İlk versiyonu olan HLA 1.3 geliştirilerek, önce IEEE 1516 adıyla IEEE standartı olmuş ve son olarak da günümüz versiyonu olan IEEE 1516 Evolved geliştirilmiştir.

HLA'nın doğası gereği, uygulama mantığı RTI geliştiricisine bırakılmıştır. Dolayısıyla birlikte çalışabilirlik altyapısı oldukça esnek bir hal almıştır. Bu esneklik RTI'nın sadece simülasyon sistemlerinin değil, gerekli RTI arayüzüne sahip ve veri iletişimi yapmak isteyen değişik nitelikteki sistemlerin de iletişim kurabilmelerini mümkün hale getirebilmektedir.

2. RTI VERİ İLETİŞİM ALTYAPISIYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Önceki kısımda belirtildiği gibi veri iletişim modeli, RTI'nın sistem performansını etkileyecek ana unsurlardan bir tanesidir. Dolayısıyla RTI ürünlerinde değişik veri iletişim modelleri kullanılarak, bu modellerden hangilerinin daha hızlı gerçekleştiği ve bunların sisteme yansımaları konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Fujimoto ve Ferenci yaptıkları çalışmalarda RTI özelliklerinin altkümesine sahip olarak geliştirdikleri deneysel RTI ürününde; FM-Lib'in (federeler arasındaki iletişimi sağlayan kütüphane), TM-Lib'in (federelerdeki zaman yönetimini yapan kütüphane) ve MC-Lib'in (grup iletişimini sağlayan kütüphane) değişik platformlardaki performanslarını incelemişlerdir [3]. Bu çalışmaların ilkinde FM-Lib, Myrinet, TCP/IP ve Shared Memory yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Myrinet, Myricom tarafından geliştirilen yüksek hızlı bir yerel ağ teknolojisidir. Aşağıdaki grafikte FM-Lib'in performans ölçüm değerleri, değişik altyapılar kullanılarak verilmiştir [3].



Şekil 1. FM-Lib'in değişik altyapılardaki mesaj boyutu-zaman grafiği

Görüldüğü gibi shared memory yöntemi artan mesaj boyutuna rağmen en az iletim süresi gerektiren yöntemdir. TCP yöntemi ise her koşulda süre gereksinimi en yüksek olan yöntem olarak gözükmektedir. Adelantado, Bussenot, Rousselot, Siron ve Betoule (HP–Certi grubu) ise yaptıkları çalışmalar sonucunda yukarıdaki verilerle örtüşen

sonuçlara ulaşmışlardır [7]. HP–Certi grubunun çalışmalarına göre, federelerin sahip oldukları nitelik değerlerinin (attribute values) güncellenmesinin ne kadar süre aldığını aşağıdaki tabloda görebiliriz [7]. Tablodaki verilerden görülebileceği üzere SHM–Certi (Shared Memory) uygulamasında ortalama süreler, tüm mesaj boyutları için soket uygulamasından daha iyi performans göstermiştir.

Tablo 1. Değişik altyapılarda Certi mesaj boyutu - zaman tablosu

Mesaj	**Socket-CERTI**		**SHM-CERTI**	
Boyutu (byte)	Ortalama (ms)	Std. Sapma(ms)	Ortalama (ms)	Std. Sapma(ms)
128	0.574	0.775	0.351	0.496
512	0.591	0.286	0.339	0.335
1024	0.577	0.365	0.456	0.478
2048	0.709	0.405	0.682	0.463

3. HİBRİT BAĞLANTI MODELİ

Çalışmalardan elde edilen veriler göz önüne alındığı zaman, kritik simülasyon sistemlerinin iletişimi söz konusu olduğunda, TCP/IP tabanlı iletişim modelinin kritik zaman gereksinimlerini karşılayamayabileceği sonucuna ulaşılmaktadır. Aynı bilgisayar üzerinde birden fazla federenin çalıştığı ve bu bilgisayarların oluşturduğu dağıtık sistemler günümüzde sıkça kullanılmaktadır. Eğer sistem aracılığı ile haberleşen federelerin hepsi aynı bilgisayar üzerinde çalışıyorsa, bu federeler ortak bir hafıza alanı üzerinden iletişim kurabilir. Bu da gereksiz yere TCP/IP protokolünden kaynaklanan bir takım zaman kayıplarını önleyebilir. Sisteme dışarıdan bağlanan bir federe TCP/IP protokolü ile sisteme bağlanır ve böylece sistem, ortak hafıza kullanımının getirdiği performanstan en üst seviyede faydalanmış olur. Bu özellikleri sağlayacak bir hibrit bağlantı modeli bu bölümde anlatılacaktır.

3.1. Federe Bilgilerinin Alınması

RTI'nın hibrit bir veri iletişim modeli sunabilmesi için federeler hakkında bazı bilgilere sahip olması gerekir. Bu bilgilerin başında, federenin bağlantı yeri bilgisi gelmektedir. Federe, var olan bir federasyon çalışmasına (federation execution) katılma isteği (join request) gönderdiği zaman, sahip olduğu federe bilgisini federation execution'a iletmelidir. Bu sayede RTI, federe bilgilerini, bağlı oldukları federation execution'a ait bir dinamik veri yapısında ya da bir veritabanı üzerinde tutabilir. Ancak tüm federelere bu bilgi iletimi zorunluluğu getirilmesi HLA kurallarına aykırı bir durum teşkil edebilmektedir. Dolayısıyla bu bilgi iletimi federelerin geliştiricisinin tercihine bırakılmalıdır. RTI tarafında, bilgiyi iletmeyen federe için varsayılan (default) veri iletişim modeli olarak, diğer RTI ürünlerinde de sıkça kullanılan TCP/IP modeli uygulanabilir.

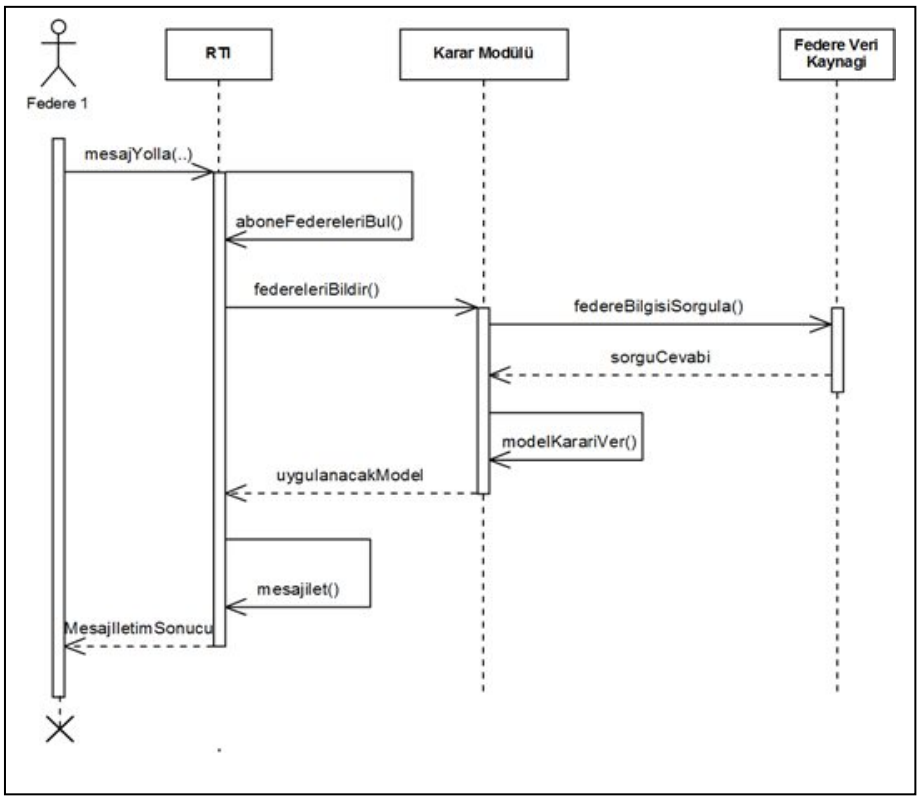
3.2. Federe Bilgilerinin RTI Tarafında Tutulması

Federeler tarafından iletilen alan (host) bilgisi RTI tarafında değişik yapılarda saklanabilir. Bunlardan birincisi rti.exe işleminde (process) yaratılacak veri yapıları olabilir. Bu veri yapısında bağlanan federeye ve bağlandığı host'a dair bilgiler tutulur.

İkinci alternatif RTI'nın çalışığı makinede bir veritabanı tutulmasıdır. Bu veritabanının (tablonun) her satırı federelere ait bilgileri tutar. Böylece RTI, gerektiğinde veritabanına sorgular yaparak federeler hakkındaki bilgilere ulaşabilir. Veritabanı sorgularının mesaj iletim süresini uzatabileceği unutulmaması gereken önemli bir unsurdur. Bu yöntemler kullanılarak bağlantı modeline koşum zamanında (runtime'da) karar verilebilir.

3.3. Bağlantı Modeli Karar Modülü

Bağlantı karar modülü RTI'nın içerisinde, karar sürecini yürütecek veri yapılarını ve metodları barındırmaktadır. Aşağıdaki şekilde RTI ve karar modülü arasındaki ilişki sıra diyagramında biraz daha ayrıntılı olarak incelenebilir.



Şekil 2. Federe – RTI – Karar Modülü sıra diyagramı (sequence diagram)

3.4. Bağlantı Modelinin Federe Bilgilerine Göre Şekillendirilmesi

RTI federeler arası mesajlaşmaların yönetildiği birimdir. Ayrıca RTI, federeler hakkındaki bilgilere de (domain bilgileri) yukarıda anlatılan yöntemlerle sahip olabilmektedir. RTI bu bilgilere sahipken tüm mesajlaşma altyapısını statik bir modele bağlamak iyi bir çözüm olmayabilir. Bu nedenle federe bilgilerine ulaşılarak, şayet

federelerin ortak bir hafıza alanı üzerinden iletişim kurabilmeleri mümkün değilse (örneğin federeler farklı makinelerdeyse) bağlantı modeli olarak TCP/IP modeli seçilebilir. Bazı sistemlere spesifik olarak bazı dağıtık federe haberleşmelerinin, güvenilirlikten çok hıza ihtiyaçları olabilir. RTI bu gibi federe bilgilerini de göz önüne alarak TCP/IP yerine UDP modelini uygulayabilir [4].

4. TEST MODELİ ve ÖZELLİKLERİ

Önerilen modelin performans ölçümü, modelin başarısı bakımından önem teşkil etmektedir. Var olan çalışmalarda statik veri iletişim modellerinin performansları incelenmiştir [3,4,7]. Uygulama aşamasındaki hibrit modelin performansı ve açık kaynak kodlu statik veri iletişim modelli RTI'ların performansları, aynı özelliklere sahip bir sistem üzerinde test edilecektir. Bu çalışma sürecinde test sisteminin geliştirilmesi henüz tamamlanamadığı için aşağıda ilk sürüm test platformunun sahip olacağı özellikler ve test sonuçlarının nasıl kullanılacağına yönelik öngörüler aktarılmıştır.

4.1. Test Platformu Özellikleri

RTI'ların çalışacağı sistemin 8 GB bellek, Intel i5 m480 2.67 GHz işlemci ve 64 bit Windows 8 işletim sistemi özelliklerine sahip olması planlanmaktadır. Federelerin üzerinde çalışacağı makine sayısı ise ilk sürüm test platformunda 2 adet olarak belirlenmiştir. Her iki modelde de (hibrit ve statik) federe sayıları sistematik bir biçimde arttırılarak, aynı makine üzerindeki federelerin ve farklı makinedeki federelerin toplam iletişim sürelerinin hesaplanması yöntemiyle hibrit modelin fizibilitesi ve diğer metodlara olan üstünlüğü sergilenmeye çalışılacaktır.

4.2. Test Sonuçlarının Kullanımı

Test sonuçları ayrıntılı olarak analiz edildikten sonra sistemin uygulanabilirliği ve fizibilitesi ile ilgili önemli bulgulara ulaşılacaktır. Nihai sonuç olarak, önerilen sistemin kullanılabilir olup olmadığı anlaşılacaktır. Beklenildiği şekilde hibrit sistemin diğer modellere bariz üstünlükler sağlaması durumunda ise elde edilen sonuçlardan ayrıca gelecekte geliştirilecek olan RTI implementasyonlarının performanslarını ölçmek ve karşılaştırabilmek için temel bir kriter oluşturma (benchmarking) amaçlı olarak da faydalanılabilecektir.

5. SONUÇ

Var olan RTI yazılımlarının sahip oldukları iletişim altyapıları statik olup tek bir yöntem üzerinden gerçekleşmektedir. Bu çalışmada bu statik modelin koşum zaman anında sistem tarafından federe özelliklerine göre belirlenebileceği ve beraberinde performans iyileşmesi getirebileceği belirtilmiş ve henüz geliştirilme aşamasında

bulunan hibrit bir modelin özellikleri, yapısı ve tamamlandığı zaman ne tür sonuçların beklendiği sunulmuştur. Hibrit modelin geliştirilmesinin tamamlanmasını müteakiben alınacak sonuçların ileride yapılacak yayınlar aracılığıyla paylaşılması planlanmaktadır.

6. KAYNAKÇA

[1] IEEE Std 1516.1-2000 (2000), IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA), IEEE.

[2] IEEE Std 1516-2010 (2010), HLA Evolved Standard, IEEE.

[3] Ferenci Steve L., Fujimoto R., (1999), RTI Performance on Shared Memory and Message Passing Architectures, Spring Simulation Interoperability Workshop.

[4] RTI-NG 1.3 Programmer's Guide, (1999).

[5] Modeling & Simulation Coordination Office Web Page, Verified RTIs, available at, http://www.msco.mil/statusBoard.html

[6] Özkaymak S., Bekkine A., Tuğaç S., Zorba O., Simülasyon sistemleri için milli birlikte çalışabilirlik altyapısı, USMOS 2011 ODTÜ, Ankara.

[7] Adelantado M., Bussenot J. L., Rousselot J. Y., Siron P., Betoule M. Adelantado M., Bussenot J. L., Rousselot J. Y., Siron P., Betoule M., (2004), HP-CERTI: Towards a high Performance, High Availability Open Source RTI for Composable Simulations.

[8] Portico offical web site, (2009), http://www.porticoproject.org/index.php?title=Portico_Architectural_Overview.

[9] CERTI user documentation, (2013), http://www.nongnu.org/certi/certi_doc/User/CERTI_User.pdf

[10] PitchRTI web page, http://www.pitch.se/products/prti/specifications

ETMEN PROGRAMLAMADA CEPHE TABANLI PROGRAMLAMA BAKIŞI

M. Fatih Hocaoğlu

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr Kadıköy/İstanbul

Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Etmen tabanlı simülasyon sistemi, EtSiS, bildirimsel betik simülasyon ve etmen programlama dili sunar. Genişletilmiş durum grafiği diyagramlarının işletimi ile uygulama geliştirilmesine imkan veren betik yapının paradigma arkaplanında çoklu programlama paradigmaları ile tümleştirilmiş durum tabanlı programlama paradigması vardır. Cephe tabanlı programlama paradigması durum tabanlı programlama ile tümleştirilen paradigmalar arasında, saçılmış kodları enazlayan, saçılmış isterlere ve kümelenmiş isterlere çözüm geliştirilmesine ilişkin paradigma arka planını sunar.

Nesne yönelimli tasarım düşey derinlikte bir yazılım tasarımı sunarken, cephe tabanlı programlama, düşey eksende derinleşen nesne yönelimli tasarımlara yatay eksende bir ilişkilendirme sağlar. Bu ilişkilendirme ile saçılmış ve çapraz kesen isterleri (cross-cutting requirements) ve kümelenmiş isterleri sağlayan tasarımlar elde edilir. EtSiS'in durum tabanlı programlama paradigmasının bileşeni olan cephe programlama paradigması, zayıf yazılım bağımlı betik tanımlamalar ile bu isterlere cevap verir. Bu amaçla, saçılmış isterleri sağlayan durum tanımlarının davranışlara ve davranış tanımlarının davranış listelerine dağıtımı, yazılım bağımlılığı oluşturulmaksızın, gerçekleştirilir. Çözüm bunların ötesinde, simülasyon ve etmen programlama dünyasında farklı kavramsal dünya tasvirleri için işletim zamanında şartlara bağlı olarak, modelleme cephesi değiştirerek, farklı modelleme isterlerine veya farklı ister kümelerine çözüm üretir.

Geliştirilen çözüm, cephe programlama paradigmasını, yazılım tasarımından işletim zamanına, dinamik olarak yönetilen bir yapı olarak sunar ve esnek, zayıf-bağımlılığa ve yüksek tutarlılığa sahip tasarım sağlar.

Anahtar Kelimeler: Betik programlama, Bildirimsel dil, Cephe tabanlı programlama, Dinamik cephe, EtSiS

ASPECT ORIENTED PROGRAMMING PERSPECTIVE IN AGENT PROGRAMMING

ABSTRACT

Agent driven Simulation Framework, AdSiF provides a declarative scripting agent programming language. State oriented programming paradigm combined with multi-programming paradigms is at the background of script, which allows programming by extended state charts. Aspect oriented programming paradigm draws a solution background related with scattered codes, scattered requirements and tangled requirements.

While object oriented programming paradigm gives a vertical software design, aspect orientation enhances this vertically deep design by horizontal association. By the association, software design that satisfies cross-cutting requirements and tangled requirements is got. Aspect oriented programming paradigm, which is one of the components of AdSiF's state oriented programming paradigm, provides a solution by a loosely-coupled script description to the problems mentioned. For this purpose, state descriptions to behaviors and behaviors to behavior containers satisfying scattered requirements are distributed without arising any software dependency. Furthermore, in simulation and agent programming world, the solution provides a solution by shifting modeling aspects conditionally for conceptually different modeling requirements and tangled requirements.

The solution carries aspect oriented programming from design time to execution time and provides a dynamically manageable, and flexible, loosely coupled and high coherent design.

Keywords: AdSiF, Aspect oriented programming, Declarative language, Dynamic aspect, Script programming

1. GİRİŞ

EtSiS genel amaçlı, bildirimsel (declarative) betik (scripting) dildir ve çoklu programlama paradigmasını durum tabanlı programlama paradigması ile tümleştiren bir yapıya sahiptir [1], [2]. EtSiS varlık bilimsel (ontological) betimlemesinde, nesne yönelimli programlama paradigması (NYP), mantık programlama, etmen-tabanlı programlama paradigması ve cephe tabanlı (aspect oriented) programlama (CtP) paradigmalarını tümleştirir. EtSiS'in kuşattığı paradigmalar; sağladığı tekrar kullanılabilirlik, karşılıklı işletilebilirlik, esneklik özelliklerinin yanısıra dünya tasvirine de yansır. Herbir paradigmanın dünya tasvirinin tümleşimi, etmen karakteristiğine sahip simülasyon modellerinin tasarımı için önemli bir altyapı sağlar. Yaklaşım, davranış planlama karakteristiği ile karşılık veren (responsive), otonom ve insan biçimsel (anthropomorphic) karakteristiği ile geliştirilen uygulama ve simülasyon modellerinin daha sosyal, esnek ve karşılıklı işletilebilir (interoperable) olmalarını sağlar. Modellerin bulundukları çevreye ait bilgiye erişir olması ve bu bilgiye dayalı olarak muhakeme

yürütmesi, mantık programlama paradigmanın bir getirisidir ve simülasyon modellerine "Dual dünya betimlemesi" kurmasını sağlar.

Bu çalışmada, EtSiS'in cephe tabanlı programlama paradigması çözüm yaklaşımı ele alınmış ve çözümün kavramsal model ve modelleme tekniğine olan katkıları örneklendirilerek tartışılmıştır. Takip eden bölümde Cephe Tabanlı Programlama paradigmasına ilişkin bir bilgilendirme yeralacaktır. Bölüm 3'de EtSiS'in cephe tabanlı programlama paradigması çözümü ve Bölüm 4 simülasyon alanında kategorik bir uygulama bakışı örnek uygulama ile getirilmiştir. Sonuç bölümünde EtSiS'in cephe tabanlı programlama desteğinin sağladığı avantajlar ele alınmıştır.

2. CEPHE TABANLI PROGRAMLAMA

Cephe tabanlı programlama[1], [4] farklı tasarım amaçlarını kod seviyesinde kategorize etmeyi ve yazılımlara modüler bir yapı kazandırmayı amaçlar[5]. Cephe tabanlı programlamanın temel entereseleri; dağıtılmış isterler (çapraz kesen) ve kümelenmiş isterler olarak karşımıza çıkar. Dağıtılmış isterler özellikle modülleştirmede önemli bir engel olarak görülmektedir. Yaklaşım simülasyon dünyasında, bir modelden modelleyicilerin farklı kavramsal dünya ve çözünürlük için bekledikleri davranışların kategorize edilmesi olarak yorumlanabilir. Cephe tabanlı programlama çözümü, isterler aşamasından başlanarak, analiz ve mimari tasarımı içeren modelleme düzeyini ve kodlamayı içine alan bir çözüm olarak ele alınır. Literatürde AspectJ-Like ve Hyper J-Like çözümleri yaygın olarak tercih edilir. Aspect J-like yaklaşımın esasını, birleşim noktalarının (pointcuts) belirlenmesi oluşturur. Hyper J-like yaklaşımında, bağımsız olarak geliştirilmiş modellere ait durum grafiklerinin birleştirilmesi sağlanır ve Aspect J-Like'dan farklı olarak bir tekrar geliştirme (refactoring) gerektirir.

Cephe tabanlı programlamanın yazılım metriklerinden özellikle modülerlik, basitlik ve okunabilirlik konusunda önemli bir desteği olduğu görülmüştür [6]. Literatürde CtP ölçütlerinin sayısal olarak ele alındığı oldukça sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [7]. Kersten and Murphy NYP uygulamalarında CtP uygulama başarımlarını pratik uygulamalar ile göstermişlerdir ve uygulama kuralları geliştirmişlerdir [8].

Walker ve arkadaşları çalışmalarında CtP'de kullanılabilirlik (usability) metriği için bir başlangıç bakışı sağlamışlardır [9]. Soares ve arkadaşları çalışmalarında AspectJ uygulamalarının özellikle web tabanlı uygulamalardaki başarısını göstermişlerdir [10]. Çalışmalar arasında belki de en dikkat çekici olan, uygulama alanımız olan EtSiS'in etmen tabanlı olma ve simülasyon ve etmen programlama dili sunması yönü ile Garcia ve arkadaşları tarafından yürütülen şablon-tabanlı yaklaşım ile cephe tabanlı programlama arasında bir sayısal değerlendirmeyi çoklu etmen programlama sistemleri için içeren çalışmadır. Çalışmada etmen spesifik çapraz kesen isterler için gelişmiş bir modülerlik sağladığı sonucuna varmışlardır [11]. NYP tasarım şablonları tabanlı yazılım geliştirme ile CtP'yi birleştiren pek çok çalışma arasında Vaira ve Caplinskas

[12] yazılım paradigmasından bağımsız tasarım şablonları oluşturma üzerine yoğunlaşmıştır ve iddiası farklı paradigmalara uygulanabilen tasarım şablonlarının mevcut olduğu yönündedir. Tsang ve arkadaşları çalışmalarında CtP'nin enterese ayrıştırma başarımlarını değerlendirmişlerdir. Çalışmada CK (Chidamber and Kemerer) [13] metriklerini uygulamış ve NYP ve CtP gerçek zamanlı sistemleri kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda CtP'de gelişmiş bir modülerlik ve bağımlılıkda azalma gözlemlemişlerdir [14]. Bağımlılığın (cohesion) CtP'de sağlıklı ölçülmesi konusunda Kumar ve arkadaşları bir çalışma yürütmüşler ve jenerik bir bağımlılık tanımlama çerçevesi sunmuşlardır [15].

CtP'da tasarlanan tasarım cepheleri arasında ayrıştırma ve soyutlanmış tasarımlar ortaya konulması konusunda, özellikle, tasarım cepheleri arasındaki semantik karışıklıklarının çözümlenmesine dönük çalışmalar özellikle son yıllarda yürütülmeye başlanmıştır [16]. Çalışmada tasarım cephelerinin koordinasyonunun ve bağımsızlıklarının tekrar kullanılabilirlik, modülerlik ve genişletilebilirlik metrikleri ile paralel olarak geliştirilebileceği gözlemlenmiştir. Modülerliğin literatürde önemli bir yer işgal ettiği gözlemlenebilir ve güçlendirilmesi yönünde pek çok çalışma yürütülmüştür [17]. Hata toleransını gibi fonksiyonel olmayan isterleri içeren güvenlik ve görev kritik sistem uygulamalarında, özellikle, kümelenmiş ve modüllere saçılmış fonksiyonel olmayan isterlerin sağlanmasında, CtP tasarım şablonları sağlamıştır. Bu şablonlar özellikle hata tespiti, hata yönetimi, geri dönüştürme (recovery) mekanizması ve güvenli sistemlerde sızma kontrolleri için geliştirilmişlerdir [18].

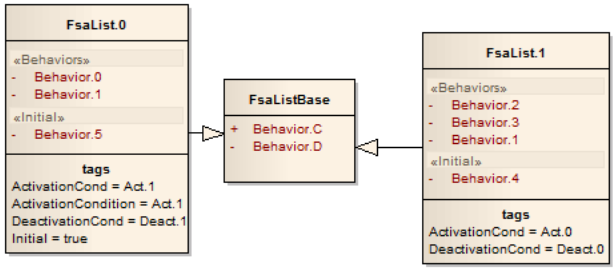
EtSiS'de CtP kullanımındaki temel yaklaşım, çözümün model tümleşik hesaplama ortamı (TMO) olarak görülmesidir [19],[20]. Genel bir ifade ile, model tümleşik hesaplama ortamında ana enterese modeldir ve bir yazılım sistemi farklı soyutlama düzeylerinde bir modeller koleksiyonu olarak görülür ve her biri sistemin farklı bir perspektifini temsil eder. Bu bakışla mühendislik görevlerin her biri bir model tasviri olarak ele alınır [21].

3. EtSiS CEPHE TABANLI PROGRAMLAMA ÇÖZÜMÜ

EtSiS modelleme yaklaşımında bir model tüm modelleme bakışlarını kuşatırken, farklı modelleme bakışlarının her biri bir davranış kategorisi olarak ele alınır. Semantik olarak birbirinden ayrık olan davranışların farklı kategoriler içerisine taşınması, modelleyiciye modellerin farklı davranış cephelerine (aspects) göre yönetilmesini sağlar. Ayrıca, saçılmış isterleri karşılayan davranışların veya durumların, sırasıyla, davranış setlerine ve davranışlara dağıtımı düşük-bağımlılık ve yüksek tutarlılık ile saçılmış ister problemini çözer [2]. Bu bakış, davranış perspektifi ile saçılmış (scattered) isterlerin model davranışlarına dağıtılmasını ve tümleşik bir ister setinin (tangled) sınıflandırılmasını sağlar. Yaklaşımın TMO'dan farklılaşan yönü, modelleme bakışlarının farklı modellere değil, aynı modelin farklı davranış kategorilerine

ayrıştırılmasında yatmaktadır. Aspect J benzeri bakışla, birleşim noktalarını senkronizasyon durumları işletiminde, içsel durum geçişlerinde, davranış tetiklemelerinde ve olay gönderimlerinde gerçekleştirir.

Davranış listeleri belirli bir modelleme bakışını sağlayan davranışlar kümesi olarak tanımlanabilir. Davranış listeleri temsil ettikleri bakışa ilişkin bir grup isteri karşılamaya yönelik olarak tasarlanırlar. Bir model en az bir aktif davranış kategorisine sahiptir ve aktif kategori sayısı bir ile sınırlı değildir. Bir davranış kategorisi simülasyon veya etmen çevresi değişimine, kendi durum değişimine bağlı olarak farklı kategorileri aktifleştirerek/pasifleştirerek bakışlar arasında, tanımlı şartlar sağlandıkça geçiş mümkün kılınır. Davranış listeleri ile yürütülen cephe ayrımları bağımlılık ve çelişkiyi yönetmek için önemli bir esneklik sunar. Birbirinden ayrık olması zorunlu olan (zaman zaman çelişki doğuran) davranışların ayrık davranış listelerinde tutulmaları ve aktivasyon şartlarının birbirlerini olumsuzlayan şekilde tasarlanabiliyor olması ile aralarında bağımlılık bulunan davranışların aktif kök davranış listesinde tutulabiliyor olması önemli bir esneklik sağlar.

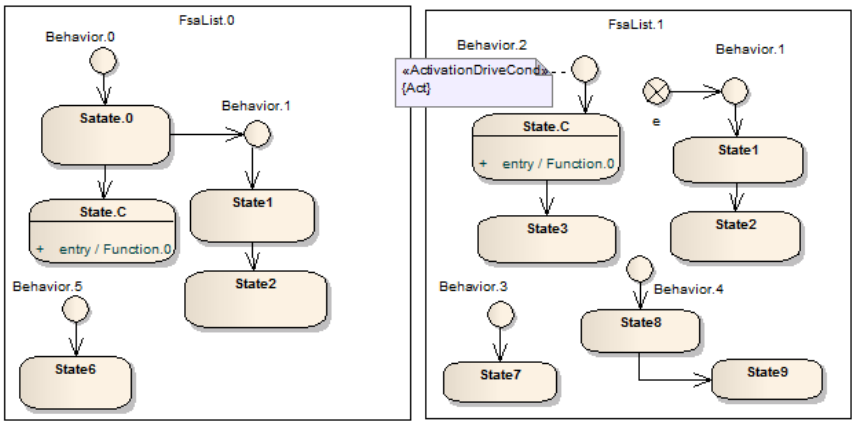


Şekil 1. Davranış Liste Yapıları

Şekil 1'de görülen FsaList.0 ve FsaList.1 isimli listelerin türetildiği FsaListBase*public* olarak tanımlı *Behavior.C* ve private tanımlı *Behavior.D* isimli davranışlara sahiptir. *Public* davranış türetilmiş davranışlar tarafından miras yoluyla alınır ve her iki davranış listesinde yürütülecek fonksiyonları işleten davranış olarak ele alınır. Davranış listelerinde ayrıştırılmış olan davranışlar (*FsaList.0*'da *Behavior.0, Behavior.5* ve *FsaList.1*'in sahip olduğu *Behavior.2, Behavior.3* ve *Behavior.4*) iki farklı cepheye ait davranış işletimlerini gerçekleştirir. *Act.1* ve *Deact.1* olarak isimlendirilen mantıksal ifade tanımları, sırasıyla, işletim zamanında şartların sağlanması durumunda ait oldukları davranış listesi *FsaList.0*'ı aktive ve pasive ederler. Aynı şekilde FsaList.1 için tanımlanan şartlar geçerlidir. FsaList.0 ilgili modelin başlangıç davranış listesi olarak tanımlanmıştır. Sırasıyla, davranış listeleri başlangıç davranışları ise *Behavior.5* ve *Behavior.4* olarak belirlenmiştir.

Modellerin farklı davranış perspektifleri içerisinde ortak olan isterler, davranışlara dağıtılmış olan ve isteri sağlayan fonksiyonu saran durumlar tarafından veya davranış listelerine dağıtılmış isterleri sağlayan davranışları içerirler (Şekil 2). Şekilden de görülebileceği gibi çapraz kesen bir fonksiyon olan *Func.0* fonksiyonu *State.C* ile farklı

davranış listelerinde farklı davranışlara dağıtılarak, saçılmış isteri sağlayan işlev modüller arasında dağıtılmıştır. Benzer şekilde *Behavior.1*'in sağladığı ister farklı davranış listelerine dağıtılarak işlevi gerek farklı modellere gerek aynı modelin farklı cephe tasarımlarına taşınmıştır. Dağıtılmış olan durum ve davranışların birleşim noktası uygulamaları dağıtıldıkları model veya davranış listesinde farklılık gösterebilir.



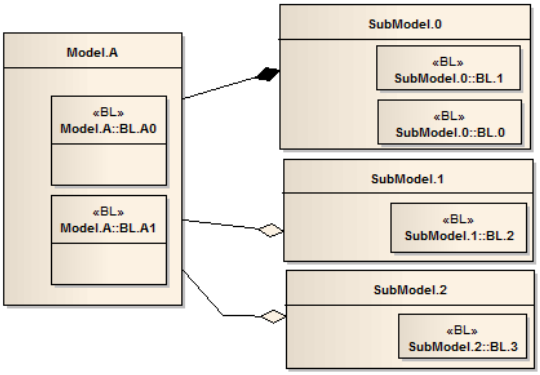
Şekil 2. Davranış Listeleri ile Cephe Yönetimi

Örneğimizde, *FsaList.0*'da *Behavior.1* ve *State.C* içsel durum geçişi ile işletilirken, *FsaList.1*'de *Behavior.1* olay tetiklemesi ile ve *State.C* aktivasyon şartlı olarak işletilmektedir. Bu tasarım ile düşey eksende derinleşen yazılım tasarımı, yatay eksende genişletilmiş ve ilişkilendirilmiştir.

Davranış listeleri ve davranışlara dağıtılmış durumlar ile uygulanan çözüme ek olarak, farklı isterler setini sağlayan farklı modeller tümleştirilerek isterler sağlanır. Tümleştirme işlemi kompozisyon (composition) veya kümeleme (aggregation) olmak üzere iki tipte gerçeklenir. Model birden fazla alt modeli içerecek şekilde modellenir. Bileşen modeller tüm davranış yapılarını muhafaza ederler. Üst model olarak tüm alt modelleri içeren model, alt modellerin zaman ve olay yönetimlerini üstlenir ve bu amaçla kendi içerisinde bir simülasyon alt kümesi oluşturur. Şekil 3'de görülen tasarımda *Model.A* ile *SubModel.0* ile composition ve *Submodel.1* ve *SubModel.2* ile aggregation ilişkisi tanımlanmıştır. *Model.A* içerdiği modellerin zaman yönetimini üstlenir ve olay dağıtımı için bir arayüz görevi üstlenir. Dağıtımı gerçekleştirilen her model olay işletimini kendisi gerçekleştirir. Her bileşen modelin farklı bir cepheyi davranış listeleri ile yönettiği düşünülürse, MIC'de olduğu gibi, cephelerin modellere dağıtımı, daha üst bir kategori olan modeller ile çözülür.

AdSiF'in Cephe tabanlı Programlamaya olan bir diğer önemli desteği Geç-Yüklemeli-Atomik-Fonksiyon uzantılarıdır (Delayed-Loaded Atomic Function Plug-ins (D_lAFPs). D_lAFPs davranış durumları tarafından işletilen atomik fonksiyonun işletim zamanında yüklenmesini sağlar. Özellik, varlıklara işletim zamanında dahi geliştirme, modeli genişletme imkanı verir ve AdSiF'in genişletilebilirlik derecesi için önemli bir ölçüdür.

Yaklaşım oldukça esnek, düşük yazılım bağımlılığına ve yüksek tutarlılığa sahip estetik bir çözüm sağlar. İşletim zamanlı olarak aktif davranış kategorilerinin, tanımlı şartlara ve kullanıcı/model etkileşimlerine bağlı olarak, değiştirilebiliyor olması ve ilgili fonksiyon uzantılarının işletim zamanında yüklenebilmesi CtP'yı tasarım zamanından işletim zamanına taşıyan önemli bir açılım olarak görülmektedir.



Şekil 3. Model Seviyesinde Cephe Ayrıştırma

4. SİMÜLASYONLAR İÇİN UYGULAMA KATEGORİLERİ

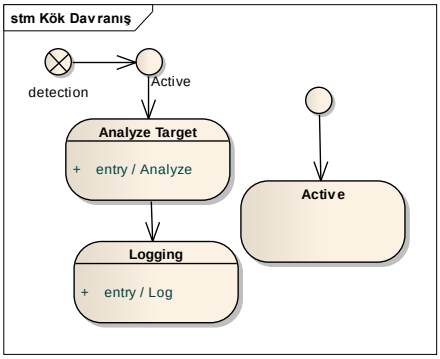
Bu bölümde, uygulama alanı daha genel bir bakış ile ele alınmış, analiz ve eğitim amaçlı olmak üzere iki temel kategorideki simülasyon uygulamaları için bir uygulama şablonu çizilmiştir. Analiz amaçlı simülasyon uygulamalarında modellemeciler, nadiren, gerçek zamanlı ve kullanıcı etkileşimli işletime ihtiyaç duyarlar. Ana beklentiler, simülasyon koşum hızı ve kayıtlarıdır. Mümkün olan en yüksek hıza erişim ve istenilen detay seviyesinde, istenilen şartlar altında ve zamanlarda koşum kayıtlarının alınabiliyor olması analiz simülasyonlarında önemli bir ister setidir.

Eğitim amaçlı simülasyon uygulamalarında, sıklıkla, gerçek zamanlılık, grafik arayüz ve kullanıcı etkileşimi daha önemli isterler olarak karşımıza çıkmaktadır. Temel olarak yapılan mühendislik hesaplamalar aynı olmasına rağmen, farklılaşan isterler, her iki kategoride ortak bir mühendislik çözüm üzerine oturan, farklı fonksiyonları gerektirir. Çözüm kategorik olarak, eğitim amaçlı simülasyonlarda arayüz kontrolleri ve işletim hız kontrolünü farklı davranış listelerinde toplarken, analiz amaçlı simülasyonlarda yüksek çözünürlüklü koşum kayıt davranışları, mümkün olan en yüksek hız işletim kontrolüne ilişkin davranışlar aktif davranış listesi olarak belirlenir. Her iki durum için ortak olan ve mühendislik hesaplama algoritmalarını içeren davranışlar ortak davranış listesi olarak aktif tutulur.

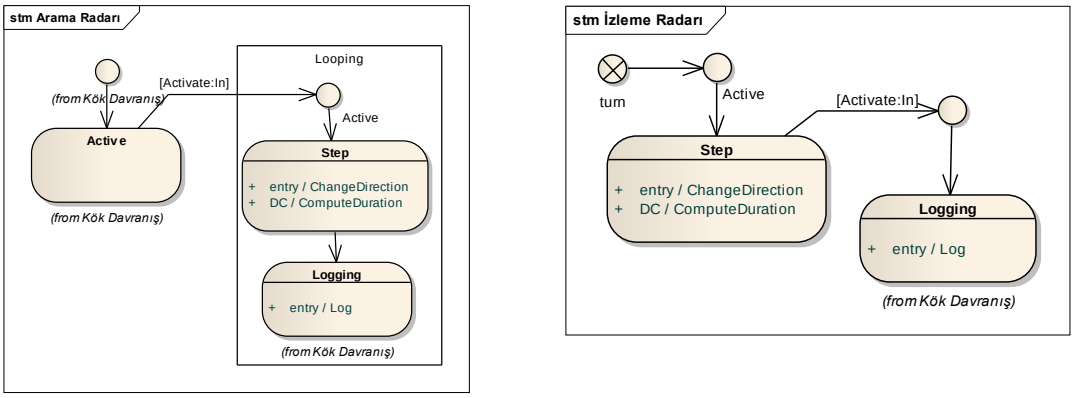
4.1. Örnek Uygulama

Uygulama radar modelinde arama ve izleme davranışlarının modellemesine ilişkindir. İzleme ve arama radarı olarak iki farklı radar modeli geliştirmek yerine, izleme ve arama modu olmak üzere iki farklı modda çalışabilen bir radar modeli geliştirilmiştir.

Temel fonksiyonlar olan, tespit hesapları, verilen bir açıda ve yönde dönüş hareketi her iki çalışma modu için de geçerlidir. Farklılık, fonksiyonları yöneten davranışların tasarımlarında görülecektir. İzleme modunda radar dönüş davranışı belirli bir hedefi takip eder nitelikte tasarlanmış olarak izleme davranış listesinde yeralırken, arama radarı modunda, sürekli formda bir dönüş hareketi tasarımı arama davranış listesinde yeralır.



Şekil 4. Kök Model Davranışı



Şekil 5. Gözetleme ve İzleme Davranışları

Şekil 4'de her iki radar davranışı için kök davranış hüviyetindeki aktif olma ve analiz yürütme davranışları yeralır. Farklılığı oluşturan dönüş hareketleri ise Şekil 5'de görülmektedir. Şekilde görülen iki davranış listesi loglama operasyonunu davranışlarında durum tanımı olarak ve alternatif bir tasarım ile, davranış formunda göstermektedir. Şekil 4'de alınan bir tespit olayına karşılık hedef bilgilerinin analizi gerçekleştirilmekte ve analiz sonrasında loglama işlemi yürütülmektedir. Şekil 5'de görülen Arama Radarı davranışında ComputeDuration zaman hesaplayıcısı ile belirlenen zaman adımlarında açısal dönüş yapmakta ve bu hareketi kısıt olarak tanımlı açı aralıkları için yürütmektedir. İzleme radarı davranışında ise, turn olayı ile belirtilen açıya hesaplanan süre kullanılarak dönüş yapılmakta, sürekli formda tekrarlanan bir davranış yürütülmemektedir. Loglama işlemi ise bir durum olarak değil izleme davranışının tetiklediği bir davranış olarak yürütülmektedir.

5. SONUÇ

EtSiS'in cephe tabanlı programlama desteği varolan Model Güdümlü Mimari ve Model Güdümlü Geliştirme (Model Driven Architecture (MDA)/Model Driven Development (MDD)) kavramı ile birleştirildiğinde oldukça güçlü ve esnek bir modelleme ortamı sağlamaktadır. Tasarladığı dünyayı nesne yönelimli programlamanın kurguladığı nesneleri, davranış, durum tasvirleri ve muhakeme mekanizması ile daha ileri bir aşamaya taşır.

Cephe tabanlı programlama yaklaşımı, saçılmış ve kümelenmiş isterleri karşılamada, EtSiS'in davranış ve davranış liste tasarımlarının bir tasarım şablonu olarak kullanımı ile esnek bir çözüm sağlar. Yaklaşım ile, aralarında semantik bir bağ kurulmayan, atomik fonksiyonların kod saçılmaları önlenerek, bakımı ve geliştirilmesi oldukça etkin simülasyon ve etmen modellerinin geliştirilmesi sağlanır. EtSiS betik programlama dili ile saçılmış isterlerin (çapraz kesen) sağlanması gerek isteri sağlayan fonksiyonu saran durum tanımlarının davranışlara dağıtılması gerekse de bağısız davranış formunda davranış listelerinde kullanımı, cephe tabanlı programlama yaklaşımı olarak oldukça esnek ve estetik bir çözüm olarak görülebilir. Davranış listelerinin işletim zamanlı aktivasyonu ve de-aktivasyonu ile işletim zamanlı yazılım uzantısı ile fonksiyonel genişletmeler cephe programlama çözümünü tasarımdan işletim zamanına taşıyan oldukça önemli bir esneklik sağlar.

6. KAYNAKÇA

[1] Hocaoğlu, M. F., "AdSiF: Agent Driven Simulation Framework", The Huntsville Simulation Conference 2005, 26-27 October 2005.

[2] Hocaoğlu, M. F., "EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi", *4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı*, USMOS'2011, Ankara, Türkiye.

[3] Kiczales, G.,Lamping, J., Mehdhekar, A., Maeda,C.,Lopes, C. V.,Loingtier, J., Irwin, J., (1997), "Aspect-Oriented Programming", Proceedings of the *European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP)*, Springer-Verlag LNCS 1241.

[4] Lieberher, K.,Orleans, D.,Ovlinger, J., (2001), "Aspect-orientedprogrammingwithadaptivemethods", Communications of the ACM 44(10) 39–41.

[5] Mendonça,N. C.,Silva,C. F.,Maia,I. G.,Rodrigues, M. A. F. (2008), "A LooselyCoupledAspect Language For SOA Applications", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, Vol. 18, No. 2 243-262.

[6] Madeyski, L., Szała, L., (2007), "Impact of aspect-oriented programming on software development efficiency and design quality: an empirical study*", IET Softw*., 1, (5), pp. 180–187.

[7] Garcia, A.F., Sant'Anna, C., Figueiredo, E., Kulesza, U., de Lucena, C.J.P., and von Staa, A. (2006), 'Modularizing design patterns with aspects: a quantitative study' in Rashid, A., and Aksit, M. (Eds.): 'T. Aspect-oriented software Development I', vol. 3880 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 36–74.

[8] Kersten, M., and Murphy, G.C., (1999), 'Atlas: a case study in building a web-based learning environment using aspect-oriented programming'. Proc. ACM SIGPLAN Conf. Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA 1999), New York, USA, November, pp. 340–352

[9] Walker, R.J., Baniassad, E.L.A., and Murphy, G.C., (1999), 'An initial assessment of aspect-oriented programming'. Proc. Int. Conf. Software Engineering (ICSE 1999), Los Alamitos, USA, May, pp. 120–130.

[10] Soares, S., Laureano, E., and Borba, P., (2002), 'Implementing distribution and persistence aspects with AspectJ'. Proc. ACM SIGPLAN *Conf. Object-Oriented Programming, Systems, Languages*, and Applications (OOPSLA 2002), New York, USA, November, pp. 174–190

[11] Garcia, A.F., Sant'Anna, C., Chavez, C., da Silva, V.T., de Lucena, C.J.P., and von Staa, A., (2003), 'Separation of concerns in multi-agent systems: an empirical study'. *Proc. Int. Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems (SELMAS 2003)*, vol. 2940 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 49–72.

[12] Vaira, Ž., Aplinskas, A.C., (2011), "Software Engineering Paradigm Independent Design Problems, GoF 23 Design Patterns, and Aspect Design", INFORMATICA, Vol. 22,No.2,289–317.

[13] Chidamber, S.R., and Kemerer, C.F., (1994), 'A metrics suite for object oriented design', IEEE Trans. Softw. Eng., 20, (6), pp. 476–493.

[14] Tsang, S.L., Clarke, S., and Baniassad, E.L.A., (2004)'An evaluation of aspect-oriented programming for Java-based real-time systems development'. Proc. Int. Symp. Object-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC 2004), Vienna, Austria, May, pp. 291–300.

[15] Kumar, A., Kumar, R., Grover, P.S., (2011), "Unified Cohesion Measures For Aspect-Oriented Systems", International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering Vol. 21, No.1, 143–163.

[16] Gordillo, S., Zambrano, A., (2010), "A Fine Grained Aspect Coordination Mechanism", International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering Vol. 20, No. 7 1025–1042.

[17] Sirbi, K., Kulkarni, P.J., (2010), "Enhancing Modularity in Aspect-Oriented Software Systems-An Emperical Study", (IJCSE) International Journal on Computer Science and Engineering Vol. 02, No. 06, 2009-2014.

[18] Hameed, K., Williams, R., Smith, J., (2010), "Separation of Fault Tolerance and Non-Functional Concerns: Aspect Oriented Patterns and Evaluation", J. Software Engineering & Applications, 2010, 3: 303-311 doi:10.4236/jsea.2010.34036 Published Online April (http://www.SciRP.org/journal/jsea).

[19] Meslati, D., (2009), "On ASPECTJ and Composition Filters: A Mapping of Concepts", INFORMATICA, Vol. 20, No. 4, 555–578.

[20] Heidenreich, F., et al (2009). "On Language-Independent Model Modularisation", In: Rashid, A.,Ossher, H. (Eds.), Transactions on AOSD VI: Special Issue on Aspectsand Model-DrivenEngineering, LNCS, Vol. 5560. Springer-Verlag, pp. 39–82.

[21] Kleppe, A., et al. (2003), "MDA Explained: The Model Driven Architecture PracticeandPromise", Addison-Wesley.

ZAMANSAL MUHAKEME İLE DURUM TABANLI DAVRANIŞ ÜRETİMİ

M. Fatih Hocaoğlu

İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Bu bildiride birden fazla programlama paradigmasını durum tabanlı programlama paradigmasında tümleştiren Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi EtSiS'in, zamansal muhakeme (temporal reasoning) davranış önermeleriyle model durum geçişlerini kullanarak davranış üretimi ele alınmıştır. Yapılan davranış üretimi, aynı simülasyon çevresini paylaşan simülasyon modellerinin birbirlerinin davranışlarını bir ikili (dual) model olarak oluşturmasını sağlar. Oluşturulan ikili model tanımı, modellerin öznitelik ve durumsallıkları ile oluşturulan dünyanın ötesine geçen, davranış semantiğini çözümleyen bir yapı oluşturur.

Zamansal muhakeme davranış şablonları, durum ve olay geçiş değişkenlerini ve aralarındaki mantıksal operatörleri içerir. Mantıksal çözümlemelerle elde edilen gramer kuralları, her bir davranış durum geçişlerini tanımlar ve davranış üretimi için temel bileşeni oluşturur. Gramer kurallarına uygun olarak oluşturulan davranışlar, bir etmenin diğer etmen davranışlarını ikili dünya olarak tanımladığı bir iç model tasviri olarak, model iç tanımında yeralır ve ilgili etmenin davranışlarının önceden kestiriminde önemli bir avantaj sağlar. Sağlanan yetenek, daha zeki simülasyon ortamları hazırlamada bir adım olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Davranış üretimi, Durum tabanlı programlama, Etmen öğrenmesi, EtSiS, Zamansal muhakeme, Üretim kuralları

STATE BASED BEHAVIOR GENERATION BY TEMPORAL REASONING

ABSTRACT

In this study, how AdSiF, which combines multi-paradigm into state oriented paradigm, generates behaviors using state transitions and temporal reasoning behavioral premises is examined. Behavior generation provides simulation models, which share the same simulation environment, to create an inner dual world representation of each other. The

dual world representation constitutes a behavioral structure that is further from the world envisioned by model attributes and stative information.

Temporal reasoning behavioral patterns consist of state transitions, events, and logical operators between them. Grammar rules generated represent state transitions and define building blocks for behavior generation. The behaviors generated satisfying grammar rules are taken place in an agent inner structure as another agent's behavior representation and gives an advantage to forecast the behaviors of related agent. The opportunity is seen a step toward smarter simulation environments.

Keywords: AdSiF, Agent learning, Behavior Generation, Production Rules, State oriented programming, Temporal Reasoning

1. GİRİŞ

Durum tabanlı davranış üretiminde amaç, aynı simülasyon çevresini paylaşan etmen karakteristikli simülasyon modellerinin birbirlerine ait zamansal (temporal) muhakeme tabanlı davranış şablonları ile uyumlu davranış tanımlarını üretmektir. Davranış üretiminin girdileri, davranış üretimi yapılacak olan simülasyon modeline veya modellerine ait zaman etiketli durum geçişleri ve zamansal muhakeme tabanlı davranış şablonlarıdır. Davranış şablonları, değişken olarak tanımlanmış durum tanımlarını mantıksal operatörler ile ilişkilendiren ve kalitatif bir zaman sonra yürütecekleri mantıksal operatörlerle ilişkilendirilmiş durum geçişleri olarak tanımlayan zamansal formülasyonlar olarak tanımlanabilir. Bir şablon olması yönüyle, her bir davranış formülasyonu çözümlendiğinde birden fazla davranış üretimi gerçekleştirecektir. Bu bakışla, bir şablon tek bir davranış değil bir davranış ailesini temsil eder ve yalnızca bir modele ait durum tanımlamalarını değil, birden fazla modelin durum davranışları üzerine kurulu bir sonraki adım tahminini üretir. Bu yönüyle, bir grup modele ait kollektif davranışı üretir.

Çalışmada, tanımlanan davranış şablonlarının kullanımı ile bir modelin bir diğer modele ait davranış üretimi ve davranış diyagramları ile modele ait ikili (dual) davranış modeli kurması incelenmiştir. Oluşturulan ikili model, takip edilen modelin davranışlarının çözümlenmesiyle yapısal bir öğrenme sağlamaktadır.

Bölüm 2'de dil teorisi ve otomata teori ele alınmıştır. Bölüm 3'de çözümün ana çerçevesini oluşturan mantık programlama ve zamansal muhakemeden kısaca bahsedilmiş ve Bölüm 4'de oluşturulan çözümün model tasarımına ışık tutulmuştur. Bölüm 5'de bir hava savunma simülasyonu örneği ile doğrulama ve davranış üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç bölümünde yöntemin sağladığı avantajlar ele alınmıştır.

2. DİL TEORİSİ VE OTOMATLAR

Dil ve otomata teorileri kesikli olay sistemlerinde formal bir işletim tanımlaması sağlar. Çıkış noktası, kesikli olay sistemlerinin kendileri ile ilişkili bir olay kümesi içeriyor

olması olarak ele alınır. E ile gösterilen olaylar kümesi dilin “alfabesi”ni ve olaylar ile üretilen karakter katarları ise dilin “kelimeleri”ni oluşturur. Bu kapsamda bir L dili, E olaylar seti ile formüle edilmiş karakter katarlarını içerir ve oluşturulan dil kesikli bir sistemin davranışlarını tanımlar. Bir dilin ürettiği kelimelerin geçerliliği gramer kuralları ile belirlenir. Gramer kuralları kelimenin üretilmesi ve harf tekrarlılıklarının geçerliliğini belirler ve her kelime bir nihai (final) durum ile sonuçlanır. Nihai durum sistemin, olay katarlarının (kelime) gerçeklediği bir seri durum geçişi tamamlayarak, bir eylemi yerine getirmesi ve nihai bir durum olarak ulaştığı bir kararlılık noktasıdır.

Gramer kuralları daha üst bir mantık operasyonu ile elde edilen çözümlemeler ile oluşturulur ve bu çalışmada sözkonusu mantık operasyonları zamansal muhakeme tabanlı olarak belirlenmiştir. Zira, sistem davranışları zamansal tanımlamalar içeren bir doğal dil ifadesi olarak belirtilmiştir.

Otomatlar belirli bir gramer kural setini sağlayan kelimeler üreten yapılar olarak tanımlanırlar. Sonlu durum otomatları sınırlı bir olay kümesine, bir başlangıç durumuna sahip bir durum kümesine, gramer kurallarına uygun durum geçişi sağlayan bir fonksiyona ve fonksiyonun ulaştıracağı nihai duruma sahiptir. Zamansal muhakeme tabanlı olarak belirlenen davranış önerme yapıları ile tanımlanan gramer kurallarının her biri bir sonlu durum otomatı karşılığına sahiptirler ve sistem davranışını gösterirler. Bu çerçevede, dil teorisi zamansal muhakeme tarafından tanımlanan model davranış tanımlamalarının tanımladığı gramer ve gramer kuralları ile üretilen her bir bileşenin simülasyon davranış doğrulaması [1], [2] ve davranış öğrenimi ile doğrudan ilgisi vardır.

3. MANTIK PROGRAMLAMA VE ZAMANSAL MUHAKEME

Mantıkta ana eksen tanımlı bir durumu doğru kabul eden veya aksi ispatlanmadığı için doğru varsayan bir önerme kümesini alan ve doğruluğu kabul edilen tanımlı şartlar altında doğru olması beklenen önermelerin neler olduğu belirlenir. Doğruluğu çıkarım yoluyla belirlenen önermeler, öncelikli olarak doğru kabul edilen önermelerin ima ettikleri ve bir anlamda gizli olarak doğruluğunu ileri sürdükleri duruma ilişkin önermelerdir ve mantığın amacı gizli olan doğrulukları açık ifadeler haline dönüştürmektir ve sonuç çıkarmaya dönük süreç “muhakeme” olarak tanımlanır [3].

Bir programlama paradigması olarak mantık programlama dünya tasvirinde, varlıklar arası ilişkiler, teorem ispat mekanizması ve doğruluğu kabul edilmiş önermeler seti ana unsurlar olarak görülebilir. Genel olarak mantık programlama bir problemin çözüm adımlarının tanımlanması yerine, problem tanımının tanımlanması ve teorem ispat yöntemleri ile çözüm aranması olarak anlaşılır. Yaygın olarak kullanılan mantık programlama yaklaşımı Horn-clause önerme yapılarının kullanımı ve problemin daha basit bileşenlere ayrılmasıdır. Problemin basit bileşenlere ayrılmasının kökü tümevarım muhakeme tekniğine dayanır [4]. Paradigma üç temel unsur üzerine kurulmuştur;

1. Değerler otomatik olarak üretilen değişkenlere atanır ve bu en genel tümleştirme olarak isimlendirilir (most general unifier),
2. Otomatik geri izleme (backtracking) mekanizması ile kontrol sağlanır,
3. Hesaplama tanımlı alfabe üzerinde gerçekleştirilir,

Önerme mantığı nesnelerin ve aralarında kurulan ilişkilerin varlık betimlemesi temellidir ve bu simülasyon modellemesine de yansıyan bir yaklaşımdır.

Zamansal muhakeme önerme mantığını bazı zamansal operatörler ekleyerek genişletir ve bu anlamda zamansal muhakeme bir tür biçimsel mantığın (modallogic) bir türüdür. Daha dar bir tanım ile zamansal muhakeme "daima (always)", "nihayetinde (eventually)" gibi ifadelerin doğruluk derecesini belirtmekte kullanılması ile kurulur [5]. Zamansal muhakeme ile bileşenlerin, protokollerin, nesnelerin, modüllerin, prosedürlerin ve fonksiyonların zaman ekseni üzerinde davranışlarının incelenmesi gerçeklenebilir. İnceleme önermelerin geçmiş, mevcut zaman ve geleceğe ilişkin davranış olarak üç fazı ile ilgilidir. Zamansal muhakeme program işletimi ile ilgili operatörler de sağlar. Bir işletim, bir seri durum geçişi olarak temsil edilir ve başlangıç durumu ile hesaplamaya başlanır. Geleceğe ilişkin hesaplamalar durum geçişleri ile belirlenir ve zamansal muhakeme önermeleri bu geçişlere ilişkin opratörler sunar [6]. EtSiS'in [7], [8] temel hesaplama paradigması olan durum tabanlı programlama paradigması, bu kapsamada, zamansal muhakeme ile güçlü bir uyum sağlar. Muhakeme p önermesi sağlayan s durumlar sıralaması $s \models p$ olarak gösterilir ve çalışmada kullanılan zamansal muhakeme gösterimi olarak tercih edilmiştir [9].

4. DAVRANIŞ ÖĞRENME VE MODEL TASARIMI

Davranış öğrenmede ana fikir, tanımlı zamansal muhakeme önerme şablonlarını sağlayan durum geçişlerinin bir davranış olarak belirlenmesidir. Geliştirilen zamansal muhakeme önerme şablonları Tablo 1'de görülmektedir. Önermelerin, A parçası mevcut durumu ifade ederken B parçası TFRP #1'de belirli zaman sonra ulaşılacak, TFRP #2 dışında olunacak ve TFRP #3'de ise ulaşılacak ve daimi olarak kalınacak olan tasvirleri gösterir. A ve B önerme bileşenleri durum tanımlarının mantıksal operatörler ile ilişkilendirilmesiyle oluşturulan mantıksal önerme bileşenleridir.Şablonlarda A ve B durum tanımlamaları birden fazla durum ifadesini içeren ve mantıksal operatörler ile ilişkilendirilmiş durum tanımları olabilir. Benzer şekilde, durum tanımları birden fazla modele ait tanımlamaların ilişkilendirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Örnek uygulamada ele alınan ve savunma birimi varlıkları ile hücum varlıklarının her ikisini de içeren davranış yapıları buna örnek olarak görülebilir.

Tabloda yeralan zamansal önerme şablonlarının mantıksal operatörler ile çözümlenmesi sonucunda elde edilen gramer kuralları her önerme şablonunun alt kısmında, sonlu durum otomat gösterimleri ile yeralmaktadır. Sonlu durum otomatlarında içleri siyah

olarak doldurulmuş olan durumlar nihai durumu göstermektedir. Gramer kurullarında aralarında "ve" operatörü bulunan kurullar ardışık olay durum geçişlerini, "veya" operatörü olanlar ise alternatif (farklı şartlarda dallanılan) durum geçişlerini göstermektedir.

Bir etmenin diğer etmenin davranış modelini çözümlemesi (öğrenmesi) paylaştıkları çevrede gelişecek olaylara göstereceği reaksiyonu önceden üretmesi adına oldukça önemli bir avantaj sağlayacaktır. Hedef merkezli (Goal-Oriented) etmen tasarımlarında, başarılacak bir amacın, ulaşılacak bir amacın olması durumunda daha fazla önem kazanan bir nitelik olarak karşımıza çıkmaktadır [10].

Tabloda Bölüm 2'de ele alınan dil teorisi gramer çözümlemeleri ve bunların otomat karşılıkları görülmektedir. Tüm zamansal davranış şablonlarında S0 başlangıç durumunu göstermektedir. Her bir gramer kuralının gösterdiği durum geçişleri sağlandıktan sonra bir nihai durumda sistem kararlı olarak sonlanır. Örnek olarak, TFRP #1'de Kural 2 ile belirtilen gramer kuralında, S0 başlangıç durumundan, ¬A durum geçişi ise S0'da sonlanma veya A ve bir sonraki zaman noktasında B durum geçişi yürütülerek (A◊B) yine S0 durumunda sonlanır. Gramer kurallarının tümünde sonlanmanın S0'da olduğu görülür ve S0 nihai durum olarak gözlemlenir. TFRP #2 ve #3'de S0 ve S1'in nihai durum olduğu görülmektedir. Her iki zamansal davranış şablonunda da, S0 durumundan S1'e geçiş gerçekleştirildikten sonra tekrar S0'a geçişin mümkün olmadığı görülmektedir. TFRP #3'ün doğal dil ifadesi "S0 durumunda bulunan bir sistem, A geçişi yaptıktan sonra ulaştığı S1 durumunda sonsuz zaman için kalır". Bunun doğal bir sonucu olarak zaman ekseni üzerinde TFRP #3 ile tanımlı bir davranış, A geçişi yaptıktan bir zaman sonra tekrar S0'e geçişi bir davranış tasarım hatasını gösterir.

Model A durumuna girdikten bir zaman sonra B durumuna geçiş yapar.

Kural 1: Bir başlangıç durumu tanımlanır.

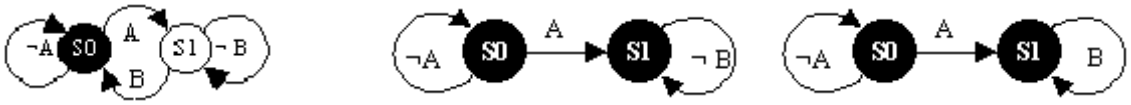
Kural 2 ve 3: Model A durum geçişini sağlayan olaydan farklı bir olay geçişi yürütür veya A durum geçişinden sonraki bir zamanda B durumuna geçiş yapar. A durum geçişi bir kararlılık noktası değildir ve takip eden zamanda B durum geçişi mutlaka yaşanarak sistem kararlılığa ulaşır.

Kural 4: A geçişi ile S1 durumuna ulaşan bir sistem, B geçişi ile kararlılık noktası olan S0'a ulaşır veya B den farklı olan bir geçişi takip eden bir B geçişi ile S0'a ulaşır.

TFRP #2: φ:= □ (A→¬◊B) TFRP #1'in olumsuz (not) şartlı geçişini göstermekte olup, S0 ve S1 gibi iki karalılık durumuna sahip olduğu görülür.

TFRP #3 bir süreklilik göstermektedir. Sistemin daima A ile tanımlı geçişi yürüterek S1 durumunda karalı kaldığı görülmektedir.

TFRP #1: φ:= □ (A→◊B)	TFRP #2: φ:= □ (A→¬◊B)	TFRP #3: φ:= □ (A→□B)
Kural1: A→◊B, S ←φ	Kural 1: A→¬◊B, S ←φ	Kural 1: A→□B, S ←φ
Kural 2: A→◊B = ¬A+A(◊B)	Kural 2: A→¬◊B =¬A+A(¬◊B)	Kural 2: A→□B = ¬A+A(□B)
Kural 3: P:={S→¬A, S→A(◊B)}	Kural 3: P:={S→¬A, S→A(¬◊B)}	Kural 3: P:={S→¬A, S→A(□B)}
Kural 4: ◇B →B + ¬B(◇B)	Kural 4: ¬◇B →¬B(¬◇B)	Kural 4: □B →B(□B)
Kural 5: P:= P∪{◇B→B, ◇B→¬B(◇B)}	Kural 5: P:= P∪{◇B→¬B(¬◇B)}	Kural 5: P:= P∪{□B→B(□B)}



Tablo 1. Davranış Önerme Şablonları

TFRP #1: φ:= □ (A→◊B) açıklaması aşağıdaki gibi ele alınır.

Tablonun hemen alt kısmında görülen durum diyagramları gramer kurallarının ürettiği sistem davranışını göstermektedir.

Gramer kuralları S0 ve S1 olarak iki durum tanımı ile bir şablon olarak gösterilmektedir. Bu en genel tümleştirme (most general unifier) prensibi ile uyumludur ve her iki durum tanımı değer olarak sisteme ait bir set durum değişkenini ve ilgili değerleri içerir. Tüm mümkün dünyanın iki durum olarak betimlenmesi, gramer kurallarının oluşturulmasında yürütülen mantık operatörlerinin "*not*" operatörü içermesidir. Operatör betimlenen durum uzayını iki farklı parçaya ayırır.

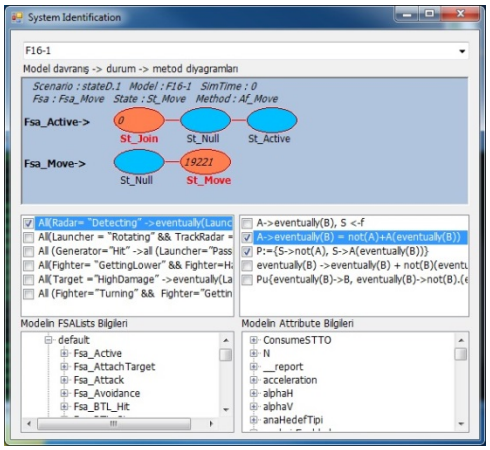
Davranış üretimi simülasyon işletim zamanında gerçekleştirilir ve aşağıdaki süreç adımları uygulanır;

1. İşletim simülasyon işletimi boyunca durum ve olay geçişlerinin takibi,
2. Elde edilen durum geçişlerinden şablon zamansal davranış gramer kuralları ile uyumlu durum geçişleri yakalama,
3. Sağlanan gramer kurallarından zamansal davranış formülü oluşturma,
4. Çift anlamlılıkları düzenleme; Bir durum dışında olma ifadesi (¬B) hesaplamalarda dışında olunacak durum dışındaki durumların oluşması ile gerçeklenir. Örnek olarak ¬(Launcher = "Working") tanımı Launcher'ınWorking durumu dışındaki durumların gerçeklenmesi olarak gözlemlenir. Working durumunun oluşmuyor olması çift anlamlı durumun bir kural olarak tespiti ile gerçekleştirilir.

Yazılım arayüzü Şekil 1'de görülmektedir. Davranış üretim algoritması aşağıda özet olarak belirtilen adımları içerir;

- Tüm durum geçişlerini takip et (Şekil 1); Modelin işletim esnasında yürüttüğü davranışlar (durum diyagram geçişleri) izlenir ve geçişlerin Tablo 1'de sunulan zamansal muhakeme davranış gösterim şablonlarına ait gramer kurallarını sağlayıp sağlamadığı izlenir.

- Her bir gramer kuralı için bir arama uzayı oluştur; Gramer kuralları için oluşturulan arama uzayı ile davranışın gramere uygunluğu değil, grameri sağlayan davranış şablonları oluşturulur. Bu modelin davranışlarını izleyen bir zeki etmenin, model davranışlarını daha üst bir gramerde tanımlayarak modelin davranış gramerini çözümlemesini, bir diğer ifade ile, davranış yapısını zamansal muhakeme tanımlamaları ile öğrenmesini sağlar. Buradaki öğrenme yapısal bir öğrenmedir. Alt adımları aşağıdaki gibidir;
    - Gramer kurallarının oluşturduğu zamansal formülü ile gramer kurallarını ilişkilendir,
    - Gramer kurallarını sağlayan durum geçişlerini belirle; Her bir gramer kuralını oluşturan durum geçişleri belirlenir.
    - TF şablonunu sağlayan gramer kurallarını belirle; sağlanan gramer kurallarından zamansal muhakeme ifadesinin birleştirilerek oluşturulması amaçlanır (şekilde sağlanan gramer kuralları görülmektedir).



Şekil 1. Davranış Üretim Modeli Arayüzü

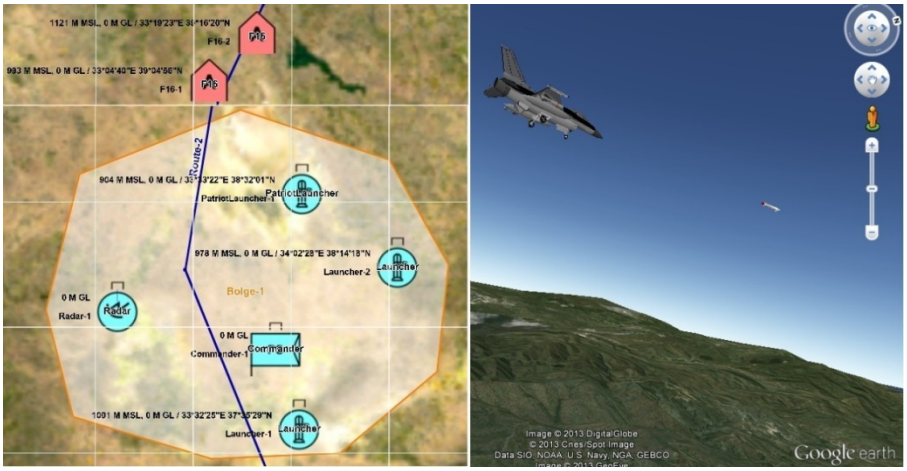
Algoritmanın temelinde arama algoritması ve geri izleme (backtracking) yaklaşımı esastır. Yaklaşım bir gramer kuralının sağlanıp sağlanmadığı araştırmak yerine, gramer kuralını sağlayan durum geçişlerini belirlemeyi sağlar.

5. ÖRNEK UYGULAMA: HAVA SAVUNMA SİMÜLASYONU

Seçilen örnek uygulamada havadan yere hücum gerçekleştiren uçaklara karşı savunma gerçekleştiren yer konuşlu füze savunma sistemleri mevcuttur. Yer savunma sistemleri hedef tespitlerini gerçekleştiren radar, tespit iletimlerini gerçekleştiren haberleşme cihazları ve komuta modeli ile silah sistemine ait lançer ve füzelerden oluşmaktadır.

Hücum unsuru olan uçaklar, yer savunma sistemi zamansal muhakeme tabanlı davranış formülasyonlarını gerçekleştirirler. Hücum ve savunma unsurları tarafından üretilen davranış tanımlamaları ayrı ayrı ele alınmıştır. Gözlemlenen durum geçişleri

ModelIsmi(Durum, DurumGirişZamanı) şeklinde bir format kullanılmıştır. Örnek birkaç gösterim Tablo 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Yer Konuşlu Hava Savunma Sistemi ve Angajman Görünüşü

Tablo 2. Sistemlere Ait Durum Geçişleri

Hücum unsuru tarafından gözlemlenen savunma sistemi durum geçişleri

Radar(Detecting, 1.5)	TrackRadar(Tracking, 2.0)	Radar(Detecting, 2.8)
Radar(Detecting, 1.8)	Launcher(Rotating, 2.2)	Launcher(Fire,3.3)
TrackRadar(Tracking, 1.9)	Radar(Detecting, 2.3)	Generator(Hit,4.5)
Radar(Detecting, 1.9)	TrackRadar(Tracking, 2.5)	Launcher(Passive,4.5)
Launcher(Rotating, 2.0)	Radar(Detecting, 2.6)	Generator(Hit,5.0)
Radar(Detecting, 2.1)	Launcher(Rotating, 2.8)	Launcher(Passive,5.6)

Savunma unsuru tarafından gözlemlenen hücum varlığı durum geçişleri

Fighter(GettingLower, 1.0)	Fighter(AltStabilezed, 1.6)	Fighter(Approaching,3.0)
Fighter(GettingLower, 1.2)	Fighter(AltStabilezed, 1.7)	Fighter(Approaching,3.3)
Fighter(GettingLower, 1.3)	Fighter(Heading, 1.7)	Fighter(Approaching,3.5)
Fighter(GettingLower, 1.3)	Fighter(AltStabilezed, 2.1)	Fighter(ReleaseBomb,3.8)
Fighter(Heading, 1.3)	Fighter(Heading, 2.4)	Fighter(Turning,3.9)

Hücum unsurları yer savunma sistemi model bileşenlerine ait durum geçişlerini, savunma unsurları ise hücum eden savaş uçağı modeli durum geçişlerini takip ederek davranış üretimini gerçekleştirirler. Durum geçişlerinden gramer kurallarını sağlayan durum koleksiyonları kullanılarak üretilen zamansal davranışlar aşağıda sunulmuştur. Davranışların doğal dil açıklaması aşağıdaki şekildedir.

Savunma unsuru bir tespit yaptıktan sonra, lançerin tespit koordinatına doğru dönmeye başladığı gözlemlenir. Lançerin dönüşüyle beraber silah sistemine ait izleme radarının hedefi takibe başladığı görülür ve bu davranışı lançerin ateş etmesi takip eder. Hücum unsurunun jeneratörü hedef alması ve vurması durumunda silah sistemi işletilemez duruma geçer.

Hücum unsurunun alçalarak savunma sistemine yaklaştığı ve bomba yüklü olduğu gözlemlenir. Yapılan tespiti takiben, hücum eden uçağın yükseleceği veya bombasını

bırakacağı alternatifi bir taktik uygulama olarak bilinir ve durum geçişlerinden bombayı bıraktığı gözlemlenir. Burada hücum gerçekleştiren uçaklardan bir diğerinin yükselerek farklı bir taktik uyguladığı koşum kayıtlarından gözlemlenir. Bu sebeple oluşturulan zamansal davranış formülü "veya" operatörü içerir. Hücum eden uçağın bombasını bıraktıktan sonra manevra yapar ve uzaklaşır. Bu noktadan sonra savunma unsuru uçağı bir tehdit olarak görmez.

Hücum unsuru TFRP #1 için üretilen zamansal davranış

□ (Radar= "Detecting" →◊(Launcher="Rotating"))

□ (Launcher = "Rotating" &&TrackRadar = "Tracking" →◊(Launcher="Fire"))

Açıklama: Radar bir hedef tespit ettikten bir süre sonra lançer hedefe doğru döner.

Lançerin hedefe dönmesi ve izleme radarının hedefi izlemeye başlamasını lançerin hedefe ateş etmesi takip eder.

TFRP #3 için üretilen zamansal davranış

□ (Generator="Hit" →□ (Launcher="Passive"))

Açıklama: Jeneratör vurulursa bir süre sonra lançer işlevini yitirir.

Savunma unsuru TFRP #1

□ (Fighter= "GettingLower" && Fighter=HasBomb→◊(Fighter=GetHigh || Fighter=PopUpTheBomb))

□ (Target="HighDamage" →◊(Launher="StopEngagement"))

Açıklama: Savaş uçağı alçalıyor ve bombaya sahipse bir süre sonra yükselecek veya bomba bırakacaktır. Eğer hedef yüksek seviyede hasarlı ise lançer angajmanı sonlandıracaktır.

TFRP #3 için üretilen zamansal davranış

□ (Fighter="Turning" && Fighter="GettingFarther"→□ (Fighter="NotThreat"))

Açıklama: Savaş uçağı manevra yapıyorsa ve uzaklaşıyorsa artık bir hedef olarak değerlendirilmeyecektir.

Zamansal muhakeme davranış tanımlarından görülebileceği gibi, durum geçişlerinin gramer kuralları ile eşleştirilerek oluşturulan davranışlar ile modelin bir sonraki zaman adımında yürüteceği davranışı yapacağı seçimi önceden kestirmek mümkün olacaktır. Bu bir etmenin diğer bir etmen davranışını öğrenmesi olarak yorumlanabilir.

6. SONUÇ

Bildiride sunulan çözüm yaklaşımı, aynı simülasyon sahnesini paylaşan aktörlerin, etmen benzeri davranışları ile birbirlerine ait davranış iç yapılarını çözümlemeye ve bir

anlamda davranışlarını öğrenmeye yöneliktir. Aktörlerin davranış öğrenme tanımı, sahip oldukları zamansal formül şablonlarına değer atanmış, durum geçişleri ile uygulanır bir forma ulaştırılmış tanımlarına ulaşmasıdır. Yöntemin sağladığı önemli avantaj, bir meta- bilgi olan zamansal formül şablonlarına sahip etmenlerin reaktif bir öğrenme sağlaması, diğer aktörlerin olaylara karşı göstereceği tepkileri önceden iç model tanımı ile kestirebilmesi ve bir doğrulama amacı olarak da, modelin gerçekte ürettiği davranışın neler olduğunu görebilmektir. Doğrulama amacında yaklaşım, modelin yürütmesi gerektiği davranışları tanımlayarak, gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmek yerine, modelin yürütmekte olduğu davranışları, tanımlı gramer kurallarına uygun bir şekilde üretmesinin sağlanmasıdır.

Yaklaşımda önemli zorluk, gramer kuralını doğrulayan çift anlamlı (ambiguous) durum geçişleridir. Durum geçişlerinin filtrelenmesi ve uygun durum geçişlerinin birleştirilmeleri için kural tabanı geliştirilmiştir.

7. KAYNAKÇA

[1] Liu, C., Orgun, M. A., "Verification of Reactive Systems using Temporal Logic with Clocks", Theoretical Computer Science 220 377-408, (1999).

[2] Zeigler, B. P., Sarjoughian, H. S., (2002), "Implications of M&S Foundations for the V&V of Large Scale Complex Simulation Models", An Invited Paper for Session A6 of the Foundations for V&V in the 21st Century Workshop (Foundations '02) held at the Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland (USA), October 22-24.

[3] Shapiro, S. C., (1992), "Encyclopedia of Artificial Intelligence", (v.2), John Wiley&Sons, Inc., New York.

[4] Russell, S. J.,Norvig, P., (1995), "Artificia Intelligence: A Modern Approach", Prentice-Hall International Inc., New Jersey.

[5] Garson, J. W., (2000), "Modal Logic", Stanford Encyclopedia of Philosophy, http://plato.stanford.edu/contents.html#l, pp. 1.

[6] Hailpern, B. T., (1982), "Verifying Concurrent Processes Using Temporal Logic", Springer-Verlag, Berlin.

[7] Hocaoğlu, M. F., (2005), "AdSiF: Agent Driven Simulation Framework", The Huntsville Simulation Conference 2005, 26-27 October.

[8] Hocaoğlu, M. F., (2011), "EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi", 4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, USMOS'2011, Ankara, Türkiye.

[9] Manna, Z.,Pnueli, A., (1995), "TemporalVerification of ReactiveSystems", Springer-Verlag, New York.

[10] Hocaoğlu, M. F., ve diğerleri, (2002), "DEVS/RAP Agent-BasedSimulation", AI, Simulation & Planning in High Autonomy Systems-AIS'2002, April 7-10, Lisbon, Portugal.

KESİKLİ OLAY ETMEN TABANLI BENZETİM

Fatih Çelik [(a)], Murat M.Günal [(a)], Ali Emre Varol [(b)]

[(a)] Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü, Deniz Harp Okulu, Tuzla, İstanbul,
fcelik1126@gmail.com | mgunal@dho.edu.tr

[(b)] Bilimsel Karar Destek Daire Bşk.lığı, Deniz Kuvvetleri K.lığı, Ankara,

a.emrevarol@gmail.com

ÖZ

Kesikli Olay Benzetimi (KOB) ve Etmen Tabanlı Benzetim (ETB) günümüz benzetim dünyasında kullanılan en popüler iki yaklaşımdır. Geniş bir literatüre sahip KOB'un aksine ETB'nin özellikle yöneylem araştırması alanında kullanımı sınırlıdır. Bunun başlıca nedeni, ETB'nin bilgisayar teknolojisi ve programlamadaki yeniliklere bağlı olarak gelişmesi ve KOB'da olduğu gibi standart, basit ve anlaşılır yöntemlerin yeterince ETB için yaygınlaşmamış olmasıdır. Bu çalışmada, ETB modellemesi için KOB dünya görüşüne sahip benzetimcilerin kullandığı basit ve anlaşılır bir yöntem olan Olay Çizgeleme (Event Graph) yönteminin yeni eklentiler ile ETB için kavramsal modelleme yöntemi olarak kullanılması önerilmektedir. Ayrıca önerilen yöntemin kolayca uygulanabileceği nesneye yönelik programlama dili kullanılarak geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir KOB yazılımı olan SharpSim tanıtılmıştır. Süreç tabanlı KOB, varlık (etmen) tabanlı olan ETB ile sentezlenerek modeldeki her bir etmen bir alt model olarak tanımlanmış, etmenlere ait olay çizgeleri oluşturulmuş, etmenlerin birbiri ve çevre ile olan ilişkileri göz önünde bulundurulmuş ve nesneye yönelik programlama imkanları kullanılarak "Kesikli Olay Etmen Tabanlı Benzetim" olarak tanımlanabilecek yeni ve melez bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Etmen Tabanlı Benzetim (ETB), Kesikli Olay Benzetimi (KOB), Olay Çizge, Olay Çizgeleme.

DISCRETE EVENT AGENT BASED SIMULATION

ABSTRACT

Discrete Event Simulation (DES) and Agent Based Simulation (ABS) are two popular simulation world-views. In Operational Research community, ABS is not much in use, unlike DES. One of the reasons for this is that DES has well established standards with strong backgrounds but ABS has not got well established techniques yet. In this paper, we demonstrate Event Graphs (EG) that is an easy and understandable method particularly useful for DES world-view modellers. We propose an extention to EG so that they can be used to create conceptual models for ABS. In addition, we introduce SharpSim that is an open source software developed by using object oriented programming language. Each agent group is defined as submodel by combining process-based DES and agent-based ABS, agent's event graphs are created, interactions both between agents and enviroment are taken in consideration and new hybrid approach that can be called "Discrete Event Agent Based Simulation" is developed by object oriented programming language.

Keywords: Agent Based Simulation (ABS), Discrete Event Simulation (DES), Event Graph (EG), Event Scheduling.

1. GİRİŞ

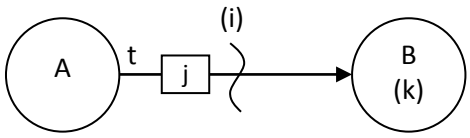
Benzetim sadece araştırmacılar için değil aynı zamanda yöneticiler için karar destek sistemlerinde yaygın olarak kullanılan etkin bir araçtır. Bu yönüyle yöneylem araştırmasında büyük öneme sahiptir. Analitik olarak çözülmesi çok zor veya imkansız, doğrusal olmayan karmaşık sistemler benzetim teknikleri kullanılarak analiz edilebilir ve sorunlara çözüm üretebilir.

Gerçek sistemlerin karmaşıklığı ve stokastikliği nedeniyle benzetimci gerçek sistemi modellerken bazı soyutlamalar ve basitleştirmeler yapmak zorundadır. Bu noktada modelci kullanacağı dünya görüşünü de seçer. En önemli üç dünya görüşü Kesikli Olay Benzetimi (KOB), Etmen Tabanlı Benzetim (ETB) ve Sistem Dinamikleri (SD)'dir. Bu çalışmada KOB ve ETB incelenmiştir.

Bilgisayar mühendisliği, sosyal bilimler ve ekonomi gibi bilim dallarında kullanıldığı şekilde ETB'nin yöneylem araştırmasında neden KOB kadar yaygın olarak kullanılmadığı günümüzde tartışılan bir konudur [1]. Bunun temel nedeni, bilgisayar ve yazılım dünyasındaki gelişmelere paralel olarak kullanımı artan ETB'nin, yöneylem araştırmacılar için KOB'da olduğu gibi kolay, anlaşılır ve standart yöntemlerinin tam anlamıyla geliştirilmemiş olmasıdır.

KOB'da kendi içerisinde farklı dünya görüşlerini barındırır. Bunlar; Olay Tabanlı, Faaliyet Tabanlı, Süreç Tabanlı ve Üç Aşamalı Yaklaşım olarak kısaca özetlenebilir. Bunlardan olay tabanlı yaklaşım için olay çizelgeleme (Event Scheduling)

en yaygın olarak kullanılanıdır. Olay çizelgeleme için en temel kavramsal model geliştirme aracı ise Olay Çizgeleme (Event Graph) yöntemidir. Olay Çizgeleme, çizge kuramına (Graph Theory) dayalı, güçlü ve kolay anlaşılır bir yöntemdir. Bu yöntem Scruben [2] tarafından tanıtılmış ve Buss [3, 4] tarafından geliştirilmiştir. Buss'a göre Şekil 1'deki temel olay çizgesi; *"A olayı gerçekleştiğinde (i) şartı sağlanıyorsa t zaman sonraya B olayı planlanır ve B olayı gerçekleştiğinde j parametresinin değeri k parametresi değerine eşitlenir"* olarak tanımlanmıştır. Olaylar düğüm (Node) ile, aralarındaki ilişkiler bağım (Arc) ile temsil edilirler.



Şekil 1. Temel Olay Çizgesi

Yaygınlığına paralel olarak KOB ile modelleme yapmak için birçok kesikli benzetim yazılımı bulunmaktadır (Micro Saint Sharp, Arena, SIMUL8, Witness, FlexSim vb). Bu yazılımların aslında çalışma mantığı birbirine çok benzerdir. Genellikle başlangıç aşamasında benzetim saati, durum değişkenleri tanımlanır ve başlangıç olayı planlanarak olay listesine eklenir. İkinci aşamada benzetim saati bir sonraki olay zamanına atlatılır, bu olay gerçekleştirilerek olay listesinden çıkarılır ve istatistikler güncellenir. Bu basamak bitiş zamanına kadar tekrarlanır ve son olarak benzetimin sonunda istatistikler toplanır. Elbette bu mantık kullanılarak bağımsız kullanıcı tarafından geliştirilen bir yazılım ile de kesikli benzetim yapılabilir. Nesneye yönelik programlama dili olan C# dili ile geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir yazılım olan SharpSim [9] de buna iyi bir örnektir ve sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Benzetimcinin, benzetimi yapılacak sistemin kavramsal modelini kurarken modelin bilgisayara nasıl uyarlanacağını da düşünmesi gerekebilir. KOB için kullanılan olay çizgeleme yöntemi kavramsal model oluşturulması ve bilgisayara uyarlanması açısından model-yazılım bağlantısını basit ve anlaşılır şekilde özetlemektedir. Fakat ETB için kavramsal model üzerinden uyarlama yapmak, olay çizgeleme yöntemindeki gibi kolay değildir. ETB için kavramsal model oluşturulurken genellikle durum grafikleri (State Charts) kullanılır. Durum grafikleri, etmenlerin sistem içinde bulunacakları durumları ve durumlar arası ilişkileri kendine özgü şekillerle gösterir. Durum grafikleri olay çizgelemeye nazaran daha karmaşıktır. Dolayısıyla kavramsal model bilgisayara uyarlanırken yeterli teknik bilgiye sahip olmayan benzetimci zorluklar yaşayabilir.

ETB'nin özellikle akademi ve endüstri alanında oldukça rağbet gören bir dünya görüşü olduğu ancak nasıl uyarlanacağının kullanıcılar tarafından bilinmediği vurgulanmaktadır [1]. Önceden de değinildiği gibi ETB'nin yöneylem araştırması

alanında KOB gibi yaygın şekilde kullanılmamasının temel nedeni bu bilinmezliktir. Bu çalışmada; ETB'nin yaygınlaştırılması kapsamında, kavramsal model ve devamında bilgisayara uyarlanması konusunda melez olarak nitelendirilebilecek bir yaklaşım geliştirilmiştir. KOB dünya görüşünü basit, güçlü ve anlaşılır bir şekilde açıklayabilen çizgeleme yönteminin ETB için de kullanılabilirliği ve bu maksatla olay çizgeleme yöntemine yapılan yeni eklentiler tanıtılmıştır. Ayrıca açık kaynak kodlu KOB yazılımı olan SharpSim ile ETB için de uygulamalar yapılabileceği gösterilmiştir.

2. KESİKLİ OLAY BENZETİMİ VE SHARPSIM

Benzetimci ne zaman KOB veya ETB kullanacağına gerçek sistemi analiz ettikten sonra karar verir. Örneğin, M/M/n kuyruk sistemlerinin çoğunun benzetimi KOB yazılımı ile kolaylıkla yapılabilir. Varlıklar kuyruğa girer, servis sağlayıcılar tarafından işlem görürler ve sistemden çıkarlar. Tamamen süreç ve olay tabanlı bir yaklaşım söz konusudur. Varlıklar kendi aralarında etkileşimde bulunmazlar ve kendi karar mekanizmalarına sahip değillerdir. Bir kuyruk sisteminde, varlıkların kendi aralarında iletişime geçip yeni gelen bir varlığın kuyruğun sonundaki varlığa ne kadar beklediğini sorduğunu ve buna göre kendi kararını verip kuyruğa girdiğini varsayarsak benzetimci için KOB yazılımı kullanmak en iyi alternatif olmayabilir. Öyle ki, böyle bir kuyruk sisteminin ETB yaklaşımı ile benzetiminin yapılmasının KOB'a nazaran oldukça kolay olduğu gösterilmiştir [7]. Dikkat edilecek olursa, KOB'da mevcut modele ait sabit olarak tanımlanabilecek yaklaşım, ETB ile esnek bir yapıya büründürülmektedir. Bu özellik ETB'nin KOB'a kıyasla üstünlüğüdür. Diğer üstünlükleri ise, sistemin doğal tanımını sağlayabilmesi ve “emergent phenomena” oluşturabilmesidir [8]. Bir sonraki bölümde KOB yazılımı olan SharpSim'in kısaca tanıtımı yapılacak ve M/M/n kuyruk sistemi kesikli benzetiminin SharpSim kullanılarak nasıl modellenebileceği anlatılcaktır.

2.1. SharpSim ve Kesikli Olay Benzetimi

SharpSim Açık Kaynak Kodlu (AKKO) olarak C# programlama dilinde yazılmış olan bir KOB kütüphanesidir. SharpSim ile olay çizgeleri kullanılarak kavramsal modeli oluşturulmuş olan herhangi bir sistem kolaylıkla modellenebilir. SharpSim; "Simulation", "Event" ve "Edge" olmak üzere 3 ana, "Entity", "Resource" ve "Stats" olmak üzere 3 de soyut sınıftan oluşmaktadır. SharpSim çoklu iş parçacığı (multi-threading) özelliğine sahiptir ve bu özellik benzetim için çok önemli bir yere sahip animasyonların kolaylıkla çalıştırılmasını sağlamaktadır.

2.1.1. “Simulation” Sınıfı

SharpSim'in en önemli sınıfıdır. Bu sınıfta bulunan olay çizgeleme algoritması ve iş parçaçıkları benzetim modelini yönetmektedirler. Replikasyon sayısı ve rassal sayı çekirdeği (Seed) bu sınıfın parametreleridir. Bu sınıfın özellikleri şu şekildedir;

- *Future Event List (FEL):* Benzetimde icra edilmesi planlanan olayların listesi tutulmaktadır. Planlanan her olay bu listeye eklenmekte ve icra edilen veya iptal edilen her olay da bu listeden çıkarılmaktadır. Olaylar, planlanan icra zamanları ve önceliklerine göre sıralanır. İlk icra edilecek olay listesinin en üstünde yani ilk sırasında bulunur. Olay çizgeleme algoritması bu listede icra edilecek olay kalmayana kadar çalışmaya devam eder.

- *Clock: Clock* değişkeni benzetim zamanını tutmaktadır. "Run" olayı ile birlikte çalışmaya başlayan saat FEL'deki bir sonraki olayın icra zamanına ilerlemektedir.

- *Events:* Bu listede benzetim sürecince çalışacak olan olaylar tutulmakta ve olaylar FEL'i beslemektedir. Ancak bir olay tetiklenmediği sürece FEL'de bulunmaz.

- *Edges:* Bu listede olaylar (düğüm) arasındaki ilişkiyi ve koşulları düzenleyen bağımlar (Edge) tutulmaktadır.

Simulation sınıfı 2 tane ana ve 2 tane de destekleyici olmak üzere 4 tane metodu bünyesinde barındırmaktadır. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- *Run:* Olay çizgeleme algoritması bu komut ile çalışmaya başlar. Bu metot iç içe geçmiş iki tane döngü ile çalışır. İlk döngüde replikasyon kontrolü, ikinci döngüde ise *FEL*'de icra edilecek olay kontrolü yapılır. İkincil döngü tamamlandığında istatistiksel bilgiler kaydedilerek müteakip replikasyona geçilir.

- *Start Simulation Thread:* Bu metot ile model çoklu iş parçacıkları ile çalışmaya başlar. Daha öncede belirtildiği gibi bu metot sayesinde animasyonlar akıcı bir şekilde çalışmaya devam etmektedir.

- *Create Events* ve *Create Edges:* Bu metotlar yardımıyla gerek model içinde gerekse Excel veya XML dosyalarından girdileri okuyarak özelliklerine göre düğümler (olaylar) ve bağımlar (olaylar arası geçişler) oluşturulur.

2.1.2. "Event" Sınıfı

Olay, durum değişimlerinin gerçekleştiği aktivitedir. Bu olaylar ve durum değişmelerine bağlı olarak arasındaki ilişkiyi düzenleyen bağımlar kümesi ise sistemi meydana getirmektedir. Olaylar *FEL*'i birinci derecede etkileyen unsur olup eğer bir sistemde aynı anda icra edilmesi planlanan olaylar olduğunda her olayın ikinci bir parametresi olan öncelik derecesi değerine bakılarak *FEL* düzenlenmekte ve benzetim akmaya devam etmektedir. Bu durum neticesinde özellikle karmaşık sistemlerde öncelik derecelerinin doğru tahsis edilmesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu sınıfın özellikleri;

- *Execution Time:* Her olayın bir icra zamanı vardır ve bu zaman genellikle benzetim esnasında değer almaktadır.

- *Parameter:* Bu özellik eğer bir bağım üzerinden parametre aktarımı söz konusu olursa kullanılmaktadır. Bir olay icra edildiğinde eğer bir parametrenin veya

parametreler topluluğunun bir sonraki olaya aktarılması bu özellik ile sağlanmaktadır. Bu özellik sayesinde varlıklar olaylar arasında aktarılmakta ve varlığa özel olarak işlem yapılması veya istatistik toplanması sağlanmaktadır.

- *Queue:* Bu özellik kuyrukta bekleyen varlıkları tutmak ve bahse konu kuyruğu belli disiplinlere göre yönetmek için kullanılmaktadır.

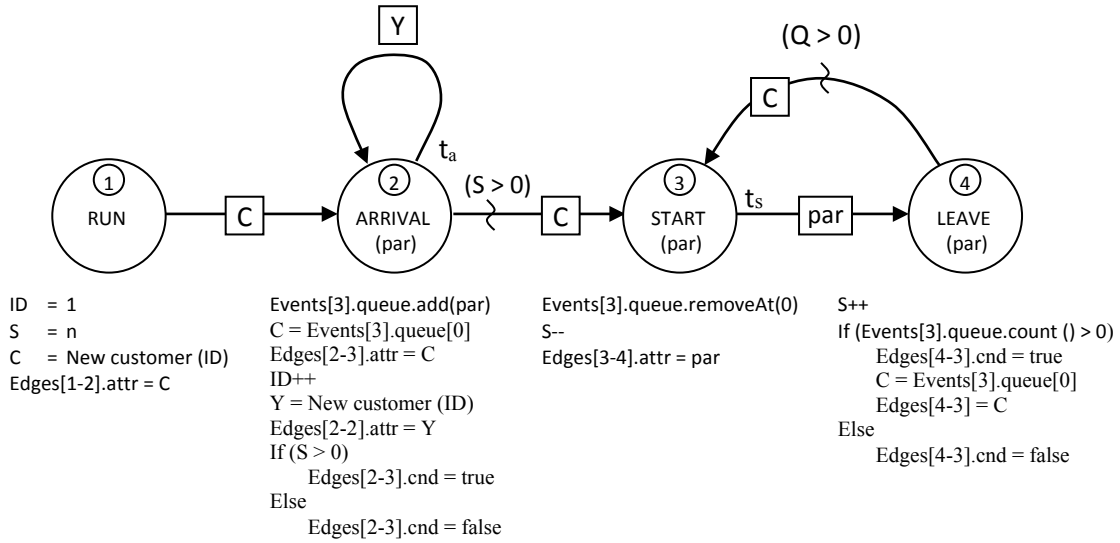
2.1.3. "Edge" Sınıfı

Bağım (Edge) iki olay arasındaki ilişkisel bağlantıyı sağlayan araçtır. Olayların çizelgelenmesine, arasındaki düğümün durumuna göre karar verilmektedir. Bu bağımlar, bir elektrik devresindeki istasyonlar arasında elektrik akımının geçmesini sağlayan kablolar gibi düşünülebilir. Buna ilaveten bir bağım bir sonraki icra edilecek olayın icra zamanını da tayin eder ve üç tane parametresi vardır. Bunlar; *bağımın adı*, (Name of edge), *kaynak olay* (Source event) ve *hedef olay* (Target event)'dır. Hedef olay, kaynak olaya aradaki bağım sayesinde abone olur ve kaynak olaydaki durum değişikliklerini dinler. Bu sınıfın üç tane özelliği vardır. Bunlar; *next event time*, *attribute* ve *condition* özellikleridir. *Next event time*, deterministik veya rassal olabilir. *Attribute* ise olaylar arasında aktarılan parametreleri tutan değişkendir. *Condition* ise hedef olayın planlama durumunu tutar.

Benzetimci varlıkları ve kaynakları *entity* ve *resource* soyut sınıflarını kullanarak oluşturabilir ve tanımlayıcı istatistik bilgileri de *stats* sınıfını kullanarak hesaplatabilir.

2.2. M/M/n Servis Sisteminin Benzetimi

Bu bölümde, olay çizgeleme metodu kullanılarak M/M/n servis sisteminin nasıl modellenebileceği anlatılmıştır. SharpSim, özellikle kavramsal modeli olay çizgeleri kullanılarak oluşturulan modeller için geliştirilmiştir ve M/M/n için olay çizgesi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. M/M/n Sistemi için olay çizgesi.

Bu sistemde 4 tane olay (düğüm) ve 6 tane bağım bulunmaktadır. Olaylar sırasıyla; benzetimin başlangıcı (RUN), müşterilerin gelişleri (ARRIVAL), servisin başlaması (START) ve servisin sona ermesi ile müşterilerin sistemden ayrılması (LEAVE) olarak modellenmektedir. Sistemdeki değişkenler ise; müşterilerin kimlik numarası (ID), uygun servis sağlayıcı sayısı (S) ve müşteri (C)'dir.

Modelde, *RUN* olayı gerçekleştiğinde *ID* değişkeni 1'e (ilk müşterinin *ID* numarası) ve *S* değişkeni *n* sayısına (sistemde *n* tane servis sağlayıcısı vardır) eşitlenir. Ayrıca ilk müşteri *C* yaratılır. *Edge [1-2]* ile *C* nesnesi bir sonraki olaya aktarılır.

ARRIVAL olayı gerçekleştiğinde ilk olarak bu olaya gelen müşteri bir sonraki olayın kuyruğuna aktarılır. Bir sonraki olayın kuyruğundaki ilk müşteri çekilerek *Edge[1-2]* ile bir sonraki olaya aktarılır. Aynı zamanda yeni müşteri *C* yaratılarak iç döngü beslenmeye devam edilir. Son olarak *ARRIVAL* ile *START* arasındaki bağımın durumu uygun servis sağlayıcısı sayısına bakılarak değiştirilir.

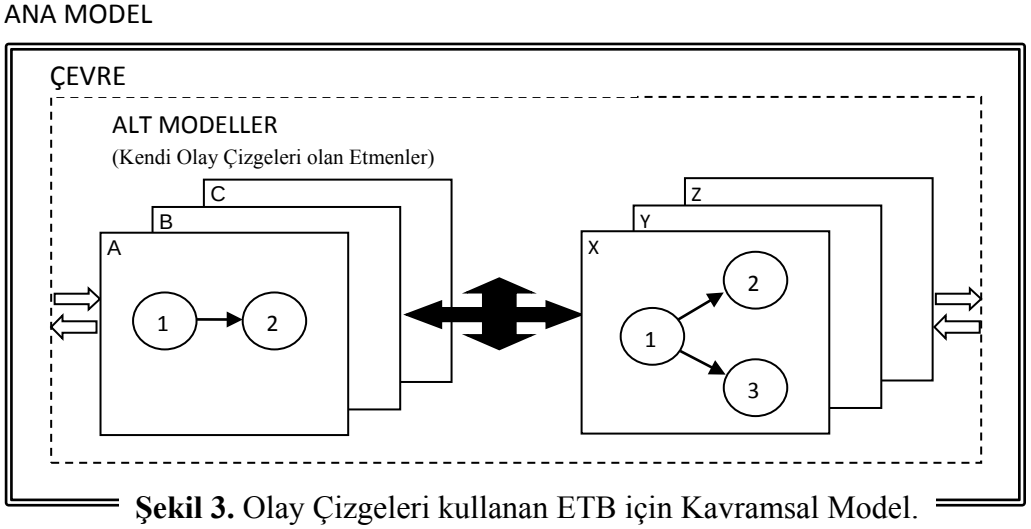
START olayı gerçekleştiğinde ise bu olayın kuyruğundaki ilk müşteri kuyruktan çıkarılır ve kendisine servis verilmeye başlanır. Uygun servis sağlayıcısı sayısı bir azaltılır ve servis verilen müşteri aradaki bağım yardımıyla *LEAVE* olayına aktarılır.

Son olay *LEAVE* olayıdır ve bu olay gerçekleştiğinde bir müşteri servisini alarak sistemden ayrılmış olup uygun servis sağlayıcı sayısı bir artırılmıştır. Uygun servis sağlayıcı sayısının artırılması ile birlikte eğer *START* olayındaki kuyruk sayısı 0'dan büyükse yani kuyrukta bekleyen müşteri varsa yeni bir *START* olayı planlanır.

3. Etmen Tabanlı Benzetim ve Olay Çizgeleme

Bu bölümde ETB'nin olay çizgeleme yöntemi kullarak nasıl modellenebileceği incelenecek ve bu kapsamda olay çizgeleme yöntemine yapılan yeni eklentiler tanıtılacaktır.

ETB için oluşturulacak kavramsal model için önerilen yöntemin genel yapısı Şekil 3'te gösterilmiştir. Ortak bir çevre içinde birbirleri ve bu çevre ile etkileşime giren etmenler alt model olarak tasarlanarak tamamında ana modeli oluşturur.

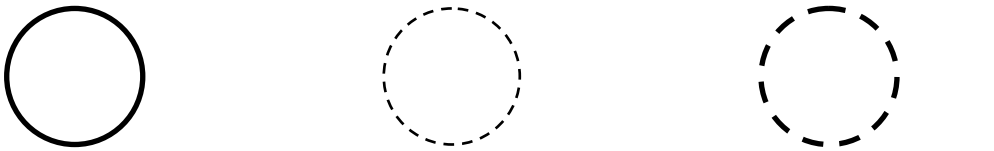


Şekil 3. Olay Çizgeleri kullanan ETB için Kavramsal Model.

Etmenler birer alt model olarak grup halinde kendi olay çizgelerine sahiptir. Tek tip etmen bulunan modeller halihazırda SharpSim kullanılarak olay çizgeleme yöntemi ile anlaşılır şekilde kavramsal olarak modellenebilir. Ancak çoklu etmen bulunan sistemler için farklı gruptaki etmenlerin birbirleriyle ilişkilerinin anlaşılır biçimde modellenebilmesi için olay çizgeleme yöntemine yeni eklentiler yapılması gerekmektedir.

Farklı grup etmenler etkileşime girerken doğal olarak neden-sonuç ilişkisi ortaya çıkar. Bir etmen tarafından gerçekleştirilen olay sonucunda diğer etmenin otomatik olarak olay gerçekleştirmesi gerekebilir. Klasik kuyruk modelinde varlık ve servis sağlayıcı ayrı etmenler olarak varsayılırsa, servis sağlayıcının işlemini bitirmesi, kuyruğun ilk sırasındaki varlık için kuyrukta beklemenin sonlandırılması olayı ve takiben hizmet almak maksadıyla sunucuya gitmesi olayını tetikler.

Birbirleriyle etkileşime giren ve neden-sonuç ilişkisi ile birbirine sıkıca bağlı olan olaylar etmenler kendi içlerinde bulunan olaylardan farklı özelliktedir. Standart olay çizgeleme yönteminde kullanılan ve etmenlerin kendi içinde bulunarak diğer grup etmenlerle etkileşime girmeyen olaylar özel (Private) olay şeklinde tanımlanırsa, etkileşime neden olan olay "etkir (alerter)" olay, etkileşim sonucunda etkilenen olarak ortaya çıkan olay "tepkir (watcher)" olay “Genel (Public)” olarak tanımlanabilir. Şekil 1'deki A ve B olayı temelinde özel olaylardır. Olaylar arasında bağıma göre çizge kuramında olduğu gibi kaynak ve hedef ayrımı yapılabilir. A olayı kaynak olay olarak bağım şartının sağlanması durumunda hedef B olayını tetiklemektedir. Bu basit mekanizma kullanılarak büyük kavramsal modeller yapmak mümkündür. Ancak, model daha fazla büyüdükçe yani olay (düğüm) sayısı fazlalaştıkça karmaşıklık ortaya çıkabilir. Bu karmaşıklığı gidermek için modeli oluşturan varlıkları gruplar halinde ve aralarındaki ilişkileri basit şekillerle göstermek amaçlanmalıdır. Bu nedenle önerilen yeni yöntemde, olayların gösterilmesi amacıyla düğümlerde yapılan yeni eklentiler Şekil 4'te gösterilmiştir.

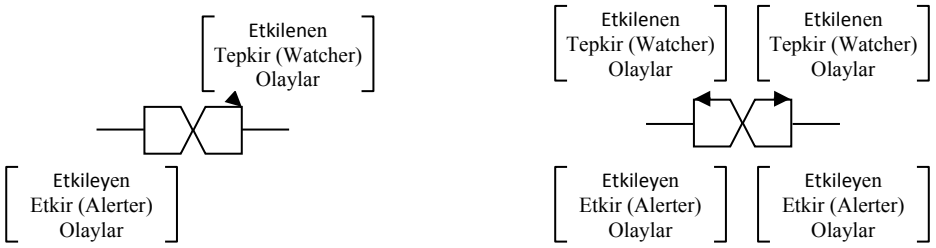


"Etkir (Alerter)" Olay | "Tepkir (Watcher)" Olay | "Etkir-Tepkir (Alerter-Watcher)" Olay

Şekil 4. "Alerter/ Watcher" Olayları için yeni olay diyagramları.

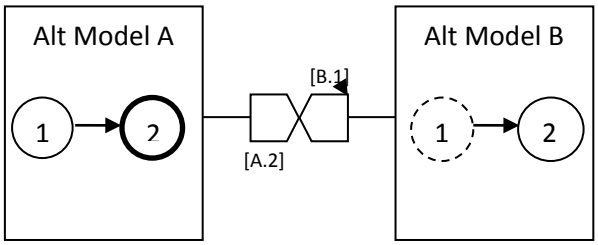
Özel olay şeklinden farklı olarak, "etkir (alerter)" olay daha kalın çizgilerle, "tepkir (watcher)" olay standart olay ile aynı kalınlıkta fakat kesikli çizgilerle, "etkir-tepkir (alerter-watcher)" olay ise hem kalın hem de kesik çizgilerle gösterilmektedir. Alt model (etmen grubu) için özel ve genel olay şekilleri tanıtıldıktan sonra etmen grupları arası ilişkiler Şekil 5'teki diyagram ile gösterilmiştir. Bu ilişki, etmen gruplarının genel

olaylarının birbirlerini gözetlemesine atıf yapılarak gözlük biçiminde temsil edilmiştir. Gözlüğün alt kısımları bağlı bulunduğu etmenin etkileyen "etkir (alerter)" olaylarını, üst kısmı ise etkilenen "tepkir (watcher)" olaylarını gösterir.

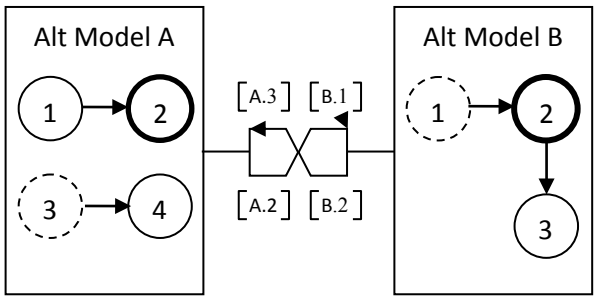


Şekil 5. a. Tek yönlü etkileşim, **b.** Çift yönlü etkileşim.

Tek yönlü etkileşim mekanizması kullanılarak çizilen şekil 6'da, A alt modelinin 2 numaralı "etkir (alerter)" olayı, B alt modelinin 1 numaralı "tepkir (watcher)" olayını tetiklemektedir. Çift yönlü mekanizma kullanılarak çizilen model de şekil 7'de olduğu gibidir. Bu modelde; ana model, alt model A'nın 1 numaralı "özel (private) olayı"nın 2 numaralı "etkir (alerter) olayı" tetiklemesi ile başlar. Sonra alt model A'nın 2 numaralı "etkir (alerter)" olayı alt model B'nin 1 numaralı "tepkir (watcher)" olayını tetikler. Bu olay, alt model B'nin 2 numaralı "etkir (alerter)" olayını tetikler. Bu noktada alt model B'nin 2 numaralı "etkir (alerter) olayı" hem aynı etmene ait 3 numaralı "özel (private) olayı", hem model A'nın 3 numaralı "tepkir (watcher) olayı"nı tetikler ve ana model olay listesine göre devam eder.



Şekil 6. Tek yönlü etkileşim uygulanmış örnek model.



Şekil 7. Çift yönlü etkileşim uygulanmış örnek model.

Böylece alt modeller özel olarak kendi içlerinde olay akışlarına devam ederken genel olaylarda birbirleriyle etkileşime geçerler. Bu sırada tüm etmenler belli kurallara istinaden sürekli çevre ile iletişim halinde olurlar.

4. SONUÇ

Basit ve anlaşılır bir yöntem olan ve KOB için kavramsal model oluşturmada kullanılan çizge yöntemi ETB için eklentiler yapılarak geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin, açık kaynak kodlu KOB yazılımı olan SharpSim'in nesneye yönelik programlama imkanları kullanılarak ETB modeller için de kullanılabileceği vurgulanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, yeni eklentiler yapılan olay çizgeleme yöntemi kullanılarak "Kesikli Olay Etmen Tabanlı Benzetim" olarak tanımlanabilecek melez bir yaklaşım önerilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] Siebers PO, Macal CM, Garnett J, Buxton D and Pidd M (2010) 'Discrete-Event Simulation is Dead, Long Live Agent-Based Simulation!', Journal of Simulation, 4(3) pp. 204-210.

[2] Schruben, L. 1983. Simulation Modeling with Event Graphs, Communications of the A CAl, 26, 957963.

[3] Schruben, L. 1995. Graphical Simulation Modeling and Analysis Using Sigma for Windows, Boyd and Fraser Publishing Company, Danvers, MA.

[4] Buss, Arnold H. 1996. “Modeling with Event Graphs”. Proceedings of the 1996 Winter Simulation Conference, J. M. Charnes, D. J. Morrice, D. T. Brunner, and J. J. Snrain, eds.

[5] Heat, B.L., and Hill, R.R., 2010. Some insights into the emergence of agent-based modelling. *Journal of Simulation*, 4, 163-169.

[6] Macal C. M. and M. J. North. 2009. “Agent-based Modeling and Simulation”. Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds., pp. 86-98.

[7] Chan, W. K. V. 2010. Foundations of simulation modeling. In Encyclopedia of operations research and management science. ed. J. J. Cochran. New York: Wiley.

[8] Bonabeau E (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. In: Proceedings of the National Academy of Science of the USA. 99:7280-7287.

[9] Ceylan A., M.M.Gunal (2011) A Methodology for Developing DES Models: Event Graphs and SharpSim. Proceedings of the 2011 European Modelling and Simulation Symposium.

ISI FİŞEKLERİNİN GÖRÜNTÜLEMELİ KIZILÖTESİ ARAMA BAŞLIKLARINA KARŞI ETKİNLİK ANALİZİ AMACIYLA GELİŞTİRİLEN BENZETİM YAZILIMI

Rağıp YURTTAŞ [(a)], Kemal LEBLEBİCİOĞLU [(b)]

[(a)] TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN, Ankara, Türkiye, ragip.yurttas@tubitak.gov.tr

[(b)] ODTÜ, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Ankara, Türkiye, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Görüntülemeli kızılötesi (IIR) arama başlığına sahip güdümlü mermiler (G/M), hava platformlarına karşı büyük tehdit oluşturmaktadır. Bu makalede hava platformlarını bu tip G/M tehditlerinden korumak için atılan Magnezyum/Teflon/Viton (MTV) ısı fişeklerinin etkinliklerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen benzetim yazılımı detaylandırılacaktır. Benzetim yazılımı; MATLAB ortamında geliştirilmiş ve Elektronik Korunma (EK) yöntemleri ile donatılmış ideal olmayan gimbale sahip IIR arama başlıklı G/M modeli, MTV ısı fişeği kızılötesi (KÖ) imza ve hareket modeli ile F-16 hava platformu KÖ imza ve dinamik – kinematik hareket modelini içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektronik Korunma, F-16 hava platformu, gimbal, görüntülemeli kızılötesi arama başlığı, güdümlü mermi, kızılötesi imza, MTV ısı fişeği

THE SIMULATOR DEVELOPED SO AS TO ANALYZE FLARE EFFECTIVENESS AGAINST IMAGING INFRARED SEEKERS

ABSTRACT

Imaging Infrared (IIR) seeker guided missiles are high threats against air platforms. In this paper, the simulator, developed so as to analyze effectiveness of MTV flares which are dispensed to protect air platforms against this type of threats, is detailed. Simulator is developed at MATLAB, which includes IIR seeker G/M with equipped with ECCM techniques and non-ideal gimbal model, MTV flare's infrared signature and kinematic motion models and infrared signature and dynamic-kinematic motion models of F-16 air platform are developed.

Keywords: Electronic Counter-Countermeasure, F-16 air platform, gimbal, guided missile, imaging infrared seeker, infrared signature, MTV flare

1. GİRİŞ

KÖ arama başlıkları tarihsel gelişimleri ve yapıları açısından görüntüleme özelliklerine göre dört nesil ile temsil edilebilmektedir. İlk iki nesil, görüntülemesiz arama başlıklarını içermektedir. Birinci nesil arama başlıkları dönü taramalı (spin-scan), ikinci nesil arama başlıkları konik taramalıdır (con-scan) [1]. Üçüncü nesil arama başlıkları yarı görüntülemeli arama başlıklarını (ör. rozet taramalı (rosette scan) sistemler) içermektedir [2]. Dördüncü nesil arama başlıkları ise odak-düzlem dizisi kullanılan, görüntülemeli arama başlıklarıdır. Görüntülemeli arama başlıkları hedef konum kestirimini görüntü işleme yöntemleri ile gerçekleştirir. Arka plan gürültüsünden ayrıştırılan hedef görüntüsü sayesinde hedef konumu yanca ve yükseliş açı bilgilerine göre belirlenmektedir.

Bu çalışmada, gelişmiş IIR arama başlıklı G/M'lere karşı uygulanacak Elektronik Taarruz (ET) mühimmatının etkinliğinin analiz edilebilmesi amacıyla benzetim yazılımı geliştirilmiştir. Bu kapsam doğrultusunda geliştirilen benzetim yazılımında; hava platformu, MTV ısı fişeği, Karşı Tedbir Atım sistemi (KTAS) ve IIR arama başlıklı G/M modellenmiştir. Modellenen hava platformu 2. bölümde, ısı fişeği modeli 3. bölümde, Karşı Tedbir Atım Sistemi 4. Bölümde ve G/M 5. bölümde detaylandırılmıştır. Son iki bölümde ise, uygulamalar ve sonuç kısımları yer almaktadır.

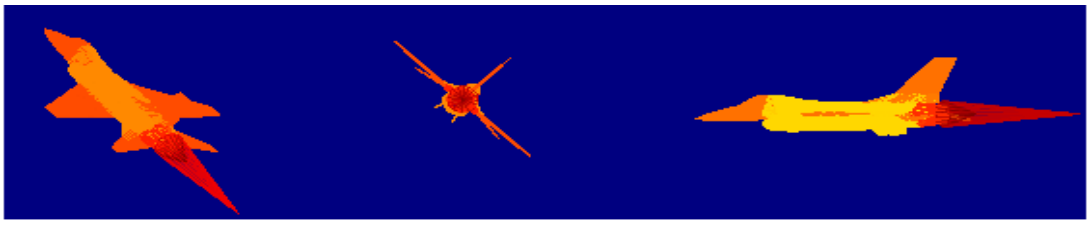
2. F-16 MODELİ

Benzetim yazılımda kullanılan F-16 modeli 3 boyutlu (3B) KÖ imza modelini ve 6 serbestlik derecesine sahip (6-DOF) F-16 modeline ait doğrusal olmayan dinamik modeli içermektedir.

2.1. 3B KÖ İmza Modeli

Benzetim yazılımında kullanılan F-16 modeli farklı sıcaklık bölgelerine sahiptir. 3B KÖ model oluşturulurken farklı sıcaklık bölgelerine farklı ışıma değerleri atanmıştır. KÖ ışıma değerleri hesaplanırken (1) numaralı Planck Denklemi kullanılmıştır. Denklemde λ μm olarak ışıma dalga boyunu ve T Kelvin olarak yüzey sıcaklığını belirtmek üzere, $L(\lambda,T)$ spektral ışıma değerini, $M(\lambda,T)$ ise spektral çıkan akı yoğunluğunu (exitance) belirtmektedir [3]. F-16 modelinin gri cisim olduğu ve modelin yansıma yapmadığı varsayılmıştır. Kirchoff Kanunu'na göre salıcılık, geçirgenlik ve yansıma katsayılarının toplamı 1 olacağından, geçirgenlik katsayısı değeri de modele eklenmiştir. Ayrıca, Lambertian yüzey varsayımı (izotropik salıcı) ile çıkan akı yoğunluğu değeri ile ışıma değeri arasındaki bağıntı kullanılarak elde edilen ışıma değerlerine göre 3B model renklendirilmiştir. Oluşan modelin farklı açılardan görünüşü Şekil 1 ile gösterilmektedir.

$$L(\lambda,T) = \frac{M(\lambda,T)}{\pi} = \frac{1}{\pi} * \frac{(3.74)* 10^4}{\lambda^5 \left(e^{\frac{14387.69}{\lambda T}} -1 \right)} \quad \frac{W}{cm^2 * \mu m * sr} \tag{1}$$



Şekil 1. Farklı açılardan F-16 3B kızılötesi imza modeli

2.2. Hareket Modeli

Benzetim yazılımında F-16 hava platformu kinematik modeli, 6-DOF doğrusal olmayan modelden oluşmaktadır. Kullanılan modelin özellikleri Çizelge 1, manevra sınırları ise Çizelge 2 ile gösterilmektedir. Oluşturulan modele kullanıcı tarafından girilen ilk değerler (yükseklik ve hız) ve kontrol parametreleri (istenen kanatçık açıları) ile F-16 hava platformu modelinin, SIMULINK ortamında manevra yapması sağlanmaktadır. [4]

Çizelge 1. F-16 hava platformu özellikleri

Özellik	Değer	Eylemsizlik Momentleri	Değer
Ağırlık	9300 kg	**Ix**	12875 kg- m^2
Kanat Genişliği	9.1 m	**Iy**	75675 kg- m^2
Kanat Alanı	91 m^2	**Iz**	85550 kg- m^2
Aerodinamik Kiriş	3.45 m	**Ixz**	1330 kg- m^2

Çizelge 2. F-16 hava platformu manevra sınırları

Özellik	Asgari Değer	Azami Değer	Hız Sınırı	Zaman Sabiti
Hücum Açısı (Angle of Attack)	-10^0	45^0	-	-
Yana Kayış Açısı (Side-Slip Angle)	-30^0	30^0	-	-
Yükseliş Dümeni (Elevator)	-25^0	25^0	60 ^{0}/s	0.0495 sn
Kanatçık Dümeni (Ailerons)	-21.5^0	21.5^0	80 ^{0}/s	0.0495 sn
İstikamet Dümeni (Rudder)	-30^0	30^0	120 ^{0}/s	0.0495 sn

Hız	0.1 Mach	0.6 Mach	-	-
İtki Kuvveti	450 kg	8600 kg	-	-

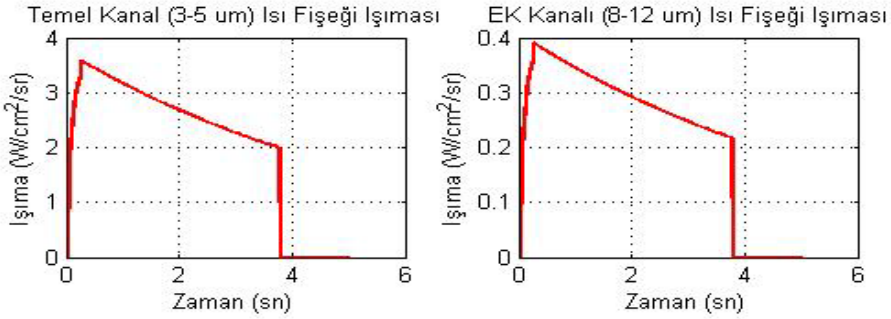
3. MTV ISI FİŞEĞİ MODELİ

Bu çalışma kapsamında modellenen MTV tipi ısı fişekleri, tek bantta KÖ ışınıma tepki veren eski tip tehditlere karşı etkin bir ET mühimmatıdır. MTV ısı fişeklerinin 3B KÖ imza modeli ve hareket modeli alt başlıklarda detaylandırılmaktadır.

3.1. 3B KÖ İmza Modeli

MTV ısı fişeği KÖ imzası için, ısı fişeğinin fırlatılması ile sönümü arasında geçen süredeki ışıma değerlerini hesaplayabilmek amacıyla bir model gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen modelin girdi parametreleri; ısı fişeği yükseliş zamanı (t_r), yükseliş zaman sabiti (τ_r), yanma zamanı (t_b), yanma zaman sabiti (τ_b), ısı fişeği sıcaklığı (T) ve ısı fişeği salıcılık katsayısı (ε_f) değerleri gerekmektedir. (1) numaralı denklem ile hesaplanan ışıma değeri (2) numaralı denklemlerde kullanılarak MTV ısı fişeğinin Şekil 2 ile gösterildiği gibi ışıma - zaman grafikleri elde edilmektedir. [5]

$$L_{flare}(t) = L_{flare} * f(t)$$
$$f(t) = 1 - e^{-t/\tau_r} \quad 0 \le t \le t_r \qquad (2)$$
$$f(t) = 1 - e^{-(t - t_r)/\tau_b} \quad t_r \le t \le t_b$$

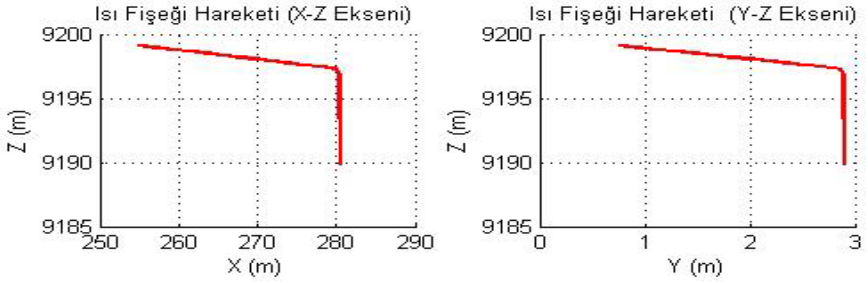


Şekil 2. MTV ısı fişeği ışıma değerleri

3.2. Hareket Modeli

Benzetimdeki, ısı fişeği hareket modeli hava sürtünmesi dikkate alınarak modellenmiştir. Atıldığı anda kendi atım hızı, atıldığı magazin yönelimi, platformun hızı ve platformun yönelim değerlerine göre modellenen ısı fişeği, atıldıktan belli bir süre sonra (20 ms) ışıma yapmaya başlamaktadır. Isı fişeği üzerine etkiyen sürtünme kuvveti (D) (3) numaralı denkleme göre hesaplanmaktadır. Denklemde ısı fişeğinin kütlesi (m_f), ivmesi (a_f), yüzey alanı (A_f), sürtünme katsayısı (C_d), hız vektörü ($\bar{v}_f$), sürati (V_f) ve hava yoğunluğu (ρ_h) bilgileri kullanılmaktadır. Isı fişeğine etkiyen toplam kuvvetin (yer çekimi ve sürtünme kuvveti) hesaplanmasından sonra ısı fişeğinin hareket bilgileri Şekil 3 ile gösterildiği gibi elde edilebilmektedir. [6]

$$D = m_f \,.\, a_f = -\frac{1}{2} * A_f * \rho_h * C_d * \bar{v}_f * V_f \qquad (3)$$



Şekil 3. MTV ısı fişeği hareket değerleri

4. KARŞI TEDBİR ATIM SİSTEMİ (KTAS)

KTAS kullanılacak ısı fişeklerinin tipini, sayısını, atılacağı magazin değerlerini belirleyen atım programlarının uygulanmasını sağlayan sistemdir. Bu çalışma kapsamında MTV ısı fişeği tipi kullanılmaktadır. Atılacak ısı fişeği sayısını ve atım zamanlarını benzetim koşturulmadan önce hazırlanan atım programları ile belirlenmektedir. Kullanıcı salvo sayısı, salvo aralığı, her salvodaki atım sayısı, atım aralığı, başlama gecikmesi ve eş zamanlı atım durumu bilgilerini girerek atım programı oluşturabilmektedir. Isı fişeğinin hangi magazinden atılacağı bilgisi için iki farklı seçim söz konusudur. Kullanıcı atılacak ısı fişeklerinin platform üzerinde yer alan magazinlerin hangisinden atılacağını seçebileceği gibi, Elektronik Destek (ED) sistemlerinden gelen bilgi dâhilinde tehdide en yakın ve en uygun magazinden ısı fişeği atımının otomatik olarak yapılmasını da seçebilir. Bu çalışmada platform üzerinde dört adet magazin yer almaktadır. Bu magazinlerin platform koordinat sistemine göre yerleşim ve yönelim bilgileri farklılık göstermektedir. Bu bilgiler Çizelge 3 ile gösterilmektedir.

Çizelge 3. Platformda bulunan magazin bilgileri

Magazin İsmi ve Numarası	Platform Ağırlık Merkezine Göre Konum (m)			Platforma Göre Yönelim (derece)		Fırlatılan Mühimmat Boyutları (mm)
	X	*Y*	*Z*	*Yanca*	*Yükseliş*	
S0 (Sol Ön)	+5	-0.75	-0.5	-45	-30	25X25X200
S1 (Sol Arka)	-4.75	-0.75	-0.5	-135	-30	25X25X200
S2 (Sağ Arka)	-4.75	+0.75	-0.5	135	-30	25X25X200
S3 (Sağ Ön)	+5	+0.75	-0.5	45	-30	25X25X200

5. GÜDÜMLÜ MERMİ MODELİ

IIR arama başlıklı satıhtan havaya atılan KÖ G/M'ler hedefin yer aldığı ve G/M'nin görüş alanı (FOV) içerisinde kalan sahneden KÖ görüntüler alıp, bu görüntüleri işleyerek hedef konum verilerini yanca ve yükseliş açısı olarak kestirmektedir. Bu tip tehditler sahnedeki ET mühimmatlarını algılayabildiği gibi bunlara karşı EK algoritmaları da gerçekleştirmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen G/M modelinde, çift bant çalışan detektörlü arama başlığı, ideal olmayan gimbal ve G/M'nin ET mühimmatlarına karşı etkinliğini artırmak amacıyla geliştirilen EK modelleri yer almaktadır.

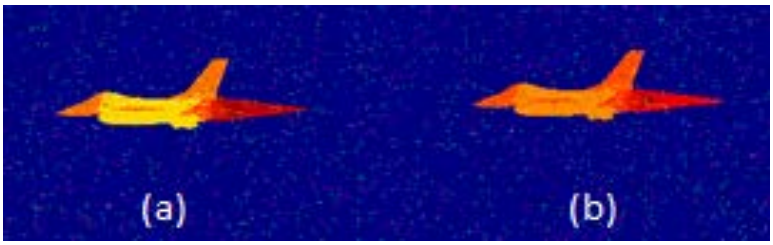
5.1. Arama Başlığı Modeli

IIR G/M'nin en önemli kısmını oluşturan arama başlıkları, FOV içerisinde kalan sahneden aldıkları KÖ görüntüleri işlerler. Uyarlamalı olarak belirlenen eşik seviyeleri (alan ve ışıma eşik seviyeleri) değerlerine göre arka plan gürültüsünden ayrıştırılan hedef adaylarına ait konum, alan, çift bant (Temel Kanal:3-5 µm orta dalga KÖ bant (MWIR) ve EK Kanalı: 8-12 µm uzun dalga KÖ bant (LWIR)) ışıma değerleri çıkarılır. Sahne üzerindeki hedef adayları elde edilen bilgilere göre analiz edilerek kimlikleri hedef ya da ısı fişeği olarak tespit edilmektedir. Bu tespitin yapıldığı kısım EK modeli olarak tanımlanmaktadır. Sahne üzerinde hedef olduğu tespit edildiğinde G/M bu hedefe doğru yönelmektedir. Bu yönelimi de gerçekleştiren gimbal modelidir.

5.2. EK Modeli

Tasarlanan G/M'de EK olarak kinematik, spektral ve alan kontrolü yapılmaktadır. Kinematik EK'de, sahne üzerinde yer alan hedef adaylarının konum kestirimi Kalman Süzgeç kullanılarak yapılmaktadır. Hedef adayının bir sonraki adımda hala hedef olarak tanımlanabilmesi için bu kestirim ile oluşturulan pencerenin içerisinde kalması gerekmektedir. Aynı şekilde hedef adayının G/M detektöründe oluşturduğu alan da belli sınır içerisinde bir sonraki adımda korunmalıdır. Spektral EK'de ise, Şekil 4 ile gösterildiği gibi G/M çift bant özelliğine sahiptir. Bu bantlarda oluşan ışıma değerleri oranları *"M(3-5µm) / M(8-12 µm) > 1.5"* şartını sağlarsa sahnede hedef adayı var

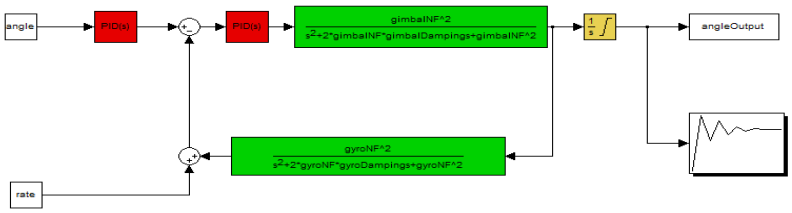
demektir [7]. Sahnedeki her hedef adayı için üç EK yöntemi de kontrol edilmektedir. Önem değerine göre ağırlıklandırılan EK yöntemlerinin tetiklenme durumuna göre hedef adayları hedef ve ET mühimmatı olarak ayrıştırılmaktadır.



Şekil 4. Çift bant görüntü a)Temel Kanal (3-5 µm) b)EK Kanalı (8-12 µm)

5.3. Gimbal Modeli

Arama başlıklarında kullanılan detektörlerin görüş alanı (FOV) oldukça dardır. Bu görüş alanını artırmak ve hedefin manevra kabiliyetlerine cevap verebilmek için gimbal tasarlanmıştır. Gimbal arama başlığını hedefe doğru yöneltmek üzere tasarlanmıştır. Gimbalin sınır açı değerlerinin yüksek olması nedeniyle hedefin G/M kilidini kolaylıkla kırması engellenmiş olur. Fakat yönelimi servolar tarafından gerçekleştirilen gimbal, ideal olmadıkça arama başlığının komuta ettiği açı değerlerine aniden ulaşması zordur. Bu yüzden bu çalışmada hem ideal gimbal modeli hem de ikinci dereceden transfer fonksiyonu ile tasarlanan gimbal modeli yer almaktadır [8]. Şekil 5'de gösterilen ideal olmayan gimbalin, platformun açısal hızından etkilenmeyecek şekilde istenen açı değerlerine dönüölçer yardımıyla yönelmesi sağlanmaktadır. PID kontrollerdeki integral, türev ve oransal kazanç değerleri SIMULINK Optimization Toolbox yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 5. Gimbal modeli

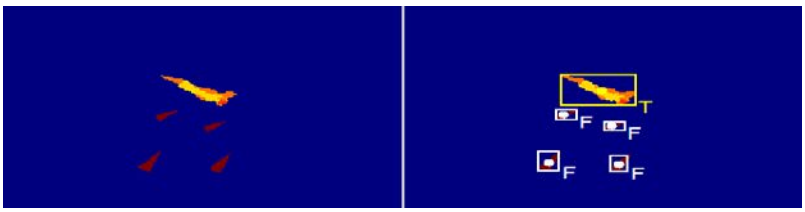
6. UYGULAMALAR

Benzetim yazılımında koşturulan sentetik senaryolar 10 ms adım aralıklarında olup 5 sn sürmektedir. Senaryolarda kullanılan hava platformunun başlangıç hızı 200 m/sn, konumu (500, 0, 1000) metre olarak alınmıştır. MTV ısı fişeği sürtünme katsayısı 1.14, yanma zamanı 3,5 sn, yanma zamanı sabiti 6 sn, yükseliş zamanı 0,2 sn, yükseliş zaman sabiti 0,1 sn ve sıcaklığı 1800 K olarak alınmıştır. G/M'ye ait önemli parametreler ve başlangıç değerleri Çizelge 4 ile gösterilmektedir. Aşağıda koşturulan senaryolardan bazıları örnek olarak gösterilmektedir.

Çizelge 4. G/M'ye ait başlangıç ve parametre değerleri

G/M'ye Ait Başlangıç ve Parametre Değerleri	Değer	G/M'ye Ait Başlangıç ve Parametre Değerleri	Değer
Yönelim (yalpa, yunuslama ve yuvarlanma)	(0, 0, 0) derece	**Alan Eşik Seviyesi**	20 piksel (256X256)
Konum (satıhtan)	(0, 0, 0) m	**Takip Penceresi Eşik Seviyesi**	7^0/sn
Çerçeve Hızı (Görüntü Alma Hızı)	30 Hz	**Gimbal Sınırları**	$\pm 45^0$
FOV (Görüş Alanı)	6^0	**Gimbal Dönme Hızı**	320 Hz
Detektör	256X256 piksel	**Dönüölçer Dönme Hızı**	620 Hz
Spektral EK Eşik Seviyesi	1.5		

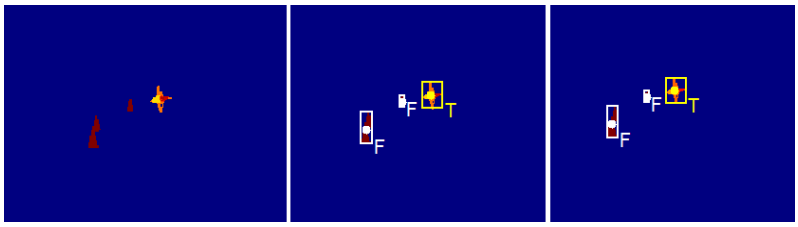
Çizelge 2'de belirtilen sınırlar içinde kalacak şekilde manevra yapan ve ilk yönelim değeri [90, 0, 0] olarak ayarlanan hava platformundan [50 70 1070 1090] ms zamanlarında S0 ve S1 (Çizelge 3) magazinlerden 4 adet MTV ısı fişeği fırlatılmıştır. Isı fişekleri arama başlığı tarafından Şekil 6'da gösterildiği gibi ayırt edilmiş (Arama başlığının kararı sonucunda ısı fişekleri 'F' harfi, hedef 'T' harfi ile gösterilmiştir.) ve ideal olarak modellenen G/M gimbali hava platformuna yönelmiştir.



Şekil 6. Örnek senaryo – I

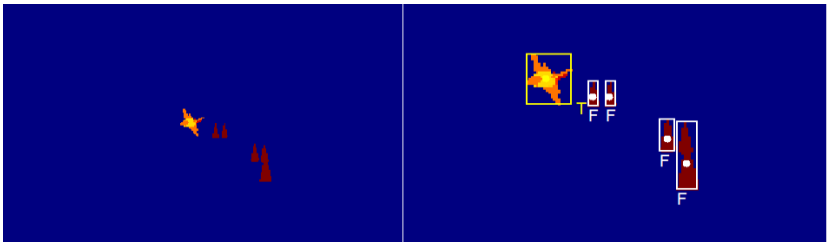
Isı fişeklerinin ED sistemi sayesinde otomatik olarak fırlatıldığı senaryo Şekil 7 (3-5 µm ve 8 -12 µm bantlarındaki görüntüler) ile gösterilmektedir. Hava platformu manevra yapmakta olup [0, 0, 30] başlangıç yönelim değerlerine sahiptir. Şekilde fırlatılan 3 adet ısı fişeğinden ilk ikisi iç içe geçerek tek bir ısı fişeği gibi görünüp sahne üzerindeki ısı

fişeği alanını arttırmışlardır. Fakat spektral EK'yi tetiklemekten kurtulamadıkları için ısı fişeği oldukları anlaşılmıştır. İdeal olmadan modellenen G/M gimbali bu senaryoda da hedefe kilitlenmiş ve ısı fişekleri G/M'nin kilidini kıramamışlardır.



Şekil 7. Örnek senaryo – II

Şekil 8'deki senaryoda hava platformu manevra yapmakta ve [180, 0, 0] başlangıç yönelimiyle hareket etmektedir. Fırlatılan 5 adet ısı fişeği S2 ve S3 magazinlerinden [1550 1570 2070 2090 2590] ms zamanlarında fırlatılmıştır. Fakat G/M gimbali ideal olarak modellenmemesine rağmen, atılan MTV ısı fişekleri G/M'nin takibini kıramamıştır.



Şekil 8. Örnek Senaryo – III

Gösterilen örnek senaryoların hepsinde arama başlığı hedef - ET mühimmatı ayrımını yapabilmiştir. Hedefin manevra yapmasına rağmen, G/M hedefe kitlenmiştir. Böylece G/M'nin takip kilidi kırılamamıştır.

7. SONUÇ

MTV ısı fişeklerinin IIR KÖ arama başlıklı G/M'lere karşı etkinliğini analiz etmek amacıyla tasarlanan benzetim yazılımında birden çok sentetik senaryo koşturulmuştur. Koşturulan tüm senaryolarda G/M sahnede yer alan ısı fişeği – hedef ayrımını yapabilmiş ve hedefi takip ederek hedefe doğru yönelmiştir. Sonuç olarak, modellenen benzetim yazılımında koşturulan sentetik senaryolar sonucunda MTV ısı fişeğinin IIR arama başlıklı G/M'lere karşı etkin bir ET mühimmatı olmadığı anlaşılmaktadır. MTV ısı fişekleri yüksek sıcaklıkta yanmasından dolayı G/M'nin spektral EK'sini, dar alanda ışıma yapmasından dolayı alan EK'sini tetiklemektedir. Hava platformu birden çok MTV ısı fişeği fırlatıp, kaçış manevrası yapsa dahi arama başlığının FOV'u içerisinde kalmıştır.

IIR arama başlıklı G/M'lere karşın etkin bir ET mühimmatı olmadığı anlaşılan MTV ısı fişeklerinin yerine, hava platformunun hareketini taklit eden kinematik ısı fişekleri ve/veya hava platformunun KÖ imzasını taklit eden spektral ısı fişekleri ve/veya atıldıktan sonra kapladığı alan bakımından giderek büyüyen ısı fişeği fırlatılmalıdır. Isı fişeklerinin fırlatılmasından sonra hava platformu doğru zamanda yapacağı etkin kaçış manevrası sayesinde G/M'nin kilidini kıracağı düşünülmektedir.

8. KAYNAKÇA

[1] Jahng, S. G., Hong, H. K., Choi, J. S., Han, S. H., "Reticles-Nutating Systems", Encyclopedia of Optical Engineering, 2417 – 2430, 2003.

[2] Özkazanç Y. ve Avşar S., " Kızılötesi Arayıcıların Karıştırılması", *IEEE*, 2004.

[3] Accetta J. S., Shumaker D. L., "Source of Radiation", The Infrared and Electro-Optical System Handbook, 1993.

[4] Huo Y., "Model of F-16 Fighter Aircraft Equation of Motion", *Dept. Of electrical Engineering-Systems University of Southern California Los Angeles*, CA 90007.

[5] Baqar S., "Low-Cost PC-Based High-Fidelity Infrared Signature Modelling and Simulation", Cranfield University, 2007.

[6] Sadraey M., "Aircraft Performance Analysis", VDM VerlagDr. Müller, 2009.

[7] Viau C.R., "Expendable Countermeasure Effectiveness against Imaging Infrared Guided Threats", Tactical Technologies Inc. 356 Woodroffe Ave., Ottawa, ON Canada.

[8] Özcan A. E., "Autopilot and Guidance for Anti-Tank Imaging Infrared Guided Missiles", Middle East Technical University, 2008.

MICROSOFT KINECT TABANLI GERÇEK-ZAMANLI EL HAREKETLERİ İLE BAĞIMSIZ ROBOTLARIN KONTROL EDİLMESİ VE ROBOT HAREKETLERİNİN PLANLANMASI

Alperen Eroğlu [(a)], Selim Temizer [(b)]

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ve
ODTÜ - TSK Modsimmer Merkezi, Mobility Araştırma Laboratuvarı,
Çankaya, 06800, Ankara, Türkiye

[(a)] alperen@ceng.metu.edu.tr
[(b)] temizer@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Hareketli robotların görüntü algılayıcı arayüzler aracılığı ile doğal bir şekilde yönlendirilebilmesi, mevcut robotbilim araştırma faaliyetlerinde önemli bir yere sahiptir. Bu uygulamalarda temelde üç adet çözülmesi gereken sorun mevcuttur: Bunlardan ilki, insan-robot etkileşiminin sağlanması ve mümkün olabildiği kadar doğal olması, ikincisi gerçek-zamanlı el hareketlerinin tanımlanması ve üçüncüsü ise robot hareketinin kontrolü ve planlanmasıdır. Bu çalışmada insan-robot etkileşiminin doğal yollardan sağlanabilmesi için Kinect görüntü algılayıcısı (Microsoft® Kinect™ XBOX 360) kullanılmıştır ve kablosuz haberleşme yöntemi seçilmiştir. Görüntü algılayıcısından alınan bilgiler bilgisayarda işlendikten sonra robota Arduino ve RF birimi bağlantısı kullanılarak aktarılmıştır. Görüntü algılayıcısı kullanılırken seçilen OpenNI ve NITE yazılım altyapıları sayesinde ise el hareketlerinin kolayca tanımlanması ve tanınması sağlanılmıştır. Üçüncü sorunun çözümünde ise; robotun hareketini sağlayacak "sola git", "sağa git", "ileri git" ve "konumunu kaydet" şeklindeki komutlar bir işaret dili olarak tanımlanmıştır. Robotun iki aşamalı bir görevi bulunmaktadır. İlk aşamada robot, başlangıç konumunu kaydettikten sonra bir operatör tarafından el hareketlerinden oluşan işaret dili aracılığı ile serbest olarak yönlendirilmektedir. İlk aşama, operatörün robota hedef konumunu kaydetme komutu vermesi ile sonlanmaktadır. İkinci aşamada ise robot, kaydedilmiş olan başlangıç ve hedef konumları arasında bağımsız olarak gezinmektedir. Her iki aşama boyunca robot karşısına çıkan engellere çarpmadan görevini icra edebilmektedir. Bu uygulamada Piooner P3-DX model bir araştırma robotu kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bağımsız robot hareketi, el hareketlerinin tanınması, engellerden kaçma, görüntü algılama, insan-robot etkileşimi, Kinect, NITE, OpenNI

CONTROL AND MOTION PLANNING FOR MOBILE ROBOTS WITH MICROSOFT KINECT-BASED REAL-TIME HAND GESTURES

ABSTRACT

Mobile robot control using sensory vision is receiving considerably more attention in current robotics research. To this end, there are mainly three kinds of problems to tackle: The first one is to set up human-robot interaction which should be as natural as possible, the second one is to recognize real-time hand gestures, and the last one is to control and plan the motion of the mobile robot. In this study, a Microsoft® Kinect™ XBOX 360 device is used as the visual sensor and the human operator commands are transferred wirelessly to the robot in order to set up a natural human-robot interaction scheme. Data received from the visual sensor is first processed on a PC, and then transmitted to the robot using an Arduino board and attached RF modules. Hand gestures are defined off-line and detected in real time using the OpenNI and NITE software frameworks. In order to tackle the third problem, namely the motion control and planning, a simple sign language consisting of the commands "go left", "go right", "go forward" and "save current position" has been defined. The task scenario contains two operational modes/states for the robot: In the initial mode the robot first saves its start position and it is then controlled freely by the human operator using the defined sign language. The robot switches to the second operational mode as soon as the operator commands the robot to save its final position. In the second mode, the robot continuously and autonomously shuttles between the saved start and final positions. In both operational modes, the robot is capable of autonomously avoiding any obstacles while performing its task. A Pioneer P3-DX model research robot is used to demonstrate the feasibility of the proposed system in this study.

Keywords: Autonomous robot motion, human-robot interaction, Kinect, NITE, obstacle avoidance, OpenNI, recognition of hand gestures, visual sensing

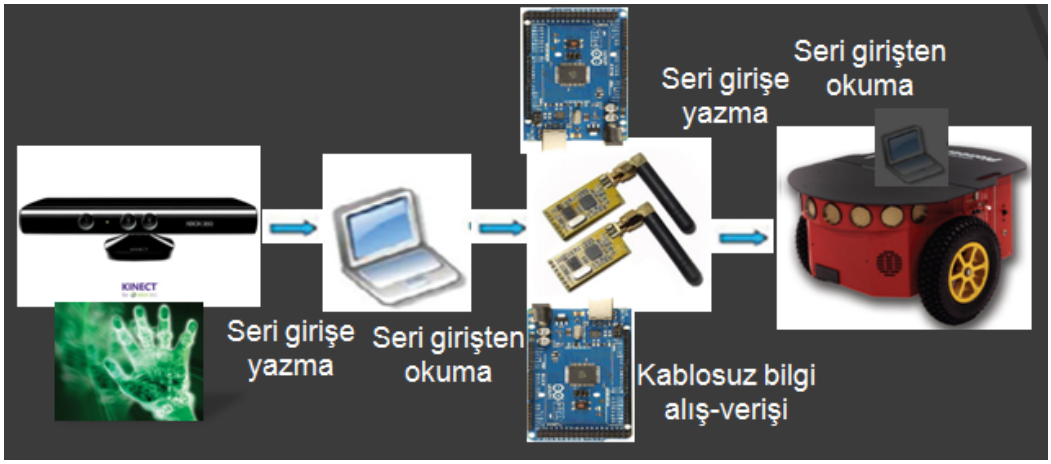
1. GİRİŞ

İnsanlar birbirleri ile iletişim kurarken sıklıkla mimikleri ve beden dilini tercih ederler. Son zamanlarda ve günümüzde insan-insan arası iletişim gibi insan-robot arası iletişim ihtiyacı da ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaç ile birlikte insan-robot arası iletişimin de tıpkı insanlarınki gibi doğal ve kolay olması gerekliliği ortaya çıkmıştır [1]. Yani insanlar robotlar ile iletişim kurarken tıpkı kendi aralarındaki gibi beden hareketlerini ve mimikleri kullanabilmeli ve onları doğal bir biçimde kontrol edebilmelidirler.

Son yapılan araştırmalarda insan-robot etkileşimi için genellikle iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır [1]. Bunlardan birisi veri eldiveni tabanlı uygulamalar, diğeri ise görüntü tabanlı uygulamalardır. Birinci yaklaşımda operatör ya da kullanıcı bir eldiven giymek zorunda kalmakta ve ortamda doğal iletişimi etkileyecek kablolar bulunmaktadır. Bu uygulama doğal iletişim için tam olarak uygun görünmemektedir [2]. İkinci uygulamada ise bir kamera sistemi ve görüntü işleme teknikleri kullanılmakta ve birinci yönteme göre doğal iletişim için çok daha uygun bir ortam sağlamaktadır [1,2]. Bu yöntemde genellikle zor olarak görülen kısım görüntü işleme tekniklerinin kullanılmasıdır. Bu çalışmada ikinci yöntem olan görüntü tabanlı kontrol metodu temel alınmıştır. Ayrıca Kinect görüntü algılayıcının kullanılması ve seçilen yazılım altyapısı sayesinde, zor olan bu kısım kolaylaştırılmış olmaktadır [1,3,4,5,6].

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda genellikle görüntü algılayıcısı kullanılarak yeni ve farklı el hareketlerinin daha verimli ve farklı görüntü işleme teknikleri ile tanımlanması üzerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada ise hem el hareketlerinin tanımlanmasına ve hem de el hareketlerinin robot hareketlerini planlama ve kontrol etme aşamalarına odaklanılmıştır. Bu çalışma aynı zamanda el hareketlerinin insan-robot etkileşiminde ne kadar önemli olduğunu ve nasıl kolay bir şekilde uygulanabileceğini de örnekler ile göstermektedir.

2. SİSTEM VE SİSTEM BİLEŞENLERİ

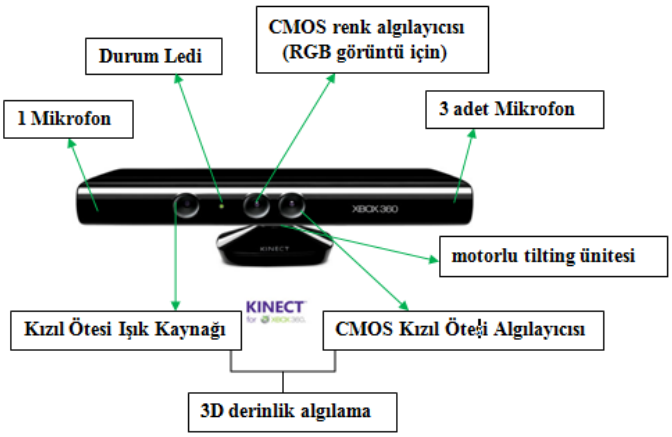


Şekil 1. Sistem ana bileşenleri

2.1. Donanım

Bu çalışma kapsamında kullanılan temel donanım birimleri, Microsoft Kinect görüntü algılayıcısı, Pioneer P3-DX model bir araştırma robotu ve Arduino tabanlı bir kablosuz iletişim altyapısından oluşmaktadır. **Şekil 1**'de sistemin ana yapısı görülmektedir.

2.1.1. Microsoft Kinect Görüntü Algılayıcısı



Şekil 2. Microsoft Kinect XBOX 360

Kinect, bir RGB kamera ve gerçek-zamanlı üç boyutlu konumsal veri çıkışı sağlayan bir kızılötesi ışık kaynağı kullanan derinlik algılayıcısı içerir. Kinect verileri, saniyede 30 kare (frames per second; fps) hızında iki adet 640×480 piksellik görüntü akışı olarak düzenlenmiştir. Bunlardan biri, 24-bit çözünürlükte bir RGB video görüntüsüdür, diğeri ise her piksel için <*x*,*y*,*z*> koordinatlarının hesaplanmasına imkan veren 11-bit çözünürlükte bir derinlik haritasıdır [7]. **Şekil 2**'de Kinect'in yapısı görülmektedir.

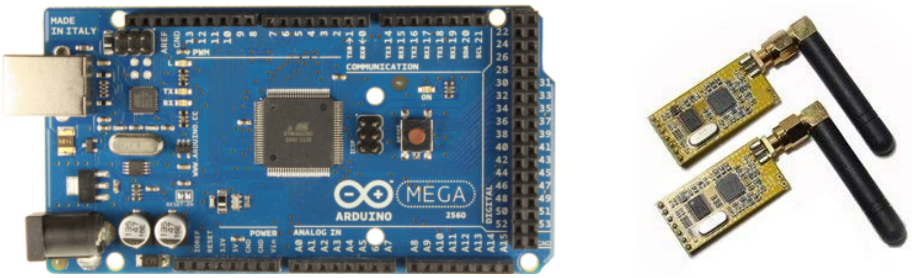
2.1.2. Pioneer P3-DX

Şekil 3. Pioneer P3-DX araştırma robotu

Şekil 3'te görülen Pioneer P3-DX, yaygın kullanılan popüler bir mobil araştırma robotudur. Pioneer'ın çok yönlülüğü, güvenilirliği ve dayanıklılığı, ona robotbilim araştırmalarında referans platform olma özelliği kazandırmıştır. Pioneer tamamen programlanabilen bir yapıya sahiptir ve laboratuvar koşullarında üzerinde uzun sürebilen deneyler ve araştırmalar yapılabilecek kapasitedir. 8 adet ön tarafta ve 8 adet de arka tarafta olmak üzere toplam 16 adet sonar algılayıcısı mevcuttur. Söz konusu robot 500-tick kodlayıcılara, 19 cm çapında aluminyum gövdeye sahip tekerleklere ve çalışırken değişirilebilir (hot-swappable) 3 adet batarya seçeneğine sahiptir. Robot tam anlamıyla gömülü sistemler ve bunların yazılım altyapıları ile kontrol edilebilir durumdadır. Pioneer robot saniyede 1.6 metre hıza ulaşabilmekte ve 23 kg ağırlığa

kadar faydalı yük taşıyabilmektedir. Robotun gömülü hareket denetleyicisi robotun hız kontrolünü yapmakta ve aynı zamanda da robota bulunduğu konumu (x koordinatı, y koordinatı ve yönelim açısı), bataryaların şarj bilgisini ve sonar algılayıcıların ölçebildiği mesafe bilgilerini içeren ve genel olarak durum ve kontrol bilgisi olarak adlandırılan bilgiyi sağlamaktadır. Pioneer robot ya bir dahili bilgisayar ya da bir dizüstü bilgisayar ile yazılım altyapısı kullanılarak yönetilebilir.

2.1.3. Arduino Mega 2560 ve RF Modüller



Şekil 4. Arduino Mega 2560 ve UAN480S RF modülleri

Arduino Mega 2560, ATmega2560 tabanlı bir Arduino kartıdır. 54 sayısal I/O pini vardır. Bunların 14 tanesi PWM (pulse width modulation) çıkışı olarak kullanılabilir. 16 analog girişi, 4 UART (serial port), 16 MHz kristal osilatörü, USB bağlantısı, adaptör girişi, ICSP çıkışı ve bir reset butonu vardır [8].

Bu uygulamda toplamda iki adet Arduino Mega 2560 kullanılmıştır. Bu iki sistem arasında kablosuz iletişim sağlayabilmek için ise UAN480S model iki adet kablosuz RF alıcı/verici modülü kullanılmıştır. Arduino ve RF modüller **Şekil 4**'te görülmektedir.

Arduino ve RF Modülleri ile Kablosuz Seri İletişim

Arduino üzerinde, benzeri birçok mikrodenetleyici üzerinde olduğu gibi seri iletişim birimleri bulunmaktadır. Bu birimler vasıtasıyla seri iletişim yürütülür. Bu birimlere **UART/USART** adı verilir.

Seri iletişimde standart bir veri formatı kullanılmaktadır. Bu formatta veriler bayt adı verilen birimler halinde iletilir. Her bir bayt için en fazla 1 bitten oluşan birer başlangıç ve bitiş bilgisi de iletilmesi gerekir. Örneğin 8 bitten oluşan bir baytlık veriyi iletmek için, seçilen parametrelere göre, 10 bit uzunluğunda bir paket gönderilmesi gerekebilir.

Arduino için mevcut olan yazılım geliştirme kiti içerisinde seri iletişimi sağlamak için hazır bir kütüphane bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen Arduino yazılımında bu hazır kütüphaneden faydalanılmıştır. Seri haberleşme formatında oluşturulan veri paketleri, RF modüller tarafından kablosuz bir şekilde bir Arduino modülünden diğer Arduino modülüne aktarılmaktadır.

2.2 Yazılım

OpenNI organizasyonu, kar amacı gütmeyen açık kaynak kodlu bir yazılım altyapısı sağlamaktadır. Bu organizasyona katkı sağlayanlar arasında PrimeSense, Kinect donanım geliştiricileri ve kişisel robotbilim için açık kaynak kod ve donanım geliştiren Willow Garage bulunmaktadır. ***OpenNI*** doğal etkileşim aygıtlarının, uygulamaların ve yazılım ara katmanlarının birlikte çalışılabilirliliği ve uyumluluğu için çalışmalar yapmaktadır. OpenNI yazılım altyapısı Kinect algılayıcısından sağlanan bilgilere ulaşmak ve bu bilgileri işlemek açısından çok zengin bir fonksiyon kümesi sağlamakta ve programlama dili olarak da C++, C# ve Java'nın kullanımına izin vermektedir [9].

OpenNI kullanmak için önemli nedenlerden birisi de ara katman (middleware) desteği sunmasıdır. Bu kategoride yer alan ***NITE*** kütüphanesi, farklı el hareketlerini, el konumunun zamanla nasıl değiştiği bilgisini kullanarak anlayabilmektedir. NITE itme, kaydırma, hareketsiz el, dalga ve el ile çember çizme gibi farklı durumları el hareketleri olarak tanıyabilmekte ve bu bilgilerin üzerine inşa edilebilecek yazılımlar oluşturulabilmesini sağlayabilmektedir [10].

Processing dili ve ortamı, resim, animasyon ve çeşitli etkileşimler oluşturmak isteyenler için açık kaynak olmak üzere bir programlama dili olarak ve yazılım ortamı olarak kullanılabilmektedir. Bu uygulamada Processing, Arduino ve Kinect aygıtlarının yazılım ortamı olarak kullanılmıştır. Processing yazılım ortamı temelde Java tabanlıdır ve yazılım yapabilmek için çok kolay bir ortam sağlamaktadır.

Mikrodenetleyici Arduinolar için programlama dili olarak Wiring tabanlı ***Arduino*** programlama dili ve yazılım ortamı olarak ise Processing kullanılmıştır.

İki Arduino ve RF bağlantısının kablosuz veri transferi sonucunda elde edilen bilgiler robotun üzerinde bulunan bilgisayara C++ dilinde hazırlanmış olan bir seri port okuma yazılımı modülü kullanılarak iletilmektedir.

Pioneer P3-DX robotu için yazılım geliştirmek amacıyla kullanılabilecek yazılım altyapısında birçok kütüphane ve program desteği mevcuttur. Bu çalışma sürecinde kullanılan başlıca kütüphane ve programlar şunlardır [11]:

1- ***ARIA***: Robotun kontrolünü sağlayabilecek ve sensörlerden gelen bilgileri işleyebilecek bir altyapı sağlamaktadır. Bünyesinde ağ-yuvaları desteğinden, istemci-sunucu programlamaya kadar birçok farklı yazılım desteği mevcuttur. Ayrıca robotun yapabilecekleri ile ilgili örnek yazılımlar da içermektedir.

2- ***MobileSim***: Robotu fiziksel olarak kullanmak yerine, geliştirilmiş olan robot yazılımlarının kolayca ve güvenli bir şekilde bilgisayar ortamında gerçeğine uygun

olarak hazırlanmış bir simülasyon ortamında çalıştırılmasını ve test edilmesini sağlayan bir yazılımdır.

3. DENEYSEL DEĞERLENDİRME

Pioneer P3-DX robotunun el hareketleri ile kontrolü süresi boyunca robota “sağa git”, “sola git”, “düz git” ve “bulunduğun konumu kaydet” şeklinde olmak üzere komutlar verilmiştir. Bu komutlar, sırası ile "R", "L", "F" ve "S" harfleri kulanılarak bir işaret dili halinde ifade edilmiştir. Elin sola doğru hareketi "L", sağa doğru hareketi "R", yukarı aşağı hareketi "F" ve görüntü algılayıcısına doğru elin yaklaştırılması ise "S" harfi olarak belirlenmiş, müteakiben her biri tek bir bayt uzunluğundaki bu işaretler, operatör bilgisayarından robot bilgisayarına kablosuz yöntem ile aktarılmıştır.

Robotun el hareketleri ile kontrolü deneylerinde, robot ilk harekete geçmeden önce konumunu kaydettikten sonra istenilen konumlara hareket ettirilmiş ve son olarak ise hedef bir konum seçilmiş ve bu konum da kaydedilmiştir. Daha sonrasında robot el hareketlerinden bağımsız olarak ve sonar algılayıcılarını kullanarak önündeki engellere çarpmadan bu iki kayıtlı konum arasında gidiş gelişini sürdürmüştür. Bu çalışmada var olan iki farklı aşamanın amacı, doğal ve gerçek zamanlı el hareketlerinin insan-bilgisayar ve insan-robot etkileşiminde kullanılabileceği ve aynı zamanda bu yeteneğin normal hayata farklı pratik ve fonksiyonel kullanımlar sağlayabileceğini göstermektir. Örneğin, bir istifleme sistem sorumlusu ve etrafında birden fazla robot taşıyıcı olduğu varsayıldığında, sorumlu kişi robotlara belirli başlangıç ve hedef konumlar sağladıktan sonra insan müdahelesi olmadan gerekli işin kendi kendine yapılması sağlanabilir. Aynı zamanda girilmesi tehlikeli bölgelere ya da güvenlik kontrolünün yapılması gereken yerlere, bu bölgelerden bilgi almak amaçlı ve belirli konumlarda ve zamanlarda otonom olarak hareket etmesi istenilen robotların el hareketleri ile yönlendirebilmeleri ve görevlerini icra ettikten sonra otonom olarak tekrar başladıkları konumlara geri dönebilmeleri sağlanabilir.

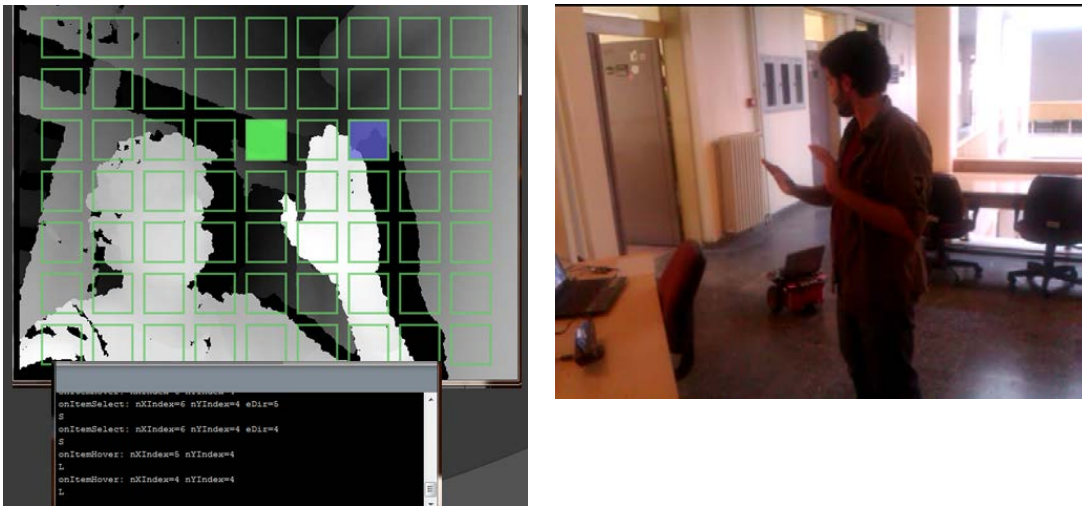
Bu çalışma birden çok etkinlikte test edilme imkanı bulmuştur. İlk olarak, 9-10 Mart 2013 tarihleri arasında düzenlenen 10. Uluslararası Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Robot Günleri’nde ve ikinci olarak ise 8-9 Nisan 2013 tarihleri arasında gerçekleştirilen İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Projekent Etkinliği’nde sergilenmiştir. Birinci etkinlikte toplamda 300 kadar katılımcı çalışmayı izlemiş ve ortalama her 10 izleyiciden biri sistemi kullanmak istemiştir. Sistemin kullanımı anlatıldıktan sonra kullanıcılar çok rahat bir şekilde el hareketleri ile robotu kontrol edebilmiş ve her kullanıcı sistemin doğal ve kolay kullanılabilir olduğunu vurgulamıştır. İkinci etkinlikte ise yaklaşık 200 kullanıcı sistemi incelemiş, ve bunlardan toplamda ortalama 20 kişi sistemi kullanmıştır. Sistemi kullanan her kullanıcı, çok tutarlı bir şekilde ilk etkinlikteki ile aynı izlenimleri aktarmıştır. **Şekil 5**'te farklı kullanıcılardan görüntüler sunulmaktadır.

Şekil 5. Etkinliklerdeki farklı kullanıcılardan görüntüler

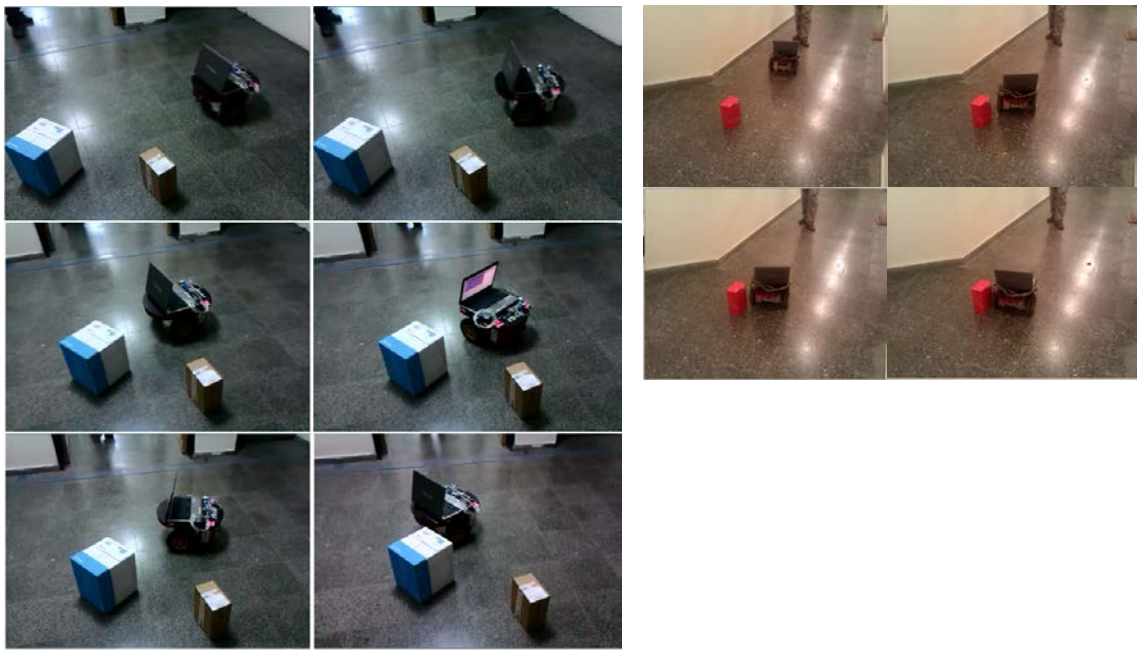
4. SONUÇ

Bu çalışmada 3 boyutlu el hareketlerinin gerçek-zamanlı tanınması için görüntü tabanlı bir yöntem kullanılmıştır. Görüntü algılayıcısı olarak Microsoft Kinect XBOX 360 ve

yazılım altyapısı olarak ise OpenNI kütüphanesi kullanılmıştır. Deneysel gözlemlerin sonucunda, el hareketlerinin çok kolay bir şekilde tanımlanabildiği ve anlaşılabildiği görülmüştür. **Şekil 6**'da görüntü algılayıcısı ile kullanıcı etkileşimi gösterilmiştir. Pioneer P3-DX robot, operatör tarafından yönetimi esnasında başarılı bir şekilde başlangıç ve hedef konum bilgilerini kaydetmiştir.



Şekil 6. Kinect algılayıcısının kullanılması ve robotun el hareketleri ile yönetimi



Şekil 7. Robotun bağımsız hareketi esnasında engellere çarpmadan ilerleyişi

Robot daha sonra bu iki konum arasında, yerleri test amaçlı olarak sürekli değiştirilerek konulan engellere çarpmadan başarılı bir şekilde bağımsız olarak hareketini sürdürmüştür. **Şekil 7**'de robotun başlangıç ve bitiş konumları arasında otonom olarak ve engellere çarpmadan ilerlemesi görülmektedir. Sonuç olarak, insan-robot etkileşimi açısından bu çalışmada uygulanan yöntemin oldukça doğal bir iletişim mekanizması sağladığı gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] Hasanuzzaman, M., Ampornaramveth, V., Zhang, T., Bhuiyan, M.A., Shirai, Y., Ueno, H. (August 22-26, 2004). Real-time vision-based gesture recognition for human robot interaction. *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetrics (ROBIO 2004)*, pp. 413-418. Shenyang, China.

[2] Faudzi, A. A. M., Ali, M. H. K., Azman, M. A., Ismail, Z. H. (2012). Real-time hand gestures system for mobile robots control, *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 798-804.

[3] Youwen, W., Cheng, Y., Xiaoyu, W., Shengmigo, X., Hui, L. (August 26-27, 2012). Kinect based dynamic hand gesture recognition algorithm research. *4th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC*), pp. 274-279.

[4] Tang, M. (2011). Recognizing hand gestures with Microsoft's Kinect, *Department of Electrical Engineering Stanford University.*

[5] Malima, A., Özgür, E., Çetin, M. (April 2006). A fast algorithm for vision-based hand gesture recognition for robot control. *IEEE 14th Signal Processing and Communications Applications.*

[6] Villaroman, N., Rowe, D., Swan, B. (October 20–22, 2011). Teaching natural user interaction using OpenNI and the Microsoft Kinect sensor. *SIGITE'11*, West Point, New York, USA.

[7] Microsoft. (Retrieved in March, 2013). Xbox 360 + Kinect. *Online*. http://www.xbox.com/en-us/kinect

[8] Arduino. (Retrieved in March, 2013). *Online*. http://arduino.cc/

[9] Chuck, P., Jeremiah, M. (May 2012). Tutorial presentation of programming for the XBOX Kinect sensor. *Journal of Computing Sciences in Colleges*. vol. 27, pp. 140-141. USA.

[10] Davison, A. (Retrieved in March, 2013). Kinect imaging, *Online.* http://fivedots.coe.psu.ac.th/~ad/jg/nui13

[11] Pioneer P3-DX. (Retrieved in March, 2013). *Online.* http://www.mobilerobots.com/researchrobots/pioneerp3dx.aspx

ELEKTRO-HİDROSTATİK TAHRİKLİ BİR HAREKET BENZETİMCİSİNİN ALT SİSTEMLERİNİN ORTAK SİMÜLASYONU

Hakan Çalışkan [(a)], H. Ulaş Akova [(b)], Tuna Balkan [(c)] ,Bülent E. Platin [(d)]

[(a)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, chakan@metu.edu.tr

[(b)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, uakova@metu.edu.tr

[(c)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, balkan@metu.edu.tr

[(c)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, platin@metu.edu.tr

ÖZ

Mühendislik sistemlerinin geliştirilmesinde ve test edilmesinde hareket benzetimcileri yoğun olarak kullanılmaktadır. Test edilecek yapıların boyutlarının büyümesi ve hızlı cevap alma ihtiyacı hidrolik tahrik sistemlerinin tercih edilmesine sebep olmaktadır. Bu çalışmada elektro-hidrostatik tahrik sistemine sahip 3 serbestlik dereceli bir hareket benzetimcisinin dinamik davranışı incelenmiştir. Sistemi oluşturan hidrolik, elektrik ve mekanik alt fiziksel sistemlerin matematiksel modelleri etkileşimli olarak oluşturulmuştur. Bu amaç ile MATLAB®/Simulink® programı ve SimMechanics™ kütüphanesi kullanılmıştır. Sistemin davranışı alt sistemlerin modellerinin eş zamanlı olarak çözülmesiyle elde edilmiştir. Son bölümde simülasyon modelinin yeterliliği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hareket Benzetimcisi, Elektro-hidrostatik, Modelleme, Simülasyon, Simulink®

CO-SIMULATION OF SUBSYSTEMS OF AN ELECTRO-HYDROSTATICALLY DRIVEN MOTION SIMULATOR

ABSTRACT

Motion simulators are commonly used in the development and testing of engineering systems. With increasing size of the loads and the need to fast response, hydraulically driven systems are preferred in these applications. In this study, the dynamic behavior of a 3 degrees of freedom motion simulator with electro-hydrostatic actuation is investigated. The mathematical models of the physical subsystems of the simulator, which are namely hydraulic, electrical, and mechanical subsystems, are developed via

MATLAB®/Simulink® and its toolbox, SimMechanics™. The overall behavior of the system is obtained by the co-simulation of the coupled equations.

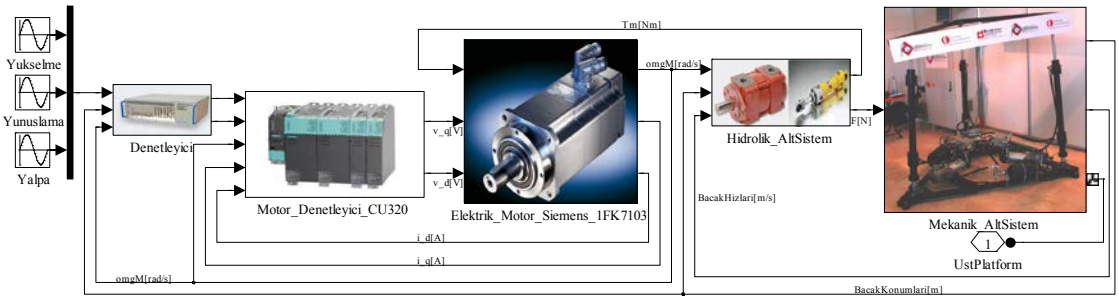
Keywords: Motion Simulator, Electro-hydrostatic, Modeling, Simulation, Simulink®

1. GİRİŞ

Hareket benzetimcileri(motion simulator), mühendislik sistemlerinin geliştirilmesi ve test edilmesinde yoğunlukla kullanılmaktadır. Küçük boyutlu benzetimcilerde genellikle elektro mekanik tahrik sistemleri kullanılmaktadır. Test edilecek yapıların boyutlarının büyümesi ve hızlı cevap alma ihtiyacı hidrolik tahrik sistemlerinin tercih edilmesine sebep olmaktadır.

Geleneksel valf denetimli hidrolik sistemler ile kontrol edilen elekro-hidrolik eyleyicilerin hareket benzetimcilerinde kullanımı literatürde yaygın olarak gözlenmektedir [1]. Geleneksel valf denetimli sistemler sahip oldukları yüksek dinamik başarıma rağmen düşük enerji verimliliğine sahiptirler. Üretilen hidrolik güç akış kontrol valfi üzerinden kaybedilerek sisteme aktarılmaktadır. Valf üzerinde kaybedilen bu güç ısıya dönüşerek yağın ısınmasına neden olmaktadır [2]. Bu nedenle büyük boyutlu güç üniteleri ve soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Enerji verimliliğini arttırmak için tercih edilen en temel yöntem hidrolik eyleyiciye sağlanan debinin pompa devri veya deplasmanı kontrol edilerek valf kayıplarının giderilmesidir. Pompa denetimli bu hidrolik sistemlerin diğer bir artısı ise kompakt yapılarıdır.

Bu çalışmada geleneksel valf denetimli hidrolik sistem yerine patent aşamasında olan özgün bir elektro hidrostatik tahrik (EHST) sistemi kullanılmaktadır [3]. Çalışma kapsamında EHST sistemi tarafından sürülen 3 serbestlik dereceli (3SD) bir hareket benzetimcisinin matematiksel modeli oluşturularak sistem performansının ve verimliliğinin geliştirilebileceği ve değerlendirilebileceği bir ortam oluşturulması amaçlanmıştır. Sistemi oluşturan hidrolik, elektrik ve mekanik alt fiziksel sistemlerin matematiksel modelleri etkileşimli olarak oluşturulmuştur. Sistemin genel yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. EHST Sistemine Sahip 3SD Hareket Benzetimcisinin Modeli

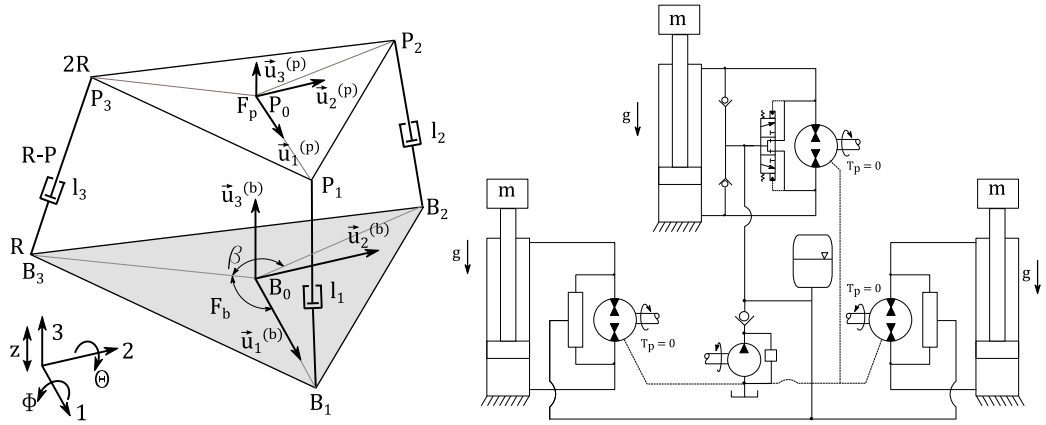
Çalışmanın ilk bölümünde önerilen EHST sistemine sahip hareket benzetimcisinin elektrik, hidrolik ve mekanik alt sistemlerinin matematiksel denklemleri elde edilmiştir, ve sonrasında bu denklemlerin kullanıldığı simülasyon modelleri oluşturulmuştur. Son bölümde elde edilen simülasyon modelinin doğruluğunu göstermek için basit bir oransal eksen denetleyicisi tasarlanarak benzetim çıktıları yorumlanmıştır.

2. HAREKET BENZETİMCİSİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Hareket benzetimcisinin matematiksel modeli hidrolik, mekanik ve elektrik alt sistemlerden oluşmaktadır. Alt sistemlerin birbirleri ile olan etkileşimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Elektrik alt sistemi bir üst kademede bulunan konum denetleyicisinden istek motor hız bilgisini alarak hidrolik alt sisteme pompa devrini vermektedir. Hidrolik alt sistem modeli ise mekanik sistemin sürücü kuvvetini oluşturmaktadır. Bu iki sistemin matematiksel denklemler çıkartılarak MATLAB®/Simulink® ortamında modellenmiştir. Mekanik sistem ise SimMechanics™ ortamında modellenmiştir.

2.1. Mekanik Sistem

Bu çalışmada Şekil 2'de şematik çizimi görülen 3 serbestlik derecesine sahip bir paralel manipülatör kullanılmıştır. Serbestlik dereceleri dikey yönde (z - ekseni) öteleme hareketi, x ve y eksenlerinde yalpa ve yunuslama hareketleridir.



Şekil 2. 3 SD Hareket Benzetimcisi ve EHST Sistemi Şematikleri

Benzetimciyi oluşturan linkler ve sahip oldukları kinematik elemanlar belirlenerek SimMechanics™ modeline eklenmiştir. Şekil 3'de üst ve alt platformlar arasında bulunan bir bacağın elemanları ve hidrolik sistem ile mekanik sistemin etkileşimini sağlayan bloklar gösterilmektedir. Hidrolik eyleyicilerin piston ve kovanı arasında ise bir öteleme ve bir dönme serbestliğine (P, R) sahip bir kinematik çift bulunmaktadır. Üst platformun modellendiği blok 3 ayrı noktada 2 serbestlik derecesine sahip dönel mafsal bloku ile silindirlere bağlanmıştır. Silindirlerin alt tablaya olan bağlantısı ise 1 serbestlik dereceli dönel mafsal bloku üzerinden sabit noktalara bağlanarak modellenmiştir.

SimMechanics™ modelinde kullanılan elemanların ilk konumlarının ve bağlantı yapılarının blok ara yüzlerine girilmesi gerekmektedir. Modelde kullanılan elemanların ilk durumları (1)'de verilen üst platformun merkez konumu kullanılarak elde edilebilir.

$$\overline{p}^{(b)}\Big|_{t=0} = \{\overrightarrow{B_0P_0}\}^{(b)} \tag{1}$$

Tüm silindirlerin aynı uzunluğa sahip olduğu bir ilk durum seçilmiştir. Bu durum için mekanizmada bulunan kinematik çiftlerin konumları (2-5)'deki gibi belirlenerek oluşturulan modeldeki blokların ara yüzlerine girilmiştir.

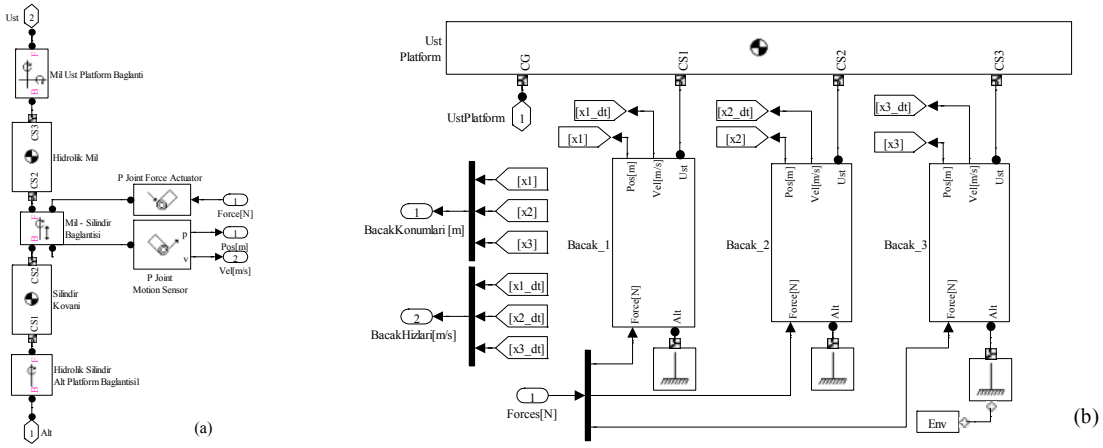
$$\overline{b}_k^{(b)} = \{\overrightarrow{B_0B_k}\}^{(b)} = R_b[\cos\beta_k \quad \sin\beta_k \quad 0]^T \tag{2}$$

$$\overline{c}_k^{(p)} = \{\overrightarrow{P_0P_k}\}^{(p)} = R_p[\cos\beta_k \quad \sin\beta_k \quad 0]^T \tag{3}$$

$$\overline{r}^{(b)}{}_{B_k/B_0} = \overline{b}_k^{(b)} \tag{4}$$

$$\overline{r}^{(b)}{}_{P_k/B_0} = \overline{p}^{(b)} + \hat{C}^{(b,p)}\overline{c}_k^{(p)} \tag{5}$$

Denklem (5)'de gösterilen $\hat{C}^{(b,p)}$ transformasyon matrisi olup bulunuşu (6)'da verilmiştir. Hareket benzetimcisini oluşturan elemanların kütleleri ve ataletleri CAD programı ile bulunmuştur.



Şekil 3. Mekanik Alt Sistem MATLAB SimMechanics Modeli

Benzetimi istenilen harekete karşılık gelen silindir boyları ters kinematik analiz ile belirlenmektedir. Bu sebep ile 1-2-3 Euler açıları kabul edilerek (6)'deki transformasyon matrisi yazılmıştır.

$$\hat{C}^{(b,p)} = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & -\sin\psi\cos\theta & \sin\theta \\ \sin\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\psi\cos\phi & \cos\phi\cos\psi - \sin\psi\sin\phi\sin\theta & -\sin\phi\cos\theta \\ \sin\phi\sin\psi - \cos\psi\sin\theta\cos\phi & \sin\phi\cos\psi + \sin\psi\sin\theta\cos\phi & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \tag{6}$$

Burada ϕ ve θ kontrol edilmek istenen değişkenlerdir. Transformasyon matrisini kullanabilmek için diğer Euler açısının (ψ) bulunması gerekmektedir. Şekil 2'de de

görülebileceği gibi alt ve üst platformlarda bulunan bağlantı noktaları eşit açısal aralıklar ile yerleştirilmişlerdir.

$$\beta_{1j}^{b} = \beta_{1j}^{p} = 120^{o}(i-1),\ i = 1,2,3 \tag{7}$$

(7)'de belirtilen kısıtlamaya dayanarak (8)'deki eşitlik gösterilebilir [4].

$$c_{21} = c_{12} \tag{8}$$

(6) ve (8) kullanılarak kontrol edilmeyen Euler açısı ψ (9)'daki gibi bulunur.

$$\psi = atan2(-\sin\phi \sin\theta, \cos\theta + \cos\phi) \tag{9}$$

Gerekli olan tüm Euler açıları bulunduktan sonra (6)'da yerine konularak transformasyon matrisi $\hat{C}^{(b,p)}$ elde edilir. Sonrasında, alt platformdaki mafsalı üst platforma bağlayan bacak uzunlukları (10) ve (11)'de bulunmuştur.

$$\overline{l}_k^{(b)} = \overline{p}^{(b)} + \hat{C}^{(b,p)}\overline{c}^{(p)} - \overline{b}^{(b)} \tag{10}$$

$$l_k = \sqrt{\overline{l}_k^{(b)^T}\overline{l}_k^{(b)}} \tag{11}$$

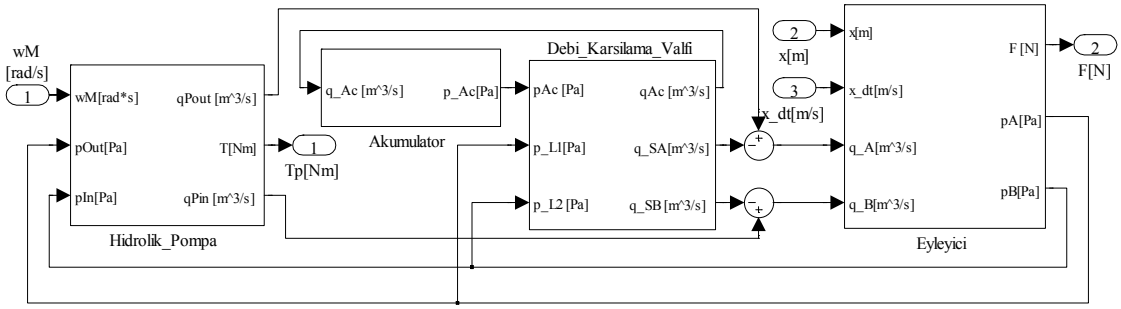
2.2. Hidrolik Sistem

Hareket benzetimcisinde tek milli çift etkili hidrolik eyleyiciler kullanılmaktadır. Eyleyiciler mil ve piston taraflarında birbirinden farklı alanlara sahip oldukları için asimetriktirler. Hidrolik silindirin hareketi sırasında giren ve çıkan debi miktarları eşit olmayacağından, kapalı çevrim hidrolik sistemde eksik veya fazlalık debiler oluşacaktır. Hidrolik eyleyicide oluşan giren/çıkan debi farkını gidermek için bir hidrolik akümülatör kullanılmıştır. Hidrolik akümülatör debi karşılama valfi diye isimlendirilen bir valf üzerinden kapalı çevrim sistemdeki eksik veya fazlalık debiyi karşılamaktadır.

Şekil 2' de 3 SD hareket benzetimcisinin EHST sistemi şematik olarak gösterilmektedir. Hidrolik eyleyicilerin hareket denetimi servo motor tahrikli sabit deplasmanlı pompanın devri ayarlanarak yapılmaktadır. Simetrik yapıya sahip bu elemanlar 4 kadranda çalışabilmektedir. Tüm eyleyicilerin eksik/fazlalık debi ihtiyaçları tek bir akümülatör tarafından karşılanmaktadır. Akümülatör basıncını belirli bir değerde tutmak ve pompa sızıntılarından kaynaklı debi kayıplarını gidermek için bir şarj devresi kullanılmıştır. Hidrolik akümülatörün bir diğer katkısı sistem üzerine etki eden statik yükü tartmasıdır. Dolayısı ile servo motorlar üzerinde statik bir tork yaratılmamaktadır. Bu durum enerji verimliliğini arttırmakta, ayrıca servo motorlar sadece dinamik kuvvet oluşturmak için kullanılacağından boyutları küçülmektedir.

Hidrolik tahrik sisteminin simülasyonu için Şekil 4'de gösterildiği gibi dört alt sistemden oluşan bir MATLAB/Simulink modeli oluşturulmuştur. Bu alt sistemler hidrolik pompa, akümülatör, debi karşılama valfi ve eyleyicidir.

Şekil 4'de gösterilen hidrolik tahrik sistemi modelinin girdisi pompa devri ve eyleyici konumu ve hızıdır. Pompa devri elektriksel sistem modeli tarafından, eyleyici hareketi ise SimMechanics mekanik sistem modeli tarafından belirlenmektedir. Hidrolik sistemin çıktısı ise pompa torku ve eyleyici sürücü kuvvetidir. Aşağıdaki bölümlerde her alt sistem için gerekli matematiksel denklemler elde edilerek model oluşturulmuştur.



Şekil 4. Hidrolik Sistem Benzetim Modeli

2.2.1. Hidrolik Eyleyici

Eyleyici alt sisteminin girdisi eyleyici konumu ve hızı ile eyleyici kapılarındaki debilerdir. Modelin çıktısı ise eyleyici kuvveti ve oda basınçlarıdır. Akış süreklilik denklemleri kullanılarak eyleyici odalarında sıkışan debi miktarı hesaplanır ve integral alınarak oda basınçları bulunur. Basınç değerleri kullanılarak eyleyici kuvveti bulunur. Eyleyicinin giriş ve çıkış kapılarındaki akış süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_A = A_A\dot{\mathrm{x}} + \frac{V_A}{E}\frac{dp_A}{dt} \tag{12}$$

$$q_B = A_B\dot{\mathrm{x}} - \frac{V_B}{E}\frac{dp_B}{dt} \tag{13}$$

Hidrolik eyleyici pistonunun yapısal denklemi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$p_A A_A - p_B A_B = F_L \tag{14}$$

2.2.2. Hidrolik Pompa

Hidrolik pompa modelinin girdisi servo motor devri ile sistem basınçları, çıktısı ise pompa torku ve giriş/çıkış debi miktarlarıdır. Hidrolik pompanın akış süreklilik denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_{pIn} = D_p\omega_M - C_i(p_A - p_B) + C_e p_B \tag{15}$$

$$q_{pOut} = D_p\omega_M - C_i(p_A - p_B) - C_e p_A \tag{16}$$

Bu denklemlerde C_i ve C_e iç ve dış sızıntı katsayılarını belirtmektedir. Pompa içerisinde bulunan sızıntı hatları çok küçük genişlikte olduğundan sızıntı akışının laminar olduğu dolayısı ile sızıntı debisi ile basınç kaybı arasında oransal ilişki olduğu varsayılmıştır. Sızıntı katsayıları hidrolik akışkanın viskozitesi, basıncı, sıcaklığı, kirlilik seviyesi ve

pompanın devri gibi bir çok etkene bağlı olduğundan teorik olarak modellenmesi çok güçtür. Bu nedenle üretici firma tarafından verilen ve sızıntı miktarı ile pompa basıncı arasındaki ilişkiyi gösterir grafikler modelde kullanılmıştır.

Hidrolik pompa modelinde tahrik şaftının yay sabiti çok yüksek olduğundan pompa servo motora rijit bir şekilde bağlı kabul edilmiştir. Bu nedenle pompanın hareket denklemleri yazılmamış, pompanın eylemsizliği ve sürtünme kayıpları servo motor modeline dahil edilmiştir. Servo motor modeline aşağıdaki pompa torku geri beslenir.

$$T_p = D_p(p_A - p_B) \tag{17}$$

2.2.3. Hidrolik Akümülatör

Önerilen EHST sistemde akümülatör hattı sürekli olarak eyleyici odalarından birine bağlıdır. Dolayısı ile sistem dinamiğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle akümülatör modelinde sistemin sönümleme oranına etki edecek ısıl kayıplar düşünülmüştür. Hidrolik akümülatör alt sisteminin girdisi akümülatör debisi, çıktısı ise akümülatör basıncıdır. Hidrolik akümülatör dinamiği ideal gaz denklemi ve termodinamiğin birinci kanunun kullanılarak tanımlanabilir.

$$p_g V_g = m_g R T_g \tag{18}$$

$$m_g c_v \dot{T}_g = h_{Ac} A_{Ac}(T_w - T_g) - p_g \dot{V}_g \tag{19}$$

Enerji denkleminde sol taraf akümülatör içindeki nitrojen gazının iç enerjisindeki değişimi, sağ taraftaki ilk terim gaza aktarılan ısıl enerjiyi, son terim ise genleşme nedeni ile gazın yaptığı işi belirtmektedir.

2.2.4. Debi Karşılama Valfi

Debi karşılama valfi hidrolik pilot uyarılıdır. Eyleyici oda basınçlarına göre yön değiştirerek akümülatör hattını iş yapmayan, düşük basınçlı eyleyici odasına bağlar. Şekil 5'de debi karşılama valfi modeli gösterilmektedir. Model üç alt sistemden oluşmaktadır. Birinci alt sistemde valf makarasını tahrik edecek hidrolik pilot basınçları bulunur. Bu alt sistemin denklemleri aşağıdaki gibidir.

$$q_{SPA} - q_{S3} - A_S \dot{x}_S = C_{S1} \dot{p}_{SP1} \tag{20}$$

$$q_{SPB} - q_{S4} + A_S \dot{x}_S = C_{S2} \dot{p}_{SP2} \tag{21}$$

İkinci alt sistem makara dinamiğini içerir,

$$(p_{SP1} - p_{SP2}) A_S = m_S \ddot{x}_S + b_S \dot{x}_S + k_S x_S \tag{22}$$

Üçüncü alt sistem değişen makara konumuna göre her bir orifisin alanının hesaplanmasıdır.

$$A_{Ori_Sp_i} = f(x_S) \tag{23}$$

Orifis alanları hesaplandıktan sonra (24) verilen karakteristik debi denklemi ile her bir orifisden geçen debi miktarı bulunur. Akümülatörün debisi (25) ile hesaplanır.

$$q_{S_i} = K_{Sp} A_{Ori} \sqrt{\Delta P_{Sp}} \tag{24}$$

$$q_{Ac} = q_{S1} - q_{S2} \tag{25}$$

2.3. Elektriksel Sistem

Pompa tahriki için sürekli mıknatıslı senkron motor (SMSM) kullanılmıştır. Motorun manyetik devresinin doğrusal olduğu kabul edilerek q-d eksen takımındaki denklemleri (26) ve (27)'deki gibi yazılmıştır [5].

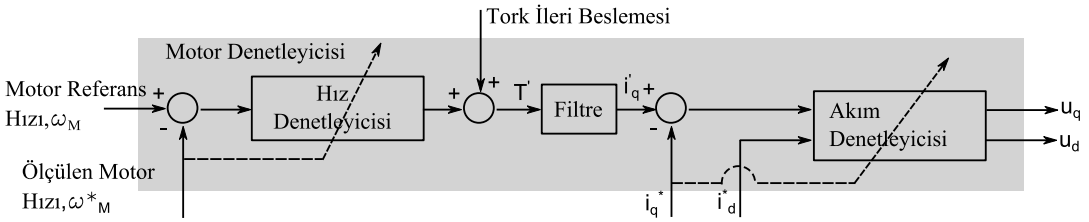
$$L_d \frac{di_d}{dt} = u_d - R_s i_d + L_q n_p \omega_M i_q \tag{26}$$

$$L_q \frac{di_q}{dt} = u_q - R_s i_q - R_s i_q - L_d n_p \omega_M i_d - \lambda n_p \omega_M \tag{27}$$

Motor silindirik rotora sahip olduğundan elektromanyetik tork değeri (28)'deki gibi

$$T_M = 1.5 n_p \lambda i_q + \left(L_d - L_q\right) i_d i_q \tag{28}$$

Endüstriyel motor denetleyicisinin genel yapısı Şekil 8'da verilmiştir. Hız ve akım kapalı çevrimlerinden oluşan kaskat bir kontrol yapısı kullanılmıştır. Hız ve akım denetleyicisi olarak oransal-integral kontrol yapısı kullanılmaktadır. Ayrıca oransal kazançlar sistem değişkenlerine bağlı olarak sürekli adapte edilmektedir. Akım kontrolcüsü çevrimini q ve d eksen takımlarını kullarak gerçekleştirmektedir. Burada üretilecek tork q ekseni akım değeri i_q ile doğrudan bağlantılıdır. Diğer yandan elde edilecek net torku azaltacağı için diğer eksende akım oluşması ise istenmemektedir, bu nedenler istek i_d sıfırda tutulmaktadır. Akım kontrolcünün çıktısı motora uygulanması gereken q ve d ekseni potansiyel gerilim değerleridir.



Şekil 5. İki Aşamalı Motor Denetleyicisi

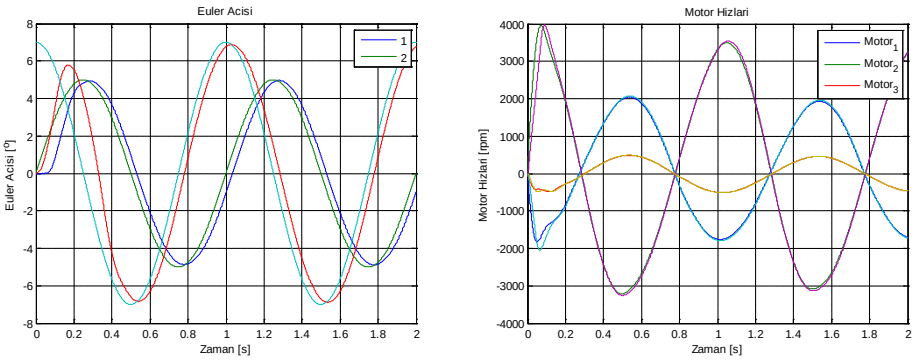
3. SİMÜLASYON SONUÇLARI VE MODELİN DOĞRULANMASI

Çalışmanın esas amacı bir hareket benzetimcisinin mekanik, elektrik ve hidrolik elamanlarının ortak bir çalışma ortamında simülasyonu olduğundan basit bir oransal denetleyici tasarlanarak tüm model test edilmiştir.

Simülasyonu yapılan platformun statik yükü 1850 kg'dır. Hidrolik pompa Siemens 1FK7103 kodlu bir servo motor tarafından tahrik edilmektedir. Pompa deplasmanı 16

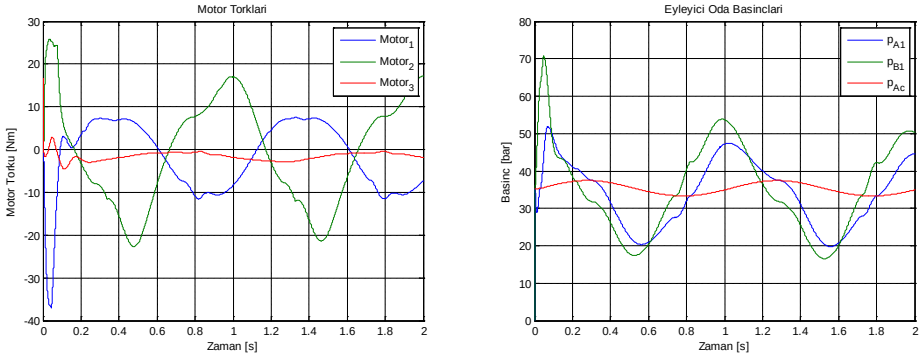
cm^3/rev, silindir alanları 78 ve 59cm^2 dir. Kullanılan akümülatör 10 lt hacmindedir ve 30 bar şarj basıncına sahiptir. Motor akım denetleyici kazancı 5.6 V/A, integral zamanı 2ms, hız denetleyici kazancı 1.18 Nms/rad integral zamanı 31.6 ms'dir. Eksen denetleyici oransal kazancı 5 s^{-1}'dir ve m/s ile rad/s arasındaki kazanç 3065 rad/m dir.

Şekil 9-a'da hareket benzetimcisinin üst platformunun kontrol edilen Euler açılarının istek girdiye olan yanıtı görülmektedir. İstek ve yanıt arasında faz farkı gözlenmektedir. Bunun nedeni basit bir P-denetleyicinin simülasyonun çalıştığını göstermek amaçlı denenmesidir. Bu model kullanılarak daha gelişkin denetleyiciler tasarlanabilir. Konum yanıtında herhangi bir süreksizlik görülmemektedir. Şekil 9-b'de motor hız istek ve yanıtları gösterilmiştir.



Şekil 6. a) Üst Platform Euler Açıları, b) Servo motor hızları

Şekil 10-a'da simülasyon sonucunda elde edilen motor torkları gösterilmektedir. Dinamik hareketin düşük olduğu 3 numaralı eksende motor torkları sıfıra yakındır. Diğer eksen motor torkları ise sıfır etrafında oynamaktadır. Burada EHST sisteminde bulunan akümülatör sistemin statik yükünü tartmaktadırdır. Şekil 10-b'de eyleyici oda basınçları verilmiştir. Görüldüğü gibi oda basınçları akümülatör basınçları etrafında oynamaktadır.



Şekil 7. a) Servo motor torkları, b) Eyleyici basinclari

4. SONUÇ

Bu çalışmada savunma ve endüstriyel mühendislik uygulamalarında kullanılması amaçlanan 3 serbestlik derecesine sahip bir hareket benzetimcisinin matematiksel modeli elde edilmiş ve bir simülasyon modeli oluşturulmuştur.

Platform tahrik sistemi olarak geleneksel valf denetimli bir hidrolik sistem yerine pompa denetimli elektro hidrostatik bir sistem kullanılmıştır. Patent aşamasında olan bu özgün sistemin çalışması geliştirilen simülasyon modeli ile test edilmiştir. Ayrıca yüksek performanslı kontrolcülerin geliştirilmesinde kullanılabilecek bir ortam elde edilmiştir.

Simülasyon sonuçları durağan durum değerleri incelenerek doğrulanmıştır. Ancak gerçek sisteme inşa aşamasında olduğundan test sonuçları ile bir doğrulama henüz yapılamamıştır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya olan katkılarından dolayı Demirer Teknolojik Sistemler Ltd. Şti.'ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

[1] Plummer, A. R., Guinzio, P. S. (2009), Modal control of an electrohydrostatic flight simulator motion system, ASME *Dynamic Systems and Control Conference*, DSCC2009, Hollywood, CA, United States.

[2] Çalışkan, H., Balkan, T., Platin, B. E., Demirer, S., (2011), DEĞİŞKEN DEVİRLİ POMPA İLE SERVO HİDROLİK KONUM KONTROLÜ, *V. ULUSAL HİDROLİK PNÖMATİK KONGRESİ*, İzmir, Turkiye.

[3] Çalışkan, H., Balkan, T., Demirer, S., Energy Efficient Hydrostatic Transmission Circuit for an Asymmetric Actuator Utilizing a Single Four Quadrant Pump, PCT/TR2012/000074.

[4] Lee K. M., Shah D. K. (1988), "Kinematic Analysis of a Three-Degrees-of-Freedom In-Parallel Actuated Manipulator", IEEE Journal Of Robotics And Automation, Vol 4.

[5] Çalışkan, H., Akova, H. U., Balkan, T., Platin, B. E. (2013), Electro-Hydraulic Lift System with Single Acting Actuator, *The 8th International Conference on Fluid Power Transmission and Control, (ICFP 2013),* Hangzhou, China.

KONTROL TAHRİK SİSTEMLERİ İÇİN SONSUZ VİDALI DİŞLİ KUTUSUNUN MODELLENMESİ VE KARAKTERİZASYONU

Efe Uzel [(a)], Görkem Seçer [(b)], Semih Çakıroğlu [(c)], Ali Emrah Yarar [(d)]

[(a)] ROKETSAN A.Ş., Elmadağ/Ankara, euzel@roketsan.com.tr

[(b)] ROKETSAN A.Ş., Elmadağ/Ankara, gsecer@roketsan.com.tr

[(c)] ROKETSAN A.Ş., Elmadağ/Ankara, semihcakiroglu@roketsan.com.tr

[(d)] ROKETSAN A.Ş., Elmadağ/Ankara, eyarar@roketsan.com.tr

ÖZ

Güdümlü füzelerin hedefine yönelmesi için kullanılan kontrol yüzeyleri genellikle elektrik motorları ile tahrik edilir. Motor hareketinin kontrol yüzeyine aktarılmasında yüksek aktarma oranlarını düşük mekanik boşluk ve yüksek verimlilik ile sağlayabilen bilyeli vida tabanlı yuva içinde silindir mekanizmaları kullanılır. Bu bildiride, yurtiçinden tedarik edilemeyen ve ucuz olmayan bilyeli vidalı sisteme alternatif olarak geliştirilen sonsuz vidalı dişli kutusu üzerinde yapılan karakterizasyon ve performans testlerinin sonuçları verilecektir. Yapılan karakterizasyon testleri ile dişli kutusunun modellenmesinde kullanılacak aktarma oranı doğrulanmış ve mekanik boşluğu ve verimliliği bulunmuştur. Performans testleri sonrasında geliştirilen dişli kutusu ile kontrol yüzeyi tahrik sisteminin maksimum hız ve bant genişliği isterlerinin karşılanabildiği kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deneysel doğrulama, dişli kutusu modellemesi ve karakterizasyonu, kontrol yüzeyi tahrik sistemi, sonsuz vidalı dişli kutusu.

MODELING AND CHARACTERIZATION OF A WORM GEARBOX FOR CONTROL SURFACE ACTUATION SYSTEMS

ABSTRACT

Control surfaces that enable guided missiles to intercept their targets are commonly actuated via electric motors. To transmit motion to the control surfaces, ball screws coupled with cylinder in slot mechanisms are used. These provide high reduction ratios while maintaining high efficiency and low backlash. As an alternative to ball screw drive which is expensive and cannot be procured from within Turkey; a worm gear

drive has been developed. In this work, results of characterization and performance tests of the worm gear drive are presented. Through the characterization tests, the reduction ratio has been confirmed, and data to be used in mathematical models such as backlash and efficiency have been obtained. Performance tests are conducted to verify that design requirements such as maximum control surface velocity and bandwidth are met.

Keywords: Experimental verification, modeling and characterization of a worm gearbox, control actuation system.

1. GİRİŞ

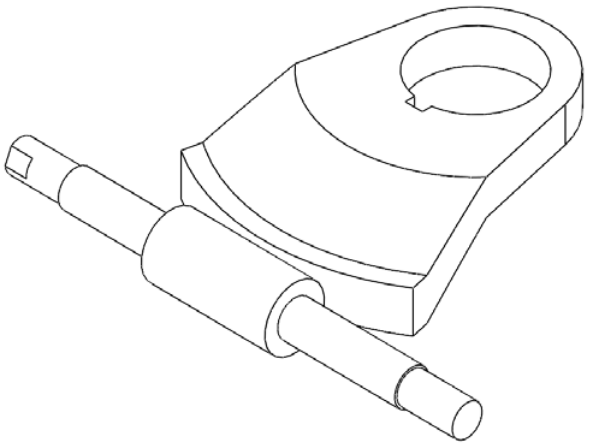
Bir güdümlü füzenin (GF) hedefine ulaşması için otopilot algoritmasının belirlediği şekilde kontrol yüzeylerinin (KY'lerin) konumlandırılması gerekmektedir. GF üzerinde bu görevi yerine getiren birime kontrol tahrik sistemi (KTS) denir. Elektromekanik bir KTS temel olarak elektrik motoru, aktarma mekanizması, geri besleme algılayıcıları (örn. motor akımı ve pozisyonu ve KY pozisyonu) ve kontrol elektroniğine sahiptir. Elektrik motorları KY üzerinde oluşan aerodinamik torkları yenerek konumlandırmayı sağlamak için gerekli mekanik enerjiyi üretirler ancak çıkış hızları GF'nin ihtiyaç duyduğundan çok daha yüksektir. Motorun çıkış torkunun yükseltilip hızının azaltılarak KY'ye aktarılması için uygun aktarma oranına sahip bir aktarma mekanizması kullanılması gerekmektedir.

KTS tasarlanmadan önce, sağlanması gereken kontrol döngüsü bant genişliği, KY azami hızı ve GF üzerinde KTS'nin paketleneceği yer gibi isterler sistem tasarımcıları tarafından belirlenir. Bunları sağlayan bir KTS'nin belirlenen yere sığdırılması GF'nin boyutlarının sınırlı olmasından dolayı genellikle zor bir iştir. Bu nedenle KTS'nin yüksek güç/boyut oranına sahip kullanılarak özel olarak tasarlanması gerekir. Bu amaçla genellikle tercih edilen bilyeli vidaların yalnızca yurtdışından tedarik edilebilmesi ve pahalı olması gibi dezavantajları vardır.

Sonsuz vida, üretim yeteneğinin Türkiye'de bulunması ve maliyetinin bilyeli vidaya göre düşük olması açısından, bilyeli vida karşısında iyi bir alternatiftir. Bu çalışmada, GF KTS uygulamalarında alışılagelmiş çözüm olan yuva içinde silindir ve bilyeli vida mekanizması yerine kullanılması planlanarak tasarlanan ve ürettirilen sonsuz vidalı dişli kutusu incelenmektedir. Yapılan testlerle üretilen mekanizma önce GF KTS uygulamasının gerektirdiği yüksek verimlilik ve düşük mekanik boşluk yönünden incelenerek karakterize edilmiştir. Daha sonra, bu mekanizma üzerinde başarım testleri yapılarak örnek bir KTS'nin bant genişliği ve azami hız isterlerinin ne ölçüde sağlandığı tespit edilmiştir.

2. SONSUZ VİDALI DİŞLİ KUTUSU

Dişli mekanizmaları içinde sonsuz vida ve karşılık dişlisi aynı boyutta en büyük aktarma oranını verdiğinden GF gibi sıkı boyut sınırlaması olan uygulamalarda uygun bir seçimdir. Şekil 1'de gösterildiği gibi, GF kanatçığının tam tur dönüş yapması gerekmediğinden sektör dişli kullanılarak dişli kutusu boyutu küçültülmüştür. Ayrıca dişli konik şekilli yapılarak, silindirik bir dişli kutusuna paketlenmiş ve GM üzerinde KTS için tanımlanan hacmin daha verimli kullanılması sağlanmıştır.



Şekil 1. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi şematik gösterimi.

KTS uygulamalarında, istenen KY hızı motor hızından çok düşük olduğu için tasarımda olası en yüksek aktarma oranı hedeflenmiştir ancak aktarma oranı sonsuz vida verimliliğini doğrudan etkilemektedir. AGMA Sonsuz Vida Tasarım Standartları'nda (ANSI/AGMA 6034-B92) kapsanan en yüksek aktarma oranı 100:1 olduğundan, tasarım için bu değer kullanılmıştır [1]. Gereken fazladan aktarma oranı, sonsuz vida öncesi gezegen dişli seti kullanımıyla elde edilmiştir. Diş dibi eğilme dayanımı ve yüzey gerilme dayanımları kısıtlarına göre yapılan tasarım sonucunda Tablo1'deki sonuçlara varılmıştır.

Sonsuz vidalı dişlilerde önemli bir nokta olan boşluk, sonsuz vidanın gerektiği gibi çalışması için gereklidir ancak kontrol sisteminin performansını kötü etkilediğinden, üretimde boşluğun mümkün olan en düşük düzeyde tutulması sağlanmıştır.

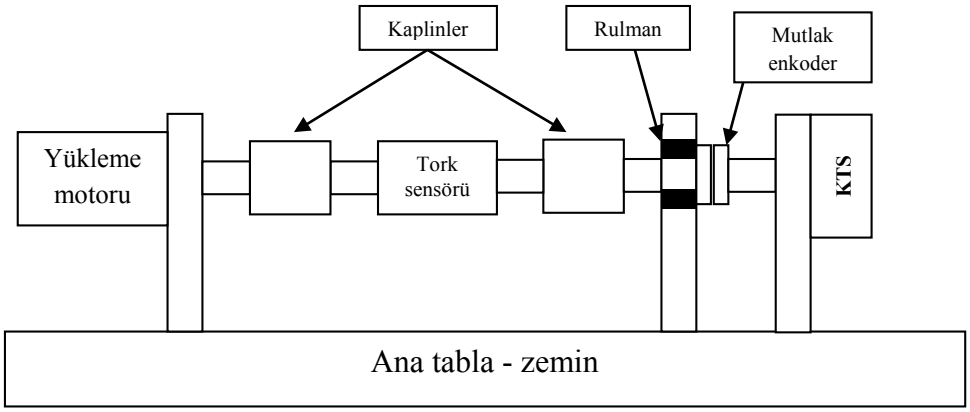
Tablo 1: Tasarlanan dişli çifti parametreleri.

Tasarım değişkeni (birim)	Sonsuz vida	Karşılık dişlisi
Modül (mm)	1	1
Basınç açısı (°)	20	20
Diş (ağız) sayısı	1	100
Bölüm dairesi çapı (mm)	14	100
Eksenel hatve (mm)	3,14	3,14
Hatve açısı (rad)	0,07	-

3. DİŞLİ KUTUSU TESTLERİ

Üretilen dişli kutusu prototipi üzerinde iki grup test yapılmıştır. Karakterizasyon testlerinde dişli kutusunun matematiksel modelinde önemli yere sahip olan mekanik boşluk ve verimlilik özellikleri incelenmiştir. Bu testlerin sonucunda elde edilen değerler ışığında, KTS simülasyonunun gerçekçiliği artırılarak kontrol iyileştirilecektir. Başarım testlerinde ise dişli kutusu prototipi ile örnek olarak alınan KTS gereksinimlerinin ne ölçüde sağlandığı irdelenmiştir.

Testler sırasında dişli kutusuna uçuşta karşılaşılan aerodinamik yüklerin uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla, dişli kutusu testlerinde Şekil 2'de şematik gösterimi verilen KTS yükleme düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte yükleme motoru tork sensöründen aldığı ölçümleri baz alarak KTS'ye istenilen torku uygular. Mutlak enkoder ile KTS'nin çıkış şaftının pozisyonu ölçülür.



Şekil 2. KTS yükleme düzeneğinin şematik gösterimi.

3.1. Karakterizasyon testleri

3.1.1. Mekanik Boşluk

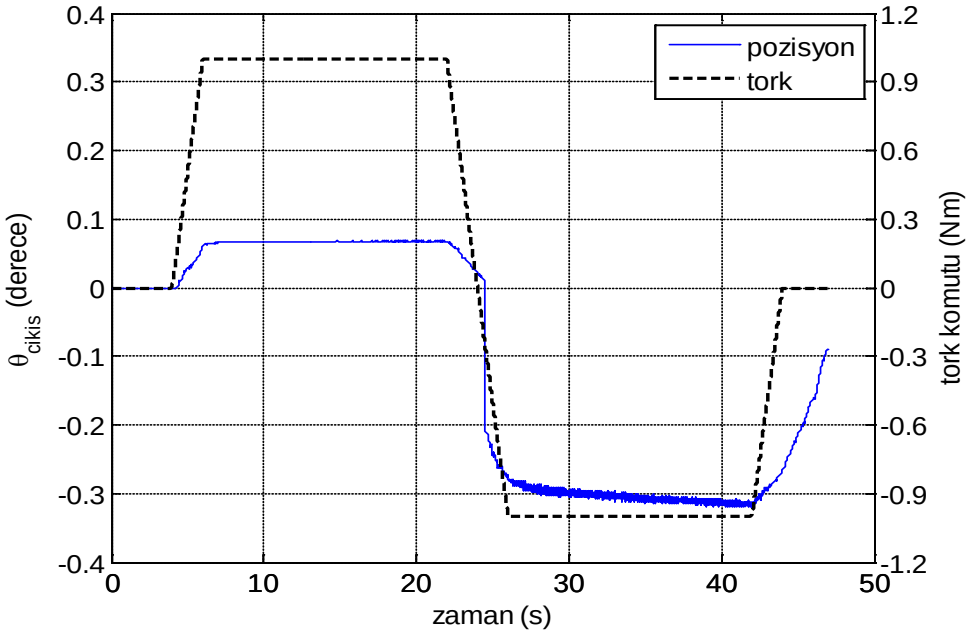
Mekanik boşluk KTS'nin konumlama hatasını artırdığı ve limit döngüye girmesine neden olduğu için kontrol başarımını düşürür [2]. Bu nedenle, kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunun tespit edilmesi önemlidir. Sonsuz vidalı dişli kutusunun boşluğu,

çıkış milinden sürülememe özelliği kullanılarak bulunabilir. Çıkış miline yön değiştiren bir küçük bir tork uygulanırken pozisyonu (θ_{cikis}) kaydedilir [3]. Bu testin sonucu Şekil 3'te verilmiştir

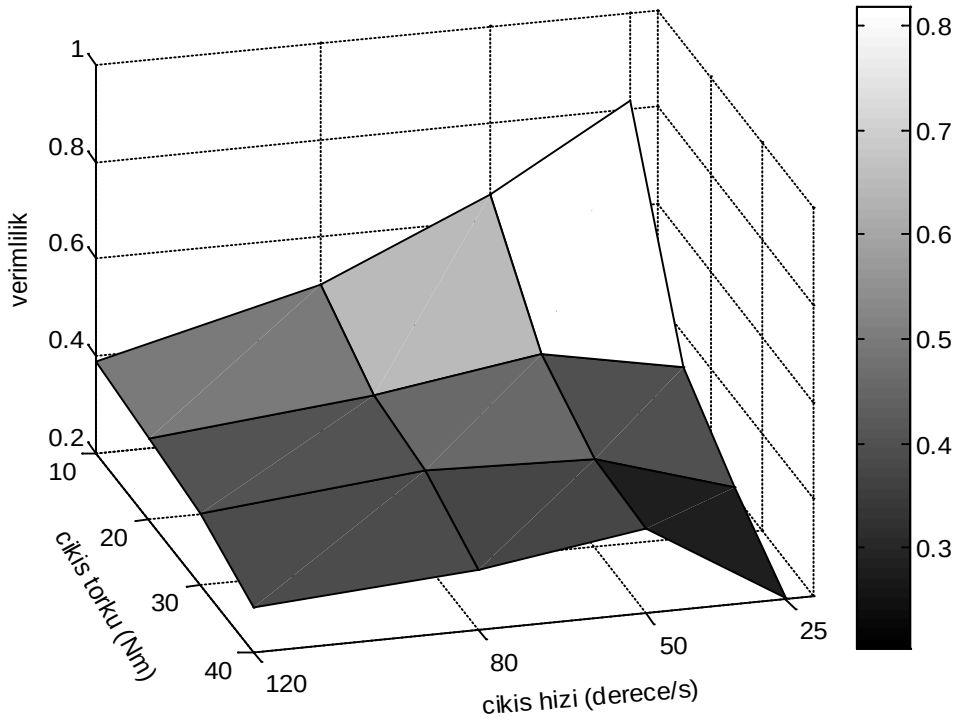
Şekil 3'te pozisyonun eğiminde görülen değişim mekanik boşluk ve direngenlik fenomenleri ile açıklanabilir. Bu şekilde 24,5'inci saniye civarında hızlı değişim dişli kutusu çıkış şaftının mekanik boşluk içerisindeki hareketini göstermektedir. Bu andan önce ve sonra görülen pozisyon değişimi ise dişli kutusu ve yükleme düzeneğinin burulmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak, dişli kutusunun toplam boşluğu 24,5'inci saniye civarında yapılan hızlı hareketin başında ve sonunda kaydedilen pozisyonlar arasında fark alınarak bulunabilir. Buna göre, dişli kutusunun çıkış şaftının her iki yöndeki toplam mekanik boşluğu yaklaşık 0,22° olarak bulunmuştur. Bu değer KTS'nin konumlama hatası gereksinimi göz önüne alınırsa kabul edilebilir düzeydedir.

3.1.2. Verimlilik

KTS'nin güç tüketimi ve kullanılacak motorun belirlenmesinde dişli kutusunun verimliliği önemli bir rol oynar. Farklı çalışma hızı ve torkları için dişli kutusunun giriş gücü baz alınarak verimlilik hesaplanabilir [4-6]. Dişli kutusunun giriş gücü hesaplanırken, KTS motorunun çektiği elektriksel güç, KTS motorunun verimliliği ve gezegen dişli setinin verimliliği göz önüne alınmıştır. Şekil 4'te farklı hız/tork değerlerine göre çizdirilen verimlilik yüzeyi incelenirse verimliliğin en az 0,20 en çok 0,82 olduğu görülebilir.



Şekil 3. Mekanik boşluk testi boyunca torkun yön değişimi sırasında dişli kutusuna uygulanan tork ve θ_{cikis}'in değişimi.



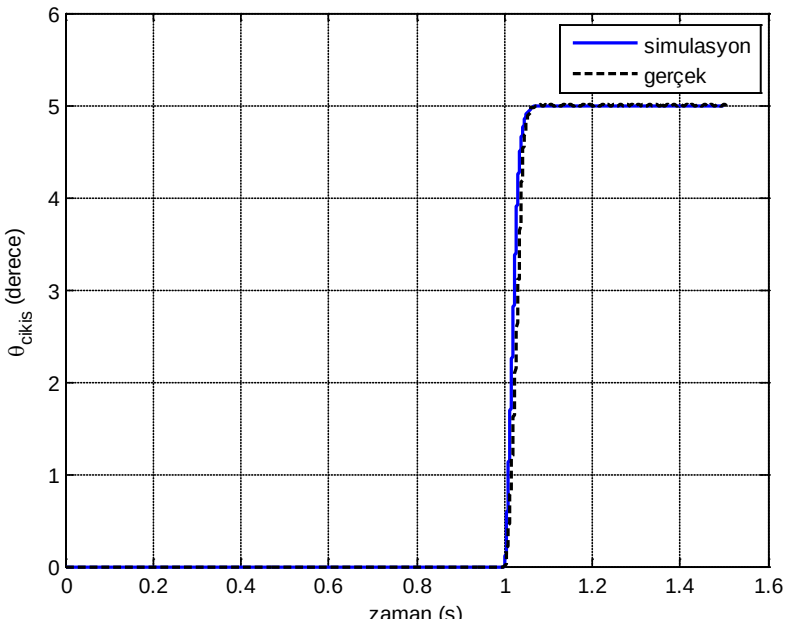
Şekil 4. Dişli kutusunun (10, 40) Nm yük torku ve (25, 120) °/s KY hızında verimlilik yüzeyi.

3.2. BAŞARIM TESTLERİ

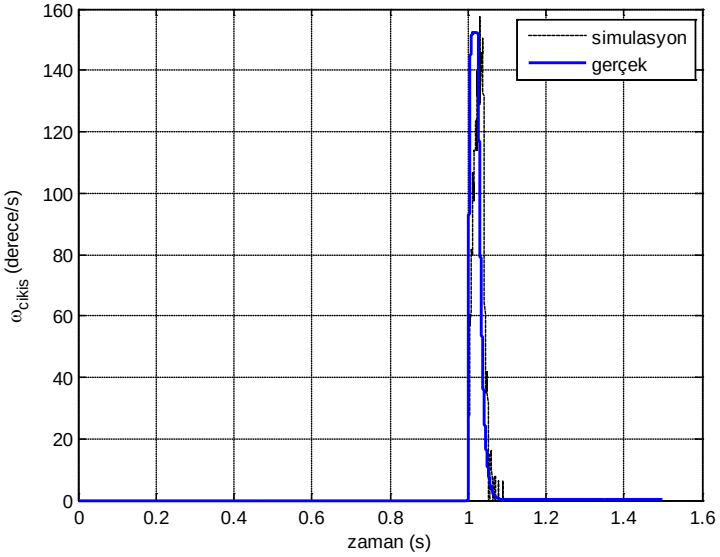
Karakterizasyon testleriyle elde edilen veriler kullanılarak sonsuz vidalı KTS için hazırlanan simülasyon modeli güncellenmiştir. Bundan sonra anlatılan testlerde sonsuz vidalı KTS'nin KTS gereksinimlerini ne ölçüde karşılayabildiğinin bulunmasının yanı sıra, simülasyondan ve gerçek sistemden toplanan veriler arasında karşılaştırma yapılarak KTS simülasyon modeli doğrulanmıştır.

3.2.1. En Yüksek Hız

Bu testte, sonsuz vidalı dişli kutusu mekanizmasını kullanan bir KTS'nin en yüksek hız gereksinimi doğrulanmıştır. Bu gereksinimin doğrulanması için KTS'ye $\theta_{cikis} = 5°$ komutu verilmiştir. Bu komuta simülasyondan ve gerçek sistemden elde edilen KTS cevabı Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Bu cevaplar incelendiğinde simülasyon ve gerçek sistem cevaplarının birbirine oldukça yakın olduğu ve KTS'nin yaklaşık 150°/s hıza ulaştığı görülebilir.



Şekil 5. Basamak komutu cevabı

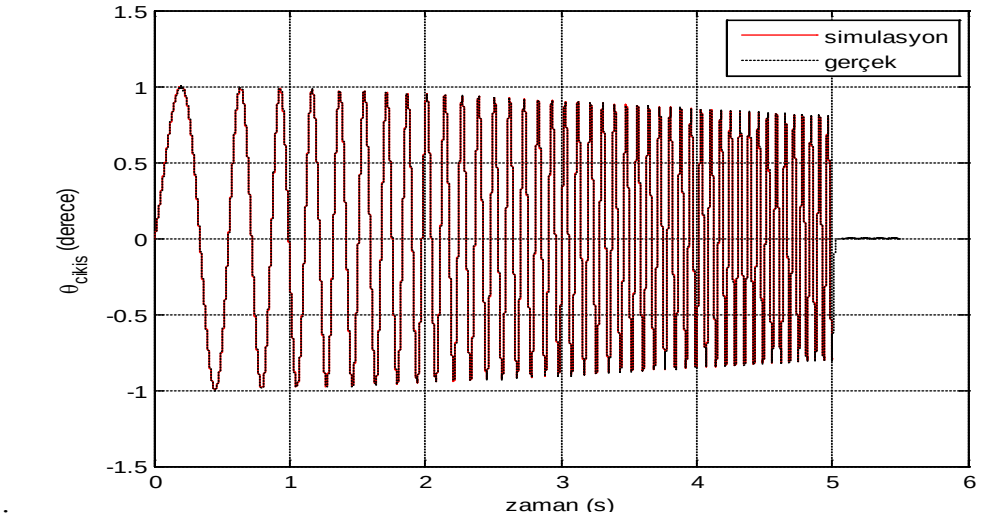


Şekil 6. Basamak komutu cevabında ortaya çıkan hız değerleri

3.2.2. Bant Genişliği

Bu testte, sonsuz vidalı dişli kutusu mekanizmasını kullanan bir KTS'nin bant genişliği gereksinimi doğrulanmıştır. Örnek bir durum olarak KTS'nin en az 15 Hz bant genişliğine sahip olması gerektiği alınabilir. Bu gereksinimin doğrulanması için KTS'ye frekansı 1 Hz'den başlayarak artan ve beş saniye 15 Hz'e ulaşan birim genlikli sinüzoidal komut verilmiştir. Bu komuta simülasyondan ve gerçek sistemden elde edilen KTS cevabı Şekil 7'de verilmiştir. Bu cevaplar incelendiğinde simülasyon ve

gerçek sistem cevaplarının birbirine çok yakın olduğu ve KTS'nin örnek olarak alınan 15 Hz bant genişliğini sağlayabildiği görülmektedir.



Şekil 7. Bant genişliği testi sonucu

4. SONUÇ

Bu çalışmada KTS'lerde sık kullanılan bilyeli vidalı mekanizmaya alternatif olarak geliştirilen sonsuz vidalı dişli kutusunun tasarımı, karakterizasyon ve başarım testleri yapılmıştır. Karakterizasyon testleri sonucunda dişli kutusu verimliliğinin ve çıkış milindeki boşluk değerinin kabul edilebilir değerler içinde olduğu bulunmuştur. Başarım testlerinde bant genişliği ve en yüksek hız gibi başarım isterlerinin karşılandığı tespit edilmiştir. Karakterizasyon testleri sonucunda elde edilen veriler sistem benzetiminde kullanıldığında gerçek sistemle benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Boşluk ve bant genişliği isterleri daha az sınırlayıcı olduğundan, özellikle düşük hızlı füzeler için, bilyeli vidaya göre maliyet ve yerli üretim avantajları bulunan sonsuz vidalı dişli çiftinin KTS uygulamaları için gerçekçi bir alternatif olduğu gösterilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] ANSI/AGMA. 1992. Practice for Enclosed Cylindrical Wormgearspeed Reducers and Gearmotors. ANSI/AGMA 6034-B92. AGMA

[2] Khalil, H. K. (2002), Nonlinear Systems, 3rd Ed., Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, ABD.

[3] Neugart USA. 2001. Gear backlash.

[4] Chase, D. R., (2005), Development of an efficiency test methodology for high speed gearboxes, *Yüksek lisans tezi, Ohio State University, USA*.

[5] Ghandi, P. S., Ghorbel, F. H. ve Dabney, J. B. (2002), Modeling, identification, and compensation of friction in harmonic drives, *Proc. of the 41st IEEE Conf. on Decision and Control*, vol. 1, 160-166.

[6] Tuddle, T. D., Seering, W. P. (1993), Modeling a harmonic drive gear transmission, *Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, vol. 2, 624-629.

DENİZALTI SAVUNMA HARBİ MODELLEME VE SİMÜLASYONU

Deniz Aldoğan([a]), Mehmet Haklıdır([b]), Levent Hakkı Şenyürek([c]), Yasemin Timar ([d]), Semuel Franko([e]), Ömer Eroğlu([f]), Ahmet Faik Güven([g]), Hakkı Murat Genç([h])

TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN Sualtı Teknolojileri Bölümü, TÜBITAK
Gebze Yerleşkesi UEKAE P.K.:21 41470 Gebze / KOCAELI

{deniz.aldogan, mehmet.haklidir, levent.senyürek, yasemin.timar, semuel.franko, omer.eroglu, afaik.guven, murat.genc}@tubitak.gov.tr

ÖZ

Denizaltılar, modern deniz savaşı senaryolarında özellikle asimetrik çatışmalar bağlamında en tehlikeli unsur olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, Denizaltı Savunma Harbi (DSH) yeteneklerinin geliştirilmesi birçok ülkenin bahriyesinin önemli hedefleri arasındadır. Bu alanda, eğitim maliyetini düşürdükleri, riskleri azalttıkları ve çeşitli taktik durumların hızlı denenebilmesini sağladıkları için askeri eğitim amaçlı simulasyon uygulamalarının kullanımı tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Denizaltı Taktik Simülatörü (DATAS) Projesi kapsamında geliştirilen, çeşitli operasyonel koşullarda karmaşık taktiksel durumları simüle edebilecek, DSH maksatlı görevleri otonom olarak icraa edebilen taktik unsurları içeren bir simülasyon yazılımı anlatılmaktadır. Simülasyon kapsamında su üstü gemileri, denizaltılar, deniz karakol uçakları ve helikopterler yer almaktadır. Bu platformlar çeşitli sensörler, silahlar ve akustik karşı tedbir sistemleri yetenekleri ile donatılmıştır. Hedef unsurlar, noktaya intikal, görev planlaması gibi temel işlevlerin dışında arama, tespit, angajman gibi gelişmiş karmaşık görevleri de bireysel ya da birlikte otonom olarak gerçekleştirebilmektedir. Aynı zamanda karadan sakınma, denizde çatışmayı önleme, torpido hücumundan sakınma gibi refleksif davranışları da bireysel ve toplu olarak gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, senaryo hazırlama ve bilgisayar tarafından üretilmiş olan kuvvetlerin (Computer Generated Forces-CGF) benzetimi için ticari bir uygulama çatısı olan VR-Forces altyapısı özelleştirilerek kullanılmıştır. Platformların yeteneklerini gerçeklemek için geliştirilen yazılım modülleri, bu altyapıdaki CGF simülasyon motorunun bileşen mimarisine entegre edilmiştir. Sonuçlar, platformların en zor koşullarda bile gerçekçi davranış sergilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Denizaltı Savunma Harbi, Modelleme, Simülasyon, Sanal Kuvvetler

MODELING AND SIMULATION OF ANTI-SUBMARINE WARFARE

ABSTRACT

Submarines continue to be the most dangerous entity in modern naval war scenarios, especially in asymmetrical war. For this reason, improvement of Anti-Submarine Warfare (ASW) capabilities is among the most crucial aims of many countries. In this area, utilization of military training-critical simulation applications is widely preferred due to reduction of training costs and risks as well as fast experimentation of various tactical situations. In this study, a simulation software, which can simulate complex tactical situations in several operations and which involves tactical entities that can execute ASW commands autonomously, is explained. Surface, submarine, rotary wing and fixed wing platforms are modeled in the current simulation system. These target platforms are equipped with various sensors, weapons and acoustic precaution systems. Target platforms can realize basic tasks such as moving towards a waypoint or along a path as well as complex tasks such as search and engagement autonomously both individually or in groups called as convoys. In addition, they can also display reflexive behaviours such as land, entity or enemy/torpedo avoidance. For managing scenario preparation and simulating Computer Generated Forces (CGF), the VR-Forces infrastructure, a commercial application framework, has been customized. Custom software modules for realizing the capabilities of the platforms have been integrated into the component architecture of the CGF simulation engine in this infrastructure. Results indicate that platforms exhibit realistic behaviour even in difficult conditions.

Keywords: Anti-Submarine Warfare, Modeling, Simulation, Virtual Forces

1. GİRİŞ

Askeri tatbikatların genel olarak mürettebat eğitimi amacıyla rahatça kullanılmak için çok pahalı olmaları nedeniyle sanal askeri eğitim simülasyon uygulamaları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu askeri uygulamalarda, azaltılmış çalışma zamanı, coğrafi dağılım ve farklı donanım platformlarında çalışan simülatörlerin entegrasyonu gibi imkanlar sağlayan dağıtık simülasyon altyapısı tercih edilmektedir.

Eğitim amaçlı askeri simülasyonlarda bir simülasyon bileşenine atanabilecek en önemli görevlerden biri de ordu kuvvetlerinin modellenmesi ve benzetimi işlevlerinin gerçekleştirilmesidir. Yüksek sadakat gereksinimi olan askeri simülasyonlarda bilgisayar tarafından üretilmiş sanal kuvvetlerin (Computer Generated Forces – CGF) davranışlarının gerçeklenebilmesi için gerçekçi model ve kontrollerin kullanılması gerekmektedir. Bunların yanısıra, taktik simülasyonlarda senaryo hazırlama imkanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, simülasyonlarda farklı altyapılarda gerçeklenmiş

simülatörlerin beraber çalışması için gerekli entegrasyonun da sağlanması önemli bir diğer zorunluluktur. Bu entegrasyon, sistemin kontrol mimarisi için zorluk oluşturabilmektedir. Karmaşık bir dağıtık askeri simülasyon geliştirilirken zaman ve iş gücü kazanmak amacıyla ticari bir uygulama çatısı kullanılabilir. Bir çok ticari araç temel CGF ve senaryo yönetimi kabiliyetlerine imkan vermektedir. Fakat bu araçlar her zaman farklı altyapılarda üretilmiş simülatörlerin yönetimi için bir kontrol mimarisi sunamayabilirler. Buna ek olarak, ileri dinamik davranışları veya kara yada diğer hedef platformlardan sakınma gibi diğer yetenekleri olan yüksek sadakatli platformların bulunduğu karmaşık askeri bir sistemin ihtiyaçlarını karşılayamayabilirler.

Bu çalışmada amaç, çeşitli yüksek sadakatli platformların bulunduğu, ticari bir CGF aracına entegre edilmiş olan ve geliştirilmesi halen devam etmekte olan bir simülasyon sisteminin genel bir özetini yapmaktır. Bu platformlar karmaşık hareket denklemleri yanısıra rota takibi ve hız kontrolü için bulanık kontrolcüler kullanarak çeşitli görevler gerçekleştirirken paralelde karadan sakınma ve denizde çatışmayı önleme davranışları sergileyebilmektedirler. Bu çalışmadaki simülasyon sistemi, genel olarak algoritmik davranışlardan sorumlu olan ve ticari altyapıdan bağımsız olarak geliştirilmiş simülasyon uygulamalarının entegrasyonunu gerektirmektedir. Bu simulatörler, ticari bir uygulama kullanmanın maliyetinden kaçınmak ve tekrar-kullanılabilirlik açısından bu simülasyon sistemi için geliştirilmiş orijinal bir altyapı kullanılarak gerçeklenmiştir. Bu nedenle, hem ticari hem de orijinal altyapı kullanan simülatörleri içeren entegre bir simülasyon sistemi gerçeklenmektedir. CGF ve senaryo yönetimi araçları, VR-Forces adlı ticari bir uygulama çatısı kullanılarak gerçeklenmiştir. Bir diğer deyişle, VR-Forces simülasyon motoru, bu çalışma kapsamında bilgisayar tarafından üretilen sanal kuvvetlerin yönetimi için özelleştirilmiştir.

Bu çalışmada, su-üstü, denizaltı, döner kanatlı ve sabit kanatlı platformlar için kullanılan yüksek sadakatli hareket modelleri VR-Forces'dan bağımsız birer C++ modülü olarak hazırlanmış ve özelleştirilmiş VR-Forces sınıflarına üye değişken olarak tanımlanmışlardır. 2. bölümde VR-Forces altyapısını kullanan simülasyon mimarisi ele alınmıştır. 3. bölümde yüksek sadakatli platform modellerinin simülasyon mimarisine entegrasyonu anlatılmıştır. 4. bölümde hedef platformların sensör ve silahlarının simülasyon mimarisine entegrasyonu anlatılmıştır. 5. bölümün konusu ise taktik ortam simülasyonu ve yapay zekadır. 6. bölümde mevcut çalışmadaki denizaltı savunma harbi yetenekleri sunulmuştur. 7. bölümde HLA-uyumlu federasyon entegrasyonu konu edilmektedir.

2. SİMÜLASYON MİMARİSİ

VR-Forces, taktik simülasyonlarda gerekli olan senaryo hazırlama imkanlarının sunulduğu kullanıcı arayüzü ve bilgisayar tarafından üretilen kuvvetlerin (Computer Generated Forces - CGF) benzetiminin yapıldığı arka uygulama olarak ayrılabilen

araçlara sahip ticari bir uygulama çatısıdır. Bunlardan ilki, senaryo yönetimi ve koşum kontrol imkanlarını sağlar. Bu sayede simülasyon koşumu için gerekli taktik ortam, nesne, görev ve plan bilgileri hazırlanıp kaydedilir. Ayrıca, bu arayüz kullanılarak koşum esnasında taktik resmin görüntülenmesi ve koşuma müdahale imkanları da sağlanır. CGF benzetimi gibi hizmetler için geliştirilen arkaplan uygulaması ise, benzetimi yapılan nesnelerin oluşturulup, silinmesi, özelliklerinin değiştirilmesi, simülasyondaki diğer federelere yayınlanması, bu federelerden gelen uzak nesne bilgilerinin alınması ve kaydedilmesi, yerel nesnelere ait görev, plan ve modellerin işletilmesi işlemlerini gerçekleştirmektedir.

VR-Forces‘ ın protokolden bağımsız (HLA veya DIS) olarak dağıtık simülasyon ortamında çalışmasını sağlayan VR-Link ürünüdür. VR-Link, RTI servisleri ve RPR-FORM kullanarak taktik simülasyon için gerekli olan simülasyon bileşenlerinin ve mesajlarının ağda birden fazla federe tarafından kullanılmasını sağlamaktadır. VR-Forces’ın özelleştirilmesi ile geliştirilen bir taktik simülatör için RPR-FOM ‘a eklenecek nesne, öznitelik, etkileşim ve parametreler için VR-Link in kullanabileceği kodlayıcı ve çözücü sınıfları yazılması VR-Link programlama arayüzü ile kolaylıkla yapılabilmektedir.

VR-Forces uygulamaları iletişim ve koordinasyon servislerinin sağlanması için RTI (Run-Time Infrastructure) kullanmaktadır. VR-Forces uygulama geliştiricilerini DIS veya HLA tabanlı simülasyonlarda mimari detaylardan uzak tutabilmek için VR-Link izolasyon katmanı geliştirilmiştir. VR-Forces altyapısında bulunan orijinal su-üstü ve denizaltı platformların yeterli derecede sadakatli hareket modelleri veya karadan sakınma davranışları gibi gerçekçi davranışları yoktur. VR-Forces mimarisi ile ilgili detaylara [1,2]’den ulaşılabilir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen yüksek sadakatli hareket modellerine sahip hedef platformların davranışları, VR-Forces adlı ticari bir uygulama çatısı kullanılarak entegre edilmiştir. Bir diğer deyişle, VR-Forces simülasyon motoru, bu çalışma kapsamında bilgisayar tarafından üretilen sanal kuvvetlerin yönetimi için özelleştirilmiştir. Bu çalışmada, platformlar için kullanılan yüksek sadakatli hareket modelleri VR-Forces’dan bağımsız birer C++ modülü olarak hazırlanmış ve özelleştirilmiş VR-Forces eyleyici sınıflarına üye değişken olarak tanımlanmıştır.

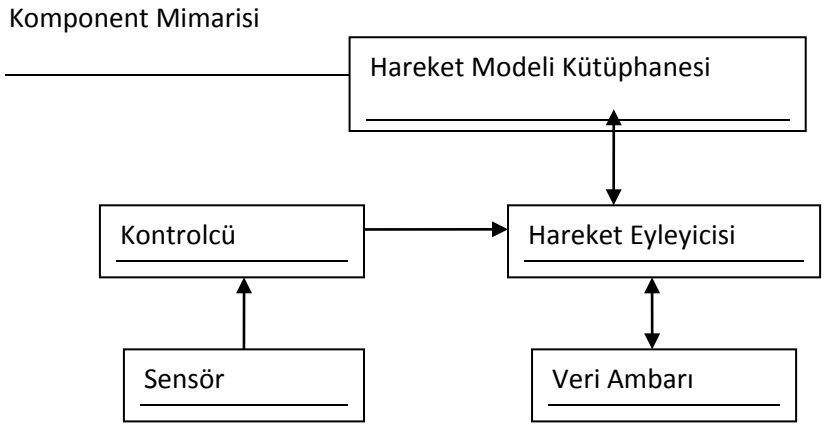
3. YÜKSEK SADAKATLİ PLATFORM MODELLERİNİN SİMÜLASYON MİMARİSİNE ENTEGRASYONU

Bu çalışmada suüstü gemilerin, denizaltıların, döner kanatlı ve sabit kanatlı platformların 6 serbestlik dereceli hareketleri göz önüne alınmıştır. Hareket modelleri, rüzgar, akıntı, mevsim değişikliği, sabah-akşam farkı gibi çevresel koşulları göz önüne alarak, hidrodinamik kuvvet ve momentleri kullanmıştır. Koordinat düzlemleri, hareket

denklemleri ve platformlara etkiyen kuvvet ve momentler ile ilgili detaylı bilgilere [3, 4 ve 5]'de yer verilmiştir.

Hareket modellerinin yazılım birimlerinin arka plan uygulaması olan simülasyon motoruna entegrasyonu, VR-Forces'ın komponent mimarisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu mimariye göre her nesnenin sahip olabileceği 3 farklı tipte komponent bulunmaktadır. Sensörler, kontrolcüler ve eyleyiciler. Sensörler nesnenin çevresindeki ortamla ilgili bilgileri almasını sağlar. Kontrolcüler arayüzden gelen görev bilgilerini alarak nesneyi atanan görev için yönlendirir. Örneğin senaryodan nesneye belirli bir rotada gitme görevi geldiğinde, bu görev için özelleşmiş olan kontrolcü gidilmesi istenen rotaya yönelmeyi sağlayan verileri hesaplayarak eyleyici komponente aktarır. Eyleyici komponent, ilgili kontrolcü verilerini düzenler, düzenli olarak hareket modelini çalıştırır ve model çıktılarına göre nesnenin konum, hız vb. verilerini günceller. Her nesne aynı anda bir veya birden fazla sayıda komponent kullanabilir. Komponent yöneticisi o sırada kullanılan komponentleri belirli aralıklarla çalıştırarak (*tick*leyerek) sonuç üretmelerini sağlar. Çalıştırma sırası sensörler, kontrolcüler ve eyleyiciler şeklindedir.

Bu askeri simülasyon sisteminde nesnelerin hareketleri yüksek sadakatli hareket modelleri ile yönetilmektedir. Hareket modelleri VR-Forces'dan bağımsız olarak C++'da yazılmış yazılım öğeleri olarak geliştirilmiştir. Bu öğeler daha sonra VR-Forces komponent mimarisine entegre edilmiştir. Her platform tipi için entegrasyon aşağıdaki adımlar ile gerçekleştirilmiştir: 1) VR-Forces'ın orijinal eyleyici sınıfından platforma özel (örneğin suüstü gemisi) eyleyici türetildi. 2)Nesnenin anlık hareket verilerine ve emredilen görev parametrelerine göre bir sonraki adımdaki verilerini hesaplayan bir modül hazırlandı. 3)Nesne davranışını algılamak için gerekli bir modül, ilgili eyleyici sınıfa üye değişken olarak eklendi. 4)Eyleyici sınıfın esas döngüsü değiştirilerek platformun hız, konum vb. verilerinin her koşum adımında güncellenmesi sağlandı.



Şekil 1. Hareket Modelinin VR-Forces Mimarisine Entegrasyonu

Şekil 1'de yüksek sadakatli hareket modelinin VR-Forces mimarisine entegrasyonu gösterilmektedir. Hareket modeli hariç şekildeki diğer bileşenler, VR-Forces komponent yapısından türetilmiştir.

Bu çalışmadaki bazı nesnelerin hareket modellerinin kontrolünde kullanılmak üzere, uzman personel davranışına benzer davranışı elde edebilmek için bulanık mantıklı kontrolcü (BMK) kütüphanesi geliştirilmiştir. Bu kütüphane gemilerin alt seviyeli hız ve rota kontrolleri ile gerektiğinde daha üst seviyedeki formasyon kontrolünü gerçekleştirmektedir.

Rota kontrolü için çok-girişli-tek-çıkışlı PD (orantısal-türevsel) tipinde bir BMK, hız kontrolü için de çok-girişli-tek-çıkışlı PI (orantısal-integral) tipinde BMK kullanılmıştır. Kontrolcü girişi olarak pruva yönü veya hızın emredilen değer ile olan farkı, farkın türevi veya integrali kullanılmıştır. Giriş ve çıkışlar Negatif-Büyük (NL), Negatif-Orta (NM), Negatif-Küçük (NS), Sıfır (Z), Pozitif-Küçük (PS), Pozitif-Orta (PM) ve Pozitif-Büyük (PL) olarak dilbilimsel değişkenler ile ifade edilmiştir. Girişlerde üyelik fonksiyonu olarak simetrik üçgenler, çıkışlarda ise tekli (singleton) üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. BMK için 49 kural tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Bulanık Mantıklı Kontrolcü için Kural Tablosu

Δe/e	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PL	PL	PL
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PL	PL
Z	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NS	NL	NL	NM	NS	Z	PS	PM
NM	NL	NL	NL	NM	NS	Z	PS
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z

Tasarlanan BMK'ler, klasik PD ve PI kontrolcüler ile en zorlu şartlarda karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuçlar, geliştirilen kontrolcülerin her koşulda PD'den üstün olduğunu göstermiştir. Daha detaylı açıklamalara [6]'da yer verilmiştir.

4. SENSÖR VE SİLAHLARIN SİMÜLASYON MİMARİSİNE ENTEGRASYONU

Simülasyon sistemlerinde ilgili platformlar görevlerini yerine getirirken ve kararlar alırken sensör bileşenlerinin önemli bir katkısı vardır. Bu çalışmada aktif ve pasif sonarlar başta olmak üzere gerçek sistemlerde kullanılan tüm sensörlerin simülasyonu yapılmıştır.

Akustik olarak ortamda doğal ve trafik sesle işletmenin kendi sesleri vardır. Bunun yanında her bir platformun pervanesinden çıkan seslerin oluşturduğu gürültüler söz konusudur. Bu gürültüler simülasyonda RTI aracılığıyla CGF'e yollanır. Ve platformdaki her bir nesne için ilgili gürültüler simülasyondaki ilgili platform tarafından

değerlendirilmeye alınır. Bunun yanında simülasyondaki akustik transmisyonu sağlayan ve bunun sonuçlarını ilgili platforma sağlayan ayrı bileşenler de vardır.

Gerçek hayatta kullanılan her bir sensör bileşeni, platformlar için ayrı birer yazılım modülü olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen simülasyon sisteminde platformların doğru karar verebilmesi ve gerçekci bir hareket sergileyebilmesi için geliştirilen sensör modelleri ana yazılıma entegre edilmiştir. Bu modeller, tekrar kullanabilirlik ve gerektiğinde iyileştirmeler yapılabilmesi açısından ayrı modüller olarak entegre edilmiştir.

Benzer şekilde platformlara ait silah bileşenleri de ayrı birer yazılım modülü olarak geliştirilip platformun simülasyonuna entegre edilmiştir. Geliştirilen bu sensör ve silah bileşenleri VR-Forces mimarisine uygun birer komponent olarak simülasyona entegre edilmiştir.

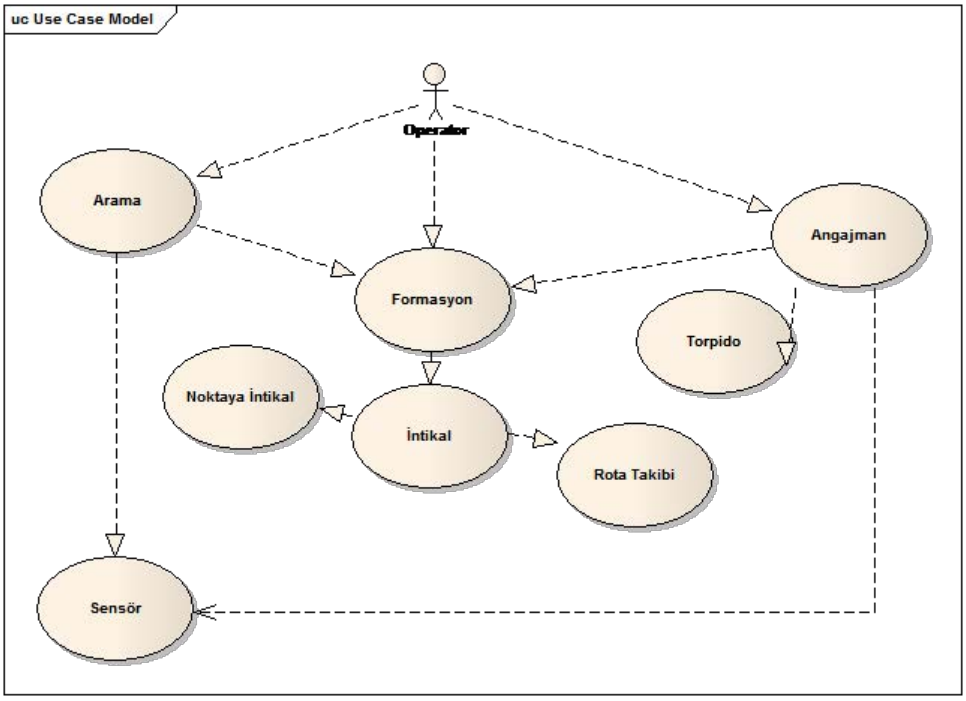
5. TAKTİK ORTAM SİMÜLASYONU VE YAPAY ZEKA

Modelleme ve simülasyon teknolojilerinin askeri alandaki kullanımı özellikle eğitim ve analiz amaçlı uygulamalar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Harp oyunlarında bilgisayarca oluşturulan sanal kuvvetler (CGF) aracılığı ile taktik ortam yaratılması ve bu ortamda yer alan unsurların sahip olduğu sensör ve silah yetenekleri ile savaş uzayını oluşturması, 1980'lerin sonlarında ciddi bir şekilde ele alınmaya başlanmış ve günümüze kadar önemli bir süreçten geçmiştir. Bilgisayarca oluşturulan sanal kuvvetlerin (CGF) gelişimi 5 safhada incelenebilir.[7],[8]. Birinci nesil bilgisayarca oluşturulan sanal kuvvetler, (CGF) kendileri için oluşturulmuş olan senaryoları davranış modeli olmaksızın, basit şekilde gerçeklemektedir. İkinci nesil sistemler, senaryo bütününü değiştirmeyecek basit davranış modellerine sahiptir. Rotalar ve yollar kullanıcı tarafından önceden veya senaryo sırasında belirlenir ve etkileşimler de ancak bunlar üzerinde olabilir.[8] Üçüncü nesil sistemler, önceden planlanmış, kural veya durum tabanlı modüllerden oluşan görevleri uygularlar. Bu sistemlerde, görevler arası bir hiyerarşi mekanizması yer almaktadır ve bu görevler paralel ya da seri uygulanarak, karmaşık görev ve davranışların oluşturulmasını sağlarlar. Dördüncü nesil sistemler, gelişmiş üçüncü nesil sistemler üzerinde otonom komuta kontrol süreçlerine sahip sistemlerdir. Beşinci nesil sistemler ise amaç seçimi ve öğrenme gibi yeteneklere sahiptir.[7],[8]

Bu çalışma kapsamında gerçeklenen sistem üçüncü nesil sistem yeteneklerine sahiptir. Komuta kontrol süreçlerinde refleksif birkaç durum dışında (karadan sakınma, hedef-hedef sakınma…) karar mekanizması operatördür. Operatör, icraa edilmesini istediği görevde yer alacak unsurları, bu unsurların silah ve sensör yeteneklerine ve parametrelerine, görevin icraa edileceği bölge, yol ve güzergahlara simülasyon koşumdan önce veya simülasyon koşumu sırasında karar verebilmekte, görev

verildikten sonra görevin icraası seçilen parametrelere ve davranış modellerine uygun şekilde otonom olarak gerçekleştirilmektedir.

Davranışlar, görev çerçevelerine yerleştirilmiş ve bu çerçeveler de öteki görev çerçevelerine oturtulmuştur. Ana amaçlar böylece bir görev hiyerarşisinden meydana gelmiştir. Bu şekilde, karmaşık görev ve davranışların oluşturulmasını kolaylaştırmak hedeflenmiştir. İlgili hiyerarşi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Görev ve davranış Hiyerarşisi

6. DENİZALTI SAVUNMA HARBİ (DSH) YETENEKLERİ

Geliştirilen eğitim simulatörünün amacı, mümkün olduğunca gerçekçi koşullarda taktik eğitimin sağlanması olduğu için, modellenen hedef platformlara DSH yetenekleri de kazandırılmıştır. Platformlar tarafından uygulanan DSH görevleri ilgili NATO neşriyatlarına ve uygulamalara uygun olacak şekilde belirlenmiştir.

DSH genel olarak çok sayıda platformun koordineli davranışını gerektirmektedir ve DSH taktikleri genellikle görev birlikleri tarafından uygulanmaktadır. Bu nedenle suüstü ve döner kanatlı platformlar ile görev birliği oluşturma DSH kapsamındaki davranışların temelini oluşturmaktadır.

Çalışmamızda, suüstü platform modelleri, lider platform olarak belirlenen bir platformu bulanık mantık kontrol aracılığıyla belli kerteriz ve mesafe değerleri ile takip ederek farklı formasyonlarda görev birlikleri oluşturabilmektedirler.

Benzer şekilde hem suüstü platform, hem de döner kanatlı platform modelleri lider platforma göre tanımlanan perde sektörlerinde perdeleme gerçekleştirebilmektedirler.

Döner kanatlı platformların perdeleme davranışını gerçekleştirebilmeleri için gerekli daldırmalı sonar modelleri de çalışmamız kapsamında geliştirilmiştir. Ayrıca döner kanatlı platformlar için yakıt tükenmesi, üsse inip kalkma ve yedekleme durum ve davranışları da simulasyon gerçekçiliğini artıracak şekilde modellenmiştir.

Simulasyon kapsamında, döner kanatlı ve suüstü platform modellerinden oluşturulan görev birlikleri tarafından formasyon ve perdeleme yetenekleri ile tanımlanan toplu intikal davranışı dışında yine DSH içinde yer alan toplu arama ve angajman davranışları da gerçekleştirilebilmektedir.

Toplu arama, aranılan platformun bulunduğu düşünülen bir noktanın çevresinde sektör paylaşımları ile yapılabildiği gibi, azami kapsamayı sağlayacak formasyon ve manevralarla belli bölgelerin taranması şeklinde de gerçekleştirilebilmektedir.

Benzer şekilde, tespite veya belli bir hattın suüstü ve döner kanatlı platformlar tarafından savunulmasına yönelik angajman davranışları da modellenmiştir.

Birlik görevlerinin dışında platform modelleri temas koruma ve sonoboy döşeme gibi tekli görevler üstlenebildikleri gibi, tekil olarak da bölge veya koordinat araması gerçekleştirebilmektedirler. Tekil görevler birlik görevlerinden farklı olarak denizaltı ve sabit kanatlı platform modelleri için de tanımlanmıştır.

Çalışmamızda, platformların otonom hareketleri literatürde yapılan benzer çalışmalara [9,10,11] uygun olarak davranış temelli hiyerarşik bir kontrolcü yapısı ile gerçekleştirilmektedir. Bu yapıda platform taktik görevleri birer davranış olarak tanımlanmaktadır. Aynı platform için tanımlanan sakınma (karadan sakınma, kaçınma manevraları, zig manevraları) ve denizde çatışmayı önleme davranışları bu taktik görev davranışları ile birlikte ağırlıklı ortalamaların alınması veya önceliklendirme yoluyla bir arada yürütülerek zeki platform hareketi modellenmektedir.

DSH kapsamındaki görevler, göreve özel parametrelerin girilmesi ve göreve katılacak platformların seçilmesi ile operatör tarafından tanımlanır ve görev emri verildikten sonra otonom olarak uygulanır. Bu görev davranışları belli bir noktaya intikal gibi daha basit davranışlardan farklı olarak çok fazlı davranışlar olarak tanımlanmıştır. Her fazda basit görev davranışlarının göreve/faza özel parametrelerle uygulanması ve faz geçişlerinin taktik durum göz önünde bulundurularak belirlenmesi ile karmaşık DSH taktik görevleri/davranışları gerçekleştirilebilmektedir. Uygulamadaki DSH taktiklerinin gerçekleştirilebilmesi için belli bir koordinata intikal, belli bir yönelimle intikal ve formasyon halinde intikal temel davranışlarının kullanılması yeterli olmuştur. Formasyon davranışı için lider takibi yöntemi tercih edilmiş, gerektiğinde sanal önder yaklaşımı uygulanmıştır.

7. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, yüksek sadakatli hareket modellerine, sensör ve silahlara sahip platformların simülasyon ortamına entegrasyonu sağlanmıştır. Bu platformların aynı zamanda refleksif-otonom davranışları da simülasyon ortamnda sergilenmiştir. Platformların denizaltı savunma harbi yetenekleri başta olmak üzere gerçekleştirebildikleri bir çok görev ve yetenekler, simülasyon ortamında başarılı ve gerçeğe uygun bir şekilde ve standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

8. KAYNAKÇA

[1] VR-Forces Developer's Guide, MAK Technologies, 2006. Chapter 2, The VRForces Simulation Engine, Chapter 5,Creating New Components, Chapter 10, The VR-Forces Remote Control API.

[2] VR-Forces The Complete Simulation Toolkit. MAK Technologies. Available from http://www.mak.com/products/vrforces.php [accessed 11 April 2011]

[3] Haklidir, M., Aldogan, D., Tasdelen, I., 2008. High Fidelity Modeling and Simulation of Surface Platforms in a Computer Generated Forces Toolkit, SUMMERSIM 2008, Edinburgh, Scotland.

[4] Franko, S., Koksal, S., Haklidir, M., 2009. Modeling, Simulation And Control Of Rotary Wing Platforms In A Computer Generated Forces Toolkit, The Industrial Simulation Conference ISC 2009, Loughborough, United Kingdom, 1-3 June 2009

[5] Haklidir, M., Guven, A. F., Eroglu, O., Aldogan, D., Tasdelen, I., 2009. High Fidelity Modeling and Simulation of Submarine in a Commercial Computer Generated Forces Toolkit, The Society for Modeling & Simulation International [SCS] 2009 Summer Computer Simulation Conference (SCSC'09), Istanbul, Turkey, 13-16 July 2009.

[6] Senyurek, L., Koksal, S., Genc, H.M., Aldogan, D., Haklidir, M., 2008. Implementation Of Fuzzy Control For Surface Platforms In A Computer Generated Forces Toolkit, International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation (CIMCA08), Vienna, Austria, 10-12 December.

[7] Pratt, D.R. (1996). "Next Generation Computer Generated Forces." Proceedings of the Sixth Computer Generated Forces and Behavioral Representation. s. 3-8.

[8] Koçabaş, Ş., Öztemel, E.,(1998), "Harp Oyunlarında Yapay Zeka Uygulamaları", TSK-MODSİM, Modelleme ve Simülasyon Konferansı, 1-3 Nisan 1998. Kara Harp Okulu, Ankara.

[9] Michael R. Benjamin, Henrik Schmidt, Paul M. Newman ve John J. Leonard (2010), Nested Autonomy for Unmanned Marine Vehicles with MOOS-IvP, Journal of Field Robotics 27(6), 834–875.

[10] P. Krishnamurthy ve F. Khorrami (2011), A Hierarchical Control and Obstacle Avoidance System for Unmanned Sea Surface Vehicles, 50th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC)

[11] Aveek K. Das, Rafael Fierro, Vijay Kumar, James P. Ostrowski, John Spletzer ve Camillo J. Taylor, A Vision-Based Formation Control Framework, IEEE Transactions on Robotic and Automation, Vol. 18, No. 5

DAĞITIK BENZETİM ORTAMLARINDA BENZETİMİN TEKRAR OYNATILMASINA FARKLI BİR BAKIŞ

Özcan Kurubaş [(a)], Burak Çağrı Okur [(b)], Ümit Özkan [(c)], Melike Gürbüz [(d)], Nurşen Sarı [(e)]

[(a, b, c, d, e)] TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN, Gebze 41470 Kocaeli, (ozcan.kurubas, burak.okur, umit.ozkan, melike.gurbuz, nursen.sari)@tubitak.gov.tr

ÖZ

Benzetim sistemleri, gerçek hayatta oluşturulması zor durumların sonuçlarını öngörebilmek açısından oldukça önemlidirler. Bu açıdan gerçek hayat ile karşılaştırıldıklarında kazançları rahatlıkla görülebilmektedir. Ayrıca, benzetim mimarisinin dağıtık olarak kurgulandığı durumlarda, tekrar oynatma işlevinin tasarımı da ayrı bir öneme sahiptir ve çeşitli zorluklar içermektedir. Bu zorluklar, rassal değişimlerden veya dağıtık kaynakların bir araya getirilmesinin zorluğundan kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle, benzetim esnasında üretilen verilerin saklanması zorunlu duruma gelmektedir. Ayrıca dağıtık sistemler, donanımlar açısından zengin bir ortam gerektirdiğinden, verilerin daha az kaynak gerektiren ortamlarda da kullanılması etkinlik açısından oldukça önemlidir. Bu bildiride, dağıtık bir benzetim sisteminde kullanılan, benzetim boyunca verilerin toplanarak sonrasında bu verilerin analiz/tekrar oynatılmasına yönelik oluşturulan bir altyapı aktarılmaktadır. Bu tür veri toplama/kullanma işlemlerinde önemli olan kıstaslar, benzetim sürecine olan etkilerini azaltmak, mevcut sistemleri fazla değiştirmeden kullanılabilmek ve benzetim süresi ile tekrar oynatma süresinin eşzamanlılığını sağlayabilmektir. Geliştirilen altyapı, benzetim esnasında üretilen verilerin belirlenen bir zaman sıklığında ve üretildikleri sırada saklanmasını sağlamaktadır. Saklanan veriler, bileşenlerin o anki durumlarını içerdiğinden görselleştirme ortamı bu tür veriler ile kolaylıkla benzetim esnasındaki gibi beslenebilmektedir. Ayrıca bazı verilerin yardımcı dosyada saklanması ile görselleştirme kısmı taşınabilir yapılabilmektedir. Altyapı sayesinde yeniden oynatma durdurulabilmekte ve çeşitli hızlar ile yeniden kaldığı yerden başlatılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık Benzetim, HLA1516, Kayıt ve Yeniden Oynatma, Veri Görselleştirme, Benzetim Veri Dosyaları.

A DIFFERENT VIEW FOR REPLAYING SIMULATION IN DISTRIBUTED SIMULATION ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Simulation systems are very important tools for predicting the results of scenarios that would be hard to setup in real-life. Their benefits are clear especially when implications in the real life considered. Furthermore, in cases where distributed simulation systems are implemented, the design of the "replay" function becomes more important and involves additional difficulties. These difficulties arise from the challenges involved in random changes and in bringing together the distributed sources. Because of this, it becomes necessary to store the data generated during the simulation. Besides, as the distributed systems require rich hardware resources, it is very important for the simulation data to be also used with less hardware resources in terms of effectiveness. In this work, we will present an infrastructure for distributed architectures, where data generated during simulation is stored and used for analysis/replay purposes. The important criteria for this type of data storing/usage processes are the minimization of the effect to simulation's run itself, using the existence system with minimum change requirement and synchronization of simulation and replay times. The developed infrastructure ensures that the data generated during simulation are stored in a predetermined time period and in sequence of generation. As the stored data include the current status of the simulation components, the graphical user interface can be easily fed with the stored data which is a simulation run time counterpart. Additionally, by storing some of the backup files, the visualization capability can be made portable. By means of this infrastructure developed, replay function can be paused and resumed with different simulation speeds.

Keywords: Distributed Simulation, HLA1516, Recording and Replaying, Data Display, Data files of simulation.

1. GİRİŞ

Dağıtık benzetim sistemleri gerçek hayatta oluşturulmaları zor ve çeşitli durumları simüle etmek açısından oldukça önemlidirler. Bu açıdan gerçek hayat ile karşılaştırıldıklarında sağladıkları fayda kolaylıkla görülebilmektedir. Fakat benzetim ortamlarında da tekrarlanması zor durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bu tür zorluklar, sistemin kurgusu gereği rassal değişimlerden dolayı olabileceği gibi dağıtık biçimde yer alan kaynakların çalıştırılıp bir araya getirilmesinin zorluğundan da kaynaklanabilmektedir. Bu sebeplerden dolayı benzetim esnasında üretilen ve gerekli olduğu düşünülen tüm verilerin bir şekilde saklanması ve geçen zaman içinde yeniden oynatılması veya analizi kritik bir önem arz etmektedir. Dağıtık sistemler donanımlar

açısından zengin bir ortam gerektirdiğinden, üretilen verilerin bu tür ortamlardan yalıtılmış daha az kaynak gerektiren ortamlarda da kullanılması oluşturulacak çözümler için önem arz etmektedir. Kaynak ve zaman kritik çözümler için, oluşturulacak altyapının taşınabilir olması bir tercih sebebi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür veri toplama ve kullanma işlemlerinde kritik bir diğer husus ise, işlemlerin benzetim sürecini etkilememesi ve mevcut sistemleri çok fazla değiştirmeden kullanılabilmeleridir.

Bu bildiri kapsamında, HLA1516 [1-2] tabanlı dağıtık bir benzetim sisteminde kullanılan, benzetim boyunca ilgili verilerin toplanmasına ve benzetim sonrasında toplanan bu verilerin yeniden oynatılması ve analizine yönelik oluşturulan bir altyapı aktarılmaktadır. Kaydedilen veriler bir takım dönüştürme işlemleri ile saklama ortamına yani bir dosya ya da veritabanına aktarılmaktadırlar. Son olarak ise istendikleri takdirde analiz ve tekrar oynatma amaçları ile geri çağrılmaktadırlar. Geri çağırma ve yeniden yükleme işlemleri kullanılacak altyapıya göre değişiklik göstermekle birlikte, yüklenecek olan verilerin altyapıya uygun şekle dönüştürülmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açıdan bakıldığında bu tür yeniden oynatma altyapıları için oldukça fazla iş gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Yeniden oynatma ve değerlendirme sistemlerine örnek olarak General Dynamics tarafından geliştirilmiş olan S2Focus "Analyzer" [3], MAK tarafından geliştirilmiş olan MAK Data Logger [4], Pitch firması tarafından geliştirilmiş olan Pitch Recorder [5] ve TÜBİTAK BİLGEM tarafından geliştirilen performans analiz aracı [6] verilebilir.

Ayrıca bu konuda literatürde çok fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında ne kadar verinin tutulması gerektiği, federelere ait özel verilerin tutulup tutulmayacağı, veri toplamanın sisteme olan etkisi ve veri toplamaya yönelik güncel teknolojiler değerlendirilmiştir. Örneğin [7]'de bulunan çalışma da geçici veritabanları verileri toplanmak için değerlendirilmiştir, fakat verilerin nerede toplanacağı değerlendirilmemiştir. Bazı çalışmalarda ise tam dağıtık ve kısmi dağıtık olarak verileri toplayan çalışmalardan bahsedilmiştir [8-9]. Dağıtık mimari sırasında oluşan performans kayıpları için çözüme yönelik çalışmaya örnek [10] içinde yer almaktadır. Çalışma [9] içinde veri toplayıcısının federe içlerine yerleştirilmesine dair bir çalışma yapılmıştır. Bir araçtan ziyade koda müdahele ile veri toplama çalışmasına örnek [11] içinde yer almaktadır. Bu çalışmaya göre RTI seviyesinde kod sarmalayıcıları yazmak değerlendirilmektedir. Genel olarak yapılan çalışmalar [12, 13, 14, 15, 16] olarak verilebilir.

Bu çalışmada aktarılan altyapı, benzetim esnasında üretilen verilerin belirlenen zaman aralıkları ile ve üretildikleri sırada saklanmalarını sağlamaktadır. Saklanacak olan veriler bir tür sınıf serileştirme işlemine tabi tutularak ikili bir dosyada tutulmaktadır. Verilerin saklanmaları benzetim esnasında yapılmaktadır. Saklama işlemi, benzetim ortamında dolaşan verilerin, ilgili yazılım ortamına aktarılmaları esnasında yapılan dönüşümlere odaklanmaktadır. Bu tür dönüşümler, dağıtık sistem birimleri arasında dolaşan verilerin (nesne/etkileşim) yazılım verilerine (sınıf/nesne) dönüştürülmelerini

ve gerekli olabilecek uygunlaştırma adımlarını kapsamaktadır. Geliştirilen altyapı, bu tür dönüştürme ve uygunlaştırma adımlarından sonra elde edilen verilerin saklanmasına odaklanmaktadır. Bu şekilde saklanan verilerin yeniden oynatılma esnasında ortama uygun bir hale getirilmeleri gerekmemektedir. Altyapı kapsamında, oluşturulan bu yazılım bileşenlerinin o anki durumları saklandığından daha sonrasında görselleştirme ortamı bu tür veriler ile kolaylıkla benzetim esnasındaki gibi beslenebilmektedir. Ayrıca bileşen durumları haricinde bilinmesi gereken verilerin ek bir dosyada saklanması ile görselleştirme kısmı tamamen taşınabilir bir hale getirilebilmektedir.

Gerçeklenen altyapı sayesinde yeniden oynatma durdurulabilmekte, yeniden başlatılabilmekte ve çeşitli hızlar ile koşturulabilmektedir. Yeniden oynatma esnasında tüm benzetim birimlerine dair veriler benzetim esnasında olduğu gibi rahatlıkla izlenebilmektedir. Yapılabilecek yazılım eklentileri ile veriler kolaylıkla analiz edilebilmektedir.

Literatür taramasına dayanarak bu çalışmanın farklılıkları şu şekilde özetlenebilir: Özellikle mevcut benzetim ortamları için 3. parti yazılımlara, eklentilere ve donanımlara gerek kalmadan yeniden oynatma işlevlerinin kısa sürelerde entegre edilmesi gereken durumlarda verimli olarak kullanılabilmektedir. Verilerin sistem gereği tek noktada toplanması gerektiği durumlarda etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Mevcut benzetim yazılımlarını çok değiştirmeden sadece ortamdan gelen verileri tutan sınıflara ek bazı metotlar ile kolaylıkla uygulanabilmektedir. Yeniden oynatma verilerinin ve görselleştirme ortamının benzetim ortamından bağımsız olarak kolaylıkla taşınabilmesi gerektiği durumlarda faydalı olmaktadır.

Bu çalışmanın kalan kısmı şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde veri dönüştürme işlemlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölüm içerisinde veri kaydetme işlemleri detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde yeniden oynatma işlemleri aktarılmıştır. Beşinci bölümde ise performans ve taşınabilirlik konusu açıklanmıştır. Son bölümde ise bu çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. VERİ DÖNÜŞTÜRME İŞLEMLERİ

HLA1516 [1-2] mimarisine göre dağıtık benzetim sistemi birimleri arasında dolaşan veriler, nesne (*object*) veya etkileşim (*interaction*) şeklinde paylaşılmaktadır. Nesne kalıcı yapıları ifade etmektedir ve benzetim başında bir kez oluşturulup güncelleme işlemleri ile güncel hale getirilmektedir. Etkileşim ise anlık durumların iletilmesi için kullanılmaktadır. Dağıtık sistem birimlerinin üreteceği ya da kullanacağı nesne ya da etkileşimler tasarım aşamasında belirlenmektedir. Benzetim birimleri bu tür verileri alarak görselleştirme ve hesaplama gibi bazı işlemleri yerine getirirler. Benzetim birimi işlemini tamamlamak için bu tür verileri uygun bir şekilde tutmak durumundadır. Ayrıca alınan veriler amaca uygun olarak bazı değişikliklere de uğrayabilir. Örneğin alınan veri parçalarının birkaçı üzerinde yapılan bir matematiksel işlem sonucunda bu

veriler ile ilişkili olarak bir yerde saklanması gerekebilir. Durum ne olursa olsun dış ortamdan alınan veriler yazılım verisi olarak dış benzetim biriminin durumunu ifade edecek şekilde saklanmak durumundadır. Şekil 1'de yer alan sözde kod yapılan bu işlemi göstermektedir. "fomBilgi" tipi benzetim ortamından alınan veriyi ve "fomBilgiObject" nesnesi de yazılım nesnesini ifade etmektedir.

```
void BenzetimOrtamVeriAlici::TaktikBaslangicBilgisiAl(void* fomBilgi)
{
        ...
        double id = fomBilgi-> getIdentity();
        double taktikBaslamaZaman = fomBilgi-> getstartTime();
        FOMBilgiObject* fomBilgiObject = new FOMBilgiObject(id,taktikBaslamaZaman);
        FOMDataRepository::getInstance()-> update(fomBilgiObject);
        ...
}
```

Şekil 1. Benzetim verisinin yazılım nesnesine dönüşümü

Bu çalışma kapsamında HLA (***H**igh **L**evel **A**rchitecture*) nesnesine karşılık bir yazılım nesnesi oluşturulmuştur. HLA etkileşimleri de yazılım nesnesi içinde öznitelik olarak yer alacak şekilde tutulmuştur. Bu şekilde HLA nesne durumu değişmediği halde gönderilen etkileşim ile bir yazılım nesnesi durum değişikliği olması sağlanmıştır. HLA verileri yazılım kısmında tek bir sınıf nesnesi içinde birleştirilmiştir. Bu şekilde benzetim birimi tüm nesneleri ve etkileşimleri tek bir yazılım nesnesi altında tutulmuş ve merkezi bir kontrol sağlanmış olmaktadır. Örneğin yukarıdaki örnekte verilen "fomBilgiObject" nesnesi bir benzetim birimi tarafından türetilen tüm nesne/etkileşimlerini tek bir sınıf altında toplamaktadır.

Görselleştirme açısından bakıldığında örneğin bir benzetim biriminden alınan bir koordinat değeri o birimin yerini ifade edecek şekilde saklanmalıdır ve uygun dönüşümler ile görselleştirilebilmelidir. Geliştirilen çözüm bu noktada yazılım ortamına girdi yapmaktadır. Dönüştürülüp saklanan bu verileri tutan sınıf nesneleri serileştirme işlemine tabi tutularak bir dosyaya aktarılmaktadır. "FOMBilgiObject" sınıfı için örnek serileştirme kodları Şekil 2'de verilmektedir.

Geliştirilen altyapı kapsamında saklama işlemi, görselleştirme benzetim birimi gibi tüm verileri alan ve işleyen bir birim üzerinden yapılacağı öngörülmektedir. Bu tür bir seçim görselleştirme birimlerinin benzetim ortamında oluşan tüm verileri almasından kaynaklanmaktadır.

Yazılım nesneleri için şablon olacak sınıflar oluşturulurken bazı dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. Nesnelere şablonluk eden tüm sınıflar temel bir sınıftan türemelidirler. Temel sınıfta ne tür özniteliklerin ve metotların bulunacağı önemli olmamakla birlikte kullanım açısından faydalı görülebilecek öznitelikler ve metotlar sınıfa yerleştirilebilir. Yukarıdaki örnekte verilen "FOMTemelTip" sınıfı bu tür bir sınıfı ifade etmektedir.

```
class FOMBilgiObject : public FOMTemelTip
{
public:
        double id;
        double taktikBaslamaZaman;
        ....
}
QDataStream &operator<<(QDataStream &out, const FOMBilgiObject& fomBilgiObject)
{
        out << qint32(1)
            << fomBilgiObject.getId()
            << fomBilgiObject.getTaktikBaslamaZamani();
        return out;
}
QDataStream &operator>>(QDataStream &in, FOMBilgiObject& fomBilgiObject)
{
        double id;
        double taktikBaslamaZaman;
        in>> id
          >> taktikBaslamaZaman;
        fomBilgiObject.seId(id);
        fomBilgiObject.setTaktikBaslamaZamani (taktikBaslamaZaman);
        return in;
}
```

Şekil 2. Serileştirme kod örneği.

3. VERİ KAYDETME İŞLEMLERİ

Benzetim ortamı çalıştırılıp bir araya getirildikten sonra veri kaydetme işlemi başlamaktadır. Verilerin kaydedilme yeri, benzetim birimi verilerinin yazılım nesnelerine aktarıldıkları ve gerekli dönüşümlerin tamamlandığı yer olarak belirlenmektedir. Bu şekilde görselleştirmeyi besleyen hazır veriler serileştirme ile dosyaya aktarılmaktadır. Her bir serileştirme işleminde nesnenin o anki durumu dosyaya aktarılmaktadır. Benzetim anında nesne içeriği ne kadar fazla değişirse dosyaya o kadar fazla nesne içeriği aktarılacaktır. Yeniden oynatma kapsamında saklanan verilerin zamansal olarak düzgün şekilde bir araya getirilmeleri için tek bir dosya kullanılması uygun görülmüştür. Bu şekilde görselleştirme birimine gelen veriler geldikleri sıra ve zaman bilgisi ile tek bir dosyaya aktarılmaktadır. Gelen verilerin hangi benzetim birimine ait olduğu ise bir belirleyici ile belirlenmektedir.

Veri kaydetme işlemi için kritik bilgi, kaydedilecek verinin geldiği zamana dair zaman bilgisidir. Benzetim zamanı ile uyumlu olması açısından benzetim birimleri ürettikleri veri içine zaman bilgisini de eklemelidirler. Eğer benzetim esnasında benzetim süresi kadar sistemde kalmayan benzetim birimleri varsa zaman bilgisi benzetim boyunca işler durumda olan benzetim birimi tarafından sağlanmalıdır.

Bu işlem sonucunda benzetim birimlerine ait anlık verilerin bulunduğu ikili bir dosya elde edilmektedir. Dosyada yer alan nesne verileri serileştirme işlemi esnasında programcının belirlediği metotlar yardımı ile yapılmaktadır.

4. YENİDEN OYNATMA İŞLEMLERİ

Yeniden oynatma işleminde, benzetim anında üretilen ikili dosyanın yüklenmesi sağlanmaktadır. Yükleme esnasında kaydetme işleminde kullanılan belirleyici kullanılmaktadır. Belirleyiciye göre okunacak verinin hangi benzetim birimi için tutulan veri olduğu tespit edilmektedir. Tespit işlemi yapıldıktan sonra uygun nesne üretilerek dosyadan nesne boyutu kadar okuma yapılarak nesne o anki duruma getirilir. Bu iki işlem sürekli tekrarlanarak dosya sonuna kadar tüm nesneler sırası ile okunurlar. Okunan bu nesneler ortak bir temel sınıftan türeyen sınıfların örneği olduklarından temel sınıf cinsinden belirlenmiş bir diziye atılırlar. Bu işlem sonucunda kaydedildikleri sırada tüm nesneler diziye atılmış olurlar. Eğer bir benzetim birimi "n" defa nesne güncellemesi ya da etkileşim gönderdi ve bunları görselleştirme birimi aldı ise oluşturulan dizi içinde "*n*" tane nesne kopyası bulunacaktır. Her bir nesne kopyası dosyaya yazıldığı anda benzetim biriminin gönderdiği verileri (nesne/etkileşim) ve dönüşümlerini içermektedir. Şekil 3'te yer alan sözde kod okuma mantığını göstermektedir.

```
void dosyayiYukle()
{
        QFile inputFile(this->inFileName);
        inputFile.open(QIODevice::ReadOnly);
        QDataStream in(&inputFile);

        FOMBilgiObject* fomBilgiObject;
        FOMBilgiObject2* fomBilgiObject2;
        QVector<FOMTemelTip> replayComplexType;
        ...
        while (!in.atEnd())
        {
                in >> type;
                switch(type)
                {
                case 1:
                        fomBilgiObject = new FOMBilgiObject();
                        in >> *fomBilgiObject;
                        replayComplexType.append(fomBilgiObject);
                break;
                case 2:
                        fomBilgiObject2 = new FOMBilgiObject();
                        in >> *fomBilgiObject2;
                        replayComplexType.append(fomBilgiObject2);
                break;
                ....

                }
        }
        inputFile.close();
        analyzeData();
        ....
}
```

Şekil 3. Yeniden oynatma dosyası okuma sözde kodu.

Yeniden oynatma esnasında en önemli durum benzetim zamanına uygun bir yeniden oynatma sağlamaktır. Zaman bilgisi tam olarak belirlenemediğinde veriler yeniden oynatma esnasında öndeğer olarak belirlenen bir zaman aralığında (örneğin 100ms) oynatılabilecek fakat gerçek zamandan daha kısa sürede bitebilecektir. Bunu engellemek için veri kaydetme işlemleri kısmında belirtilen şekilde bir zaman bilgisi sağlanmalıdır. Zaman bilgisi sağlandığında dosyadan okuma esnasında nesneler üzerinden zaman bilgileri alınarak bir zaman çizelgesi oluşturulmaktadır. Yeniden oynatma işlevi başlatıldığında zaman göre nesne dizisinde yer alan ve o zaman içinde mevcut verisi olan nesne görselleştirme ekranını beslemektedir. Dosyadan okunan nesneler bir dönüştürme ve uygulaştırma sonucu ile oluşturulduklarından bu noktadan sonra bir değişikliğe uğramadan görselleştirme kısmını besleyebilmektedir.

5. UYGULANABİLİRLİK, TAŞINABİLİRLİK VE PERFORMANS

Geliştirilen altyapı saklanacak olan verilerin benzetim esnasında saklanmasını öngörmektedir. Benzetim tamamlandıktan sonra herhangi bir işlem yapılmadan saklama işlemi tamamlanmış olmaktadır. Saklama ikili bir dosya ile yapılmaktadır. Benzetim başına bir dosya tutulmaktadır. Saklama yapılacak dosya benzetim esnasında bir kez açılmakta ve benzetim sssürecinde açık tutulmaktadır. Bu şekilde dosya açma ve kapama işlemlerinin sebep olacağı gecikmelerin önüne geçilmiş olunmaktadır. Bu altyapı, sistemi gereği tüm verilerin bir noktada toplanması gereken,s merkezi sistemlerde fazla maliyete olmadan kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Yeniden oynatma için kullanılacak olan dosya tamamen okunarak belleğe alınmaktadır. Oynatma işlevi arayüz iş parçacığından farklı bir iş parçacığı üzerinden yapılmaktadır. Bu sebeple verilerin aktarılmasında arayüz takılmalara sebep olmamaktadır.

Bu işlemlerde performans kaybı dosya boyutunun çok büyümesi durumunda yaşanacaktır. Geliştirilen altyapı en fazla 200 MB'lık dosya oluşturacak şekilde kullanılmıştır. Veri saklama esnasında bir gecikme yaşanmamıştır. Yeniden oynatma için verilerin yüklenmesi yaklaşık 10 sn sürmüştür. Benzetim zamanı 14 dk olup benzetim ortamında 4 benzetim birimi aktif olarak çalışmış ve 26 tane nesneye ilişkin veri aktarılmıştır. Dosyaya yaklaşık olarak 20.000 adet obje durumu kaydedilmiştir.

Saklanan veriler tek bir dosya içinde tutulduğundan ve her bir nesne durumu zamansal olarak kaydedildiğinden dolayı yeniden oynatmak için az sayıda ek bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ek bilgiler sadece ortamı ilklendirmek için gerekli bilgileri içermektedir. Örneğin benzetimin yapılacağı ortamın boyutları ve yeryüzü şekilleri gibi. Ek bilgiler sağlandığında yeniden oynatmanın yapılabilmesi için sadece görselleştirme benzetim biriminin az yetenekli bir sürümü yeterli olmaktadır.

Geliştirilen altyapı katmanlı bir mimariye sahip görselleştirme birimi içerisinde kullanılmıştır. Diğer benzetim birimlerinden alınan verilerin yönetilmesi, dönüştürme/uygunlaştırma işlemleri ve görselleştirme işlemleri tamamen ayrı katmanlardan oluşturulmuştur. Bu sebeple saklanan veriler diğer benzetim birimlerinden alınmadığı ve dönüştürme/uygunlaştırma işlemlerine tabi tutulmadıkları için doğrudan görselleştirme katmanını kullanabilmektedir. Benzetim birimlerinin mimari çözümü bağımsız birimler ve bu birimler arasındaki ilişkileri içermiyor ise çözümün entegre edilmesi sorunlu bir hale gelecektir.

```
class YenidenOynatici : public QThread
{
public:
void dosyayiYukle();
            void ilkZamanaGit(...);
            void geriGit(...);
            void ilerle(...);
            void sonZamanaGit(...);
void durdur(...);
void yenidenBaslat(...);
signals:
            void FOMBilgiObjectGuncelle(...);
            void FOMBilgiObject2Guncelle(...);

}
```

Şekil 4. Yeniden oynatma temel sınıfı

Altyapının mevcut sistemler için kullanılabilmesi için üç temel uyarlama adımı bulunmaktadır. Öncelikle benzetim birimlerinden alınan verileri uygulama içerisinde tutan yazılım sınıfları için serileştirme metotlarının yazılması gereklidir. Diğer uyarlama adımı ise saklanan dosyadan verileri okuyacak sınıf veya sınıfların yazılmasıdır. Uygulama kapsamında parçacık(thread) sınıfından türetilen tek bir sınıf kullanılmıştır (Şekil 4). Son uyarlama adımı ise oluşturulan "thread" sınıfını örnekleyecek, onu başlatıp sonlandıracak genel eklentilerdir.

6. SONUÇ

Benzetim sonucunda ortaya çıkan sonuçları tekrar görmek için benzetimin tekrar koşturulması maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle yeniden oynatma altyapı ve çözümleri sunulmaktadır. Yukarıda anlatılan çalışma bu tür bir altyapıyı açıklamaktadır. Mevcut sistemler verilerin saklanmasını ve oynatılmalarını sağlamaktadırlar. Fakat bu tür sistemler uygulanacakları sistemlerin fazlaca değişmelerine sebep olmaktadır ve çok fazla iş gücüne ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca bu tür çözümler uygulanacakları sistemin dış bağımlılıklarını arttırmaktadırlar. Yukarıda anlatılan hususlar incelendiğinde önerilen çözümün mevcut sistemleri çok fazla değiştirmeden uygulanabileceği görülmektedir. Basit bir görselleştirme birimi ve ek ilkleme parametreleri yardımı ile

altyapı taşınabilir bir hale getirilebilmektedir. Hızlı ve fazla maliyeti olmayan bir çözüm sunmaktadır.

7. KAYNAKÇA

[1] IEEE: "IEEE 1516, High Level Architecture (HLA)", www.ieee.org, March 2001.

[2] IEEE: "IEEE 1516-2010, High Level Architecture (HLA)", www.ieee.org, March 2010.

[3] S2Focus "Analyzer", General Dynamics C4 Systems, http://www.gdc4s.com/

[4] MAK Data Logger, MAK Technologies, http://www.mak.com/products/datalogger.php

[5] PITCH Recorder, Pitch Technologies (Pitch),http://www.pitch.se/products/recorder

[6] Akdemir C., Ay C., Karakücük H., Timar Y. (2011), "Dağıtık Simülasyon Sistemlerinde Performans Analiz Altyapısı", USMOS 2011 Bildiriler Kitabı.

[7] McLean T., Mark L., Loper M., Rosenbaum D. (1998), "Applying Temporal Databases to HLA Collection And Analysis", Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.

[8] Li W., Yang M., Wang Z.C., (2006), "Flexible Simulation Data Collection And Replay Tool", Proceedings of the Fifth International on Machine Learning and Cybernetics.

[9] Kaya E., Sevilgen F.E., (2009), "A Fully Distributed Data Collection Method for HLA Based Distributed Simulations", Proceedings of the 2009 Summer Computer Simulation Conference.

[10] Xiao-feng H., Qi F., (2005), "Design of Non-intrusive Data Logger Based on HLA Simulation",

[11] Kolek S.R., Boswell S.B., Wolfson H.M., (2000), "Towards Predictive Models of Federation Performance:Essential Instrumentation",

[12] Hook D.J.V., Calvin J.O., (1997) "Execution Logging and Replay:Issues and Approaches", Proceedings of the 1997 Fall Simulation Interoperability Workshop.

[13] Wilcox P.A., Burger A.G., Hoare P., (2000), "Advanced distributed simulation:a review of developments and their implication for data collection and analysis", Simulation Practice and Theory 8, 201-231.

[14] Lee D.M., (1998), "Advanced Data Collection and Analysis Tool for HLA Federations", Proceedings of the 1998 Fall Simulation Interoperability Workshop.

[15] Song H.J., Shen Z.Q., Miao C.Y., (2007), "The Multi-Agent Data Collection in HLA-based Simulation Systems", 21st International Workshop on PADS.

[16] Bachinsky S.T., Tarbox G.H., Powell E.T., (1997), "Data collection in an HLA environment", Proceedings of the 1997 Spring Simulation Interoperability Workshop.

BULANIK MANTIK KONTROLCÜ ARACILIĞI İLE GEMİLERİN FORMASYON HALİNDE İNTİKALİNİN MODELLENMESİ

Levent Hakkı Şenyürek [(a)], Yasemin Timar [(b)]

[(a)] TÜBİTAK BİLGEM, P.K.74, 41470, Gebze, KOCAELİ,
levent.senyurek@tubitak.gov.tr

[(b)] TÜBİTAK BİLGEM, P.K.74, 41470, Gebze, KOCAELİ, yasemin.timar
@tubitak.gov.tr

ÖZ

Arama, devriye veya intikal amaçlı olarak gemi konvoylarının formasyon halinde intikalinin sağlanması, gemilerin birbirlerine karşı mesafe ve kerteriz değerlerini korumalarını amaçlayan bir kontrol problemidir. Simülasyon kapsamındaki gemi modelleme çalışmalarında formasyon oluşturma ve koruma davranışını gerçekleştirecek yapay zeka geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bulanık mantık kontrolcü geliştirme yaklaşımı, genel olarak operatörlerin yerini alabilecek kural tabanlı uzman sistemlerin geliştirilmesini hedefleyen bir tekniktir.

Çalışmada gemiler için formasyon oluşturma ve koruma amaçlı serdümen davranışı bir bulanık mantık kontrolcü aracılığı ile modellenmiştir. Formasyon koruma amacıyla gürbüzlüğü literatürde gösterilmiş olan önder takibi yaklaşımı tercih edilmiş, bu nedenle formasyon kontrolcüsü takipçi platformların yönlendirilmesine yönelik olarak geliştirilmiştir. Takipçi formasyon kontrolcüsü dağıtık simülasyon mimarisi olan HLA (High Level Architecture) üzerinde çalışan VR-Forces tabanlı kontrol arayüzü ve CGF uygulamalarında gerçeklenmiş ve farklı koşullarda test edilerek yaklaşımın başarımı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık Kontrol, Formasyon İntikali, Modelleme & Simülasyon, Önder Takibi, Uzman Sistemler

MODELLING FORMATION CONTROL OF SURFACE VESSELS WITH FUZZY LOGIC CONTROLLER

ABSTRACT

Formation building for surface platform convoys for search, patrol or cruise missions is a control problem where relative bearing and distance values between surface platforms

are controlled. While simulating ships, autonomous formation building and keeping behaviours are to be modelled as well.

Building rule based expert systems through fuzzy control is generally proper for simulating operator decision making process.

In our work, helmsman behaviour for formation building and keeping is modelled through a fuzzy logic controller. Leader following technique for formation control is prefered and formation controller is designed for the follower platforms only. Followers formation controller is implemented in a CGF application using VR-Forces API based on HLA (High Level Architecture) which is a distributed simulation architecture and tested for different scenarios for displaying controller performance.

Keywords: Expert Systems, Formation, Fuzzy Logic Control, Leader Following, Modelling & Simulation

1. GİRİŞ

Literatürde, otonom formasyona geçme ve formasyon koruma davranışlarının genellikle insansız araçlara ve robotlara kazandırılmasına yönelik çalışmalar bulunmaktadır [1,2,3,4,5,6,7,8]. Otonom suüstü platformların deniz araştırmalarına yönelik veri toplama ve yakıt ikmali gibi yetenekler kazanabilmeleri için formasyon halinde intikal davranışını gerçekleştirebilmeleri gereklidir.

Çalışmamızda, literatürde elde edilen sonuçlardan, benzer bir problem olan, simulasyon kapsamında insan kontrolündeki suüstü platform formasyon davranışlarının modellenmesine yönelik olarak faydalanılmıştır.

2. SUÜSTÜ PLATFORM MODELLERİNİN FORMASYON HALİNDE İNTİKAL PROBLEMİ

Otonom platformlara formasyon yeteneğinin kazandırılması için birkaç temel yöntem ön plana çıkmaktadır. Platformlar bir ya da çok sayıda başka platformu referans alarak hareket edebileceği gibi tüm platformların lider olarak belirlenen bir platformu takip etmesi şeklinde de formasyon halinde intikal sağlanabilmektedir [2]. Genellikle, bizim de çalışmamızda uyguladığımız *lider takip* yöntemi gürbüzlüğü nedeniyle tercih edilmektedir [4,5]. Bu şekilde, formasyon oluşturma ve koruma problemi bir lidere göre kerteriz ve mesafe koruma problemine indirgenmektedir [1, 2, 5].

Literatürde formasyon kurma ve koruma davranışı genellikle intikal halindeki birlikler için incelenmiştir ve bozucu etki olarak platformların önünde çıkması olası kara engelleri değerlendirilmiştir [2, 3, 6, 7].

Çalışmamızda suüstü platform modellerinin demirli vaziyette durmakta olan bir lider platformunun yanına, istenen bir mesafe ve kerteriz değeriyle ve bu platformla aynı yönelimi sağlayacak şekilde yanaşma problemi de çözümlenmeye çalışılmıştır.

3. BULANIK MANTIK FORMASYON KONTROLCÜSÜ

Bulanık mantık formasyon kontrolcüleri literatürde formasyon koruma amaçlı mesafe, sürat ve rota kontrolü gerçekleştirmek için kullanılmaktadır [1, 3, 5, 6, 8]. Bulanık mantık kontrol, insan dümenci davranışının gerçekçi olarak taklit edilebilmesi için de önerilmiştir [7]. Uygulamamızda da geliştirme kolaylığı ve gerçekçi suüstü platform davranış modellemesi için dümenci davranışını taklit eden bulanık mantık formasyon kontrolcüsü geliştirilmesi tercih edilmiştir.

3.1. Yöntem

Model formasyon davranışının sağlanabilmesi için dümen aracılığıyla platform yönelimini ve şaft aracılığıyla platform süratini kontrol eden iki adet formasyon kontrolcüsü geliştirilmiştir.

Formasyon kontrolcülerinin girdileri olarak, yeterli durum değerlendirme sağlayan ve simulasyon ortamında elde edilebilen şu veriler atanmıştır: (1) Takipçi platformun bulunması gereken koordinatın takipçi platforma göre hangi yönde olduğu. (2) İstenen yönelimin –yani lider platformun yöneliminin– takipçi platformun yönelimine göre bakış yönü. (3) İstenen sürat. (4) Takipçi platform sürati. (5) Takipçi platformun bulunması gereken koordinata mesafesi.

Bulanık mantık kontrol geliştirilmesinde en kritik aşama doğru kural tabanının oluşturulmasıdır. Bu nedenle, girdiler ve çıktılar (dümen açısı ile şaft rpm hızı) mümkün olduğunca az sayıda üyelik fonksiyonu ile bulanıklaştırılıp tüm olası durumlar için istenen sürat ve yönelim değerlerini dikte eden kurallar belirlenerek öncelikle tam bir veri tabanı oluşturulmuş ardından sistem karmaşıklığını azaltmak amacıyla [3] kurallar mümkün olduğunca eksiltilmiştir.

Kural tabanı en iyileştirildikten sonra üyelik fonksiyon parametreleri ve giriş çıkış genliklerinin optimize edilmesi ile bulanık mantık formasyon kontrolcüsü son haline getirilmiştir.

3.2. Formasyon Taklit Modu

Bozucu etkiler olmadığında ve birlikler formasyon halinde intikal ederlerken aynı sürat ve yönelim değerlerini uygulamaları formasyonlarını korumaları için yeterlidir. Bu nedenle, çalışmamızda geliştirilen modeller, işlem yükü yüksek bir davranış olan formasyona geçme davranışını birlik formasyonu kurulana kadar veya birlik kara engelleri gibi bozucu etki altında olduğunda uygulamaktadır.

Takipçi platform modelleri uygulama açısından kabul edilebilir mesafe ve yönelim hata payları içinde formasyona geçtiklerinde alt seviye sürat ve yön kontrolcüleri ile formasyon korumaktadırlar. Genellikle, platform görev sürelerinin büyük çoğunluğu bu taklit modunda geçtiği için yaklaşım sistem performansını artırmaktadır. Kontrolcüler arasındaki bu anahtarlamanın sistem gürbüzlüğüne zarar vermeyeceği şekilde hata payları belirlenmiştir. Hata payları belirlenirken, ayrıca formasyon görevinin gerektirdiği konum doğruluğu da dikkate alınmıştır.

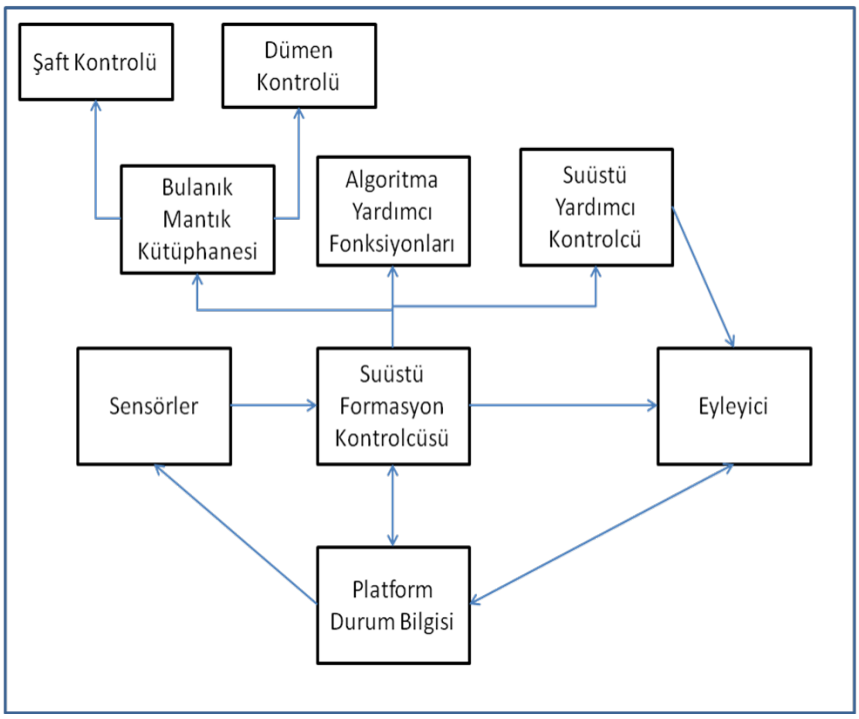
4. TAKTİK SİMÜLASYON ORTAMI

Bu çalışmada yer alan suüstü platformların formasyon halinde intikali taktik simülasyon ortamında uygulamaya konulmuştur. Taktik simülasyon ortamı en temelde üçüncü parti bir ürün olan VR-Forces Simülasyon Uygulama Programı Arabirimi (VR-Forces Simulation API) [9] kullanılarak geliştirilmiştir. Kısaca VR-Forces API olarak da bilinen uygulama arabirimi, bilgisayar tarafından üretilen kuvvetlerin (Computer Generated Forces - CGF) simülasyon motorunun gerçekleştirilmesi için gereken pek çok bileşeni sağlarken, taktik simülasyonun kullanıcı arayüzü için gerekli senaryo oluşturma, koşum kontrol, saha görüntüleme, koordinat dönüşümleri işlevlerini içeren bir simülasyon motoru altyapısı sunar[9]. Diğer yandan, VR-Forces API, platform dinamikleri, kontrol nesneleri, sensörler, kontrolcüler, silah sistemleri, plan ve görev bileşenlerinin yazılım kütüphanelerine de erişimi de sağlamaktadır [9]. Bu kütüphaneler ve bileşenler yardımıyla özel amaçlar için kullanılabilecek olan platform, kontrolcü, sensör ve silah sistem modellerinin geliştirilebilmesi mümkündür. Bu çalışma özelleştirilmiş platformlar, kontrolcüler, sensörler, kontrol nesneleri ve silah sistemleri içeren taktik simülasyon altyapısında gerçeklenmiştir.

Özelleştirilmiş platformların fizik modeli ve görevlerinde kullanılan ana bileşenler sensörler, kontrolcüler ve eyleyicilerdir. Sensör-kontrolcü-eyleyici mimarisi robotik çalışmalarında kullanılan yapıya benzemektedir. Sensörler, benzetimi yapılan ortam şartlarının modelini oluşturur. Kontrolcüler, eyleyicilere girdi olacak değerleri hesaplayarak davranışları modeller. Eyleyiciler ise ortam modelini ve kontrolcü çıktılarını hesaba katarak fiziksel hareket modelini gerçekler ve platformun durum bilgisini (platformun anlık konumu, hızı, yönü vb.) günceller. Taktik simülatörde modellenen davranışlar platforma atanan görev intikal davranışları ile sakınma tepkileridir.

Taktik simülatörde kullanılan ana bileşen mimarisi [10]'da ayrıntılı olarak yer almaktadır. Kontrolcülerin gerçeklenmesi için geliştirilen bulanık mantık kütüphanesinin kontrolcüler ve eyleyiciler ile ilişkisi de bahsedilen çalışmada bulunmaktadır.

Formasyon halinde intikal davranışının sağlanması için geliştirilen Suüstü Formasyon Kontrolcüsü sınıfının ana yapısı Şekil 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. Suüstü Formasyon Kontrolcüsünü içeren Görev Kontrolcüsü Mimarisi

Suüstü Formasyon Kontrolcüsü; her simülasyon adımında (*tick()*), formasyon halinde intikal görevinin gerçekleştirilmesi için platformun mevcut durum bilgisini, sensörlerden elde edilen bilgileri ve takip edilen ana geminin durum bilgilerini alarak, bulanık mantık kontrolcüleri aracılığıyla formasyon kurallarına uygun işlemleri yapar. Ayrıca karadan sakınma, çatışmayı önleme, düşmandan sakınma manevra kontrolcülerinin paralel veya dönüşümlü olarak çalıştırılması için Suüstü Yardımcı Kontrolcüsünü kullanır. Eyleyici için gerekli hız, yönelim ve şaft değerini hesaplayarak işlemini bitirir.

Bulanık Mantık Kütüphanesi; yardımcı bir kütüphane olarak çalıştırılır. Bu kütüphane üst seviye formasyon kontrolcüsü ile daha alt seviyedeki şaft ve dümen kontrolcülerinin gerçekleştirilmeleri için geliştirilmiştir.

Algoritma Yardımcı Fonksiyonları; formasyon kontrolü için gerekli olan bağıl yönelim, kerteriz, uzaklık hesaplamaları için kullanılan fonksiyonları içerir.

Suüstü Yardımcı Kontrolcüsü; karadan sakınma, çatışmayı önleme, düşmandan sakınma manevralarını gerçekleştiren kontrolcüdür. Suüstü platformların tüm görevlerinin icrası esnasında çalışmaktadır.

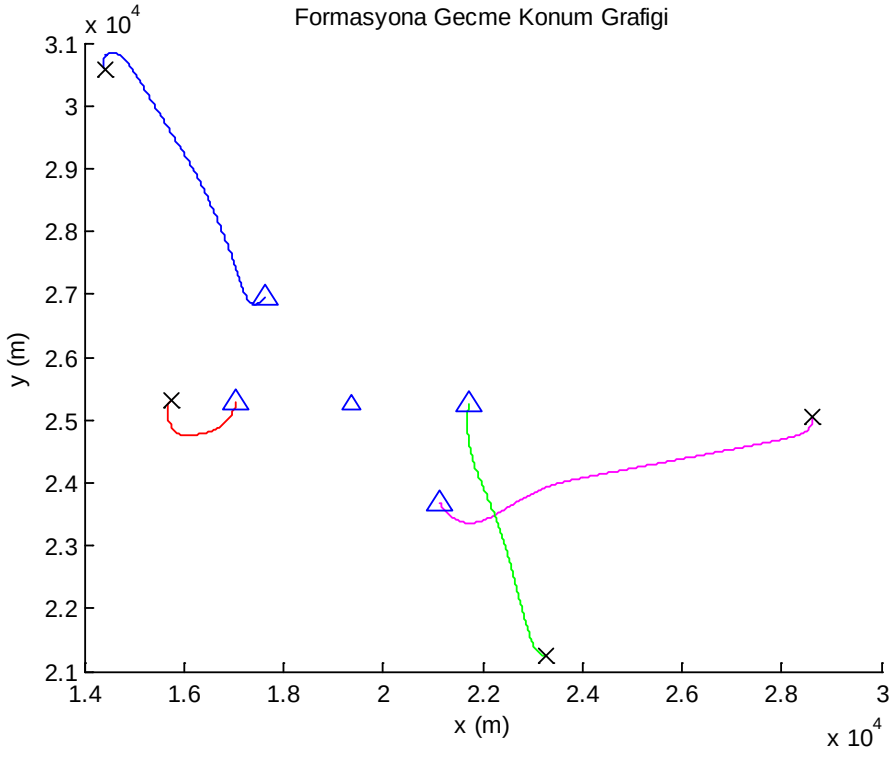
Sensörler; simüle edilen ortamdan elde edilen sensör verisi oluşturmak üzere platform sensörlerini modeller. Sensör modellerinin çıktıları taktik davranışlar ve sakınma manevraları için girdi teşkil eder.

Eyleyiciler; kontrolcülerden gelen dümen ve şaft girdileri ile ortam şartlarını ve platform durumunu dikkate alarak platformun dinamik modelinin çalıştırır ve her simülasyon adımında platformun durum bilgisini günceller.

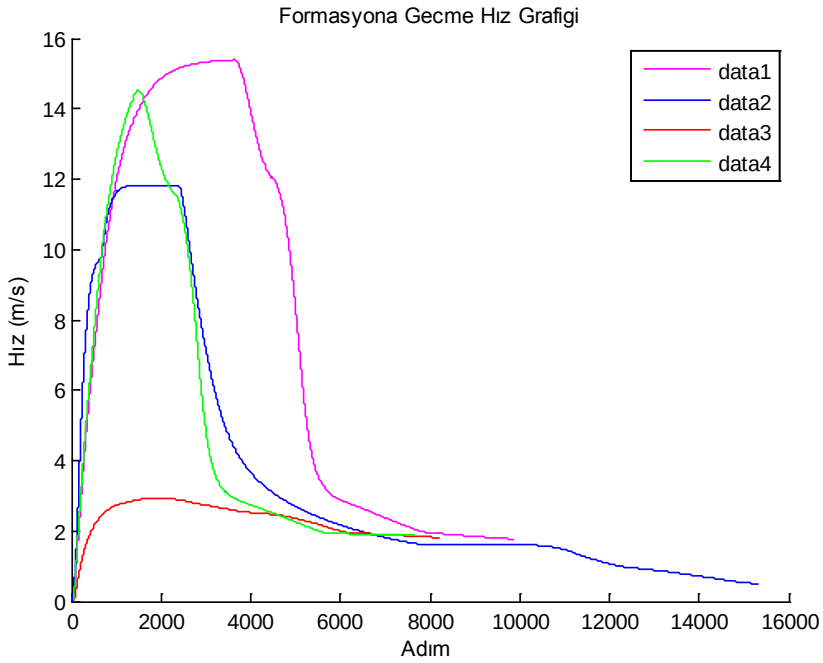
Platform Durum Bilgisi; suüstü platformun anlık konum, hız, yönelim, ivme, dümen açısı, şaft rpm değeri vb. bilgilerini içermektedir.

5. SİMULATÖR TEST SONUÇLARI

Taktik Simülasyon Ortamında koşturulan iki farklı senaryonun çıktıları aşağıda incelenmiştir. İlk senaryoda açık denizde dört farklı platform farklı başlangıç konumları ve farklı yönelimler (270, 315, 180, 225 derece) ile ilklendirilmişlerdir. Pruvası kuzeye yönelmiş ve durağan konumdaki ana gemiye göre platformlar uzaklık olarak 2500 yd ve kerteriz olarak sırasıyla 90, 315, 135 ve 270 derece ile belirlenen formasyon konumlarına ulaşmak üzere formasyon kontrolcüsünü çalıştırmışlardır. Yaklaşık 30 dakika boyunca platformların izledikleri konum bilgileri ve uyguladıkları hız değerlerinin grafiği Şekil 2 ve Şekil 3'de yer almaktadır. (Şekil 2.'de "x" işaretleri platformların başlangıç konumlarını "Δ" işaretleri de son konumlarını göstermektedir. Merkezde yer alan üçgen ana gemiyi temsil etmektedir.)



Şekil 2 Senaryo 1 Konum Bilgileri

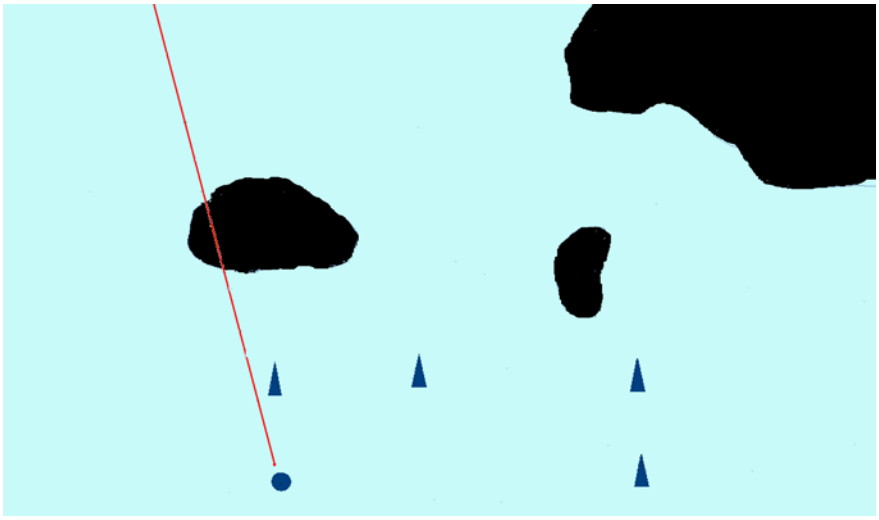


Şekil 3 Senaryo 1 Hız Bilgileri

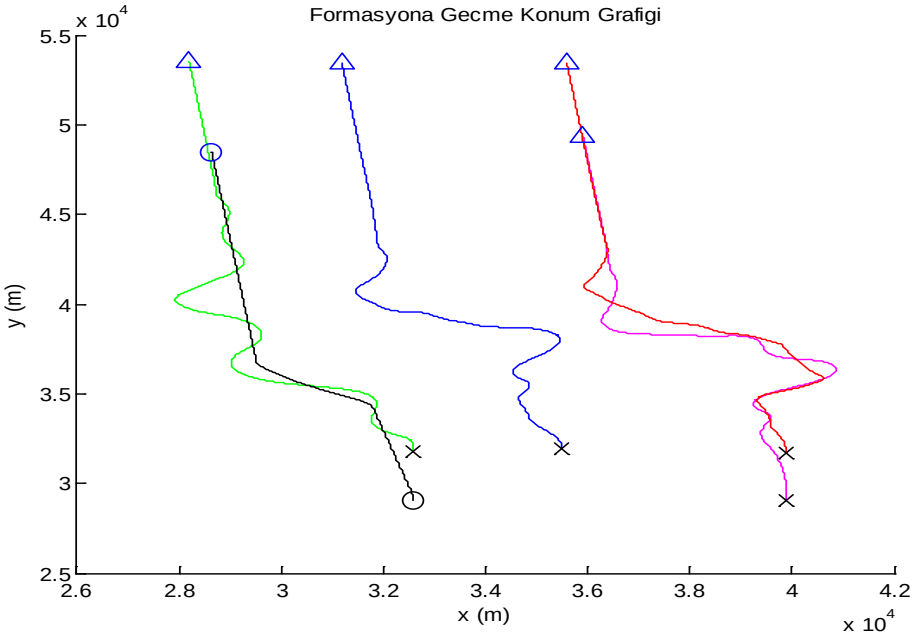
Grafiklerde platformların istenen formasyon konumlarına uygun yönelimlerle yerleştikleri görülmektedir. Platformlar bulunmaları istenen noktaya uzaklıklarına ve azami sürat olanaklarına göre sürat artırarak harekete geçmişler ve bulunmaları gereken noktaya ulaştıklarında sürat keserek istenen koordinata yerleşmişlerdir. Platformların geriye hareket imkanı bulunmadığından, konumlanma süresinin çok artmaması için formasyon kontrolü sürat ve şaft rpm değerlerini istenen koordinatta sıfırlamaya çalışmamaktadır. Bunun yerine, uygun bir sürat ve şaft rpm değerinin altında *demir atma* uygulanmakta, yani sürat ve şaft değerleri sıfırlanmaktadır. Bu gerçek suüstü platform davranışına da uygun olan bir yaklaşımdır.

İkinci senaryoda formasyon halinde intikal eden beş platform bir adalar bölgesinden geçmektedirler. Şekil 4, platformların harita üzerindeki başlangıç konumlarını göstermektedir. Şekilde takipçi platformlar üçgen, ana gemi ise daire şeklinde gösterilmiştir. Soldaki adanın üzerinden geçen çizgi, ana gemiye verilen görev rotasıdır. Şekil 5, platformların izledikleri rotaları göstermektedir. Platform başlangıç konumları "x" işareti ile ana gemi son konumu daire, diğer gemilerin son konumları ise üçgen şeklinde verilmiştir. Şekilde, Şekil 4'te gösterilen ada konumlarına uygun olarak karadan sakınma davranışı nedeniyle konvoy formasyonunun belli ölçüde bozulduğu ancak açık denize çıkıldığında yeniden formasyona geçildiği görülmektedir. Takipçi platformların sakınma manevralarından sonra açık denizde gerçekleştirdikleri manevralar ana geminin karadan sakınma davranışı sırasında formasyonu koruma

amaçlıdır. Platformlar intikalleri sırasında karaya oturmamışlar, bir yandan da formasyonlarını koruyabilmişlerdir.



Şekil 4 Senaryo 2 Başlangıç Durumu Harita Görüntüsü



Şekil 5 Senaryo 2 Konum Bilgileri

6. SONUÇ

Çalışmamızda, simulasyon ortamında geliştirilen suüstü platform modellerine gerçekçi formasyona geçme yeteneği kazandırılmıştır. Formasyon kontrolcü performansı daha yüksek kesinlik gerektiren uygulamalar için genlik optimizasyonlarının güncellenmesi veya kontrolün adaptif hale getirilmesi ile artırılmaya açıktır. Simulasyon ortamında

platform modelleri için geliştirilen kontrolcüler gerçek dünyada insansız suüstü platformların kontrolünde kullanılacak şekilde geliştirilebilir.

7. TEŞEKKÜR

Çalışmamızda kullanma imkanı bulduğumuz suüstü dinamik platform modelleri için Mehmet Haklıdır'a, VR-Forces kontrolcü yapılarının algılanması ve suüstü yardımcı kontrolcü geliştirilmesinde verdiği destek nedeniyle Deniz Aldoğan'a, görsel arayüzleri sağlayan Cemil Akdemir ve Yasin Kanpara'ya ve çalışmamızı sonlandırma olanağını yarattığı için proje yürütücümüz Dr. Hakkı Murat Genç'e teşekkür ederiz.

8. KAYNAKÇA

[1] Mathieu Lemay, Franpis Michaud, Dominic Litourneau ve Jean-Marc Valin (2004), Autonomous Initialization of Robot Formations, *Proceedings of the 2004 IEEE, International Conference on Robotics & Automation*

[2] Yehuda Elmaliach ve Gal A. Kaminka (2008), Robust Multi-Robot Formations under Human Supervision and Control, *Journal Of Physical Agents,* Vol. 2, No. 2

[3] Yeong-Hwa Chang, Chia-Wen Chang, Chun-Lin Chen ve Chin-Wang Tao (2012), Fuzzy Sliding-Mode Formation Control for Multirobot Systems: Design and Implementation, *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol. 42, No. 2

[4] Morten Breivik, Vegard E. Hovstein ve Thor I. Fossen (2008), Ship Formation Control: A Guided Leader-Follower Approach, *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*

[5] Rongxin Cui, Shuzhi Sam Ge, Bernard Voon Ee How ve Yoo Sang Choo (2009), Leader-Follower Formation Control of Underactuated AUVs with Leader Position Measurement, *2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*

[6] Bijan Ranjbar-Sahraei, Faridoon Shabaninia, Alireza Nemati ve Sergiu-Dan Stan (2012), A Novel Robust Decentralized Adaptive Fuzzy Control for Swarm Formation of Multiagent Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronic*, Vol. 59, No. 8

[7] S. Campbell, W. Naeem ve G.W. Irwin (2012), A review on improving the autonomy of unmanned surface vehicles through intelligent collision avoidance manoeuvres, *Annual Reviews in Control 36 (2012) 267–283*

[8] Dan Wang, Zhouhua Peng, Gang Sun ve HaoWang (2012), Adaptive Dynamic Surface Control for Coordinated Target Tracking of Autonomous Surface Vehicles using Neural Networks, *Proceedings of the 31st Chinese Control Conference*

[9] (2006) VR-Forces Developer's Guide, MAK Technologies

[10] Deniz Aldogan, Mehmet Haklıdır, Levent Hakkı Şenyürek, Seniha Köksal, Ömer Eroğlu, Cemil Akdemir, Semuel Franko, İsa Taşdelen ve Sevgi Akgün (2009), A General Approach To High Fidelity Modeling, Simulation and Control of Tactical Entities and Implementation in a Commercial Computer Generated Forces Toolkit, *European Modelling and Simulation Symposium (EMSS)*

KOMPOZİT UÇAK YAPILARINDA KULLANILAN TASARIM İŞ YÜKÜNÜN MODELLENMESİ

Gülşen ÖNCÜL [(a)], Handan ÖZDEMİR [(b)], Barış TİMURKAYNAK [(c)]

[(a)] TUSAŞ, Fethiye Mah. Havacılık Blv. No 17, Kazan, Ankara, goncul@tai.com.tr

[(b)] TUSAŞ, Fethiye Mah. Havacılık Blv. No 17, Kazan, Ankara, hozdemir@tai.com.tr

[(c)] TUSAŞ, Fethiye Mah. Havacılık Blv. No 17, Kazan, Ankara, btimurkaynak@tai.com.tr

ÖZ

Havacılık ve uzay endüstrisinde, tasarım çalışmaları için gerekli olan iş yükü ve buna bağlı personel gereksiniminin belirlenmesinde genellikle, hava platformu üreticilerinin benzer projelerden elde ettikleri verilere dayanılarak yapılan tahmin ve hesaplamalar dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan teknolojik alanda yapılan buluş ve yenilikler, tasarım ve üretim aşamalarında etkin yazılımların kullanılması, tahmin ve hesaplamalarda dikkate alınan bu verileri çoğu zaman geçersiz kılmaktadır. Bu nedenle maliyet hesaplamalarında en önemli unsurlardan biri olan iş yükü ve projenin muhtelif aşamalarında gerekecek nitelikli iş gücünün belirlenmesi için çeşitli modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Modelleme çalışmasında geçmiş dönem tecrübeleri önemli girdi olmakla birlikte, yeni teknolojik uygulamalar, tasarımcıların yetkinlik seviyesi, müşteri isterleri, proje takvimi, proje yönetim modeli, ürünün zorluk seviyesi, ara yüz tasarım gereksinimleri, firmanın teknolojik altyapısı, danışman gereksinimi, yapısal, fonksiyon ve geliştirme test gereksinimleri, uçuş testleri, mukavemet analiz dokümanlarının içeriği, yapısal tasarım esnasında oluşturulacak 2D ve 3D tasarım veri süreçlerinin belirlenmesi, alınacak eğitimlerin listesi, projeye destek vermek üzere eş zamanlı çalışacak bölüm sayısı, şirketin alt yüklenici ya da ana yüklenici olma durumu, sertifikasyon isterleri gibi parametreler yapılacak modelin girdilerini oluşturmaktadır. Bu bildiride, fizibilite aşamasından ilk ürün teslimine kadar geçen süredeki tasarım iş yükü oluşturulan modelle hesaplanmaktadır. Modelin güvenilirliği halen var olan veriler ile karşılaştırılarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: iş yükü, tasarım projesi, uçak yapısı, adam saat analizi, veri varlığı

DESIGN WORK LOAD MODELLING ON COMPOSITE AIRCRAFT COMPONENTS

ABSTRACT

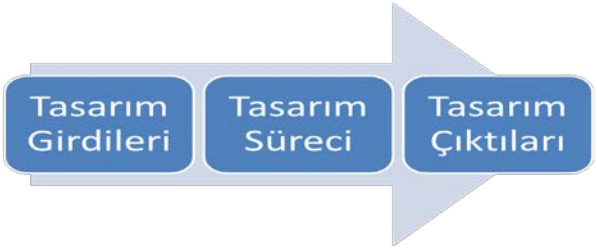
In determining the work load and then estimating the relevant required human resources for designing an air platform, companies generally take benefit of information and experience obtained from the other similar projects. On the other hand, new technological developments and improved software for designing and manufacturing methods generally give rise to great deviations from the preliminary resource allocation assumptions from the overall outcome of the project. In order to eliminate or otherwise diminish the gap between estimated and actual data, there are several studies for modeling the work load at different phases of the project and accordingly determining the required qualified human resources. For carrying out such kind of a modeling activity, although the previous experience obtained from similar tasks is of great value, some additional parameters such as new technological applications, knowledge level of designers, requests from clients, project schedule, project management organization, complexity of the end product, interface definition, technological background of the manufacturer, level of experience of white- and blue collars, necessity for consultancy, tests regarded as necessary for functionality and improvement, flight tests, content of stress analysis, creation of 2D (drawings and parts lists) and 3D (models) data packages, training requirements, determining the groups that need to work concurrently, being main or subcontracting company for the project and so on play a very important role. In this paper, the required human resource is calculated for a case study from feasibility phase to product delivery and the outcome of the modeling is evaluated by comparing results to existing values.

Key words: Work load, design project, airframe structure, man/month analysis, data availability

1. GİRİŞ

Havacılık Sanayiinde son yıllarda yaşanan gelişmelerle tasarım faaliyetlerinin sayısında ve kapsamında önemli artışlar olmuştur. Özellikle dünya havacılık şirketleri ile ortak girilen[1] tasarım işleri, bu alanda ciddi bir potansiyeli de açığa çıkarmıştır. Kompozit tasarım projelerinde, en kısa zamanda , en hafif ürünü tasarlayıp üretiminde de herhangi bir sorun yaşanmaması hedeflenmektedir. Tasarım projelerinde zamana karşı yarışıldığından, bu süreçte karşılaşılacak olumsuzluklar ve hatalı iş yükü ve bağlantılı iş gücü belirlemesi karlılık oranını büyük ölçüde düşürmektedir. Bu nedenle ayrı bir uzmanlık gerektiren tasarım projelerindeki iş yükü ve iş gücünün hesaplanması; geçmişte yapılan işlerden edinilen deneyimlerin etkin kullanımını da gerektirmektedir. İş gücü planlamasında ayrıca nitelikli işgücünün zamanında sağlanması, işin başarılmasında büyük önem arz etmektedir.[2]

2. KOMPOZİT YAPI TASARIMDA İŞ AKIŞ MODELİ



Şekil 1. Tasarım iş akış modeli

Tasarım iş akış modeli yukarıdaki Şekil-1 de verilmektedir. Öncelikle Tasarım Girdileri ile başlayan akış, tasarım süreciyle devam etmekte ve çıktılar ile son bulmaktadır. Sonraki paragraflarda daha detaylı olarak anlatılacak olan bu model, tasarımın vazgeçilmez unsurlarından biridir.[3]

2.1. Tasarım Girdileri

Özellikle kompozit yapılarda tasarım sürecine girişte tasarım girdileri önemlidir. Girdilerin doğru, tam ve uygulanabilir olması ile tasarıma ayrılması gereken zamandan çalınması bir ölçüde engellenebilecektir. Bu çalışmada girdiler için harcanacak zaman öngörülmemiştir. Tasarım projelerinin başarıya ulaşması için her türlü araştırma, geliştirme ve eğitim ihtiyaçlarının tasarım işleri başlamadan önce tamamlanması gerekmektedir. Tersi durumda çok ciddi risk yönetimlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 2. Tasarım Girdileri

Temel tasarım girdileri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 2) :

a) **Organizasyon:** Yetkilendirme ve tasarım organizasyonunun belirlenmesi, tasarım organizasyonu çerçevesinde yetki ve sorumlulukların belirlenmesi ve imza atacak personelin belirlenmesi/yetkilendirilmesi olarak açıklanabilir.

b) **Tasarım araçları:** Tasarımda uygulanacak, dokümanlar, süreçler, metot ve yazılımların belirlenerek uygun formda tasarım süreci başlanmadan yayınlanmasıdır. Örneğin tasarım ve analiz kılavuzları, kullanılabilecek analiz aparatları gibi.

c) **Tasarım üretilebilirlik araçları**: Tasarımcının seçebileceği malzemenin listesi, üretim süreçleri, muayene ve kontrol süreçleri, test metotlarının belirlenmesi ve tasarım ekibinin kullanımına sunulmasıdır. Örneğin malzeme listelerinin müşteri onayından geçmiş olması ile kullanıma hazır hale gelmesi ve yapılacak üretim süreçleri ile ilgili her türlü teknik veri ve yönergelerin yayınlanması gibi.

d) **Tasarım doğrulaması:** Ürün kullanıcısı, sertifikalandırma işlemleri ve teknik özelliklerden oluşan gereksinimlerin ve ilgili doğrulama / kanıtlama yollarının belirlenmesidir. Örneğin yorulma ve hasara tolerans gereksinimleri için tam boy test yapılmalıdır gibi.

2.2. Tasarım Süreci ve Tasarım çıktıları

Tasarım süreci oldukça karmaşık ve aynı anda bir çok çıktısı olan bir çalışmadır.

Şekil 3. Tasarım Süreci

Tasarım sürecinde birçok aktivite, birbirine paralel yürütülmekte ya da biri diğerinin tamamlayıcısı olabilmektedir. Yukarıda (Şekil-3) özetlenen akış, aşağıdaki gibi bir silsile ile devam etmektedir;

a) Güvenlik analizleri sonucunda ilk olarak, belirlenmiş risk senaryoları analizi, örneğin kuş çarpması, teker patlaması, motor pervanesinin fırlaması senaryoları üzerine yapılan analizlerin yapılan tasarıma olası etkileri analiz edilerek bir anlamda tasarımın uçak güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde tasarlanmış olduğu analiz yolu ile doğrulanıp raporlanmaktadır. Güvenlik analizlerinden ikincisi ise kullanım bölgesine göre tasarımın irdelenerek tasarlanan parçaların diğer parça ve sistemlere herhangi bir zarar vermeyeceğinden emin olunmasıdır. Bu çalışmalar çeşitli gözden geçirme toplantıları ile değerlendirilip sonuç raporları şeklinde yayınlanmaktadır.

➔ *Güvenlik Analizleri için toplam tasarım iş yükünün %2 oranında kullanıldığı kabul edilmektedir.*

b) Ağırlık Yönetimi ve Analizlerinde ise tüm tasarım süreci boyunca yapılan tasarımın ağırlığı hesaplanmaktadır. Bu çalışmalar periyodik olarak yapılmakta ve tasarım öncesi tahmini ağırlık ve hedef ağırlık adı altında hesaplanmaktadır. Sonrasında tasarımın olgunlaşması ile oluşan üç boyutlu modellerden mühendislik ağırlığı tespit edilmektedir. Ağırlık raporlarında tasarlanan yapı için azami ağırlık, hedeflenen ağırlık ve mühendislik ağırlığı ile beraber raporlanmaktadır.

➔ *Ağırlık Yönetimi ve Analizlerinde iş yükünün %3 oranında kullanıldığı kabul edilmektedir.*

c) Tasarım Dosyalarının Tanımlanması, sürecin en başındaki iştir ve diğer grupların girdilerini oluşturur. Bu sürecin çıktıları, tasarım takvimine göre kavramsal iş paketidir Tasarım takvimine göre kavramsal iş paketidir. Bu pakette tasarımın fizibilite çalışmaları yapılmaktadır. Diğer iş paketleri ile arayüz tasarım çalışmaları ve birçok alternatif uygulama çalışması yapılmaktadır. Ön tasarım çalışması ise kavramsal tasarım çalışmalarının tamamlanması ile başlamaktadır. Bu aşamada detay tasarımda uygulanacak prensipler, geometri ve ölçülendirme, ölçü tolerans çalışmaları yapılarak en uygun tasarım çözümü tespit edilmektedir. Detay tasarım, ön tasarımın tamamlanması ile başlamakta ve bu fazda 3 boyutlu modeller son haline getirilerek üretimde kullanılacak kalıp, takım ve aparat imalatı için gerekli veri oluşturulmaktadır. Yapı ve sistem montajlarının tasarımı da bu aşama sonunda tamamlanmış olmaktadır. Referans koordinatlar, uçuş testleri için gereken ekipmanın montajı ve yukarıdan aşağıya her yapıya düşen tolerans miktarı belirlenip raporlanmaktadır. Detay tasarım sonucunda, tedarik zamanı genellikle uzun olan standart bağlayıcıların da listesi oluşmaktadır. Detay tasarım fazından sonra 2 boyutlu imalat resimleri hazırlanmakta ve imza yetkili personelin kontrolleri ile yayınlanmaktadır.

➔ *Tasarım Dosyalarının Tanımlanmasında toplam tasarım iş yükünün %28 oranında kullanıldığı kabul edilmektedir.*

d) Analiz ve Kupon Testleri ile Tasarımı Doğrulama Dosyaları, tasarlanacak yapının analizi için kullanılacak yüklerin hesaplanması işlemi ile başlamakta, sonrasında oluşturulan iki ya da üç boyutlu sonlu eleman modeli ile yapısal analizler yapılmaktadır. Bu analizlerde daha önceden karar verilen analiz yazılımları ve metotları bu konuda eğitimli personel tarafından kullanılmaktadır. Yapısal analizler statik ve dinamik (malzeme yorulması) olmak üzere iki başlık altında yapılmaktadır. Analiz sonuçları daha sonra hazırlanacak sertifikasyon dosyalarının içeriğini de oluşturmaktadır. Kompozit ürün analizlerinde kullanılan metodun doğrulanması için çoğunlukla kupon testlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

➔ *Analiz ve Kupon Testlerinin tamamlanması için toplam iş yükünün %40 oranında kullanıldığı kabul edilmektedir.*

e) Yapısal Testler tam boy olarak planlanmakta, kompozit ve metal testi olarak uçak ömrü boyunca maruz kalacağı yükleme şartlarına göre yorulma testine tabi tutulmakta ve bu testlerle kullanılan analiz metotlarının doğrulanması hedeflenmektedir.

➔ *Yapısal Testler için ayrılan iş yükü için toplam iş yükünün %15 oranındaki kısmı kullanılmaktadır.*

f) Uçuş Test Enstrümantasyonu için ayrı tasarımlar yapılmaktadır. Bu tasarımlarda uçağın üzerine takılacak ölçüm cihazlarının yerleşim tasarımı ve gerekli veri aktarımının sağlanması için kablo donanım çalışmaları yapılmaktadır.

➔ *Bu çalışma için %4 oranında toplan iş yükü kullanılmaktadır.*

g) Operasyonelite ve Desteklenebilirlik Analizlerinde, uçak tesliminden sonra müşterinin kullanacağı yer destek donanımı tasarımı yapılmakta ve bakım yönergeleri için altyapı hazırlanmaktadır. Bu aşamada bakım sürelerine dair maliyet bilgileri de belli olmaktadır. Bu aşamanın en önemli çıktısı ise tamir metotları ve kullanılmasına izin verilecek tamir malzemesinin belirlenmesidir.

➔ *Bu iş için toplam iş yükünün %6 oranında kullanıldığı kabul edilmektedir.*

3. TASARIM İŞ GÜCÜ HESAPLANMASI

Tasarım iş gücü hesaplamasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır. [4]

$$G = X*T*A*W/150 \qquad (1)$$

G: Tasarım iş yükü

$$X= T_{ko}*P*D*M*K*S*L*U*G \quad (2)$$

X: Tasarım Etken Faktörü; farklı faktörlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan bir faktördür. Bu faktörü etkileyen diğer faktörlerin bulunmasında geçmiş tecrübe ve bilgi birikimi kullanılmaktadır

T_{ko}:Tasarımda Kompozit Oranı . Kompozit oranın artması ile tasarım saatlerinde artış olacağı öngörülmektedir.

P: Tasarlanacak Parça Oranı. Kompozit yada metalik olmasına göre saatlerde farklılık olmaktadır.

D: Tasarımcı Tecrübe Etkeni

M: Teknolojik Yenilik Faktörü; bu faktör genellikle ilk defa tasarlanacak ve yeni uygulanacak süreçlerin uygulandığı projelerde artış göstermektedir. Bu artış doğrusal olmamakla beraber, değerler geçmiş tecrübelerden elde edilmektedir.

K: Test Faktörü; Doğrulama amaçlı geliştirme ve tam boy test gereksinimi tasarım saatlerinde artışa sebep olmaktadır.

S: Sertifikasyon Faktörü; ürün sertifikalandırılacaksa tasarım saatlerinde artış olacaktır.

L: Geometri Faktörü; geometrisi karmaşık ürünlerin tasarım sürelerinde artış gözlemlenmiştir

U: Ürün tipi; askeri ya da sivil ürün

G: Gereksinim Sayısı

T: Proje takvimi (Saat)

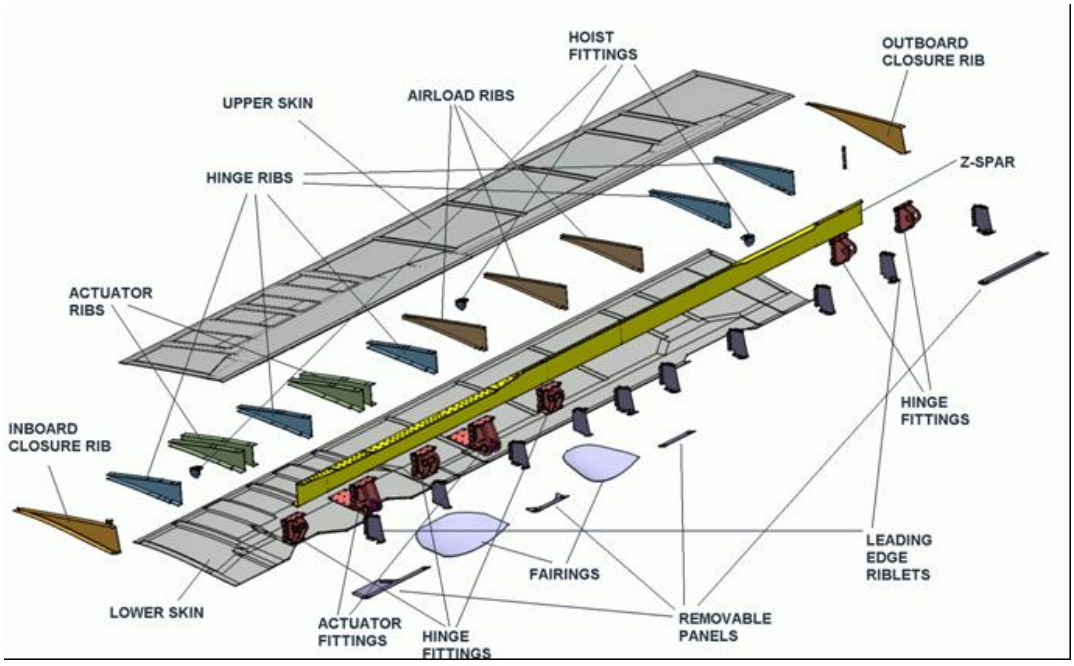
A: Tasarlanacak alan (m^2)

W: Hedef Ağırlık (kg)

3.1. Örnek hesaplama

Tasarım iş gücü hesaplamalarında TUSAŞ'ın özgün tasarımı kanatçık komponentinin tasarım saatleri örnek olarak incelenmiştir.

Tasarlanacak ürün adı: *Kanatçık (Şekil-4)*



Şekil 4. Kanatçık Komponenti

Kanatçık örneğinde %95 oranında kompozit yapı kullanılmış ve tam boy testlere tabi olmuştur. Ürün sertifika almıştır.

Ürünün tasarım çalışmaları tasarım girdilerinin incelenmesi ile başlamıştır. Tasarım girdilerinde harcanan saat yaklaşık 500 saat civarındadır. Bu süreçte tasarım organizasyonuna karar verilmiş ve yetkili personelin isimleri çalışma gruplarına duyurulmuştur.

Tasarım için CATIA ve analiz için NASTRAN ve PATRAN yazılımlarının sürüm numaraları belirlenmiş ve kullanıcı isimleri sisteme tanıtılmıştır.

Bu dönemde en önemli çalışma Müşteri ile yapılan gereksinim toplantıları olmuştur. Gereksinimlerin doğrulanma metotlarına müşterinin de onayı alınarak bu dönemde karar verilmiştir.

Tasarım süreci tasarım gruplarının çalışması ile başlamıştır. Müşteri tarafından verilen mastar geometri ile ilk 3D tasarım modelleri oluşturulmaya başlanmış ve Analiz grubuna referans yüzeylerin bilgisi bu modeller üzerinden bildirilmiştir.

Tasarım çalışmalarında TUSAŞ sisteminde bulunan saatler 2002 -2008 yılları için Çizelge-1'de verilmiştir.

Çizelge-1 Kanatçık tasarımı2003-2007 yılında harcanan saatler

Proje: A400M Kanatçık

		Veri Başl.Dönemi 2003/06		Veri Bitiş Dönemi 2007/12			
	Sistem Mühendisliği	**Yapısal Analiz**	**Yapısal Tasarım**	**Malzeme ve Test**	**Lojistik**	**Ağırlık**	**Toplam**
1-Kavramsal Tasarım	115,175	1798,2	1337,925	333,7	12	304,2	3901,2
2-Ön Tasarım	1051,875	8818,8	9432,4875	6289,225	1720,65	1360,85	28673,8875
3-Detay Tasarım	916,6375	14066,05	7631,5875	4151,5875	2222,35	1463,575	30451,7875
4-Üretim ve Teste Ha:	181,9625	22810,41	8680,54875	8839,955	558,65	768,925	41840,45125
Toplam	**2265,65**	**47493,46**	**27082,54875**	**19614,4675**	**4513,65**	**3897,55**	**104867,3263**

Tasarım süreçlerindeki güvenlik analizleri sistem mühendisliği altında, uçuş test enstrümantasyonu saatleri ise tasarım saatleri altında verilmiştir.

A: 4 M^2
W: 100 Kg
T: 12600 Saat
X: 2,5 (1/Kg.m^2)

$$G = X*T*A*W/150$$
$$G = 2,5 \text{ x}12600\text{x}4\text{x}100/150$$
$$G = 84000Hr$$

X faktörünün hesaplanması sırasında daha önce yapılan tasarım çalışmalarının gerçekleşmeleri dikkate alınmıştır. Örneğin bu uygulamada kompozit oranı metal oranına göre daha fazla olduğu için, oran arttıkça tasarım saatlerinde de artış olmuştur, ancak bu artış lineer olmamaktadır. Proje takvimi ile tasarım saatleri arasında da lineer olmayan bir ters orantı tespit edilmiştir.

Kompozit ürün ağırlıklı tasarımlarda ürün doğrulamak çoğunlukla yapısal testler üzerinden yapılmakta ve bu da projeye mali yük getirdiği gibi saatler açısından da ciddi bir artış gözlemlenmektedir.

Yeni teknoloji uygulamalarında tasarım verisi yeterli olmadığı için hesaplanan saatlerin %15 oranında arttırılması önerilmektedir.

TUSAŞ sistemindeki saatler ile karşılaştırıldığında hesaplanan tasarım iş yükünün daha az olduğu görülmektedir. Hesaplamalardaki hata payı bu örnekte yaklaşık %20 oranındadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada tasarım kontrolleri için ayrılan zaman belirtilmemiştir. Bu çalışmaları yapacak kişilerin yapılan tasarım verisinin kontrolü ve kabulü içinde zaman harcayacaklarını unutmamalıdırlar. Üretim aşamasına gelindikten sonra hataların düzeltilmesi tasarım zamanına oranla 14 kat daha pahalı olmaktadır.

Tasarım iş yükü hesaplamalarında toplam saati etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin bulunması ise daha çok geçmiş tecrübelere dayanmaktadır.

Faktörlerin devreye girmesi ile tasarımın gerçek saatleri üzerine tahminde bulunulabilmektedir. Tasarım geri dönüşleri olan ve bir çok etkene bağlı olduğu için bu çalışmaların ancak bütçe ve planlama tahminlerinde kullanılması ve gerçekleşme saatleri ile sık sık kontrol edilerek, tasarımın ilerleyen fazlarında yeniden gözden geçirilmesi uygun olacaktır.

5. TEŞEKKÜR

Bu bildirinin derlenmesi sırasında katkı sağlayan Sn. Engin ÖNCÜL'e ve Banu BAYRAM'a katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

[1] https://www.tai.com.tr/tr/bolum/yapisal-grup TUSAŞ Şirketi web sayfası.

[2] Seo, C. ve Zeigler, B.P. (2009), DEVS namespace for interoperable DEVS/SOA, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 1311-1322.

[3] Adil M. Salam, Nadia F. Bhuiyan, Gerard J. Gouw, Syed Asif Raza, A case study to estimate design effort for Pratt & Whitney Canada, World Academic Union, March 10 2008

[4] Hamdi A. Bashir, Vince Thomson'ın Estimating design effort for GE hydro, research project.

VALF VEYA İKİ-YÖNLÜ POMPA KULLANAN ABKANT PRES MAKİNESİ HİDROLİK SİSTEMİNİN MODELLENMESİ VE KONTROLÜ

Dilek BAŞARAN BİL [(a)]

[(a)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makine Mühendisliği Bölümü, PK:06800, Çankaya, Ankara, Türkiye, dilekbasaran@yahoo.com

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, 5 Nisan 2005 tarihinde 6,874,343 B1 numaralı US Patent alan bir Abkant Pres Makinesi'nin tüm hidrolik sistemi; ilgili makinenin hız, pozisyon ve işlev sürelerine ilişkin gereksinimleri karşılamak üzere MATLAB® Simulink, Simscape ve Simhydraulics modülleri kullanılarak modellenmiştir. Makinenin hidrolik sistemi öncelikli olarak valf kullanılarak, daha sonra da patent uygulamasını bire bir gerçekleştirmek üzere iki-yönlü pompa kullanılarak modellenmiştir. Geliştirilen her bir model için P-kontrolcü tasarlanmış ve model performans gereksinimleri birbiri ile karşılaştırılmıştır. Hava araçlarında, gemi, denizaltı, hareket platformlu simülatörler ve sanayi/inşaat makinalarında da çok benzer hidrolik sistem modellerine rastlanan bu endüstriyel makine uygulaması ile, valf ve iki-yönlü pompa kullanan hidrolik sistemlerin performans ve kontrol kabiliyetleri analiz edilmiştir. Ayrıca hidrolik sistem model geliştirme ve kontrolcü tasarım süreci, bu çalışma kapsamında uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik, Kontrol, Modelleme, Abkant Pres Makinesi, İki-yönlü Pompa, Valf, MATLAB, Simhydraulics, Simscape, Simulink, P-Denetleyici.

HYDRAULIC SYSTEM MODELING AND CONTROL OF PRESS BRAKE MACHINE BY USING A VALVE/BIDIRECTIONAL PUMP

ABSTRACT

In this work, hydraulic system modeling of the US patented press brake machine (Date:5 April 2005; Patent No: 6,874,343 B1) and its control task is performed by using a valve or bidirectional pump system in the hydraulic circuit. Two different pump model is created by using MATLAB SimHydraulics and Simulink Toolboxes and the valve model is generated by using MATLAB SimHydraulics. After the modeling stage, the controller (P-controller) is designed to achieve the predefined position of the double

acting hydraulic piston to perfom the single cycle of press action in a small time interval. Different phases of the hydraulic system are compared with each other for the pump systems. In addition, the performances of the valve and pump models are also compared and presented within the scope of this work by giving some examples from the civil, military and industrial applications as well.

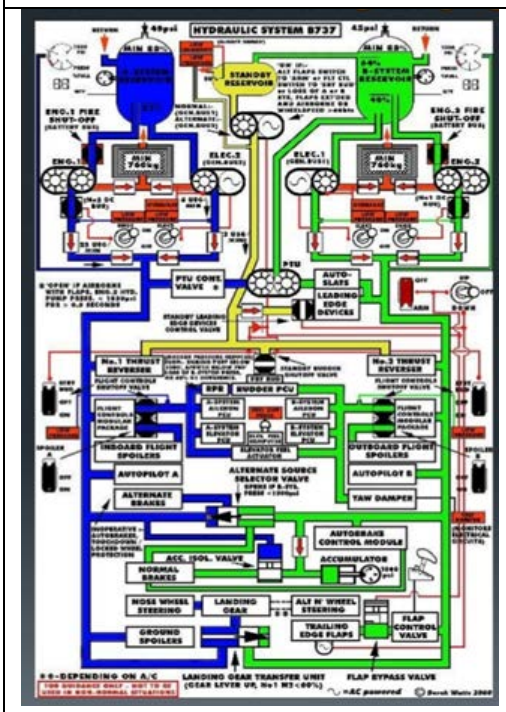
Key Words: Hydraulic, Control, Modeling, Press Brake Machine, Bidirectional Pump, Valve, MATLAB, Simhydraulics, Simscape, Simulink, P-Controller.

1. GİRİŞ

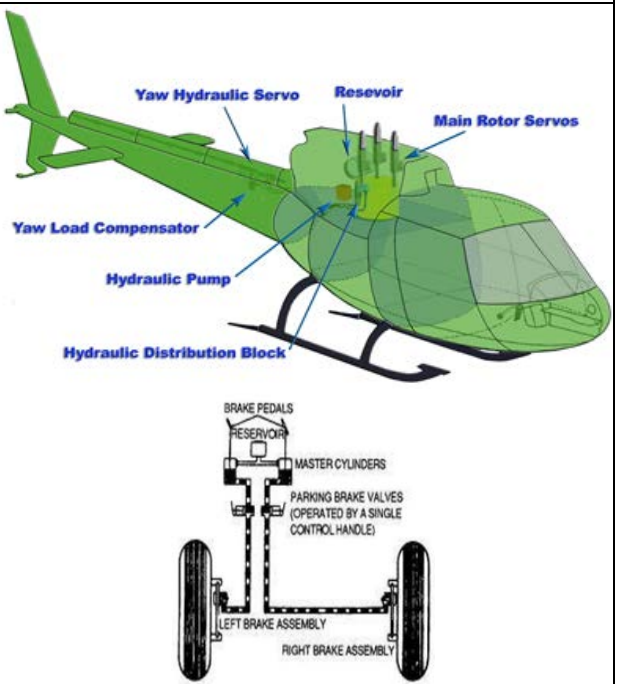
Hidrolik sistemler uçak, helikopter, IHA, füze gibi hava araçlarında; deniz altı ve gemi gibi deniz sistemlerinde; simülatör hareket platformları, roket rampaları, tanklar gibi askeri/savunma uygulamalarında; uydularda ve makine teknolojisinin yer aldığı tüm endüstriyel alanlarda yer almakta ve bu sistemlerin çalışmasında kritik rol oynamaktadırlar. Hidrolik devreler, Şekil-1'de belirtilen sistemlerin fiziksel yapıları nedeni ile boyutsal farklılıklar gösterseler de; genellikle çalışma prensipleri ve gösterdikleri işlevler benzerdir. Hidrolik sistemlerin kalbini oluşturan ve kontrolünü sağlayan en önemli devre elemanları ise valfler veya pompalardır.

Uçak, Helikopter Sistemlerinde Hidrolik Sistem Uygulamaları

(Kontrol Yüzeyleri ve Hareket Sistemleri) Denizaltı ve Gemilerde Hidrolik Sistemler

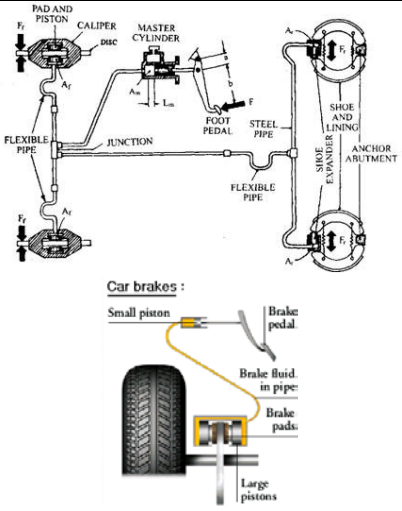


Uçak Sistemleri



Helikopter Sistemleri

Simulatör Platformları

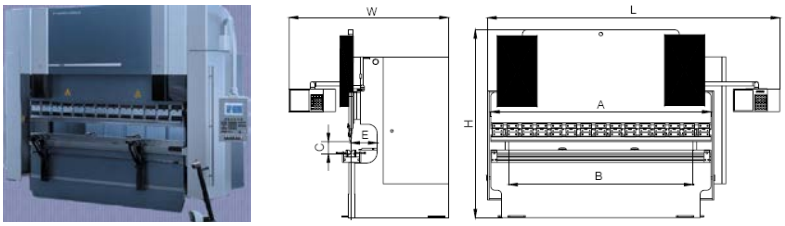


Kara Araçları (Direksiyon ve Fren Sistemleri)

Şekil-1 Hidrolik Sistem Uygulamaları

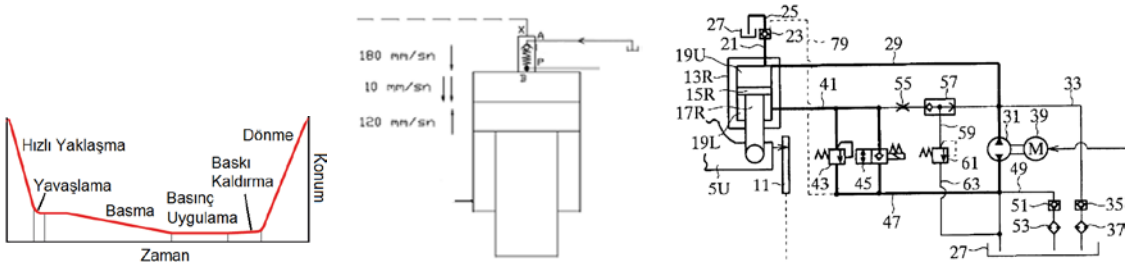
2. HİDROLİK SİSTEM DEVRE VE EKİPMANLARI

Bu çalışmada, Şekil-1 hidrolik sistem devrelerine çok benzer bir yapıda olan Abkant Pres Makinesi hidrolik sistem modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu makine, hidrolik sisteminde valf veya iki-yönlü pompa kullanan; büyük hidrolik pistonlar aracılığı ile dikey yönde hareket ederek metal bükme/şekil verme işlevini gerçekleştiren ve sanayinin çeşitli alanlarında kullanılan Şekil-2 görünümlü endüstriyel bir makinedir.



Şekil-2. Abkant Pres Makinesi'nin Ön ve Yan Görünümleri [1]

Bu çalışmanın amacı, 5 Nisan 2005 tarihinde 6,874,343 B1 numaralı US Patent alan bir Abkant Pres Makinesi'nin hidrolik sistemini modellemek, valf veya iki-yönlü pompa kullanarak sistemin hızını ve pozisyon kontrolünü hidrolik pistonlar vasıtası ile Şekil-3'te belirtilen biçimde sağlamaktır.



Şekil-3. İki-yönlü pompalı pres makinesinin operasyon fazları ve hız gereksinimleri [2]

Makinenin hidrolik sistemini modellemek için, Referans [2] dokümanında verilen ve Şekil-3'de belirtilen hidrolik devre kullanılmıştır. Bu hidrolik devreyi, iki-yönlü hidrolik pompa kontrol etmektedir. Aynı işlevi gerçekleştirmek üzere, valf kullanan

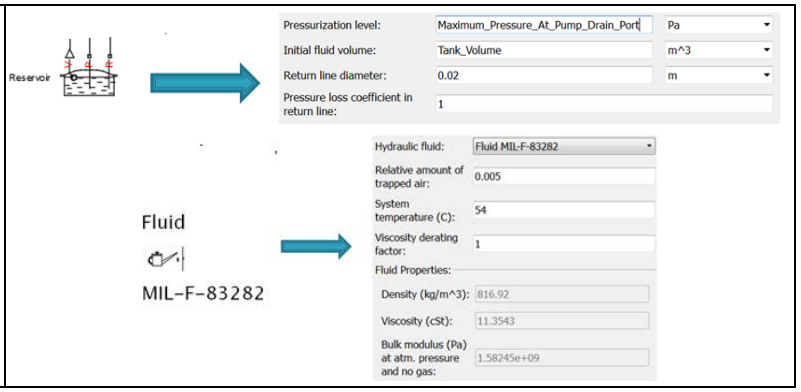
alternatif bir hidrolik model de bu çalışma kapsamında geliştirilmiş ve valf ile iki-yönlü pompanın performans sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.
Bu hidrolik devre şemasını modelleyebilmek ve gerçekleştirimini sağlayabilmek için; hidrolik devre elemanları literatürden ve hidrolik sistem kataloglarından seçilmiştir. Hidrolik devre elemanları, hidrolik sistemi kurmak ve modellenmek üzere MATLAB® programına aktarılmıştır. MATLAB® Programı ile devre modellemeleri iki türlü yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden birincisi, MATLAB® Simscape Simhydraulics modülü, ikincisi ise her türlü hidrolik devre elemanını matematiksel denklemler kullanarak modelleyebileceğiniz MATLAB® Simulink modülüdür.
MATLAB® Simscape Simhydraulics modülü, hidrolik sistem modelleme çalışmalarına hızlı ve pratik bir giriş yapılması imkanı sağlasa da, modellemede bazı kısıtlar içermektedir. Bu kısıtlamaların başlıca nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Simhydraulic modülünde bulunan hazır hidrolik devre parçalarının sınırlı olması,
- Her türlü hidrolik sistem devresinin uygulanması sırasında yaşanan zorluklar ve
- Simhydraulic çözücü (*ing. Solver*) opsiyon seçimleri nedeni ile ilgili çıkan sorunlar.

MATLAB® Simulink matematiksel formüllere dayandığı için, bu yöntemde böyle kısıtlamalar söz konusu değildir. Dolayısı ile bu çalışmada, hem SimHydraulics hem de Simulink modelleme yöntemleri kullanılarak pres makinesi hidrolik sistem modellemesi yapılmış ve modellerin performans sonuçları karşılaştırılmıştır.
Modellemede kullanılan hidrolik devre elemanlarından bazılarının; MATLAB® programında kullanılan teknik bilgilerine ilişkin detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Hidrolik tank ve hidrolik akışkan/yağ seçimi

Hidrolik modelde kullanılan hidrolik tank ve hidrolik yağın özellikleri, MATLAB® Simscape Simhydraulics modülü kullanılarak aşağıdaki gibi seçilmiştir.
Tank hacmi hesaplamalarında, referans [3] kullanılmış ve istenilen gereksinimlere göre tank hacmi 0.0122575 m^3 olarak bulunmuştur.

Modellemede kullanılmak üzere seçilen hidrolik yağ MIL-F-83282 olup bu yağın MATLAB® Simscape Simhydraulics teknik bilgileri yandaki gibidir:	

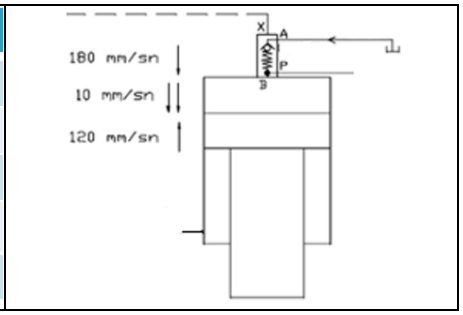
Şekil-4. Hidrolik tank ve akışkan/yağ özellikleri

2.2. Çift yönlü hidrolik eyleyici (ing. Double acting hydraulic actuators)

Hidrolik silindirler, hidrolik yağ basıncını kullanarak sisteme doğrusal kuvvet ve hareket sağlarlar. Çift yönlü hareket eden hidrolik eyleyiciler için hidrolik basınç, silindirin ya piston baş tarafına ya da piston çubuk (*ing. Rod*) tarafına uygulanılarak

uzama veya çekme kuvvetleri sırası ile sağlanır. Seçilen çift yönlü hidrolik eyleyicinin özellikleri ve silindirin performans gereksinimleri Şekil-6'da belirtilmiştir.

Özellikler	Boyutlar
Çubuk (*ing. Rod*) Çapı	160 mm
Delik (*ing. Bore*) Çapı	170 mm
Piston Kursu (*ing. Piston Stroke*)	270 mm
Kütle	1440 kg
Uzunluk	2.6 m



Şekil-5. Çift yöne hareketli hidrolik eyleyici özellikleri ve hız gereksinimleri

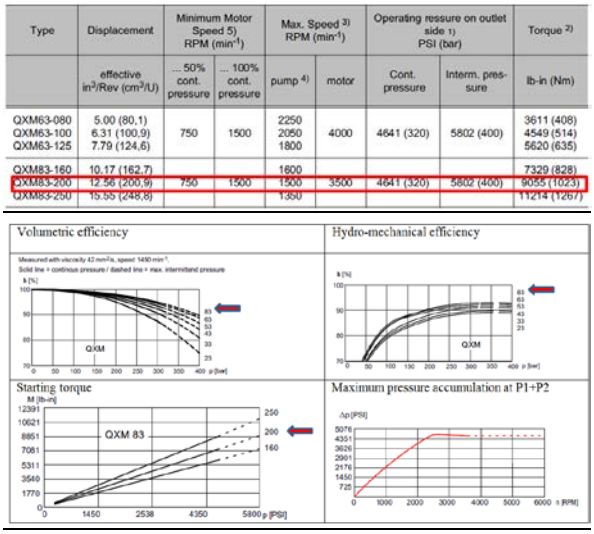
Modelde kullanılan devre elemanlarına ilişkin alan, akış hızı, basınç vb. gibi formüller, MATLAB® *.m file dosyası içerisine detaylı olarak aktarılarak modelleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çubuğun (*ing.Rod*) inmesi, basması ve geri dönmesi gibi temel döngü aşamaları için gerekli olan akış oran değerleri Tablo-1'de özetlenmiştir:

Tablo-1 Silindirin ana döngü aşamaları için hesaplanan akış oranları

Ana Döngü Aşamaları	Gerekli Akış Oranları [m3/s]
Çubuk Uzaması (*ing. Rod Extention*)	0.0041 (Q_aşağı)
Basma	2.2698e-04 (Q_basma)
Dönme	3.1102e-04 (Q_yukarı)

2.3. Hidrolik iki-yönlü pompalar

İki-yönlü hidrolik pompa olarak, BUCHER Hydraulics firmasından QXM-83-200 pompa modeli seçilmiştir. QXM sürücü devresi açık ve kapalı döngü hidrostatik sürücülerde; hem motor hem de pompa olarak kullanılabilir. QXM yükü kaldırmak için pompa gibi çalışır ve yük indirildiğinde ise enerjisini tekrar depolar yani motor gibi davranış gösterir. Dört-çeyrek operasyon çalışması ile, denetleyici silindirin tüm hareket döngüsünün kontrolü ve hızlı ivmelenme/yavaşlama sıralamaları; bu 2-yönlü pompalar ile mümkündür[4]. Bu pompaların bazı teknik bilgileri Şekil-6'da belirtilmiştir:



Şekil-6. Seçilen QXM-83-200 Pompasının Katalog Bilgileri [4]

3. MODELLEME VE KONTROL

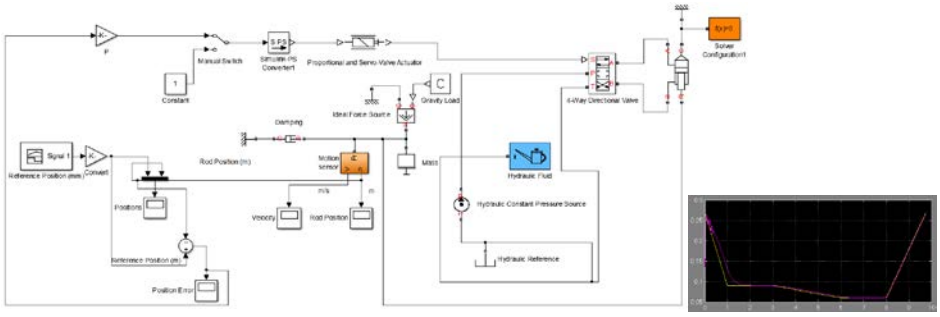
Abkant pres makinesi için, üç farklı tipte hidrolik model geliştirilmiştir. Bu modeller,

1) Valf içeren MATLAB Simscape SimHydraulic modeli
2) İki-yönlü pompa içeren MATLAB Simscape SimHydraulic modeli
3) İki-yönlü pompa içeren MATLAB Simulink modeli

Bu modellerin her biri detaylı olarak aşağıda incelenmiştir.

3.1. Valf içeren MATLAB Simscape SimHydraulic modeli

Valf kullanan ve MATLAB® Simscape Simhydraulic kullanılarak oluşturulan hidrolik model ve kontrolcü performans sonuçları Şekil-7 ve Şekil-8'de sırası ile verilmiştir.



Şekil-7 Valf kullanan MATLAB® Simscape Simhydraulic modeli ve model performansı

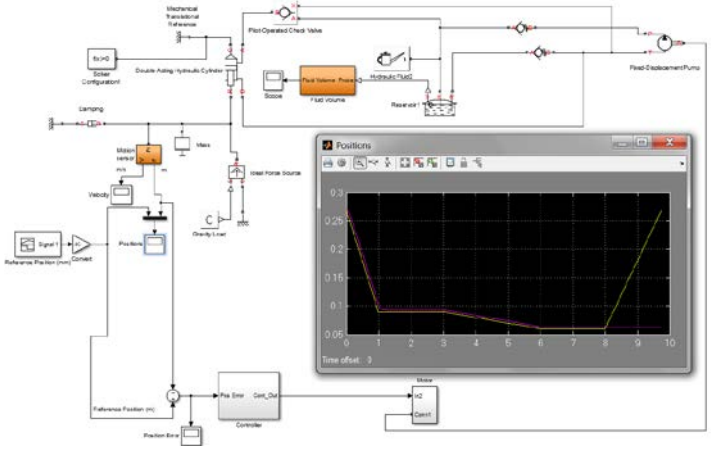
Bu model kullanılarak, doğrusal denetleyici (P-Kontroller) geliştirilmiş ve doğrusal kontrol sabiti olan P değeri 0.0225 olarak bulunmuştur. Valf sistemi kullanan hidrolik modelin, verilen referans sinyal ile karşılaştırma sonuçları da Şekil-7'de gösterilmiştir.

Şekil-7'den de gözlenebileceği gibi sarı renkli referans sinyali, valf kullanan ve hidrolik sistem modelinin çıktısı olan pembe renkli sinyal ile uyum içindedir. Bu nedenle, valf kullanan hidrolik sistem modeli, Şekil-3'de her bir faz için istenen piston hızlarını ve hareket profillerini karşılayabilmektedir. Böylece ilk oluşturulan hidrolik model, tüm sistem gereksinimlerini karşılayarak hidrolik model hedeflerini sağlamıştır.

3.2. İki-yönlü pompa içeren MATLAB Simscape Simhydraulic modeli

3.2.1. Pistonun uzaması ve basma fazları için kontrolcü tasarımı

Pistonun uzaması ve basma fazlarını içeren ve iki-yönlü pompa kullanan hidrolik model Şekil-8'de detaylı olarak verilmiştir. Bu model için geliştirilen kontrolcü ya da denetleyici tasarımına ilişkin bilgiler de yine Şekil-8'de belirtilmiştir.

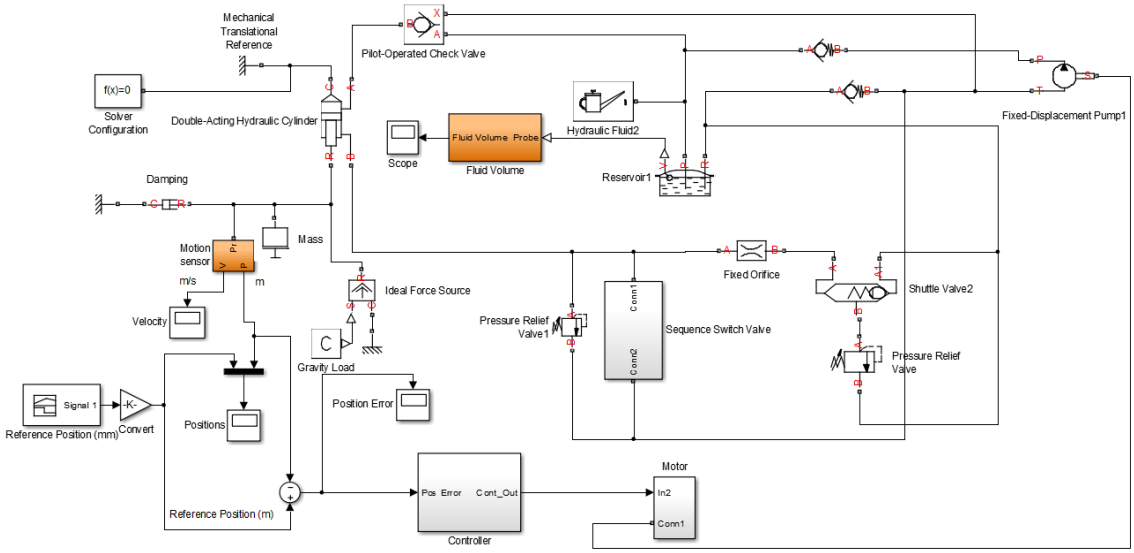


Şekil-8 İki-yönlü pompa kullanan model ve denetleyici performans sonuçları

Şekil-8'de, sarı referans sinyali, iki-yönlü pompa kullanan ve doğrusal denetleyici katsayısı P-Kontroller (*ing. Proportional Controller Gain*) 100 seçildiğinde; geliştirilen MATLAB® Simhydraulic model tarafından çok iyi bir şekilde takip edilebilmektedir. Bu model, tüm makine döngüsünün sadece piston uzama ve basma fazlarını içermektedir. Bu fazlar için, sistem gereksinimlerini karşılayan doğrusal denetleyici kazanç katsayısı P-Kontroller 100 olarak bulunmuştur. Makinenin tüm fazlarını içeren döngüye ilişkin model ve kontrolcü bilgileri ise aşağıda detayları ile incelenmiştir.

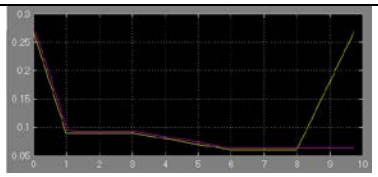
3.2.2. Makinenin tüm döngüleri (piston geri dönme fazı dahil) ve denetleyicisi

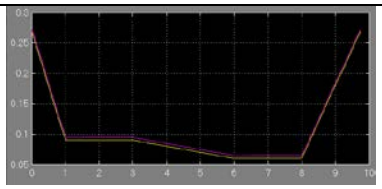
İki-yönlü pompa kullanan Abkant pres makinesinin, tüm döngü fazlarını içeren MATLAB Simscape SimHydraulic modeli detaylı olarak Şekil-9'da verilmiştir.



Şekil-9. İki-yönlü pompalı makinenin tüm döngüsünü içeren Simhydraulic modeli

Şekil-9'dan görülebileceği gibi sarı renkli referans sinyali, iki-yönlü pompa kullanan ve doğrusal denetleyici katsayısı 2240 seçildiğinde; geliştirilen MATLAB® Simhydraulic model tarafından çok iyi bir şekilde takip edilebilmektedir. Bu model, makinenin tüm döngüsel fazlarını içermektedir. Tüm bu fazlar için, sistem gereksinimlerini karşılayan doğrusal denetleyici katsayısı bu model için 2240 olarak belirlenmiştir. Hidrolik sistemin dinamiği pistonun uzaması aşamasında, basma ve dönme aşamalarında değiştiği için; P-denetleyicinin değeri de tüm döngünün dahil edilmesi durumunda değişmektedir. Tasarlanan doğrusal denetleyici katsayısı ve pistonun hareketini içeren her fazdaki pozisyon bilgileri Şekil-10 da ayrı ayrı belirtilerek ilgili karşılaştırmaların kolayca yapılabilmesi sağlanmıştır.

Fazlar	Referans Sinyal ve Konum Çıktı Grafikleri	P-Denetleyici
Hızlı Yaklaşma, Yavaşlama ve Basma Fazları		P-Denetleyici Değeri 100.

Tüm Döngü (Hızlı Yaklaşma, Yavaşlama, Basma ve Dönme Fazı Dahil)		P-Denetleyici Değeri 2240.

Şekil-10. İki-yönlü pompa modeli için P-denetleyici değerlerinin karşılaştırılması

3.3. İki-yönlü pompa içeren MATLAB® Simulink modeli

Abkant pres makinesinin iki-yönlü pompa kullanan modeli, MATLAB® Simulink modeli ile de ayrıca modellenmiştir. MATLAB® Simulink modelinde kullanılan bazı temel formüller aşağıda belirtildiği gibidir.

Pompanın akış devamlılık denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$q_{p2A} = D_P n_2 - C_i (p_A - p_B) - C_{ea} p_A \quad (1)$$

$$q_{p2B} = D_P n_2 - C_i (p_A - p_B) + C_{eb} p_B \quad (2)$$

Yükün denge denklemlerine ilişkin formüller aşağıdaki verilmiştir:

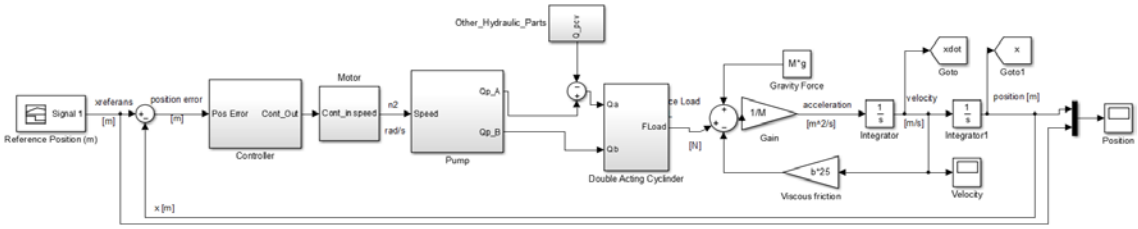
$$P_L A_B = m\ddot{x} + b\dot{x} + mg \quad (5)$$

Çift yönlü eyleyicinin her bir kontrol odasındaki akış hızı denklemleri aşağıdaki formüller ile ifade edilebilir:

$$q_A = A_A \dot{x} + \frac{V_A}{E} \cdot \frac{dp_A}{dt} \quad (3)$$

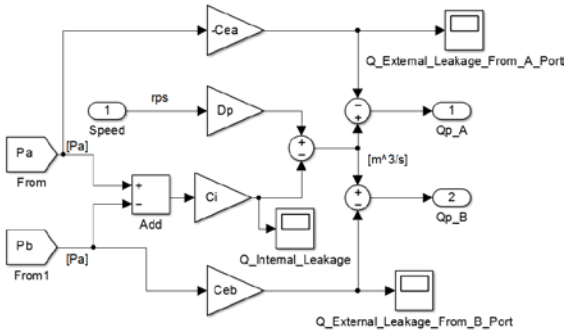
$$q_B = A_B \dot{x} - \frac{V_B}{E} \cdot \frac{dp_B}{dt} \quad (4)$$

Bu denklemler, MATLAB® Simulink ile modellenirse, iki-yönlü pompa içeren sistemin üst seviye Simulink modeli Şekil-11'deki gibi elde edilir.

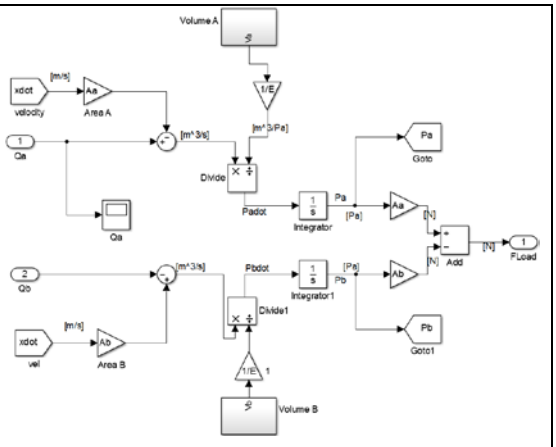


Şekil-11 İki-yönlü pompa içeren hidrolik sistemin MATLAB® Simulink modeli

MATLAB® Simulink modelin alt sistem model detayları Şekil-12'de incelenmiştir:



İki-yönlü pompanın MATLAB® Simulink modeli

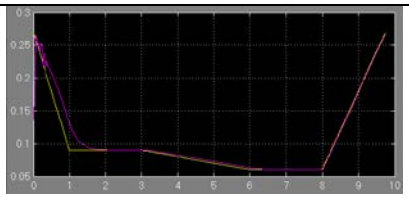
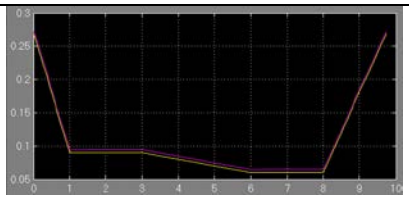
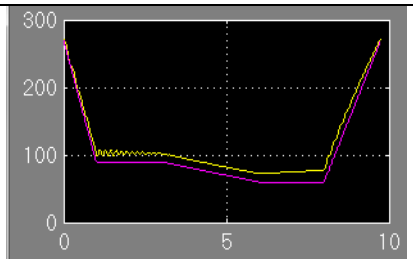


Çift yönlü hareket eden eyleyicinin MATLAB® Simulink modeli

Şekil-12. MATLAB® Simulink modelinin alt sistem model detayları

Modelde iki-yönlü pompa saat yönünün tersi istikametinde dönmektedir. Modelde kullanılan parametrelerin detayları MATLAB® m file dosyalarına aktarılarak model çalışır hale getirilmektedir. Doğrusal denetleyici kazanç sabitini 2240 değerine ayarlayarak, Abkant Pres Makinesi için performans grafiği MATLAB® Simulink ile elde edilmiştir ve geliştirilen tüm modeller birbiri ile karşılaştırılır ise, Tablo-2'de verilen sonuçlar gözlenebilir.

Table-2 Valf ve İki-Yönlü Pompa Kullanan Hidrolik Sistem Model Karşılaştırması

Model	Referans Sinyal ve Konum Çıktı Grafikleri	P-Denetleyici Değerleri
MATLAB® SimHydraulic 3 Konumlu ve 4 Yollu Valf Modeli		P-Denetleyici Değeri 0.0225.
MATLAB® SimHydraulic İki-yönlü Pompa Modeli		P-Denetleyici Değeri 2240.
MATLAB® Simulink Modeli İki-yönlü Pompa Modeli		P-Denetleyici Değeri 2240.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 3 konumlu ve 4 yollu valflerin, iki-yönlü pompaların, Abkant Pres Makinelerinin ve hidrolik sistemlerin çalışma prensipleri detaylı olarak analiz edilmiş ve öğrenilmiştir. MATLAB® ortamında, Simscape Simhydraulics ve Simulink modülleri kullanılarak hem valf ile çalışan hem de iki-yönlü pompa ile çalışan hidrolik sistemlerin modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu modelleme sonuçlarının performansları, hidrolik sistemden beklenen ve Şekil-2'de belirtilen gereksinimler ile ve birbiri ile karşılaştırılarak bu çalışmadan şu sonuçlar çıkarılmıştır:

Valf ve iki-yönlü pompa modelleri karşılaştırıldığında, valf içeren hidrolik sistemlerin iki-yönlü pompa içeren hidrolik sistemlere göre çok daha kolay modellenebildikleri gözlenmiştir. Fakat pompalar, hidrolik sistemlere çok büyük esneklik ve konum kontrollerinde oldukça büyük hassasiyet kazandırmaları nedeni ile tercih edilirler. Hidrolik sistemleri modelleme çalışmalarında, MATLAB® Simscape Simhydraulic modülü kullanılabileceği gibi MATLAB® Simulink modülünün de oldukça etkin bir biçimde kullanılabildiği görülmüştür. MATLAB® Simhydraulic modülü, modelleme çalışmalarına hızlı bir şekilde başlamayı sağlasa da; model kütüphanesinde her türlü

hidrolik devre elemanın bulunmaması ve zaman zaman yaşanan çözücü konfigürasyon sorunları nedeni ile modelleme çalışmalarına bazı kısıtlamalar getirebilmektedir. Fakat bu tür kısıtlamalar MATLAB® Simulink modelleme yönteminde söz konusu değilse de; bu yöntemde yaşanan tek sıkıntı hidrolik sisteme ait yapılacak modelleme çalışmalarının matematiksel temel denklemlere dayanmasıdır. Eğer sisteme ait denklemler gerçeğe uygun bir şekilde modele aktarılmaz ise, elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Özetle, Abkant Pres Makinesinin hidrolik modelleme çalışması ve P-denetleyicisi, istenilen pozisyon, hız ve süre gereksinimlerini sağlamak üzere detaylı modelleme çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Gereksinimlerde belirtilen ve makinenin her bir fazı için istenilen konum profilleri, piston hızları ve minimum döngü süreleri bu modelleme çalışması sonucunda gerçekçi bir biçimde geliştirilmiştir. Bu makinenin tek bir döngüsü 9.75 sn.'de gerçekleştirilerek; US Patent alan bir makine için, performansı oldukça yüksek ve uygulanabilir bir hidrolik sistem modeli bu çalışma kapsamında oluşturulmuştur. Bu çalışma, çok benzer biçimde hava (uçak, helikopter, IHA), deniz (denizaltı ve gemiler) ve kara araçlarına (otomobil, kamyon, tank), askeri uygulamalara, simülatör platformlarına, uydu kontrol sistemlerine ve sanayi makinelerine ufak değişiklikler ile uygulanabilir.

5. KAYNAKÇA

[1] http://www.meidell.no/datamax/bruksanvisning/durmazlar/durmaAD-S30100.pdf
[2] US Patent, US6874343.pdf
[3] www.starhyd.com/how-to-select-a-pump.html
[4] Bucher Hydraulics Catalog, QXM_100-P-000063-US-05.pdf
[5] Ercan Y., Akışkan Gücü Kontrolü Teorisi, 1995
[6] Çalışkan H., Modeling and Experimental Evaluation of Variable Speed Pump and Valve Controlled Hydraulic Servo Drives, METU, September 2009
[7] Balkan T., ME-516 Fluid Power Control Lecture Notes, 2012
[8] durmaAD-S-3090.pdf
[9] durmaAD-S-30120.pdf
[10] re08118_2010-12web.pdf
[11] http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_brh_i/en/products_ss/10_standard_valves/a_downloads/re20485_2008-04.pdf
[12] Speed Variable Pump Drives Technology, Jan Komstra, September 2012
[13] www.rexroth.com [online interactive catalogue]
[14] Modeling the Dynamics of Hydraulic Brakes by R.Roelands, December 2000
[15] www.hidrolikciyiz.com
[16] www.pumpfundamentals.com
[17] www.engineeringtoolbox.com/

ÜÇ BOYUTLU TOLERANS ANALİZ MODELİ İLE YAPILAN TASARIM ÇALIŞMASININ MONTAJ İŞLEMİNE KATTIĞI KAZANÇLAR

Gülşen ÖNCÜL [(a)], Burak ATAK [(b)],

[(a)] TUSAŞ, Fethiye Mah. Havacılık Blv. N0:17 Kazan- Ankara, goncul@tai.com.tr

[(b)] TUSAŞ, Fethiye Mah. Havacılık Blv. N0:17 Kazan- Ankara, buatak@tai.com.tr

ÖZ

Havacılık Endüstrisindeki araştırma / geliştirme çalışmalarında tasarımın başarısı, kaliteden ödün vermeden kısa sürede ve maliyet uygun üretim ile orantılıdır. Diğer taraftan monte edilecek parçalarda gözlenen ölçüsel sapmalar tolerans birikmelerine neden olmakta ve birleştirme aşamasında oluşan parçalar arası boşluklar yapısal dolgu maddeleriyle (Shimming) giderilmektedir. Bu yöntem yaygın olarak kullanılıyorsa da dolgu maddesinin hazırlanıp uygulanması, katılaşmasının beklenmesi, tam ölçüye getirilmesi, ilave ağırlık katması, birleştirilen parçalardan farklı mekanik davranış sergilemesi gibi olumsuzluklar yaratmaktadır. Uçuş güvenliği de düşünülerek bu sorunun ortadan kaldırılması için yapılan araştırmalarda, yapıyı oluşturan parçaların üretim aşamalarının boyutsal olarak kontrolü ve tolerans sapmalarının asgari düzeye indirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu amaçla; tasarlanacak bir ürünün 3 boyutlu tolerans yazılımlarıyla aerodinamik tolerans girdileri ile üretim toleranslarının kullanılarak modellenmesinin bağlantı bölgelerinde müsaade edilecek dolgu miktarının belirlenmesinde uygun bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Gereğinden fazla dolgu maddesi dayanımı azaltacağından tolerans modellemesinin hassasiyeti önemlidir. Bu bildiride modelleme için MECAMASTER yazılımı kullanılmış olmakla birlikte istenen sonuç için kullanılacak üretim ve montaj yöntemleri için de ciddi bir tecrübe gerekmektedir. Analizler uçak seviyesinde her bir komponent için belirlenen etken özelliklerin alt detaya indirgenmesinden sonra başlamakta ve parça seviyesinde belirlenen tolerans miktarı (etken özellik) ile üretim ve montaj kalıp ve takım konseptine karar verilmektedir.

Bu bildiride, bir ürün üzerinde yapılan üç boyutlu tolerans modellemesi ve analizleri sonrasında her bir parçaya öngörülen azami tolerans ve dolgu miktarı sayısal olarak verilerek süre ve hafifletme kazançları irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Montaj zamanı azaltma, Tolerans modeli, Montaj, Mukavemet analizi

DESIGN STUDY WITH 3D TOLERANCES ANALYSIS MODELLING ON COMPONENT ASSEMBLY IMPROVEMENT

ABSTRACT

Success of research and development in aerospace is measured by easy and cheap and high quality manufacturing but tolerance deviations cause an accumulation which creates gaps to be filled in with shims. Although this is a common practice in assembly, shim preparation and application, waiting for curing and trimming cause time loss. Besides these, factors like putting additional weight and using materials with different mechanical properties cause some deficiencies. Various investigations to eliminate this problem for flight safety show that detail parts of an assembly are to be closely controlled for dimensional stability at stages of manufacturing. For this purpose, 3D tolerance analysis software is used, while designing and modeling detail parts by combining manufacturing and aerodynamic tolerances. This application allows usage of minimum shimming material. Since shimming more than allowed degrades mechanical strength, accuracy of modeling for tolerance controlling is important. In this study, the software called MECAMASTER is employed besides getting benefit of previous experience on manufacturing. Here, on a selected part, 3D tolerance modeling is applied and shimming will be given as a numerical value and then gains of decreased time and weight will be determined. Analysis is started after the performance key characteristics of the components are clarified. According to key characteristic requirement manufacturing and assembly tool concept are decided.

Key words: Assembly time decrease, tolerance modeling, assembly, strength analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde yeni tasarlanan uçaklarda üretim zamanları ve montaj işlemlerinin, tasarım optimizasyonu ile mümkün olan en kısa sürede tamamlanması amaçlanmaktadır. Montaj esnasında gözlemlenen özellikle tolerans birikme sorunlarından dolayı yapılacak tasarım değişikliği uçak üreticilerini erken çözümler konusunda arayışa itmiştir.

Uzun zaman alan kalıp ve takım aparat tasarım ve üretim çalışmaları uçak üreticilerini tasarım tam olarak olgunlaşmadan takım aparat verisi oluşturmak zorunda bırakmaktadır. Bu konuda yaşanan montaj sıkıntıları, tasarım prensipleri ve tolerans analizleri üzerine ilave çalışmalar yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Uçak tasarımı ve üretiminde farklı uçak parçalarının sorunsuz bir şekilde montajının yapılabilmesi ve nihai montajın genel uçak isterlerine uyması için, montajda bir araya getirilecek parçaların tasarım prensiplerinin 2 boyutlu ortamda şekillendirilmesinin ardından tolerans analizinin yapılması ile önemli ölçüde kalıp ve takım aparat tasarım

ve üretiminde geri dönüşleri engellenmekte, tasarım optimizasyon gereği azaltılmakta ve montaj zamanı kısaltmaktadır.

2. ÜÇ BOYUTLU (3D) TOLERANS ANALİZİ MODELLENMESİ

Gelişen teknoloji ile beraber tolerans çalışmaları detaylandırılmış, hesaplamalarda çeşitli firmaların ürettiği yazılımlar kullanılmaya başlanmıştır.

Uçak sanayinde tolerans çalışmaları en üst seviye gereksinimlerin alt seviyelere dağıtılması ile başlar. Performans etken özellik değerleri (PKC - Performance Key Characteristic: Uçak performansını etkileyen en üst değerler) belirlendikten sonra tolerans dağılımı yapılarak en alt seviyedeki detay parçalara kadar yansıtılır.

Burada amaç; en uygun tasarım prensibi, mevcut detay parça işleyebilme kabiliyeti, montaj konsepti ve takım aparat tasarım kabiliyetlerini harmonize ederek, belirli gruplar tarafından belirlenen en üst seviye uçak performans değerlerini sağlayabilen bir ürün ortaya çıkarmaktır.

Üç boyutlu (3D) tolerans analizi ile belirlenen en üst etken özelliklerden en alt detay parçaya olan akış tümdengelim gibi algılanabilirken; ürün ömür döngüsünün başlangıç aşamasında (konsept tasarım) bu akış en alt kısımdan yani detay parça özelliklerinden en üst etken özelliklere gidilerek yapılmaktadır. Bu akışlar boyunca yapılan ardışık hesaplamalarda gerçekleştirilecek uçak tasarım ve üretim aşamaları; maliyet, zaman, ağırlık ve kalite açılarından iyileştirilir.

2.1. Tanımlar

Tolerans analizinde kullanılan bazı tanımlamalar çalışmalara yardımcı olmak üzere aşağıda verilmiştir.

Bir boyutlu (1D) tolerans analizi: Herhangi bir 3 boyut etkisi gözetmeksizin belirli bir eksen üzerinde en kötü koşula göre yapılan tolerans çalışmasıdır. Bu analizler basit seviyede yapılarak tolerans birikmesi sebebi ile sorun yaşanacak kritik montaj alanları belirlenmektedir.

Etken Özellik "Key Characteristics"(KC): Etken özellik herhangi bir ürün, alt montaj, detay parça ya da süreçte, olması gereken değer ya da özellikten sapması sonucu, performansta, ürünün nihai özelliklerinde, maliyette kabul edilemeyecek farklılıklar yaratabilecek etkenlerdir. Bu örnekte etken özellik kritik alanlarda tanımlanmış ve sonuçta o bölgelerde aşılmaması gereken tolerans değerleri olarak belirlenmiştir.

Performans etken özellik "Performance Key Characteristics" (PKC): Uçak performansını etkileyen en üst seviye temel etken özelliklerdir (PKC). Aerodinamik, analiz ve ağırlık grubu tarafından uçak seviyesinde belirlenir.

Montaj etken özellik "Assembly Key Characteristics"(AKC): Montaj seviyesi etken özelliklerdir. Bütün montaj seviyelerini kapsayan ve PKC'nin bir alt kırılımı listeler halinde hazırlanmaktadır.

Üretim Etken özellik "Manufacturing Key Characteristics"(MKC): PKC ve AKC özelliklerinin yerine getirilebilmek için gerekli olan parça/takım seviyesindeki fiziksel özelliklerdir.

Datum: Bir parça ya da montaj üzerindeki unsurların konum ve geometrik ilişkilerinin belirlenmesinde referans alınan ve hatasız olduğu varsayılan nokta, eksen, kenar, yüzey gibi parçaya ait özelliklerdir.

2.2. Tolerans analizi:

Tolerans analizi, uçak seviyesi her bir komponent için etken özelliklerin (KC) belirlenmesi ile başlamaktadır. KC listesi datum bilgisi ile birlikte tasarımın en önemli girdileri arasında yer almaktadır. Tasarım prensipleri bu bilgiler ışığında komponentin iki boyutlu (2D) bağlantı bölgelerinin resimlerini (tasarım prensibi) oluşturarak tolerans birikmelerinin olabileceği kritik alanlar belirlenerek bu birikmelere ne ölçüde ve nerede serbestlik verilebileceği üretim ve takım sorumluları ile beraberce belirlenmektedir. Bu çalışmalarda geometrik imalat limitleri (detay parça üretim kabiliyeti) ile beraber takım aparat konseptine de karar verilmektedir. Bu işlemler 3D tolerans modelinin girdilerini oluşturmaktadır. Modelin oluşturulması ile birlikte detay parça anlamında nihai geometrik ölçüler ve kısıtlar hesaplanmaktadır. Bu analizler sonucu ulaşılan değerlerinin istenilen KC değerlerini karşılamaması durumunda ise, tasarıma ya da kalıp ve takım aparat konseptinde değişiklikler yapılabilmekte ya da KC değerlerinin iyileştirilmesi istenilebilmektedir (Şekil 1).

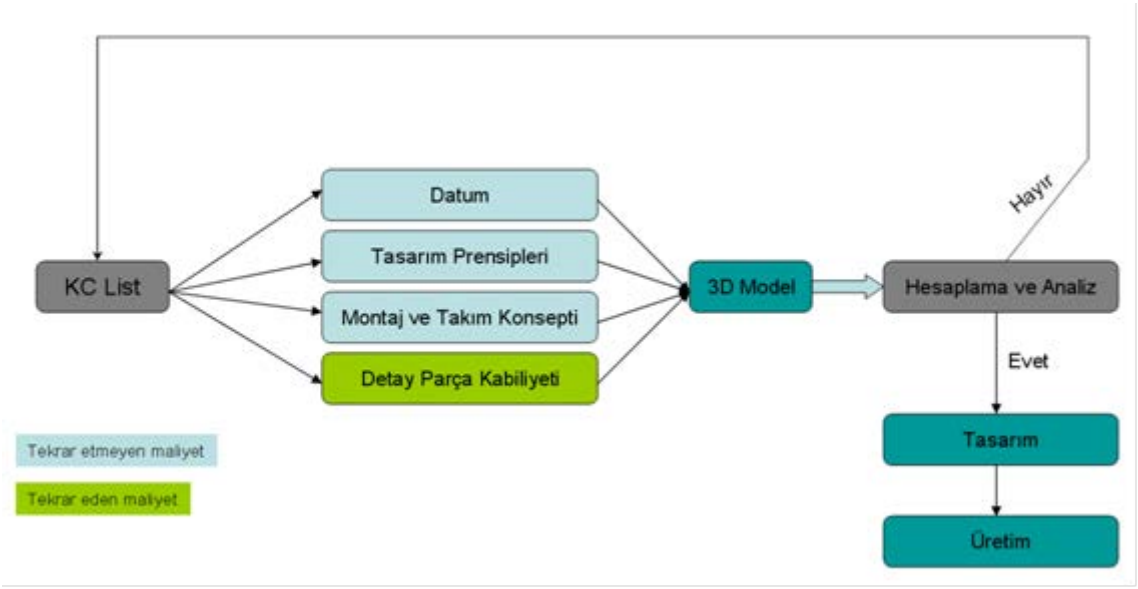
Girdiler:

- **Datum** tanımlanması uçak seviyesinde yapılmakta ve uçak seviyesinden, detay parça seviyesine kadar belirlenerek uçağın tasarım hayatı boyunca kullanılmaktadır.

- **Tasarım prensipleri** tasarımı başlangıç aşamasında oluşturulan komponent seviyesinde 2D bağlantı resimleridir. Tolerans birikmesi ya da kompozit detay parçanın üretimi esnasında meydana gelen geometrik bozulmalar da bu resimlerde dikkate alınarak, kritik bölgeler ve çözümlerin belirlendiği ortamlardır.

- **Detay imalat kabiliyetleri**, üreticinin imal ettiği detay parça geometrisini net olarak bilmesidir. Üretilen parçanın geometrik özellikleri 3D tolerans analizleri açısından oldukça önemlidir.

- **Montaj ve takım aparat konsepti**, montaja gelecek parçaların birleştirme sırasının belirlenmesi ve dayama noktalarına karar verilmesi ile ilgilidir. Montaja gelen parçanın serbestlik derecelerine bu aşamada karar verilmektedir.



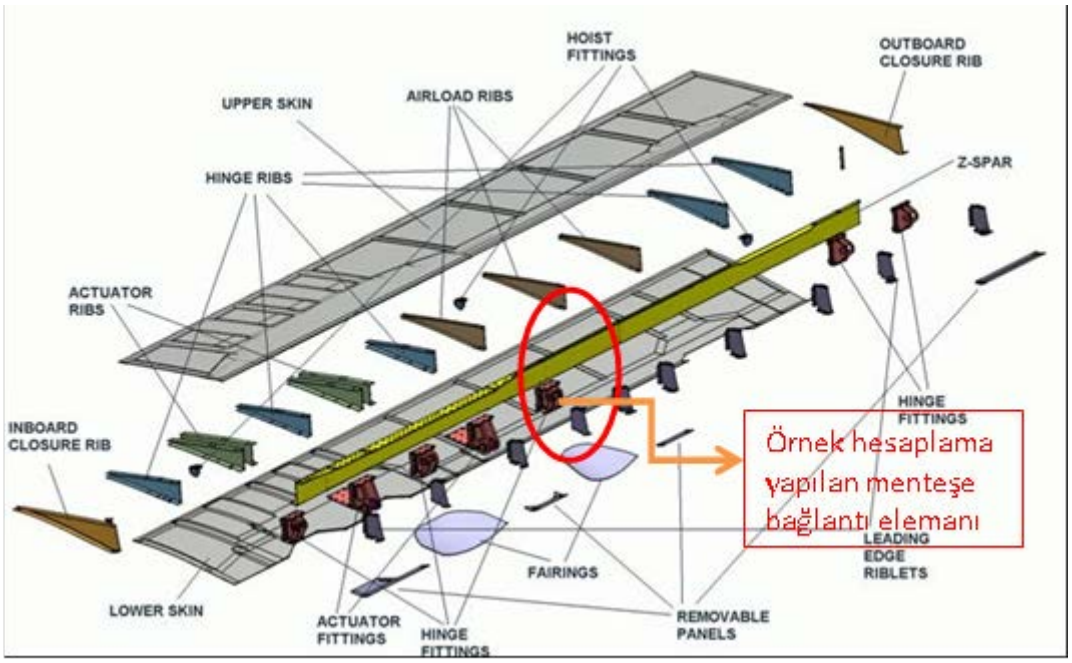
Şekil 1. Tolerans iş akış şeması

3D Analiz yapılmadan önce tüm bağlantıların 1D tolerans analizi yapılır. Bulunan değerler en üst seviye etken özelliklerle kıyaslanır. 1D hesaplama en kötü durum dikkate alınarak yapıldığından karşılanamayan PKC değerlerine sahip parçaların 3D analizine geçilmeden önce girdilerde minimum çaba ile gerekli değişiklikler yapılmalıdır. 1D ile sağlanamayan isterler için 3D analiz yapılmadan önce gerekli önlemleri almak montaj sorunlarını minimuma indirmek ve sağlıklı 3D tolerans analizi yapabilmek için gereklidir. 1D analizi eğer PKC'de verilen değeri karşılamıyorsa, geri dönüp kalıp ve takım aparat kavramını değiştirmek ya da detay parça toleranslarını iyileştirmek düşünülmektedir. PKC değerini yakalamayan tolerans değerleri ile montaja gidilirse parçaların yerine oturmayacağına kesin gözüyle bakılmaktadır.

Örnek olarak (Şekil-2) üç numaralı menteşe bağlantı elemanının 1D ve 3D tolerans analizleri Şekil 5 ve 6 da verilmiştir. Bu örnekte seçilen kanat parçası Kanatçık üst panel pozisyonunun menteşe bağlantı elemanı merkezine olan tolerans miktarı araştırılmaktadır (Hedef PKC). Bulunan sonuç verilen hedefi aşmadığı için girdilerde değişikliğe gerek duyulmadan 3D analize geçilebilmektedir.

2.3. 3D Tolerans analizi:

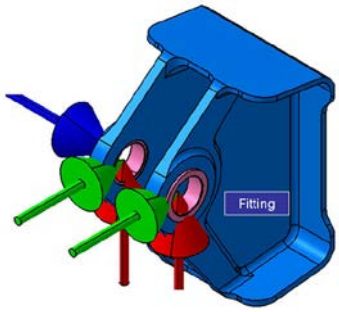
1D analizi ile istenilen etken özelliklerin karşılandığından emin olunduktan sonra 3D analize geçilmektedir.3D analizde analiz yapılacak parçanın nihai ürün geometrisine getirilmiş olması 3D analizin sonuç hassasiyetini arttırmaktadır.



Şekil 2. Kantçık 3D tolerans hesaplama çalışmalarında kullanılan örnek menteşe bağlantı elemanı

2.4. 3 Boyutlu (3D) tolerans modelinin Oluşturulması;

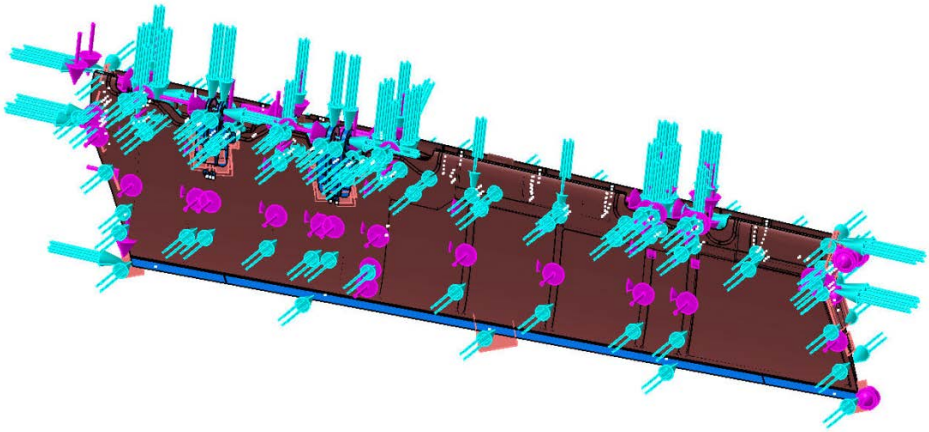
CAD (Computer Aided Design) ortamında bütün parçaların bitmiş montaj içerisindeki kinematik analizi yapılarak serbestlik dereceleri parçaların detay toleransları ve takım toleransları 3D tolerans hesaplamalarında kullanılacak yazılıma sağlanır. Bu bilgiler 3D tolerans modelinin girdilerini teşkil eder.



Şekil 3. Menteşe bağlantı elemanının x,y,z yönündeki serbestlik gösterimi

Verilen girdiler ile istenen değerler 3D tolerans hesaplamaları sonucu karşılaştırılarak gerekli ise tasarım prensipleri, montaj ve takım kabiliyetleri, detay parça işleme kabiliyetleri geliştirilerek ya da montaj sırası değiştirilerek hesaplamalar Etken Özellik (KC) değerleri yakalanana kadar tekrar yapılır.

Şekil 4 de mavi okla gösterilen değerler kanatçık komponentinin PKC'den gelen KC girdileridir. Pembe oklar ise parçanın montaj ve takım konseptinde karar verilen serbestlik dereceleridir. Dayama noktaları da pembe okların bulunduğu yerlerden seçilmektedir.

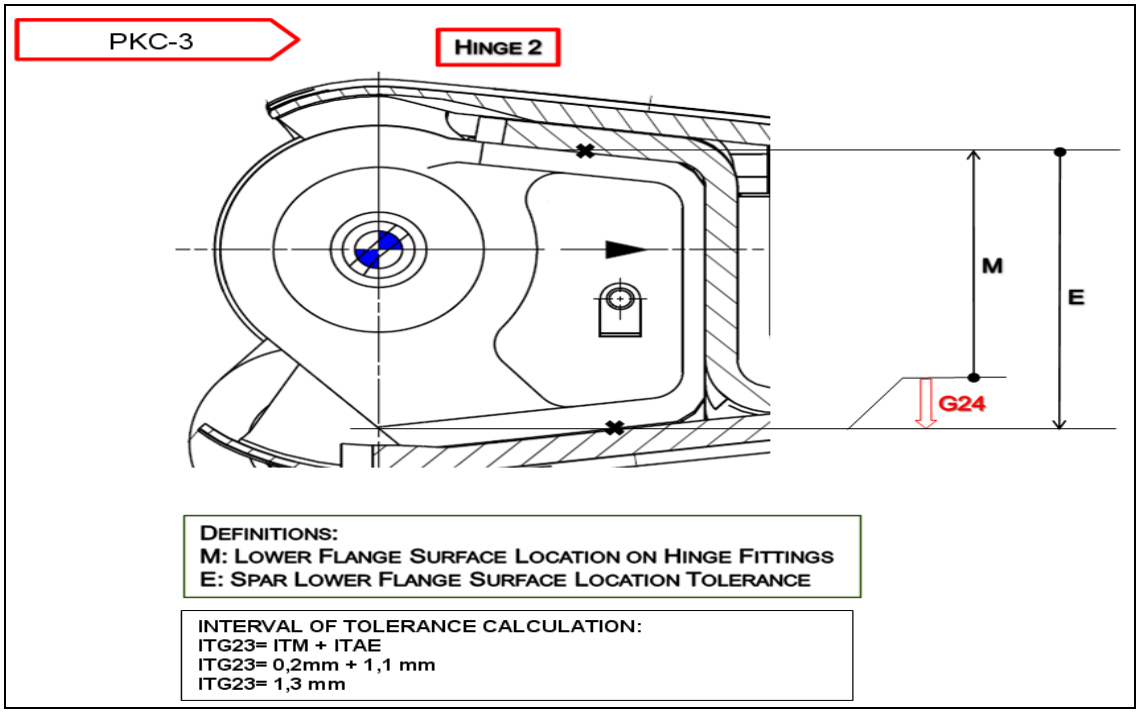


Şekil 4. Kanatçık örneğinde PKC değerinin verildiği kritik bölgelerde, serbestlik dereceleri ve KC değerleri

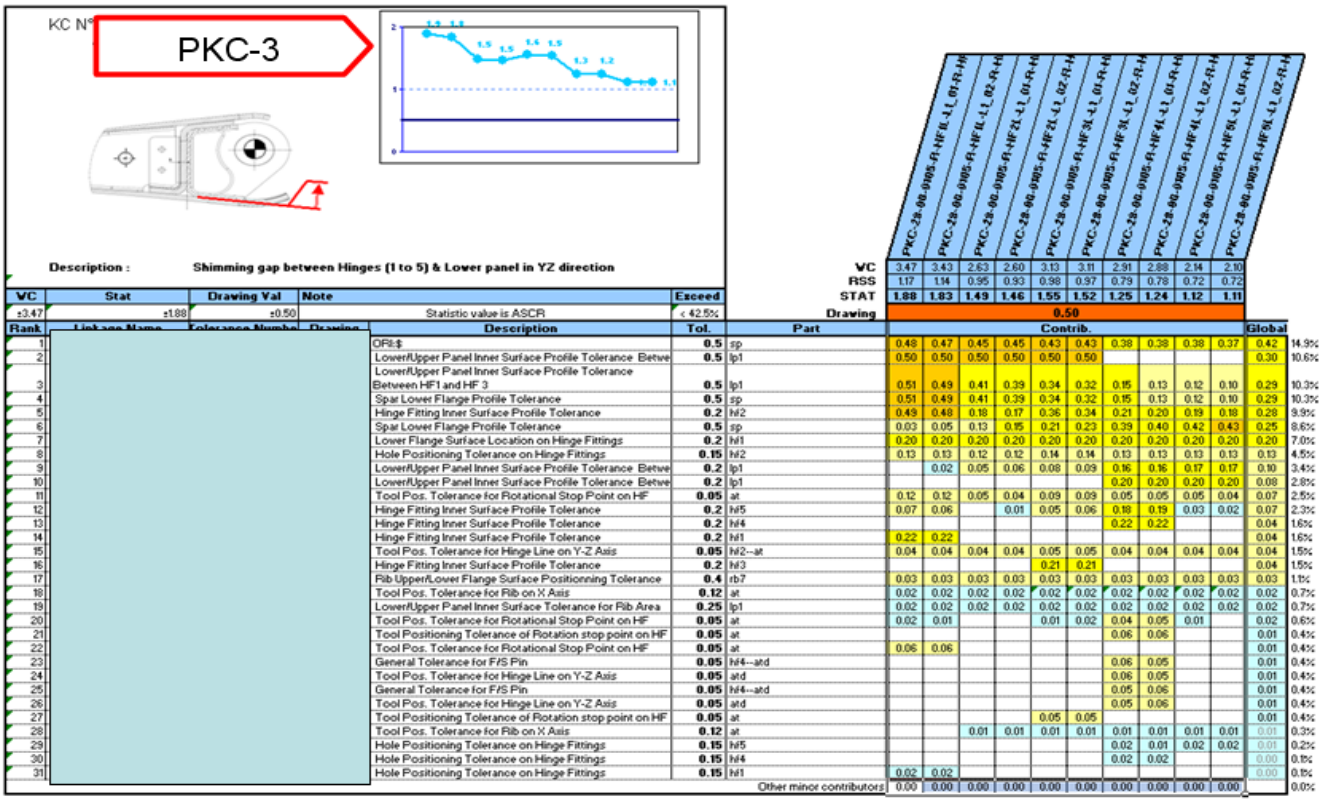
Örnek olarak kanat parçası kanatçıklardaki menteşe bağlantı elemanlarının 1D ve 3D tolerans analizleri yapılarak, montaj esnasında gerekecek dolgu maddesi kalınlık değerleri hesaplanarak aşağıda sunulmuştur.

2.4.1. 1D Analiz Sonuçları

1D analizi bu örnekte Şekil 5 te gösterilen ok yönüne dik eksende yapılmıştır. Bu eksende öncelikle panel kalınlığı sonra kiriş kalınlığı, menteşe kalınlıkları ve delik toleransı yalnızca bir eksende hesaba katılarak tolerans birikmeleri hesaplanmıştır. Bu örnekte bulunan ITG23 değeri menteşe ile panel arasında montaj esnasında gerekecek dolgu maddesi miktarıdır ve 1D analiz sonucunda bu miktar 1.3 mm olarak hesaplanmıştır. 3D analizinde hesaplanan dolgu maddesi miktarı ise aynı bölge için 0.5 mm'dir. Ancak bu analizde otuzun üzerinde parametre analize dahil edilmiş ve 3D alanda karşılaşılabilecek tüm olasılıklar hesaplanarak en kötü senaryoya göre, kritik alanlardaki tolerans birikmelerine çözüm aranmıştır.



Şekil 5. Menteşe bağlantı elemanı 3 için 1D tolerans modeli ve sonucu



Şekil 6. Menteşe bağlantı elemanı 3 için 3D tolerans modeli ve sonucu

3D TOLERANS ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

2.5. Yapısal analiz değerlendirmesi

Çizelge-11D ve 3D tolerans analizleri sonucunda bulunan dolgu maddesi kalınlık değerlerinin yapının güvenlik faktörüne etkisi (Minimum Reserve Factor)

fitting	connection to	Shim (1D)	th	minRF	Shim (3D)	th	minRF
IA-HF1	Spar Upper Flange	1	11,16	3,6471	0,5	11,16	3,6552
IA-HF2	Lower Skin	1,3	10,304	2,6392	0,5	10,304	2,6995
IA-HF3	Spar Web	1	9,92	1,4036	0,5	9,92	1,4209

Bağlantı bölgelerinde kullanılan dolgu maddesi yapının dayanım özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Ancak yapılan çalışmalar dolgu maddesi miktarının artması sonucu bağlantı elemanlarının kalınlıklarını arttırma gereksinimi olmadığını göstermiştir. Dolayısı ile 1D ile 3D arasındaki ağırlık farkı yalnızca dolgu maddesi miktarının artması sonucu oluşan ağırlık miktarıdır. Bu örnek için dolgu maddesi miktarının arttırılması ile oluşan ağırlık farkı yalnızca bir kanatçık için 120 gr olarak hesaplanmıştır.

2.6. Montajda kazanılan zaman ve maliyet değerlendirmesi

1D ve 3D tolerans modeli oluşturularak MECAMASTER yazılımı [3] ile yapılan çalışmalar ile montaj esnasında tolerans birikmesi sebebi ile montaj konseptinde geri dönüşlerin engelleneceği varsayılmaktadır**.** Tasarım geri dönüşlerinde en fazla süre tasarım modifikasyonu ve sonrasında kalıp ve takım-aparatların tasarım ve üretim iyileştirmelerinde yaşanmaktadır. Bu sürecin ilk ürün teslimatını 3 - 6 aylık süreler ile etkilediği varsayılmaktadır. Üretim maliyetlerinde ise %40 - 60 oranında artışlar olduğu kabul edilmektedir.[2]

Geri dönüşlerin ortadan kalkması ile öngörülmeyen ilave maliyet riski de ortadan kalkmakta ve yalnızca tolerans birikmesi sorununun çözülmesi ile montaj zamanında kanatçık örneği için 4 adam aylık kazanç sağladığı öngörülmektedir.

3. SONUÇ

Tolerans analizi yapılmadan montaj aşamasına gelinmesi ile teslimat zamanında yaşanılan sıkıntıların yanı montaj işlemi için hesaplanan maliyetlerin üzerine çıkılmakta ve karlılık oranı büyük ölçüde azalmaktadır.

4. TEŞEKKÜR

Bu bildirinin derlenmesi sırasında katkı sağlayan Sn. Banu BAYRAM'a ve mukavamet analizlerinde Sn. Dilay AKYAZI'ya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

5. KAYNAKÇA

[1] Hartmann, J, Meeker, C. Izzard, N. Smith, A. Ferguson, A. Ellson, A.(2004), *Determinate Assembly of Tooling Allows Current Design of Airbus Wings and Major Assembly Fixtures*the Society of Automotive Engineers

[2] Polini, W. (2008), *To Carry Out Tolerance Analysis of an Aeronautic Assembly Involving Free Form Surfaces in Composite Material* Advances in Composites Materials – Ecodesign and Analysis

[3] http://www.plmmarketplace.com/upload/mecamaster_p62t_en.pdf., MECAMASTER Yazılım , 22 Nisan 2013

SIMILAR SÜRECİ ve MONTE CARLO YÖNTEMİYLE SİSTEM GEREKSİNİMLERİ RİSK MODELLEMESİ

Oral Gürel [(a)]

[(a)] STM A.Ş., Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Bilkent Cyberpark, E Blok, 5.Cadde, No: 6/A, 06800, Bilkent – Çankaya, Ankara, ogurel@stm.com.tr

ÖZ

SIMILAR Süreci sistem mühendisliği, Shewhart'ın PUKÖ (Planla, Uygula, Kontrol Et, Önlem Al) döngüsü, tasarım süreci, bilimsel metod, vb. farklı süreçler arasındaki benzerliklerden yola çıkarak geliştirilmiştir. Genel geçer bir süreç olarak tanımlanan SIMILAR'ın teknik veya teknik olmayan alanlara uygulanabilir olduğu ve problem çözümünde başarı olasılığını artıracağı değerlendirilmektedir.

SIMILAR (State the problem, Investigate alternatives, Model the system, Integrate, Launch the system, Assess performance ve Re-evaluate) problemin tanımlanması, alternatif çözümlerin ortaya konulması, uygun çözüm modellerinin oluşturulması, tüm parçaların entegre edilmesi, sistemin ayağa kaldırılması, performansın değerlendirilmesi ve tüm bu işlemlerin tekrarlanmasını öngörmektedir. SIMILAR Süreci sistem modellemesine ve ilgili simülasyonlara oldukça ağırlık vermektedir. SIMILAR'ın sistem mühendisliğindeki Gereksinimlerin Belirlenmesi Süreci'ne uygunluğu literatürdeki çalışmalarda ortaya konulmuştur. Ancak SIMILAR'ın sistem mühendisliği kapsamındaki risk modellemesi ve risk yönetimi konularına da uygulanabilir olduğu ve avantajlar getireceği üzerinde çalışmaya değer ve halen açık bir konudur.

Bu makalenin ilk bölümünde Project Management Institute (PMI), The International Council on Systems Engineering (INCOSE) ve The Institute of Risk Management (IRM) adlı enstitülerin risk yönetim süreçlerinin SIMILAR Süreciyle kıyaslanması çalışılmaktadır. Makalenin ikinci kısmında ise maliyet ve zaman kontrolü için kullanılan ve sistem mühendisliğinde yeri olan Monte Carlo Simülasyonlarının Nicel Risk Çözümlemesi adımı kapsamında sistem gereksinimlerine uygulanışını çalışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo Simülasyonu, Nicel Risk Çözümlemesi, Risk, Risk Modelleme, Risk Yönetimi, SIMILAR Süreci

SIMILAR PROCESS and USE OF MONTE CARLO IN SYSTEM REQUIREMENTS RISK MODELING

ABSTRACT

SIMILAR Process is designed by extracting the similarities between different processes such as systems engineering, Shewhart's (Plan, Do, Check, Act) Cycle, design process, scientific method, etc. SIMILAR is considered to be a common process applicable to technical and non-technical fields and aims to increase chances of success in problem solving.

SIMILAR, which stands for; State the problem, Investigate alternatives, Model the system, Integrate, Launch the system, Assess performance and Re-evaluate, ranks systems modeling and related simulations with great importance. The similarities between SIMILAR Process and Systems Engineering Requirements Discovery Process are already studied in some articles. However it is observed that a comparison between SIMILAR Process and systems engineering risk management and modeling is a worthful area to be studied.

This article initially compares 3 different risk management processes from PMI, INCOSE and IRM with the de facto SIMILAR Process. In the second part of the article as a Quantitative Risk Analysis technique Monte Carlo Simulation, which is mostly used for simulating cost and schedule uncertainties, is used for modeling system requirements overall risk.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Quantitative Risk Analysis, Risk, Risk Modeling, Risk Management, SIMILAR Process

1. GİRİŞ

SIMILAR Süreci (State the problem, Investigate alternatives, Model the system, Integrate, Launch the system, Assess performance ve Re-evaluate) 1998 yılında farklı alanlardaki problem çözüm süreçleri arasındaki benzerliklerden yola çıkarak geliştirilmiştir. INCOSE'nin sistem mühendisliği süreçlerinde de uygulanabilir olduğu yönünde görüş birliğinde olduğu [1] SIMILAR Süreci daha evvel yapılmış olan çalışmalarda birçok farklı disiplin ve alana daha uygulanabilir olarak gösterilmiştir [2]. Bahsi geçen çalışmada sürecin teknik veya teknik olmayan alanlarda başarı şansını artıracağı düşünülen problem çözüm yaklaşımlarıyla kıyaslaması yapılmıştır. Örneğin SIMILAR Süreci'nin sistem yaşam döngüsü, bilimsel yöntem, Shewhart Döngüsü ve imalat süreçleriyle kıyaslandığı görülmüştür. Sistem mühendisliği özelinde ise SIMILAR'ın sistem gereksinimlerinin geliştirilmesi, sistem tasarımının yapılması ve IEEE 1220 Sistem Mühendisliği Süreçleri ile kıyaslandığı görülmüştür.

SIMILAR Süreci adımlarını ardışık süreçlerden ayıran temel fark adımlarının paralel ve yinelemeli olabilmesidir. SIMILAR Süreci ve adımları aşağıda açıklanmıştır.

- Problemin Tanımlanması (State the Problem): Sistemin yerine getirmesi beklenen üst seviye fonksiyon veya sistemin gidermesi beklenen eksikliği de içeren problem tanımı SIMILAR Süreci'nin başlangıcını oluşturmaktadır.
- Alternatiflerin Araştırılması (Investigate Alternatives): Bu aşamada tanımlanan probleme uygun olduğu düşünülen çözümler incelenir. Alternatif çözümleri kıyaslayabilmek amacıyla öneriler evvelden belirlenmiş olan kriterlere göre değerlendirilir ve kendi aralarında kıyaslanır. Bu aşamada belirlenen farklı kriterlere göre en iyi çözümlerin de değişmesi beklenir.
- Sistem Modellemesi (Model the System): Bu adımda alternatif çözümler modellenmektedir. En iyi olduğu düşünülen çözüm için daha de geliştirilen model sistemin yaşam döngüsü idaresi için de büyük önem taşımaktadır. Uygulandığı alana bağlı olarak bilgisayar simülasyonları, matematiksel denklemler, akış diyagramları, vb. modelleme yöntemleri önerilen çözüm hayata geçirilmeden evvel sistemin analizi açısından önem taşımaktadır.
- Bütünleme (Integrate): Önerilen çözüm hayata geçmeden evvelki bu son aşamada alt sistemlerin birleştirilerek bir bütün haline gelmesi sağlanır. Birbirleriyle etkileşim halinde olan alt-sistem'lerin tasarlanacak arayüzler sayesinde aksamadan çalışması çözüm etkinliği açısından kritiktir.
- Sistemin Ayağa Kaldırılması (Launch the System): Sistem bu aşamada yerine getirmesi beklenen işi yapmaya ve çıktılar üretmeye başlar.
- Performansın Değerlendirilmesi (Assess Performance): Ölçümün büyük önem taşıdığı bu adımda sistemin tanımlamış ihtiyacı, belirlenen kriterlere göre, ne derece yerine getirebildiği değerlendirilmektedir.
- Tekrar Gözden Geçirme (Re-Evaluate): Bu adım sistem çıktılarına bakılmak suretiyle sürecin değiştirilmesi ve iyileştirilmesini kapsar. SIMILAR Süreci boyunca sürekli olan ve paralellik içeren bu adımda dönütler doğrultusunda sistemin daha iyiye götürülmesi temel hedeftir.

Yapılan literatür taramasında SIMILAR Süreci'nin sistem mühendisliğinde yeri olan risk yönetimi ve modellemesi süreciyle kıyaslamasını yapan bir çalışmanın olmadığı görülmüştür. Çalışmanın ilerleyen bölümünde bu kıyaslama yapılmakta ve adımları yinelemeli olan SIMILAR'ın Risk Yönetimine getireceği avantajlar irdelenmektedir.

2. SIMILAR SÜRECİ ve RİSK YÖNETİM SÜREÇLERİ KIYASLAMASI

Risk yönetimi; risk yönetiminin planlanması, risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi, risklere verilecek tepkilerin planlanması ve kontrol edilmesi olarak tanımlanmaktadır [3]. PMI, INCOSE ve IRM gibi enstitüler tarafından farklı risk yönetim süreçleri belirlenmiştir. Bu bölümde bahsi geçen enstitülerin önerdikleri Risk Yönetim Süreçleri'nin SIMILAR Süreci'yle olan kıyaslamaları yapılmıştır. Yapılan kıyaslamalar dolaylı olarak bahsi geçen enstitülerin süreçlerini kendi aralarında da karşılaştırmaktadır.

Çizelge 1. SIMILAR ve PMI Risk Yönetim Süreçleri'nin kıyaslanması

SIMILAR Süreci	**PMI Risk Yönetim Süreci**
Problemin Tanımlanması	Risk Yönetimi Planlaması
Alternatiflerin Araştırılması	Risklerin Belirlenmesi
Sistem Modellemesi	Nitel Risk Çözümlemesi Yapılması Nicel Risk Çözümlemesi Yapılması
Bütünleme	-
Sistemin Ayağa Kaldırılması	Risk Tepkilerinin Planlanması
Performansın Değerlendirilmesi	Risklerin Kontrol Edilmesi
Tekrar Gözden Geçirme	

Çizelge 1'de PMI Risk Yönetim Süreci adımları [5] ve SIMILAR Süreci adımları arasındaki eşleşme verilmiştir. Kıyaslamada PMI'ın Risk Yönetimi Planlaması adımı ve SIMILAR'daki Problemin Tanımlanması adımları benzerlik gösterdiğinden denk olarak düşünülebilir. Buna ilaveten SIMILAR Süreci'nde kritik olarak değerlendirilen Sistem Modellemesi adımı ve PMI'ın Nitel ve Nicel Risk Çözümlemesi adımları aynıdır. Nitel Çözümlemede her bir risk etkisi ayrı ayrı ele alınırken Nicel Çözümlemede tüm risklerin sistem üzerindeki toplam etkisi analiz edilmektedir.

Projelerin değişken doğası itibariyle Risk Yönetiminin önemli hususlardan biri risklerin yinelemeli bir şekilde projenin her aşamasında tekrar gözden geçirilmesidir. Bu bağlamda SIMILAR'daki Tekrar Gözden Geçirme adımının kısmen Risklerin Kontrol Edilmesi adımına denk geldiği ve başarı olasılığını artırıcı olduğu değerlendirilmektedir.

SIMILAR'daki Bütünleme adımı sistemi oluşturan alt-sistemleri bir araya getiren adımdır. Risk Yönetimi açısından bakıldığında proje ekibi içerisinde risklere ilişkin iletişimin ve bilgilendirmenin yapılması Bütünleme adımı olarak düşünülebilir. SIMILAR ve PMI arasındaki temel fark Bütünleme adımına denk gelen bir adımın PMI Risk Yönetim Sürecinde tanımlanmayışıdır. Bahsi geçen adım PMI İletişim Yönetimi

Süreci'nde kapsanmaktadır. Ancak bu adımın PMI Risk Yönetim Sürecine ilavesinin fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Çizelge 2. SIMILAR ve INCOSE Risk Yönetim Süreçleri'nin kıyaslanması

SIMILAR Süreci	**INCOSE Risk Yönetim Süreci**
Problemin Tanımlanması	Risk Yönetimi Planlaması
Alternatiflerin Araştırılması	Risk Profilinin İdare Edilmesi Risk Çözümlemesi
Sistem Modellemesi	
Bütünleme	-
Sistemin Ayağa Kaldırılması	Risklerin Ele Alınması (Treat Risks)
Performansın Değerlendirilmesi	Risklerin İzlenmesi
Tekrar Gözden Geçirme	Risk Yönetim Sürecinin Değerlendirilmesi

Çizelge 2'de INCOSE Risk Yönetim Süreci adımları [6] ve SIMILAR Süreci adımları arasındaki eşleşme verilmiştir. Bu kıyaslamada ise, PMI Sürecine benzer şekilde, SIMILAR'daki Problem Tanımlanması ve INCOSE'deki Risk Yönetimi Planlaması arasında denklik olduğu görülmektedir. Ayrıca SIMILAR'daki Alternatiflerin Araştırılması ve Sistem Modellemesi adımları INCOSE'deki Risk Profilinin İdare Edilmesi ve Risk Çözümlemesi adımlarıyla benzerlik göstermektedir. PMI'da olduğu gibi INCOSE Risk Yönetimi Sürecinde SIMILAR'daki Bütünleme adımına karşılık gelen bir adımın tanımlanmadığı görülmektedir.

Çizelge 3. SIMILAR ve IRM Risk Yönetim Süreçleri'nin kıyaslanması

SIMILAR Süreci	**IRM Risk Yönetim Süreci**
Problemin Tanımlanması	Organizasyonun Stratejik Amaçlarının Belirlenmesi
Alternatiflerin Araştırılması	Risklerin Belirlenmesi Risklerin Tariflenmesi
Sistem Modellemesi	Risk Tahminlemesi Risklerin Değerlendirilmesi
Bütünleme	Risklerin Raporlanması ve İletişiminin Yapılması
Sistemin Ayağa Kaldırılması	Risklerin Ele Alınması (Treat Risks)
Performansın Değerlendirilmesi	Risk Yönetim Sürecinin İzlenmesi ve Gözden Geçirilmesi
Tekrar Gözden Geçirme	

Çizelge 3'te IRM Risk Yönetim Süreci adımları [7] ve SIMILAR Süreci adımları arasındaki eşleşme verilmiştir. Bu son kıyaslamada, SIMILAR Süreci'ndeki tüm adımlar ve IRM Risk Yönetim Süreci adımlarının örtüştüğü görülmektedir. SIMILAR'daki Sistem Modellemesi adımına denk gelen IRM Risk Tahminlemesi ve

Risklerin Değerlendirilmesi adımları PMI'dakine benzer şekilde Nitel ve Nicel Risk Çözümlemesini öngörmektedir. PMI ve INCOSE'de tanımlı olmayan SIMILAR Süreci Bütünleme adımı IRM'daki Risklerin Raporlanması ve İletişiminin Yapılması adımıyla karşılanmaktadır. Ayrıca IRM'daki Risk Yönetim Sürecinin İzlenmesi ve Gözden Geçirilmesi adımı PMI ve INCOSE'de net olarak bahsedilmeyen SIMILAR Süreci Tekrar Gözden Geçirme adımını da kapsamaktadır.

Yapılan kıyaslamalarda SIMILAR Süreciyle en iyi örtüşen Risk Yönetim Sürecinin IRM Enstitüsü Süreci olduğu görülmektedir. SIMILAR'daki Sistem Modellemesi, Bütünleme ve Tekrar Gözden Geçirme adımlarının Risk Yönetimi sırasında başarı olasılığını artırıcı olacağı değerlendirilmektedir.

3. SİSTEM GEREKSİNİMLERİ RİSK MODELLEMESİ

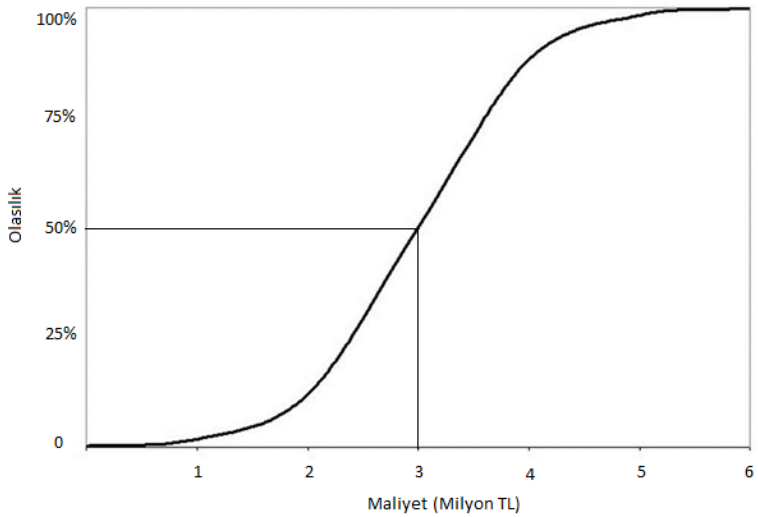
SIMILAR Süreci'ndeki Sistem Modellemesi adımında kullanılan yöntemlerin başında simülasyonlar gelmektedir. Risk yönetimi kapsamında Nicel Risk Çözümleme yöntemleri olarak hassasiyet analizleri ve Beklenen Parasal Değer Analizinin (Expected Monetary Value – EMV) yanı sıra yine modelleme ve simülasyon yöntemleri de kullanılmaktadır [3]. Bu bölümde SIMILAR Süreci'nde Sistem Modelleme yöntemlerinden olan Monte Carlo Simülasyonu'nun sistem gereksinimlerindeki risklere uygulanışı çalışılmıştır.

3.1 Monte Carlo Metodu

İstatistiksel bir metod olan Monte Carlo karmaşık fiziksel veya matematiksel sistemlerin çözümlerini tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Monte Carlo Yöntemi rastgele sayıları baz alarak simülasyonlar koşmakta ve gerçekte karşılaşılması beklenen olasılıkları deneysel olarak hesaplamaktadır. Monte Carlo'nun en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi verilen olasıllık dağılımlarından örnekler üretmektir.

Pratikte projeleri etkilemesi olası riskler olarak sadece mali veya zamansal risklerin dikkate alındığını görmekteyiz. Bu kapsamda günümüzdeki birçok projenin bütçesel veya takvimsel sapmalarını simüle etmek ve olası risklerin toplam etkisini görebilmek için Monte Carlo Simülasyonu kullanılmaktadır [8]. Uygulamanın temelinde olasılık dağılımı verilmiş olan değişkenin değeri (maliyet kalemleri tahminleri veya proje takviminde belirtilen aktivite süreleri) rastgele ve yinelemeli (iteratif) olarak hesaplanıp, kümülatif değer oluşturulmakta ve birçok defa yinelenen bu işlemden elde edilen verilerle sistem simüle edilmektedir. Şekil 1'de örnek bir proje sonundaki toplam maliyetin hangi olasılıkla ne kadar olabileceğini gösteren ve Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak üretilmiş bir eğri sunulmuştur [3]. Bu eğriye bakılarak projenin ortalama olarak 3 Milyon TL'ye mal olacağı öngörülebilmektedir. Bu kümülatif eğri hazırlanırken her bir maliyet kaleminin olasılık dağılımından rastgele ve yinelemeli olarak ne değerde olacağı hesaplanmış ve ardından her iterasyonda tüm kalemlerin değerleri toplanarak toplam proje maliyetine ilişkin bir model oluşturulmuştur.

Halihazırda projelerdeki zamansal ve bütçesel sapmaları öngörebilmek amacıyla Oracle Primavera P6 Enterprise Project Project Portfolio Management ve Primavera Risk Analysis (Monte Carlo) [4] gibi modelleme araçları kullanılmaktadır.

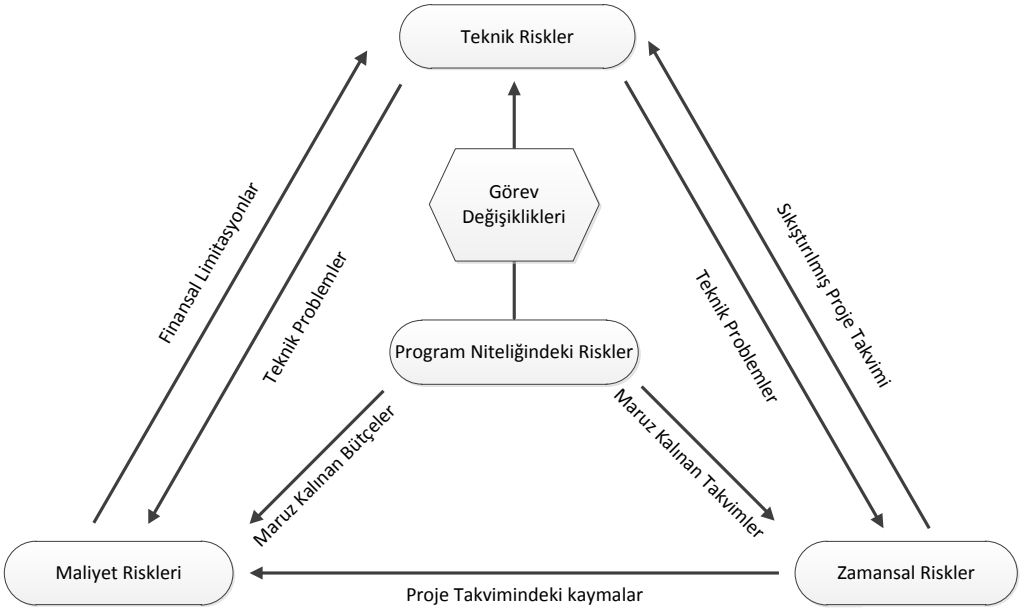


Şekil 1. Örnek toplam proje maliyeti eğrisi (kümülatif)

3.2 Sistem Gereksinimleri ve Risk Modellemesi

Projelerdeki riskler [6]'da belirtildiği ve Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere sadece mali ve zamansal risklerden oluşmamaktadır. Teknik ve program niteliğindeki risklerin (proje yöneticisinin kontrolü dışındaki ve daha üst seviye riskler) proje başarısını etkilemek yönünde ciddi etkileri vardır. Şekil 2'den de görüleceği üzere realize olan teknik risklerin projelerin maliyetine ve tamamlanma zamanına olumsuz yönde etki etmesi çokca yaşanan bir durumdur. Bundan yola çıkarak, projelerin planlanması aşamasında, toplam teknik riskin öngörülebilmesi halinde, olası mali ve takvimsel etkilerinin de rahat bir şekilde tahmin edilebileceği düşünülmektedir.

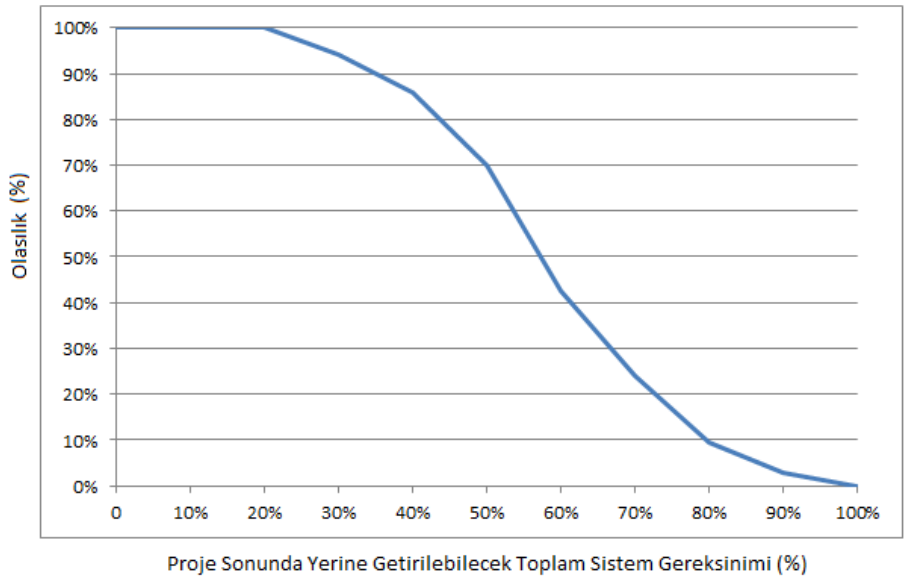
Projelerin başlangıç aşamalarında projeleri teknik açıdan değerlendirmek için en kullanılabilir girdiler sistem gereksinimleridir. Sistem gereksinimlerinin önce tek tek, daha sonra da toplam riskinin hesaplanması, projede yaşanması beklenen teknik sorunların habercisi olacaktır. Bu bağlamda maliyet ve zamansal risklere yönelik modellemeler için kullanılan Monte Carlo Simülasyonu'nun sistem gereksinimlerinin yerine getirilebilirliğine yönelik risk modellemesi için de kullanılması düşünülmektedir.



Şekil 2. Mali, Zamansal, Teknik ve Program Niteliğindeki Riskler arasındaki ilişki

Önerilen yöntemin ilk aşamasında sistem mühendisliği sorumlusu tarafından sistemdeki her bir gereksinimin teknik olarak yapılabilirliğine 0 ile 1 arasında bir olasılık atanır. Bu aşamada projedeki toplam gereksinim sayısının belirli olduğu ve her bir gereksinim net bir şekilde tanımlanmış olduğu varsayılmaktadır. Ardından Monte Carlo Simülasyonu kullanılarak, proje sonunda sistem gereksinimlerinin yüzde kaçının hangi olasılıkla tamamlanabileceği yinelemeler yapılarak hesaplanır. Önerilen yöntemde gereksinimlerin atomik, birbirlerinden bağımsız ve eşit ağırlıkta (önemde) olduğu varsayılmaktadır.

Önerilen yöntemle elde edilmiş örnek bir kümülatif eğri Şekil 3'te verilmiştir. Bu şekil,100 farklı sistem gereksinimi olan küçük çaplı bir projede, Monte Carlo yönteminin uygulanmasıyla sistem gereksinimlerinin yapılabilirliğine ilişkin elde edilmiş olan eğriyi göstermektedir. Örneğin gerçekçi olması amacıyla 25 gereksinime yüksek (0.9), 10 gereksinime düşük (0.1) ve geri kalan gereksinimlere ise 0 ile 1 arasında yapılabilme (yerine getirebilme) olasılıkları atanmıştır. 10.000 kez yinelenen rastgele durumlar koşulmuş ve proje sonunda tüm gereksinimlerden yüzde kaçının hangi olasılıkla tamamlanabileceği modellenmeye çalışılmıştır. Bu örnekte Monte Carlo Simülasyonu olarak ve rastgelelik kazanmak için Microsoft Excel'in rand() fonksiyonu kullanılmıştır. Eğriden görüleceği üzere 50% olasılıkla tüm gereksinimlerin 58%'i, 90% olasılıkla da gereksinimlerin 38%'i sorunsuz bir şekilde yerine getirilebilecektir. Bu bilgi ve yapılmasında teknik açıdan zorluk yaşanacak gereksinim sayısı dikkate alınarak zaman ve bütçe planında ilgili rezervler bırakılabilir. Ayrıca projeye ilişkin daha doğru öngörülerde de bulunulabilir.



Şekil 3. Proje sonunda teknik olarak yerine getirilebileceği öngörülen toplam gereksinim yüzdesi ve ilgili olasılıklar

4. SONUÇ

Bu çalışmada ilk olarak SIMILAR Süreci'nin sistem mühendisliği süreçlerinden Risk Yönetimi ile olan benzerlikleri araştırılmıştır. PMI, INCOSE ve IRM gibi enstitülerin Risk Yönetim Süreçleriyle kıyaslanan SIMILAR'ın en çok IRM Süreciyle örtüştüğü görülmüştür. SIMILAR'daki Sistem Modellemesi, Bütünleme ve Tekrar Gözden Geçirme adımlarının Risk Yönetiminde fayda sağlayacağı değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında Nicel Risk Çözümleme ve Sistem Modelleme tekniklerinden olan ve çoğunlukla proje bütçesi ve takvimindeki risklerin olası toplam etkisini görmek için kullanılan Monte Carlo Simülasyonu ele alınmıştır. Yapılan çalışmada teknik risklerin kökeni olduğu düşünülen sistem gereksinimlerinin kümülatif riski Monte Carlo yöntemiyle simüle edilmiştir. Bu uygulamadaki asıl amaç teknik sorunlardan doğabilecek risklerin proje bütçe ve maliyetine etkisini öngörebilmektir. Verilen örnekte 100 farklı sistem gereksinimi için 10.000 yineleme yapılarak proje sonunda sistem gereksinimlerinin yüzde kaçının hangi olasılıkla yerine getirilebileceği simüle edilmiştir.

Çalışmanın ileriki aşamalarında her gereksinimin farklı ağırlığının (öneminin) olduğu, birbirine bağımlı gereksinimlerin bulunduğu ve gereksinimlerin birbirinin ön koşulu olduğu durumların çalışılması planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Bahill, A. T. ve Briggs, C. (2001), The systems engineering started in the middle process: a consensus of system engineers and project managers, *Systems Engineering*, 4(2), 156-167.

[2] Bahill, A. T. ve Gissing, B. (1998), Re-evaluating Systems Engineering Concepts Using Systems Thinking, *IEEE Transactions On Systems, Man, And Cybernetics — Part C: Applications and Reviews,* Vol. 28, NO. 4

[3] Project Management Institute (PMI) (2013), A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) Fifth Edition, Project Management Institute, Inc., Pennsylvania, ABD

[4] Oracle Primavera (2012), A Standardized Approach to Risk Management Improves Project Outcomes and Profitability, Oracle Corporation, World Headquarters, Redwood Shores, CA, ABD

[5] Project Management Institute (PMI) (2009), Practice Standard For Project Risk Management, Project Management Institute, Inc., Pennsylvania, ABD

[6] SE Handbook Working Group, International Council on Systems Engineering (INCOSE) (2011), Systems Engineering Handbook, A Guide For System Life Cycle, INCOSE, San Diego, CA, ABD

[7] The Institute of Risk Management (IRM) (2002), A Risk Management Standard, IRM, Londra, İngiltere

[8] McCabe, B. (2003), Monte Carlo simulation for schedule risks, *IEEE Simulation Conference, 2003. Proceedings of the 2003 Winter,* vol.2, 1561 - 1565

BENZETİM SİSTEMLERİNDE GERÇEKLENEN ÇOKLU KOŞUMLARDA KOŞUM SAYISININ BELİRLENMESİ

Tuğba Özbilgin [(a)], Dr. Nurşen Sarı [(b)], Melike Gürbüz [(c)], Ümit Özkan[(d)]

[(a, b, c, d)] TÜBİTAK BİLGEM, Gebze 41470 Kocaeli, (tugba.ozbilgin, nursen.sari, melike.gurbuz, umit.ozkan)@tubitak.gov.tr

ÖZ

Stokastik sistemler, belirli bir senaryo altında sistemi oluşturan değişkenlerin koşum anında alacağı değerlerin kesin olarak bilinmediği, bu sebeple girdiler bilinse de çıktıların tam olarak bilinemediği sistemlerdir. Stokastik sistemlerin benzetimi ile elde edilecek sonuçların güvenilir olması için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlerden Monte Carlo yöntemi benzetimin birçok kez tekrarlanması yani sistemin çoklu koşturulması temeline dayanır. Monte Carlo yönteminin kullanımında temel problem yapılacak çoklu koşum sayısının belirlenmesidir. Sayıca çok koşum yapılması sonuçların güvenilirliğini artırırken benzetim süresini uzatacaktır. Bu yüzden koşum sayısının mevcut duruma göre akıllıca belirlenmesi gerekir.

Belirli bir senaryo altında başarım analizi yapılan sistemlerde elde edilecek temel sonuç benzetimin "başarılı" ya da "başarısız" olmasıdır. Örneğin sakınma yapan bir platformun koşum sonunda kurtulması veya imha olması bir başarım analizidir. Bu şekildeki sakınma sistemlerinde çoklu koşum sonuçlarının 3 madde altında toplanabileceği görülmüştür. Bunlar sırasıyla sakınan platformun her zaman kurtulduğu, her zaman imha olduğu ya da bazen kurtulup bazen imha olduğu durumlardır. Yapılan analizlerde bu 3 durum için gerekli koşum sayısının farklı olduğu, benzetim sırasında gerekli koşum sayısının uyarlamalı olarak belirlenebileceği ve bu şekilde başarım sonucunun güvenilirliğini riske atmadan benzetim süresinden tasarruf edilebileceği görülmüştür. Bu bildiride çoklu koşum sayısının belirlenmesinde kullanılacak yöntemler anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Başarım analizi, çoklu koşum, koşum sayısı, kurtulma olasılığı, Monte Carlo benzetimi

DETERMINING THE NUMBER OF MULTIPLE RUNS IN SIMULATION SYSTEMS

ABSTRACT

Stochastic systems are systems in which the value that the system variables will take cannot be known precisely and that is why outputs are unknown even though inputs are known. There are several methods to make the results obtained by simulating the stochastic systems reliable. One of these methods is the Monte Carlo method which is based on repeating the simulation runs several times, namely conducting multiple runs. The fundamental problem in utilizing Monte Carlo method is determining the number of multiple runs. Conducting too many runs will increase the reliability of the results at the cost of increased simulation time. That is why the number of multiple runs should be wisely determined.

The basic performance analysis result of stochastic systems that are run in a certain scenario is simulation results' being successful or unsuccessful. For example survival or destruction of an evading platform at the end of the run is a performance analysis. In this type of evading scenarios, it is observed that multiple run results can be classified under three situations. These are the situations in which the evading platform always survives, always is destroyed or sometimes survives and sometimes is destroyed. In the analysis done, it is observed that the number of multiple runs necessary corresponding to each case is different, that is why the number of runs can be determined adaptively during simulation and by this way simulation time can be reduced without risking the reliability of the performance results. In this article the methods used to determine the number of multiple runs is explained.

Keywords: Performance analysis, multiple run, run number, survival probability, Monte Carlo simulation

1. GİRİŞ

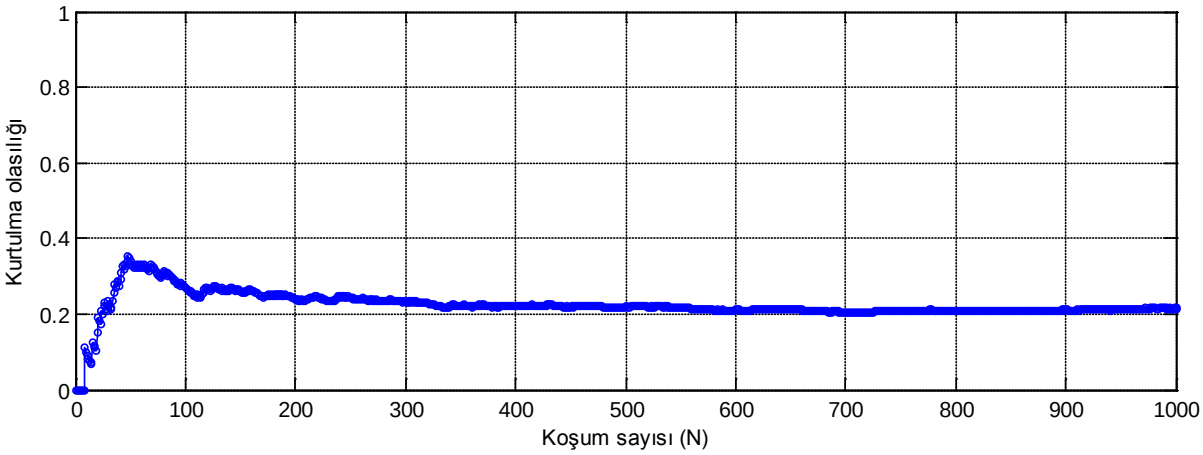
Belirli bir tehdit senaryo altında platform tarafından uygulanan sakınma taktiğinin benzetimi ile elde edilecek en önemli sonuç sakınma taktiğinin başarılı ya da başarısız oluşudur. Sistemdeki rastsal parametrelerden ötürü benzetimin tekrar edilmesiyle her zaman aynı sonuçlar alınmayıp sakınma taktiği bazı tekrarlarda başarılı bazılarında ise başarısız çıkabilir. Benzetim sonuçlarının güvenilirliğini artırmak için Monte Carlo benzetimi yönteminden yararlanılabilir [1]. Monte Carlo yönteminde benzetim çok kere tekrar edilerek yani çoklu koşum yapılarak sonuçların; bir başka deyişle platformun uyguladığı taktiğe bağlı kurtulma olasılığının oturması sağlanır. Ayrıca bu şekilde bir çok tehdit senaryosu için çoklu koşumlar yapılarak elde edilecek sonuçlar toplu olarak değerlendirilebilir [2]. Sonuçların oturacağı gerekli koşum sayısının belirlenmesi önemli

bir problemdir. Yapılan benzetimlerin karakteri, sabit sayıda bir çoklu koşum sayısı yerine adaptif bir koşum sayısının belirlenmesine olanak sağlayabilir. Bunun için benzetim sonuçlarının incelenerek karakterinin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

2. BENZETİM SONUÇLARININ İNCELENMESİ

2.1. KURTULMA OLASILIĞI

Sakınma yapan bir platform içeren harekat senaryosu kapsamında yapılan bir benzetimde, benzetimin çok kere tekrarlanması ile elde edilecek en önemli sonuçlardan biri sakınma yapan platformun kurtulma olasılığıdır. Gerçekte ne olduğunu bilmediğimiz ve benzetimlerle bulmaya çalıştığımız gerçek kurtulma olasılığına P diyelim. Çoklu koşum sayısının yani tekrarlanan deney sayısının artışı Monte Carlo benzetimi ile elde edilecek kurtulma olasılığını gerçek kurtulma olasılığına yakınlaştıracaktır. Monte Carlo benzetimleri ile elde edilen bu tahmini kurtulma olasılığına da P_{MC} diyelim. Şekil 1'de gerçek bir sistemde yapılmış 1000 çoklu koşumda her koşumun bitiminde elde edilen kurtulma olasılığı P_{MC}'nin koşum sayısı N arttıkça nasıl değiştiği görülmektedir. Buradaki sonuçlara bakılarak koşum sayısı arttıkça kurtulma olasılığının 0,21'e doğru oturduğu görülmektedir.

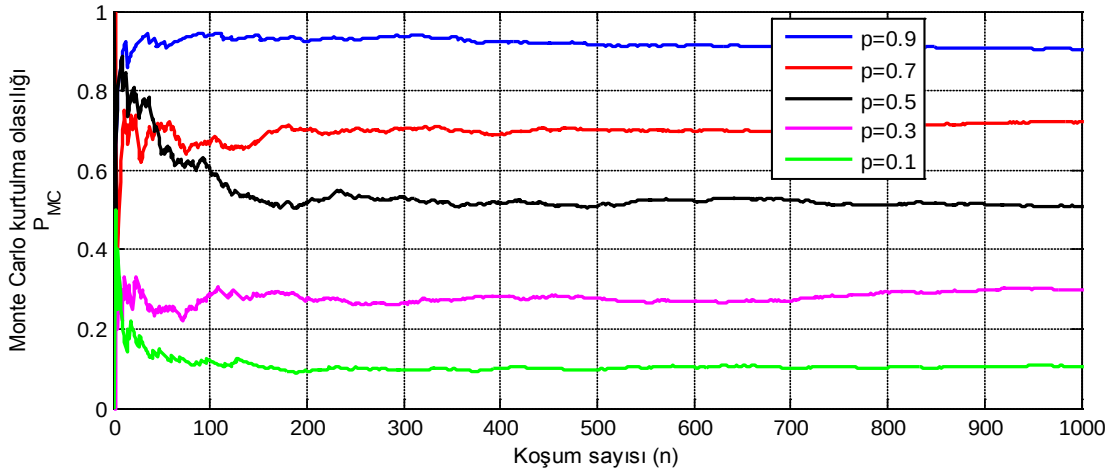


Şekil 1. Örnek bir çoklu koşumun kurtulma olasılığı sonucu

2.2. KOŞUM SAYISININ BELİRLENMESİ

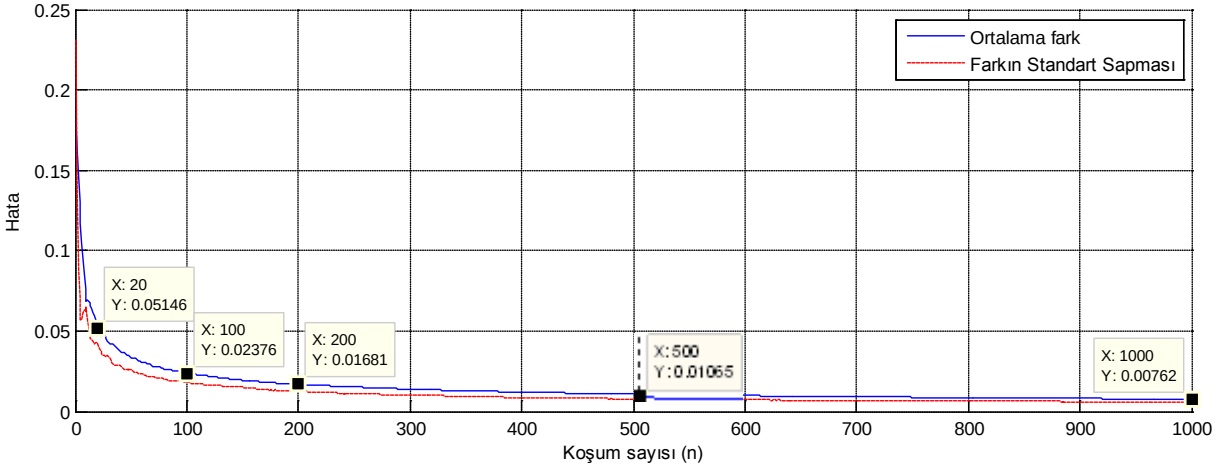
Kurtulma olasılığının koşum sayısına göre çizdirildiği Şekil 1'deki grafik gerekli koşum sayısı hakkında fikir verse de Monte Carlo benzetimi sonuçlarının koşum sayısıyla ilişkisini olasılıksal olarak değerlendirmek gerekir. Monte Carlo benzetimi sonucu elde edilecek kurtulma olasılığı P_{MC}'nin koşum sayısı N arttıkça ne olduğu önceden bilinmeyen gerçek kurtulma olasılığı P'ye ne kadar yaklaştığını incelemek için P olasılığına göre rastgele 1000 adet kurtuldu / kurtulmadı sonucu üretilmiş, N = 1'den başlayarak 1000'e kadar P_{MC} değeri güncellenerek N'ye göre grafiği çizdirilmiştir. Şekil 2'de P = 0,9, 0,7, 0,5, 0,3 ve 0,1 durumları için P_{MC} değerleri aynı grafik üzerinde

görülmektedir. Görüldüğü gibi N sayısı arttıkça P_{MC} değeri P'ye yaklaşmaktadır. Koşum sonuçlarının özellikle 100 - 200 koşumdan sonra oturmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 2. Belirli P değerleri için gerçekleştirilen Monte Carlo benzetimi sonuçları

Ancak Şekil 2'deki grafiğin de rastsal olduğu unutulmamalıdır. Bu yüzden grafiğin elde edilmesindeki işlem 10000 kere gerçekleştirilmiş ve bütün P değerleri için elde edilen ve Monte Carlo benzetiminin hata miktarı olan$|\ P_{MC} - P\ |$ farkının ortalaması alınıp ortalama hata değeri hesap edilmiştir. Ortalama hata değeri koşum sayısına göre en rastsal durum olan P=0,5 için Şekil 3'te gösterilmiştir. Görüldüğü üzere 20 koşum yapıldığında ortalama hata %5, 100 koşumda %2,5, 200 koşumda %1,7, 500 koşumda % 1 ve 1000 koşumda % 0,75'tir.



Şekil 3. P=0,5 durumu için Monte Carlo benzetimi ile elde edilen kurtulma olasılığı değerinin 0,5 ile arasındaki ortalama fark

Sistemin ihtiyaçlarına göre maksimum bir ortalama hata payı belirlenip bu hatayı geçmeyecek şekilde yapılabilecek minimum koşum sayısı belirlenir. Şekil 3'e bakılarak çoklu koşum sayısı Monte Carlo olasılığı P_{MC}'nin gerçek kurtulma olasılığı P'ye ortalama %2,4 hata ile ulaştığı 100, %1,7 hata ile ulaştığı 200 ya da %1 hata ile ulaştığı 500 sayısı optimum koşum sayısı olarak belirlenebilir.

Binom rassal değişkeni büyük N için normal olarak yakınsanabilir. Bu yakınsamadan yararlanılarak Monte Carlo sonucu elde edilen P_{MC}'nin gerçek P'nin x yakınlığında olduğundan %99 emin olmak için gerekli olan minimum koşum sayısı N şöyledir [3]

$p - x \le P_{MC} \le p + x$ için

$$N = \left\lceil \left(\frac{1.2875}{x} \right)^2 \right\rceil \tag{1}$$

Eğer optimum koşum sayısı 200 olarak belirlenirse 200 kez koşum yapıldığında elde edilecek P_{MC}'nin gerçek kurtulma olasılığı P'den en fazla $x = 0.091$ farklı olacağından %99 emin olunur.

3. BENZETİM SONUÇLARININ SINIFLANDIRILMASI VE ADAPTİF ÇOKLU KOŞUM SAYISI YAKLAŞIMI

Savunma sistemlerinin benzetiminde, benzetimin çok kere tekrar edilmesiyle elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1- Sakınan platform her zaman imha olur,

2- Sakınan platform bazı koşumlarda kurtulur bazılarında imha olur,

3- Sakınan platform her zaman kurtulur.

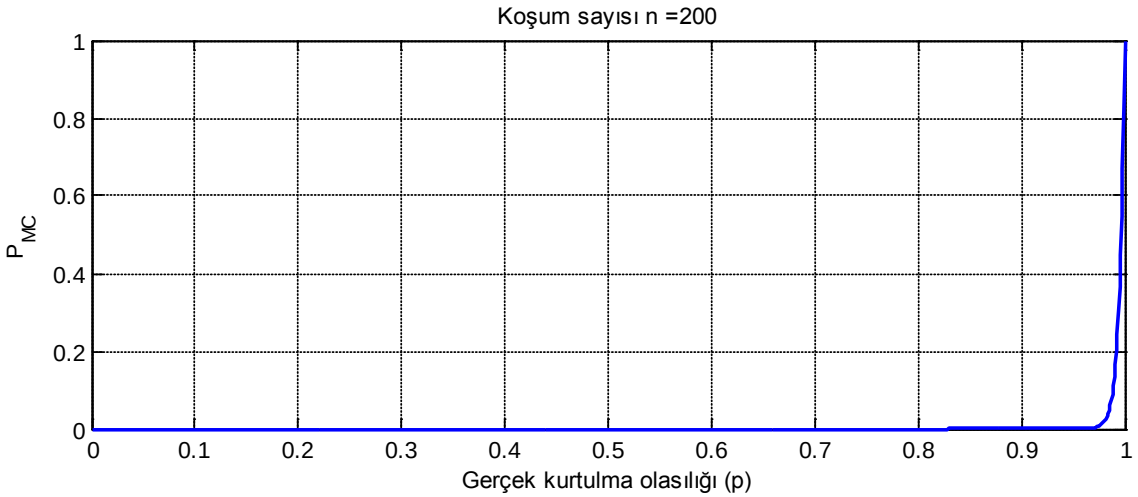
Benzetimlerin çok sayıda tekrar edilmesinin sebebi sonuçların güvenilirliğinin arttırılmasıdır. Önceki bölümde ikinci maddeye tekabül eden durum incelenmiştir. Birinci ve üçüncü durumlarda ise P'nin ya 0 ya da 1 olması sonuçların daha az rastsal olduğunu ve ikinci durum için belirlenmiş optimum koşum sayısından daha az koşum yapılarak da güvenilir sonuçlar alınabileceğini düşündürür.

Birinci durumu çok sayıda tekrar etmek platformun gerçekten her zaman imha mı olduğunu yoksa kurtulduğu durumlar da olup olmadığını anlamaya yarar. Halbuki savunma sistemlerinde taktik geliştirme ve karar destek açısından düşünüldüğünde başarısız sonuçlarla çok fazla ilgilenmeyiz. En rastsal durum olan P=0,5 için Şekil 3'te 20 koşum ile elde edilecek Monte Carlo olasılığı P_{MC}'nin gerçek kurtulma olasılığı P'ye ortalama %5 hata olasılığı ile ulaştığı görülmektedir. Yani 20 koşum sonucunda P_{MC}=0 ya da 0 olmasa da düşük bir değer çıktığında elde ettiğimiz PMC'nin güvenilirliği

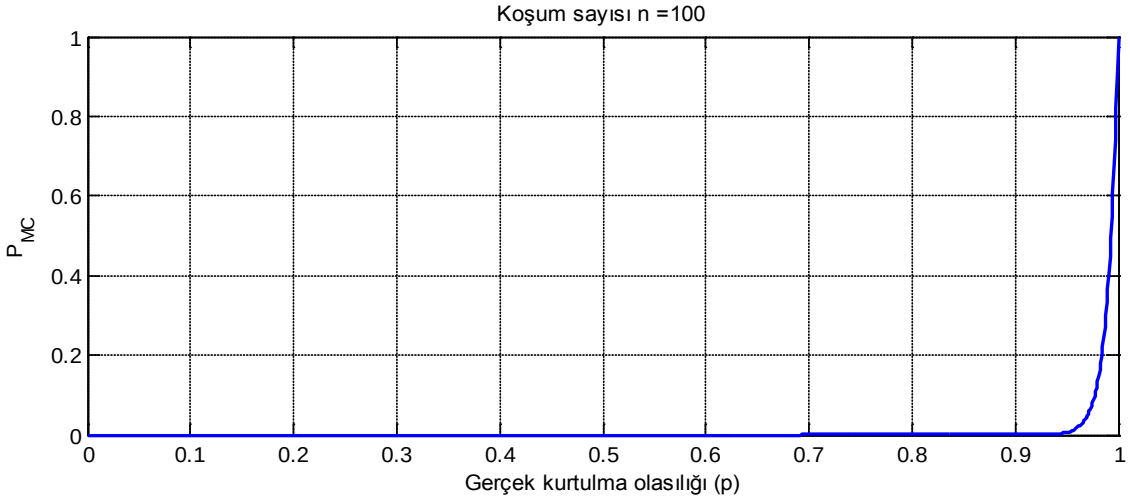
ortalama %5 hatalıdır. Fakat düşük kurtulma olasılığı zaten ilgilenmediğimiz bir durum olduğu için bu hatayı önemsemeyebiliriz.

Şimdi de üçüncü durumu yakından inceleyelim. N adet Monte Carlo koşumu sonucunda sakınan platformun her zaman kurtuldu çıkma olasılığı şöyle ifade edilebilir

$$P_{MC} = p^N . \tag{2}$$



Şekil 4. P_{MC} değerinin güvenilirliği N=200



Şekil 5. P_{MC} değerinin güvenilirliği N=100

Monte Carlo benzetimi sonucu elde edilen kurtulma olasılığı P_{MC}'nin 1 çıkması olasılığı gerçek kurtulma olasılığı P'ye göre N=200 için Şekil 4'teki gibi çizdirilmiştir. Bu grafiğe bakarak 200 koşum sonucunda gerçek kurtulma olasılığı 0,97'nin altında olduğu halde Monte Carlo benzetimleri sonucu 1 çıkma olasılığının olmadığı görülmektedir. Ayrıca 0,97'den büyük durumlar için böyle bir hata yapılsa bile söz konusu koşum % 97'nin üzerinde başarılı bir koşum olacaktır. Aynı analiz 100 koşum

için yapıldığında bu değer Şekil 5'te görüldüğü gibi 0,95 çıkmakta, yani 200 koşum ile arasındaki fark çok az olmaktadır. Bu sonuçlara bakarak üçüncü durum için 200 yerine 100 koşum hatta daha az sayıda koşum yapılması durumunda da güvenilir sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

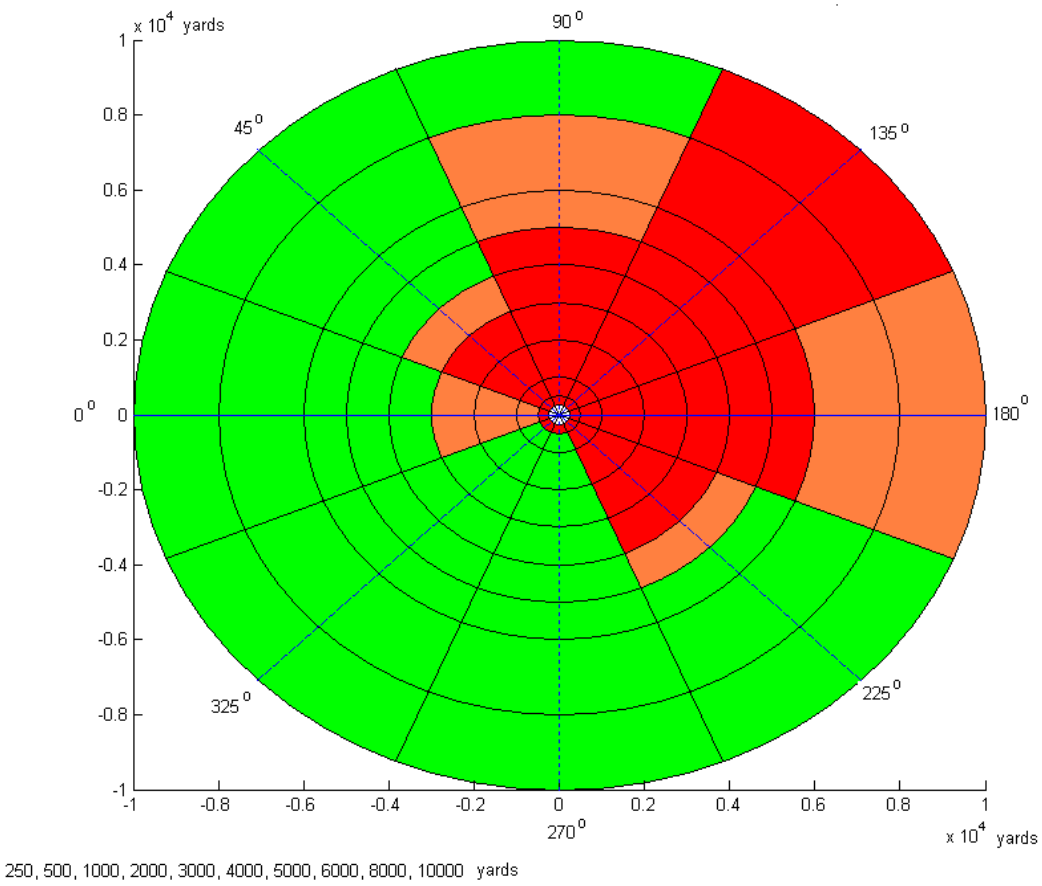
3.1. ADAPTİF KOŞUM SAYISI BELİRLEME ALGORİTMASI

Birinci, ikinci ve üçüncü durumlara tekabül eden optimum koşum sayıları sırasıyla N_1, N_2 ve N_3 olsun. Adaptif koşum sayısı belirleme algoritmasını şöyle ifade edebiliriz:

1- İlk önce N_1 adet koşum sonucuna bakılır. Durum birinci duruma tekabül ediyorsa koşum bitirilir, etmiyorsa N_3 adete kadar devam edilir.

2- N_3 adet koşum sonucunda durum üçüncü duruma tekabül ediyorsa koşum bitirilir, etmiyorsa N_2 adete kadar devam edilir.

Buradaki N_1, N_2 ve N_3 değerleri sistemin ihtiyaçlarına ve ne için kullanılmak istendiğine göre belirlenir.



Şekil 6. Kerteriz ve mesafe değişimlerine göre kurtulma olasılığının değişimi

Şekil 6'da bütün senaryo parametreleri aynı kalıp tehdit torpidosunun platforma göre kerterizi ve platforma olan mesafesi değerleri değiştikçe platformun kurtulma olasılığının nasıl değiştiğine ait sonuçların görselleştirildiği grafik görülmektedir. Şekilde 9 farklı mesafe ve 8 farklı kerteriz aralığına ait 72 adet alan vardır. Her bir alan farklı bir tehdit senaryosu olup optimum çoklu koşum sayısı kadar koşturularak kurtulma olasılığı elde edilmiştir. Kırmızı alanlar platformun hiç kurtulamadığı birinci, turuncu alanlar platformun bazı koşumlarda kurtulup bazılarında kurtulamadığı ikinci, yeşil alanlar ise platformun her zaman kurtulduğu üçüncü durumu işaret etmektedir. Bu alanların 34 adeti birinci (kırmızı), 9 adeti ikinci (turuncu) ve 29 adeti üçüncü (yeşil) duruma tekabül etmektedir. N_1, N_2 ve N_3 değerlerinin sırasıyla 20, 200 ve 50 olduğunu farz edelim. Eğer bütün alanları en rastsal durum olan ikinci durumun optimum koşum sayısı N_2=200 ile koştursaydık toplam $200 \times 72 = 14400$ koşum yapmamız gerekirdi. Halbuki koşum sayısını adaptif olarak belirler ve optimum koşum sayısını duruma göre N_1=20 ya da N_3=50 seçersek $34 \times 20 + 9 \times 200 + 29 \times 50 = 3930$ koşum yapmamız yeterli olacaktır.

4. SONUÇ

Önceden tanımlı bir senaryo kapsamında yapılan benzetimlerde, sonuçların güvenilirliği açısından çok sayıda koşum yapmak gerekir. Çoklu koşumlar sonucunda sakınan platformun bazen kurtulduğu bazen de imha olduğu durumlar ortaya çıkabileceği için her zaman imha olduğu ya da her zaman kurtulduğu gibi daha az rastsal durumlar da ortaya çıkabilmekte ve bu durumlar için optimum koşum sayısı kadar koşturmak vakit kaybına sebep olabilmektedir. Kurtulma olasılığının 0 ya da 1 çıktığı bu durumlar için daha az koşum sayısının yeterli olabileceği yapılan olasılık analizi ile gösterilmiştir ve koşum sayısının belirlenmesi için adaptif bir yaklaşım sergilenebileceği öngörülmüştür.

5. KAYNAKÇA

[1] Metropolis, N., Ulam, S., (1949), The Monte Carlo Method, *Journal of the American Statistical Association*, 335-341.

[2] ORACOM 2000, Digital Simulator of Underwater Warfare.

[3] Pitman, J. (1993), Probability, Springer-Verlag New York, Inc.

YAZAR DİZİNİ

AKAR BOZDAĞI Gözde	155
AKÇAKAYA Halil	212
AKGÜN İlker	274
AKOVA H. Ulaş	465
AKPINAR A. Sefa	341
AKYOL Mehmet Sadık	368
AKSU Emre Barış	311
ALASAĞ Tolga	212
ALDOĞAN Deniz	331, 484, 512
ALTAN Engin Z.	69
ARGIN İlker	311
ATAK Burak	533
ATUN Murat	12
AYDIN Hasan Gündüz	21, 221
BAKLAN Serdar	301
BALKAN Tuna	465
BAŞKUŞ Bülent	399
BİL BAŞARAN Dilek	523
BİRCAN Arıl	376
BOLATA Oğuz Yusuf	89
CAN Abdülkadir	12
CANBERİ M. Haluk	321
CANPOLAT Müge	390

CEVHER Fırat 360
ÇAKIROĞLU Semih 475
ÇALIŞKAN Hakan 465
ÇAYCI Dağhan 31
ÇAYIR Burak 89
ÇELİK Fatih 435
ÇELİK Turgay 301
ÇİFTÇİ Serdar 135
DALKIRAN Rıfat 125
DEĞERLİ Ahmet Turan 2
DEĞERLİ Mustafa 202
DİLEK Mustafa Hadi 311
DİRESKENELİ Aydın 399
DOĞAN Çağatay Hasan 360
DURA Özlem 399
DURAK Umut 390
EGE Emre 360
EKİCİ Mehmet 341
ELMAS Serdal 382
ELVEREN Erhan 89
ERGİN Ahmet Arif 145, 267
EROĞLU Alperen 455
EROĞLU Ömer 331, 484
ERTEM Hakan 61
ESENGİN Eray 230

FRANKO Semuel	284, 331, 484
GENÇ Hakkı Murat	484, 340
GENÇ İbrahim	267, 284
GÜDEN Mustafa	183, 192
GÜNAL Murat M.	274, 435
GÜR Metin	382
GÜRBÜZ Melike	212, 284, 291, 494, 553
GÜREL Oral	543
GÜRSOY Gönenç	41,51
GÜVEN Ahmet Faik	284, 484
HAKLIDIR Mehmet	284, 340, 484, 512
HOCAOĞLU Mehmet Fatih	95, 250, 259, 267, 415, 425
ILGAR İsmail	2
İRFANOĞLU Emre	274
KAHVECİ Hakan	341
KALE Ahmet	165
KANDEMİR Ayşe	95
KANDEMİR İlyas	95
KANPARA Yasin	331, 512
KAPUSUZ Kamil Yavuz	240
KARA Ali	183, 240
KARABEY Suha	230
KARAPINAR Hakan	61
KAYA Muhammed Çağrı	135

KAYASAL Uğur 105
KILIÇ Alper 321
KILIÇASLAN Cenk 192
KIVCI Erdem Türker 79, 311
KOCA Mehmet Akif 105
KÖROĞLU Meltem 105
KURUBAŞ Özcan 494
LEBLEBİCİOĞLU Kemal 155, 360, 445
MANAVOĞLU Burak 115
MİLLİ Erkan 173
NOVİKOV Yaroslav 41
ODACI İsmet Kutlay 192
OKUR Burak Çağrı 494
OKUTANOĞLU Aydın 21, 221
ORHAN Fatih 79, 311
ÖNCÜL Gülşen 513, 533
ÖZ Cemil 2
ÖZBİLGİN Tuğba 291, 553
ÖZCAN Can 351
ÖZDEMİR Handan 513
ÖZEK Mehmet Ömer 376
ÖZEN Serkan 407
ÖZKAN Sevgi 202
ÖZKAN Ümit 212, 284, 291, 494, 553

ÖZKAZANÇ Yakup	173
ÖZTÜRK Anıl	390
PLATİN Bülent E.	465
POLAT Gökhan	165
REŞBER Erdem	95, 250
SAÇ Hakan	155
SARI Faruk	165, 284
SARI Nurşen	212, 291, 494, 553
SARITAŞ Engin	61
SEÇER Görkem	475
ŞENYÜREK Levent Hakkı	331, 484, 504
TARIMCI Onur	51
TAŞDEMİRCİ Alper	183, 192
TEMİZER Selim	135, 407, 455
TİMAR Yasemin	484, 504
TİMURKAYNAK Barış	513
TUĞAY Mehmet Ali	125
TULGAR Okyanus	145, 382
TUNCER İsa	250
TURAN A. Kıvanç	183
TURAN Erhan	351
TÜRKAY K. Doğuş	321
UZEL Efe	475
UZOL Oğuz	41

ÜLÜĞ Ufuk 212, 284, 291

ÜNVER Seçkin 259

VAROL Ali Emre 435

VURAL Güral 301

YARAR Emrah Ali 475

YAVRUCUK İlkay 41, 51

YAZGAN Erdem 115

YIKILMAZÇINAR Sezgi 382

YILDIRIM Gökçe 368

YURTTAŞ Rağıp 445

ZORBA Orkun 12, 69