



YEDİNCİ ULUSAL SAVUNMA UYGULAMALARI MODELLEME VE SİMÜLASYON KONGRESİ

21-23 Kasım 2017

ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara

BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER

Yasemin Yardımcı  etin

Halit O uzt z n

Pınar Karagöz

Aysu Betin Can

Esmâ İpeko lu

Ceylan Dalgıç

ISBN: 978-975-429-371-5

©ODTÜ-TSK MODSİMMER (2017)

Bildirilerin içeriğinden yazarları sorumludur.

ÖNSÖZ

2005 yılından beri her iki yılda bir yapılagelen Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon (USMOS) Konferansının bu yıl 7.sini gerçekleştiriyoruz. Geçmiş yıllarda olduğu gibi Genelkurmay Başkanlığı, Milli Savunma Bakanlığı, Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Savunma ve Havacılık Sanayii İmalatçılar Derneği (SASAD) ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) konferansı düzenlemekteler.

İlk USMOS'lara doğrudan savunmaya yönelik temalar damgasını vururken, son dönemde sivil alandaki gelişmelerin gitgide daha fazla motor görevi gördüğünü gözlemliyoruz. Bu yıl seçilen ana tema 'Yeni Nesil Simülasyon Teknolojileri: Artırılmış Gerçeklik ve Ciddi Oyunlar' da bu trendin devamı olarak görülebilir. Konferansa gönderilen 80'i aşkın özetçe içinden 48 tanesinin programda yer alması ve bu tebliğlerin yarısının ana tema ile örtüşmesi ülkemizde bu yeni nesil teknolojilerin yakından takip edildiğine ve firmalarımızın bu alana kaynak ayırdıklarına işaret etmektedir. Konferansımızın verimli bir tartışma ortamı yaratarak bu ivmeyi daha da artırması başta gelen dileğimizdir.

Katılımcı tebliğlerine ek olarak bu yılki USMOS'ta çok değerli dört bilim insanı katılımcılara hitap edecekler. Virginia Tech'ten Prof. Osman Balcı 17 yıldır ABD Savunma Bakanlığı ile yakın çalışmakta. Modelleme ve Simülasyon'un ABD Savunma Bakanlığındaki önemine ilişkin değerlendirmelerini bizimle açılıшта paylaşacak. Konferansın son gününde ise modelleme ve simülasyonda kritik öneme sahip olan doğrulama, geçerleme ve onaylama konusunda geliştirdiği ve uluslararası çapta genel kabul gören yöntemini kısa kurs olarak anlatacak. NATO Bilimsel ve Araştırma Organizasyonu Modelleme ve Simülasyon (M&S) Koordinasyon Ofisi Başkanlığını görevini yürütmekte olan Yb. Federico Perez-Dueñas NATO MODSİM Grup faaliyetlerini bize tanıttacak. Ülkemizin bu gibi ortamlara daha fazla katılım sağlamasının uluslararası işbirliklerini ve bilgi transferini hızlandıracağı ve görünürlüğümüzü artıracığı kuşkusuzdur. Drexel Üniversitesi'nden Prof. Banu Onaral ve Doç. Dr. Kurtuluş İzzetoğlu bir süredir ülkemizi insan-makina ortaklığı ve kişiselleşmiş simülasyon konularında ön saflara taşımak için çabalamaktalar. Bu konferansta hem bir davetli konuşma, hem de bir özel oturum vasıtasıyla bu çabaları somutlaştırmak ve genişletmek istiyorlar. Bu noktada tüm düzenleyiciler olarak, davetli konuşmacılarımız yanında konferansımızın duyurulmasında ve gerçekleşmesinde en önemli aktörler olan bildiri yazarları, hakemleri, oturum başkanları, sponsor firmaları, organizatör firması, SASAD, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, ODTÜ Teknokent ve ODTÜ-TSK MODSİMMER personeline teşekkür ederiz.

Günümüzde bilgi kaynaklarının artması ve çeşitlenmesi model tabanlı sistemlerden veri tabanlı sistemlere geçişi hızlandırırken, bu denli hacimli ve değişken verinin modellenmesi yine model tabanlı sistemlere dönüşü kaçınılmaz kılmaktadır. Modelleme ve Simülasyon Ar-Ge, analiz ve tasarımda hep önde gelen araçlardan olagelmıştır. Bu çerçevede hemen her alanda yansımaları görülmekle birlikte USMOS'lar daha çok savunma alanı çalışanlarına hitap etmekteydi. Sivil alanlardaki zenginlikten daha fazla faydalanabilmek için daha katılımcı ve çeşitlikçi olmalıyız. Burada USMOS Konferanslarına ve ODTÜ-TSK MODSİMMER'e önemli görevler düşmektedir.

İleriki yıllarda camiamızı daha da genişletip çeşitlendirmek dileğiyle...

USMOS 2017 Düzenleme Kurulu Adına,

Prof. Dr. Yasemin Yardımcı Çetin
Konferans Başkanı

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR



Genelkurmay Başkanlığı



ODTÜ



Milli Savunma Bakanlığı



ODTÜ-TSK MODSİMMER



Savunma Sanayii Müsteşarlığı



SaSaD

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

-- Ana Sponsorlar --

BOXX

HAVELSAN

STM

-- Oturum Sponsorları --

aselsan

CEY SAVUNMA &
SİMÜLASYON

HEXAGON
studio

SDT
UZAY & SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ

roketsan

simsoft
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ

TAI

-- Basın Sponsoru --

DEFENCE
TURKEY

DÜZENLEME KURULU

Aysu BETİN CAN (ODTÜ)

Ceylan DALGIÇ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Elif SÜRER (ODTÜ)

Esmâ İPEKOĞLU (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Levent ERİKAN (Genelkurmay Başkanlığı)

Mustafa DİNÇ (ODTÜ)

Müge AKKAR ERCAN (ODTÜ)

Ömür ÇAKATAY (Genelkurmay Başkanlığı)

Pınar KARAGÖZ (ODTÜ)
(Kurul Eş Başkanı)

Vedat KARAARSLAN (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Yasemin YARDIMCI ÇETİN (ODTÜ)
(Kurul Başkanı)

AKADEMİK KURUL

Altan ÖZKİL (Atılım Ü.)

Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)
(Kurul Başkanı)

Hakan TÜZÜN (Hacettepe Ü.)

Murat Paşa UYSAL (Ufuk Ü.)

BİLİM KURULU

Prof. Dr. A.Ziya AKTAŞ (Başkent Ü.)

Prof. Dr. Bilgin KAFTANOĞLU (Atılım Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Ahmet PAKFİLİZ (Atılım Ü.)

Dr. Bülent Mehmet ADAK (ASELSAN)

Prof. Dr. Ali DOĞRU (ODTÜ)

Doç. Dr. Canan SEPİL (ODTÜ)

Prof. Dr. Ali YAZICI (Atılım Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Cengiz ACARTÜRK (ODTÜ)

Dr. Alpay KARAGÖZ (PROVEN)

Dr. Cevat ŞENER (ODTÜ)

Doç. Dr. Alptekin TEMİZEL (ODTÜ)

Doç. Dr. Dilek Funda KURTULUŞ (ODTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Altan ÖZKİL (Atılım Ü.)

Doç. Dr. Ece GÜRAN SCHMIDT (ODTÜ)

Dr. Aydın OKUTANOĞLU (SİMSOFT)

Dr. Elif SÜRER (ODTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Aydın ÖZTOPRAK (TOBB Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Emre KIYAK (Anadolu Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Aysu Betin CAN (ODTÜ)

Prof. Dr. Ercan ÖZTEMEL (Marmara Ü.)

Prof. Dr. Berna DENGİZ (Başkent Ü.)

Dr. Erdal YILMAZ (ARGEDOR)

Doç. Dr. Erol ŞAHİN (ODTÜ)

Doç. Dr. İbrahim AKGÜN (Abdullah Gül Ü.)

Doç. Dr. Ertan ONUR (ODTÜ)

Prof. Dr. İnci BATMAZ (ODTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Esmâ ERGÜNER ÖZKOÇ (Başkent Ü.)

Prof. Dr. İsmail Hakkı TOROSLU (ODTÜ)

Dr. Fatih NAR (ARGEDOR)

Prof. Dr. İsmail Hakkı TUNCER (ODTÜ)

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ (Karabük Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Kadir SARIKAYA (Gaziosmanpaşa Ü.)

Dr. Gökmen MAHMUTYAZICIOĞLU (ROKETSAN)

Prof. Dr. Kasım Murat KARAKAYA (Atılım Ü.)

Doç. Dr. H.Hakan MARAŞ (Çankaya Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Kayhan İMRE (Hacettepe Ü.)

Doç. Dr. Hakan TÜZÜN (Hacettepe Ü.)

Prof. Dr. Kemal ÖZGÖREN (ODTÜ)

Prof.Dr. Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Kivanç AZGIN (ODTÜ)

Doç.Dr. Harun ARTUNER (Hacettepe Ü.)

Prof Dr. M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU (ODTÜ)

Dr. Hürkan Orkun ZORBA (CEY Savunma)

Prof Dr. Mehmet Ali AKÇAYOL (Gazi Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Fatih HOCAOĞLU
(İstanbul Medeniyet Ü.)

Prof. Dr. Orhan YILDIRIM (ODTÜ (Emekli))

Doç. Dr. Mehmet KABAK (Gazi Ü.)

Prof. Dr. Ömer KIRCA (ODTÜ)

Prof. Dr. Murat Caner TESTİK (Hacettepe Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÖZPEYNİRCİ (İzmir Ekonomi Ü.)

Doç. Dr. Murat DEMİRAL (Çankaya Ü.)

Doç. Dr. Pınar KARAGÖZ (ODTÜ)

Doç. Dr. Murat Paşa UYSAL (Ufuk Ü.)

Doç. Dr. Selim Saffet BALCISOY (Sabancı Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Murat Perit ÇAKIR (ODTÜ)

Prof. Dr. Semih BİLGİN (Okan Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Murat YILMAZ (Çankaya Ü.)

Doç. Dr. Serhat BURMAOĞLU (İzmir Katip Çelebi Ü.)

Dr. Mustafa DİNÇ (ODTÜ)

Prof. Dr. Serkan ÖZGEN (ODTÜ)

Dr. Nedim ALPDEMİR (TÜBİTAK)

Doç. Dr. Sinan KALKAN (ODTÜ)

Doç. Dr. Nergiz ÇAĞILTAY (Atılım Ü.)

Prof. Dr. Şebnem DÜZGÜN (ODTÜ)

Doç. Dr. Okan TOPÇU (ODTÜ)

Yrd. Doç. Dr. Tansel DÖKEROĞLU (ODTÜ)

Dr. Turgay ÇELİK (OpsGenie)

Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ (Hacettepe Ü.)

Doç. Dr. Ufuk TÜREN (KKK)

Dr. Yakup YILDIRIM (ODTÜ)

Prof. Dr. Uğur GÜDÜKBAY (Bilkent Ü.)

Prof. Dr. Yasemin YARDIMCI ÇETİN (ODTÜ)

Dr. Uğur ZENGİN (TAI)

Dr. Zafer YILMAZ (McGill Ü.)

Dr. Umut DURAK (DLR)

Prof. Dr. Zuhale AKYÜREK (ODTÜ)

İÇİNDEKİLER

Bildiriler.....	1
Otomatik Konuşma Tanımanın Tam Uçuş Simülatörlerinde Kullanım Alanları ve Bir Uygulama: Sanal Oyuncu Sesli Etkileşimi (SOSE). Mustafa Zafer Bolat ve Ufuk Biçen.....	2
Artırılmış Gerçeklik Teknolojisine Sahip Eğitim Amaçlı Basit Seviyede Bir Görev Simülatör Arabirimi Tasarımı. Tarık İçten, Uğur Asan ve Güngör Bal.....	13
Şüpheli Davranışların Modellenmesi ve Tespiti için Bir Kavramsal Model Çalışması. İbrahim Genç ve David Pynadath.....	25
Sel Simülasyon Sistemi. Mehmet Emre Aydın ve Nurullah Hatipoğlu.....	37
Mikroservis Mimarisinin Avantajları: Bir Harp Oyunu Simülasyonu Projesinden Deneyimler. Hürkan Orkun Zorba, Abdülkadir Can, Serkan Özkaymak, Ziya Övünç Babadağı ve Caner Kavakoğlu.....	48
DDS-HLA Birlikte Çalışabilirlik Modelleri Üzerine Bir Literatür Araştırması. Muhammed Çağrı Kaya, Erkin Çilden, Haluk Canberi ve Halit Oğuztüzün.....	60
Modelleme ve Benzetim Proje Yönetim Döngüsü İçinde Doğrulama, Geçerleme Onaylama Süreci. Ceylan Dalgıç, Yakup Yıldırım, Ali Hikmet Doğru ve S. Engin Çalışan.....	72
Tümleşik Oyuncu Takip Sistemi. Başar Kasım, Tekin Aydın, Engin Kavak ve Gürhan Coğumlu.....	83
Coğrafi Durum Sergilemede Çoklu Dokunmatik Ekran Kullanımı. İsmail Kılınç ve Ziya Ulusoy.....	94
Görüş Hattı Analizi Algoritmalarının Paralel Programlama ile Hızlandırılması. Gökhan Yılmaz, Elif Sürer ve Alptekin Temizel.....	104
Grafik İşlemci Birimi Tabanlı Kızılötesi Sahne Üretici Yazılımında Atmosferik Etkilerin Bellek Verimli Modellenmesi. Ufuk Uyan, Çağlar Kavak ve Muhammed Yeşilkaya.....	117
Muharebe Etkinlik Değerlendirme Modeli. Gökçe Özkan, Mustafa Kemal Tural, Emre Gültekin ve Haluk Canberi.....	129

Haberleşme Sistemi Simülasyonu. Ömer Kırca, Zeynep Pelin Bayındır, Seçil Savaşaneril Tüfekçi, Emrah Günsel, Özgün Törezen Öztürk, Selin Akifoğlu, Cansu Alakuş ve Ömer Doğan.....	141
İş Süreçlerinin Optimizasyonunda Bulut Kaynaklar Üzerinde Çoklu Simülasyon Yönteminin Kullanımı. Ahmet Özkök, Cevat Şener, Hilal Akgül, Serdar Bakır, Umut Kazan ve Veysi İşler.....	148
Benzetim Eniyilemesinde Lognormal Ordinary Kriging Meta-Modeli. Muzaffer Balaban ve Berna Dengiz.....	158
Simülasyon Araçlarının Hava Trafik Kontrol Alanında Kullanımı. Mustafa Özdemir ve Öznur Usanmaz.....	169
Uçuş Simülatörlerindeki Dış Dünya Görsel Veritabanı Çözünürlüğünün Alçak Uçuşta Yükseklik ve Hız Algısına Etkisi. Şafak Tulumoğlu ve Hasan Umut Akın.....	181
Simülasyon Tabanlı Pazarlama. Kağan Aktürk ve Mustafa Dinç.....	193
İş Süreçleri Modellemesinde Ajan (Etmen) Tabanlı Simülasyon Yaklaşımının Kullanılması. Gökçe Dilek Kılı ve Mustafa Dinç.....	203
Çok Disiplinli Yaklaşımla Katı Yakıtlı Roket Motoru Yapısal Dayanım ve İç Balistik Performans Optimizasyonu. Ceyhun Tola ve Melike Nikbay.....	215
Bir Geminin İzinde Helikopter Uçuş Benzetimi ve Pilot Performansı. Erkan Abdulhamitbilal ve Önder Erdoğan.....	227
HAVELSAN Sürü Sistemleri Simülatörü Dizayn Konsepti. Barış Yalçın, Aycan Okan, Serhat Turhan, Ertuğrul Kartal Tabak, Mehmet Kozan ve Hakan Karapınar.....	239
Ciddi Oyunların Tanımlanması & Ciddi Oyunları Simülasyon ve Diğer Oyun Uygulamalarından Ayıran Temel Özellikler. Levent Berke Çaplı, Ali Emrah Yıldız ve Altan Özkil.....	240
İlk Yardım Tekniklerini Öğretme Amaçlı Tasarlanmış Oyun Tabanlı Mobil Platform. Hüseyin Erdoğan, Yahya Ayhan Acar, Orhan Çınar, Elif Sürer ve Pınar Karagöz.....	260

Tıp Eğitiminde Ciddi Oyunun Eğitim Yöntemi Olarak Didaktik Eğitimle Karşılaştırılması. Mehmet Erhan Sayalı, Dilek Kitapçioğlu, Mehmet Emin Aksoy ve Feray Güven.....	269
Ciddi Oyunlarda Gerçek Zamanlı Yangın Simülasyonu. Mustafa Ertuğrul Erdoğan ve Merve Tuncel.....	277
Sargus: Sentetik Açıklıklı Radar Gözetleme Uydusu Faydalı Yük Simülasyonu. Bilgehan Çakmak, Erkin Çilden ve Ahmet Sezer.....	285
Emniyet Analiz Yöntemlerinin Genel Bir Füze Sistemine Uygulanması. Firdevs Işık, Murat Caner Testik ve Adem Metin Çalı.....	296
Genel Amaçlı Bileşen Tabanlı Uçuş Modeli. Ertan Ataman, İlyas Kandemir ve Mehmet Fatih Hocaoglu.....	308
Deniz Konvoy Harekatında Hava Savunma Harbinin Kesikli Olay Benzetimi ile Modellenmesi ve Kavramsal Model Tasarım Uygulamaları. Ali Ercüment Opçin ve Mustafa Murat Günal.....	321
Hiperspektral Görüntülemede Su Etkisinin Modellenmesi. İsa Cem Eken ve Yasemin Yardımcı Çetin.....	333
Donanım Döngüde Uydu Simülatörü. Ali Telli, Başar Kasım ve Aycan Okan.....	345
Hiperspektral Görüntülemede Gaz Yayılımı Tespiti ve Tanımlanması. Yusuf Gür, Fatih Ömrüuzun, Didem Özışık ve Yasemin Yardımcı Çetin.....	357
Patlama Simülasyonları için Kabuk-Katı Bağlantı Metotlarının Araştırılması. Said Bedir ve Atıl Erdik.....	370
Coğrafi Durum Sergilemede Hololens Kullanımı. İsmail Kılınç.....	380
Sanal Gerçeklik Çatışma Simülatörü. Ali Tekin, Güvenç Şahin ve Başar Kasım.....	388
Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik Teknolojilerinin Korku ve Heyecan ile Başetmede Kullanımı: Literatür İncelemesi. Özlem Albayrak ve Duygu Albayrak.....	398
Arkeolojik Kazı Alanları ve Müzelerde Artırılmış Gerçeklik Teknolojisinin Kullanımına Yönelik Bir Model Önerisi. S. Vedat Karaarslan.....	410
Deniz Platformu Simülasyonlarında Artırılmış Gerçeklik Kullanımı. Aylin Kalebek ve Nevra Yıldız.....	420

Arttırılmış Gerçeklik ile Elektrik Devre Deneylerinin Simülasyonu. Nihat Daldal ve Berat Uzun.....	428
Hava Hedeflerinin Gelecek Zamandaki Durum Tahmini Çalışması. Fırat Yılmaz Cevher ve M. Kemal Leblebicioğlu.....	437
Arttırılmış Çok Maksatlı Kullanım için Çok-Modlu Bir İnsansız Hava Aracı. Ferit Çakıcı ve M. Kemal Leblebicioğlu.....	440
Helikopter Platformları için Mühendislik Simülatörü Geliştirilmesi. Volkan Çoşgun, Mehmet Murat Aygün ve Kıvanç Kürten.....	461
İnsansız Sualtı Aracının ROS Kullanılarak Gazebo Simülatöründe Kontrolü. Seyit Yiğit Sızlayan, Mustafa Mert Ankaralı ve Emre Ege.....	473
Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu. Özlem Demirtaş ve Bilge Kaan Görür.....	484
Kokpit Tasarımında Gösterge ve Kontrollerin Akış Kontrolü Bazlı Yerleşimi. Kıvanç Kürten ve Engin Demir.....	496
Elektromekanik Sistemlerin Nedensel Olmayan Modelleme Teknikleri ile Modellenmesi. Kürşad Kılınç ve Reşat Hakan Avcı.....	508
Modern Topçunun Mevzi Değiştirme Algoritmasının ve Beka Sisteminin İncelenmesi: Topçu Beka Modeli. Yusuf Ziya Temiz.....	518
Yazar Dizini.....	529

BİLDİRİLER

OTOMATİK KONUŞMA TANIMANIN TAM UÇUŞ SİMÜLATÖRLERİNDE KULLANIM ALANLARI VE BİR UYGULAMA: SANAL OYUNCU SESLİ ETKİLEŞİMİ (SOSE)

Mustafa Zafer Bolat ^(a), Ufuk Biçen ^(a)

^(a) HAVELSAN A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi 2120. Cadde No: 39 PK.06510
Çankaya ANKARA, {zbolat, ubicen}@havelsan.com.tr

ÖZ

Tam uçuş simülatörleri, bir hava aracının sistemleriyle kullanımının gerçekçi bir şekilde öğrenilmesini sağlayan, uçuşu ve uçulan çevreyi modelleyen sistemlerdir. Simülatörde uçan öğrenciler simülatör parametrelerini ve çevre şartlarını eğitim ihtiyacına göre düzenleyen operatörlere ihtiyaç duyarlar. Bunun yanı sıra gerek hava aracındaki muhabere sistemlerinin eğitimi gerekse müşterek görev eğitimlerinin gerçekleştirilmesi için bir simülatör öğrencisinin başka oyuncular ile gerçek hayattaki gibi sesli etkileşim kurması gerekmektedir. Sesli iletişim için ya başka simülatörler ve kullanıcıları ya da rol oynayıcı istasyonları ile simülatöre destek veren rol oynayıcı operatörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada otomatik konuşma tanıma (automated speech recognition (ASR)) teknolojileri hakkında kısa bir literatür taraması yapılarak, kısıtlı dağarcıklı ASR teknolojilerinin tam uçuş simülatörlerindeki uygulama alanlarından hava kontrolörü simülasyonu, eğitimci konsolu sesli komut algılama sistemi ve rol oyuncuların görev eğitimlerinde gerçekçi bir şekilde simüle edilmesi için sesli yanıt sistemi anlatılacaktır. SOSE sayesinde, simülatör öğrencilerinin eğitimci konsolu operatörlerine, rol oynayıcı operatörlerine ve başka simülatörlere ihtiyaç duymadan, kendi başlarına eğitim görebilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla simülatör öğrencisi pilotların konuşmaları, konuşma tanıma algoritmaları ile ayrıştırılarak (sistemde açık kaynaklı CMU sphinx alt yapısı kullanılmıştır) eğitimci konsolu yazılımına ve rol oynayıcı istasyonu yazılımlarına gönderilmiş, rol oynayıcı istasyonunda çalışan sanal oyuncuların kendi aralarında kullandıkları komutlar ise konuşmaya dönüştürülerek öğrenci pilotun kulaklığına verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hava Trafik Kontrol, Otomatik Konuşma Tanıma, Sanal Oyuncu Simülasyonu, Taktik Çevre Simülasyonu, Tam Uçuş Simülatörleri

THE USAGE AREAS OF AUTOMATED SPEECH RECOGNITION FOR FULL FLIGHT SIMULATORS AND AN APPLICATION: VIRTUAL PLAYER VOICE INTERACTION (VPVI)

ABSTRACT

Full flight simulators are systems that artificially re-create the flight and the flying environment for pilot training. Students who are flying in the simulator need operators who regulate environmental conditions and simulator parameters according to training needs. Besides, training requires a simulator student to have voice interaction with other players in order to carry out joint mission trainings. For voice communication, there is a need for other simulators and role-playing operators. In this study, a brief review of literature on automated speech recognition (ASR) technologies was carried out to simulate air traffic controller simulations, instructor operator system controls and role player actions in real-time training exercises. The voice response system will be described. Thanks to VPVI, simulator students are provided training on their own without the need for instructor console operators, role-playing operators and other simulators. For this purpose, the speeches of the simulator student were recognized by speech recognition algorithms (the open source CMU sphinx sub-system was used in the system) and commands are sent to the related systems. Commands used by the virtual players turned into speech and given to the student pilot headset.

Keywords: Air Traffic Controller, Automated Speech Recognition, Full Flight Simulators, Tactical Environment Simulation, Virtual Player Simulation

1. GİRİŞ

Tam uçuş simülatörleri, bir hava aracının sistemleriyle birlikte kullanımının gerçekçi bir şekilde öğrenilmesini sağlayan, uçuşu ve uçulan çevreyi modelleyen eğitim sistemleridir. Bu eğitim sistemlerinde pilotların diğer pilotlar ve hava kontrolörleri ile olan sesli haberleşmenin benzetimi de yapılmaktadır.

Sesli haberleşme benzetimi ile pilotların gerçek hava aracının muhabere sistemlerine olan adaptasyonu gerçekleştirilmekle birlikte pilotların hava kontrolörleri ile haberleşme eğitimini alarak havacılık standartlarına uygun frezyolojiye aşinalık kazanmaları da sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra özellikle askeri uçuş simülatörlerinde pilotların aynı senaryoya dâhil olan diğer taktik unsurlar ile muhabere yaparak buna uygun şekilde uçuş eğitimi almaları da pilotların görev uçuşu eğitiminde önemli rol oynamaktadır.

Tam uçuş simülatörlerinde eğitmenler zaman zaman hava kontrolörü rolünü üstlenerek aletli veya aletsiz uçuşlarda pilotları yönlendirirler. Taktik unsurların haberleşmesi ise sanal oyuncuların kendi arasında gerçekleştirilir veya taktik unsur üzerine atadığı bir

simüle telsiz üzerinden yine eğitmenin rol oynayıcı olarak pilotlarla sesli iletişimi şeklinde gerçekleştirilir.

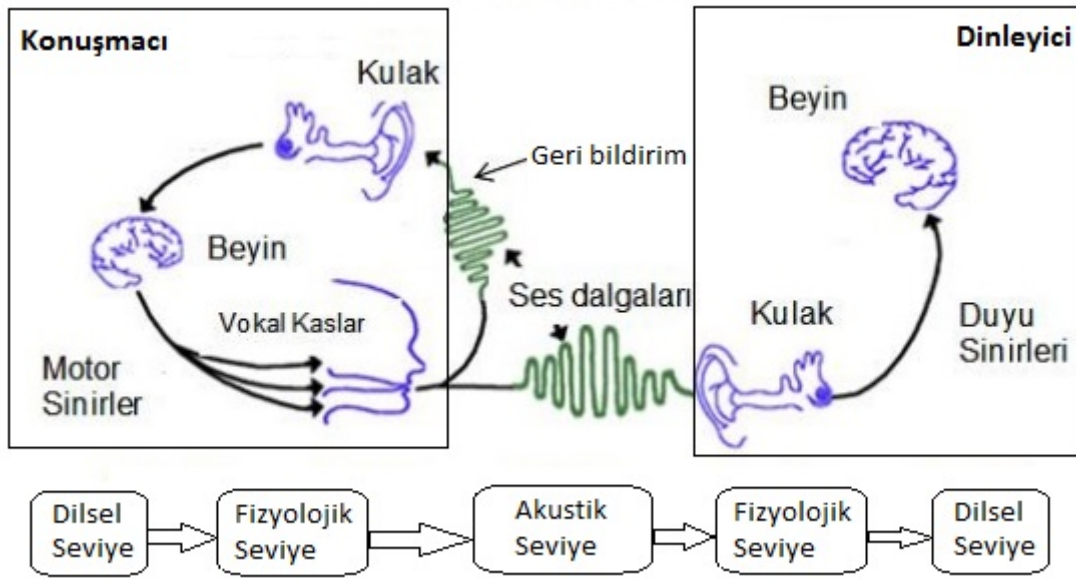
Tam uçuş simülatörlerinde uçuş eğitiminin gerçekçi bir şekilde verilebilmesi için çevre ortam koşullarını değiştirme, hava aracının arızalarının verilmesi gibi yeteneklerin sağlanması için eğitmen konsolları bulunmaktadır. Bazı eğitim simülatörleri eğitmen bulunmadığı durumda pilotların eğitim alabilmeleri için basitleştirilmiş yönetim imkânları sunan küçük dizüstü bilgisayar veya tablet şeklinde taşınabilir kontrol üniteleri (Portable Control Unit (PCU)) sağlamaktadır. Pilotlar eğitmensiz olarak eğitim aldıkları durumda kokpit içerisinde gerçek hava araçlarında bulunmayan bu üniteler üzerinden eğitimi yönetirler.

Bu çalışmada otomatik konuşma tanıma konseptleri kısaca anlatıldıktan sonra eğitmen sesli komutlarının algılanması veya PCU alternatifi olarak sesli komutların alınması, eğitmenin hava kontrolörü rolünü oynamak yerine konuşma tanımının kullanılması ve taktik unsurların kendi arasındaki sesli haberleşmelerinin pilotlara da aktarılacak daha etkin bir eğitimin sağlanması gibi tam uçuş simülatörlerinde otomatik konuşma tanımının mevcut ve muhtemel kullanım alanlarından bahsedilecektir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Konuşma

Konuşma, bir konuşmacının vermek istediği mesajı dinleyiciye aktarmasıdır. Mesajın dinleyiciye aktarılması birkaç aşamada gerçekleşir. Konuşmacı, beyinde oluşturduğu mesajı kullandığı dile uygun kelime dağarcığı ve dilbilgisi ile metne döker (Linguistic Level). Sonraki aşamada konuşmacı, oluşturduğu metni ağız, diş, dudak, dil gibi uzuvlarını kullanarak sesli olarak ifade eder (Physiological Level). Konuşmacının ağzından çıkan akustik ses sinyalleri (Acoustic level) hem kullanıcı hem de dinleyicinin kulaklarına ulaşır. Dinleyici sesi duyar (Physiological Level) ve bu sesi bildiği dilbilgisi ve kelime dağarcığına dökerek mesajı algılar. Bu konuşma döngüsü Şekil 1’de verilmiştir [1].

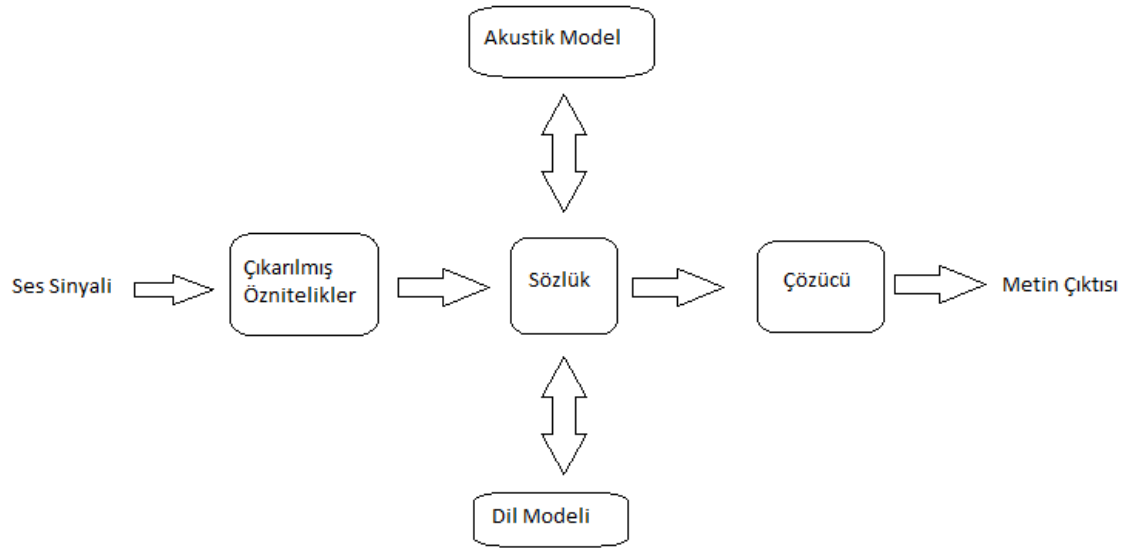


Şekil 1. Konuşma döngüsü

Kullanılan dilden bağımsız olarak akustik özellikleri ile sınıflandırılan temel seslere fon denir. Kullanılan dile bağlı olarak bir veya birden fazla fonun oluşturduğu, dilin anlamlı en küçük ses birimleri ise fonem olarak adlandırılır [7].

2.2. Otomatik konuşma tanıma

Otomatik Konuşma Tanıma (Automated Speech Recognition (ASR)) kısaca insan sesinin makine tarafından bir mikrofon aracılığı ile algılanması olarak tanımlanabilir. ASR sistemleri konuşma döngüsüne benzer bir mimariye sahiptir. Mikrofon üzerinden alınan konuşma sinyalleri, sayısal sinyallere çevrilerek sinyal işleme modülü ile ortam gürültüsünden etkilenmeyecek şekilde filtrelendir ve konuşmacının konuşma anındaki duygusal durumundan (stres gibi) kaynaklı ses titreşiminden etkilenmeden gösterimi sağlanır. Bir sonraki aşamada işlenen sinyalin konuşma tanıma açısından gerekli olan kelimenin ne olduğu, konuşanın cinsi gibi özellikleri çıkarılarak etiketlenir [3]. Çıkarılan özellikler, ses sinyalindeki fon, fonem, kelime veya cümlelerin istatistiksel olasılıklarının gösterildiği akustik model ve tanıma yapılacak dile ait dil modeli tarafından kullanılarak ses sinyalinin hangi kelimeleri sıraladığı çözülür [4]. Özetle konuşma tanıma aslında konuşmacıya ait ses sinyallerinin bilinen (akustik ve linguistik açıdan modellenen) dildeki kelime dizelerine benzerliğinin olasılığının hesaplanarak konuşmacının söylediği kelimelerin tahmin edilmesi işlemidir. Otomatik konuşma tanıma döngüsü Şekil 2’ de verilmiştir.



Şekil 2. Otomatik konuşma tanıma döngüsü

Bir dile ait tüm kelimelerin modellenmesi mümkün olmayacağından akustik modeller oluşturulurken birleşimi ile kelimeleri oluşturan daha küçük ses yapıları olan fonemler (tekli, ikili veya üçlü olarak) modellenir. Tek bir fonemin telaffuzunun modellenmesi için önceki ve sonraki fonemin durum geçiş olasılığının hesaplandığı 3 durumlu Saklı Markov Modelleri (Hidden Markov Model (HMM)) kullanılır [5].

Tek bir kelimenin frekansının hesaplanması, o kelimenin olasılığının hesaplanması için yeterli değildir. Dil modeli, kelime olasılığı hesaplanırken kendinden önceki kelime dizisinin oluşturduğu metni göz önünde bulundurarak kelimenin metin içerisindeki olasılığını hesaplamayı amaçlar [2]. Kelimenin metin içerisindeki olasılığının hesaplanması ise genellikle bir metin üzerinden eğitilerek oluşturulmuş n-gram modeller kullanılarak gerçekleştirilir [5]. Yapılan araştırmalara göre Türkçe’de her fonemin kendinden önceki ve sonraki fonem ile etkileşim içerisinde olduğu göz önünde bulundurulduğunda HMM tabanlı olasılık hesaplarının yapıldığı sistemlerde 3-gram modellerin Türkçe dili için en uygun modeller olduğu değerlendirilmektedir [10].

Derin Sinir Ağları (Deep Neural Network (DNN)) da son yıllarda otomatik konuşma tanıma alanında yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle DNN tabanlı olarak eğitilen akustik modellerin büyüklüğünün ve derinliğin artırılması ile geniş dağarcıklı sürekli konuşma tanıma sistemi (large vocabulary continuous speech recognition) uygulamalarında kelime hata oranları (word error rate (WER)) düşmektedir [9].

ASR sistemleri %100 doğrulukta çalışmazlar. Bu nedenle ASR sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde kelime hata oranı (word error rate), fon hata

oranı (phone error rate), karakter hata oranı (letter error rate) ve hece hata oranı (syllable error rate) gibi değerler kullanılır [14].

2.3. ASR kullanım alanları

ASR sistemleri, sanal asistan, müşteri hizmetleri otomasyonu, mobil uygulamalarda eller serbest opsiyonu ile metin dikte etme, sesli arama yapma gibi birçok alanda günlük hayatımızda yerini almıştır. Bu çalışmada ASR sistemlerinin tam uçuş simülatörlerinde muhtemel kullanım alanlarından bahsedilecektir.

Tam uçuş simülatörleri (Full Flight Simulator (FFS)), belirli bir marka veya modeldeki hava aracının kokpit enstrümanlarının ve bilgisayar yazılımlarının gerçeğinin birebir boyutlarda ve işlevsellikte benzetimidir. Tam uçuş simülatörlerinde gerçek hava aracının yer ve uçuş operasyonlarında dış dünyanın görsel, hareket ve ses anlamında gerçekteki hissiyatın pilotlara aktararak hava aracının gerçek dünyadaki gibi kullanılması amaçlanır [8].

Tam uçuş simülatörlerinde eğitmenler veya pilotlar, eğitimin yönetilmesi için kullanılan eğitmen konsol sistemleri ile eğitim sırasında dış dünyayı ve hava aracını eğitim senaryosuna uygun hale getirir. Eğitmen konsol sistemleri, hava durumu ayarları (hava olayı tipi (yağmur, kar, vs.), şiddeti, bulut yüksekliği ve yoğunluğu, rüzgar seviyesi, gibi), pist ayarları (pist seçimi, pist ışıklandırması, vs.), haberleşme sistemi ayarları gibi birçok kontrol için grafiksel kullanıcı arayüzleri sağlar. Günümüzdeki tam uçuş simülatörlerinin birçoğunda bu ayarlar kablosuz mini PC veya tabletler üzerinden (Portable Control Unit (PCU)) basitleştirilmiş olarak eğitmen olmaksızın çalışmasına olanak sağlayacak şekilde pilot kullanımına da sunulmaktadır. PCU'lar pilotların kullanımını kolaylaştırmakla birlikte gerçek hava aracında bulunmayan bir sistem olduğundan PCU' nun kokpitteki yerleşimi ve kullanım sırasında uçuşun duraklatılması veya aksatılması gibi sebeplerden eğitimi yavaşlatmaktadır.

ASR sistemlerinin PCU'nun alternatifi olarak kullanılması durumunda eğitimin sürekliliği sağlanacaktır.

Özellikle askeri alanda tam uçuş simülatörlerinde görev uçuşunun eğitiminin verildiği senaryolarda taktik ortamın gerçekçi bir şekilde benzetiminin yapılması önem arz etmektedir. Bu amaçla taktik unsurların kendi aralarında haberleşmeleri kural tabanlı olarak simüle edilmektedir. Bu kural tabanlı haberleşmede taktik unsurun yapacağı gönderimlerin text-to-speech alt yapısı kullanılarak telsiz haberleşmesi simülasyonuna aktarılması ve öğrenci pilotların yaptığı harici gönderimlerde ASR sistemlerinin entegre bir şekilde kullanılması sonucunda taktik unsurların kararlarının etkilemesi ile görev eğitimlerinin etkileşimli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanacaktır.

Tam uçuş simülatörlerinde hava trafik kontrolörünün (Air Traffic Controller (ATC)) pilotu yönlendirdiği eğitim senaryoları da bulunmaktadır. Benzer şekilde aletli iniş yapılamayan durumlarda pilotların telsiz haberleşmesi ile iniş gerçekleştirecekleri operatör destekli yer kontrollü yaklaşma (ground controlled approach) eğitimleri de bazı simülatörlerde eğitim senaryolarına dâhil edilmektedir. Bu senaryolar genellikle eğitmen konsolunda oturan eğitmenin sesli olarak yönlendirmesi ile gerçekleştirilmektedir. ASR sistemleri ile eğitmenin bu rolü otomatize edilerek öğrenci pilotların sesli etkileşimli bir şekilde bu eğitimleri almaları sağlanmış olacaktır.

2.4. ASR uygulama zorlukları

ASR sistemlerinin başarı oranları birtakım parametrelerden etkilenmektedir. Bunlardan bazıları yankılı ortamlar (reverberant environments), ortam ve kayıt cihazından kaynaklı gürültü ve kısıtlı kaynak bulunan dillere ait akustik modellerin bulunmasıdır. Uçuş simülatörlerinde ASR sistemleri performansını olumsuz etkileyebilecek tüm bu güçlükler ile az da olsa karşılaşmak mümkündür.

Uçuş simülatörlerinde ses sistemleri, haberleşme benzetiminin yanı sıra çevresel ortamdan kaynaklı kendi hava aracına ve taktik ortamda bulunan diğer araçlara ait seslerin (motor, rotor, havalandırma sistemi, mühimmat atış ve patlama sesleri, vb.) benzetimini de yapmaktadır. Genellikle görsel sistemlerin yüksek sadak seviyesini yakalaması için kubbe yapıda tasarlanan kokpitler de çevresel ses benzetiminin yüksek seste açıldığında haberleşme sistemlerine yankı ve gürültü şeklinde geri beslemeye neden olabilmektedir.

Konuşmacı ile mikrofon arasındaki mesafenin artırılması ve ortamda konuşma dışı gürültünün yüksek olması otomatik konuşma tanıma başarısını düşürmektedir [11]. Uçuş simülatörlerinde pilotların gerçek uygulamada da mikrofonları yakın mesafeden kullanmaları mesafe problemini ortadan kaldırmaktadır. Özellikle askeri görev uçuş eğitimlerinde çevresel ses seviyesinin ise tam seviyenin biraz altına düşürülmesi de yankı problemini büyük ölçüde sorun olmaktan çıkaracaktır.

ASR sisteminde kullanılan mikrofon seçimini konuşma tanıma başarı oranını etkilemektedir. Örneğin mikrofonlu kulaklıklar masa üstü mikrofonlara göre daha yüksek başarı göstermektedir. Arka plan gürültüsü içerebildiklerinden kaydedilecek sinyalin akustik kalitesi düşük olması nedeni ile yerleşik mikrofonların konuşma tanıma performansı daha zayıftır [12]. Uçuş simülatörlerinde gerçek hava aracı donanımının benzetimi de yapıldığından pilotların kullanacağı mikrofonlu kulaklık seçimi konusunda bir esneklik bulunmamaktadır.

Yapılan araştırmalar, gürültülü ortamda eğitilmiş akustik model kullanan ASR sistemlerin yine gürültülü ortamda başarısının temiz ortamda eğitilmiş akustik model kullananlara göre daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur [13]. Uçuş simülatörlerinde

gerçekleştirilen eğitimin pekiştirilmesi ve gözden geçirilmesi için kullanılan dibrif sistemi ses kayıtları gizlilik derecesi bulunmamak koşulu ile bu şekilde bir akustik model oluşturulması için zengin kaynaklardır.

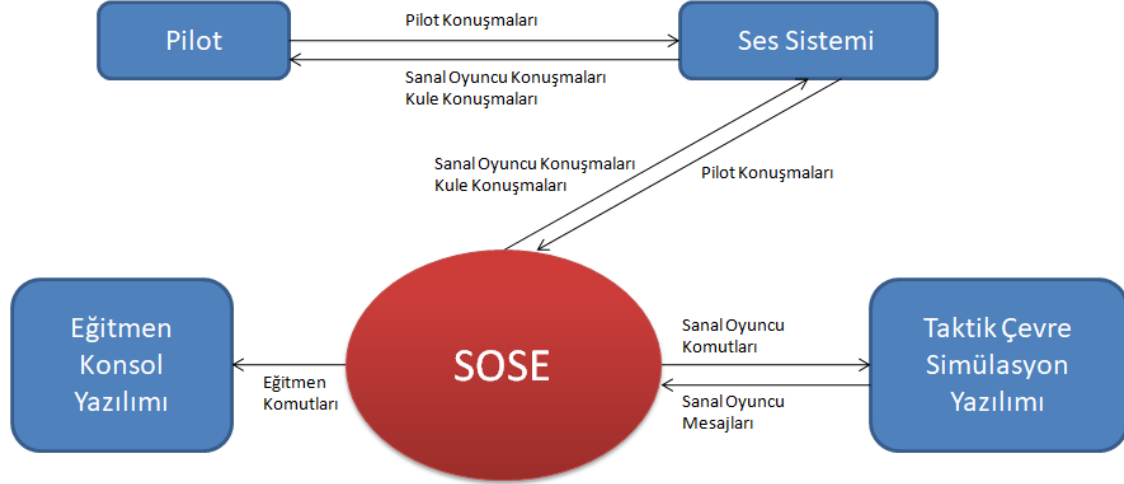
Son olarak ASR sisteminin tanıma yapacağı dile ait verilerin az bulunduğu durumlarda başarı oranı görece olarak azalmaktadır [14]. Bu tür diller için ASR sistemi oluşturulurken kaynak veri bulmanın zor ve maliyetli olduğu durumlarda mevcut dil modellerinin adapte edilmesi yöntemi ile başarı sağlamak mümkündür [6].

3. SANAL OYUNCUSENİTKİLEŞİMİ (SOSE)

Tam uçuş simülatörlerinde kullanılmak üzere prototip olarak geliştirilen SOSE kapsamında ASR sistemi avantajlarının tam uçuş simülatörlerine aktarılması amaçlanmıştır. SOSE’de akustik model (acoustic model), fonetik alfabe (phonetic dictionary), dil modeli (language model) ve dilbilgisi modeli (grammar model) kapsamında esnek bir alt yapı sağlaması ve canlı olarak kelime öbeği veya cümle tanıma yapabilmesi sebebi ile CMUSphinx Pocketsphinx kütüphanesi tercih edilmiştir [6]. ASR sistemi, SOSE’ nin bir alt modülü olduğundan ihtiyaç duyulması halinde farklı alt yapılar da sistem bütünlüğü bozulmadan entegre edilebilecektir.

SOSE mimarisi Şekil 3’te verilmiştir. Pilotun yaptığı telsiz ve interkom göndermeleri, haberleşme simülasyonunun gerçekleştirildiği ses sistemi kapsamındaki mikrofona kulaklıklar aracılığı ile alınır. Mevcut ses sisteminde bu işlem için bir donanım güncellemesi yapılmamıştır. Ancak sesin kalitesinin otomatik konuşmaya uygun olacak şekilde artırılması ve çevresel sesten ayrıştırılması amacı ile ses sinyalinin SOSE’ ye iletilmeden önce ses sistemi haberleşme modeli sinyal filtreleme işlemi uygulanacak şekilde güncellenmiştir. Ayrıca pilotun gönderme yapmaya başlamadığı halde ortam sesinden kaynaklı olarak ASR modülünün yanlışlıkla aktive edilerek işlem yapmasını önlemek amacı ile konuşma aktivasyon algılama (voice activity detection) özelliği uygulanmıştır. Ses sistemi, pilot konuşmalarını sanal oyuncu komutlarına veya eğitmen komutlarına dönüştürmek üzere SOSE’ ye iletmektedir. SOSE, ASR modülü aracılığı ile aldığı ses sinyalini sanal oyuncu komutlarına çevirerek Taktik Çevre Simülasyonu Yazılımı’ na, eğitmen komutlarına çevirerek de Eğitmen Konsol Yazılımı’ na iletir. Eğitmen Konsol Yazılımı aldığı ortam koşulları komutlarını simülasyona aktarır. Taktik Çevre Simülasyon Yazılımı ise aldığı sanal oyuncu komutlarına uygun olarak taktik unsurların davranışlarını günceller. Taktik Çevre Simülasyon Yazılımı, gerektiğinde sanal oyuncunun sesli haberleşme üzerinden pilot ile iletişime geçmesi için de önceden kayıtlı olan sanal oyuncu mesajlarını sırası ile Ses Sistemi’ ne iletir. Ses Sistemi, aldığı mesaj listesine uygun olan kayıtları sırası ile oynatarak senaryo kapsamında sanal oyuncu hava aracı üzerindeki simüle telsiz üzerinden yayın yapılmasını sağlar. Pilotlar, hava aracındaki telsizlerini uygun frekansa ayarladıklarında ve diğer haberleşme

koşulları uygun olduğunda sanal oyuncunun yaptığı yayını mikrofonlu kulaklıkları aracılığı ile duyarlar.



Şekil 3. SOSE Mimarisi

Havacılık terimleri ve dili İngilizce olduğundan dil modeli ve dilbilgisi modeli olarak İngilizce seçilmiştir. Kısıtlı dağarcıkta bulunan Türkçe terimler ve dilbilgisi için ise mevcut fonetik alfabeye Türkçe kelimeler ilave edilmiş Türkçe gramer veritabanı düzenlenmiştir. Uçuş ve haberleşme eğitimleri sırasında sesli iletişimin Distributed Interactive Simulation (DIS) ile 8-bit mu-law olarak kodlanarak gerçekleştirilmesi sebebi ile akustik model olarak 8khz-en-us İngilizce modeli tercih edilmiştir.

SOSE kapsamında mevcut simülatördeki haberleşme sistemine ASR modülü analog ses giriş çıkışları eklenerek entegre edilmiştir. Haberleşme sisteminden alınan ses ASR modülüne aktarılarak burada sürekli konuşma tanıma yöntemi ile anlamlandırılarak içeriğine uygun olarak taktik çevre veya eğitimci konsol yazılımına komut olarak iletilmektedir. Mevcut taktik çevre ve eğitimci konsol yazılımları üzerinde ise aldıkları komutlara uygun olarak işlem yapmak üzere ASR modülü ile belirlenen ara yüze uygun şekilde küçük güncellemeler yapılmıştır. SOSE mevcut sisteme entegre edilirken mümkün olduğunca sistemin mevcut yapısı korunmaya özen gösterilerek modüler bir tasarım ortaya konulmuştur. Böylelikle projeden bağımsız olarak mevcut simülatör sistemlerine de eklenebilir bir sistem oluşturulmak hedeflenmiştir. Prototip olarak üretilen SOSE ile simüle telsiz üzerinden pilotun verdiği irtifa güncelleme, verilen baş bilgisine göre yönlendirme ve saldırı sesli komutlarını ilgili taktik unsurun uyguladığı görülmüştür.

SOSE ile eğitimci konsol sistemlerinin temel dış dünya ayarları ile temel simülasyon yönetimi sesli komutları aracılığı ile sağlanmaktadır. Simülasyon sırasında eğitimci tarafından interkom sistemi aracılığı ile verilen “yağmur, kar, dolu” gibi sesi komutlara

uygun olarak çevre şartlarının güncellendiği gözlenmiştir. İlave olarak birkaç sistem için motor arıza komutları da simüle edilmiştir. Otomatik tanıma başarısını artırmak üzere, eğitim amaçlı interkom üzerinden yapılan bu göndermeler için sadece eğitim komutlarını içerecek şekilde kısıtlandırılmış bir gramer modeli hazırlanmıştır.

Son olarak SOSE ile ATC simülasyonu kısmi olarak otomatize edilerek öğrenci pilotların hava kontrolörü ile telsiz haberleşme eğitimleri verilmesi sağlanmaktadır. Mevcut sistemde bulunan Automatic Terminal Information Service (ATIS) alt yapısında benzetimine benzer şekilde önceden kaydedilmiş kule komutları seslerin sıra ile oynatılması ve simüle telsiz üzerinden yayınlanması yöntemi ile kule komutları hava aracındaki simüle telsizlere aktarılmıştır. Telsizini yayının yapıldığı frekansa ayarlayan öğrenci pilotlar da komutlara uygun olarak kontrolör ile haberleşme yapmış kalkış izni isteme ve kalkış bildiriminin ardından iniş ve kalkış eğitimlerini başarı ile gerçekleştirmesi sağlanmıştır.

4. SONUÇ

ASR sistemlerinin, gerek eğitmenin olduğu gerekse eğitmenin olmadığı PCU alternatifi olarak kullanıldığı durumlarda eğitimin sürekliliğini sağlayacağı değerlendirilmektedir.

ASR sistemleri, eğitmenlerin ve öğrenci pilotların yaptığı harici göndermelerin kısıtlı bir kullanım alanında dâhi olsa anlaşılabilir taktik unsurların kararlarını etkilemesi, görev uçuş eğitimlerinde etkileşimli olarak öğrenci pilotların eğitimini olumlu yönde etkileyecektir.

ASR sistemleri, pilotların görev uçuş eğitimini etkileşimli bir şekilde almalarını sağlayacaktır. Böylelikle eğitimlerini tamamlayan pilotlar gerçek görev uçuşlarına daha yetkin hazırlanmış olacaktır.

Özellikle askeri uçuş simülatörlerinde gerçekleştirilen eğitimlere ait dibrif kayıtları ile mevcut akustik modellerin adapte edilmesi veya askeri alanda kullanmak üzere yeni bir Türkçe akustik model oluşturulması mevcut ASR sistemlerinin askeri uçuş simülatörlerindeki başarısını artıracaktır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Dalva, D. (2012), Automatic Speech Recognition System For Turkish Spoken Language, Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi.
- [2] Tunca, A. (2010), Saklı Markov Modelleri ve Sürekli Konuşma Tanıma Tekniğiyle Rakam Dizisi Tanıma, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [3] Yalçın, N., (2008), Konuşma Tanıma Teorisi ve Teknikleri, *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 16(1).
- [4] Dave, B. ve Prof. D. Pipalia, P. (2014), Speech Recognition: A Review, *International Journal of Advance Engineering and Research Development (IJAERD)*, 1(12).
- [5] Susman, D. (2012), Turkish Large Vocabulary Continuous Speech Recognition By Using Limited Audio Corpus, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ.

- [6] <https://cmusphinx.github.io/wiki/tutorialconcepts/>
- [7] Fosler-Lussier, J. E. (1999), Dynamic Pronunciation Models for Automatic Speech Recognition, International Computer Science Institute.
- [8] European Aviation Safety Agency (2012), Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices, European Aviation Safety Agency.
- [9] Maas, A. L., Qi, P., Xie, Z., Hannun, A. Y., Lengerich, C. T., Jurafsky, D. ve Ng, A. Y. (2017), Building DNN acoustic models for large vocabulary speech recognition, *Computer Speech & Language*, 41(19), 195-213.
- [10] Gürler, B. S. (2014), Türkçe Konuşma Tanıma Sistemleri İçin Bir Konuşma Veritabanı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- [11] Harper, M. (2015), The Automatic Speech recognition In Reverberant Environments (ASpIRE) challenge, *2015 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU)*, 547-554.
- [12] Fager, S. K. ve Burnfield, J. M. (2015), Speech Recognition for Environmental Control: Effect of Microphone Type, Dysarthria, and Severity on Recognition Results, *Assistive Technology*, 27(4), 199-207.
- [13] Prodeus, A. ve Kukharicheva, K. (2016), Accuracy Of Automatic Speech Recognition System Trained On Noised Speech, *Electronics and Control Systems*, 3(49), 11-16.
- [14] Besacier, L., Barnard, E., Karpov, A. ve Schultz, T. (2014), Automatic Speech Recognition for Under-Resourced Languages: A Survey, *Speech Communication*, 56, 85-100.

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TEKNOLOJİSİNE SAHİP EĞİTİM AMAÇLI BASİT SEVİYEDE BİR GÖREV SİMÜLATÖR ARABİRİMİ TASARIMI

Tarık İçten ^(a), Uğur Asan ^(b), Güngör Bal ^(c)

^(a) Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Bilişim Sistemleri,
Ankara, ictentarik@gmail.com

^(b) Kocaeli Üniversitesi, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü
Kocaeli, ugurasan@gmail.com

^(c) Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Teknikokullar Ankara, gungorbal@gmail.com

ÖZ

Bu çalışmanın amacı F-16 savaş pilotlarının yüksek teknolojiye sahip mühimmatlar kullanarak gerçekleştirdiği silah taktik eğitim çalışmasına benzer, artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisini içinde barındıran, eğitim amaçlı basit seviyede bir görev simülasyonu arabirimi tasarlamaktır. Gerçek F-16 kokpit içinde belirli bir düzende bulunan cihazlar üstün kabiliyetli, yüksek maliyetli ve hassas yapıdadırlar. Gerçek bir F-16 deneyiminin kazanılması; uçmadan önce donanım ve personelin ön hazırlığı, uçağın havada kalma süresi gibi farklı uygulamalar ve maliyetler doğurmaktadır. Bu maliyetlerin ve işlem zorluklarının birçoğuyla sivil havacılık deneyiminde de karşılaşılmaktadır. Bu alanda ülkemizde ve dünyada sanal havacılığa gönül vermiş çeşitli simülasyonlar kullanarak uçuş ihtiyaçlarını gideren sanal havacılık grupları bulunmaktadır. Bunlardan Falcon simülasyonu F-16 gibi birkaç savaş uçağının uçuşuna imkân verir. Bu simülasyon ile uçaklardaki fonksiyonlar büyük oranda gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada tasarlanan arabirim ilk durumda Falcon simülasyonundan veri alabilen ve bu veriyi bilgi olarak AG cihazında görüntüleyebilen, uygun simülasyon ile farklı simülasyonlara dönüştürülebilen bir yapıda olacaktır. Ayrıca çalışmada uçuş deneyimi kazanmak isteyen kullanıcıya, artırılmış gerçeklik birimi ile yapması gereken işlem adımları ve anlık uçuş verilerinin AG teknolojisi ile gösterilmesi amaçlanmaktadır. Bu imkân doğrultusunda kullanıcının gerçek bir uçuş deneyimi kazanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış gerçeklik, F-16, kokpit, simülasyon ara birimi

A MISSION SIMULATOR INTERFACE DESIGN ON SIMPLE LEVEL FOR EDUCATIONAL PURPOSES WITH AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

ABSTRACT

The aim of this work is to design a mission simulator interface on a simple level for educational purposes, incorporating augmented reality (AR) technology similar to the weapon tactical training that F-16 fighter pilots use with high-tech ammunition. The devices located in a specific location within the real F-16 cockpit are superior talented, over costing and delicate structured. During a real F-16 experience different applications such as preparation of equipment and personnel before the flight and the time of the flight raise costs. These costs and difficulties are also encountered in civil aviation experience. In this field, there are virtual aviation groups in our country and in the World that solve their flight needs by using various simulators that are committed to virtual aviation. One of these simulators known as Falcon simulation allows flying a few warplanes like the F-16. With this simulator, functions in the aircraft can be put in practice substantially. In this study, the designed interface firstly receives the data from the Falcon simulation and then displays it on an AG device and provides data transfer between different simulators. Also in this study, it is aimed to show the steps to be done with the augmented reality unit and the real time flight data with AR technology to the user who wants to gain flight experience, thus, the user is expected to gain a real flight experience.

Keywords: Augmented reality, cockpit, F-16, simulator interface

1. GİRİŞ

Günümüzde birçok farklı alanda farklı Artırılmış Gerçeklik (AG) uygulamaları geliştirilmektedir. Şirketler uygulamalarının etkili, öğretici, bilgilendirici ve ilgi çekici olması için AG teknolojisini uygulamalarına eklemektedir. Bu uygulamalar sağlık, güvenlik, savunma, iletişim, reklam, havacılık vb. gibi alanlarda etkin olarak kullanıldığı görülmektedir. AG teknolojisinin örnekleri verilen alanlardaki başarısı bu teknolojin eğitim alanında da önemli bir araç olarak kullanılmasını sağlamış, faydaları bilimsel çalışmalarla açıklanmıştır.

AG uygulamaları genelde ileri teknoloji merkezlerinde yapılmakta olup henüz eğitim alanında uygulamalarının yeni yeni başladığı görülmektedir [1]. Bu teknolojinin eğitim alanındaki kazanımlarıyla ilgili alanda yapılan çalışmalar incelendiğinde, öğrencilerin; ilgilerini arttırdığı [2], daha az çaba ile etkili bir öğrenme, verimli bir eğitim ortamının sağlandığı [3], problemi çözme becerisini geliştirdiği [4] belirlenmiştir.

Bunlara ek olarak; sanal ve AG teknolojisine sahip çalışmalar havacılık alanında pilotlara, pilot adaylarına, eğitim ve öğretim faaliyetleri içindeki öğrencilere veya uçuş deneyimi yaşamak isteyen kişilere simülatör merkezlerinde gerçek uçaklarla aynı özellikteki maketlerinde, gerçek uçuşta karşılaşılabileceği durumları yaşatmak, bu durumlar karşısındaki deneyimlerini artırmak, uçuş başarı oranlarını yükseltmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bu sistemler gerçek uçuş deneyimindeki maliyetleri azaltmakta, kaza risklerini ortadan kaldırmakta, eğitim ihtiyaçlarını karşılamakta etkili ve alternatif bir yöntem olarak da kullanılmaktadır. Bu yöntem sayesinde kullanıcılar etkin, ekonomik ve emniyetli bir uçuş deneyimi kazanmış olmaktadır.

Günümüzde bu teknolojiye sahip çalışmaların ve araçların eğitim ve öğretim faaliyetlerinde kullanımının az olduğu görülmektedir. Bu durum, dünyada AG ve simülasyon teknolojileri üzerine çalışan şirket sayısının az, ürün fiyatlarının yüksek olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir. Bu açıklamalar doğrultusunda bu çalışmada verilen zorlu durumların üstesinden gelmek için eğitim ve öğretim faaliyetlerinde kullanılabilen, az maliyetli, bir Görev Simülatör Arabirimi (GSA) ve Artırılmış Gerçeklik Birimi (AGB) tasarımı yapılmıştır.

Bu çalışmada; çalışmanın yazılım kodlaması ve yazılım algoritması gibi kısımlarına yer verilmesi hususları bu makale dışında tutulmuştur.

Makalenin ikinci bölümde tanımlamalar ve bu alanda yapılmış çalışmalar incelenmekte, üçüncü bölümde gerçekleştirilen çalışmanın amacı, mimarisi, tasarımı ve yapısı hakkında bilgiler verilmektedir. Dördüncü bölümde ise çalışmada gerçekleştirilen birimler ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Beşinci bölümde bulgular ve tartışma, son bölümde sonuç ve öneriler yer almaktadır.

2. TANIMLAMALAR VE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde AG tanımlanmakta, görev simülatörleri açıklanmakta ve Heads-up Display (HUD) teknolojisinin kullanıcı üzerindeki deneyimlerine yönelik bilgiler yer almaktadır.

2.1. Tanımlamalar

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen model üzerinde denemeler yapmaktır [5]. Bu bağlamda simülasyon, tamamen bilgisayar tarafından oluşturulmuş bir ortamda sanal nesneler ile yapılan bir modelleme tekniğidir. Artırılmış gerçeklik(AG) ise gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilmesi ile meydana getirilen canlı fiziksel görünümdür [6]. Bu kavram sanal nesnelerin (3D, metin, resim, grafik) anlık görüntü üzerinde kullanılmasını sağlayan bir teknolojiyi ifade etmektedir.

Uygulama alanının çeşitliliği ve bilimsel alandaki gelişmeler AG teknolojisi ile yapılmış AG ortamlarının oluşmasını sağlamaktadır. Bu ortam araçları insanların gereksinimlerini karşılayabilecek, gerçek ve sanal dünyayı bir arada gösterebilecek özellikte yazılımlardır. Bu yazılım teknolojisi ile yapılan çalışmalarının sayısı son yıllarda artmakta, bu alanda yapılan tanımlamalar bilim ve teknolojiye yaşanan gelişmelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Alanyazın incelendiğinde, İçten ve Bal’a (2017) [7] göre AG, gerçek dünya ile etkileşim bağlantısını devam ettiren, gerçek ve sanalın birlikte algılanmasını sağlayan bir ortamdır. Bu açıdan bakıldığında AG, gerçek ve sanal dünya arasında bir köprüdür ve bu iki ortam arasındaki yeni, etkileşimli bir arayüz oluşturur [8].

Son yıllarda AG teknolojisinde yaşanan gelişmeler ve bu gelişmelere bağlı olarak yapılan çalışmalar AG teknolojisini birçok alan için kullanılabilir kılmıştır. Bu kullanım alanlarına güvenlik [9] alanında araç çarpışma testleri [10], eğitim [11] alanında ColAR [12] 3D renk simülasyon uygulaması, sağlık [13] alanında kraniyofasiyal cerrahi simülasyon uygulaması [14], bakım ve montaj alanında [15] motor parçalarının tanıtımı ve kaporta işlem uygulaması, spor alanında oyun içinde kullanılan topun takibini yapan Hawk-Eye [16] teknolojisi, oyun ve eğlence alanında konum takibi ile AG hizmeti sunan Pokemon Go uygulaması [17] farklı alanlarda yapılmış örnek uygulamalardır.

2.2. Askeri Amaçlı Oyun ve Eğitim Çalışmaları

Tarama sırasında Head-up Display (HUD) teknolojisinin ilk kullanımlarının askeri alanda [18] yapıldığı, savaş pilotlarının uçuş anında görmesi gereken uçuş bilgilerini kasklarına takılmış göz hizası seviyesindeki ekranlara yansıtılması ile sağlandığı belirlenmiştir. Bu alanda yapılan çalışmaların “Askeri amaçlı oyun sistemleri” ve “Askeri amaçlı eğitim sistemleri” olarak ikiye ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu iki sistem savunma ve askeri uygulamalarda [19] kullanılan genel çalışma alanlarıdır. Bu alanda Türkiye kaynaklı çalışmaya Aselsan tarafından IDEF 15’de tanıtımı yapılan, askeri alanda görev kritik operasyonlarda kullanılabilen, savaş alanındaki nesneler ve çevredeki unsurlar hakkında bilgilendirme yapabilen, içerisinde yer bulma, takip etme, haberleşme, komuta kontrol gibi özellikleri barındıran “CENKER Takım ve Tek-Er Komuta Kontrol Sistemi” [20] önemli bir örnek olarak verilebilir.

2.3. İlgili Çalışmalar

Bu kısımda simülâtör ve HUD kullanımıyla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

Simülâtör sistemler üç ayrı simülâtör olarak [21] sınıflandırılabilir. Bunlar; yeni bir aracın özelliklerini değerlendiren, tasarım sürecinde kullanılan *Mühendislik Simülâtörleri*, özellikle havacılık alanda kullanılan, kullanım esnasında kullanıcıya zorunlu prosedürleri (sürüş yönetimi) ve temel becerileri kazandırmayı amaçlayan, sabit temelli *Eğitim Simülâtörleri* ve kullanıcı-arac etkileşimi ile kullanıcı duyu davranışlarını temel alan *Araştırma Simülâtörleridir*. Mühendislik uygulamasına çoklu bir robot

simülâtörü [15], eğitim uygulamasına yaşlı sürücü eğitim simülâtörü [22], araştırma uygulamasına yeniden yapılandırılabilir uçuş simülâtör yazılımı [23] örnek olarak verilebilir. Uygulama ve geliştirme kapsamında düşünüldüğünde araştırma simülâtörleri, eğitim simülâtörlerinin başlangıç ve geliştirme platformlarıdır [24]. Bu kapsamda, bu çalışmada eğitim amaçlı AG tabanlı basit seviyede bir eğitim simülâtör arabirimi uygulaması tasarlanmıştır.

Literatürde HUD teknolojisinin kullanıldığı simülâtör örnekleri ve kullanıcı üzerindeki etkilerinin dikkate alındığı Medenica ve ark. (2011) [25] tarafından yapılan çalışmada, geleneksel harita tabanlı GPS özelliğine sahip HUD kullanımının sürücü üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Yüksek doğrulukta bir sürüş simülâtöründe yapılan ve sürüş performansı, görsel dikkat ve iş yükü endeksi gibi durumların karşılaştırıldığı çalışmada AR HUD cihazlarının diğer cihazlara kıyasla sürücü üzerinde olumlu etkileri belirtilmiştir. Bir diğer çalışma ise Hwang ve ark. (2016) [26] tarafından AR-HUD sisteminin sürücüler üzerindeki risk algısının ve psikolojik değişimlerinin incelendiği çalışmadır. Çalışmada 15'er kişilik AR-HUD kullanan ve kullanmayan iki deney grubu ile araç ve yayalara yönelik sürücü yanıt süreleri (direksiyon açısı, hız değişikliği, zaman tepkileri) toplanmış ve bunun sonucunda AR-HUD kullanım grubundaki sürücülerin görsel ve psikolojik sürüş davranışlarındaki olumlu sonuçlar belirtilmiştir. Konuyla ilgili bir diğer çalışma, Minnesota Üniversitesi Akıllı Ulaşım Sistemleri Enstitüsü tarafından otobüslerde kullanılabilen AG tabanlı optik görüntüleme cihaz uygulamasıdır. Bu cihaz, yakın araç tespiti yapma, çarpışma durumunu algılama, zorlu hava ve trafik koşullarında araç şerit takibi gibi durumları izlemeyi ve kullanıcıya bu durumları AG teknolojisi ile sunmayı amaçlamıştır [27]. Çalışma sonucunda elde edilen olumlu sonuçlar paylaşılmıştır. Örnekleri verilen HMD/HUDS gibi cihazlar kullanıcıya doğrudan nereye bakması gerektiğini belirtmesinin yanında, trafik işaretleri, sokak levhaları [28], araç hızı, araç konumu, uyarı sinyalleri ve yoldaki potansiyel tehlikelerin ve gerekli hatırlatmanın yapılmasını da sağlamaktadır.

Ancak bahsedilen simülasyon yaklaşımlarından farklı olarak bu çalışmada bahsedilen arabirim ilk durumda Falcon simülasyonundan veri alabilen ve bu veriyi bilgi olarak AG cihazında görüntüleyebilen, uygun simülasyon ile farklı simülâtorlere dönüştürülebilir bir yapıda olacaktır. Farklı yazılım simülâtorlerinde kullanılabilecek bu arabirim için etkinlik, verimlilik ve doğruluk gibi koşullar sağlanacaktır. Bu sayede birçok simülasyon ile kullanılmasına olanak sağlayan, AG özelliği ile simülasyon kullanımını bir üst etkinliğe taşıyan, farklı eğitim alanındaki kullanıcıların ihtiyaç duyduğu deneyim ve kabiliyetlerin kazanılmasına yönelik AG tabanlı görev simülâtör arabirimi sağlanmış olacaktır.

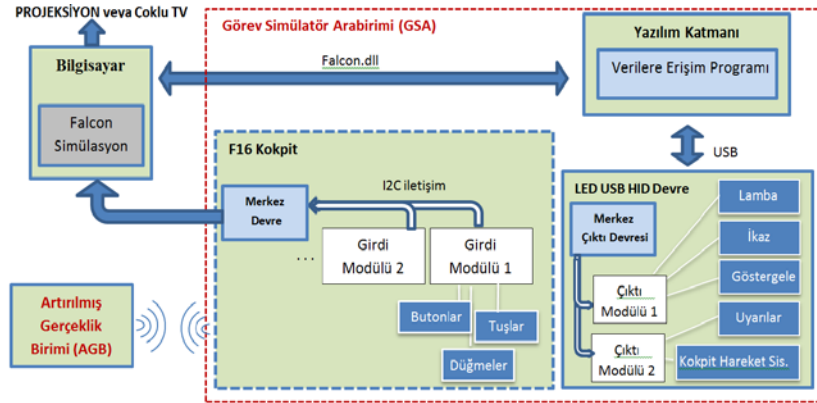
3. GÖREV SİMÜLATÖR ARABİRİMİ TASARIMI VE BİLEŞENLERİ

Bu çalışmada, uçuş deneyimi kazanmak isteyen kullanıcılar için Falcon simülasyonu ile veri alış verişi yapabildiği eğitim amaçlı basit seviyede bir görev simülator arabirimi (GSA) ile kullanıcıya bu arabirim tarafından alınan verilere göre yapılması gerekli işlemleri anlık gösterebilen, göz hizası seviyesinde kullanılan AG biriminin (AGB) tasarımı amaçlanmaktadır. Bu imkân doğrultusunda kullanıcının gerçek bir uçuş deneyimi kazanması beklenmektedir.

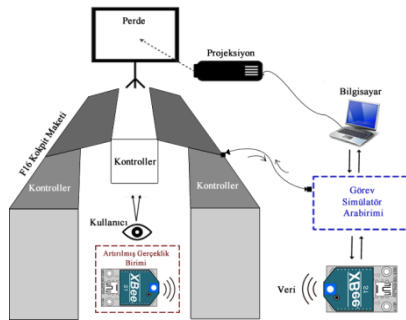
Çalışma iki ana birimden oluşmaktadır:

- Görev Simülator Arabirimi (GSA):** Bilgisayar tarafından oynatılan Falcon simülasyon oyunu içerisindeki anlık verileri, verilere erişim programı ile AG ve F16 Kokpit birimine gönderen, kokpit içinde gerçekleşen fiziksel işlem sonuçlarını Falcon simülasyon programına anlık veri olarak ileten birimdir.
- Artırılmış Gerçeklik Birimi (AGB):** Çalışmanın AG arayüz yapısını ifade etmektedir. Bu yapı GSA tarafından gönderilen uçuş veri bilgisini almayı, alınan bilgiyi kullanıcıya AG teknolojisi ile sunmayı amaçlayan birimdir.

Sistemin mimarisi Şekil 1’de, tasarımı Şekil 2’de ve yapım aşamaları Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem mimarisi



Şekil 2. Sistem tasarımı



Şekil 3. Yapım aşaması

4. YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada verilen iki ana birim ve bu birimlere ait alt bölümlerin amacı, yapısı ve yetenekleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

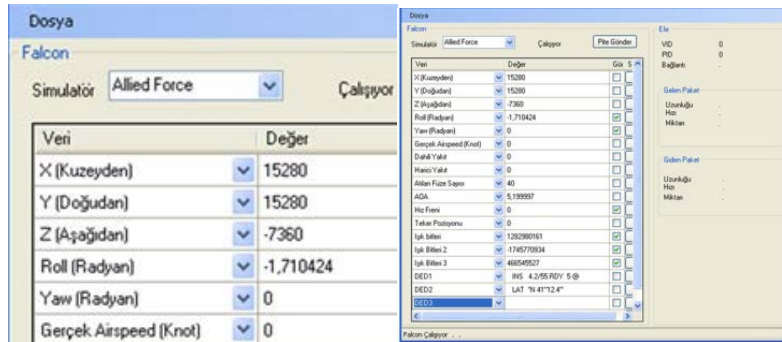
4.1. Görev Simülatör Arabirimi

GSA, simülasyon oyunundaki değişken değerlerinin alınması, bu değerlerin AGB' ye gönderilmesi, değerlere göre F-16 kokpit göstergelerinin değişimi, uygulama esnasındaki kullanıcı kokpit girdilerinin bilgisayar oyun simülasyonuna aktarılması gibi işlemleri yerine getirmektedir.

Şekil 1'de görev simülatör arabirimin (GSA) alt bölümleri gösterilmektedir. GSA kendi içerisinde 4 alt bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, simülasyon programından uçuş verilerinin alınma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu bölüme *yazılım katman bileşeni* denmektedir. İkinci bölümde, bilgisayar ile kokpit arasında veri alış verişi sağlayan devre ve ek bağlantı işlemleri yapılmaktadır. Bu bölüme *merkez devre bileşeni* denmektedir. Üçüncü ve dördüncü bileşen uyarı (lamba) veya fiziksel işlemlerin (buton) yapıldığı kısımdır. Bunlar *girdi modül bileşeni* ve *çıkırtı modül bileşeni* olarak adlandırılmaktadır.

Yazılım katmanı çalışmanın önemli bileşenlerinden birisidir. Bu katman Falcon F-16 Savaş uçağı simülasyonu üzerinden verileri aktif ve anlık olarak toplayıp arabirimin amacına uygun olarak gruplandırılmasını sağlamaktadır. Simülasyondan alınan verilerden istenilenler seçilerek USB portu üzerinden HID Device aracılığıyla gerçek zamanlı ikaz uyarı işaretlerine, göstergelere, hareket sistemine ve AG arabirimine aktarılmasını sağlamaktadır.

Yazılım katmanı veri erişim programından alınmış Şekil 4'teki görüntüye göre alınan verilerden istenilen göstergelerin seçimi yapılabilmektedir. Seçimi yapılmayan verilerin gönderimi yapılmayacağı için bu durumlardaki kokpit göstergelerin de arıza durumları simüle edilebilmektedir. Bu durum uygulamanın kullanımındaki kullanıcının (pilot/pilot adayı) zorlu durum anında ne gibi işlemler/davranışlar sergileyeceğini gösterecek, bilgi ve kabiliyet yeteneklerini ortaya çıkaracaktır.



Şekil 4. Yazılım katmanı veri erişim programı

GSA; içinde butonlar, tuşlar ve düğmeler gibi girdi modüllerini sırası ile kontrol edip kullanıcı tepkilerini toplayan, I2C protokolü kullanılarak Merkez devreye bağlanan ve toplanan bu veriler sırası ile Falcon Simülasyonuna aktaran arabirimdir.

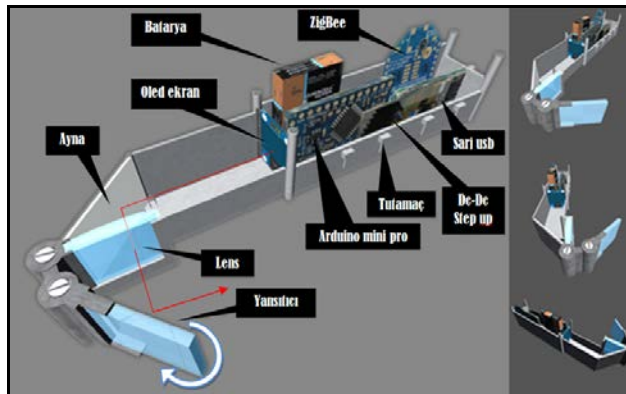
HID Device, Merkez devre bileşeninin bir kısmı olarak da düşünülebilir. Yazılım katmanından gelen verileri alan HID Device Devresi, USB portu aracılığıyla aldığı verileri ikaz uyarı ışıklarına ve göstergelere aktaran elektronik modüldür. İhtiyaç halinde yeni Çıktı modülleri eklenerek daha fazla gösterge aktif hale getirilebilmektedir.

Girdi modülleri; kullanıcının tepkilerini tamponda toplayacak, merkez devresi müsait olduğunda bu kısma aktarma işlemini gerçekleştirecektir. Girdi modülleri 33 bağlantı noktasının veri girişi olarak kullanılmasını mümkün kılar. Tüm buton, anahtar, düğme, kol ve kumandalar bu bağlantı noktalarına bağlıdır. Daha fazla bağlantı noktasına ihtiyaç duyulduğunda yeni Girdi modülü eklenerek 33 bağlantı noktalı girdi modülü aktif hale getirilebilir. Merkez devrenin 250 Girdi modül desteği bulunmaktadır.

Çıktı modülleri; ikaz uyarı ışıkları, gösterge ve hareket sistemlerini kontrol eden modüllerdir. Her bir çıktı modülü 33 bağlantı noktası bulunmaktadır. Her bir bağlantı noktasına istenilen çıktı bileşeni bağlanabilir. Çıktı modülleri I2C veri iletişim protokolünü aracılığıyla HID Device devresine bağlanarak Yazılım katmanından gelen verileri alır. Eş zamanlı olarak Yazılım katmanından gönderilen verilere göre ikaz uyarı ışıkları, gösterge ve hareket sistemlerini çalıştırabilir. HID Device devresine 250 Çıktı Modülü bağlanabilmektedir.

4.2. Artırılmış Gerçeklik Birimi

AG birimi (AGB); bilgisayardaki simülasyon oyunu sırasında kullanıcıya oyundaki önemli bilgileri, uyarıları veya uçuş öncesi yapması gerekli işlem adımlarını (checklist) göz hizası seviyesindeki yansıtıcı donanımı üzerinde anlık olarak gösterilmesini sağlamakta ve oyunun gerçeklik yapısını oluşturmaktadır.



Şekil 5. AG görüntüleme aracı



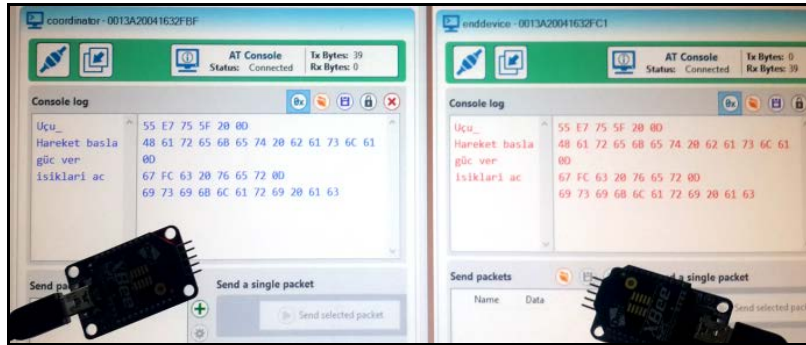
Şekil 6. AG kullanımı

Şekil 5'te AGB'nin oluşturulmasında kullanılan sistem bileşenleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere AG görüntüleme birimi; (i) AG haznesi, (ii) ZigBee, Şarj USB,

DC-DC Step up, Arduino Mini Pro, OLED ekran, batarya ve bu cihazları birbirleri ile iletişimini sağlayan bağlantı kabloları, (iii) ayna, (iv) lens ve (v) yansıtıcı olmak üzere 5 temel bileşenden oluşmaktadır. Şekil 6’da AG biriminin gözlük ile kullanımı görülmektedir.

AG biriminin çalışması şu şekildedir. İlk olarak kullanıcı sistem üzerindeki “AÇ” ve “KAPAT” fiziksel butonlarından “AÇ” ile sistemin çalışmasını sağlamalıdır. Sistemde kullanılan kablosuz erişim cihazı ZigBee görev simülatör arabiriminin (GSA) bilgisayardan aldığı verileri karşılamaya başlamakta, karşılanan veriler Arduino üzerinden OLED ekranda gösterilmektedir. OLED ekrandaki görüntü aynaya, aynadan yansıtıcı yüzey üzerine düşürülmekte, kullanıcı göz hizası seviyesindeki bu veriyi anlık olarak yansıtıcı yüzey üzerinde görebilmektedir. Sistem üzerindeki “KAPAT” butonuna basılması ile cihazın görev simülatör arabirimi ile olan bağlantısı kesilmekte ve kapanmaktadır.

GSB ile AGB arasındaki veri iletişimi etkinliği, uzun pil ömürlülüğü, güvenliği, düşük maliyeti, kullanım kolaylığı ve kablosuz yapısı gibi özellikleri sebebiyle ZigBee cihaz teknolojisi ile gerçekleştirilmiştir. Bu teknolojinin kullanılması iki birim arasında sürekli ve kablosuz bir iletişim ortamının oluşmasını sağlayacak, kullanıcının hareket kabiliyetinin arttıracaktır.



Şekil 7. AG görüntüleme biriminin gözlük ile kullanımı

Şekil 7’de görüleceği üzere GSA’da ve AGB’de kullanılan ZigBee alıcı-verici cihazlarının topolojiye göre yapılandırılma işlemleri XCT-U ile sağlanmıştır. XCT-U ücretsiz dağıtılan çoklu platform desteği olan bir uygulama yazılımıdır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada GSA yazılım katmanı içerisinde yer alan veri erişim programı, Visual Studio yazılım geliştirme aracı ile C# programlama dili kullanılarak Windows tabanlı geliştirilmiştir. Bu çalışmada aktif çalışma esnasında anlık olarak bilgisayar bellek alanında bulunan verileri elde etmek için Falcon.dll kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışma esnasında üretilen veriler ilgili bellek alanlarında 0,1 saniye aralığında veri tipi uygun değişkenlerde saklanmıştır. Yazılım katmanının görüntü tazeleme oranından daha fazla

veri alması ve bu sayede kullanıcı tepkilerinin OLED ekran ve AGB birimi ile eş zamanlı gerçekleşmesi sağlanmıştır. Ayrıca yazılım katmanı aldığı verileri HID Device devresine ve AGB'ye iletmıştır.

Yazılım katmanı ile HID Device arası iletişim USB 1.1 protokolü arayüz vasıtasıyla gerçekleşmiştir. HID Device devresi ile Çıktı birimleri arasındaki veri RS-232 seri iletişim yöntemi kullanılarak aktarılması düşünülmüş ancak geri bildirim ve çoklu arabirim ihtiyacının giderilmesi için geliştirilen I2C üzerinde karar verilmiştir. HID Device devresi 20 MHz işlemci hızı ile gerekli işlemleri yaparak Çıktı Modüllerine verileri I2C protokolü veri iletişim yöntemi kullanarak aktarırken tamponda bulunan veri miktarına bağlı olarak verilerin aktarım hızında 0,15 saniyelik gecikmelere sebep olduğu belirlenmiştir. Ayrıca I2C hattında tepki gecikmelerine ve bağlantı kopmalarına karşın kullanılan PULL UP direnç değerlerinden en uygun değer denenerek devrelerde kullanılmıştır. Ancak daha hassas ayarlanabilir direnç kullanılarak bu sürenin azaltılabileceği düşünülmektedir.

GSA içerisinde bulunan giriş modülleri bilgileri doğrudan buton, anahtar ve diğer sensörlerden alıp FIFO tampon bellekte saklamaktadır. Giriş biriminden alınan veriler, saniyede 40 örnekleme sıklığı ile merkez devre girişlerinde toplanarak Falcon simülasyonun da işlenmiştir. Merkez devre ile giriş arabirimleri arasındaki veri akışı yine I2C protokolü veri iletişim yöntemi kullanılarak sağlanmakta, birimler arasında 0,15 saniyelik gecikme olmaktadır.

AGB ve GSA birimlerinin birlikteliği ZigBee teknolojisi, koordinasyon durumları verimlilik kontrolü 20 dakika süre ile optimize edilmiş RampStart Checklist uygulama eğitimi (Falcon BMS 4.33) ile yapılmıştır. AGB kullanıcıları 75 maddelik uçuş öncesi yapması gereken işlem adımlarını (örn.;1,close canopy; 2;set switch to main pwr; 3,set air source to norm) içeren checklist uygulama eğitimi sırasında, GSA-AGB arası veri aktarımında, OLED ekran yenileme hızında kayda değer bir gecikmeyle karşılaşmamıştır.

Uygulama eğitimi sayısal sonuçları incelendiğinde; AGB kullanıcılarının checklist listesinde hata yapmadığı, AGB kullanmayan deneyimli bir kullanıcının yaklaşık 14 dakikada tamamladığı checklist işlemini AGB kullanıcılarının yaklaşık 8 dakikada bitirdiği belirlenmiştir. AGB'nin kullanıcılar üzerindeki etkileri incelendiğinde; AGB kullanıcılarının kullanmayanlara göre daha fazla taxi süresinin kaldığı, bu sayede riskli sürüş davranışlarında azalma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca AGB kullanıcılarının "Taxi Ground Speed" kurallarında (keskin köşelerde 10 km/s, kalabalık trafikte 15 km/s, açık düzlüklerde 20 km/s) fiziksel tepkilerinin pozitif olduğu ve olumlu psikolojik sürüş davranışları sergilediği gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Genel olarak havacılık alanının gerçek uçuş eğitimlerinde karşılaşılan temel problemler uçmadan önce donanım ve personelin ön hazırlığı, uçağın havada kalma süresi, uçuş esnasındaki yapılması zorunlu işlem adımlarının atlanması, kaza riskleri ve uçuş sürelerinin azlığıdır. Buna karşın GSA bağlantılı F16 Kokpit deneyimlerinde hazırlık, maliyet, uçuş süresi, deneme sayısı gibi olumsuz durumların ortadan kalktığı, AGB sayesinde uçuş verilerinin anlık ve gerçekçi verildiği, kullanıcının zorunlu işlem adımlarında hata yapmadığı görülmüştür. Bu durum daha başarılı ve eğlenceli bir uygulama eğitiminin oluşmasını sağlamıştır.

Çalışmada kullanılan projeksiyon ve perde uygulaması yerine F16 kokpit etrafını saran 3 boyutlu TV'lerin yerleştirilmesi çalışmayı daha gerçekçi ve güçlü kılacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma sivil/askeri alandaki pilot eğitimlere yönelik olmasının yanında farklı eğitim seviyelerindeki öğrenci gruplarının, bu alana gönül vermiş kişilerin kullanabilmesine de imkân verecektir.

7. KAYNAKÇA

- [1] Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013), Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49. Tan ve ark., 2016
- [2] Yuen, S. C. Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011), Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*,4(1)
- [3] Iordache, D. D., Pribeanu, C., & Balog, A. (2012), Influence of specific AR capabilities on the learning effectiveness and efficiency. *Studies in Informatics and Control*, 21(3), 233-240.
- [4] Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009), Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- [5] Halaç, O. 1982 İşletmede Simülasyon Teknikleri, İ.Ü. Yayınları, No: 2936, İstanbul.
- [6] İnternet: https://tr.wikipedia.org/wiki/Artırılmış_gerçeklik, 30.04.2017.
- [7] İçten T. ve Bal G., (2017), Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(2).
- [8] Huang, Z., Hui, P., Peylo, C., & Chatzopoulos, D. (2013), Mobile augmented reality survey: a bottom-up approach. *arXiv preprint arXiv: 1309.4413*.
- [9] Roesner, F., Kohno, T., & Molnar, D. (2014), Security and privacy for augmented reality systems. *Communications of the ACM*, 57(4), 88-96.
- [10] Lorenz, L., Kerschbaum, P., & Schumann, J. (2014), Designing take over scenarios for automated driving: How does augmented reality support the driver to get back into the loop?. In *Proceedings of*

- the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 1681-1685). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- [11] Billinghamurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2001), The magicbook-moving seamlessly between reality and virtuality. *IEEE Computer Graphics and applications*, 21(3), 6-8.
 - [12] İnternet: <http://www.quivervision.com/> , 17.03.2017.
 - [13] Sielhorst, T., Obst, T., Burgkart, R., Riener, R., & Navab, N. (2004), An augmented reality delivery simulator for medical training. In *International Workshop on Augmented Environments for Medical Imaging-MICCAI Satellite Workshop* (Vol. 141, pp. 11-20).
 - [14] Taylor, R. H., Funda, J., Joskowicz, L., Kalvin, A. D., Gomory, S. H., Gueziec, A. P., & Brown, L. M. G. (1996), An overview of computer-integrated surgery at the IBM Thomas J. Watson Research Center. *IBM journal of research and development*, 40(2), 163-183.
 - [15] Friedrich, W., Jahn, D., & Schmidt, L. (2002), ARVIKA-Augmented Reality for Development, Production and Service. In *ISMAR* (Vol. 2002, pp. 3-4).
 - [16] Owens, N., Harris, C., & Stennett, C. (2003), Hawk-eye tennis system. In *Visual Information Engineering, 2003. VIE 2003. International Conference on* (pp. 182-185). IET.
 - [17] Serino, M., Cordrey, K., McLaughlin, L., & Milanaik, R. L. (2016), Pokémon Go and augmented virtual reality games: a cautionary commentary for parents and pediatricians. *Current opinion in pediatrics*, 28(5), 673-677.
 - [18] Livingston, M. A., Rosenblum, L. J., Julier, S. J., Brown, D., Baillot, Y., Swan, I. I., ... & Hix, D. (2002), *An augmented reality system for military operations in urban terrain*. NAVAL RESEARCH LAB WASHINGTON DC ADVANCED INFORMATION TECHNOLOGY BRANCH.
 - [19] Yeh, M., & Wickens, C. D. (2001), Display signaling in augmented reality: Effects of cue reliability and image realism on attention allocation and trust calibration. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43(3), 355-365.
 - [20] İnternet: http://www.aselsan.com.tr/tr-tr/basin-odasi/Brosurler/Komuta-Kontrol-Haberlesme-ve-Bilgisayar-Sistemleri/CENKER_TR.pdf , 30.04.2017.
 - [21] Gabbard, J. L., Fitch, G. M., & Kim, H. (2014), Behind the Glass: Driver challenges and opportunities for AR automotive applications. *Proceedings of the IEEE*, 102(2), 124-136.
 - [22] State, A., Chen, D. T., Tector, C., Brandt, A., Chen, H., Ohbuchi, R., ... & Fuchs, H. (1994), Observing a volume rendered fetus within a pregnant patient. In *Visualization, 1994., Visualization'94, Proceedings., IEEE Conference on* (pp. 364-368). IEEE.
 - [23] Urban, E. C., (1995), The information warrior, *IEEE Spectrum*, 32, 11, 1995, pp. 66-70.
 - [24] Advani, S,K, (1998), The kinematic design of flight simulator motion-bases. PhD thesis, Delft University of Technology.
 - [25] Medenica, Z., Kun, A. L., Paek, T. ve Palinko, O. (2011), “Augmented reality vs. street views: A driving simulator study comparing two emerging navigation aids,” *Proc. 13th Int. Conf. Human Comput. Interaction Mobile Devices Services*, pp. 265–274.
 - [26] Hwang, Y., Park, B. J., & Kim, K. H. (2016), Effects of Augmented-Reality Head-up Display System Use on Risk Perception and Psychological Changes of Drivers. *ETRI Journal*, 38(4), 757-766.
 - [27] Shankwitz, C. (2010), “Elbow room on the shoulder: DGPS-based lane-keeping enlists laser scanners for safety and efficiency,”, *GPS World*, vol. 27, pp. 30–37.
 - [28] Ippolito, C.A. ve Pritchett, A.R. (2000), Software Architecture For A Reconfigurable Flight Simulator, *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, Denver, CO.

ŞÜPHELİ DAVRANIŞLARIN MODELLENMESİ VE TESPİTİ İÇİN BİR KAVRAMSAL MODEL ÇALIŞMASI

İbrahim Genç ^(a), David Pynadath ^(b)

^(a) İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Müh. Böl. İstanbul,
ibrahim.genc@medeniyet.edu.tr

^(b) Univ. of Southern California, Inst. for Creative Technologies, 90094 CA, USA
pynadath@usc.edu

ÖZ

İnsanlar sosyal bir çevre içerisinde bulunur ve buna göre davranırlar. Araştırmacılar, insanların toplum içerisindeki etkileşimini anlamak için hesaplamalı modellere gün geçtikçe daha fazla başvurmaktadır. Oyun teorisi, zihin teorisi, karar teorisi ve etmen yaklaşımları sosyal simülasyon uygulamalarında ve modelleme çözümlerinde başvurulan yöntemler arasında yer almaktadır.

Diğer taraftan bireylerin ortam içerisindeki davranışları izlenerek cadde/park gibi açık hava ortamlarında, marketlerde, alışveriş merkezlerinde ya da havaalanı gibi yerlerde bu kişilerin bir suçla bağlantılı olup olmadıkları belirlenebilmektedir. Teröristlerin takip ve tespitin de günümüzde oldukça önem kazanmış olduğu dikkate alındığında, çözümüne yönelik olarak hesaplamalı yöntemlerin ve insan davranış modellerinin birlikte kullanımının gerekli olacağı görülmektedir.

Etmen modelleri içerisinde etmenin akıllı davranabilmesi ve sosyal etkileşimin sağlanabilmesi adına karar teorisi ve zihin teorisini birlikte kullanımı anahtar rol oynamaktadır. Dolayısıyla bir etmen kendi kararını oluştururken diğer sosyal varlıkların durumları yanı sıra kendisinin o varlıklar hakkındaki inançlarını da kullanmakta ve buna göre hareketlerini belirlemektedir. Buradan yola çıkarak simülasyon yoluyla tespit yapılabileceğini de önermekteyiz.

Bu çalışmada, şüpheli davranışların modellenmesi ve sonrasında tespiti probleminin etmen tabanlı modelleme yoluyla çözümüne yönelik olarak simülasyon dünyasını tanımlayan kavramsal bir yaklaşım sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Etmenler, Gözetleme, İnsan davranışı, Şüpheli davranışlar, Tespit ve tanıma, Zihin teorisi

A WORK ON CONCEPTUAL MODELING FOR MODELING AND DETECTION OF SUSPICIOUS BEHAVIORS

ABSTRACT

Human being exists in a social environment and behave accordingly. The usage of computational methods in order to understand these interactions in the society increase every other day. Game theory, the theory of mind, decision theory and agent-based models are among the methods commonly used in modeling solutions and simulation applications.

Therefore, using these techniques and other engineering solutions, it is possible to define whether an individual is committed to a crime or not while surveilling their behaviors in public places such as streets, parks, shops, malls or airports. Considering that tracking and detection of terrorists are very important in today's world, it is very convenient to use both the computational methods and human behavior models together in the solution of the problem.

An employment of both decision theory and the theory of mind plays an important role in making the agent models intelligent and also the realization of social interaction. Therefore, an agent defines its own actions considering not only the status of other entities but also its own belief about the other entities. Using this approach, it is proposed that making detections by simulation is also possible.

In this work, a conceptual model of the simulation world is presented in order to find out a solution for agent-based modeling and detection of suspicious behavior.

Keywords: Agents, Detection and recognition, Human behavior, Surveillance, Suspicious behavior, Theory of mind

1. GİRİŞ

Suç oranlarının artış gösterdiği ve terör tehdidinin çok yüksek bir seviyeye ulaştığı günümüz dünyasında güvenliğin sağlanabilmesi için klasik istihbarat yöntemlerinin yanında teknolojinin gelişmesiyle birlikte farklı yöntemler de uygulanmaya başlanmıştır. Bunların arasında en yaygın kullanıma ulaşmış olan kapalı devre görüntüleme (CCTV) sistemleri olarak belirtilebilir. Türkiye’de 2000’li yılların başında uygulamaları görülen ve MOBESE olarak adlandırılan sistemin amacı güvenlik güçlerinin suçu önlemede ve suçla mücadelede etkinliğinin artırılması olarak belirtilmiştir. Bu amaçla gözetleme kabiliyeti üzerinden tespit de genel CCTV uygulamalarında olduğu gibi amaçlar arasında belirtilmiştir [1]. CCTV kameralar gerek güvenlik güçleri gerekse özel mülkiyet sahipleri tarafından hırsızlığın, kişilere ve mülkiyete karşı işlene suçların ve terör olaylarının azaltılması için yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. CCTV sistemlerinin suçla mücadelede kullanımının arkasındaki temel yaklaşım caydırıcılık, kontrol alanlarının genişletilmesi,

öz disiplin ve tespit olarak belirtilmişse de [3] buradaki tespit ifadesi bizim teknik olarak anladığımız otomatik hedef/olay tespitini içermemektedir. Sadece kaydedilmiş görüntülerin incelenerek olay sonrası delillendirme ve soruşturma sonucunda suçluların tespiti ve teşhisi anlaşılmaktadır [3].

Dünyada ve özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde 11 Eylül, terör araştırmaları konusunda bir kilometre taşı olarak görülmektedir. Bu tarihten itibaren terörün anlaşılması ve yol açan sebeplerin belirlenmesi için çalışmalar önemli oranda artmış ve hatta politika bilimleri alanında bu konudaki yayınlar 11 Eylül'den önceki yayın sayısını en az ikiye katlamıştır [4]. Terör araştırmalarının zaman içerisinde sosyal bilimlerin bir alt dalı olmaktan çıkıp disiplinler arası bir hal aldığı da görülmektedir [5]. Bu kapsamda ele alınabilecek çalışmalardan birisi 2009'dan başlayarak yılda iki defa düzenlenerek günümüze kadar gelen Güvenlik Uygulamaları için Algoritma Geliştirme çalışmaları [6] olup serinin ilk toplantısı ağırlıklı olarak görüntü işleme üzerine yoğunlaşmış ancak sonraki dönemde otomatik tehdit tespiti, gözetleme ve insan faktörü (davranışı) artırarak vurgulanmaya başlanmıştır.

Artan CCTV sayısı ile birlikte bunların hepsinin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve buradan anormal veya şüpheli davranışların operatörler tarafından tespit edilmesi imkansız değilse oldukça zordur. Zira şüpheli davranışlar kalabalıkların ve süregelen normal olayların arasında çok nadirdir ve günler ve saatler süren izleme sırasında özel izleme teknikleri geliştirilmiş olsa da bir çok (örneğin bir kumarhanedeki kamera sayısı 500 civarındadır) kamera arasından bunun yakalanması oldukça meşakkatli bir iştir [7][8]. Dolayısıyla şüpheli davranışların tespitine yönelik otomasyon gerekliliği açıktır.

Şüpheli hareketlerin tespiti için otomasyon çalışmaları iki aşamada ele alınmalıdır. Birinci aşama algılayıcılardan (sensör) olayların ya da bazı özniteliklerin belirlenmesidir. Daha yaygın olduğu için CCTV üzerinde durulduğundan görüntü üzerinden aktörlerin tespiti, pozisyonlarının belirlenmesi, izlenmesi, el pozisyonları, bakış yönü gibi birçok bilginin görüntü ve video verisinden çıkarılması gereklidir. Dünya üzerinde birçok araştırmacının çalıştığı bu konuda yarışma içeren konferanslar da düzenlenmektedir [9]. Ancak bu çalışmalar bu bildirinin kapsamı dışında tutulmuştur.

Bu çalışmada kavramsal modelde belirtilen özniteliklerin daha önceki bir görüntü/video işleme süreciyle veya çeşitli diğer algılayıcılar vasıtasıyla alınmış olduğu varsayılmıştır. Literatürde de şüpheli davranışların tespiti konusu incelendiğinde aynı yaklaşımın benimsendiği görülmektedir.

İkinci bölümde konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalardan örnekler verilmiş, üçüncü bölümde önerilen kavramsal model açıklanmıştır.

2. ALTYAPI

Şüpheli, anormal ya da terörist davranışların tespiti ya da anlaşılması konusundaki çalışmalar incelendiğinde farklı yöntemler karşımıza çıkmaktadır.

Tütün ve ark.'nın çalışması terör olaylarının örüntü ve ilişkilerinin anlaşılması ve gelecek olayların kestirimi için bir çerçeve sunmaktadır [10]. Bu çalışmada aktörler yapay zekaya sahip değildirler ve karar üretmezler. Aktörler yerine olayların düğüm olarak alındığı bir ağ tanımlanır ve saldırılar arasındaki ilişkiler ağı oluşturur. Anahtar öznelilikler bir regresyon modeli ile elde edilir ve bir benzerlik fonksiyonu tanımlanır. Çıcağı kestirilen olayların tespiti ise çizge (graf) tabanlı yapılır. Olay kestirimi problemine değişik bir bakış açısı getiren bu çalışma istatistiki yöntemler içermekle birlikte problemi karar teorisi ve birey davranışları açısından incelememektedir.

Rowe, ise şüpheli davranışların tespitini sadece pozisyon ve bununla bağlantılı olarak hız, ivme değerlerinden yola çıkarak belirlemeye çalışır [8] [11]. İlk defa 2005 yılında yayınlanan bu çalışmalarındaki temel motivasyon CCTV sistemlerinden bilgi etmenin zorluğu ve maliyetli olması sebebiyle sadece basit pozisyon datalarından elde edilen verilerle şüpheli davranışların tespit edilmeye çalışılmasıdır. Tespit kararını, pozisyon hız ve ivme verilerinin şartlı ihtimal (odds) hesapları yanı sıra aktörün kaçınma niyetinin bir göstergesi olarak görünürlük değerlerine bakarak belirlediği anormallik, aldatma ve şüphelilik göstergelerine dayandırır [8] [12] [13].

Kaluza ve ark. şüpheli davranışların tespitinde tek bir gözlemin yeterli olmayacağını, çok etmenli sistemlerde çoklu gözlemlere ve etmenler arası etkileşimlere dayalı olarak çıkarım yapmanın gerekli olduğunu öne sürmektedir [14]. Çalışmada iki aşamalı bir tespit yöntemi benimsenmiş olup birinci aşamada etmenler arası iletişimden tetikleyici etkileşimlerin belirlenmesi, ikinci aşamada ise bu etkileşimlerden yola çıkarak aktivitenin şüpheli olup olmadığına karar verilmesi önerilmektedir. Dayandığı temel yöntem fayda (utility) tabanlı plan tanımadır.

Şüpheli, ya da Liebhaber ve ark. adlandırdığı şekliyle tehdit oluşturan, davranışların tespiti hava savunma gibi farklı alanlarda da çalışılmış [15] olmakla birlikte yaklaşımımıza en yakın çalışmalar niyet ve plan tanıma alanında yoğunlaşmıştır [16]-[20].

Kavramsal modelimizde de yer verildiği üzere şüpheli davranışların tespitinde ekip davranışlarının da dikkate alınması gerektiği mevcut çalışmalardan anlaşılmaktadır [21].

Davranış modelleme amacıyla da kullanılabilecek bir alternatif olan Oyun Teorisi'nin karşı tedbir amaçlı olarak da kullanıldığı görülmektedir [24]. Burada güvenlik devriye planları yapılırken kullanılan oyun teorisine dayalı teknikler ile güvenlik faaliyetlerinin suçlular tarafından öngörülemez olması stratejisi benimsenmiştir.

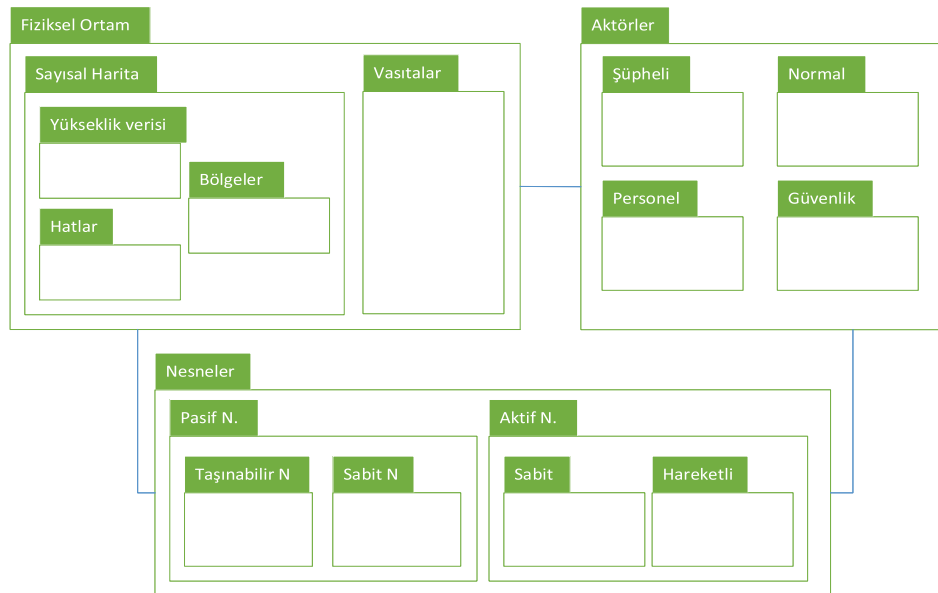
Benimsemiş olduğumuz ayrık olaylı simülasyon yaklaşımında yer alacak etmenlerin hareketlerinde/kararlarında daha gerçekçi olabilmesi için sosyal modellerde

karar üreten etmenlerde önerilen [22] zihin teorisinin [23] de çalışma alanımıza dahil edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir. Zira gerçek hayatta da şüpheli bir kişi hareketlerini planlarken, kameralar tarafından görünüp görünmediği, güvenlik personelinin ne yöne doğru hareket edeceği gibi kendi dışındaki varlıkların nasıl davranacağına yönelik olarak kestirimler yapmakta, kendini onların yerine koyarak düşünmekte ve buna göre hareket etmektedir.

3. KAVRAMSAL MODEL

Bu çalışmamızda ortaya koymaya çalıştığımız kavramsal modellemede sadece belirli bir problemi ve ortamı değil daha geniş bir problem ailesini modellemek hedefi bulunduğundan bu aşamada yapı biraz daha basit tutulmuştur. Varlıkların hiyerarşik bir yapıda modellenmesi tercih edilerek hem varlıklar arası ilişkilerin daha rahat bir şekilde görülebilmesi, hem AdSiF [25] ve nesne yönelimli programlamadan gelen miras özelliklerinin kullanılabilmesi hem de gerektiğinde daha detaylı modellemeye ana çerçeve bozulmadan geçilebilmesi sağlanmış olacaktır.

Şüpheli davranışların modellenmesi, simülasyonu ve tespiti beklenen ortamlar ve bunların ortak özellikleri göz önünde bulundurulmuş, simülasyon dünyası; fiziksel ortam, nesneler ve aktörler olarak isimlendirilen temel paketler halinde ele alınmıştır. Tanımlanan paketler ve bunların altında tanımlanan hiyerarşik yapı en genel haliyle Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1 Kavramsal modeli oluşturan paketler ve hiyerarşik modelleme yapısı

3.1. Fiziksel ortam

Fiziksel ortamın modellenmesinde iki boyutlu ızgara veya iki boyutlu harita gibi basit yaklaşımlar görüldüğü gibi [8][11][13][14], tüm fiziksel yapıların 3-boyutlu ve hiyerarşik

olarak, birbirlerine göre etkileşimlerinin ilişkisel olarak tanımlandığı daha detaylı çözüm önerileri de bulunmaktadır [26].

Bu çalışmada bizim önerdiğimiz 3 boyutlu harita yaklaşımıdır. Böylece aktörlerin eğilme, oturma, el pozisyonu gibi hareketleri modele gerçekçi olarak dahil edilebilmektedir. Ayrıca ortamda bulunan fiziksel objelerin yükseklikleri de DTED formatına benzer bir yapıda market, havaalanı gibi mekanların düz zeminleri üzerine toplamsal olarak katılarak harita verisi kolayca modifiye edilebilir. Kapalı mekanlar ele alındığında tavanın hemen altından ortama bakılarak haritanın çıkarıldığı varsayılacaktır. Böylece tavana kadar ulaşan duvarlar ortamdaki maksimum yüksekliği oluştururlar. Bununla birlikte alanlar arasında oluşturulmak istenen farklılıklar bölge (zone) tanımlamalarıyla yapılır. Örneğin, personel harici girişlere izin verilmeyen bölgeler, tuvalet, deneme odaları gibi tek bir kişinin gireceği varsayılan alanlar ya da tek yönlü trafiğe izin verilen koridorlar ya da hatlar (ör. kapı) tanımlanabilir.

Fiziksel ortam modelinin bu şekilde tanımlanması ve bölge atamaları ile özelleştirilmesi kavramsal modelin geliştirilebilir olmasını da sağlamaktadır. Kavramsal modele katılan yeni özniteliklere ve/veya varlıklara karşılık olarak bölge tanımlamalarına yapılacak eklemeler ile genişletme gereksinimi karşılanabilecektir.

Kavramsal modelde yer alan bazı nesnelerin fiziksel model ile doğrudan ilişkisi olacaktır ki nesne veya fiziksel model sınıflarından hangisinde tanımlanmasının uygun olacağı da ayrıca tartışılabilir. Vasıtalar taşıma özellikleri ile aktörleri ya da nesneleri bir yerden bir yere taşırlar. Fiziksel model ile çakışma örneğin çok katlı binalarda bulunan asansörler için geçerlidir. Bunlar bir yönüyle vasıta yani nesne özelliği gösterirken yapıları itibarıyla fiziksel bütünün bir parçasıdır ve fiziksel model içerisinde bir koridor veya bir hat gibi de davranabilmektedirler. Dolayısıyla çok katlı binalar, merdivenler geçiş koridorları, asansörler de belirli noktalar arasında taşıma yapan vasıtalar olarak tanımlandığında tek bir düzleme indirilmiş olurlar.

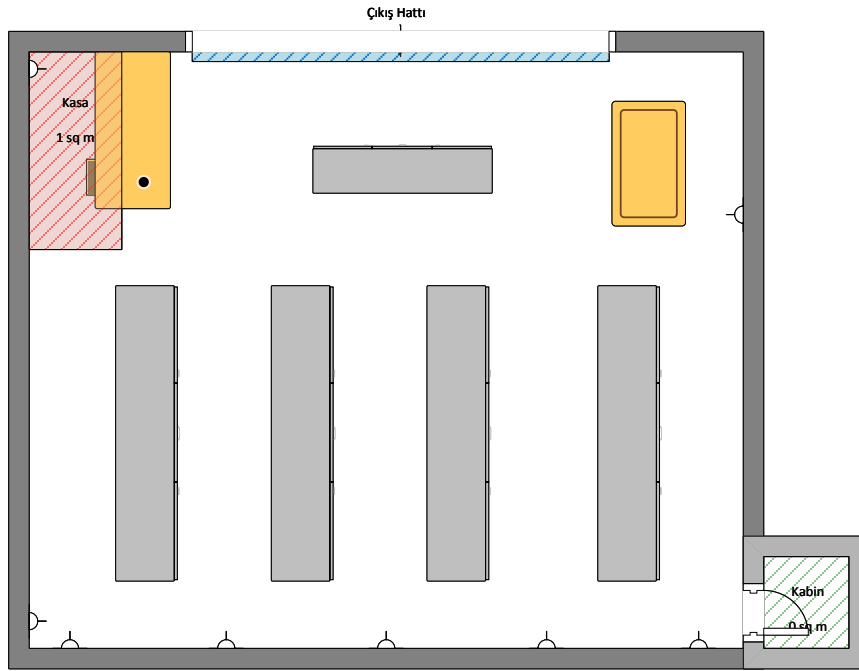
Fiziksel ortamın DTED benzeri bir yaklaşımla tanımlanıyor olmasının getirdiği kısıt duvar ortasındaki bir yükseklikte yer alan ince bir açıklığın tanımlanmasında karşımıza çıkmaktadır. Özellikle görüş hattı hesaplamalarını etkileyebilecek bu tür yapılarda basit yaklaşım üst kısmındaki sınırlamanın yok varsayılması olacaktır. Diğer bir alternatif bu tür duvar yapılarının belirli bir yükseklikte durabilen nesneler olarak modele dahil edilmesidir.

Basit bir fiziksel ortam örneği Şekil 2’de gösterilmiştir. Burada bir mağaza, raflar masalar ve güvenlik kameraları, deneme kabini ve kasa alanı için tanımlanmış bölgeler ile giriş çıkış hattı yer almaktadır.

Fiziksel ortam modelini oluşturan binalar, objeler ve bölge tanımları yanı sıra, ortama ilişkin bazı istatistiki bilgiler de modele dahil edilmiştir. Buradaki çözünürlük kullanıcının tercihi ve uygulama gereksinimlerine bağlı olmakla birlikte hem taban

alanı hem de ortamdaki nesneler için ziyaret sıklıkları tanımlanabilirse de genellikle sadece mekânın her bir noktası için ziyaret sıklıklarının belirlenmesinin yeterli olacağı düşünülmektedir. Taban alanının ne kadar büyüklükteki hücelere bölüneceği de yine kullanım gereksinimleri tarafından ve veri toplanabilirliğine bağlı olarak belirlenecektir. Mekanın tabanındaki her bir hücre için ziyaret sıklıklarının yanı sıra, burada bulunan kişilerin ortalama hızları ve ivmelenme ortalamaları da şüpheli davranışların tespitinde önemli görüldüğünden modele dahil edilmiştir.

Fiziksel ortam modeli bir sunucu model olarak görev yapar ve hareketli bir modelin hareketi esnasında kesiştiği geometri noktaları belirlenir. Bu işlev özellikle varlığın bulunduğu bölgelerin bildirilmesi için gerekli bir hesaplama. Örnek olarak *çıkış hattının* geçildiği noktada aktör gizlenmiş ve ücreti ödenmemiş bir nesne taşıyıp taşımadığına da bağlı olarak hırsızlık alarımının üretilip üretilmeyeceği belirlenir. Ayrıca aktörlerin davranışlarının şüpheli olup olmasının belirlenmesinde görülebilir olup olmadığı ve bunun ölçüsü oldukça önemlidir. Herhangi bir aktörün başka bir aktör tarafından ya da ortamda bulunabilecek çeşitli algılayıcılar (ör. CCTV) tarafından görüş alanında olup olmadığının belirlenmesi için görüş hattı hesaplaması yürütülür.



Şekil 2 Örnek bir mağaza yerleşimi, plan görünümü.

3.2. Nesneler

Bu grupta simülasyon dünyasının gerektirdiği tüm nesneler tanımlanır. Örneğin mağaza uygulaması için raflardaki mallar istenen çözünürlükte belirtilebilir. En detay seviyede her bir tekil obje; boyut, esneklik, ağırlık, fiyat, güvenlik etiketi varlığı gibi öznitelikler ile tanımlanır.

Jenerikliği sağlamak ve farklı tipte objelerin tanımlanmasını kolaylaştırmak için benimsenen hiyerarşik yaklaşıma dayalı olarak birinci seviyeden alt sınıflar aktif ve pasif nesneler olarak iki gruba ayrılmıştır. Pasif nesneler herhangi bir mesaj üretmezler ve herhangi bir aksiyon yürütmezler. Bu nesneler bir alt seviyede taşınabilirliklerine göre sınıflandırılırlar. Böylece sabit nesneler simülasyon boyunca bulundukları konumda sabit olarak dururken, taşınabilir nesneler simülasyondaki aktörler tarafından taşınıp konumları değiştirilebilir.

Aktif nesneler herhangi bir yapay zeka fonksiyonuna sahip olmasa ve karar üretmese de belirli durumlarda ya da tanımlı prosedürleri takip ederek bir eylem gerçekleştirebilirler ve diğer varlıklar ile etkileşimde bulunabilirler. Mağazaların çıkışlarındaki etiket tespit cihazları, veya belirli alarm kabiliyetine sahip CCTV kameralar bu sınıfta gösterilebilir. Uygulamaya bağlı olarak bu detay seviyede modelleme ihtiyacı varsa, otomatik açılıp kapanan kapılar, belirli bir program çerçevesinde bakış açısını değiştiren her yöne dönebilen kameralar bu gruba dahil olacaklardır.

3.3. Aktörler

Aktörler simülasyon dünyasında bulunan insanları temsil ederler. Her bir aktör belirli seviyede muhakeme yeteneğine sahiptir ve karar üretir. Bu çalışma kapsamında aktörler temel olarak 4 kategoride ele alınmıştır. Şüpheli, Normal, Personel ve Güvenlik Personeli olarak adlandırılan aktörler aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Farklı kategoriler tanımlanmış olmakla birlikte her bir model grubu ortak bir model yapısını paylaşmaktadır. Kategoriler arası farklılaşma davranışlarından, muhakeme mekanizmalarından, inanç ve niyetlerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür yapıların AdSiF'in sağladığı cephe yönelimli programlama (aspect oriented programming) desteği sayesinde aynı modelin farklı davranış listeleri içeren farklı cepheleri ile pratik bir şekilde gerçekleştirilebilecektir [27]. Dolayısıyla öncelikle ortak temeli oluşturan taban model tanımlanacak sonraki alt bölümlerde modellerin birbirinden nasıl farklılaştıkları kısaca açıklanacaktır.

3.3.1. Taban Aktör Modeli

Aktörler, ortamda belirli bir pozisyonda bulunur, belirli bir hız ve ivme ile hareket ederler. Davranışlarının şüpheli olup olmadığının modellenenbilmesi ve bu davranışlarının tespitinde önemli olduğu için [11][26][28] aktörlerin bakış yönü, vücut yönü, el pozisyonları (sağ/sol), ayak pozisyonları (sağ/sol) da aktör modelinin öznelilikleri olarak belirlenmiştir.

Aktörlerin yürüteceği temel fonksiyonlar ise; (noktaya) git, (nesneyi) al, (nesneyi) bırak, (bir aktörle) buluş, (bir aktörü) takip et, (belirli bir yöne/noktaya) bak, (nesneyi) (arabaya/sepete) koy, (bir aktöre) bilgi ver, bekle, otur olarak belirlenmiştir.

3.3.2. Şüpheli

Şüpheli olarak adlandırılan aktörler ortamda kötü amaçlarını gerçekleştirme üzere bulunurlar. En azından bunun yollarını aramaktadırlar. Dolayısıyla inanç, istek ve niyetleri normal aktörlerden farklıdır. Planları, amaçlarına ulaşmak için gizleme, aldatma gibi özel bazı eylemleri içerir. Muhakeme yöntemleri içerisinde yakalanmamak, görünürlüğü azaltmak, geliri maksimize etmek gibi özel kriterler bulunur.

Şüpheli sınıftaki aktörler bir ekip olarak da hareket edebilirler. Dolayısıyla ekip içi haberleşme, eylemlerin senkronizasyonu, birbirini gizleme, dikkat dağıtma (aldatma) gibi eylemler de bu kapsamda modele eklenmektedir.

Özetle ifade etmek gerekirse, her ne kadar eylemler bazında normal aktörlerden farklı bazı eylemlere sahip olsalar da bu davranışlar belirli durumlarda normal aktörler tarafından da yürütülebilir veya dışardan bakıldığında bu eylemleri yürütüyormuş şeklinde algılanabilir. Şüpheli aktörlerin diğer aktörlerden ayrıldığı temel noktalar, niyetlerinin ve muhakeme yöntemlerinin diğer aktörlerden farklı olmasıdır. Gerçekleme noktasında da davranış setleri farklılaşmakla birlikte yapay zeka tasarımları diğerlerine göre farklılık gösterecektir. Muhakeme ve karar yöntemleri şüphelinin hedefinin ne olacağı, hedefine hangi yoldan ulaşacağı, nesneyi ne zaman alacağı ve gizleyeceği, niyetinden vazgeçip geçmeyeceği ne zaman ve hangi yoldan ortamdan çıkacağı gibi kararları üretir.

3.3.3. Genel

Genel aktörler ortamda bulunan normal kişileri temsil eder. Bunlar ortamda bulunur ve kendi amaçları doğrultusunda hareket ederler. Şüpheli veya personel gibi rollere sahip değilse ayrıca özel olarak belirtilmesine gerek olmadan tüm aktörler bu sınıfta varsayılır.

3.3.4. Personel

Öncelikle sınıflandırma açısından bakıldığında personel grubundaki aktörlerin şüpheli olarak sınıflandırılması ihtimali daha düşük görülmekle birlikte buna istisna oluşturan durumlar da vardır. Özellikle kumarhane gözetleme uygulamalarında çalışanlar tarafından verilen zararın daha zor tespit edildiği belirtilmektedir [7]. Ancak her durumda personel grubu aktörler şüpheli aktörler için birer tehdit oluşturduğundan onların hareketlerini etkiler. Şüpheli aktörler sadece güvenlik personeli değil normal personel tarafından da görülmek istemez. Bulunulan ortamın yapısına göre güvenliği sağlamak üzere hareket edebilirler. Örneğin küçük mağazalarda güvenlik personeli bulunmaz ve herhangi bir şüpheli hareket halinde mağaza görevlilerinin müdahale etmeleri beklenir.

Personel aktörler diğer aktörlere tanınmayan bazı haklara da sahiptirler. Örneğin mağazanın açık olduğu saatlere göre personel aktörler biraz daha erken gelip biraz daha geç çıkabilirler. Ortamda sadece personelin erişebildiği mekanlar bulunabilir. Takip et eylemi daha çok şüpheli davranışı görülen aktörleri takip etmek için personel aktörler tarafından yürütülür.

3.3.5. Güvenlik Personeli

Güvenlik personeli personel kategorisinden pek de farklı değildir. Hatta mağaza hırsızlığı uygulamaları için gerekliliği de tartışılabilir. Ancak şüpheli davranışların tespiti açısından daha genel bir perspektifle bakıldığında, örneği hava alanı güvenliği gibi uygulamalarda güvenlik personeli çok daha kritik bir öneme sahip olmaktadır. Mağaza uygulamalarında da eğer simülasyonda bir güvenlik personeli varsa takip ve yakalama işlemleri bu personel tarafından yürütülür.

3.4. Mesajlaşma

Sunulan kavramsal modelde tüm modeller arasında ver alışverişi söz konusu olmaktadır. En alt seviyede bulunan pasif nesneler bir mesaj üretmezler ancak konum bilgileri fiziksel ortam modeli ile veya algılayıcı tipi nesneler ile paylaşılır. Taşınabilir bir pasif nesne ile bir aktör veya vasıta arasında taşıma ilişkisi kurulduğunda da nesne ilişkili modelin konum bilgisini alarak kendi konumunu günceller. Bu tür iletişim tam olarak bir mesajlaşma olmayıp öznitelik paylaşımı seviyesinde gerçekleşir.

Aktörler ve nesneler kendi konumlarını, bulundukları noktanın özniteliklerini, görüş alanı içinde olup olmama bilgilerini, herhangi bir bölgede olup olmadıklarını kendi işleyişlerinin gerektirdiği durumlarda fiziksel ortam modelinden sorgulayabilirler.

Asıl mesajlaşma diyebileceğimiz iletişim modelinde, algılayıcı tipi nesneler olası tespit bilgilerini alarm olarak ilişkili olduğu personele iletir. Personel aktörler birbirlerine şüpheli durumları raporlayabilirler. Fiziksel ortam modeli girişin yasak olduğu bölgeye giren bir aktörle ilgili olarak alarm üretip bunu ilişkili personele gönderebilir.

3.5. İlişkiler

Simülasyonda varlıklar arasında ilişkiler kurulabilir. Bu yapı simülasyon işletiminde birçok kolaylık sağlamaktadır. Bu aşamada kavramsal modele dahil edilen ilişkiler; “taşır”, “raporlar”, “ekip” olarak belirlenmiştir.

Taşır ilişkisi bir nesne ile aktör arasında ya da bir nesne veya bir aktörle bir vasıta arasında kurulabilir. Taşınan varlık, konumunu taşıyan varlığının konumuna göre otomatik olarak belirler. Raporlama ilişkisinde algılayıcı veya ortam modeli, oluşan belirli durumları ilişkide olduğu aktörlere bildirir. Eğer senaryoda personel arasında bir hiyerarşi kurulmuşsa bu da raporlama ilişkisi ile belirtilir ve bir tespitte bulunan personel ilişkili personele tespitini raporlar.

Ekip ilişkisinde şüpheli aktörlerden oluşan ekip üyeleri kendi aralarında hedeflerini, planlarını, yardım taleplerini (gizleme, ya da aldatma) ya da tehlike tespitlerini mesajlaşma yoluyla paylaşırlar. Gizledikleri nesneyi birbirlerine aktarabilirler. Bununla birlikte genel aktörler de ekip oluşturabilir. Bir aileye ya da arkadaş grubuna dahil olan aktörler ekip ilişkisi kurup kendi konumlarını paylaşarak birlikte hareket edebilirler ya da belirli zaman aralıklarında ayrılıp tekrar belirledikleri noktalarda buluşabilirler,

aralarında nesne alışverişi gerçekleşebilir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada şüpheli davranışların tespit edilmesine yönelik olarak yürütülecek çalışmalara bir taban teşkil etmesi ve çalışmaların genişletilebilir olarak sürdürülebilir olması için kavramsal model oluşturularak simülasyon dünyasına ilişkin varlıklar, varlıkların öznitelikleri, eylemleri ve ilişkileri tanımlanmıştır. Halen yürütülmekte olan çalışmada karar üreten yapay zeka yaklaşımları ve muhakeme algoritmaları üzerinde yoğunlaşarak şüpheli kişilerin ve güvenlik personelinin modellerinin geliştirilmesi faaliyetleri yürütülmektedir. Bu çerçevede öncelikle MDP, POMDP ve Zihin Teorisi yaklaşımları benimsenmiştir. Özellikle değişik davranış kalıplarına sahip kişilere yönelik farklılıklar incelenerek bu kişilerin zihin teorisine dayalı modellerinden bir tespit çözümünün geliştirilmesi planlanmıştır. Böylece geliştirilen yaklaşım tespit amacıyla kullanılması yanı sıra farklı davranış kalıplarının sonuçlarının irdelenmesi açısından da yarar sağlayacaktır.

5. TEŞEKKÜR

İbrahim Genç, bu çalışmanın USC ICT’de yürütülmesine imkan sağlayan akademik araştırma bursu sebebiyle Türkiye Fulbright Eğitim Komisyonu’na teşekkür eder. Yazarlar, katıldığı akademik tartışmalarla sağladığı yardımlardan dolayı Sn. Dr. Volkan Üstün’e teşekkür ederler.

6. KAYNAKÇA

- [1] Çoban, E. (2005). Ülkemizin yeni bilgi ve güvenlik konsepti MOBESE. *Polis Dergisi*, 45, 21-28.
- [2] Kruegle, H. (2007). *CCTV surveillance analog and digital video practices and technology*. Burlington: Elsevier.
- [3] Kula S. ve Guler A. (2016), Smart Public Safety: Application of Mobile Electronic System Integration (MOBESE) in Istanbul, J. R. Gil-Garcia et al. (eds.), *Smarter as the New Urban Agenda A Comprehensive View of the 21st Century City, Public Administration and Information Technology 11*, Springer.
- [4] Tinnes, J. (2013). The art of searching: how to find terrorism literature in the digital age. *Perspectives on Terrorism*, 7(4), pp.79-111.
- [5] Reinales F. (2012), Discussion Point: Terrorism Studies is not a Sub-Discipline, START, <http://www.start.umd.edu/news/discussion-point-terrorism-studies-not-sub-discipline>
- [6] ALERT (Awareness and Localization of Explosives-Related Threats) (2009), Algorithm Development for Security Applications Workshop, Final Report, Northeastern University.
- [7] Boss D.J. ve Zajic A.W. (2011), *Casino Security and Gaming Surveillance*, CRC Press.
- [8] Rowe N.C. (2005), Detecting Suspicious Behavior from Positional Information, *Proceedings of the Workshop on Modeling Others from Observations at the International Joint Conference on Artificial Intelligence, Edinburgh*.

- [9] NIST (2017), TRECVID: TREC Video Retrieval Evaluation, URL <http://trecvid.nist.gov>
- [10] Tutun S., Khasawneh M.T. ve Zhuang J. (2017), New framework that uses patterns and relations to understand terrorist behaviors, *Expert Systems with Applications*, Vol.78, pp.358-375.
- [11] Rowe, N. C. (2005). Detecting suspicious behavior from only positional data with distributed sensor networks. In *ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (pp. 2291-2296).
- [12] Rowe, N. C. (2004, December). Designing good deceptions in defense of information systems. In *Computer Security Applications Conference, 2004. 20th Annual* (pp. 418-427). IEEE.
- [13] Rowe, N. C., Reed, A. A., & Flores, J. J. (2010, April). Detecting suspicious motion with nonimaging sensors. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2010 IEEE 24th International Conference on* (pp. 991-996). IEEE.
- [14] Kaluža, B., Kaminka, G. A. ve Tambe, M. (2012). Detection of suspicious behavior from a sparse set of multiagent interactions. In *Proc. of the 11th Int. Conf. on Autonomous Agents and Multiagent Systems-Vol. 2*, pp. 955-964.
- [15] Liebhaver, M. J., & Smith, C. A. (2000). Naval air defense threat assessment: Cognitive factors and model. Pacific Science And Engineering Group Inc San Diego CA.
- [16] Avrahami-Zilberbrand, D., & Kaminka, G. A. (2014). Keyhole adversarial plan recognition for recognition of suspicious and anomalous behavior. *Plan, Activity, and Intent Recognition*, 87-121.
- [17] Sukthankar, G., & Sycara, K. (2007, October). Efficient plan recognition for dynamic multi-agent teams. In *Grace Hopper Women in Computer Science Conference* (pp. 204-208).
- [18] Sukthankar, G., & Sycara, K. (2011). Activity recognition for dynamic multi-agent teams. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 3(1), 18.
- [19] Baker, C. L., & Tenenbaum, J. B. (2014). Modeling human plan recognition using bayesian theory of mind. *Plan, activity, and intent recognition: Theory and practice*, 177-204.
- [20] Baker C.L., Saxe R. ve Tenenbaum J.B. (2009), Action understanding as inverse planning, *Cognition*, Vol.113, pp. 329-349.
- [21] Luotsinen, LJ, & Bölöni, L. (2008). Role-based teamwork activity recognition in observations of embodied agent actions. In *Proc. of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems-Volume 2* (pp. 567-574).
- [22] Pynadath D.V. ve Marsella S.C. (2012), Socio-Cultural Modeling through decision theoretic agents with theory of mind, *Advances in Design for Cross-Cultural Activities*, 417.
- [23] A. Whiten, (Ed.), (1991), *Natural Theories of Mind*. Basil Blackwell, Oxford, UK.
- [24] Pita J, Jain M, Ordóñez F, Portway C, Tambe M, Western C, Paruchuri P ve Kraus S, "Using Game Theory for Los Angeles Airport Security", *AI Magazine*, Vol 30, No 1, 2009.
- [25] Hocaoglu MF (2005), "AdSiF:Agent Driven Simulation Framework", Huntsville Simulation Conf.
- [26] Ustun V. (2009), Human Behavior Representation In Physical Security Systems Simulation, Doktora Tezi, Auburn University.
- [27] Hocaoglu MF, Genç İ. ve Ergin AA (2010), "Etsis: Etmen Tabanlı Simülasyon Sistemi Ve Model Tabanlı Doğrulama Ve Geçerleme", *Ulusal Yazılım Kalitesi ve Yazılım Gel. Araçları Semp., İst.*
- [28] CAVIAR, EC founded Project, IST 2001 37540, URL <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIAR>.

SEL SİMÜLASYON SİSTEMİ

Mehmet Emre Aydın ^(a), Nurullah Hatipoğlu ^(a)

^(a) ARF Bilgi Teknolojileri, ODTÜ Teknokent,
{mehmet.aydin, nurullah.hatipoglu}@arf-bt.com

ÖZ

Altyapı sistemlerinde meydana gelen aksaklıklar sonucunda; yoğun yağış sonrası oluşan su baskınları, şehir yaşantısını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu tip afetler meydana gelmeden önce gereken tedbirlerin alınması ve şehir içinde sorun yaşanmaması için simülasyon sistemlerinden faydalanılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, altyapı sistemleri gerçek durumu yansıtacak şekilde modellenip doğrulama geçerleme faaliyetleri yürütülecek ve modelde kullanılan parametreler için veri girişi yapılarak mevcut ve olası durumların simülasyonu yapılabilecektir. İleriye yönelik tahminler gerçekleştirilebilmesi amacıyla, zaman içerisinde gelişen ve değişen altyapı sistemlerinin işleyişinin bir simülasyon modeli geliştirilerek incelenmesi hedeflenmiştir. Erken uyarı sistemlerinin yerleştirilmesi için ise, kritik noktaların tespiti gerekmektedir. Sistemin bu konuda da kullanıcılara fayda sağlaması öngörülmektedir. Sensörler kullanılarak su taşkınlarının bildirilmesi ve erken müdahale yapılmasının sağlanması planlanmaktadır. Yetkili kişilerin bilgilendirilmesi ve genel duyuruların oluşturulması gibi farklı işlevler simülasyon sistemi ile entegre bir yapı halinde coğrafi bilgi sistemleri aracılığıyla sunulacaktır. Böylece ilgili kişiler tarafından risk haritaları gözlemlenebilecek ve gerekli önlemlere ilişkin stratejiler oluşturulması mümkün olacaktır. Ek olarak, mobil bir uygulama ile kullanıcılara seçilen bölgeye ilişkin simülasyon sonuçlarına ve bilgilendirme notlarına erişme imkanı sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Doğrulama ve Geçerleme, Erken Uyarı Sistemleri, Matematiksel Modelleme, Sel, Simülasyon, Taşkın

FLOOD SIMULATION SYSTEM

ABSTRACT

As a result of troubles taken place in the infrastructure systems, water overflow occurs afterwards heavy rains and it affects negatively the urban life. It is aimed to benefit from simulation systems in order to take measures before such natural disasters and prevent

the problems due to heavy rains in cities. Within this scope, the infrastructure systems will be modelled in a such way that the models will represent the real system. Afterwards, verification and validation process of the models will be conducted. As a consequence, the simulation for the current and probable cases could be performed through data entry in the parameters that are used in the mathematical model. For the purpose of forecasting, the mechanism of the infrastructure systems that are developed and changed in the course of time is investigated via simulation models. In order to insert early warning systems, the determination of the critical points is required. It is foreseen that the system will also contribute in this respect. The utilization of the sensors is proposed as a solution for the notification of overflows and early response. Through geographical information systems, an integrated simulation system is offered with various functions such as informing authorities, generating public announcements etc. As a result, the relevant persons could observe the risk maps and it is possible to develop strategies associated with necessary precautions. Additionally, the users are enabled to access simulation results and notifications related to selected region by way of a mobile application.

Keywords: Early Warning Systems, Flood, Geographical Information System, Mathematical Modeling, Overflow, Simulation, Verification and Validation

1. GİRİŞ

Sel, dünyada depremden sonra en sık görülen afet olup; fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olmaktadır. Ülkemizde de ciddi maddi ve manevi zararlara yol açmış, can kaybı yaşanmış sel felaketleri gözlenmiştir. Sel zararı ve tehlikeleri Şekil 1’de, maksimum yağış miktarı Şekil 2’de illere göre belirtilmiştir.



Şekil 1. Afet İşleri Genel Müdürlüğü’ne göre ülkemizde yaşanan sel zararlarının illere göre dağılımı [1]



Şekil 2. İllere Göre Maksimum Yağış Dağılımı

“Flash flood” olarak adlandırılan ani seller konvektif yağışlar nedeniyle oldukça sık yaşanan olaylar olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra, şehirleşmenin yüzeysel akış üzerinde yarattığı artış mazgalların bu suları hemen tahliye edememesine sebep olmakta ve sağanak yağışlarda su baskınlarına yol açmaktadır. Bu nedenle; evler ve iş yerleri su altında kalmakta, araçlar yollarda mahsur kalmaktadır. Bu zararları azaltmak amacıyla; afet öncesi korumaya yönelik olan çalışmalar, tahmin ve erken uyarı sistemlerinin önemi artmıştır.

Ülkemizin çeşitli bölgelerinde zaman zaman yaşanan su baskınları önemli seviyede maddi zarara yol açabilmektedir. Biriken su ve kirlilik nedeniyle ulaşım yolları trafiğe kapanabilmekte ve alt geçit gibi eğimli alanlar kullanılmaz hale gelebilmektedir.

İyi planlanmış bir altyapı aracılığı ile söz konusu su baskınlarının sebep olduğu problemler kontrol altına alınabilmektedir. Şehir içi yerleşim alanlarında yaşanan afetlerde sorunun en önemli sebeplerinden birisi kanalizasyon sistemindeki yetersizlik ve tıkanıklık gibi aksaklıklardır. Yaşanması muhtemel olan sel felaketleri için önceden tedbir alabilmek, altyapı eksiklikleri varsa tespit edebilmek, olası can kayıpları ve maddi zararın önüne geçmek amacıyla; sel için önemli rol oynayan parametrelerden faydalanarak simülasyon gerçekleştiren bir sistem oluşturulması gereksinimi doğmuştur.

Su seviyelerinin ölçümü, uyarı sistemleri arasında yer almaktadır. Ölçüm için, farklı metotlar kullanılabilmektedir. Yüzen bir alet kullanılabileceği gibi, basınç ve radar ölçümlerinden de seviye tespiti yapılırken faydalanılabilmektedir. Ayrıca otomatik sel

uyarı sistemleri ile ilgili bir yapı da önerilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve hidrolik modelleme ile simülasyon sunulan çözümlerdendir. [2]

Yağış miktarı ve süresi göz önünde tutularak; kanalizasyonda yer alan boru hatlarının modellenmesi vasıtasıyla suyun ne kadarının tahliye edilebileceği, ne kadarının dışarıda kalacağı ve kalan suyun hangi bölgelerde/yollarda sorun teşkil edeceğine dair bilgi edinilebilecektir. Mevcut kanalizasyon altyapı bilgileri kullanılarak; su taşkınlarının oluşacağı noktaların önceden tespit edilmesi ve sorunun giderilmesi için çözüm önerisinde bulunulması planlanmaktadır. Simülasyon sistemindeki parametrelerde değişiklikler yapılarak; hangi şartlar altında sel ile karşılaşılmayacağı konusunda öneriler sistem tarafından sağlanabilecektir. Ayrıca, ani sel baskınlarında hızlı müdahaleye olanak sağlanması amacıyla; uyarı sistemlerinin kurulması için en uygun noktalar tespit edilecektir. Ülkemizde yaşanan sel felaketi ile ilgili sorunların en aza indirgenmesi ve gelişmeler/iyileştirmeler sunularak oluşabilecek zararların önlenmesi ana amaçlardır.

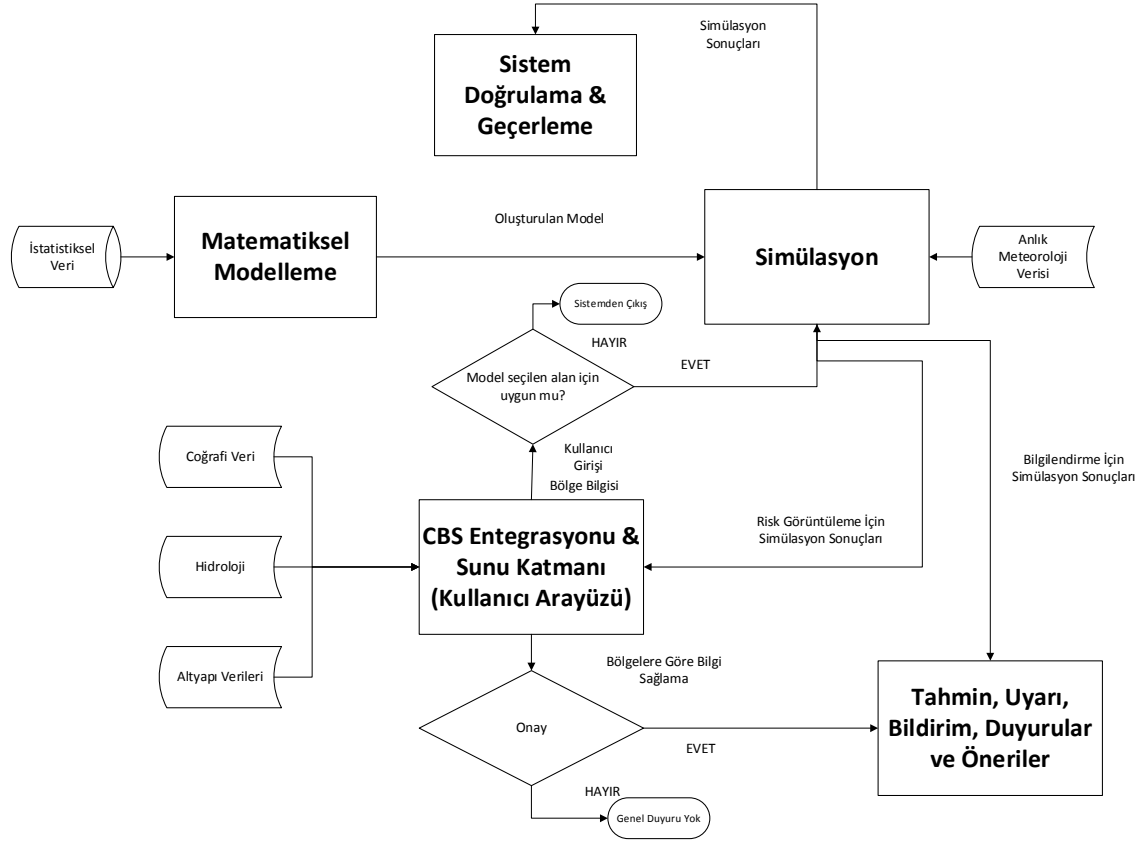
Modelde, mevcut sistemin çalışmasıyla ilgili tahminler yer almaktadır. Var olan verilerden elde edilen sonuçlar ışığında; ileriye yönelik tahminler gerçekleştirilebilecektir. Tahminlerin, sistemdeki parametreler arasındaki matematiksel, mantıksal ve sembolik ilişkiler aracılığıyla belirlenmesi hedeflenmiştir.

Sistemin belirtilen çıktıları üretmesi planlanmaktadır:

- Farklı noktalardaki su seviyesi
- Problem oluşturan kritik noktalar ve çözüm önerileri
- Sensörler için en uygun noktaların tespiti
- Risk haritaları
- Bildirim ve uyarılar

2. ÖNERİLEN ENTEGRE SİMÜLASYON SİSTEMİ

Modelleme faaliyetleri ile sel simülasyon ana uygulamasının elde edilmesi; sonrasında doğrulama ve geçerleme çalışmaları ve mevcut verilerin düzenlenmesiyle hata payı azaltılması planlanmıştır. Öneri paneli ve tahmin özelliği eklenerek iyileştirme modülü ile ilgili çalışmalar yapılması; anlık yağış modülü ve bildirim modülleri ile ana uygulamanın zenginleştirilip bir üst uygulama geliştirilmesi öngörülmektedir. Tüm modüllerin birlikte coğrafi bilgi sistemi içeren bir arayüzde uyumlu çalışması planlanmaktadır (bkz. Şekil 2). Son aşamada ise yazılımın belli özelliklerini (sonuç gösterme, sorgu yapma) gerçekleştiren bir mobil uygulama kullanımı sağlanacaktır.



Şekil 3. Sel Simülasyon Sistemi Modüllerin İşleyişi

2.1. Matematiksel Modelleme Modülü

2.1.1. Veri Analizi

Yagmur suyu borularinin; cap bilgileri, konum bilgileri, baglanti noktalarinin (baca) konumu, egim bilgileri, cinsi (surtunme katsayilari) parametre olarak kullanilacagindan analiz edilecektir. Kanalizasyon giris noktalarinin ve mazgalların; yerleri (konum), sayilari, boyutlari modele dahil edilmek üzere incelenecektir. Ek olarak; desarj noktalarına ilişkin kanal capı, konum gibi bilgiler modelleme öncesinde çözümlenecektir.

2.1.2. Model Oluşturulması

A. Kanalizasyon Modeli

Yağmur suyu akışı; kanalizasyon borularının yarıçap, eğim ve sürtünme katsayısı gibi parametreleri kullanılarak modellenecektir. Bu modelin oluşturulmasında aşağıdaki hususlar dahil edilecektir:

- a) Boşaltma havzaları yağmur suyunun akışını etkileyen faktörlerden biri olarak düşünülmektedir. Bu havzaların yüzeysel yapıları ve genel topografya özellikleri modele dahil edilecektir.
- b) Saniyede metrekaareye düşen yağmur miktarı oluşan yüzeysel su akımlarını etkilemektedir. Bu miktar zaman bazında değişen bir parametre olarak sisteme verilecektir.
- c) Su baskınlarına neden olan yağışlar yılın farklı zamanlarında görünmektedir. Hava sıcaklığına bağlı olarak buharlaşma oranı değişiklik gösterebilmektedir. Bu etkenler modelde göz önünde bulundurulacaktır.
- d) Kanalizasyon girişlerinin farklı nedenlerden dolayı tıkanmaları, su birikmelerine neden olabilir. Kanalizasyon girişlerinin tıkanıkları bölge bazında modele eklenecektir.

Tüm yukarıda listelenen etkenler kanalizasyondan akan anlık su miktarını belirtmektedir. Oluşturulacak olan model aracılığıyla; girilen yağış miktarı ve diğer parametrelere göre kanalların her noktasında su akımının miktarı ve doluluk oranını tahmin edilebilecektir. Bu tahminler; su baskınlarını önlemek için gerekli iyileştirmelerin, hangi noktalarda ve hangi seviyede yapılması gerektiği konusunda bilgi sağlayacaktır.

Ayrıca ani yağışlarda su birikmelerinin hangi bölge/noktalarda gerçekleşeceği tahmin edilerek; erken uyarı sistemlerinin yerleştirilmesi için kritik noktalar tespit edilecektir. Sistemin bu konuda da kullanıcılara fayda sağlaması öngörülmektedir. Sensörler kullanılarak su taşkınlarının bildirilmesi ve böylece erken müdahale yapılmasının sağlanması planlanmaktadır.

B. Yüzeysel Su Modeli

Yüzeysel su modeli oluşturulurken; yüzeysel suların akımını modele dahil etmek için iki boyutlu model kullanılacaktır. Bu modele göre suyun dikey yönde akışı (kanalizasyona giren su miktarı); su derinliği (h), su seviyesinin yüksekliği (H: su derinliği (h) + yer yüksekliği (L)), suyun yatay (u) ve dikey (v) yönlerde akış hızı parametrelerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Yer çekimi ivmesi (g) ve Gauckley – Manning katsayısı (n) modelde yer alan diğer parametrelerdir. “n” yüzey pürüzleri ve su akımının kıvrılması gibi faktörlerden etkilenen bir değişken olup, oluşturulacak olan modelde yüzeyler pürüzsüz (asfalt sokaklar) olarak varsayılabilecektir.

$$q = \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} \quad (1)$$

$$\partial(uh) = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2}{h^{\frac{4}{3}}}(uh)\sqrt{u^2 + v^2}$$

(2)

$$\partial(vh) = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2}{h^{\frac{4}{3}}}(vh)\sqrt{u^2 + v^2}$$

(3)

Yağmur Suyu Toplama Sistemi Elemanları

Yağmurun emilmeyerek toprak üstünde kalan kısmı (Runoff)



Giriş noktaları, mazgallar (Inlet)



Yağmur suyu boruları (Storm Sewer)



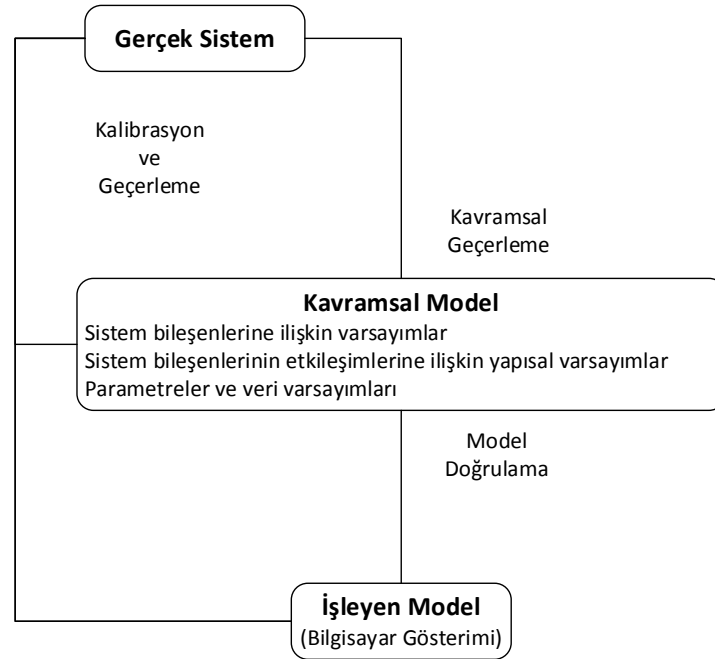
Deşarj, çıkış noktaları (Outlet)



Su kaynağı (Water Body)

2.2. Doğrulama ve Geçerleme Modülü

Model doğrulanması ve kod doğrulanması (gözden geçirme ve sistem testleri) gerçek sistemin gözlemlenmesi ve sonuçların karşılaştırılması aracılığıyla yapılacaktır. Ana uygulamaya eklenen tüm modüller için sistem ve entegrasyon testleri yapılarak tüm modüllerin birlikte uyumlu çalışması sağlanacaktır.



Şekil 4. Doğrulama ve Geçerleme

2.3. Simülasyon Modülü

Anlık hava durumu ve yağış miktarı tahminlerinin sistem tarafından alınabilmesi sağlanacaktır. Kullanıcı, simülasyon çalıştırılırken; kendisi manuel olarak meteorolojik veri girebildiği gibi (yağış miktarı, yağış süresi), isteğe göre web servisten alınan güncel bilgiyi de kullanabilecektir. Elde edilen simülasyon sonuçları doğrultusunda, risk haritaları oluşturulabilecek, yetkililere ve genele açık olmak üzere çeşitli bildirimler sağlanacaktır. Ek olarak; sistem iyileştirme önerileri simülasyon sonuçları ışığında oluşturulacaktır.

2.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Entegrasyonu ve Sunu Katmanı

Taşkın riski bulunan veya sorun yaşanan bölgenin haritada kırmızı ile işaretlenmesi ve gerektiğinde detaylı raporlara ulaşmak için bölgeye ilişkin verileri dışa aktarma özelliği uygulamaya eklenecektir.

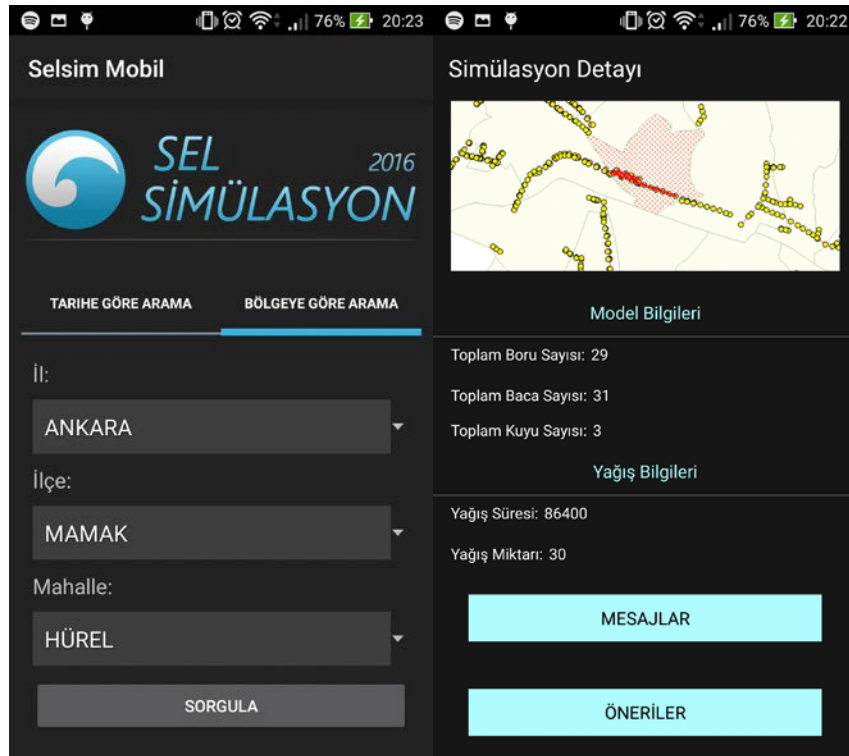
2.5. Erken Uyarı Sistemi (Bildirim ve Duyuru Modülü)

Sistem üzerinden veri tabanına kullanıcı kayıt etme olanağı sağlanarak, kullanıcıların iletişim bilgileri ile birlikte listelenebilmesi mümkün olacaktır. Bildirim modülü için gerekli yazılım geliştirme faaliyetleri gerçekleştirilerek; oluşturulan kullanıcılara, taşkın kritiklik düzeyine ve simülasyon sonuçlarına göre bildirim gönderilebilecektir. Kullanıcılar, olası tüm bildirimler için aktif/pasif seçeneklerini kendileri belirleyebilecektir.

3. MOBİL UYGULAMA

Mobil uygulama ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilerek; Android platform üzerinde, simülasyon sonuçlarının görüntülenebildiği bir yapı geliştirilecektir.

Sahada görev yapan ilgili birim/ekipler için müdahale öncesi bilgi alma amaçlı bir platform oluşturulması hedeflenmiştir. Gerekli simülasyonların sunucu üzerinde ana uygulamada çalıştırıldıktan sonra; mobil uygulama tarafından tarih ve bölge kriterleri kullanılarak sorgulanabilmesi sağlanacaktır. Seçilen bölgeye ait veya istenilen zaman aralığı içinde çalıştırılmış simülasyonlar listelenebilecek ve listeden istenilen simülasyon sonuç sayfasına gidilerek elde edilen bulgulara erişilebilmesi mümkün olacaktır. Böylece, uygulamanın getirdiği avantajlardan herhangi bir yerde rahatlıkla mobil erişim ile faydalanılmasına imkan tanınacaktır.



Şekil 5. Pilot Mobil Uygulama

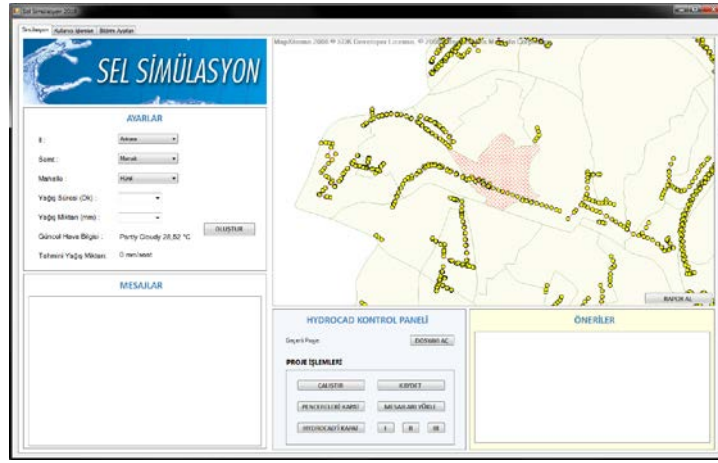
4. SONUÇ

Simülasyon sisteminin sunduğu önemli avantajlardan faydalanılabilecektir. Tasarım, yapılandırma ve test aşamaları maliyetli süreçlerdir. Simülasyon sistemi aracılığıyla bu aşamaların tekrarı sanal olarak yapılabilecek, elde edilen en uygun sonuç kullanılabilecektir. Ayrıca; simülasyon gerçekleştirilerek, şu an sahip olunan teknoloji düzeyinde deneysel olarak ölçülemeyen durumlar ile ilgili tahmini sonuçlar alınabilmektedir. Diğer bir avantaj ise, simülasyon sistemlerinin istenildiği kadar fazla zaman dilimi için çalıştırılması mümkündür. Uyarı sistemleri aracılığıyla oluşturulacak

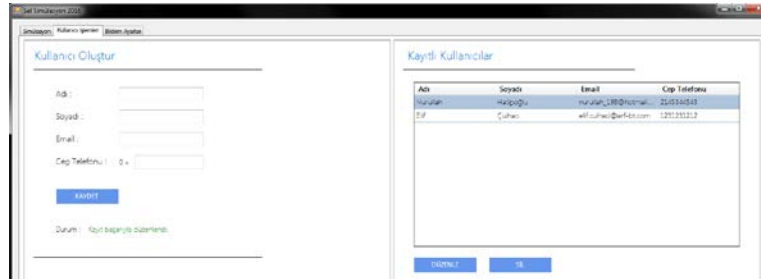
bildirim modülü, anlık yağış entegrasyonu ve geliştirilecek mobil uygulama da projenin getirdiği yenilikler arasında yer almaktadır.

Sade bir arayüz; anlaşılır, işlevsel modüller hedeflenmiştir. Böylece detaylı teknik ön bilgi gerektirmeyen, karmaşık olmayan bir eğitim ile uygulamanın herkes tarafından kolay öğrenilebilir yapıda olması son kullanıcıya kolay bir kullanım sağlayacaktır. Pilot olarak geliştirilen web uygulamanın ana ekranı, kullanıcı ekranı ve bildirim ekranı aşağıda gösterilmiştir (bkz. Şekil 6,7,8)

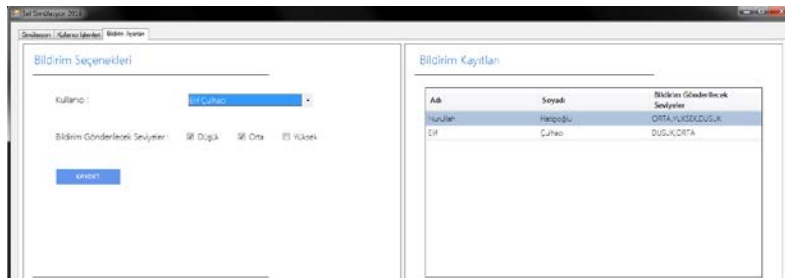
Rakiplerinden farklı bir şekilde analiz, tahmin, iyileştirme önerisi, bildirim ve raporlama işlevlerini sunan entegre bir çözüm elde edilecek ve mobil platformda da yapılan sorgular için simülasyon sonuçları görüntülenebilecektir.



Şekil 6. Pilot Web Uygulama



Şekil 7. Kullanıcı Ekranı



Şekil 8. Bildirim Ekranı

5. TEŞEKKÜR

Sel Simülasyon Sistemi ile ilgili araştırma geliştirme çalışmaları sırasında; akademik danışmanlık gerçekleştiren Çankaya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Bölüm Başkan Yardımcısı Yrd. Doç. Dr. Reza Zare Hassanpour'a, gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetlerini izleyici hakem olarak takip eden ve önerileri ile katkı sunan Çankaya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü akademik personeli Yrd. Doç. Dr. Emre Sermutlu'ya, Ar-Ge ve İnovasyon Programı kapsamında destek veren KOSGEB'e, modelleme ve simülasyon faaliyetleri sırasında ilgili parametrelerin belirlenmesinde, veri analizinde ve pilot çalışmaların yapılmasında yardımcı olan ASKİ Genel Müdürlüğü Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı ve Mamak Bölge Müdürlüğü'ne, pilot çalışmaların yapıldığı bölge için ilgili meteorolojik bilgileri (Standart Zamanlarda Gözlenen En Büyük Yağış Değerleri ve Yağış Şiddet-Süre-Tekerrür Eğrisi) sağlayan T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, sağladığı değerli katkılar için teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

- [1] Kadioğlu, M. (2008), Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi, Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri, *JICA Türkiye Ofisi Yayınları*, 2, 251-276
- [2] Kim, Y. (2013), Urban Flood Monitoring, Forecasting and Warning, Guidelines on Urban Flood Risk Management, 3, 33-45

MİKROSERVİS MİMARİSİNİN AVANTAJLARI: BİR HARP OYUNU SİMÜLASYONU PROJESİNDEN DENEYİMLER

Hürkan Orkun Zorba^(a), Abdülkadir Can ^(a), Serkan Özkaymak ^(a), Caner Kavakoğlu ^(a)

^(a) CEY Savunma ve Simülasyon Sistemleri A.Ş., Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi, Cyberpark Tepe Binası, No: 5 Kat: 3 Bilkent, Çankaya-Ankara
{ozorba, acan, sozkaymak, ckavakoglu}@ceysavunma.com

ÖZ

En basit tanımıyla mikroservis; kendi başına çalışabilen, tek bir işi yapmak üzere sorumluluk atanmış ve diğer mikroservislerle tanımlı bir arayüz üzerinden etkileşime geçen yazılım birimidir. Mikroservis mimarisi ise mikroservislerin kullanımı ile yazılım birimlerinin modüller halinde tasarlanabilmesini sağlayan mimari yaklaşımdır. Mikroservis mimari yaklaşımı son dönemlerde popülerlik kazanmış bir yaklaşımdır. Bu bildiride müşterek bir harp oyunu simülasyon altyapısının tasarımında mikroservis mimari yaklaşımının kullanılması ve bunun sonuçları ile ilgili bilgiler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık simülasyon, harp oyunu simülasyonu, mikroservis, mikroservis mimarisi, modülerlik.

THE ADVANTAGES OF MICROSERVICE ARCHITECTURE: EXPERIENCES IN A WARGAME SIMULATION PROJECT

ABSTRACT

As a basic definition, microservice is the unit of software that can work autonomously, having a single responsibility assigned and interacts with other microservices through a well-defined interface. Moreover, microservice architecture is an architectural approach that supports modular design of software units via the use of microservices. Microservice architecture is becoming a popular approach in recent years. In this paper, usage and outcomes of microservice architecture in the design of a joint wargame simulation infrastructure are presented.

Keywords: Distributed simulation, microservice, microservice architecture, modularity, wargame simulation.

1. GİRİŞ

Mikroservis mimarisi yazılım birimlerinin modüler bir şekilde tasarlanmasını amaçlayan mimari yaklaşımdır. Mikroservis mimarisi görece yeni bir yaklaşım olduğu için literatürde farklı tanımlamalar bulmak mümkündür. Genel olarak mikroservisler birbirleri ile bağımlılığı olmayan, farklı teknolojiler kullanılarak geliştirilebilen, bağımsız birer işlem olarak çalışabilen, birbirleri ile mesaj gönderimini ağ üzerinden gerçekleştiren ve tek sorumluluğa sahip birimlerdir [1]. Bu bildiride CEY Savunma ve Simülasyon Sistemleri şirketine Ar-Ge projesi olarak geliştirilmekte olan Müşterek Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı Projesi'nde kullanılan mikroservis mimarisi anlatılmaktadır.

Harp oyunu simülasyonları, harbe hazırlık, stratejik plan geliştirme, yeni envanterin mevcut sistemlerde kullanımı, tatbikat ya da harp öncesi envanter ve lojistik çalışmaların yapılması, analiz ve raporlamalar ile taktik ve stratejilerin iyileştirilmesi ve daha çok çeşitli harp hususları için kullanılan önemli araçlardan birisidir. Harp oyunu simülasyonları stratejik konseptin belirlenmesi, senaryo planlama, harp oyunu icrası ile analiz ve değerlendirme aşamalarını içerir. Canlı, sanal veya yapısal türlerde harp oyunu simülasyonları mevcuttur. Kullanım amacı dikkate alındığında harp oyunu simülasyonları taktik, stratejik veya operasyonel olarak sınıflandırılabilir [2]. Bu simülasyonlar kara, hava veya deniz kuvvetlerinin ihtiyaçları dikkate alarak ayrı ayrı geliştirilebileceği gibi [3], bu kuvvetlerin birlikte ele alındığı müşterek bir ortamda da geliştirilebilir. Müşterek simülasyonlar birlikte çalışabilirlik kavramı içinde farklı kuvvetler için geliştirilen simülasyonların entegre bir biçimde birlikte çalışması [4], veya doğrudan tek bir simülasyon içinde ele alınması şeklinde gerçekleştirilebilir.

Müşterek Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı Projesi kapsamında stratejik, operasyonel ve taktik amaçlı kullanıma olanak sağlayan, yeni nesil bir müşterek harp oyunu simülasyon altyapısı geliştirilmektedir. Bu altyapının en önemli bileşenlerinden birisi simülasyon modellerinin çalıştırıldığı, senaryonun oluşturulduğu ve simülasyon servislerinin yönetildiği koşum altyapı yazılımıdır. Farklı kuvvetlerin farklı seviyelerdeki ihtiyaçlarını karşılamak üzere, sistemde değişken çözünürlük ve sadakat seviyelerinde modeller geliştirilmektedir. Simülasyonun takip edildiği ve oyunun oynandığı istemci uygulaması klasik desktop makinelerde çalıştığı gibi, dokunmatik ve tablet gibi teknolojik ürünlerde de çalışabilir şekilde geliştirilmektedir. Taktik resim 2-boyutlu sayısal haritalar üzerinden takip edilebilmekte, aynı zamanda kullanıcının ihtiyaç duyması durumunda bazı faaliyetler sanal gerçeklik gözlüklerinin kullanıldığı 3-boyutlu ortam üzerinden de izlenebilmektedir. Sisteme coğrafi, meteorolojik ve diğer ortam şartları verileri ölçeklenebilir bir temsili ortam sunucusu tarafından sağlanmaktadır.

2. MİKROSERVİS ÖZELLİKLERİ

Mikroservis, monolitik yazılım geliştirme sürecinde karşılaşılan problemlere çözüm olmak amacıyla ortaya çıkmıştır. Mikroservis mimarisi gibi Servis Odaklı Mimari de modülerleştirme üzerine odaklanmıştır. Bu bölümde mikroservis özelliklerinin, monolitik ve Servis Odaklı Mimari tabanlı sistemlerle özet bir karşılaştırması verilmektedir.

Monolitik tasarımlarda karşılaşılan sorunlardan biri monolitik birimlerin büyüklüğü ve tek parça yapısı nedeniyle “sürekli entegrasyon” (continuous integration) çevriminin uygulanmasının zorlaşmasıdır. Mikroservis mimarisinin yazılım sistemini birbirinden bağımsız küçük birimlere (mikroservis) ayırarak modülerliği sağlaması, sürekli entegrasyon aktivitelerinin yazılımın bütünü yerine bu küçük birimler için yapılabilmesinin önünü açmıştır [5].

Bağımsız mikroservis birimlerinin sağladığı esneklik nedeniyle geliştiricilerin yazılım geliştirme safhasında daha rahat hareket etmesi mümkün kılınmıştır. Monolitik mimariye sahip yazılım sistemlerinde ise geliştirici bir birimi değiştirdiğinde bu değişikliğin diğer birimler üzerinde yarattığı sorunlar geliştiricinin yazılım üzerinde daha az değişiklik yapmasını ve test için ayrılan işgücü ve zamanları artırımına olanak sağlamıştır.

Bağımsız mikroservis birimlerinin getirdiği diğer bir avantaj ise yazılım yeteneklerinin istenildiğinde kolayca değiştirilmesine imkân sağlanmasıdır. Müşterek harp oyunu örneğinde ortam şartları servisinin sistemden çıkarılması için sadece ortam şartları ile ilgili mikroservislerin yazılım paketinden çıkarılması yeterlidir. Herhangi bir derleme ve konfigürasyona gerek duyulmamaktadır. Monolitik sistemlerde bu esnekliği sağlamak daha zordur. Monolitik sistemlerin ölçeklenebilirliği mikroservis tabanlı sistemlere göre daha düşüktür. Bir mikroservis istenildiği kadar çoklanabilir ve farklı donanım kaynaklarına dağıtılabilir.

Mikroservislerin bağımsız birimler olması ve ağ üzerinden haberleşmesi nedeniyle farklı teknolojiler kullanarak geliştirilmesi mümkündür. Örneğin performans problemlerine sahip olan bir mikroservisin farklı bir teknoloji ya da programlama dili ile eşdeğerinin yazılması mümkündür [5].

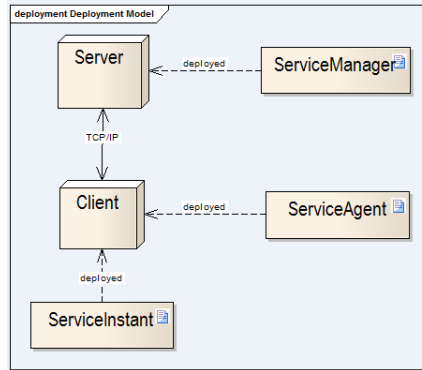
Monolitik yazılım birimlerinde oluşan herhangi bir problem yazılım biriminin sonlanması ile sonuçlanmaktadır. Mikroservis mimarisinde ise bir mikroservisin sonlanması, sistemin daha kısıtlı işlevsellik ile de olsa çalışmasını sürdürmesini sağlamaktadır. Bağımsız birimlerin eşdeğerleri ile değiştirilebilir olması ve bu işlemin sistemin diğer birimlerini etkilememesi avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yazılım yeteneklerinin genişletilmesi daha az iş gücü ile sağlanması mümkün olmuştur.

Müşterek Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı Projesi kapsamında, monolitik sistemlerde varolan problemlere çözüm olmak adına Mikroservis mimarisi Servis Odaklı Mimari’ye

tercih edilmiştir. Mikroservis mimarisi Servis Odaklı Mimari ile birçok ortak özelliğe sahiptir. Ancak bazı konularda iki mimari birbirinden ayrılmaktadır. Örneğin; Servis Odaklı Mimariye servisler arasındaki iletişimi yöneten bir arakatlama ihtiyacı varken, mikroservis mimarisinde servisler iletişimi sağlayacak olay mesajlarının tanımlanması ve gönderilmesinden sorumludur. Benzer şekilde, Mikroservis mimarisinde servisler sınırlı bağlama (bounded context) sahip iken, Servis Odaklı Mimariye işlevselliğin yeniden kullanımı esastır.

3. MİKROSERVİS MİMARİ BİLEŞENLERİ

Literatürde mikroservis mimarisini destekleyen Java tabanlı bazı açık kaynaklı altyapılar mevcuttur. Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısının C++ dilinde geliştirildiği düşünüldüğünde kullanılabilecek altyapı alternatifleri azalmaktadır. Bu nedenle projede mikroservis mimarisini destekleyecek basit bir altyapı geliştirilmiştir. Bu altyapı “servis yöneticisi” (service manager), “servis temsilcisi” (service agent), “servis örneği” (service instance) ve “monitör kontrol arayüzü”nden oluşmaktadır. Bu birimler birbirleri ile TCP/IP soketleri üzerinden haberleşirler. Birimler Şekil 1’deki yerleşim diyagramında görülebileceği gibi, istemci ve sunuculara dağıtılırlar.



Şekil 1. Mikroservis yerleşimi

Diyagramdan da görülebileceği üzere sunucu bilgisayarında servis çalışmaktadır. Her bir istemcide bir servis temsilcisi çalışmaktadır. Servis örneği, servis temsilcisi tarafından ilklendirilmektedir.

Servis yöneticisi; her bir simülasyon oturumu için çalıştırılan sunucu bileşenidir. Servis temsilcileri ve monitör kontrol arayüzü, servis yöneticisine bağlanırlar. Servis yöneticisi servis temsilcilerinden gelen olay mesajlarını ilgili servis temsilcilerine yönlendirir ve servis temsilcilerinin çalışıp çalışmadığını takip eder.

Servis temsilcisi; mikroservis altyapısının kullanılacağı bilgisayarların her birinde çalıştırılması gereken birimdir. Servis temsilcisi tekil bir ada sahip olmalıdır. Her bir makinede tek bir servis temsilcisi çalıştırılabilir. Servis temsilcisinin servis örneklerinden aldığı olay mesajlarını servis yöneticisine ve servis örneklerine

göndermek, servis örneklerinin canlılık durumunu periyodik olarak bildirmek, servis örneklerini ayaklandırmak/duraklatmak/sonlandırmak, servis yöneticisinden gelen eşleme isteklerini işlemek ve servis örnekleri için paketlemek, paket dağıtımın gerçekleştirmek ve çalışan servis örneklerinin listesini servis yöneticisine göndermek gibi işlevleri vardır.

Servis örneği; servisleri yükleyip ilklendiren ve yaşam döngüsünü takip eden birimdir. Servis örneği servis temsilcisinden aldığı olay mesajlarını servislere ve servis temsilcisine aktarmak, servisleri ilklendirmek/çalıştırmak/duraklatmak/sonlandırmak, olay mesajı abonelik işlemlerini yerine getirmek, olay mesajlarının monitör kontrol arayüzünden takip edilebilmesi için gerekli “prob” ekleme/silme işlemlerini yürütmek ve monitör kontrol arayüzünden talep edilmesi durumunda servis ile ilgili bilgiyi servis temsilcisine iletmek gibi işlevleri yerine getirir.

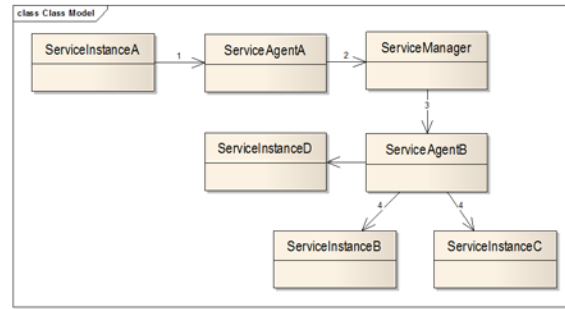
Mikroservisler, iki alt birimden oluşan dinamik kütüphanelerdir. Bu alt birimler “mesaj işleyici” ve “bileşen” birimleridir. Mesaj işleyici diğer servislerden gelen olay mesajlarını işleyen ve sonrasında bileşen çağrılarını tetikleyen birimdir. Olay mesajları için abonelik işlemlerini yürütür. Bileşen ise dinamik kütüphane olarak geliştirilen iş alanına ait işlevselliği içeren birimdir. Servis; servis örneğinden gelen olay mesajlarını işlemek ve mesaj işleyici vasıtasıyla gerekli bileşen çağrılarını yapmak, mesaj işleyici vasıtasıyla olay mesajlarını üretmek ve servis örneğine göndermek, olay mesajları için abonelik tanımları yapmak, periyodik yapılması gereken işlemleri yürütmek, bileşen ilklendirmesi ve sonlandırmasını yürütmek, monitör kontrol arayüzünden talep edilmesi durumunda servis ile ilgili bilgiyi servis örneğine iletmek, bileşen vasıtasıyla iş alanına ait işlevselliğin işletilmesini sağlamak gibi görevleri yerine getirir.

Monitör ve kontrol arayüzü, adından da anlaşılacağı üzere simülasyon altyapısını monitör ve kontrol etmek için kullanılan arayüzdür. Bu arayüz; istenilen servis temsilcisi ile iletişime geçerek yeni servis yüklemek, oluşturulan servisleri sonlandırmak, servis aktivitesini izleyebilmek için prob oluşturup silmek, servisin çalışmasını durdurmak, servise enjekte olay mesajı göndermek, prob vasıtasıyla alınan mesajların içeriğini göstermek gibi işlevlere sahiptir.

4. MİKROSERVİS ETKİLEŞİMİ

Mikroservisler birbirleri ile jenerik mesajlar yardımıyla haberleşirler. Mikroservis ilgi duyduğu bir olay mesajına koşum zamanında abone olabilir. Eğer bu mesaj diğer mikroservis tarafından yayınlanırsa abone olan tüm mikroservisler tarafından alınır. Tanımlanan mesajlar POCO (Plain Old C Object) yapısındadır. Bu mesaj yapıları altyapı tarafından kodlama ve ayrıştırma için gerekli yapılar eklenerek jenerik bir şekilde işlenecek hale getirilir. Monitör ve kontrol arayüzü bu jenerik yapıyı kullanarak yeni tanımlanan mesajları da değişiklik gerektirmeden gösterebilmekte ve sisteme enjekte edebilmektedir.

Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısındaki mesaj iletişimi Şekil 2’de verilmektedir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, birinci servis örneğinden (Service Instance A) gönderilen mesaj birinci servis temsilcisi (Service Agent A) tarafından alınarak servis yöneticisine (Service Manager) gönderilir. Servis yöneticisi ise kendisine bağlı tüm servis temsilcilerine mesajı iletir. Bu durumda şekilden de görüleceği üzere; mesaj ikinci servis temsilcisi (Service Agent B) tarafından alınır. Bu servis temsilcisi ise mesajı kendisine bağlı tüm servis örneklerine (Service Instance B, C ve D) iletir. Örnekte ikinci servis örneği (Service Instance B) ve üçüncü servis örneği (Service Instance C) tarafından mesaj alınır. Dördüncü servis örneği (Service Instance D) ise mesaja abone olmadığı için mesajı alamaz.



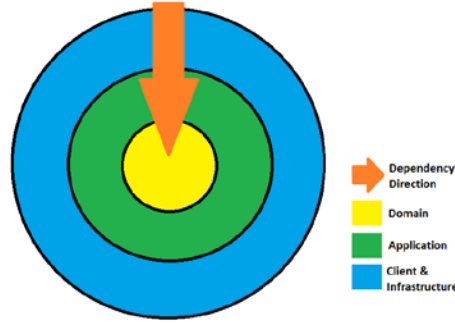
Şekil 2. Mikroservis iletişimi

Yukarıdaki anlatımdan da anlaşılabileceği üzere, mesaj aktarımı servis yöneticisi ve servis temsilcileri vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Tasarımın basit olması açısından böyle bir yöntem izlenmiştir. Bu yöntemin performans problemleri yarattığı durumda, abonelik bilgileri servis temsilcileri ile paylaşılacak, ilgili mesaj sadece abone olan servis temsilcilerine iletilecek ve böylece altyapı servis temsilcilerinin birbirleri ile haberleşeceği şekilde güncellenmiş olacaktır.

5. MİKROSERVİS BİLEŞEN TASARIMI

Mikroservisin iç tasarımı en az mikroservislerin iletişim mekanizmasının kurgulanması kadar önemlidir. Mikroservis tasarımında meydana gelebilecek bağımlılık sorunlarının önlenmesi için teknik karmaşıklığın iş alanındaki karmaşıklıktan ayrılması gerekmektedir. Bu durum “ilgilerin ayrılması prensibi” benimsenerek sağlanabilir. Bu prensibe göre veritabanı, kullanıcı arayüzü, iletişim altyapısı gibi teknoloji içeren ilgiler, iş alanı ilgilerinden soyutlanmalıdır. Böylece, örneğin kullanıcı arayüzünde yapılacak herhangi bir değişikliğin iş alanı kavramları içeren birimlerde karmaşıklığa yol açması önlenabilmektedir. Buna ek olarak uygulama mimarisinin karmaşık iş alanı kurallarını “kullanım durumları” (use case) kullanarak soyutlaması ve iş alanı kavramlarını oluşturan birimlere doğrudan erişimi engellemesi gerekmektedir.

İlgilerin ayrılması prensibini desteklemek için müşterek harp oyunu simülasyon altyapısında mikroservis bileşenleri için katmanlı bir yapı kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Katmanlar arası bağımlılık

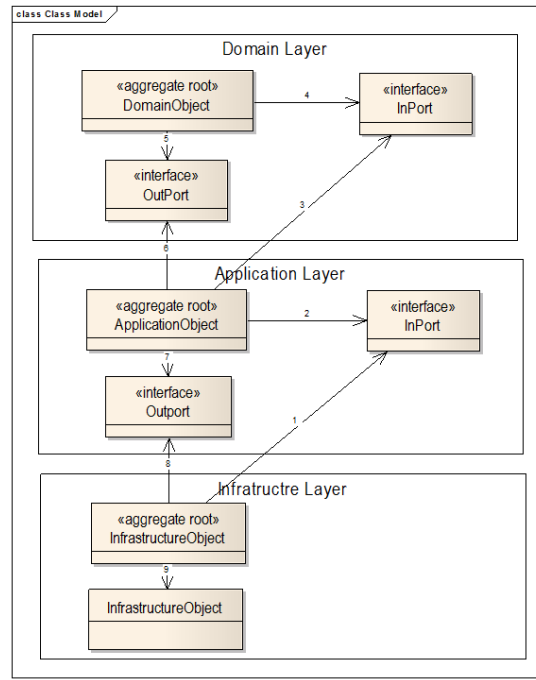
İş alanı katmanı iş alanına ait kullanım örneklerinin ihtiyaç duyduğu problem alanını modelleyen birimlerin bulunduğu katmandır. Bu katman teknolojiye bağımsızdır. İş alanı katmanı ile diğer katmanlar arasında bağımlılık bulunmamaktadır. İş alanı katmanı uygulama katmanından aldığı istekleri işler ve geri dönüşleri standart arayüzler üzerinden bağımlılık oluşturmayacak şekilde gönderir. İş alanı katmanının oluşturduğu bileşenlerin tasarımında “alan odaklı tasarım” (domain driven design, DDD) pratiklerinden yararlanılmıştır. Bu bileşenlerin sahip olduğu alan bilgisinin dış katmanlara aktarılmamasına özen gösterilmiştir.

Uygulama katmanı iş alanının düşük düzeyli detaylarını soyutlar. Uygulama katmanında kullanım durumları bulunur. Uygulama servisleri ilgili kullanım durumunun gerçekleştirimi için gerekli koordinasyonu iş alanı ve teknik servis katmanlarına delege eder. Bu katmanda bulunan servisler iş alanı katmanında bulunan servislere göre daha üst düzey soyutlamaya sahiptirler. Uygulama katmanı, iş alanı katmanı için bir “uygulama programlama arayüzü” (application programming interface, API) gibi görülebilir.

Teknik servis katmanı teknik detaylara sahip birimleri içeren katmandır. Örneğin loglama, geri bildirim, soket işlemleri, dosya işlemleri, kullanıcı arayüzleri, veritabanı işlemleri gibi teknik detaylar burada yürütülür.

Katmanlı mimari yapısı Şekil 4’de verilmiştir. Katmanlar arası bilgi paylaşımı olay mesajları kullanılarak sağlanmaktadır. Burada önemli olan iş alanı katmanını oluşturan birimlerin sahip olduğu iş alanı bilgisinin dış katmanlara çıkmasının engellenmesidir. Aynı şekilde dış katmanlar tarafından oluşturulmuş verinin iç katmanlara işlenmeden iletilmesinin önüne geçilmelidir. Şekil 4’de katmanlar arası bağımlılık ve mesaj iletimi de görülebilir. Her katmanda “birleşik kök” (aggregate root) tipinde bir sınıf bulunmaktadır. Bu sınıf katmana gelen mesaj ve istekler için giriş kapısıdır. Birleşik

kök sınıfı diğer katman sınıflarını yaratmaktan ve mesajların iletiminden sorumludur. İş alanı ve uygulama katmanındaki birleşik kök sınıfları giriş ve çıkış portlarına sahiptir. Giriş portu sınıfın alt katmandan kullanılmasını sağlar. Çıkış portu ise katman tarafından üretilen bildirim mesajlarını alt katmana taşır. Şekilde 1'den 4'e kadar numaralandırılan mesaj iletişimi aşağıdan yukarı doğru; 5'den 9'a kadar numaralandırılan mesaj iletişimi ise yukarıdan aşağıya doğrudur. Bu durumda bağımlılıklar aşağıdan yukarıya doğrudur.



Şekil 4. Katman İletişimi

Mikroservislerin birbirleri ile olan ilişkileri tanımlandıktan sonra mikroservisler belirlenerek sorumluluk ataması yapılabilir. Bunun için yapılması gereken ilk aktivite iş modeli ve iş alanının anlaşılmasıdır. İş modeli iş alanına ait birçok kavramı içerir. Örneğin “müşterek harp oyunu simülasyonu” kavramları kullanılacak iş modelinin sahip olduğu kavramlardır. Bunun yanında müşterek harp oyunu simülasyonu iş alanına ait olmayan “log oluşturma” gibi destekleyici modeller de bulunmaktadır. Bu durumda ilk gerçekleştirilecek aktivite iş alanının alt iş alanlarına ayrılmasıdır. Bu ayrım “ana iş alanı” (core), “destekleyici iş alanı” (supporting) ve “genel iş alanı” (generic) olarak ayrılabilir. Ana iş alanı müşterek harp oyunu simülasyonu kavramlarını barındırır. Başka bir deyişle son kullanıcının problemlerine çözüm olacak iş adımlarını içerir. Bu iş alanı teknoloji içermez. Bu iş alanına ait birimler iş alanı katmanında bulunur. Genel iş alanı ana iş alanının parçası olmayan fakat ana iş alanının gereksinim duyduğu iş kavramları ve iş adımlarını içerir. Örneğin “harp oyunu faaliyet etkinlik raporlarının oluşturulması” buna örnek olarak verilebilir. Genel iş alanında tanımlanan birimler uygulama katmanında bulunur. Destekleyici iş alanı ise “log oluşturma”, “mesaj

gönderme”, “veritabanı iletişimi” gibi teknoloji tabanlı iş adımlarını içerir. Bu alana ait birimler teknik servis katmanında bulunur. Bu şekilde iş alanlarının ayrılması sonucunda karmaşıklığı yönetmenin daha kolay olacağı değerlendirilmektedir.

Ana, destekleyici ve genel iş alanlarını içerecek kavramları belirlemek için ilk iş olarak, iş alanı işlem adımlarını içeren senaryolar oluşturuldu. Bu senaryoların içerdiği kavramlar kullanılarak kavramsal model oluşturuldu. Kavramsal model senaryolarda bulunan kavramlara sahip olduğu gibi türetilmiş kavramları da içermektedir. Bu kavramlar iterasyonlar boyunca nesne yönelimli analiz ve tasarım teknikleri kullanılarak türetildi. Birbirleri ile ilgili kavramları oluşturan bileşenler paketler içine konuldu ve bu paketler içerisindeki birimlerle birlikte katmanlara atandı. Katmanlara atanan mikroservislerin birbirleri ile olan etkileşimi senaryo kapsamında tanımlanarak olay mesajları üretildi. Olay mesajlarına abone olacak ve olay mesajını yaratacak servisler belirlendi. Olay mesajları tanımlandı. Olay mesajlarının işlenmesi için gerekli işlevsellik bileşenlere eklendi.

6. ZORLUKLAR, ÇÖZÜMLER VE KAZANIMLAR

Mikroservisle bağımlılıkların azalması, büyük resmin görülmesini zorlaştırmaktadır. Burada karşılaşılan en temel sorun mikroservislerin birbirleri ile ilişkilerinin kolaylıkla görülebilmesidir. Monolitik mimaride bir birimden diğer bir birimi kullanabilmek için bu birimin başlık dosyasının eklenmesi gerekmektedir. Her ne kadar bu birimler arasında bağımlılık yaratılması tekrar kullanılabilirliği azaltsa da böyle bir bağımlılığı kaynak koddan takip edip birimler arası ilişkiyi anlamak kolaylaşmaktadır. Mikroservis mimarisinde ise servisler arası bağımlılıkların olmaması nedeniyle bir servisin yayımladığı olay mesajının hangi servisler tarafından alındığını görmek ilk bakışta zordur. Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısında bu ilişkileri görselleştirmek için monitör ve kontrol arayüzü geliştirilmiştir. Bu arayüz ile servisler arasındaki ilişkiler görünür hale getirilip akış takibinin kolaylıkla yapılması sağlanmıştır.

Mikroservis iş alanına ait tekil bir işlevselliği gerçekleştirmek için kullanılır. Bu fonksiyoneliyeti diğer mikroservisler ile iletişimde bulunarak gerçekleştirmektedir. Bu iletişimin iş alanına ait fonksiyoneliye ile birlikte kullanımı servisi karmaşık hale getirmektedir. Mikroservisin başka bir projede kullanımı o projede kullanılacak diğer servislerin farklı iletişim ihtiyaçlarına sahip olması açısından zorlaşmaktadır. Bu durumda yeni projeye özel yeni iletişim mesajlarının tanımlanmasını yani mikroservisin değiştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Mikroservisin olay mesajlarını işleyen kısımları iş alanına sahip kısımlarından ayrılarak gereken işgücü ihtiyaçları azaltılmıştır.

Projede mikroservisleri dağıtık çalıştırmanın getirdiği bazı zorluklar ile karşılaşmıştır. Dağıtık servislerin birbirleri ile ağ üzerinden haberleşme zorunluluğu mesaj iletim ve cevaplama sürelerinin artmasına neden olmuştur. Bu durumda bazı servisler için “vekil” (proxy) kullanılmış ve bazı servisler aynı donanım kaynağında çalışacak şekilde

yeniden konfigüre edilmiştir. Ağ bağlantısında meydana gelen bağlantı kopma durumlarının ayrı bir şekilde ele alınmak zorunda kalınması, fazladan geliştirme eforu harcanmasına neden olmuştur.

Mikroservislerin kolayca yaratılması ve kolayca değiştirilmesi sonucunda sürüm karmaşası oluşabilmektedir. Bu durum her bir mikroservisin ayrı bir sürümü olma zorunluluğu getirmiştir. Farklı mikroservis sürümlerinden oluşan sistem sürümünün de kayıt altına alındığı sürüm yönetimi gerekmiştir. DevOps pratikleri devreye alınarak çıkabilecek sorunların önlenmesi sağlanmıştır.

Projede mikroservis büyüklüğünün belirlenmesi önem kazanmıştır. Mikroservis büyüklüğü belirlenmediği durumda bazı mikroservislere çok fazla sorumluluk yüklenerek mikroservis mimarisinin sağladığı avantajların kaybolabileceği değerlendirilmektedir. Bu durumda mikroservis büyüklüğünün belirlenmesi için bazı kriterlerin ortaya konulması gerekmektedir. Literatürde mikroservis büyüklüğü için farklı görüşler mevcuttur. Bu görüşlerden birisine göre bir mikroservis ortalama 100 ilâ 1.000 kod satırı büyüklüğünde, ya da satır sayısı bir ekranı oluşturan satırlardan fazla olmamalıdır. Diğer bir görüşe göre mikroservis bir haftada eşdeğerinin yazılabileceği kadar büyüklükte olmalıdır.

Diğer taraftan mikroservislerin ayrık işlemler olarak çalışması ve birbirleri ile ağ üzerinden haberleşmek zorunda olması performans sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Bu nedenle mikroservislerin büyüklüğünün satır sayısı ile değil, içerdiği işlev olarak tanımlanmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Bu yöntemde bir mikroservisin büyüklüğünün sınırını belirlemek için alan odaklı tasarım metodolojisiindeki “sınırlı bağlam” (bounded context) kavramı kullanılmıştır. Her bir mikroservis sınırlı bağlam kapsamında tek bir sınırlı iş alanına sahip olacak büyüklükte geliştirilmektedir. Bu geliştirme sırasında gerçekleştirilen iş alanına ait dilin (ubiquitous language) değişmeyeceği vurgulanmaktadır [6].

Mikroservislerin sağladığı modülerlik özellikleri ve mikroservisler arasındaki iletişimin jenerik mesajlar ile asenkron bir şekilde sağlanması mikroservislerin ayrık olarak geliştirmesinin önünü açmıştır. Böylece farklı mikroservisler ekipteki farklı geliştiriciler tarafından geliştirilebilmiştir. Bağımlılıkların azalması nedeniyle mikroservisler tek başına ayrık olarak test edilebilmiştir. Benzer şekilde mikroservislerin entegrasyon testleri daha kolay yapılabilir. Herhangi bir mikroserviste hata tespit edildiğinde o mikroservisin önceki sürümünü monitör ve kontrol arayüzü vasıtasıyla sisteme yüklemek ve hatanın kaynağına inmek kolaylaşmıştır. Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısında, koşum zamanında herhangi bir mikroservisin önceki sürümünün yüklenmesi için gerekli altyapı geliştirmeleri tamamlandığında mevcut sistemin çalışmasını etkilemeden hata analizi yapmak mümkün hale gelecektir.

Mikroservisler arasında etkileşim amaçlı gönderilen mesajların jenerik olması, bu mesajların kolaylıkla izlenmesine, kaydedilmesine ve sisteme tekrar enjekte edilmesine olanak sağlamaktadır. Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısı projesinde monitör ve kontrol arayüzünün mikroservisler arasında oluşan tüm etkileşim verisini kaydederek, sonrasında bu verinin test amacıyla kullanılması yeteneği geliştirilerek testlerin otomatik bir şekilde yapılması sağlanmıştır.

Herhangi bir mikroservis yerine bir önceki sürümü kullanılarak hata ve performans analizleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu amaçla monitör kontrol arayüzünün mikroservis bazında bellek performansı, işlemci performansı, hata oranı, sistem yük dağılımı, etkileşim mesaj yoğunluğu gibi metrikleri görselleştirmesi için gerekli çalışma başlatılmıştır. Bu verilerin değerlendirilmesi ile sistemde oluşacak hataların daha kısa sürede tespit edilip giderileceği ve test için ayrılan işgücünün azalacağı öngörülmektedir.

Asenkron iletişimin TCP/IP soketleri vasıtasıyla gerçekleştirilmesi farklı mikroservislerin farklı programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin müşterek harp oyunu simülasyon altyapı projesinde tüm uygulamalar C++ dilinde yazılmış olmakla birlikte bir istemci uygulamasının kullanıcı arayüz ihtiyacına göre C# dilinde yazılması mümkündür. Benzer şekilde önceden farklı bir dilde geliştirilmiş bileşenin mikroservis mimarisine entegre edilmesi kolaylaşmıştır.

Mikroservisler bir önceki bölümde anlatıldığı üzere, iki birimden oluşmaktadır. İlk birim mikroservisler arasında iletilen uygulama alanına ait etkileşim mesajlarını işleyip yönlendiren “mesaj işleyici” birimidir. İkinci kısım ise dinamik kütüphane olarak geliştirilen ve iş alanı işlevlerini barındıran “bileşen” birimidir. Mikroservisin bu şekilde tasarlanmasının nedeni tekrar kullanım olasılığını artırmaktır. Mikroservis mimarisine sahip başka bir projede bütünlük bu iki birim kullanılarak mikroservisin tamamını yeniden kullanmak mümkündür. Mikroservis mimarisinin kullanılmadığı durumda ise dinamik kütüphane olan bileşen birimi kullanılabilir. Alana ait işlevsellik bu birim içinde olduğu için sadece entegrasyon faaliyeti ile birim yeni sisteme entegre edilebilir.

Monolitik uygulamalarda koşum zamanında çıkan sorunlar sistemin çökmesine neden olabilmektedir. Mikroservis mimarisinde ise bir mikroservis çöktüğünde sistem kısıtlı yetenek ile işleyebilmekte ve çöken mikroservis tekrar ayağa kaldırılabilir. Örneğin monolitik bir uygulamada log alan birimde mevcut olan bir hata sonucu birimin istisna yaratması tüm uygulamanın sonlanmasına neden olabilmektedir. Aynı durumda mikroservis mimarisinde sadece log servisi sonlanmakta ve geri kalan servisler çalışmaya devam edebilmektedir. Log servisinin sonlanması hatanın kaynağını göstermesi açısından da geliştiriciye kolaylık sağlamaktadır. Diğer durumda monolitik uygulamanın neden sonlandığını araştırmak gerekmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada CEY Savunma’da bir Ar-Ge projesi olarak geliştirilmekte olan Müşterek Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı Projesi’nde kullanılan mikroservis mimarisi ile ilgili bilgi verilmiştir. Projede mikroservis mimarisinin kullanılması ile önemli avantajlar sağlanmıştır. Örneğin mikroservislerin birbirinden bağımsız olması, projede farklı ekip elemanları tarafından paralel geliştirmenin önünü açarak, üretkenliği ve ekip iş yapma hızını artırmıştır. Örneğin yeni mezun bir personel 2 hafta süre içerisinde TimeManagement servisini geliştirmiştir. Bu faaliyet diğer geliştirme faaliyetlerine paralel olarak yapılabilmiştir. Benzer şekilde, bağımsız mikroservislerin testlerini yapmak kolaylaşmış ve test için ayrılan işgücü miktarları azalmıştır. Mikroservislerin iki parçalı yapı şeklinde tasarlanması sonucunda yeniden kullanılabilirlik artmıştır. Mikroservis tasarımı sırasında kullanılan alan odaklı tasarım teknikleri ile karmaşıklığın kontrol altına alınması projede tasarlanan yazılım birimlerinin kalitesinin artmasını sağlamıştır. Müşterek harp oyunu simülasyon altyapısını oluşturan mikroservislerin tasarımı sırasında durum yapılarının paylaşılmaması sonucu sistemin kararlılığı artmıştır.

Mikroservis mimarisi ile sağlanan bu kazanımların geliştirilmekte olan Müşterek Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı Projesi’ne olan katkılarının yanı sıra, ileride geliştirilecek benzer projeler için de önemli bir yol gösterici olması beklenmektedir.

8. KAYNAKÇA

- [1] Fowler, M. (2017), Microservices, <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>.
- [2] Dunnigan, J.F. (2000), Wargame Handbook, Third Edition, Writers Club Press, ABD.
- [3] Zorba O., Atun M., Can A. (2013), Deniz Harp Oyunu Sistemi ve Kazanımlar, USMOS 2013 (Ulusal Simülasyon ve Modelleme Konferansı), Ankara.
- [4] Altan, Z., Zorba, O. (2013), Harp Oyunu Simülasyonlarının Entegrasyonu İçin Birlikte Çalışabilirlik Uygulamaları, USMOS 2013 (Ulusal Simülasyon ve Modelleme Konferansı), Ankara.
- [5] Wolff, E. (2016), Microservices: Flexible Software Architecture, Pearson Education Inc., Indiana, ABD.
- [6] Evans, E. (2004), Domain Driven Design: Tackling Complexity in the Heart of Software, Addison-Wesley, Massachusetts, ABD.

DDS-HLA BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK YAKLAŞIMLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

M. Çağrı Kaya^(a), Erkin Çilden^(b), Haluk Canberi^(b), Halit Oğuztüzün^(a)

^(a) ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Dumlupınar Bulvarı, 06800 Çankaya – Ankara, {mckaya,oguztuzn}@ceng.metu.edu.tr

^(b) STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş. Mustafa Kemal Mahallesi 2151. Cadde No: 3/A 06530, Çankaya – Ankara, {erkin.cilden,hcanberi}@stm.com.tr

ÖZ

DDS (Data Distribution Service for Real-Time Systems) ve HLA (High Level Architecture) mimari bakımdan yayınla/abone ol mekanizmasına dayanmaktadır. Temel mimari yaklaşımları ortak olan bu iki standart, geleneksel olarak farklı uygulama alanlarında kullanılmışlardır. Ancak son zamanlarda, L-V-C (Live-Virtual-Constructive) entegrasyonu gibi uygulamaların da yaygınlık kazanmasıyla, HLA kullanan dağıtık benzetim sistemleri dünyası ile DDS kullanan gerçek-zamanlı sistemler dünyasının birbirine yakınlaşmakta olduğu ve birlikte çalışabilirlik gereksinimlerinin vurgulandığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmada literatürdeki DDS ve HLA'nın birlikte kullanımını ele alan çalışmalar incelenmiştir. Öncelikle her iki mimariyi çeşitli yönleriyle karşılaştıran çalışmalar özetlenmiştir. DDS ve HLA birlikte çalışabilirlik yaklaşımları için bir sınıflandırma önerilmiş ve literatürdeki DDS-HLA birlikte çalışabilirlik yöntemleri incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Son olarak DDS'nin diğer dağıtık benzetim yaklaşımlarıyla birlikte kullanımına değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: dağıtık benzetim, DDS, gerçek zamanlı sistem, HLA, literatür araştırması.

A LITERATURE SURVEY ON DDS-HLA INTEROPERABILITY APPROACHES

ABSTRACT

DDS (Data Distribution Service for Real-Time Systems) and HLA (High Level Architecture) are both based on publish/subscribe pattern from an architectural point of view. Although both standards use similar architectural approaches, traditionally they

have different areas of application. As L-V-C (Live-Virtual-Constructive) entegration is becoming widespread, DDS-based real-time systems and HLA-based distributed simulation systems are getting closer. Therefore, DDS-HLA interoperability is emphasized in the literature. In this study, DDS-HLA comparisons in the literature are reviewed. Moreover, a classification is proposed for DDS-HLA interoperability approaches. The approaches reported in the literature are categorized based on the proposed classification. Finally, DDS usage in other distributed simulation approaches are touched upon.

Keywords: DDS, distributed simulation, HLA, literature survey, real-time systems

1. GİRİŞ

DDS (Data Distribution Service for Real-Time Systems) 2004 yılında OMG (Object Management Group) tarafından büyük ölçekli sistemlerin veri paylaşımı için önerilen bir yayınla/abone ol standardıdır. Genellikle görev kritik sistemlerde güvenilir ve verimli veri iletimi için kullanılır. DDS'nin nesnelerin interneti, akıllı şehir, finans ve hava trafik kontrolü gibi çeşitli uygulama sahaları mevcuttur [1]. HLA (High Level Architecture) ise bağımsız benzetim bileşenlerinden oluşan dağıtık bir benzetim sistemi elde etmeyi amaçlayan bir mimaridir. Böylece karmaşık bir sistemin alt parçalara ayrılması ve yeniden kullanımının artmasına imkan tanınmaktadır. Ayrık bileşenler çok farklı ortamlarda bulunabilirler. Başlıca kullanım alanı savunma sanayii olan HLA'nın trafik benzetimi, fabrika ürün hattı benzetimi gibi birçok sivil amaçlı kullanımı mevcuttur.

L-V-C (Live-Virtual-Constructive: Canlı-Sanal-Yapısal) sistemler ve büyük çaplı siber-fiziksel sistemlerde gerçek sistemlerin ve benzetim sistemlerinin birlikte çalışabilirliği büyük önem arz eder [2]. Bu tarz bir birlikte çalışabilirlik özellikle savunma sanayiinde test maliyetlerinin azalttığı gibi üretim zamanı ve bütçe tasarrufu sağlar [3]. Bu amaçlarla sıklıkla birlikte kullanılan iki standart DDS ve HLA'dır. Birlikte kullanım amaçlarındaki farklılıklar bu değişik arakatmanların uyumlu çalışması için farklı çözümler geliştirilmesine yol açmıştır. Örneğin her iki mimariyle çalışan bir sistemi tek bir arayüzle sunan [4] sistemlerin yanı sıra DDS'yi sahip olduğu hizmet kalitesi (Quality of Service-QoS) yetenekleri için kullanan dağıtık benzetim sistemleri mevcuttur [5, 6].

Bu çalışmanın amacı literatürdeki DDS ve HLA'nın birlikte çalışabilirlik çözümlerinin incelenmesidir. Literatür taraması sonucunda tespit edilen çalışmalar incelenerek birlikte çalışabilirlik yaklaşımları için üç kategori ortaya konulmuştur ve bulunan çalışmalar bu kategoriler altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmanın yanında her iki mimariyi karşılaştıran bazı çalışmalara yer verilmiştir. Yapılan literatür taramasında DDS'nin dağıtık benzetim sistemlerinde kullanımının yaygın olduğu gözlenmiştir. Bu

nedenle DDS'nin HLA dışındaki diğer dağıtık benzetim standartlarıyla kullanımına yer veren çalışmalara ayrı bir bölüm olarak yer verilmiştir.

2. DDS-HLA KARŞILAŞTIRMALARI

Bu bölümde DDS ve HLA mimarilerini çeşitli yönlerden karşılaştıran çalışmalara yer verilmiştir. Bu çalışmalardan ilki Joshi ve Castellote tarafından 2006 yılında yapılmıştır [7]. Her iki standart için benzerlikler, farklılıklar ve sadece bir standartta yer alan özellikler detaylı olarak incelenmiştir. DDS'nin HLA'ya temel benzerlikleri yayınlı/abone ol mimarisi, farklı yaygınlaştırma semantiklerinin desteklenmesi, nesne sınıfları ve örnek güncellemeleri ve standart API (Application Programming Interface) aracılığıyla uygulama taşınabilirliği olarak sunulmuştur. Temel farklılıkları ise birleştirim ve kalıtım aracılığıyla nesne modelleme desteği, bölgelere karşı içerik tabanlı abonelikler ve sahiplik semantiği ve taneşelliği (granularity) olarak verilmiştir.

Joshi ve Castellote'un DDS ve HLA karşılaştırmasından sonra iki mimaride de yenilikler ve güncellemeler olmuştur. 2012 yılında güncel versiyonlar üzerinden bir karşılaştırma Martinez-Salio vd. [8] tarafından yapılmıştır. Çalışmada iki mimari arasında birbirine doğrudan dönüştürülebilen işlevlerin azınlıkta olduğu görülmektedir. Dahası, ortak işlevlerin birbirine dönüştürülmesinde dahi anlamsal (semantic) farklılıklar olabilecek ve çeviriler oluşturulması gerekecektir.

Zheng vd. [9] DDS üzerine geliştirilmiş bir uçuş simülatörü önermektedir. Uçuş simülatörünün 6 adet alt sistemi farklı sunucularda DDS arakatmanı üzerinde çalışmaktadır. Burada her bir alt sistem bir DDS katılımcısı gibi davranmaktadır. Karşılaştırma yapmak amacıyla aynı sistem HLA ile de tasarlanmıştır. Deneyde iki alt sistem belirlenerek bunlar arasındaki iletişim gecikmesi ölçülmüştür. Bu karşılaştırmada DDS'nin ağ gecikmesi HLA tasarımına göre dikkate değer ölçüde az olmuştur.

Antelius vd.'nin [10] çalışmasında dağıtık sistemlerde önce gerçekleşme (happened-before) ilişkisinin güvenilir bir şekilde sağlanması için HLA'nın sağladığı işlevlere değinilmiştir. Burada yapılan karşılaştırmada DDS'nin nedensellik desteğinin olmadığı, nedenselliğin manuel olarak yapılan istek-yanıt mesajlarıyla sağlanması gerektiği belirtilmiştir.

3. BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK YAKLAŞIMLARI

DDS ve HLA ile çözülmesi hedeflenen problemler ve çözüm yöntemleri farklılıklar içermektedir. Bu nedenle, mevcut kabiliyetlerinin ortaklanması veya birbirleriyle ilişkilendirilmesi amacıyla yapılacak bir çalışmanın, bazı varsayımlarda bulunması gerekmektedir. Yine de, benzetim birlikte çalışabilirliğine yönelik çözümlerde DDS kullanımına sıkça rastlanmaktadır [7, 11, 12]. Bu anlamda ortak hedefleri olduğu bilinen bu iki arakatman yaklaşımının farklı amaçlar için farklı şekillerde bir araya

getirildiği çözümler mevcuttur. Bu bölümde bu yaklaşımlar incelenerek sınıflandırılmıştır.

3.1. Birlikte Çalışabilirlik Yaklaşımlarının Sınıflandırılması

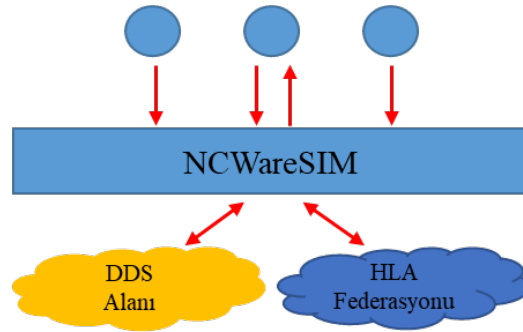
Literatürdeki DDS-HLA birlikte çalışabilirlik yaklaşımları kullanılan yöntemler bakımından farklılıklar göstermektedir. Bazı yaklaşımlar her iki mimariyi de alt yapı olarak kullanarak iki mimarinin de özelliklerinden soyutlanmış bir birleştirme yöntemi hedefler. Yaygın olan bir başka kullanım şekli DDS'nin HLA için bir haberleşme alt yapısı olarak kullanılmasıdır. Bunların yanında her iki mimariyi kullanan sistemlerin yapısına müdahale etmeksizin kullanılan bir geçitle birlikte çalışabilirliği sağlayan modeller mevcuttur. Böylece üç temel birlikte çalışabilirlik yaklaşımı aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Füzyon modeli
- Aktarım katmanı değiştirme modeli
- Geçit/Köprü modeli

3.2. Füzyon Modeli

Füzyon modelinde, HLA ve DDS arakatmanlarının üzerine inşa edilen ilave bir katmanla, her iki arakatmandan da soyutlanmış bir erişim modeli elde edilmesi hedeflenir. Bu modelin temel amacı, HLA uyumlu sistemlerle DDS uyumlu sistemlerin kullandığı arakatman arayüzlerinin, ilerleyen aşamalarda minimum eforla ihtiyaç duyulacak şekilde ortaklanarak birlikte çalışabilirlik problemlerinden soyutlanmasıdır. Bu model, mevcut sistemlerin entegrasyonu amacıyla tercih edildiğinde sistemlerin arayüz gerçekleştirmelerinde değişiklik gerektirmektedir. Füzyon modelinde HLA ve DDS hat protokolleri (wire protocols) olduğu şekilde korunabileceği gibi, DDS hat protokolünün HLA transfer katmanında kullanılması gibi, sonraki bölümde tartışılan, farklı varyasyonlar değerlendirilebilir.

Bu modele örnek olarak, NCWare gösterilebilir (Şekil 1). İspanya Savunma Bakanlığı tarafından 2010 yılında ortaya konulan Teknoloji ve İnovasyon Stratejisi kapsamındaki modelleme ve benzetim (M&S) hedefleri arasında birlikte çalışabilirlik (interoperability) kabiliyetleri, gelişmiş modelleme yetenekleri, ve maliyet etkin benzetim geliştirme altyapıları da bulunmaktadır [13]. Bu kapsamda, “*La Marañosa*” *Technological Institute (ITM)* ve Nextel Engineering Systems S.L. (NADS) bir araya gelerek *Simware Solutions* çatısı altında, benzetim sistemlerinin birlikte çalışabilirliğine yönelik bir soyutlama katmanı (NCWare) yazılımı, API’ler ve diğer araçlardan oluşan çözümler üzerinde çalışmaktadır [14]. Bu çözüm ailesinin mimarisi, ana hatlarıyla literatürde açıklanmıştır [4].



Şekil 1. NCWare DDS-HLA füzyon modeli ([4]'ten uyarlanmıştır)

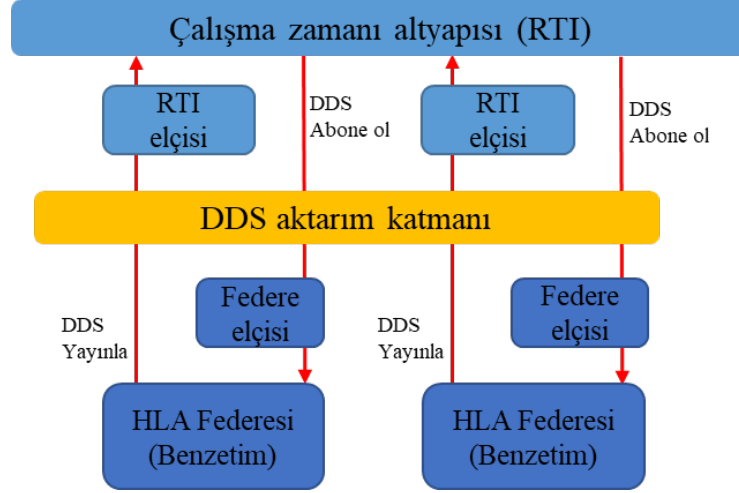
3.3. Aktarım Katmanı Değişirme Modeli

HLA ve DDS arakatman mimarileri ve amaçları dikkate alındığında, birlikte çalışabilirlik modelinde aktarım katmanında DDS, bir üst katmanda HLA kullanmanın mantıklı bir model oluşturacağı görüşü başta SISO (Simulation Interoperability Standards Organization) olmak üzere bazı çevrelerce kabul görmektedir [15]. Bu model, DDS'nin daha alt seviye, HLA'nın ise daha üst seviye bir arakatman modeli olduğu gözleminde hareket ederek, DDS'yi HLA'nın hat protokolü (wire protocol) yerine koyar. Böylece DDS'nin sunduğu geniş QoS kabiliyetlerinden faydalanılırken, HLA'nın benzetimler arası (üst seviye) mimari öğelerinden ve servislerinden ödün verilmemiş olur. Bu modelde, nihai arayüz HLA odaklıdır ve DDS'nin rolü bir iletişim altyapısı olmakla sınırlıdır. Bu nedenle bu model, birlikte çalışabilirlikten çok benzetimler arası arakatman için performans artırımı ve spektrum genişletme yöntemi olarak yorumlanabilir.

Aktarım katmanı değiştirme modeline örnek olarak Güney Kore'deki bir araştırma grubunun çalışması [16] Şekil 2'deki gibi gösterilebilir. Bu çalışmada, HLA tabanlı dağıtık benzetim sisteminin taşıma katmanı (transport layer) DDS ile değiştirilerek, HLA federe arayüzleri (HLA API) ve DDS arayüzleri (DDS API) birleştirilmektedir. Bir HLA-DDS sarmalayıcı (wrapper), kullanıcılara ortak bir ara katman arayüzü sunmaktadır. HLA-DDS sarmalayıcı arayüzü, (i) HLA benzetim hizmeti arayüzleri, (ii) DDS QoS tabanlı ağ yapılandırma arayüzleri ve (iii) HLA veri nesnesi ile DDS veri nesnesini birbirine bağlamak için bazı HLA-DDS veri dönüşüm arayüzlerinden oluşur. HLA-DDS sarmalayıcı, HLA standart arayüzüne uyumlu olduğundan, önerilen çözüm hem ağ kontrollü dağıtık benzetim sistemlerini desteklemekte, hem de mevcut HLA tabanlı dağıtık benzetim sisteminin korunmasına izin vermektedir.

HLA-DDS sarmalayıcının gerçek bir benzetim sistemi üzerinde kullanılması aynı yazarların bir başka çalışmasında anlatılmıştır [17]. Bu çalışmada DDS'yi aktarım katmanı olarak kullanan HLA mimarisi dağıtık trafik benzetimi için kullanılmıştır. Çalışmada sistemin uygulamasına ve değerlendirilmesine de yer verilmiştir. Yapılan

karşılaştırmalarda DDS'nin taşıma katmanı olarak kullanıldığı HLA uygulamasında veri iletim süresinin, sadece HLA kullanan uygulamaya göre daha kısa olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2. DDS'nin aktarım katmanı olarak kullanıldığı HLA çözümü ([16]'dan uyarlanmıştır)

Martinez-Salio [18]; HLA, DIS (Distributed Interactive Simulation) [19] ve TENA (Test and Training Enabling Architecture) [20] gibi bilinen dağıtık benzetim mimarilerinin katmanlı olarak DDS tabanlı bir iletişim altyapısıyla hizmet verebileceğini belirtmektedir. Çalışmada bu amaç için bir katmanlı benzetim mimarisi (layered simulation architecture) önerilmektedir.

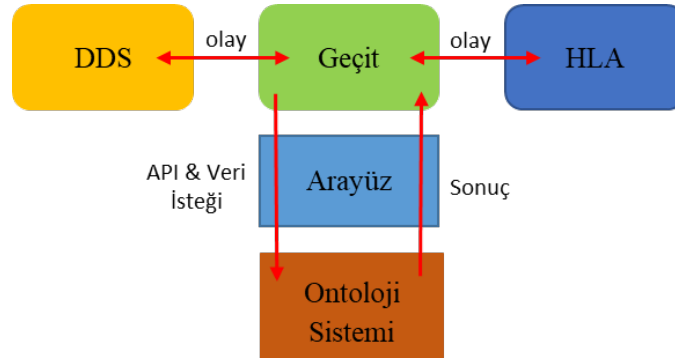
Ru-Kui vd. [21] dağıtık benzetimlerin entegre olarak çalışabilmesi önünde engel olarak, farklı çalışma zamanı ortamlarının, bağlantı protokollerinin ve benzetim sistemleri arasındaki farklı entegrasyon çerçevelerinin bulunmasını gösterir. DDS'nin iletişim alt yapısı olarak kullanıldığında sunduğu imkanlarla bu sorunu ortadan kaldırılabileceği belirtilmiştir. Önerilen çözüm DDS'nin gerçek zamanlı iletişim yeteneğini ve HLA'nın zaman ve federe/federasyon yönetimi yeteneklerini bir araya getirir. Mohammed vd. ise [22] siber-fiziksel olarak tasarlanmış akıllı-grid deney ortamlarının veri iletimi için DDS'yi kullanmaktadır. Deney ortamında çeşitli sistemleri benzetmek üzere HLA federelerine yer verilmiştir.

Tu vd. [23] çalışmalarında HLA benzetiminin çalışma zamanı alt yapısı olan KD-RTI'nın dağıtık benzetim sistemlerinde yaygın olarak kullanıldığını belirtir. Ancak dağıtık benzetim ortamının genişlemesiyle KD-RTI'nın sağladığı iletişim ortamı servis kalitesini garanti etmez. Bu sorunun çözümü için DDS, KD-RTI'nın iletişim metodu olarak kullanılmıştır. Yazarlar yaptıkları deneylerle DDS ile geliştirdikleri KD-RTI'nın orijinaline göre karmaşık veri akışlarında daha iyi performans gösterdiğini belirtmektedir.

3.4. Geçit/Köprü Modeli

Geçit (gateway) tanım olarak, bir bilgisayardaki protokoller arasında veya farklı bilgisayarlar arasında iletişim kurarak bilgi paylaşımına izin veren bir portaldır. Önceki bölümde anlatılan HLA-DDS birlikte çalışabilirlik modellerine kıyasla, bu model için varsayılan senaryo, HLA uyumlu bir benzetim sistemi ile DDS üzerinde çalışan bir operasyonel sistemin birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere bir geçit kullanılmasıdır. Bu tür bir yaklaşımda geçitten beklenen, DDS sisteminden HLA sistemine yönelen işlevlerin HLA ile uyumlu olarak, HLA sisteminden DDS sistemine yönelen işlevlerin ise DDS uyumlu olarak yorumlanmasına olanak sağlamasıdır.

Güney Kore’den bir grup araştırmacı, DDS-HLA birlikte çalışabilirliğini ontoloji analizi destekli bir geçit mekanizması ile sağlamaktadır [3]. Makalede önerilen yöntem; DDS, HLA ve DIS kullanan farklı sistemler arasında birlikte çalışabilirliğin bir geçit ile sağlanmasını hedefler. Yöntem DDS ve HLA ile denenmiş, DIS entegrasyonu gelecekteki çalışma olarak belirtilmiştir. Önerilen geçit altyapısı, bir ontolojiyle desteklenmiştir. Şekil 3’te mimarisi gösterilen yaklaşımda Apache Jena ontoloji altyapısı kullanılmış, arayüzlerle geçit arasında Java’dan C++’ya çevrim yapan bir arayüz bileşeni eklenmiştir.

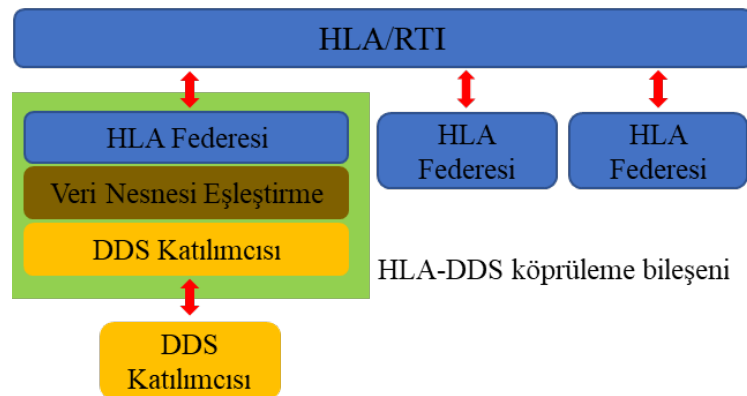


Şekil 3. Oh vd.’nin önerdiği geçit mimarisi ([3]’ten uyarlanmıştır)

Oh vd. 5 katmanlı bir ontolojik çerçeve önermektedir. Arakatman (DDS veya HLA), İşlev (Function), Servis, Arayüz (API) ve Parametre katmanlarından oluşan bu çerçeve, DDS ve HLA işlevlerinin örtüştüğü kısımlardaki ontolojik eşleşmenin hiyerarşik olarak tanımlanmasını sağlamaktadır. Tanımlanan ontoloji yapısı, N-Triplet formatındaki bir dosyada tutulmaktadır.

Oh vd.’nin yaklaşımına benzerlik gösteren bir başka çalışmada [24], DDS, HLA ve DIS’yi arakatman olarak kullanan sistemlerin birlikte çalışabilirliğini sağlamak için ontoloji kullanımı önerilmiştir. Bu sistemlerin ortak kullanımı özellikle veri tipleri açısından çeşitliliğin artmasına neden olmaktadır. Artan çeşitliliğin neden olduğu karmaşıklıkla çözmek amacıyla L-V-C entegrasyonu için bir ontoloji önerilmiştir.

HLA tabanlı dağıtık benzetimlerde DDS tabanlı fiziksel sistemlerin kullanılması için Park vd. [25] tarafından “HLA-DDS köprüleme bileşeni” tanımlanmıştır. DDS katılımcısının HLA federeleriyle doğrudan bağlantı kurması amacıyla katılımcı ve federe arasına yerleştirilen bileşen her iki yöndeki iletişim için bir temsilci konumundadır. Bileşen HLA için bir federe, DDS için ise bir katılımcı gibi davranır. Bileşen “iç DDS katılımcısı”, “iç HLA federesi” ve “veri nesne eşleme” parçalarından oluşur. Birlikte çalışabilirliği sağlamak için iç katılımcı dıştaki katılımcıdan DDS veri nesnesini alır. Bu veri nesnesini HLA veri nesnesine dönüştürür. Dönüştürülen HLA veri nesnesi iç federeye aktarılır ve buradan dış federeye aktarılarak iletişim tamamlanır. Bu etkileşim ters yönde de gerçekleştirilir. Şekil 4 HLA-DDS köprüleme bileşenini temsil eder.



Şekil 4. HLA-DDS köprüleme bileşeni ([25]'ten uyarlanmıştır)

Yazarlar HLA-DDS köprüleme bileşenini ilk olarak 2012 yılında bir “devam eden çalışma özeti” olarak sunmuşlardır [26]. Bu çalışmada HLA-DDS eşleştirmesinin üç seviyeden oluştuğunu belirtmişlerdir. İlk seviye mesaj seviyesi, ikincisi yayımla/abone ol iletişiminin ek bir mekanizmaya gereksinim duymadan yapılabilmesi, üçüncü seviye ise veri iletişiminin QoS destekli olduğu ve zaman yönetimine olanak sağlayan arakatman entegrasyonudur. Yayın tarihinde, HLA-DDS köprüleme bileşeni mesaj seviyesinde tanımlanmıştır.

Kim vd. [27] tarafından ortaya konan patent çalışmasında heterojen arakatmanlar için zaman senkronizasyonu sağlamak amacıyla bir geçit tanımlanmıştır. Bu geçit; bir HLA federesi, bir DDS katılımcısı, duvar saati işlevi için bir saat federesi ve bir zaman yöneticisini içerir. Saat federesi kullanılarak HLA federesi ve DDS katılımcısının zaman senkronizasyonu sağlanmaktadır.

Jun ise patentinde [28], L-V-C sistemlerin birlikte çalışabilirliği için bir metot ve düzenek göstermektedir. Burada heterojen tipteki arakatmanların (arakatman DDS, HLA, DIS ve TENA'dan en az birini içermelidir) birlikte çalışması için bir geçit (gateway) ve yönlendirici (router) gösterilir. Geçit, çoklu sistemlerde kullanılan protokollerin birlikte çalışabilirliğini sağlar. Yönlendirici ise L-V-C omurgasını

yapılandırarak birlikte çalışabilirliği geniş alan ağı seviyesine çıkarır. Geçit ve yönlendiricinin birlikte çalışması DDS ile sağlanmaktadır. Geçit ilk arakatmandan veriyi alır, heterojen tipteki ara katmanlar arasında veri dönüşümü için iletişim nesnelerinin eşleştirmesini yapar, ve bu eşleştirmeye bağlı olarak veri dönüşümünü gerçekleştirir. Geçidin içindeki işleme ünitesi, dönüşüm için veri gönderme/alma uygulama programlama arayüzlerini (API) eşleştirir. Ortaya konan metotla geçit kodu üretimi de gösterilmektedir.

4. DDS VE DİĞER DAĞITIK BENZETİM YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde DDS'nin HLA dışında, TENA ve DIS gibi standart dağıtık benzetim mimarileri ve bazı standart olmayan, yapılan çalışmaya özgü dağıtık benzetim uygulamalarında kullanımı incelenmektedir. Bu alanda DDS genellikle dağıtık benzetim mimarilerinin veri iletim alt yapısı olarak kullanılmıştır.

Kim vd. [29] tarafından yapılan çalışmada çatışma benzetimlerinde kullanılmak üzere yüksek hacimli ve sıklıkla değişen veri desteği DDS ile sağlanmıştır. Yazarların önerdiği bileşen tabanlı benzetim ortamı (AddSIM) doğrudan HLA temelli değildir. Ancak sistemde HLA uyumlu arayüzler de kullanılabilir. Ancak sistemde HLA uyumlu arayüzler de kullanılabilir.

Xu vd. [12, 30, 31] üç ayrı yayında DDS'nin gerçek zamanlı benzetim ortamları için kullanılmasını ele almıştır. Çalışmalarda DDS ağ arakatmanı olarak önceden oluşturulmuş benzetimler arası veri iletimini ve yönetimini sağlamaktadır. Birlikte çalıştırılan benzetimler doğrudan HLA tabanlı değildir. Yapısal (constructive) benzetimlere göre gerçek zamanlı benzetimlerde daha zorlayıcı olan zaman senkronizasyonu, çalışmalarda önerilen yöntemle çözülmüştür.

Martinez-Salio [18] çalışmasında dağıtık benzetimler için HLA'nın endüstri ve NATO gibi kurumlar tarafından desteklendiği halde henüz diğer alternatiflere sahadaki tek standart olacak şekilde bir üstünlük kuramadığından bahseder. Mesela DIS, kullanım kolaylığı nedeniyle bazı yeni benzetim ortamlarında tercih edilmeye devam etmektedir. Ancak yine de HLA'nın sağladığı işlevler bakımından bir üstünlüğü söz konusudur. Bu nedenle farklı benzetim standartlarını bir araya getiren bir katmanlı benzetim mimarisi DDS tabanlı bir gerçek zamanlı veri iletim alt yapısıyla sunulmuştur.

Kutluca vd. [32] tarafından yapılan çalışmada HLA ve DDS'nin birlikte kullanımı için yapılabilecekler değerlendirilirken DDS'nin bir savaş yönetim sistemi benzetim için kullanımı gösterilmiştir. Bu uygulamada DDS dağıtık benzetimler için bir iletişim katmanı olarak kullanılmıştır. Deniz vd. [33] tarafından yapılan çalışmada ise MIL-STD 1553 seri veri yolunu kullanan arayüz benzetimleri DDS üzerine yapılandırılmıştır. Temel amaç gerçek zamanlı veri alış verişine olanak sağlamak ve DDS'nin sunduğu bakılabilirlik ve genişletilebilirlik gibi yeteneklerden faydalanmaktır. Çalışmada DDS, benzetim alt yapısı için arakatman olarak kullanılmaktadır.

Greff vd. [6] çalışmalarında yeni bir benzetim/emülasyon/deney ortamı (ERICA) ortaya koymaktadır. ERICA, farklı hizmet kalitesi garantili uygulamaların geliştirilmesi ve test edilmesi için bir ağ simülatörü ve gerçek bir donanım ağını bir araya getirir. Burada ilgili ağlar DDS üzerine yapılandırılmıştır. Zheng vd.'nin [9] çalışması da DDS'nin HLA dışındaki dağıtık benzetim sistemlerinde kullanımına örnek olarak gösterilebilir. Buradaki uçuş simülatörünün alt parçaları bilinen bir benzetim standardına göre geliştirilmeyip bir DDS katılımcısı olarak tasarlanmıştır.

Hakiri vd. [5] tarafından eğitim amaçlı benzetimler için kişisel bilgisayarlara dayalı DDS'yi arakatman olarak kullanan bir sistem geliştirilmiştir. Burada benzetim sisteminin düşük maliyetli ve doğruluk derecesi yüksek olarak geliştirilmesi amaçlanır. Dağıtık simülatörlerin gerçek zamanlı iletişimi DDS tarafından kalite faktörlerini de içerecek sağlanır. Yazarlar bir diğer çalışmalarında ise [34] bir geniş alan ağı üzerindeki dağıtık benzetimlerin hizmet kalitesinin DDS ile sağlanmasına değinmektedir.

5. SONUÇ

HLA-DDS birlikte çalışabilirliği, literatürde farklı anlamlarda ve seviyelerde yorumlanmaktadır. Füzyon, aktarım katmanı değiştirme ve geçit modelleri, önerilen birlikte çalışma modelleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Aktarım katmanı değiştirme yaklaşımının DDS'nin HLA ve diğer dağıtık benzetim mimarileriyle birlikte kullanımında yaygın olduğu gözlemlenmiştir. Geçit modeli mevcut bir DDS sistemi ile mevcut bir HLA sisteminin haberleşebilmesi amacına yönelik, bu sistemlere en az müdahale gerektiren yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Geçit yaklaşımının projeye göre uyarlanabilir olması, hafif ve verimli bir çözüm üretilmesini gündeme getirmektedir. Çözümün proje amaçlarına göre uyarlanması gereği, *ad hoc* yaklaşımları değil, değişkenlik yönetimi gibi sistematik yaklaşımları davet etmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Sanayi Ar-Ge Projelerini Destekleme Programı kapsamında "DDS Tabanlı Hibrit Aviyonik Emülatör Sistemi (HAVESİS) Geliştirilmesi" başlıklı, 3151162 numaralı proje ile desteklenmiştir.

7. KAYNAKÇA

- [1] Corsaro, A. (2014), The Data Distribution Service Tutorial, <https://www.slideshare.net/Angelo.Corsaro/the-data-distribution-service-tutorial>, [Erişim 21-05-2017].
- [2] Park, Y. ve Min, D. (2012), WiP Abstract: Message Bridging Structure Between HLA and DDS for Integrating Cyber-Physical Systems, *2012 IEEE/ACM Third International Conference on Cyber-Physical Systems*, 17-19 Nisan, ss. 210.

- [3] Oh, M.S., Son, Y.H. ve Lee, K.C. (2015), An Ontology System for Interoperation between DDS and HLA, *Indian J. Sci. Technol.*, c. 8, sayı 27.
- [4] Díaz, J.C., Gálvez, I. ve López-Rodríguez J.M. (2011), How to Develop True Distributed Simulations? HLA & DDS Interoperability, Nextel Engineering Systems S.L., Technical Report.
- [5] Hakiri, A., Berthou, P. ve Gayraud, T. (2011), Design of Low Cost PC-based Simulators for Education and Training Purpose Using DDS, *2011 IEEE EUROCON - International Conference on Computer as a Tool*, Lisbon, ss. 1-4.
- [6] Greff, F., Dujardin, E., Samama, A., Song, Y.Q. ve Ciarletta, L. (2016), A Symbiotic Approach to Designing Cross-Layer QoS in Embedded Real-Time Systems, *8th European Congress on Embedded Real Time Software and Systems (ERTS 2016)*.
- [7] Joshi, R. ve Castellote, G.P. (2006), A comparison and mapping of data distribution service and high-level architecture, Real-Time Innovations Inc., Whitepaper, 2006.
- [8] Martinez-Salio, J-R. ve Lopez-Rodriguez, J-M. (2012), A Comparison of Simulation and Operational Architectures, *2012 Fall Simulation Interoperability Workshop (SIW), Simulation Interoperability Standards Organization (SISO)*.
- [9] Zheng, S., He, J., Jin, J. ve Han, J. (2009), DDS based high fidelity flight simulator, *ICIE'09 WASE International Conference on Information Engineering*, Vol. 1, 548-551.
- [10] Antelius, F., Johansson, M. ve Möller, B. (2013), Building Time Managed Federations with Object Oriented HLA, *Proceedings of 2013 Spring Simulation Interoperability Workshop, 13S-SIW-020, Simulation Interoperability Standards Organization*.
- [11] Hakiri, A., Berthou, P. ve Gayraud, T. (2010), Addressing the Challenge of Distributed Interactive Simulation With Data Distribution Service, arXiv preprint arXiv:1008.3759.
- [12] Xu, X., Yang, S., Ju, R., Li, G. ve Huang, K., (2014), Addressing the Joint Simulation of Engineering and Engagement Level over Heterogeneous Systems, *2014 IEEE/ACM 18th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, 3–10.
- [13] Jimenez, P. ve Lopez-Rodriguez, J.-M. (2012), The Spanish MoD M&S Infrastructure: a new perspective for for the development and reusability of simulations assets, *2012 Fall Simulation Interoperability Workshop (SIW), Simulation Interoperability Standards Organization (SISO)*.
- [14] Simware Corporate Website, (2016), [Çevrimiçi], <http://www.simware.es/>. [Erişim: 24-Kas-2016].
- [15] Gregory, D., Martinez-Salio, J-R., Lopez-Rodriguez, J-M., Tapp, M. ve Diallo, S. Y. (2015), Final Report for the Layered Simulation Architecture Study Group, Simulation Interoperability Standards Organization, SISO-REF-057-2015, 2015.
- [16] Park, Y. ve Min, D. (2013), Development of HLA-DDS wrapper API for network-controllable distributed simulation, *2013 7th International Conference on Application of Information and Communication Technologies*, 2013, ss. 1–5.
- [17] Park, Y. ve Min, D. (2015), Distributed Traffic Simulation using DDS-communication based HLA for V2X, *Seventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*.
- [18] Martinez-Salio, J-R. (2015), Distributed simulation deadlock, Simware NEXTEL Aerospace Defence & Security S.L., whitepaper.
- [19] IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation (DIS) - Communication Services and Profiles, (2015), *IEEE Std 1278.2-2015 (Revision of IEEE Std 1278.2-1995)*, ss. 1-42.

- [20] Powell, E.T. ve Noseworthy J.R. (2012), The test and training enabling architecture (TENA), *Engineering principles of combat modeling and distributed simulation* 449.
- [21] Ru-Kui, A., Chang-Feng, X., Ling, W. ve Li, G. (2014), A DDS-Based Interoperation Framework of Large-Scale Simulation System, *Applied Mechanics and Materials* Vol. 462, 746-749.
- [22] Mohammed, O., Youssef, T., Cintuglu, M.H. ve Elsayed, A. (2017), Chapter 12 - Design and simulation issues for secure power networks as resilient smart grid infrastructure, In *Smart Energy Grid Engineering*, Academic Press, 245-342.
- [23] Tu, Y., Hao, J., Ji, X. ve Zhou, X. (2016), Research on Improvement of KD-RTI Communication Mechanism Base on DDS, *3rd International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE)*, 543-546.
- [24] Son, G-J., Son, Y-H. ve Lee, K-C., (2016), Design of Ontology Engine Architecture for L-V-C Integrating System, *Advanced Science and Technology Letters*, Volume 139, 225-230.
- [25] Park, Y. ve Min, D. (2013), Publish/Subscribe Mapping between HLA-DDS Middleware for Cyber-Physical System Simulation, *Research Notes in Information Science (RNIS)*, Volume 14, June 2013.
- [26] Park, Y. ve Min, D. (2012), WiP Abstract: Message Bridging Structure Between HLA and DDS for Integrating Cyber-Physical Systems, *2012 IEEE/ACM Third International Conference on Cyber-Physical Systems*, 17-19 Nisan.
- [27] Kim, K.T., Jun, H.K., Kim, W.T. ve Cha, W.S. (2013), Electronics, Telecommunications Research Institute, assignee. Gateway for interconnection of heterogeneous middleware and time synchronization method thereof. United States patent application US 14/940,593. 2015 Nov 13.
- [28] Jun, H-K. (2015), Electronics, Telecommunications Research Institute, assignee. Method and apparatus for live-virtual-constructive interoperation. United States patent application US 14/953,209. 2015 Nov 27.
- [29] Kim, D., Paek, O., Lee, T., Park, S. ve Bae, H. (2014), A DDS-Based Distributed Simulation Approach for Engineering-Level Models, *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 2919-2930.
- [30] Xu, X. ve Li, G. (2013), A Management and Control Infrastructure for Integrated Real-Time Simulation Environment, *17th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, 197-204.
- [31] Xu, X., Li, G., Yang, M., Ju, R. ve Huang, K. (2016), Towards the integration of engagement and engineering-level simulation over real-time and heterogeneous systems, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 28(12), 3390-3408.
- [32] Kutluca, H., Çetin, İ. E., Deniz, E. ve Bal, B. (2007), MilSOFT DDS Arakatmanı ve DDS'in Savaş Yönetim Sistemlerinde Simülasyon Amaçlı Kullanımı, İkinci Ulusal Savunma uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı, 18-19 Nisan 2007, 109-118.
- [33] Deniz, E., Durak, U. ve Oğuztüzün H. (2012), DDS Tabanlı MIL-STD 1553 Arayüz Simülasyonu, Savunma Teknolojileri Kongresi, 20-22 Haziran 2012.
- [34] Hakiri, A., Berthou, P., Slim Abdellatif, S., Diaz, M. ve Gayraud. T. (2013), Supporting end-to-end internet QoS for DDS-based large-scale distributed simulation, In *Proceedings of the 1st ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation*, 397-402.

MODELLEME VE BENZETİM PROJE YÖNETİM DÖNGÜSÜ İÇİNDE DOĞRULAMA, GEÇERLEME ONAYLAMA SÜRECİ

Ceylan Dalgıç ^(a), Yakup Yıldırım ^(a), S. Engin Çalışan ^(b), Ali Hikmet Doğru ^(c)

^(a) ODTÜ-TSK MODSİMMER, Dumlupınar Bulvarı No:1 ODTÜ Ankara Türkiye,
{cdalgic, yakupy}@metu.edu.tr

^(b) Devlet Mahallesi, İsmet İnönü Bulvarı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Bakanlıklar,
Çankaya, Ankara Türkiye, calisan.s5871@dzkk.tsk.tr

^(c) ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği, Dumlupınar Bulvarı No:1 ODTÜ Ankara Türkiye,
dogru@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Modelleme ve benzetim (simülasyon) projelerinde hedeflenen sadakat derecelerini elde edebilmek için takip edilecek modelleme yaklaşımının doğru seçilmesi, modelin doğru oluşturulması, nihai ürünün hedefleri karşılayıp karşılamadığı ve standartlara uygun çalışılıp çalışmadığı kontrol edilerek çıktı kalitesinin artırılması hedeflenmelidir. Bu da tarafsız bir otorite tarafından nesnel bir değerlendirme yöntemi ile gerçekleştirilecek doğrulama, geçerleme ve onaylama faaliyeti ile daha kabul edilebilir bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu faaliyetin beklenen çıktıları verebilmesi için proje yönetim döngüsü içinde yer alan tüm aşamalarda ilişkili doğrulama, geçerleme ve onaylama faaliyetlerinin etkin olarak ele alınması gerekmektedir. Bu bildiride, modelleme ve benzetim projelerinin sistem hedefleri, kavramsal model, tasarım, geliştirme, bütünleşme, test ve sistem çalıştırma aşamalarında gerçekleştirilmesi gereken doğrulama, geçerleme ve onaylama faaliyetleri mevcut standartlar incelenerek sunulmuştur. Her bir aşamada uygulanacak yöntem, kontrol adımları ve usuller belirlenerek yönetsel bir süreç içinde tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Benzetim, Doğrulama, Geçerleme, Modelleme, Onaylama

VERIFICATION, VALIDATION AND ACCREDITATION PROCESS THROUGH MODELING AND SIMULATION PROJECT MANAGEMENT CYCLE

ABSTRACT

In order to reach the targeted fidelity levels in modeling and simulation projects, it must be aimed to increase the quality of outputs by checking that the modeling approach to be followed is correct, the model is set up correctly, and the final product meets the targets and works in compliance with the standards. This can be achieved in a more acceptable manner with objective verification, validation and accreditation (VV&A) procedures carried out by an impartial authority. In order to be able to deliver the expected outputs from this activity, the relevant verification, validation and accreditation activities must be dealt effectively at all stages within the project management cycle. In this paper, VV&A activities to be carried out during the system objectives, conceptual model, design, development, integration, testing and system operation phases of the modeling and simulation projects are presented. The method to be applied at each stage is defined in a managerial process by defining control steps and procedures.

Keywords: Simulation, Verification, Validation, Modeling, Accreditation

1. GİRİŞ

Geliştirilen büyük çaplı yazılım projelerinde ve modelleme ve benzetim projelerinde harcanan kaynağın (zaman, insan ve para) fazlalığı nedeniyle projelerin geliştirme aşamasının başlangıcından itibaren, son ürünün ihtiyacı karşılamasının ve verim alınmasının garanti altına alınması amacıyla Doğrulama, Geçerleme ve Onaylama (DGO) yapmak gerekmektedir.

Bu bildiride modelleme ve benzetim projelerinin sistem hedefleri, kavramsal model, tasarım, geliştirme, bütünleşme, test ve sistem çalıştırma aşamalarında gerçekleştirilmesi gereken doğrulama, geçerleme ve onaylama faaliyetleri mevcut standartlar incelenerek sunulmuştur. ODTÜ-TSK MODSİMMER DGO Birimi'nde her bir aşamada uygulanacak yöntem, kontrol adımları ve usuller belirlenerek yönetsel bir süreç içinde tanımlanmıştır.

Bildirinin 2. kısmında DGO'nun ne olduğu açıklanacak, Türkiye'de Modelleme ve Benzetim (MODSİM) projelerinin DGO süreçleri konusunda yaşanan problemler ve dünyadaki standart ve uygulamalar özetlenecektir. 3. kısımda ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (MODSİMMER) yürütülmekte olan DGO süreci idari ve teknik boyutlarıyla açıklanacaktır.

2. MODELLEME VE BENZETİM (MODSİM) PROJELERİNDE DGO

2.1. DGO'nun Tanımı

Doğrulama, ürünün geliştirme öncesinde belirlenen gereksinimlere ve tasarım belirtilmelerine uygunluk derecesini belirleme sürecidir. Yazılım dünyasında doğrulama, ürün kodu ve belirtilmeler üzerinden giderek yapılır. Kodun beklenen işlevleri hatasız bir şekilde yerine getirip getirmediği ve belirtilmelerdeki gereksinimlerin karşılanıp karşılanmadığı değerlendirilir.

Geçerleme, ürünün kullanıcının amaçladığı kullanıma uygunluk derecesini belirleme sürecidir. Ürünün geçerli olması için, müşterinin ihtiyaçlarının doğru anlaşılacak tasarım belirtilmelerinin doğru ve yeterli tanımlanmış olması önemlidir. Bu ürün bir benzetim olduğunda geçerleme yazılım dünyasında anlaşılmanın ötesinde bir anlam taşımaktadır. Benzetimlerde kavramsal modelin geçerliliği de değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Ürünün kullanıcının amaçladığı kullanıma uygun olduğunu söyleyebilmek için, temsil edilen gerçek sistemi amaçlanan kullanım perspektifinden doğru ve yeterli bir şekilde temsil etmesi gerekir. Bunun için gerçek sistem verileri ve benzetim verileri karşılaştırılmaktadır. Ancak kimi zaman, özellikle kullanımı yüksek maliyetli olan sistemler ve henüz üretilmemiş sistemler için veri mevcut olmayabilir. Bu durumda geçerleme için subjektif uzman görüşüne başvurulmaktadır [2][3].

Onaylama, bir ürünün belirli bir amaç için kullanıma uygun olduğunun belgelendirilmesi sürecidir.

2.2. Mevcut Problemler

Yazılım geliştiren kurumlarda genellikle bir test birimi veya ekibi bulunmaktadır ancak birçok durumda yapılan testler yalnızca doğrulama amaçlıdır. Bir diğer deyişle bu testlerle, ortaya konan modelin programlama diliyle doğru ifade edildiğinden emin olmaya çalışılmaktadır. Benzetimi yapılan sistemin doğru modelle temsil edilip edilmediği ise ayrı bir konudur. Modelin gerçek sisteme yeterince benzememesi, yani modelin geçerli olmaması; benzetimi kullanan karar vericilerin yanlış kararlar vermesi, benzetim tabanlı eğitim alan kişilerin yanlış öğrenme deneyimleri yaşamaları gibi sonuçlara neden olacağından kritik bir sorundur. Modellenen sistemlerin çeşitliliği ve karmaşıklığı, her bir sistem için gerçeğe uygun model ortaya koyabilecek ve bu modelleri test edebilecek yetkinlikte ve çeşitli uzmanlıklara sahip bir ekibin oluşturulmasını gerekli kılmaktadır. Bu noktada kurumlar genellikle ya doğrulama yapmakla yetinmek zorunda kalmakta ya da konu ile ilgili danışmanlık hizmeti alabilecekleri uzmanların arayışına girmektedirler. Ancak özellikle büyük çaplı modelleme ve benzetim projelerinin çok farklı alan uzmanlıkları gerektirmesi ve ilgili

uzmanların istihdamının ve sürekliliğinin kimi zaman sorun teşkil etmesi söz konusudur.

Bir diğer problem de kimi zaman ihtiyaç makamının teknolojik olanak ve kısıtlara yeterince vakıf olmaması sebebiyle uygulanabilir olmayan veya gereksiz kaynak kullanımı gerektiren taleplerde bulunması, ihtiyaç makamı ve geliştirici kurumun birbirini anlamasını zorlaştırabilmesidir. Ortaya çıkan ürün şartnamede yazılı maddeleri harfi harfine karşılamış olsa da, kullanıcıların kafasındaki ürünü karşılayamayabilmektedir.

Bu ihtiyaçlar doğrultusunda, tarafsız ve deneyimli bir DGO ekibinin bu aşamadan itibaren projeye dahil olarak ihtiyaç makamını ihtiyacı kağıda doğru dökmekten ziyade doğru tespit etmek için yönlendirmesi, hem ihtiyaç makamının hem de geliştirici kurumun işini kolaylaştıracaktır. Bu ekibin teknik isterlerin yazımından projenin kabulüne kadar projede kullanılan modellerin doğruluğu ve geçerliğini incelemesi, gerekli noktalarda çok geç olmadan gerekli düzeltmeleri istemesi ve onay önerisi vermesi, sürecin daha sorunsuz ve etkin bir şekilde ilerlemesinin yanı sıra ihtiyaç ve tedarik makamının ürüne güvenini artırarak son ürünün kabulünü kolaylaştıracaktır. Farklı firmalarca geliştirilen ürünlerin uluslararası standartlar temelinde tek elden muayene edilmesi, birlikte çalışabilirliği ve yeniden kullanılabilirliği daha yüksek ürünler ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Bunun yanında deneyimle edinilmiş örtük bilgilerin zaman içerisinde kaybolup gitmesi veya rekabet içerisindeki firmaların tekelinde bulunması yerine tarafsız bir kurum kütüphanesi içerisinde saklanmasını veya ihtiyaç duyan firmalarla paylaşılmasını da sağlayacaktır.

2.3. Mevcut Standart ve Uygulamalar

Savunma alanındaki MODSİM uygulamalarında DGO sürecine ilişkin yaygın olarak kabul edilen bir standart bulunmamaktadır. Modelin geçerliliğine karar vermede 3 tip yöntem kullanılmaktadır. Karar verme yöntemlerinden biri, modeli geliştiren ekibin yaptığı testler sonucunda geçerliliği değerlendirmesi şeklinde gerçekleştirilir. Bir diğeri ürün kullanıcılarının geliştirici ekiple birlikte testlerde yer alarak modelin geçerliliğine karar vermesidir. Kullanılan bir başka yöntem ise geliştirici ve müşteriden bağımsız bir üçüncü tarafın modelin geliştirilmesi boyunca veya sonrasında geçerliliği değerlendirmesidir (Independent Verification & Validation). Bu yöntem üçüncü tarafın konuya hakimiyetini gerektirmekte ve genellikle nispeten büyük ölçekli projelerde kullanılmaktadır [10]. Modelleme ve benzetim projeleri için DGO süreçlerini standardize eden ilk kuruluş olan NASA'nın süreçlerinde DGO'nun projeye başlangıç aşamalarından itibaren entegre olması gerektiği ve alan bilgisinin önemi vurgulanmaktadır [3].

MODSİMMER DGO süreçleri tanımlanırken temel alınan standartlar şunlardır:

IEEE 1516 - IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Framework and Rules: Yüksek seviye mimari için çerçeve sunan ve kurallar ortaya koyan bir standarttır [6]. MODSİM sistemlerinin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması için kullanılması önerilen olgunlaşmış bir standarttır ancak birlikte çalışabilirliği sağlamak için yeterli değildir. Türkiye’de geliştirilen MODSİM sistemlerinin bu standarda uyumluluğu bazı ihalelerde zorunlu kılınmaktadır [4].

1516.3 - IEEE Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation Development and Execution Process (FEDEP): Yüksek seviye mimari tabanlı federasyonların geliştirilmesi ve çalıştırılmasına ilişkin önerilen uygulamalar dokümanıdır. Üzerinde çalışılarak 2007 yılında yerini DSEEP almıştır [4].

IEEE 1516.4 - Verification, Validation, and Accreditation Overlay to the Federation Development and Execution Process Working Group (VV&A Overlay to FEDEP): 1516.3’e eklenti olarak geliştirilmiştir. FEDEP işletilerek geliştirilen federasyonların doğrulama, geçerleme ve onaylama süreci için önerilen uygulamalar dokümanıdır [5].

IEEE 1730 - IEEE Recommended Practice for Distributed Simulation Engineering and Execution Process (DSEEP): Dağıtık simülasyon geliştirmek ve çalıştırmak için gerekli süreç ve prosedürleri tanımlar [4].

STO-TR-MSG 073 + SISO - Generic Methodology for Verification and Validation (GM-VV) to Support Acceptance of Models, Simulations and Data: Veriler, modeller ve benzetimlerin DGO’su için genel bir metodoloji sunar. Onaylama ve sertifikasyon ise kapsam dışında bırakılmıştır [9].

MIL-STD-3022 - Department Of Defense Standard Practice Documentation of Verification, Validation, And Accreditation (VV&A) for Models and Simulations: MODSİM DGO’sunun 4 ana ürünü olan doğrulama ve geçerleme planı, doğrulama ve geçerleme raporu, onaylama planı ve onaylama raporu için şablonlar sunarak tutarlı ve fazlalıktan arındırılmış bir dokümantasyon yapısı önermektedir [4].

3. TANIMLANAN SÜREÇ

Bu bölümde ODTÜ-TSK MODSİMMER’de yürütülmekte olan DGO faaliyetlerinin idari ve teknik boyutundan bahsedilecektir. İdari boyutta DGO faaliyetlerinin yürütücü kurum tarafından belirli bir kalite düzeyinde, bağımsızlık, tarafsızlık, dürüstlük ve gizlilik gibi olmazsa olmaz niteliklere uygun bir şekilde yönetilmesi için tanımlanmış prosedürlerden bahsedilecektir. Teknik boyutta ise bir MODSİM projesinin DGO süreci içerisinde konu uzmanları tarafından incelenmesi süresince izlenmesi gereken 7 temel adım ve bu adımların geçerliliği için dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanacaktır.

3.1. İdari Boyut

Kimi zaman yıllar süren MODSİM projeleri için uzun ve karmaşık bir süreç olan DGO sürecinin en az hata ve aksama ile tamamlanması için standart bir süreç yapısına ve proje yönetimine ihtiyaç vardır. Muayeneyi gerçekleştirecek kurum yalnızca muayenesi yapılan sistemi ve bu sistemin geliştirilme sürecini değil, muayenenin işleyişini de baştan sona denetlemeli ve gerekli düzenlemeleri yapmalıdır. Bunun için, sürecin kalite ilkelerine uygun bir şekilde akmasını sağlamaktan sorumlu bir kalite yöneticisi görevlendirilmelidir. Kalite yöneticisi muayene kurumundaki daimi ve proje bazlı olarak görevlendirilmiş personelin eğitimi, laboratuvar ve cihazların düzenli kontrolü gibi sürecin kalitesini ilgilendiren birçok konuda tanımlanmış prosedürlerin uygulanmasından sorumlu kişi olacaktır. Muayene uzmanlarının uluslararası geçerliliği olan metotlar dışında uygulayacağı metotların tanımlanmış prosedüre uygun bir şekilde geliştirilmesi ve geçerlenmesinin takibi de kalite yöneticisi tarafından yapılmalıdır. Böylelikle proje bazlı olarak görevlendirilmiş çok sayıdaki uzmanın yapacağı muayene standart bir süreç haline gelecektir. Bu anlamda kalite yönetimi, muayene sürecinin ve dolayısıyla muayene edilen ürünün kalitesini ilgilendiren önemli bir parçasıdır. Bunun yanında organizasyon yapısı içerisinde birtakım yardımcı roller de tanımlanabilir. Örneğin muayene kurumu, proje bazlı olarak sözleşme yapılmış muayene uzmanları, muayenesi yapılan sistemi geliştiren kurum ve muayene için başvuran kurum (kimi zaman bu, geliştirici kurumun kendisi de olabilir) arasındaki iletişimi sağlayacak bir koordinatör görevlendirilebilir.

DGO yönetim sistemine dahil edilmesi önerilen süreç, prosedür ve formlar Tablo 1’de özetlenmiştir. İhtiyaca göre bunlar dışında da birtakım dokümanlar tanımlanması gerekecektir.

Tablo 1. DGO yönetim sistemi dokümanları

Doküman Adı	Türü	Amacı
DGO Kalite El Kitabı	İdari doküman	DGO faaliyetlerindeki yönetim sisteminin genel çerçevesinin çizildiği dokümandır.
DGO Organizasyon El Kitabı	İdari doküman	İş tanımlarını açıklar.
Muayene Süreci	İdari doküman	DGO muayene sürecini açıklar.

Kalite Güvence Süreci	İdari doküman	Muayenenin belirli bir kalite düzeyinde gerçekleştirilmesini garanti altına almak için gerekli faaliyetleri açıklar.
Proje Yönetimi Süreci	İdari doküman	Etkin ve uygulanabilir bir muayene yönetimi için gerekli faaliyetleri açıklar.
Bağımsızlık, Tarafsızlık, Dürüstlük ve Gizlilik Prosedürü	İdari doküman	Bağımsızlık, tarafsızlık, dürüstlük ve gizliliğin sağlanması için dikkat edilecek hususları açıklar.
Düzeltilici ve Önleyici Faaliyet Prosedürü	İdari doküman	Muayene süresince ve diğer zamanlarda DGO yönetim sistemine uygun olmayan durumların veya olası uygunsuzlukların nasıl ele alınacağını tanımlar.
Metot Seçme ve Güncelleme Prosedürü	Teknik doküman	Muayene uzmanları tarafından muayene süresince kullanılacak metotların seçimi, geçerlenmesi ve güncellenmesine ilişkin yöntemi tanımlar.
Sistem Hedefleri Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Sistem hedefleri muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından genişletilebilecektir.
Kavramsal Analiz Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Kavramsal analiz muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından genişletilebilecektir.
Tasarım Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Tasarım muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından

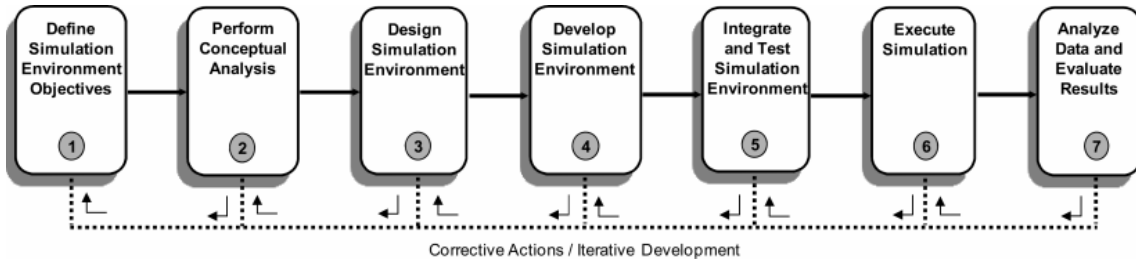
		genişletilebilecektir.
Geliştirme Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Geliştirme muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından genişletilebilecektir.
Entegrasyon ve Test Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Entegrasyon ve test muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından genişletilebilecektir.
Sistem Çalıştırma Muayenesi Kontrol Formu	Teknik doküman	Sistem çalıştırma muayenesinde kullanılacak kontrol formudur. İhtiyaç duyulursa muayene uzmanları tarafından genişletilebilecektir.
Düzeltilici Önleyici Faaliyet Formu	İdari doküman	Muayene süresince ve diğerk zamanlarda DGO yönetim sistemine uygun olmayan durumlarda veya olası uygunsuzluklarda doldurulacak formdur.
Muayene Raporu Formu	Teknik doküman	Muayene sonucunda muayene uzmanlarının notlarının yazıldığı formdur.
Proje Yönetim Planı	İdari doküman	Muayenenin yönetimi için muayene bazlı olarak doldurulan formdur.
Kalite Güvence Planı	İdari doküman	Muayenenin belirli bir kalite düzeyinde yürütölmesi için muayene bazlı olarak doldurulan formdur.

3.2. Teknik Boyut

Modelleme ve benzetim projelerinde kavramsal modelleme kritik olan bir aşamadır. Bu nedenle bu projelerde, yazılım projelerinde takip edilen çağlayan (waterfall) modeline ek olarak bir kavramsal modelleme aşaması yer almaktadır. MODSİMMER DGO sürecinin adımları DSEEP'in 7 adımına paralel 7 aşamadan oluşmaktadır:

- Sistem Hedefleri Muayenesi
- Kavramsal Analiz Muayenesi
- Tasarım Muayenesi
- Ürün Geliştirme Muayenesi
- Entegrasyon ve Test Muayenesi
- Sistem Çalıştırma Muayenesi
- Analiz ve Raporlandırma

Süreç projenin sonunda ürün bazlı olarak gerçekleştirilen 7 adımlı bir tetkik şeklinde gerçekleşmemekte; her bir muayene adımı Şekil 1'de gösterilen ilgili proje adımının ardından gerçekleştirilmekte ve bir sonraki proje adımına geçmeden önce gerekli düzeltmeler istenmektedir. Böylelikle geliştirilen proje daha sağlam adımlarla ilerleyecek; hatalar çok geç olmadan düzeltileceği için hata maliyeti ciddi oranda düşecektir.



Şekil 1. DSEEP Adımları [7]

3.3. Süreç

Muayene öncesinde, muayene sırasında ve sonrasında yürütülen faaliyetler aşağıda sıralanmıştır:

Muayene Öncesi Faaliyetler

Sözleşme faaliyetleri:

- Talebin değerlendirilmesi, müşteri ile muayene kapsamının belirlenmesi ve sözleşme
- Uzmanlar ile sözleşme

Eğitim faaliyetleri:

- Uzmanların oryantasyonu
- Paydaşlar ile toplantı ve oryantasyon

Destek faaliyetleri:

- Proje ihtiyaçlarının tanımlanması
- Muayene formlarının uyarlanması ve paylaşılması

Muayene Faaliyetleri

Analiz faaliyetleri:

- Muayene ihtiyaç ve risklerinin tanımlanması
- Muayene metotlarının belirlenmesi

Yürütme faaliyetleri:

- Muayene adımlarının gerçekleştirilmesi (7 adımın hepsi veya bir kısmı, farklı zamanlarda)
- Gözden geçirme toplantıları
- Muayene raporunun teslimi

Muayene Sonrası Faaliyetler

Değerlendirme faaliyetleri:

- Süreç ölçümü ve iyileştirme

DGO sürecinde önderlik edecek olan uzman, geliştirme ve DGO sürecinin bütün aşamalarında GMVV'de öne çıkarıldığı şekli ile 'Kullanım amacı' ve hedeflenen sadakat düzeyleri açısından sorgulayıcı olacaktır. Ayrıca onay sürecine temel oluşturacak şekilde kabul kriterleri ayrıştırması ve destekleyen delilleri içeren, proje özelinde hazırlayacağı bir karar ağacı kullanacaktır.

4. SONUÇ

Doğrulama ve Geçerleme, MODSİM projelerinde işletilmesi gereken önemli süreçlerdir. Bu faaliyetlerin, projenin ihtiyaç tanımlama aşamasından sonuna kadar uzman desteğiyle gerçekleştirilmesi ve onayın bağımsız bir kurum tarafından verilmesi ise ürüne ve sürece olan güveni artıracak, proje kabulünü kolaylaştıracaktır.

Bilimin yanlışlamacı yaklaşımına göre bir modelin tümüyle geçerli olduğu değil; ancak geçerli olmadığı kanıtlanabileceğinden, doğrulama ve geçerlemenin amacı karar

vericilerin modele olan güveninin artırılmasıdır [1]. Bu nedenle DGO yapacak birimden ürüne yönelik kusursuzluk vaadi beklememek gerektiği unutulmamalıdır.

5. TEŞEKKÜR

ODTÜ-TSK MODSİMMER DGO süreçlerinin tanımlanması aşamasında büyük emeği geçen Sayın Semra Güleç'e teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKÇA

- [1] Robinson, S., & Brooks, R. J. (2010). Independent verification and validation of an industrial simulation model. *Simulation*, 86(7), 405-416.
- [2] Hatip, A., & Durak, U. Simülasyon Projeleri için Model Doğrulama Geçerleme Pratikleri.
- [3] Kim, J. H., Jeong, S., Oh, S., & Jang, Y. J. (2015). Verification, Validation, and Accreditation (VV&A) Considering Military and Defense Characteristics. *Industrial Engineering & Management Systems*, 14(1), 88-93.
- [4] ODTÜ-TSK MODSİMMER. (2014). Savunma Sanayiinde MODSİM Standartlarının Kullanılmasına Yönelik Öneriler.
- [5] <https://standards.ieee.org/develop/wg/1516.4.html>
- [6] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1516-2010.html>
- [7] <http://ieeexplore.ieee.org/document/5706287/figures>
- [8] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/1730-2010.html>
- [9] Treaty, N. A. Generic Methodology for Verification and Validation (GM-VV) to Support Acceptance of Models, Simulations and Data.
- [10] Sargent, R. G. (2013, December). An introduction to verification and validation of simulation models. In *Simulation Conference (WSC), 2013 Winter* (pp. 321-327). IEEE.

TÜMLEŞİK OYUNCU TAKİP SİSTEMİ

Engin Kavak^(a), Gürhan Çoğumlu^(b), Tekin Aydın^(b), Başar Kasım^(b)

^(a) enkavak@hotmail.com

^(b) Havelsan A.Ş. Mustafa Kemal Mahallesi 2120 Cd No:39 06510 Çankaya
ANKARA, {gcogumlu, taydin, bkasim}@havelsan.com.tr

ÖZ

Meskün mahal muharebe eğitim ve simülasyon sistemlerinde açık alanda yer alan oyuncuların konumları küresel konumlama sistemi (GPS, RTK GPS) başta olmak üzere çeşitli teknolojiler kullanılarak takip edilebilmektedir. Kapalı alan oyuncu takibinde ise yüksek doğruluğa sahip ve güvenilir çözümlerin sayısı çok fazla değildir. Ayrıca mevcut teknolojilerde, oyuncuların (eğitilen kitle – İng. Training Audience) açık alan ve kapalı alan arasında geçiş yapması sırasında konum bilgisinin kesintisiz (İng. seamless) ve tutarlı bir şekilde oluşturulması çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada anlatılan Tümlleşik Oyuncu Takip Sistemi her türlü kapalı, açık ve/veya kesintisiz geçişin uygulanması gerektiği alanlarda kullanılabilecek bir oyuncu takip sistemidir. Açık alanda RTK-GPS ile 1cm hassasiyetine kadar oyuncu takibi sağlanmaktadır. Kapalı alanda zemine önceden döşenmiş ve konumları bilinen RFID-TAG (Radio Frequency IDentification) ve oyuncunun ayağına takılan RFID okuyucular ile oyuncunun konumu tespit edilmektedir. Açık – kapalı alan geçiş bölgelerine (kapı, pencere v.b.) de kesintisiz geçişi sağlamak amacıyla RFID-TAG’ler döşenmiştir. Tüm bu yöntemlerin yanı sıra yine kesintisiz geçişin sağlanabilmesi için TOA (Time of Arrival) yöntemi de meskün mahal muharebe eğitim ve simülasyon sisteminde destekleyici olarak açık – kapalı alan geçişlerinde kullanılmaktadır.

Tümlleşik Oyuncu Takip Sistemi gerçek bir projede uygulanmış olup bu uygulama içerisinde karşılaşılan ve çözülen problemler de çalışma içerisinde özetlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Meskun Mahal Çatışma Simülatörü, Açık Alan Konum Takibi, Kapalı Alan Konum Takibi

UNIFIED PLAYER TRACKING SYSTEM

ABSTRACT

The player locations at the outdoor in Military Operations on Urbanized Terrain (MOUT)^[18] training and simulation systems can be determined by technologies like GPS, RTK GPS, etc.. for outdoor scenarios. However, indoor localization technologies are not enough reliable and sensitive for serving human beings at indoor scenarios. Furthermore, seamless transition between indoor and outdoor locations is appearing a problem to solve for training audience.

The Unified Player Tracking System mentioned in this paper is a system that can be utilized for every indoor, outdoor and seamless transition required scenarios between indoor and outdoor locations. The training audience's location can be determined up to 1cm sensitivity at the outdoor scenarios by RTK-GPS. Player's indoor locations are determined by RFID (Radio Frequency IDentification) tags that previously laid to the ground and enrolled locations. The wearable RFID readers that placed to players' boots read the ID of the tag when the player step on one of the tags on the ground. RFID Technology can be used to provide seamless transition between indoor and outdoor locations like door and window at the buildings in the MOUT area. Furthermore, Time of Arrival (TOA) technology also used to provide seamless transition between indoor and outdoor locations like door and window at the buildings in the MOUT area.

Unified Player Tracking System was implemented in a real project, encountered problems and solutions mentioned in this paper.

Keywords : Military Operations on Urbanized Terrain (MOUT) training simulator, Outdoor localization, Indoor Localization

1. GİRİŞ

Canlı simülasyon olarak uygulanan Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında oyuncuların konumlarının belirlenmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Canlı simülasyonlardaki senaryolarda kapalı alanda oyuncu takibi ve açık – kapalı alan geçişlerindeki kesintisizliğin sağlanması geliştiricilerin karşısına sıklıkla sorun olarak çıkmaktadır. Bu sorunun çözümü için farklı teknolojilerin bir arada kullanılması gerekmektedir.

2. KONUMLAMA SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

Son zamanlarda, (Internet of Things – IoT) yaygınlaşmasıyla, düşük tüketimli küçük bilgisayarlar kullanılarak, bir geniş alan ağ üzerinde çalışan (Low-Power Wide-Area Networks^[2] - LPWAN) tümleşik bir çözüm üretmek farklı alanlarda olduğu gibi konumlama sistemlerinde de kullanılır hale gelmiştir. Buradan yola çıkarak, farklı

haberleşme teknolojilerinin, düşük tüketimli alıcı vericileri kullanarak, açık ve kapalı alanda uygun yerleştirilmiş sensörlerden elde edilen verilerin kullanılmasıyla kesintisiz oyuncu takibi sağlanmaktadır.

Açık alanda kullanılan GPS (Global Positioning System) çözümleri kapalı alanda konumlama amacıyla kullanılacak sistemlere de yol göstermiştir.^[3] Kapalı alanda uyduların görevini donanım olarak, dijital beacon, Bluetooth, WiFi, RFID gibi terminalleri kullanmak oldukça verimli yöntemler olarak görülmektedir.^[4] Ayrıca, bu donanımlardan elde edilen sinyallerin işlenmesiyle ilgili engellilerin yaşam kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalarda EKF (Extended Kalman Filter) kullanılarak kapalı alandaki konum tahmininin doğruluğunu yüksek seviyelere çıkıştır.^[5] Genel olarak konumlama hesaplamalarında, Üçgenleme (Triangulation), Yakınlık (Proximity), Görünüm analizi (Scene analysis) gibi yöntemler bilindik hesaplama yöntemlerindendir.

Bu bilgiler ışığında, Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında oyuncuların konumlarının belirlenmesi için açık alan uygulamalarında RTK-GPS (RTK : Real Time Kinematic), kapalı alana yakın bölge ve kapalı alan uygulamalarında RFID (Radio Frequency IDentification), açık alana yakın bölge ve açık alan uygulamalarında ise, TOA (Time Of Arrival) kullanılmıştır. Tablo 1’de Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında kullanılabilirliği incelenen ticari olarak konumlama sistemlerinden bazılarına doğruluğu, kullanılabildiği ağ yapısıyla birlikte yer verilmiştir.

Burada WhereNet, RFID etiketlerinin yerleştirildiği hareket ettirilebilir cisimler veya insan üzerindeki etiketlerin önceden konumları bir veritabanına kayıt edilmiş RFID okuyucular tarafından okunması ile takip yapılmaktadır.

RADAR, EKHAU ve COMPASS mevcut kablosuz haberleşme alt yapısını kullanmakta ancak RADAR üçgenleme yaparak, EKAHAU alıcıda ölçülen sinyal gücü (RSSI: Received Signal Strength Indication) kullanılarak, COMPASS’ta ise ayrıca bir manyetometre kullanılarak sistem farklılaştırılmaktadır.

Tablo 1 Konumlama Sistemleri ^[1]

Sistem	Haberleşme	Doğruluk	Teknoloji	Genel Değerlendirme (A: Avantaj; D:Dezavantaj)
WhereNet	RFID	2m'den 3m'ye	TDOA	A: Herbir ekipman ve kişiyi ayrı olarak tanıyabilir. D: Çok fazla altyapı bileşenine ihtiyaç duyar.
RADAR	WLAN	312m ² 'nin içinde 2,26m	Üçgenleme	A: Mevcut WLAN altyapısını kullanır. D: Düşük doğruluk ve güvenlik seviyesi.
EKAHAU	WLAN	1m	RSSI	A: Düşük maliyet ve düşük enerji tüketimi. D: Düşük doğruluk seviyesi ve sadece 2B konum.
COMPASS	WLAN	312m ² 'nin dışında 1,65m	Parmak İzi	A: Yönelim bilgisini değerlendirmektedir. D: Sadece tek kullanıcı için ele alınmaktadır.
Ubisense	UWB	Onlarca santimetre	TDOA, AOA	A: LOS gerektirmez, büyük kapsama alanı, 3B konum, yüksek hassasiyet. D: Yüksek maliyet.
Active Badge	Kızıl ötesi	Oda seviyesi	UD	A: Adres gizliliği. D: Düşük hassasiyet.
Firefly	Kızıl ötesi	3.0mm	UD	A: Yüksek seviyede doğruluk, düşük ölçüm gecikmesi 3ms D: Etiketleri bağlamak için kablo kullanılıyor ve kapsama alanı 7m ² ile sınırlı
OPTOTRAK	Kızıl ötesi	0,1mm'den 0.5mm'ye	UD	A: Yüksek seviyede doğruluk; bir nesnenin farklı parçalarının görelî hareketlerini ölçebilme D: LOS (Line Of Sight) ile sınırlanmıştır.
Sonitor	Ultrason	Oda seviyesi	UD	A: Enerji verimliliği D: Düşük seviyede doğruluk

IRIS_LPS	Kızıl ötesi	100m ² 'nin içinde 16cm	Üçgenleme	A: Geniş kapsama alanı D: Fluoresant ve güneş ışığıyla enterferans
Active Bat	Ultrason	1000 m ² 'nin içinde 3cm		A: Geniş kapsama alanı, 3B konum D: Cisimlerden yansıma, tavana çok sayıda verici yerleştirilmesi
Cricket	Ultrason, RF	10cm	TOA, Üçgenleme	A: Adres gizliliği, düşük maliyet, merkezi olmayan yönetim D: Yüksek enerji tüketimi

Kızıl ötesi çözümleri olan Active Badge, Firefly, OPTOTRAK ve IRIS_LPS benzeri çözümler daha önce meskün mahal çözümlerinde denenmiş ve tabloda da belirtilen dezavantajları nedeniyle (LOS ihtiyacı, dar kapsama alanı, enterferans v.b) başarıya ulaşamamıştır.

Ultrason çözümleri olan Sonitor, Active Bat ve Cricket ise Maliyet, enerji tüketimi, altyapı gereksinimleri, yansımalar karşı zaafiyetler nedeniyle bu projede uygulanamaz bulunmuşlardır.

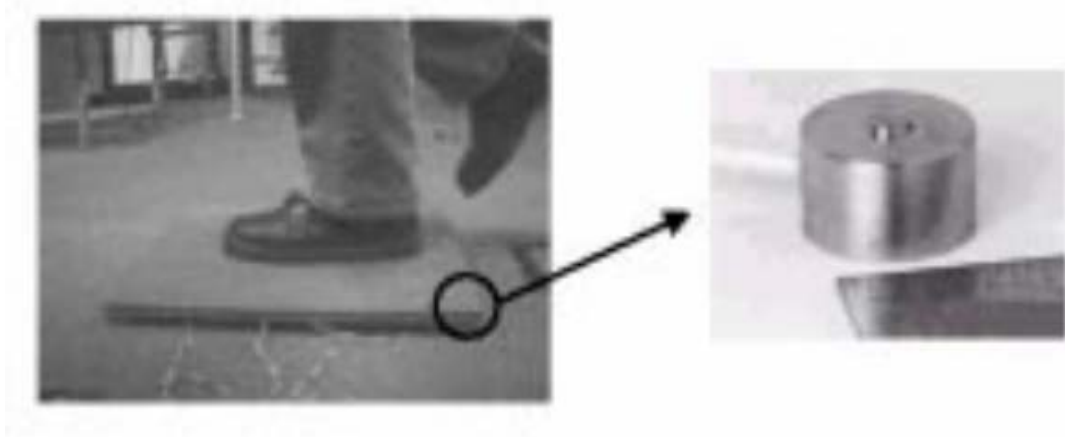
Kapalı alan uygulamalarında basit ve kolaylıkla uygulanabilir bir çözüm geliştirmek ve kapalı – açık alan geçişlerini kesintisiz sağlayabilmek üzerine çalışma yapılarak ve bu zamana kadar yapılmış çalışmalardan esinlenerek özgün bir meskün mahal çözümü üzerine çalışmalar bu uygulama kapsamında ele alınmıştır.

2.1. AÇIK ALAN UYGULAMALARI (RTK-GPS)

Açık alan uygulamalarında RTK-GPS'ler harita alanında sıklıkla kullanılmaktadır.^[15] Temelde RTK-GPS belli bir referans noktasında GPS sinyallerinin alınma şekline göre oluşan hatanın bilinerek diğer GPS cihazlarına bu hataların doğrulama değişkenleri olarak bir (Industrial Scientific Medical - ISM) bandından gönderilmesiyle santimetre hassasiyetinde doğruluğa yaklaşımlarını sağlayan bir teknolojidir.

2.2. KAPALI ALANA YAKIN, AÇIK VE KAPALI ALAN UYGULAMALARI (RFID)

Kapalı alanda pozisyon elde etmek için yapılmış çalışmalar uzun zamandır oldukça fazla ve büyük bütçeli çalışmalar olarak devam etmektedir. Bu alanda bilinen en eski çalışma 2000'li yılların başlarında yapılan, üzerinde durulan bölgedeki yük bilgisinden, ayak basma profili çıkarılmasıdır.



Şekil 1 Ground Reaction Force (GRF) ile konum tespiti[10]

Bazı uygulamalarda, oyuncunun sadece konumunun değil, yöneliminin (orientation) de elde edilmesi gerektiği durumlarda bu çalışmalar oldukça faydalı olmaktadır.^[11] Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında oyuncuların yöneliminin belirlenmesi eğitim konseptinde çok önemli olarak görülmediğinden^[12] yönelim, bu çalışma kapsamında göz ardı edilmiştir ancak yere ölçüm amaçlı bir şeylerin yerleştirilmesi fikri bu araştırmada bize ışık tutmuştur.

Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında oyuncuların konumlarının belirlenmesi için bu uygulamada yere RFID etiketler önceden yerleştirilmiş ve her ayakkabıya kolayca monte edilebilen okuyucular kullanılmıştır.

2.3. AÇIK ALANA YAKIN, AÇIK VE KAPALI ALAN UYGULAMALARI (TOA)

2000’li yılların sonlarına gelindiğinde ise belli bir frekanstaki radyo dalgasının, ulaştırılan yerdeki genliğinden (Angle of Arrival : AOA) veya ulaşma süresinden (TOA Time Of Arrival) yararlanılarak, konumlar arasındaki farklılıkların tespiti ile ilk bu teknoloji kullanarak konumlama sistemleri çalıştırılmaya başlanmıştır.^[13] Günümüzde hala TOA ve AOA’nın konumlama sistemlerinde kullanılabilirliğinin tartışılıyor olmasıyla birlikte^[14], TOA’nın ticari olarak erişilebilir teknolojiler arasında olması Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında kullanılmasına olanak sağlamıştır.

2.4. KONUMLAMA YÖNTEMLERİNİN BİRLİKTE KULLANIMI VE KONUMLAMA SİSTEMİ SEÇİM ÖNCELİĞİ

Oyuncu’nun açık alandan kapalı alana girmesi durumunda konumlama sistemlerinden RTK-GPS ve/veya TOA öncelikle aktif olmaktadır. Seçim önceliğimiz eğer varsa TOA yoksa RTK-GPS şeklinde olmaktadır. RFID konumlama sisteminden veri gelmesi durumunda öncelik RFID konumlama sistemine geçmektedir. Öncelik zamana bağlı

olarak azalmaktadır. RFID konumlama sisteminden veri geldikten sonra TOA, RTK-GPS sistemlerinin birisinden farklı bir veri gelmesi durumunda öncelik tekrar RFID konumlama sisteminden çıkmaktadır.

Oyuncunun kapalı alandan açık alana girmesi durumunda buna benzer durumlarla karşılaşmaktadır. RFID sisteminin yer değiştirmeyi algılaması ile birlikte oyuncunun RFID etiketi olmayan bir noktaya gitmesi veya ayakkabıdaki okuyucunun etiketi okuyamaması durumunda yeni konumun TOA veya RTK-GPS konumlama sistemlerinden daha güncel olarak alınıyor olması takibi kolaylaştırmaktadır.

Buraya kadar söz edilen konumlama sistemlerinin birlikte kullanılmasıyla Meskûn mahal muharebe simülasyonlarında takip ve kesintisiz geçiş sağlanabilmektedir.

3. KONUMLAMA SİSTEMLERİNİN TAKİP SİSTEMİ OLARAK KULLANIMI

Bu çalışmanın önemli bir kısmı, konum bilgisi elde etmeye yarayan ürünler olan (LBS : Location Based Services^[7]) konumlama sistemlerinin, oyuncu takibi için kullanılmasında, oyuncunun izlediği yolun doğru olarak gösterilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır.^[8] Bu alanda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, izlenen yolun belirlenmesinde birden fazla sensörden veri alınarak entegre edilmesi doğruluğu artırmaktadır.^[9]

4. SONUÇ

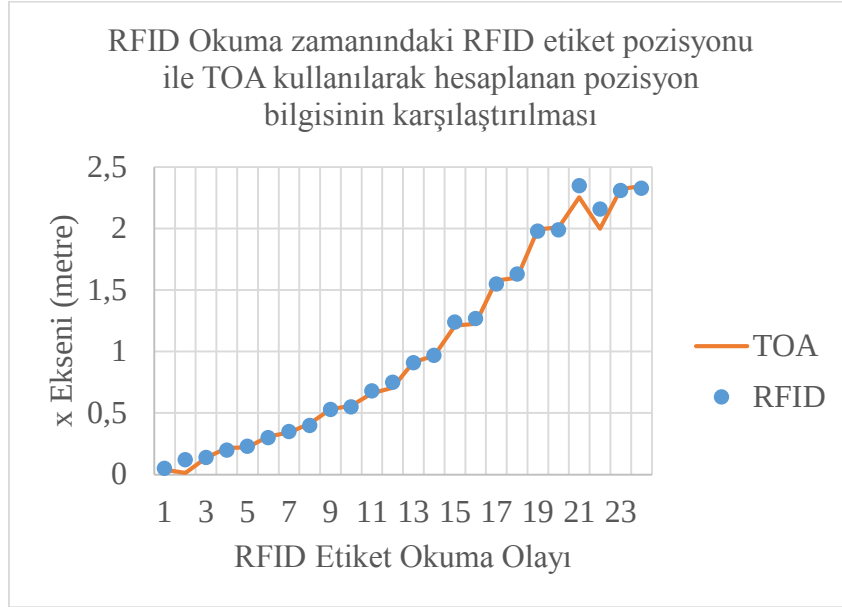
Öncelikle maliyet etkin bir çözüm projenin önemli bileşenlerinden birisi olduğu için ölçüm yapacak bileşenin (GRF veya RFID okuyucu) yere döşendiği ve kablolu yapıldığı sistemler göz ardı edilmiştir. RFID etiketlerin tek tek yerlere yerleştirilmesi ve ID'lerinin kayıt altına alınması baştan fazladan iş yükü getirmektedir; ancak daha sonrasında kapalı alanda kullanılan RFID etiketlerinin belli bir düzende (5 X 6 formunda) 30'ar adetlik parçalar halinde üretilmesi ve üretilen bloktaki etiketlerin numaralarının üretim aşamasında kaydedilmesi sonucu etiketlerin veritabanı kolaylıkla oluşturulmuştur.

RFID etiketlerin yerleştirilme sıklığı değiştirilerek sistemin doğruluk seviyesi değiştirilebilmektedir. Bu uygulamada kapalı alanın farklı yerlerinde RFID etiketler 5cm..8cm arasında değişen aralıklarla yere döşenmiştir. Kapalı alan çözümünde yere döşenerek kullanılan RFID etiketlerin numaraları oyuncunun ayağındaki okuyucu ile okunduğu için buradaki pozisyon ölçüm hatamız teorik olarak döşeme sıklığına göre en fazla 5cm..8cm olmaktadır.

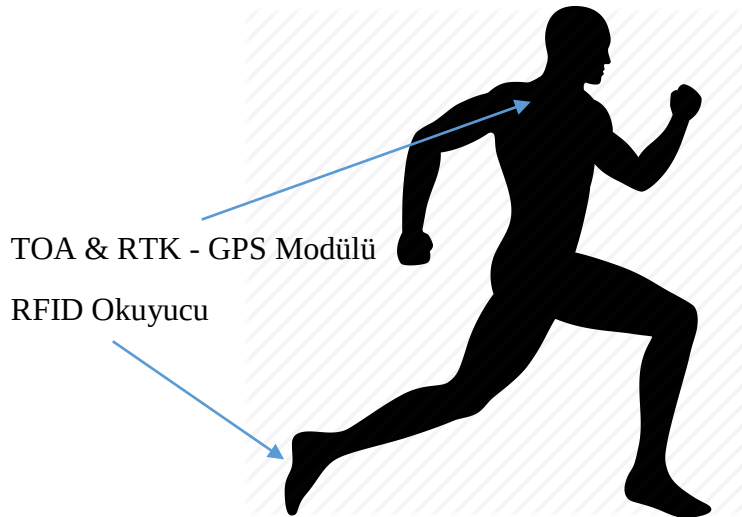
Açık kapalı alan geçişlerinde TOA kullanımıyla RFID etiketi döşenmiş bölgenin dışında ve açık alanda kalan oyuncuların GPS sinyallerinin istenen seviyeye gelmediği durumlarda kesintisiz oyuncu takibi sağlanmıştır.

Aşağıdaki grafiklerde x Ekseninde karşılaştırılmış TOA ve RFID verilerinin grafikleri yer almaktadır.

Çizelge 1. RFID Okuma zamanındaki RFID etiket pozisyonu ile TOA kullanılarak hesaplanan pozisyon bilgisinin karşılaştırılması

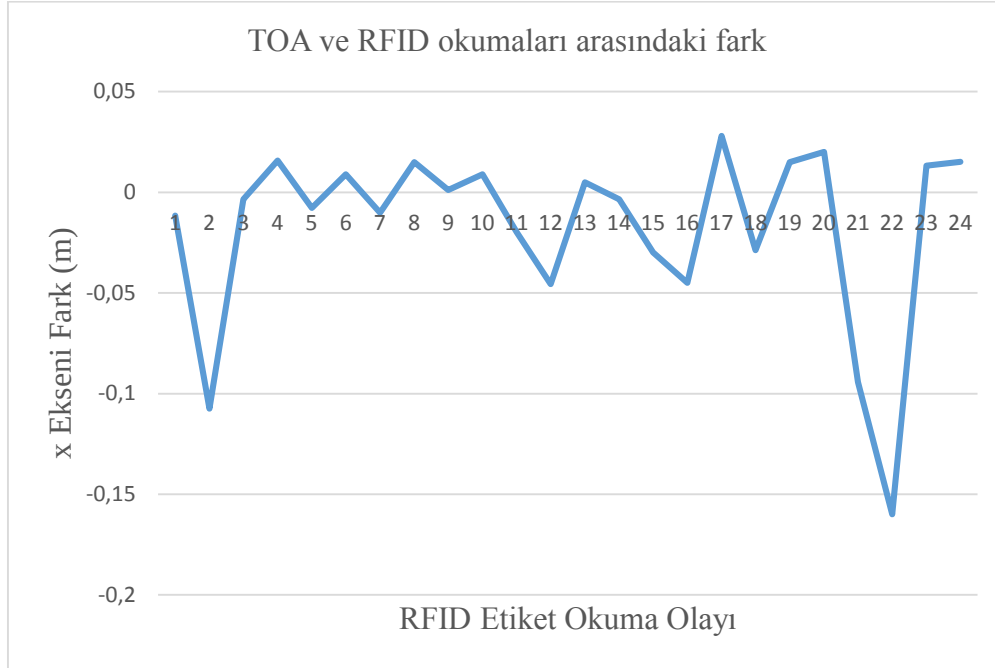


Oyuncunun hızlı hareket ettiği durumlarda TOA ve RFID okumaları arasındaki hatanın büyüyerek 15cm'lere geldiği gözlenmiştir. Buradaki farkın kaynağı, ayaktaki okuyucu ile yerden okunan etiketlerin numaralarının x eksenindeki konumu ile oyuncunun gövdesinde bulunan TOA modülünün x eksenindeki konumu arasındaki fark olabileceği değerlendirilmektedir.



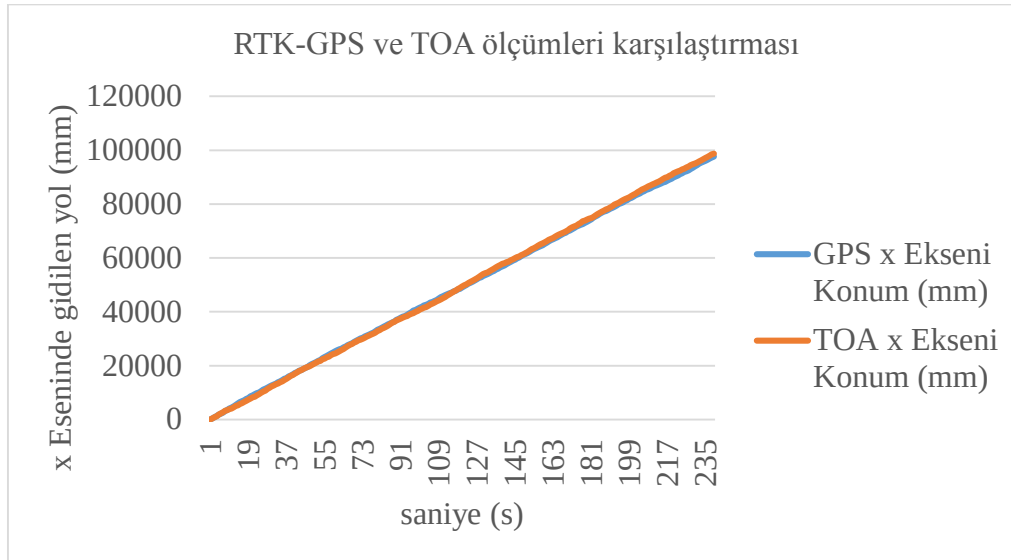
Şekil 2. Oyuncu üzerindeki RFID okuyucu ve TOA modüllerinin konumları

Oyuncunun hızlı hareket etmediği durumlarda ise hata 5cm'in üzerinde olmamaktadır.

Çizelge 2. TOA ve RFID Okumaları Arasındaki Fark

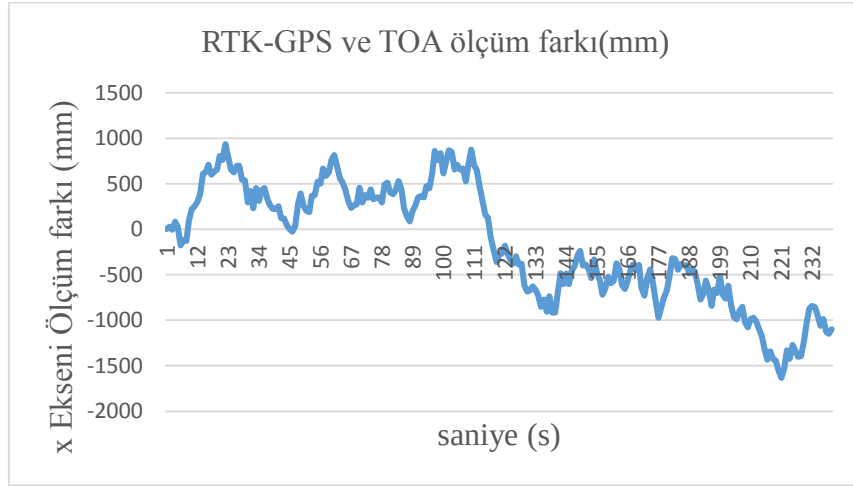
Bu sonuç bize göstermiştir ki TOA ve RFID kullanıldığında bileşke hata 15cm'nin üzerinde olmamaktadır.

Bir diğer ölçüm kıyaslaması da RTK-GPS ve TOA arasında yapılmıştır. Burada oyuncunun sabit bir hızla yürümesi istenmiştir.

Çizelge 3. RTK-GPS ve TOA ölçümleri karşılaştırması

Oyuncu x Ekseninde yaklaşık 4dk içerisinde 100m yol giderken alınan ölçümler yukarıdaki çizelgede gözlenmektedir. Aşağıdaki çizelgede ise RTK-GPS ve TOA ile alınan ölçümler arasındaki farkın üç adet TOA Anchor'larının arasında daha düşük olduğu bu nedenle de 1,5m'lere varan hatanın TOA Anchor üçgeninden uzaklaşma durumunda oluştuğunu gözlemlemekteyiz.

Çizelge 4. RTK-GPS ve TOA ölçüm farkı(mm)



Elde edilen sonuçlar, bize meskün mahal simülasyonlarında oyuncu takibi için kapalı alanda RFID, kapalı açık alan geçişlerinin kapalı alana yakın kısımlarında RTK-GPS alıcısı uydularla arasındaki bağlantıyı kurana kadar TOA ve RFID'nin birlikte kullanımı, kapalı alana uzak kısımlarında ise RTK-GPS alıcısı uydularla arasındaki bağlantıyı kurduktan sonra da TOA ve RTK-GPS kullanımının uygun olduğu kararlaştırılmıştır.

Sistemin bu şekilde kullanım doğruluğunun tatmin edici seviyede olması ve tahmin algoritmalarının hata bileşenlerinin sistemin hatası üzerindeki etkisinin analizinin ayrıca bir iş yükü doğuracağı düşüncesiyle bu uygulama için EKF v.b. tahmin yöntemlerinin kullanılmasının gerekmediği yönünde karar alınmasına neden olmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, iki yıl boyunca değerli bilgilerini bizlerle paylaşan, kullandığı her kelimenin hayatımıza kattığı önemini asla unutmayacağımız saygıdeğer alan uzmanlarımıza, çalışmalarımız boyunca bizlerden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarımız ve teknisyenlerimiz Hüseyin ŞAHİNER ve Ramazan AZİZ'e ve çalışma süresince tüm zorlukları bizlerle birlikte göğüsleyen ve hayatımızın her evresinde bize destek olan değerli ailelerimize sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKÇA

- [1] Zhang D., Xia F., Yang Z., Yao L., Zhao W. (2010), Localization Technologies for Indoor Human Tracking, Future Information Technology (FutureTech), 2010 5th International Conference, (Busan, South Korea)
- [2] Henriksson R, (2016), Indoor positioning in LoRaWAN networks, Master's thesis 2016:45, Department of Signals and System Chalmers University Of Technology (Göteborg, Sweden)
- [3] Kaemarungsi K. (2005), Design Of Indoor Positioning Systems Based On Location Fingerprinting Technique, PhD Thesis, (University of Pittsburgh, USA)
- [4] Werner M. (2014), Indoor Location-Based Services, Springer, (Germany) 73-99
- [5] Goyal, P., Ribeiro, V., Saran, H., Kumar, A. (2011), Strap-down pedestrian dead-reckoning system, *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. (IEEE, New York)
- [6] Hightower, J., Borriello, G. (2001), Location systems for ubiquitous computing. Computer 34(8), (University of Washington USA) 57–66
- [7] Küpper, A.(2005), Location-Based Services: Fundamentals and Operation. Wiley, New York (USA)
- [8] Huang, H., Gartner, G.: A survey of mobile indoor navigation systems. In: Cartography in Central and Eastern Europe, pp. 305–319. Springer, (Berlin/Heidelberg Germany)
- [9] Rizos, C., Roberts, G., Barnes, J., Gambale, N. (2010), Locata: a new high accuracy indoor positioning system. *Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation* (USA)
- [10] Orr, R., Abowd, G. (2000), The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking. *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, New York (USA)
- [11] Storms, W., Shockley, J., Raquet, J. (2010), Magnetic field navigation in an indoor environment. *Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation, and Location Based Service*. IEEE, New York (USA)
- [12] U.S. Marine Corps (1998), Military Operations on Urbanized Terrain (MOUT) (USA)
- [13] Super-Resolution Time of Arrival for Indoor Localization (2008), *Communications, 2008. ICC '08. IEEE International Conference IEEE*, Beijing (China)
- [14] Zhaounia M.,Adnan Landolsi M., Bouallegue R. (2010) Hybrid TOA/AOA Approximate Maximum Likelihood Mobile Localization Journal of Electrical and Computer Engineering (Saudi Arabia)
- [15] Kizil U.,Tisor L., (2010) Evaluation of RTK-GPS and Total Station for applications in land surveying, Çanakkale (TÜRKİYE)

COĞRAFİ DURUM SERGİLEMEDE ÇOKLU DOKUNMATİK EKRAN KULLANIMI

İsmail Kılınç ^(a), Ziya Ulusoy ^(b)

^(a) Havelsan A.Ş., Mustafa Kemal Mah. 2120 Cad. No:39,

{ikilinc, zulusoy}@havelsan.com.tr

ÖZ

Coğrafi Durum Sergileme komuta kontrol sistemlerinde operatörlerin durum farkındalığını sağlamak ve görev icra etmek için kullandığı çeşitli donanımlar üzerinde çalışan ve temelde harita ve kullanıcı arayüzlerini içeren uygulamalar bütünü olarak değerlendirilebilir. Genellikle coğrafi durum sergileme sistemlerinde kullanıcı etkileşimleri fare, klavye, monitör, joystick gibi girdi çıktı cihazları, bazen de tek dokunma algılaması olan ekranlar vasıtası ile yapılmaktadır. Bununla birlikte dokunmatik ekranlar telefon, tablet gibi cihazlarla birlikte popülerleşmiştir. Özellikle harita uygulamalarının kullanımında ve kullanıcı etkileşiminde çoklu dokunmatik ekranların kullanımı uygulamaların daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır. Komuta kontrol sistemlerinde sistem ve yazılım çözümleri üreten HAVELSAN içerisinde çoklu dokunmatik ekranın coğrafi durum sergileme ekranlarında kullanımına yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen uygulamada çoklu dokunmatik ekran destekleyen bir harita ile birlikte kullanıcının gerçekleştireceği aksiyonları yönetmesi için de kolay kullanımlı bir durumsal menü altyapısı oluşturulmuştur. Bu bildiride coğrafi durum sergilemeye ilişkin çoklu dokunmatik ekran kullanımına yönelik araştırmalar ile birlikte HAVELSAN özelinde yapılan geliştirme çalışmaları anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Dokunmatik Ekran, Harita, Komuta Kontrol, Kullanıcı Etkileşimi, Coğrafi Durum Sergileme

MULTITOUCH DISPLAY USAGE IN GEOGRAPHICAL SITUATION DISPLAY

ABSTRACT

Geographical Situation Display is a group of application that run on various hardware and provides situational awareness in command and control systems to accomplish

missions. Mouse, keyboard, monitor, joystick and single touch monitor like I/O devices are used generally in geographical situation display to interact with operator. However multitouch devices such as phones and thablets are popularized and widely used in daily life. Multitouch provides easy and effective usage especially in geographical map applications. HAVELSAN provides command and control system and software solutions and has a research on multitouch technologies in situation display. A multitouch framework is developed which includes a multitouch supporting geographical map and a user friendly context menu to manage operator actions by this research. This work contains research about multitouch technology usage in geographical situation display and summary of HAVELSAN multitouch application development efforts.

Keywords: Multitouch Screen, Map, Command&Control, Operator Interaction, Geographical Situation Display

1. GİRİŞ

Çoklu dokunma teknolojisi ile bir yüzeye birden fazla noktadan dokunularak bir donanım ve işletim sistemi üzerinde çalışan yazılım uygulamalarına girdi sağlanabilmektedir. İlk dokunmatik ekranlar 1972, çoklu dokunmatik ekranlar ise 1981 yılında yapılmaya başlanmıştır [1]. iPhone telefonunun çıkması ile çoklu dokunma popülerlik kazanmış ve telefon ve tabletlerde bir çığır açmıştır. Telefon ve tabletlerin yaygınlaşmasıyla özellikle yakınlaştırma/uzaklaştırma jestleri (gesture) beğeni kazanmış ve standart bir kullanım şekline dönüşmüştür. İlk çıktığında daha fazla işlem gücü, kamera çözünürlüğü ve işlevsellik sunan rakipleri olmasına rağmen, sık kullanılan fonksiyonların çoklu dokunmatik ekranla ve jestlerle yapılması bu akıllı telefonun başarısında önemli bir etken olmuştur [2].

Coğrafi durum sergileme yazılımları komuta kontrol sistemlerinde durum farkındalığı sağlamak ve karar destek fonksiyonlarını gerçekleştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu amacı gerçekleştirmek için çeşitli algılayıcılardan veya iletişim kanallarından alınan gerçek ortama ilişkin bilgiler doğrudan veya işlenerek savaş yönetim sistemlerindeki konsollarda, bir harita üzerinde semboller, grafikler ve yardımcı kullanıcı arayüzleri ile gösterilmekte ve operatöre ayrıntılı veya genel bilgiye ulaşmak için etkileşim imkanı sunulmaktadır [3]. Coğrafi durum sergileme uygulamalarının bir kısmı yatay veya hafif eğimli bir masa üzerinde yer alan dokunmatik ekran aracılığı ile de yapılabilmektedir. Bununla birlikte tek parça uçak kokpiti geliştirmeye yönelik yapılan çalışmalarda ve ATC (Air Traffic Control) çözümlerinde de coğrafi durum sergilemeye ilişkin daha farklı ergonomilerde dokunmatik ekran kullanımı söz konusu olabilmektedir.

Çoklu dokunmatik ekran uygulamalarının işleyişi ve ergonomisi klasik pencere, fare, klavye uygulamalarından farklılık göstermektedir. Fare kullanımında aynı anda tek bir girdi cihazı kullanılabilmektedir. Çoklu dokunmatik ekranda ise birden fazla

kullanıcının aynı ekran üzerinde veya bir kullanıcının birden fazla dokunma noktasını kullanarak işlem yapması mümkündür. Fare kullanımında hassasiyet daha yoğun, dokunma kullanımında ise hassasiyet daha düşüktür. Bu nedenlerden dolayı çoklu dokunmatik ekran tasarımı kullanıcı arayüzlerinin fare kullanımından farklı olarak düşünülmesi ve tasarlanması gerekmektedir. Uygun bir tasarımla çoklu dokunmatik ekran kullanan uygulamaların fare kullanan uygulamalara göre dezavantajları azaltılabilir. Bununla birlikte aynı anda birden fazla noktadan etkileşim yapabilmenin hem çoklu kullanımda hem de jest tanımlamada avantajları bulunmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalarda seçim işlemlerinin dokunmatik ekran ve iki parmak kullanılarak yapılmasının fare ile seçim yapılmasına göre % 83 daha avantajlı olduğu görülmüştür [4].

Dokunmatik ekran teknolojisinin çıkması ile birlikte durum sergilemeye ilişkin çeşitli çalışmalar da başlamış ve çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Devam eden bölümde çoklu dokunmatik ekran ile durum sergilemeyle ilişkili öne çıkan çalışmalar ve sistemler, sonraki bölümde durum sergilemede çoklu dokunma ile harita kullanımı, önemli bir etkileşim imkanı sağlayan durumsal menü, izleyen bölümde HAVELSAN'da geliştirilen çoklu dokunmatik durum sergileme uygulaması yazılım mimarisi anlatılmakta, sonuç bölümünde genel bir değerlendirme yapılmaktadır.

2. DURUM SERGİLEME İLE İLİŞKİLİ SİSTEMLER

Yeni nesil uçak kokpiti ekranlarının tasarlanmasına ilişkin yürütülen ve 2009 yılında başlayan ODICIS projesinde yedi Avrupa ülkesinin katılımı ile otuz aylık bir süreç sonunda konsept bir tasarım ortaya çıkarılmıştır. Thales firmasının da katıldığı bu çalışma ile geleceğin uçak kokpit ekranlarında dokunmatik ekran kullanımına yönelik araştırmalar yapılmıştır [5, 6]. Devamında yapılan geliştirmeler sonucu Thales 2020 yılında ürün olarak helikopterlere onulmak üzere dokunmatik ekranlı avyonik cihazlar geliştirmeyi planlanmaktadır [7]. Benzer şekilde 2030 yılının kokpitini tasarlayan firma dokunmatik ekranla birlikte jest, haptik geri besleme, biyosensör kullanımında esas alan bir tasarım anlayışıyla çalışmalarını sürdürmektedir [8]. Rockwell Collins firması ise Pro Line Fusion ürünü ile endüstride kullanılan ilk dokunmatik ekran destekli kokpit ekranlarını mevcut uçakların modernizasyonunda kullanmak üzere ürün haline getirmiştir [9].



Şekil 1. Kokpit kullanımı, ODICIS, Pro Line Fusion, Avionics 2020

Dokunmatik ekranlar görmeden etkileşim gerektiren, vibrasyon ve ivmeli ortamlar için dezavantajlı olabilmektedir. Dokunmatik ekranlarda görsel odaklanma gerekirken, fiziksel kontrollerde ise gerekmemektedir. Bu nedenle kokpit kullanımında öncelikle kritik olmayan sistemler dijitalleştirilmekte ve dokunmatik ekran kullanımına geçilmektedir. Bununla birlikte fiziksel kontrollü cihazlar ile dokunmatik ekranlar arasındaki boşluğu dokunma hissiyatı veren (tangible) etkileşim teknolojileri doldurabilir [10]. Günümüzde uçak kokpitlerinde dokunmatik ekran teknolojileri mevcut enstrüman panellerinin yerini almaktadır ve gelecekte bu durum daha da yaygınlaşacaktır. Kokpit tasarımının bu şekilde yapılması kokpit maliyetlerini de düşürmektedir [11].



Şekil 2. Hava Trafik Kontrolü (ATC) Örnekleri, INDRA, Triconrol

Hava trafik kontrol sistemlerinde de dokunmatik ekran kullanımı örnekleri bulunmakta ve yaygınlaşmaktadır [12]. ATC’de çoklu dokunmatik ekran kullanımına yönelik yapılan çalışmalarda fare kullanımına göre daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir [13]. Triconrol ATC [14] gözle takip, çoklu dokunmatik ekran ve ses tanıma komutlarını girdi olarak kullanan sistem olup belirli bir öğrenme süresinden sonra sezgisel, hızlı ve direkt bir etkileşim sunmaktadır.



Şekil 3. Masaüstü kullanım örnekleri,
Command and Control Multitouch Enabled Table (COMET), Geolens

Komuta kontrol sistemlerinde masaüstü çoklu dokunmatik ekran kullanımı askeri sistemlerdeki kum sandığı modeline yakın bir kullanım sumaktadır. Fare kullanımı için tasarlanmış uygulamaların masaüstü çoklu dokunmatik ekran kullanımında direkt kullanılması durumunda tek kişinin kullanımı için başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir, bununla birlikte çok kişinin kullanımı durumunda kullanım karmaşası yaşanmakta, bu nedenle çoklu kullanıma özgün kullanıcı arayüzleri geliştirmek kaçınılmaz olmaktadır [15].

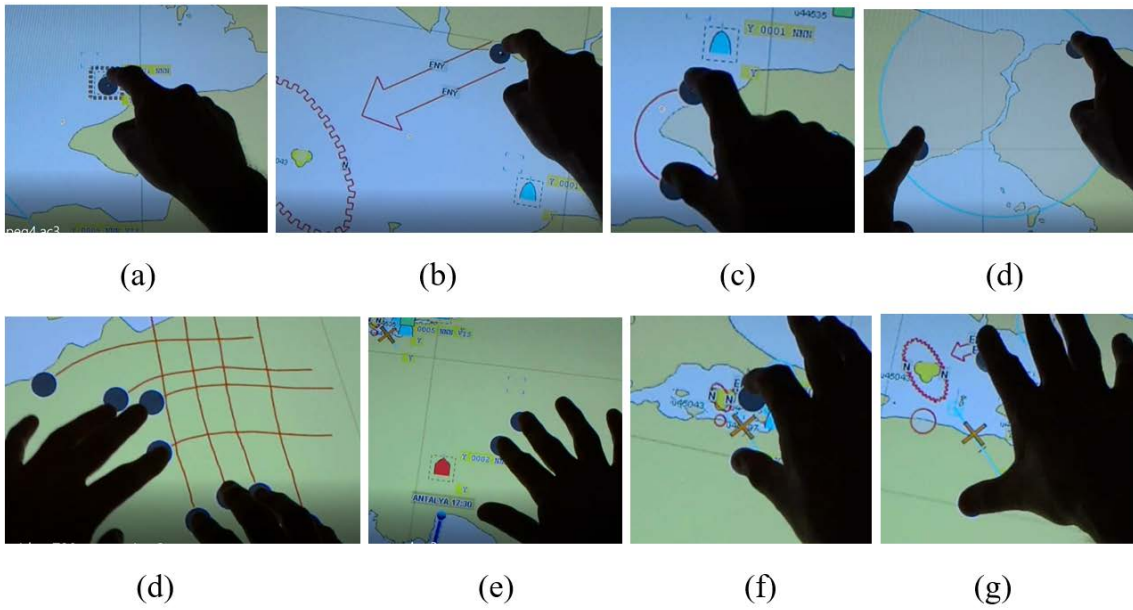
Masa şeklinde durumsal farkındalık ekranı ilk olarak Kanada Silahlı Kuvvetleri data link sistemi (ADLIPS) ile olmuştur [16]. Diğer kullanım örneklerinden farklı olarak masaüstü çoklu dokunmatik ekran kullanımı birden fazla kullanıcının aynı resmi paylaşmasını hedeflemektedir. Böylesi bir kullanım masaüstü alanın sahipliği ve kullanıcı arayüzlerinin oryantasyonu problemlerini de tartışmaya açmaktadır. Birden fazla kişinin kullanımında masaüstü ekranda kişiye yakın bölgeler kişisel alan olup kişiye göre oryantasyonu uygun olmaktadır. Gruba yönelik alan ise gruba doğru dönük olması masaüstü kullanımda esastır [17].

Birden fazla kullanıcının masa ile etkileşimde bulunmasını sağlamak için kullanıcılar için ekran içerisinde belirli alanları kişisel alan olarak tanımlamaktır. Geolens çözümünde bütün ekran ortak olarak kullanılmakta, her bir kullanıcı ise kendine ait dairesel bir alan belirleyebilmektedir [18]. Yapılan başka bir çalışmada masaüstü kullanımda bir kişinin ortak masayı yöneten kişi olması gerektiği, herkesin aynı anda dokunmaması ve masanın açılı ve kullanıcıların hep aynı tarafta olması gerektiği önerilmektedir [19]. Thales ürünü TableC2 Geolens kullanarak masaüstü bir çoklu dokunmatik ekran ürünü geliştirmiştir. Bu ürün ayrıca tablet ve akıllı telefonlarla birlikte de çalışabilmektedir [20].

Çoklu dokunmatik ekran kullanımının deniz platformu simülasyon/eğitim sistemlerinde [21], insansız hava aracı yer kontrol merkezlerinde [22] ve kriz yönetimi merkezlerinde de kullanımına ilişkin örnekler mevcuttur [23]. HAVELSAN'ın görev bilgisayarı yazılımlarını geliştirilmiş olduğu MELTEM deniz karakol uçağında da tekli dokunmatik ekranlar vasıtası ile kullanıcının istediği fonksiyonlara hızlı ve etkin bir şekilde ulaşması sağlanmaktadır.

3. HARİTA KULLANIMI VE DURUMSAL MENÜ

Harita kullanımında fareyle direkt olarak yapılan işlemler; seçim ve düzenleme işlemleri, kaydırma işlemleri ve harita yakınlaştırma/uzaklaştırma/döndürme işlemleri olarak üç ana grupta incelenebilir. Bu üç işlem için farenin değişik durumları kullanılarak işlem yapılması mümkündür. Böylesi bir kullanımda kullanıcı bir durumdan diğerine araç çubuğunu kullanarak geçmektedir. Alternatif olarak farenin sağ tuşu, orta tuşu veya döndürme (scroll) tuşları da harita işlemlerini yapmak için kullanılabilir. Ancak sağ tuşa bir işlev konulması durumunda durumsal menü açılması mümkün olmamaktadır.



Şekil 4. Çoklu dokunma ile yapılan işlemler, (a) seçim, (b, c, d) çizim, (e) kaydırma, (f, g) büyütme/küçültme

Çoklu dokunmatik ekranda herhangi bir durum değişikliği yapılmadan tüm bu işlemlerin yapılması için çeşitli jestler kullanılabilir. Yapılan gerçeğe tek elle dokunma işlemi seçim için, iki parmak eşit uzaklıkta basılı olması veya üç/dört parmak basılması kaydırma için iki parmak basılı iken birbirinden uzaklaştırılması [24] veya döndürülmesi [25] ise yakınlaştırma/döndürme işlemleri için kullanılarak daha kolay bir kullanım sağlanmıştır. Bununla birlikte yeni şekil çizme için bir durumsal menü vasıtasıyla kullanıcının çizim durumuna geçmesi gerekmektedir.

Fare ile kullanımda durumsal menü seçili bir nesne veya boş bir alan üzerinde bir fonksiyona çabuk ulaşmayı sağlamak ve kullanıcının fareyi uzak bir yere götürmeden işlem yapmasını sağlamaktadır. Standard fare kullanımlı uygulamalarda durumsal menü alt alta sıralanan kutular şeklinde gösterilmekte ve kullanılmaktadır. Bununla birlikte dokunmatik ekranda kullanmak için dairesel formda menülerin kullanılması daha rahat bir kullanım sağlamaktadır [26].



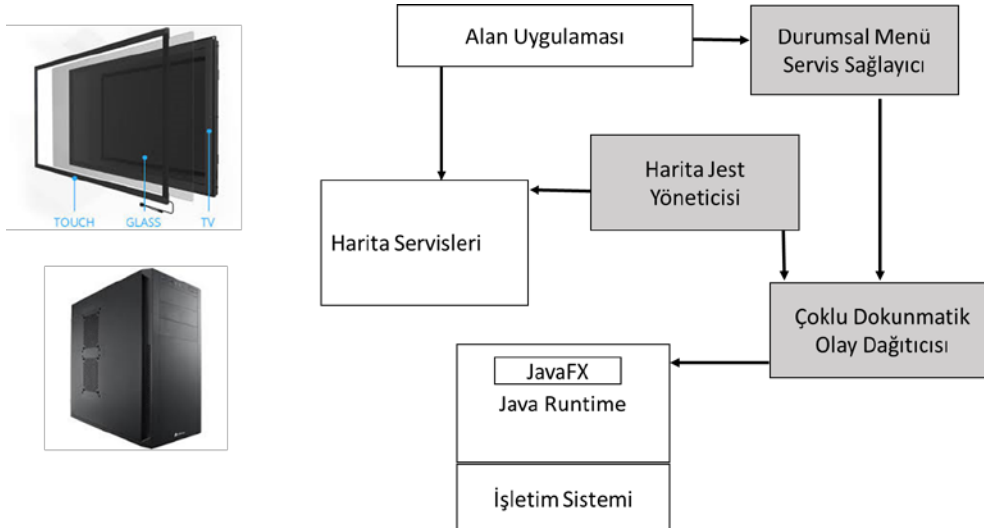
(a)

(b)

Şekil 5. (a) Standard durumsal menü (b) Dairesel durumsal menü

Bu kapsamda geliştirilen durumsal menü belirli bir yere tek parmakla uzun süre basarak veya beş parmağı birden basarak açılmaktadır. Durumsal menüye iz yaratma, şekil çizme, taktik grafik çizme, harita araçları kullanma gibi fonksiyonlar konulmuştur. Menü iki seviyeli oluşturulmuş ve menüde çıkan fonksiyonların basılan noktada yer alan nesneye göre özelleştirilmesi sağlanmıştır. Dokunma ile kolay seçim sağlanması için menü elemanları uygun büyüklükte tasarlanmış, menü içeriği kolayca anlaşılabilmesi için yazı ve sembollerle desteklenmiştir. Geliştirilen coğrafi durum sergileme uygulaması IDEF 2017 fuarında sergilenmiş ve beğeniyle karşılanmıştır.

4. ÇOKLU DOKUNMATİK DURUM SERGİLEME MİMARİSİ



Şekil 6. Çoklu dokunmatik durum sergileme mimarisi

Geliştirilen çoklu dokunmatik durum sergileme sisteminde donanım olarak 55 inç bir adet PQ Labs G4 dokunmatik ekran [27] ve Samsung marka monitor kullanılmıştır.

Monitor standart VGA/HDMI ile dokunmatik ekran ise iki adet USB kablosu vasıtası ile PC'ye bağlanmaktadır. PC'de yer alan Windows 7 Enterprise işletim sistemi herhangi bir ek yazılım yüklemeyen dokunmatik ekran yazılım girdilerinin alınmasına imkan vermiştir. İşletim sistemi üzerinde çalışan Java 1.7 ve Java ile gelen JavaFX bileşenleri çoklu ekran dokunma olaylarının algılanmasını sağlamaktadır. [28]

Yazılımsal olarak JavaFX dokunma olaylarını yöneten bir Çoklu Dokunmatik Olay Dağıtıcısı tasarlanmış bu sayede dokunma olayları JavaFX'ten soyutlanmıştır. Harita üzerinde yapılan kaydırma, büyültme/küçültme ve döndürme jestlerini yönetmek, seçim işlemlerini yapmak için Harita Jest Yöneticisi kullanılmıştır. Harita Jest Yöneticisi Harita Servislerinin verdiği arayüzleri kullanarak ve Çoklu Dokunmatik Olay Dağıtıcısından aldığı dokunma olaylarını yorumlayarak haritada işlemler yapılmasını sağlamaktadır. Durumsal Menü Servis Sağlayıcısı Çoklu Dokunmatik Olay Dağıtıcısında özel bir jest oluşması durumunda dairesel durumsal menünün açılmasını ve bu menüde kullanıcının yapacağı seçimlere göre Alan Uygulamasının uyarılmasını sağlamaktadır. Alan uygulaması, Durumsal Menü Servis Sağlayıcısının verdiği programlama arayüzleri ve haritayı kullanarak menü içeriğini oluşturmakta ve menüde yapılan seçimler sonucu yapılacak aksiyonları gerçekleştirmektedir.

5. SONUÇ

Çoklu dokunmatik ekran ile kaydırma büyütme/küçültme gibi fonksiyonlar çok daha etkin kullanılmaktadır ve bu tarz kullanım dokunmatik ekranlı cihazlarda bir standart haline gelmiştir. Çoklu dokunmatik ekran kullanımı için fare klavye kullanımında tasarlanan kullanıcı arayüzlerinden daha farklı kullanıcı arayüzleri geliştirilmelidir. Bu bağlamda dairesel durumsal menü kullanımı iyi bir örnektir. Durumsal sergileme uygulamalarında durumsal menü kullanımı fonksiyonlara ulaşım için etkin bir yöntem sağlamaktadır.

Yazılımsal olarak çoklu dokunmatik durum sergileme uygulamalarının harita servisleri, dokunmatik ekran sürücüsü ve alana özgün işlevler ile sıkı ilişkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte durumsal menü altyapısı gibi tekrar kullanılabilir bir yazılım bileşeni geliştirmek için yazılımsal arayüz adaptörleri kullanmak uygun olacaktır.

Günümüzde telefon, tablet, otomotiv, eğlence sistemlerinde yaygınlaşan çoklu dokunma teknolojisi askeri sistemlere de girmeye başlamıştır. Kullanıcı odaklı ve doğal bir etkileşim sunan bu teknolojinin kullanıcı ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak milli sistemlerde de yaygınlaştırılması önem arz etmektedir. Thales firması 20 yıllık bir sürece yaydığı çalışmalarla prototip olarak başladığı çoklu dokunmatik ekran kullanan uçak kokpiti çalışmalarını, uçak platformlarında kullanmayı hedeflemektedir. Komuta kontrol sistemlerinde yer alan durum sergileme uygulamaları da çoklu dokunmatik ekran teknolojisini kullanarak kullanıcı odaklı ve kolay kullanımlı hale getirilmelidir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Lindemann, P., (2010), A Short Report on Multi-touch User Interfaces, Dept. of Media Informatics, University of Munich, Germany
- [2] Goggin, G., (2009) Adapting the mobile phone: The iPhone and its consumption, *Continuum: Journal of Media & Cultural Studies*, Vol. 23, No. 2, 231–244
- [3] Tactical Decision Aids and Situational Awareness, RTO LECTURE SERIES 227, NATO, 2002, Fransa
- [4] Kin, K. (2012), Investigating the Design and Development of Multitouch Applications, Technical Report No. UCB/EECS-2012-233, California, USA
- [5] ODICIS Data Sheet, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.thalesgroup.com/en/united-kingdom/odicis>
- [6] Cuypers, D. (2010), Projection Displays in Avionics. In *Proceedings of the International Display Workshops*, 17:1437–1440
- [7] Osborn, T., (2013), Thales Eyes Touch-Screen Avionics For Commercial Jets By 2020, *Aviation Daily*, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://aviationweek.com/awin/thales-eyes-touch-screen-avionics-commercial-jets-2020>
- [8] Fossier, P., (2010) Intelligent & Communicating Aircraft In 2030 : Technical And Scientific Challenges, *27th Congress of International Council of the Aeronautical Sciences*, Nice, France
- [9] https://www.rockwellcollins.com/Products_and_Services/Business_Aviation/Flight_Deck/Pro_Line_Fusion/
- [10] Alapetite, A., Fogh, R., (2012), Direct Tactile Manipulation of The Flight Plan In A Modern Aircraft Cockpit, *HCI Aero'2012, International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace*, Brussels, Belgium.
- [11] Vinot J.L., Letondal C., (2016), Could tangibility improve the safety of touch-based Interaction? . *HCI-Aero 2016, International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace*, Paris, France
- [12] Indra Broşürü, (2012), Air Traffic Management, *Indra_Advanced_Controller_Working_Position*, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://www.indracompany.com>
- [13] Uebbing-Rumke, M., Gürlük, H., (2014), Usability Evaluation of Multi-Touch-Displays for TMA Controller Working Positions, *The Fourth SESAR Innovation Days*, Madrid, İspanya
- [14] Ohneiser, O., Jauer, M.L., (2016), TriControl – A Multimodal Air Traffic Controller Working Position, *The Sixth SESAR Innovation Days*, Delft, Hollanda
- [15] Szymanski, R., Goldin, M., (2008), Command and Control In A Multitouch Environment, *26th Army Science Conference*, Florida, ABD
- [16] Carruthers, J.F., (1979). The Automatic Data Link Plotting System (ADLIPS). *Naval Engineers Journal*, 91(2), 185-191.
- [17] Scott S.D., Carpendale M.S., (2004) Territoriality in Collaborative Tabletop Workspaces, *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, Illinois, ABD
- [18] Zadow, U., Daiber, F., (2011), GeoLens: Multi-User Interaction with Rich Geographic Information, *Workshop on Data Exploration for Interactive Surfaces*, Kobe, JAPAN

- [19] Bortolaso, C., Graham, N., (2014), Design of a Multi-Touch Tabletop for Simulation-Based Training, 19th ICCRTS, Virginia, ABD
- [20] Thales TableC2 broşür, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/table_c2_product_sheet.pdf
- [21] NAVDEX 2017 broşürü, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://www.fuerzasmilitares.com/NAVDEX-2017.pdf>
- [22] Jaber, J., (2013), Enhancing the Functional Design of a Multi-Touch UAV Ground Control Station, Ryerson University, Master Tezi, Toronto, Kanada
- [23] Paelke, V., Nebe, K., (2012), Multi-Modal, Multi-Touch Interaction with Maps in Disaster Management Applications, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B8, s.55-60, Melbourne, Avusturalya
- [24] Hoggan, E., Nacenta, M., (2013), Multi-Touch Pinch Gestures: Performance and Ergonomics, In *Proceedings of the 2013 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, New York, ABD.
- [25] Hoggan, E., Williamsyon, J., (2013), Multi-Touch Rotation Gestures: Performance and Ergonomics, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, ABD.
- [26] Gupta, S., McGuffin, M.J., (2016), Multitouch Radial Menu Integrating Command Selection and Control of Arguments with up to 4 Degrees, *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, Bari, İtalya.
- [27] PQ Labs, G4 Multi-Touch Screen, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://multitouch.com/g4-spec.html>
- [28] Ritter, S., Caicedo, A., (2008), Build Your Own Multi-Touch Interface with Java and JavaFX Technology, JavaOne Conference, TS-6127, California, ABD.

GÖRÜŞ HATTI ANALİZİ ALGORİTMALARININ PARALEL PROGRAMLAMA İLE HIZLANDIRILMASI

Gökhan Yılmaz ^(a) , Elif Sürer ^(a) Alptekin Temizel ^{(a) (b)}

^(a) Enformatik Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi,

{yilmaz.gokhan, elifs}@metu.edu.tr

^(b) Electronic, Electrical and Systems Engineering, University of Birmingham

{atemizel}@metu.edu.tr

ÖZ

Görüş hattı analizi, belirli bir nokta referans alınarak bir arazi içerisindeki görülebilir noktaların belirlenmesini amaçlayan yöntemler ve algoritmalar bütünüdür. Bu analiz, simülasyonlarda, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) uygulamalarında ve oyunlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle hızlı bir şekilde sonuç alabilmek, değişen referans noktalarına göre etkileşimi mümkün kılacak şekilde analiz yapabilmek önem taşımaktadır. Görüş hattı analizi algoritmalarından sıklıkla kullanılanlar Van Krevelde, R2 ve R3 algoritmalarıdır. Bu araştırmanın amacı, modern bir Grafik İşleme Ünitesi'nin (GPU) kabiliyetlerini kullanarak belirtilen algoritmaların paralel uyarlamalarını geliştirip, bu uyarlamaların performans ve hafıza kullanımları açısından değerlendirilmesini yapmaktır. Böylelikle hangi algoritmanın GPU üzerinde gerçekleştirilmeye daha uygun olduğu analiz edilerek, ilgili probleme en uygun ve hızlı çözümü sağlayacak algoritma belirlenebilecektir. Bu çalışmada temel olarak sıralı ilerleyişi olan Van Krevelde'nin Algoritması kısmi şekilde paralel olarak geliştirilmiştir ve yapılan gerçeğe algoritmanın sıralı haline göre 1.5 kata kadar daha hızlı sonuç elde edilmiştir. CPU/GPU hız artışı R2 için 5 kata kadar, R3 için ise 160 kata kadar ulaşmıştır. Çalışma sonucu, Van Krevelde'nin Algoritması için CPU/GPU yaklaşımlarını birleştirerek karma ya da GPU üzerinde tam bir paralelleştirme yapmak için kullanılabilir. Bildiride sunulan sonuçlar farklı algoritmaların güçlü ve zayıf noktalarını değerlendirerek ihtiyaca uygun algoritmanın seçilmesi sırasında yön gösterici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: coğrafi bilgi sistemleri, görüş alanı, görüş hattı analizi, GPGPU, paralel programlama

ACCELERATION OF LINE OF SIGHT ANALYSIS ALGORITHMS WITH PARALLEL PROGRAMMING

ABSTRACT

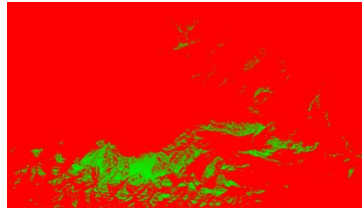
Line of sight (LOS) analysis is a set of methods and algorithms to determine the visible points in a terrain with reference to a specific observer point. This analysis is used in

simulations, Geographic Information System (GIS) applications and games. For this reason, it is important to have a capability to get results quickly and facilitate analysis in such a way that the interaction with the changing reference points is possible. Van Kreveld, R2 and R3 are the most frequently used algorithms in line of sight analysis. The purpose of this research is to develop parallel adaptations of these particular algorithms by making use of the capabilities of a modern Graphics Processing Unit (GPU) and to evaluate these adaptations in terms of performance and memory usage. By analyzing which algorithm is more suitable to be implemented on the GPU, the algorithm that will provide the most appropriate and quick solution to the probing problem can be determined. In this research, Van Kreveld's algorithm, which is basically a sequential algorithm, was developed partly in parallel, and the speed-up was 1.5x compared to the sequential version of the algorithm. Speed-up rates increase up to 10.5x for R2 and 160x for R3 algorithms, respectively. The results can be used to combine CPU / GPU approaches in order to perform hybrid or full parallelization of Van Kreveld's Algorithm on the GPU. The results presented in the paper will serve as a guide for the selection of the appropriate algorithm by evaluating the strengths and weaknesses of different algorithms.

Keywords: geographic information systems, GPGPU, line of sight analysis, parallel programming, viewshed

1. GİRİŞ

Görüş hattı analizi bir gözlemci tarafından belirli bir DEM (Digital Elevation Model) üzerindeki noktaların görünüp görünmediğine karar veren bir analiz metodudur. Metodun çıktısı olan alana “görüş alanı” denilmektedir. Şekil 1’de örnek bir görüş alanı gösterilmektedir (kırmızı bölgeler görünmez, yeşil alanlar görülebilir).

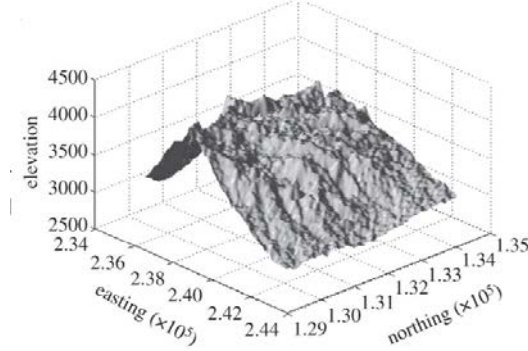


Şekil 1. Örnek görüş alanı

DEM bir arazinin yükseklik bilgilerini belli bir örnekleme sıklığıyla tutan bir veri formatıdır. Örnekleme sıklığı coğrafi koordinat sistemi biriminde, özel bir Kartezyen koordinat biriminde veya bir uzaklık biriminde olabilir (Şekil 2).

Bir *A noktasının* görünürlüğü, gözlemci noktasından *A noktasına* çizilen görüş hattının arazi tarafından engellenip engellenmediğinin belirlenmesi ile tespit edilebilir. Arazi tarafından engellenmediği durum *A noktasının* gözlemci tarafından açıkça görüldüğünü kanıtlamaktadır. Görüş alanı, yerleştirme problemleri (baz istasyonu, füze sistemleri vb.

yerleşimi), görünürlük analizleri, yapay zekaların yol bulma problemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



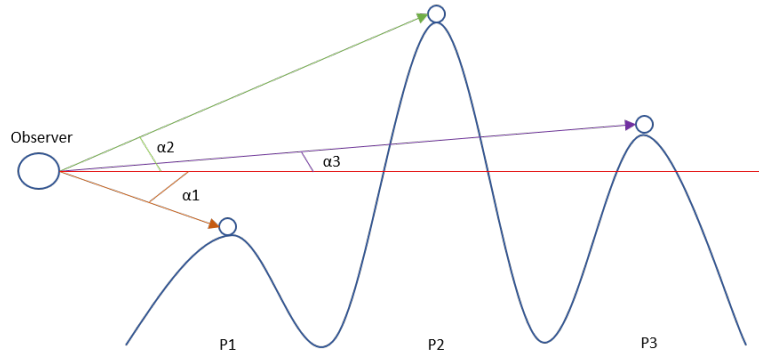
Şekil 2. Coğrafi koordinat sistemli bir DEM [1]

Görüş alanı farklı algoritmalar tarafından hesaplanabilmektedir. Bu bildiride üç farklı algoritma CPU/GPU üzerinde gerçekleştirilerek karşılaştırılmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Bu algoritmalar R3 [2], R2 [2], Van Kreveland'in Algoritması [3] algoritmalarıdır.

2. ARKAPLAN VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Görüş Hattı ve Görüş Alanı

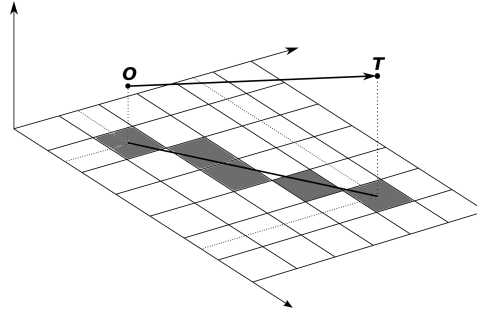
Görüş hattı, verilen bir DEM üzerindeki belli bir açı ve uzaklık ile belirtilen bir noktanın görünüp görünmediğini belirleyen yöntemdir. Bu problem açı veya eğim kullanarak ifade edilebilir; bir gözlemci noktasından bir hedef T noktası, eğer gözlemci noktasından T noktasına çizilen doğrunun dikey eğimi, bu doğru T noktasına ulaşana kadar kesiştiği tüm noktalarla oluşan doğruların eğiminden büyük ise görülebiliyor demektir [4].



Şekil 3. Görüş hattı yandan görünümü

Şekil 3 görüş hattının yandan kesitini göstermektedir. Gözlemci noktası P_1 noktasını, görüş hattı herhangi başka bir nokta ile kesişmediği için görebilmektedir. Gözlemci noktası P_2 noktasını, α_2 açısı α_1 açısından büyük olduğu için görebilmektedir, fakat P_3 noktasını α_3 açısı α_2 açısından küçük olduğu için görememektedir. Izgara tipinde yükseklik verisi kullanıldığı için görüş hattı doğrusu pikselleştirilmelidir. Bu işlem

Bresenham's Line Algorithm ile yapılmaktadır [5]. Pikselleştirme işlemlerinden sonra tüm hesaplamalar ızgara hücreleri için yapılmaktadır (Şekil 4)



Şekil 4. Doğru pikselleştirme [6]

O 'dan T 'ye giden doğrunun pikselleştirme neticesinde bulunan hücrelere $c_0, c_1, c_2, c_3 \dots c_t$ ve herhangi bir c_i hücresinin O 'ya bağlayan doğrunun eğimine α_i dersek:

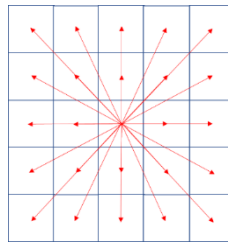
$$\alpha_i = \text{elev}(c_i) - (\text{elev}(c_0) + h_o) / \text{dist}(c_0, c_i) \quad (1)$$

Şeklinde hesaplanır. Burada c_0 gözlemci hücresi, h_o gözlemcinin araziden yüksekliği $\text{elev}(c_i)$ c_i hücresinin yüksekliği, $\text{dist}(c_0, c_i)$ gözlemci hücresi ile c_i hücresi arasındaki uzaklıktır. (1) numaralı denklemle gözlemci noktasından hedef noktaya olan doğrunun eğimi α_t bulunabilir. Eğer α_t bütün α_i , $i \in \{0, 1, \dots, t\}$ açılarından büyük ise T noktası gözlemci noktasından görülebiliyor demektir.

Görüş alanı verilen belli büyüklükteki bir alan üzerindeki hangi noktaların görüldüğünü tutan bir haritadır. Görüş alanını hesaplamak için tüm hücreleri kapsayacak şekilde görüş hattı analizinin yapılması gerekmektedir. Algoritmalar farklı teknikler ile tüm hücrelerin kapsanmasını sağlamaktadır.

2.2. R3 Algoritması

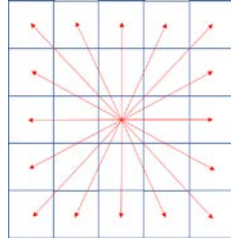
R3 algoritması, verilen DEM üzerindeki tüm hücreler için ayrı ayrı görüş hattı analizi yapmaktadır (Şekil 5). Yaklaşımsal bir metot olmadığından ve eldeki yükseklik verisini tamamıyla kullandığı için yüksek doğruluğa sahiptir fakat $\theta(n^3)$ karmaşıklığındadır [2] [7].



Şekil 5. R3 hesaplama

2.3. R2 Algoritması

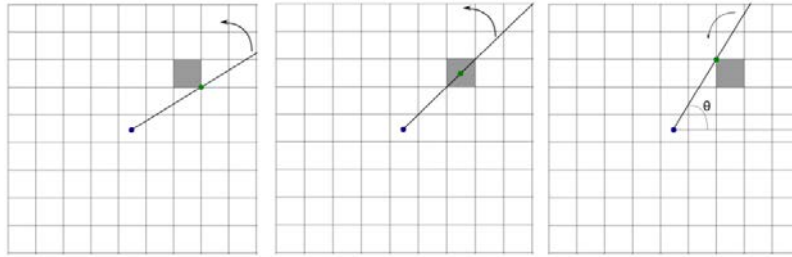
R2 algoritması R3 algoritmasına oldukça benzemektedir. Aralarındaki tek fark R2'nin tüm hücreler yerine sadece sınır hücreleri için görüş hattı analizi yapmasıdır [2] (Şekil 6). Sınır hücrelere giden doğrular diğer hücreler için de görünürlük kararını vermektedir. Bu kararın nasıl olacağına dair farklı yöntemler mevcuttur. Bu çalışmada bir hücreden geçen en son doğru görünürlük kararı vermektedir. Algoritma $\theta(n^2)$ karmaşıklığına sahiptir ve düşük bir hata payı içermektedir [2].



Şekil 6. R2 hesaplama

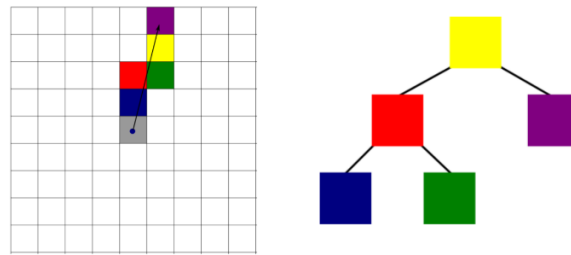
2.4. Van Kreveld'in Algoritması

Van Kreveld'in Algoritması $\theta(n^2 \log n)$ karmaşıklığına sahip bir tarama çizgisi algoritmasıdır [3]. R3 ile yakın sonuçlar veren fakat ondan daha hızlı bir yakınsama metodudur [8]. Algoritma bir doğruyu alan içerisinde çevirerek görüş alanını hesaplar, bunun için giriş, orta ve çıkış olayı olmak üzere üç olay tipi tanımlar. Giriş olayı, doğru belli bir hücreye girdiğinde, orta olayı doğru hücrenin ortasından geçtiğinde, çıkış olayı ise doğru hücreden çıktığında gerçekleşmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Olay tipleri (Giriş, orta, çıkış olayları ve olay açısı θ)

Algoritma her hücre için olay açılarını hesaplayarak, olayları olay açılarına göre küçükten büyüğe sıralayarak bir olay listesi oluşturur. Daha sonra bu olay listesi üzerinde ilerleyerek olay tipine göre bir karar verir. Olay listesinde ilerlenirken doğrunun durumu “aktif ağacı” isimli bir ağaç veri yapısında tutulur (Şekil 8). Olay “giriş olayı” ise hücre, gözlemci noktasından hücreye olan doğrunun eğimi hesaplanarak (Denklem 1) aktif ağacına eklenir. Olay “orta olayı” ise aktif ağacına bakılarak o an doğru üzerinde olayın sahibi hücreden gözlemci noktasına daha yakın ve daha yüksek eğimli bir hücre varsa, mevcut hücre görünemez, yoksa görülebilir olarak işaretlenir. Olay “çıkış olayı” ise hücre aktif ağaç yapısından silinir.



Şekil 8. Aktif ağacı

2.5. Görüş Alanı Analizi İçin Paralel Algoritmalar

Zhoe ve diğerleri [8] R3 algoritması için GPU üzerinde çalışan paralel bir yöntem önermiştir. Bu yöntemde R3 algoritması farklı mekânsal dizinleme yöntemleri ile gerçekleştirilmiş ve bu yöntemler birbirleriyle ve algoritmanın CPU sürümüyle karşılaştırılmıştır. Osterman [9] R2 algoritmasını GPU üzerinde gerçekleştirmiş ve sonucu CPU sürümü ile karşılaştırmıştır. Chao ve diğerleri [10] görüş hattı yöntemi yerine programlanabilir grafik boru hattını kullanarak görüş alanı hesaplamıştır. Cauchi-Saunders & Lewis [11] görüş alanını görüş hattı yerine dalga yöntemi kullanan XDraw algoritmasıyla [2] GPU üzerinde gerçekleştirmiştir. Axell & Fridén [12] R2 ve R3 algoritmalarını GPU üzerinde gerçekleştirerek, bu algoritmaları CPU sürümü ile karşılaştırmıştır. Ferreira ve diğerleri [6] Van Kraveld'in Algoritmasını CPU üzerinde paralelleştirmiştir. Bu algoritmanın GPU üzerinde çalışan bir hali mevcut değildir, bu çalışmada uygun bir yöntem sunulmaya çalışılmıştır.

2.6. CUDA ve Thrust

Genel amaçlı grafik işlemcisi programlama işi için çalışmada CUDA çatısı ve Thrust kütüphanesi kullanılmıştır. CUDA, NVIDIA tarafından GPU programlama için geliştirilen tek program çoklu veri çatısıdır [13]. Programcı tarafından yazılan “kernel” isimli program parçacıklarının GPU üzerinde birçok izleğe bölünerek çalışmasını sağlayan altyapıyı sunmaktadır.

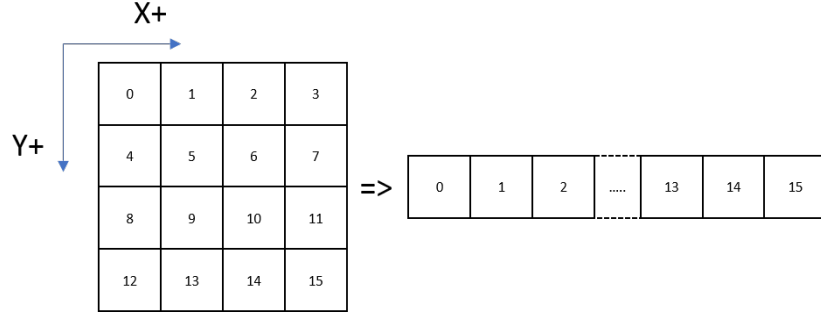
Thrust, Standart Template Library (STL) tabanlı, sıralama, dönüştürme, indirgeme gibi işlemlerin CUDA'yı soyutlayarak CUDA ile yapılmasına olanak sağlayan bir C++ kütüphanesidir [14].

3. ALGORİTMALARIN GPU GERÇEKLEMELERİ

3.1. R3 Algoritmasının GPU Üzerinde Gerçeklenmesi

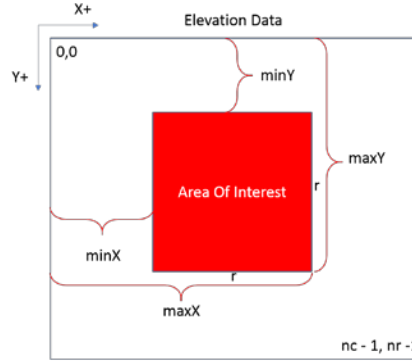
R3 her bir hücre üzerinde bağımsız olarak görüş hattı hesapladığı için, paralelleştirmeye müsait bir yapısı vardır. Her bir hücrenin görüş hattı hesaplaması ayrı bir izlek üzerinde yapılmaktadır. Bunun için doğru blok (block) ve ızgara (grid) dizinleri hesaplanmalıdır.

Yükseklik verisi GPU üzerine tek boyutlu bir dizi olarak global hafızaya kopyalanmaktadır (Şekil 9). Gözlemcinin olduğu hücre dizini ve ilgi alanı değişebilmektedir. Bu sebeple yükseklik verisinin hepsini kullanılmıyor olabilir (Şekil 10).



Şekil 9. Yükseklik verisinin GPU hafızasındaki görünümü

İlgi alanı dizininden (lokal dizin) yükseklik verisi dizinine (global dizin) dönüşümü uygun biçimde yapılmalıdır. İlgili alanın boyu ve eni başta r olarak gösterilmektedir, daha sonra bir taşma var mı yok mu kontrol edilerek son en-boy $width$ ve $height$ olarak gösterilmektedir. Gözlemci global dizini o_x, o_y , yükseklik verisi eni n_c , boyu n_r olarak ifade edilmiştir.



Şekil 10. Yükseklik verisi içerisindeki ilgi alanının gösterimi

Verilen parametreler ile sınır değerleri $min_x, max_x, min_y, max_y$ ile ilgili alanı eni ve boyu, $width$ ve $height$ bulunabilir (Şekil 10). Bu hesaplamalardan sonra uygun izlek sayısının bulunabilmesi için, $blockDim$ ve $gridDim$ değerleri hesaplanmalıdır. Bu problemde $blockDim$ iki boyutludur ve 32x32 olarak atanmıştır.

$$gridDim_x = \text{ceil}(width/blockDim_x) \quad (2)$$

$$gridDim_y = \text{ceil}(height/blockDim_y) \quad (3)$$

$$g_{tx} = blockDim_x \times threadIdx_x \quad (4)$$

$$g_{ty} = blockDim_y \times threadIdx_y \quad (5)$$

Burada $gridDim_x$ ve $gridDim_y$ grid boyutlarını ve g_{tx} , g_{ty} global izlek dizinlerini ifade etmektedir. İlgili alanı 32×32 'ye bölünebilir değil ise kernel'a ihtiyacından fazla izlek atanabilir, her izlek kendi dizinini $width$ ve $height$ ile karşılaştırmalı ve sınırın içerisinde değil ise boş bir şekilde durmalıdırlar. İzlek dizinlerini bildiğimiz için her izleğe karşılık gelen hücrenin global dizini g_x , g_y ve yükseklik verisi dizini e_i bulunabilir.

$$g_x = g_{tx} + min_x \quad (6)$$

$$g_y = g_{ty} + min_y \quad (7)$$

$$e_i = g_x + g_y \times n_c \quad (8)$$

Hesaplanan değerler ile her bir izlek bölüm 2.1'de anlatılan metot ve Denklem 1'deki hesaplamayla hücrenin görünürlüğünü hesaplayıp, yükseklik verisi büyüklüğünde global hafızada ayrılan tek boyutlu görüş alanı çıktısına yükseklik verisi dizinini kullanarak sonucu yazar.

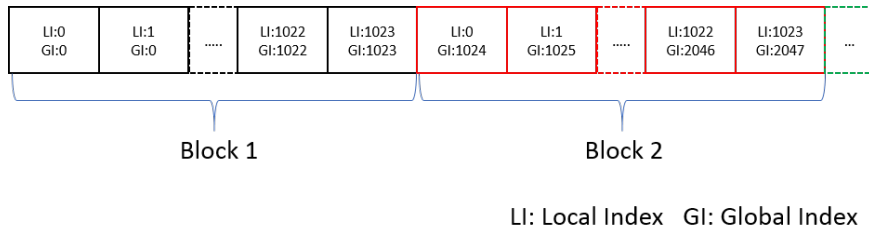
3.2. R2 Algoritmasının GPU Üzerinde Gerçeklenmesi

R2 algoritması için sadece sınırdaki hücreler kadar izleğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden tek boyutlu bir izlek listesi sınırda yer alan hücrelere eşleştirilmiştir. Şekil 11 izlek gruplamasının yapısını göstermektedir. Hedef donanımda bir bloğa atanabilen maksimum izlek sayısı 1024 olduğu için $blockDim$ tek boyutlu ve 1024 olarak atanmıştır [15]. İzlek sayısının hesaplanması için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$c_c = ((width + height) \times 2) - 4 \quad (9)$$

$$gridDim = ceil(c_c / 1024) \quad (10)$$

c_c izlek sayısını, $gridDim$ ise blok sayısını ifade etmektedir. Eğer c_c 1024'e tam olarak bölünemiyorsa "kernel" fazladan izlek ile çağrılacağı için her izlek dizini ile c_c değerini karşılaştırmalı ve dizin bu değerden büyük ise boş durmalıdır.



Şekil 11. İzlek gruplaması

Doğru parametrelerle kernel çağrıldığında global izlek dizini g_{ti} bulunur.

$$g_{ti} = blockDim_x \times blockDim_y \times threadIdx_x \quad (11)$$

Bu değere bakılarak hücrelerin global dizini g_x ve g_y bulunur (Bknz Şekil 12). Yükseklik verisi ve görüş alanı ulaşımı ve hafıza dizilimi, sınır değerlerinin bulunması R3 ile

aynıdır. g_x ve g_y kullanılarak Denklem 8 ile e_i bulunur ve her bir izlek 2.1 bölümünde anlatılan metot ve Denklem 1’deki hesaplamayla kendi doğrusu üzerindeki hücrelerin görünürlüğü hesaplar.

0	1	2	3	4	5	6
19						7
18						8
17						9
16	15	14	13	12	11	10

Şekil 12. R2 hücre-izlek eşleştirmesi

3.3. Van Krevelde’in Algoritması

Van Krevelde’in algoritması sıralı işlemlere bağlı olduğundan paralelleştirmeye R2 ve R3 kadar uygun değildir. Bu yüzden parçalı olarak paralelleştirilmiştir. Algoritma, olay listesinin oluşturulması, olay listesinin sıralanması ve olay listesinin işlenmesi olarak üç adımdan oluşmaktadır. Olay listesinin oluşturulması her bir hücre için ayrı izlek kullanılarak yapılmaktadır. R3’le aynı alan hesaplama ve dizinleme mekanizması kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmiştir. Burada görüş alanı hesaplamak yerine her bir izlek tek boyutlu bir dizi olan olay listesine kendi hesaplama sonuçlarını yazmıştır. Her bir hücre için üç farklı olay olduğundan toplamda $width \times height \times 3$ ’lük bir alan ayrılarak, hesaplanan olay dizinine bir ofset eklenerek uygun alan bulunmuştur (giriş 0, orta 1, çıkış 3). Olay dizini e_{vi} aşağıdaki formülle bulunmuştur.

$$e_{vi} = (g_{tx} + g_{ty} \times width) \times 3 \quad (12)$$

İkinci adım için olay listesi Thrust ile sıralanmıştır. Üçüncü adım sıralı bir işlem olduğundan olay listesi CPU üzerine kopyalanarak, işlem CPU üzerinde yapılmıştır.

4. DENEYLER

Tablo 1. R3 Çalışma süreleri

Alan	CPU Süresi(ms)	GPU Süresi(ms)	Hız Artışı (kat)
5000x5000	254128	2433	104
10000x10000	3034460	22111	137
15000x15000	10619550	75319	141
20000x20000	27337700	178960	153
25000x25000	59090500	350539	168

Tablo 1 R3 çalışma sürelerini göstermektedir. R3 yönteminde GPU kullanımı ile 168 kata kadar hız artışı sağlanmıştır. CPU versiyonu 16 saat sürerken, GPU versiyonu 6 dakika kadar sürmektedir. Tablo 2 R2 çalışma sürelerini göstermektedir. R2 yönteminde GPU

kullanımı ile 10.5 kata kadar hız artışı sağlanmıştır. Hız artışı R3 kadar olmamaktadır çünkü işlemler GPU izleklerini yeteri kadar kullanmamaktadır. GPU ile 3 saniye altında işlemler bittiği için gerçek zamanlı çizim yapılan uygulamalarda kullanılabilir.

Tablo 2. R2 Çalışma süreleri

Alan	CPU Süresi(ms)	GPU Süresi(ms)	Hız Artışı (kat)
5000x5000	696	192	3,6
10000x10000	3429	398	8,5
15000x15000	8145	923	8,8
20000x20000	15832	1677	9,4
25000x25000	27333	2620	10,5

Tablo 3 Van Kraveld'in algoritmasının çalışma sürelerini göstermektedir. Hız artışı 1,5 kata kadar olmaktadır ve ancak yüksek büyüklükteki alanlar için olay listesinin boyutu çok arttığından GPU üzerinde bu testler koşulamamıştır. Hedef donanımda koşulabilen en büyük test 6254x6254 büyüklüğündeki alan için olmuştur. Algoritmanın en çok zaman alan kısmı CPU'da koşulduğu için hız artışları istenilen oranda olmamıştır.

Tablo 4 R2 ve R3 algoritmalarının hafıza kullanımlarını göstermektedir. İki algoritma farklı yöntemlerle aynı veri üzerinde çalıştığı için hafıza kullanımları aynıdır. Hafıza kullanımı alanın büyüklüğü ile orantılı bir şekilde artmaktadır.

Tablo 5 Van Kreveld'in Algoritmasının hafıza kullanımını göstermektedir. Bu algoritma olay listesi sebebiyle çok fazla hafıza tükettiği için büyük alanlarda GPU'da çalışmamaktadır. Ayrıca Thrust sıralama için geçici depolama alanına ihtiyaç duyduğu için hafıza kullanımı daha da artmaktadır.

Tablo 3. Van Kreveld'in algoritmasının çalışma süreleri

Alan	CPU Süresi(ms)	GPU Süresi(ms)	Hız Artışı (kat)
5000x5000	29306	20208	1,5
6254x6254	59275	43600	1,4
10000x10000	160899	N/A	N/A
15000x15000	551290	N/A	N/A
20000x20000	1169660	N/A	N/A
25000x25000	2841270	N/A	N/A

Tablo 6 ve 7'de R2'nin ve Van Kreveld'in Algoritmasının R3 ile olan farklılık oranları verilmiştir. R2 R3 ile daha benzer sonuçları verirken Van Kreveld'in Algoritmasının

farklılık oranı daha fazladır. Bunun sebebi bu araştırmadaki uygulamada R2 ve R3 benzer mekanikleri kullanırken, Van Kreveld'in Algoritmasının olay listesi, ağaç gibi farklı mekanikler kullanmasıdır. Büyük alanlar için R2 ve R3'ün hafıza kullanımları aynı olsa da süre/alan büyüklüğü açısından ölçeklenebilirliği en yüksek algoritma R2 olmuştur. R3 ikinci olurken, Van Kreveld'in Algoritması ise bu açıdan en kötü sonucu vermiştir.

Tablo 4. R3 ve R2 hafıza kullanımları

Alan	Yükseklik Verisi (MB)	Görüş Alanı Verisi (MB)	CPU Hafızası (MB)	GPU Hafızası (MB)
5000x5000	95	23	118	118
10000x10000	381	95	476	476
15000x15000	858	214	1072	1072
20000x20000	1525	381	1906	1906
25000x25000	2384	596	2980	2980

Tablo 5. Van Kreveld'in algoritmasının hafıza kullanımları

Alan	Yükseklik Verisi (MB)	Görüş Alanı Verisi (MB)	CPU Hafızası (MB)	GPU Hafızası (MB)
5000x5000	95	23	118	118
10000x10000	381	95	476	476
15000x15000	858	214	1072	1072
20000x20000	1525	381	1906	1906
25000x25000	2384	596	2980	2980

Tablo 6. R2 Algoritmasının farklı pikselleri

Alan	Farklı Piksel Sayısı	Farklı Piksel Oranı
5000x5000	27760	%0,11
10000x10000	221476	%0,22

Tablo 7. Van Kreveld'in algoritmasının farklı pikselleri

Alan	Farklı Piksel Sayısı	Farklı Piksel Oranı
5000x5000	56559	%0,22
10000x10000	343942	%0,34

5. SONUÇ

R3 algoritmalar içerisinde GPU gerçeklemesinden en çok hız artışı kazanan algoritma olmuştur ve yüksek büyüklüklerdeki alanlar için algoritmayı kullanılabilir bir hale gelmiştir. R2'nin GPU gerçeklemesi çalışma süresini 3 saniyenin altına çekerek algoritmayı görüş alanının çok sık güncellenmesi gereken programlarda kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bildiride sunulan yöntem Van Krevelde'in Algoritmasına yeterli hız artışı sağlayamamıştır. Gelecek çalışmalarda tüm algoritmalar coğrafi dizinleme yöntemleri kullanılarak test edilebilir, ayrıca Van Krevelde'in Algoritması Ferreira ve diğerlerinin [6] çalışması ile bu bildirideki yöntemleri birleştirilerek hızlandırılabilir.

6. KAYNAKÇA

- [1] E. R. Stefanescu, M. Bursik, G. Cordoba, K. Dalbey, M.D. Jones, A.K. Patra, D.C. Pieri, E.B. Pitman, and M.F. Sheridan "Digital elevation model uncertainty and hazard analysis using a geophysical flow model," *Proc. R. Soc. a-Mathematical Phys. Eng. Sci.*, vol. 468, no. 2142, pp. 1543–1563, 2012.
- [2] W. Franklin, C. Ray, and S. Mehta, "Geometric algorithms for siting of air defense missile batteries," *AJ, Res. Proj. Battle*, no. 2756, 1994.
- [3] M. Van Krevelde, "Variations on Sweep Algorithms :", *Proc. 7th Int. Symp. Spat. Data Handl.*, pp. 1–14, 1996.
- [4] G. E. Blelloch, "Prefix Sums and Their Applications," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, pp. 35–60, 1990.
- [5] J. Bresenham, "An incremental algorithm for digital plotting," *IBM Syst. J.*, pp. 25–30, 1965.
- [6] C. R. Ferreira, M. V. A. Andrade, S. V. G. Magalhes, W. R. Franklin, and G. C. Pena, "A Parallel Sweep Line Algorithm for Visibility Computation," *Proc. XIV GEOINFO*, pp. 85–96, 2013.
- [7] D. Izraelevitz, "A Fast Algorithm for Approximate Viewshed Computation," *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, vol. 69, no. 7, pp. 767–774, 2003.
- [8] Y. Zhao, A. Padmanabhan, and S. Wang, "A parallel computing approach to viewshed analysis of large terrain data using graphics processing units," *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 27, no. 2, pp. 363–384, 2013.
- [9] A. Osterman, "Implementation of the r.cuda.los module in the open source GRASS GIS by using parallel computation on the NVIDIA CUDA graphic cards," *Elektroteh. Vestnik/Electrotechnical Rev.*, vol. 79, no. 1–2, pp. 19–24, 2012.
- [10] F. Chao, Y. Chongjun, Z. Chen, X. Yao, and H. Guo, "Parallel algorithm for viewshed analysis on a modern GPU," *Int. J. Digit. Earth*, pp. 471–486, 2011.
- [11] A. J. Cauchi-Saunders and I. J. Lewis, "GPU enabled XDraw viewshed analysis," *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 84, pp. 87–93, 2015.
- [12] T. Axell and M. Fridén, "Comparison between GPU and parallel CPU optimizations in viewshed analysis," Chalmers University of Technology, 2015.
- [13] NVIDIA Corporation, "NVIDIA's Next Generation CUDA Compute Architecture: Fermi," 2009. [Online]. Available: http://www.nvidia.com/content/PDF/fermi_white_papers/NVIDIA_Fermi_Compute_Architecture_Whitepaper.pdf. [Accessed: 19-Apr-2017]

- [14] NVIDIA Corporation, “Thrust,” 2011. [Online]. Available: <http://docs.nvidia.com/cuda/thrust>. [Accessed: 19-Apr-2017].
- [15] NVIDIA Corporation, “NVIDIA’s Next Generation CUDATM Compute Architecture: Kepler™ GK110/210,” *Nvidia White Pap.*, 2014.

GRAFİK İŞLEMCİ BİRİMİ TABANLI KIZILÖTESİ SAHNE ÜRETECİ YAZILIMINDA ATMOSFERİK ETKİLERİN BELLEK VERİMLİ MODELLENMESİ

Çağlar Kavak^(a), Ufuk Uyan^(a), Muhammed Yeşilkaya^(a)

TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN,

{ufuk.uyan, caglar.kavak, muhammed.yesilkaya @tubitak.gov.tr}

ÖZ

Modern kızılötesi görüntüleme sistemlerinin tasarımı, benzetimi ve geliştirilmesi için yüksek performans ve fiziksel doğruluğa sahip kızılötesi sahne üretici yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Kızılötesi sensöre gelen ışıma atmosferik etkilerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Atmosferik etkileri oluşturan fiziksel nicelikler atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması olarak modellenmektedir. Sensöre gelen ışıma geçirgenlik parametresine göre sönümlenir ve yol ışıması sönümlenmiş ışıma eklenir. İlgili parametreler, sensörün duyarlı olduğu bant aralığı, ortam koşulları, coğrafi konum, tarih ve zaman gibi parametrelerin yanında görüş hattı geometrisini belirleyen ve senaryoda dinamik olarak değişebilen sensörün yüksekliğine, bakış doğrultusuna ve ilgi noktası ile sensör arasındaki mesafeye bağlıdır. Performansın önemli olduğu durumlarda, ilgili fiziksel niceliklerin değişken görüş hattı geometrisi için anlık olarak belirlenmesi yüksek hesaplama süreleri gerektirdiğinden uygulanabilir değildir. Atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması değerleri ön işlem esnasında hesaplanıp arama tabloları kullanılarak grafik işlemci birimi belleğine yüklenmektedir. Bu yöntemle atmosferik etkilerin fiziksel doğrulukla ve etkin olarak modellenmesi yüksek bellek kullanımı ihtiyacı gerektirmektedir. Bu çalışmada, en küçük kareler kestirimi ile çoklu değişkenli-çoklu dereceli polinom oturtma yöntemi kullanılarak kızılötesi sahne üretici yazılımında atmosferik etkilerin doğru ve etkin bir biçimde ele alınabilmesine ve grafik işlemci birimi bellek kullanımının önemli ölçüde azalmasına imkân tanıyan matematiksel bir model geliştirilmiştir. Önerilen modelin başarımlı analizi için MODTRAN® yazılımından elde edilen atmosfer verileri kullanılmaktadır. Benzetimler sonucunda, önerilen modelin %3'ten daha az hataya sahip olduğu ve grafik işlemci birimi bellek kullanımını önemli ölçüde azalttığı gösterilmektedir.

Anahtar Kelimeler: kızılötesi atmosfer modelleme, polinom oturtma, kızılötesi sahne üretimi, en küçük kareler kestirimi, Modtran.

MEMORY EFFICIENT MODELING OF ATMOSPHERIC EFFECTS IN GPU BASED INFRARED SCENE GENERATION

ABSTRACT

Design, development and simulation of modern infrared systems require having physically accurate and high performance infrared scene simulations. Total incident infrared radiation on a sensor is directly affected by the atmosphere. Atmospheric transmittance and path radiance are the physical quantities which are used in atmospheric effects modeling. These quantities strongly depend on line of sight path as a function of sensor altitude, view direction, and the distance between sensor and the point of interest. Dynamic change of sensor line of sight increases the computational cost of the related quantities significantly, which is not feasible for real time performance considerations. A practical solution to this problem is to compute atmospheric transmittance and path radiance data offline and to upload them into GPU memory via lookup tables. However, this technique requires high memory usage to have radiometric accuracy. In this paper, we propose multivariable and multi degree polynomial fitting model which is based on least squares solution. To investigate the model error, we conducted several experiments for both mid wave and long wave infrared bands. For these experiments, MODTRAN[®] radiative transfer tool have been used to obtain atmospheric transmittance and path radiance data. Simulation results show that the proposed method utilizes GPU memory efficiently and improves physical accuracy.

Keywords: modeling of atmospheric effects, polynomial fitting, infrared scene generation, least squares estimation, Modtran.

1. GİRİŞ

Kızılötesi görüntüleme sistemlerinin sivil ve askeri alanlarda yaygın kullanımı bu sistemlerinin test ve değerlendirme ihtiyacını beraberinde getirmektedir. Gerçek zamanlı ve radyometrik tabanlı kızılötesi sahne benzetimi uygulamaları bu sistemlerin tasarımı, benzetimi ve başarımlarını testleri açısından önemlidir. Fiziksel doğruluk ve yüksek performans isteklerini sağlayabilmek adına yoğun radyometrik hesaplamalar gerektiren gerçek zamanlı kızılötesi sahne benzetimi uygulamaları için grafik işlemci birimi tabanlı paralel hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Kızılötesi dalga boylarına duyarlı bir sensöre gelen ışımının modellenmesi için sahnede yer alan nesnelerin sıcaklığı, yüzey geometrisi, malzeme ve optik özellikleri, arka plan ve güneş yansımalarının yanında atmosferin kızılötesi karakteristiğinin de doğru şekilde ele alınması gerekmektedir.¹

Kızılötesi bantta atmosferik etkileri belirleyen fiziksel nicelikler atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması olarak kabul edilmektedir. Geçirgenlik, kaynaktan sensöre gelen ışımanın sönmülenme oranını belirleyen parametredir. Bunun yanında atmosferik yol ışıması ise sensör ile kaynak arasındaki yol boyunca oluşan ışımayı temsil etmektedir.² İlgili niceliklerin doğruluğu ve güvenilirliği, atmosferik etkilerin kızılötesi sahne benzetiminde modellenmesi sürecinde önemlidir.

Atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması verileri, meteorolojik koşullar, sensörün duyarlı olduğu bant aralığı, sensör ile ilgi noktası arasındaki görüş hattı geometrisi, coğrafi konum, tarih ve zaman gibi parametrelere bağlı olarak MODTRAN® yazılımı ile hesaplanabilmektedir.³ MODTRAN® veya benzeri araçlar kullanılarak atmosferik verilerin fiziksel doğrulukta belirlenmesi yüksek hesaplama süreleri gerektirmektedir. Bu yüzden benzetim esnasında dinamik olarak değişebilen görüş hattı geometrisine göre ilgili verilerin anlık olarak hesaplanması performans açısından gerçek zamanlı kızılötesi sahne benzetiminde uygulanabilir değildir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak gerçek zamanlı kızılötesi sahne benzetimi uygulamalarındaki genel yaklaşım, ön işlem esnasında senaryoda gerçekleşmesi olası tüm kızılötesi dalga boyu, atmosfer ve geometri koşullarını içerecek şekilde atmosferik niceliklerin hesaplanarak grafik işlemci birimi belleğinde tablolara yüklenmesi ve benzetim esnasında anlık görüş hattı geometrisine karşılık gelen değerlerin doğrusal ara değerlendirme yöntemiyle tablodan çekilmesidir.^{4, 5, 6}

Atmosferik verilerin ön işlem aşamasında grafik işlemci biriminde tablolara yüklenerek kullanımı yüksek bellek ihtiyacı gerektirmektedir. Referans⁷'de bu probleme yönelik olarak en küçük kareler yöntemi kullanılarak geçirgenlik ve yol ışıması nicelikleri mesafe değişkenine bağlı olarak çoklu dereceli tek değişkenli polinomsal eğri oturtma ile modellenmektedir. Polinom oturtma sonucunda elde edilen katsayılar grafik işlemci birimi belleğinde tutularak sensör ile ilgi noktası arasındaki anlık mesafe değeri için atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması nicelikleri performans ve bellek verimli olarak hesaplanabilmektedir. Fakat sensör ile ilgi noktası arasındaki bakış geometrisi sadece mesafenin bir fonksiyonu olarak modellendiği için sahnede kızılötesi sensörün yüksekliği ve bakış doğrultusunun sabit olduğu varsayılmıştır.

Grafik işlemci birimleri, yüksek performans isterlerinin karşılanması amacıyla kızılötesi sahne üretici uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Fakat bu çalışmada NVIDIA paralel hesaplama mimarisi (CUDA) üzerinde çalışan NVIDIA OptiX ışın izleme motoru kullanılarak geliştirilen kızılötesi sahne üreticinde grafik işlemci birimi belleğinin verimli bir şekilde kullanılması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, grafik işlemci biriminin yüksek bellek kullanımı gerektiren uygulamalarda, kızılötesi sahne benzetiminde atmosferik etkilerin fiziksel doğrulukta modellenmesi ve grafik işlemci birimi belleğinin verimli kullanımı ihtiyaçları göz önüne alınarak, en küçük kareler kestirim yöntemi kullanılarak çoklu değişkenli ve çoklu dereceli polinom oturtma

modeli sunulmaktadır. Önerilen model için atmosferik niceliklerin grafik işlemci birimi tabanlı sahne benzetiminde bellek verimli kullanılma yöntemi anlatılmaktadır. Atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması verileri MODTRAN® yazılımı ile elde edilmiş ve önerilen yöntemin orta ve uzun kızılötesi dalga boylarındaki hata analizi gösterilmiştir.

2.bölümde matematiksel model ve grafik işlemci birimi tabanlı sahne benzetimindeki kullanımı anlatılmaktadır. 3. bölümde yapılan benzetimler sonucunda elde edilen hata analizleri sunulmaktadır. 4. bölümde ise sonuçlar yer almaktadır.

2. ATMOSFERİK ETKİLERİN MODELLENMESİ

Atmosferik etkiler kızılötesi sahnenin fiziksel doğruluğunu etkileyen en önemli bileşenlerden biridir. Geçirgenlik ve yol ışıması nicelikleri, hava sıcaklığı, nem, rüzgâr hızı, görüş mesafesi gibi ortam parametrelerinin yanında sensörün duyarlı olduğu kızılötesi bant aralığı ve sensör ile ilgi noktası arasındaki görüş hattı geometrisine bağlı olarak değişebilen niceliklerdir. Görüş hattı geometrisi, sensörün yüksekliği, bakış doğrultusu ve ilgi noktası ile sensör arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

Kızılötesi sahne benzetiminde senaryo süresince ilgili parametreler her bir zaman adımında dinamik olarak değişebilmektedir.

2.1. Matematiksel Model

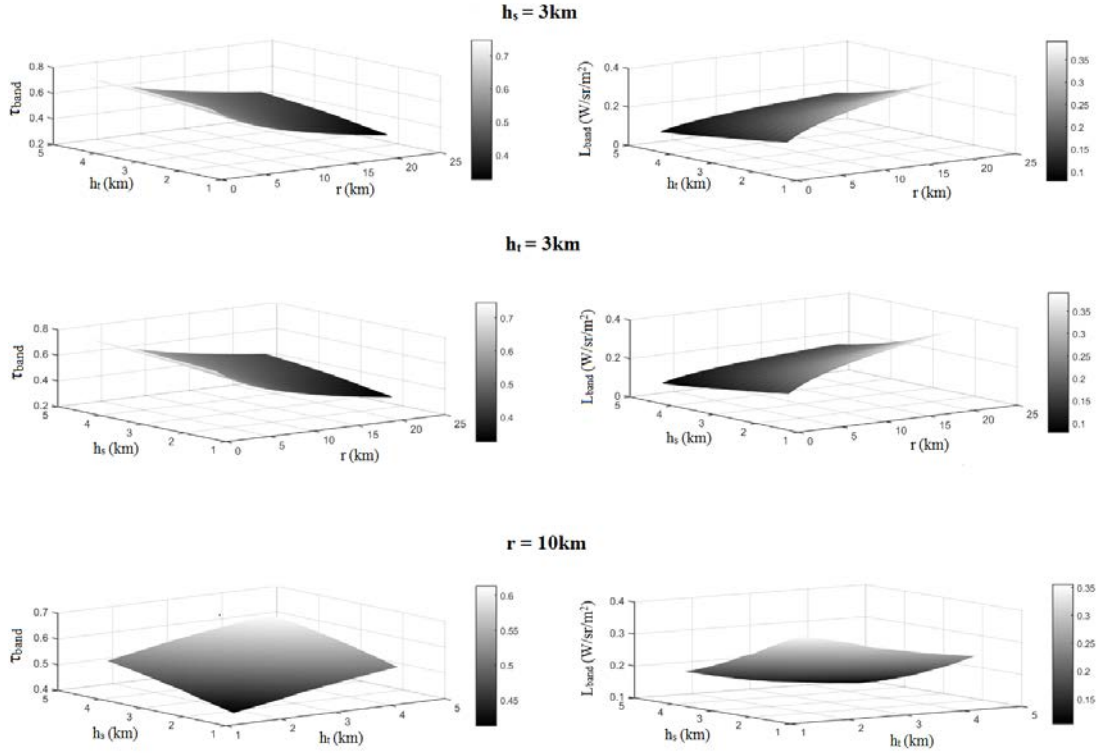
Matematiksel modelde kullanılacak olan atmosferik veriler, sensörün duyarlı olduğu bant aralığı, ortam koşulları, coğrafi konum, tarih ve zaman gibi parametreler sabit tutulup, senaryoda dinamik olarak değişebilecek farklı görüş hattı geometrileri için elde edilmektedir. Görüş hattı geometrisine bağlı olarak değişen bant-ortalama geçirgenlik, τ_{band} , ve bant-içi yol ışıması, L_{band} , değerleri ilgili kızılötesi bant aralığında (1) ile hesaplanmaktadır.

$$\tau_{band}(h_s, h_t, r) = \frac{1}{\lambda_2 - \lambda_1} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{atm}(\lambda, h_s, h_t, r) d\lambda \quad (1)$$

$$L_{band}(h_s, h_t, r) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{path}(\lambda, h_s, h_t, r) d\lambda$$

h_s sensör yüksekliğini, h_t ilgi noktası yüksekliğini, r ilgi noktası ile sensör arasındaki mesafeyi, λ_1 ve λ_2 sensörün duyarlı olduğu dalga boyu bant aralığını, τ_{atm} ve L_{path} sırasıyla spektral atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması değerlerini temsil etmektedir.

Örnek bir senaryo için MODTRAN[®] yazılımı ile τ_{atm} ve L_{path} elde edilmiştir. Denklem (1) kullanılarak hesaplanan τ_{band} ve L_{band} grafikleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Bant-ortalama atmosferik geçirgenlik ve bant-içi yol ışıması

Şekillerden gözlemlenebileceği üzere atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması nicelikleri, sensör yüksekliği, ilgi noktası yüksekliği, ilgi noktası ile sensör arasındaki mesafe parametrelerine bağlı olarak sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyon, f , olarak modellenenebilir. Bu varsayımdan hareketle tanım kümesinde bulunan bir merkez noktasının, $c = [h_s^c, h_t^c, r^c]$, etrafında, tanım kümesinde bulunan diğer bir nokta, $p = [h_s^p, h_t^p, r^p]$, için fonksiyonda elde edilen değer Taylor serileri açılımı ile ifade edilebilmektedir⁸.

$$f([h_s^p, h_t^p, r^p]) = f([h_s^c, h_t^c, r^c]) + \sum_{n_s}^N \sum_{n_t}^N \sum_{n_r}^N \frac{1}{n_s! n_t! n_r!} \frac{\partial f^{n_s}}{\partial h_s^{n_s}} \frac{\partial f^{n_t}}{\partial h_t^{n_t}} \frac{\partial f^{n_r}}{\partial r^{n_r}} ([h_s^c, h_t^c, r^c]) (\Delta r)^{n_r} (\Delta h_t)^{n_t} (\Delta h_s)^{n_s} \quad (2)$$

$$n_s + n_t + n_r \leq N$$

Denklem (2)'de $f([h_s^c, h_t^c, r^c])$ merkez noktasının fonksiyondaki değerini belirtirken, $\frac{\partial f^{n_s}}{\partial h_s^{n_s}}, \frac{\partial f^{n_t}}{\partial h_t^{n_t}}, \frac{\partial f^{n_r}}{\partial r^{n_r}}$ parametreleri fonksiyonun merkez noktasında sırasıyla h_s, h_t, r değişkenlerine göre n_s, n_t, n_r derecelerinden türevini belirtir. $\Delta h_s, \Delta h_t, \Delta r$ parametreleri de sırasıyla sensör yüksekliği, ilgi noktası yüksekliği ve mesafe için p ile c noktalarındaki farkları ifade etmektedir. N seri açılımının derecesini belirtmektedir. Denklemde yer alan c değeri tanım kümesindeki noktaların ağırlık merkezi olarak seçilmektedir.

Taylor açılımında bahsi geçen merkez noktasının fonksiyondaki değeri ve üç parametreye bağlı türev değerlerinin kestirimi için (3), (4) ile belirtilen eşitlik kullanılmaktadır. Eşitliğin sol tarafında tanım kümesinde bulunan noktalar $(1, \dots, n, \dots, T)$ için geçirgenlik veya yol ışıması değerlerini, f^d , içeren $\bar{f}$ vektörü, sağ tarafında ise üç parametreye göre belirlenmiş Vandermonde matrisi, $(\bar{V})$,⁹ ve kestirimi yapılması istenen geçirgenlik veya yol ışıması katsayıları, $\bar{x}$, yer almaktadır.

$$\begin{bmatrix} f^d([h_s^1, h_t^1, r^1]) \\ f^d([h_s^2, h_t^2, r^2]) \\ \vdots \\ f^d([h_s^n, h_t^n, r^n]) \\ \vdots \\ f^d([h_s^T, h_t^T, r^T]) \end{bmatrix} \approx \begin{bmatrix} 1 & \Delta h_{s1} & \Delta h_{t1} & \Delta r_1 & \frac{\Delta h_{s1}\Delta h_{t1}}{1!1!} & \dots & \frac{\Delta r_1^N}{N!} \\ 1 & \Delta h_{s2} & \Delta h_{t2} & \Delta r_2 & \frac{\Delta h_{s2}\Delta h_{t2}}{1!1!} & \dots & \frac{\Delta r_2^N}{N!} \\ & & & \vdots & & & \\ 1 & \Delta h_{sn} & \Delta h_{tn} & \Delta r_n & \frac{\Delta h_{sn}\Delta h_{tn}}{1!1!} & \dots & \frac{\Delta r_n^N}{N!} \\ & & & \vdots & & & \\ 1 & \Delta h_{sT} & \Delta h_{tT} & \Delta r_T & \frac{\Delta h_{sT}\Delta h_{tT}}{1!1!} & \dots & \frac{\Delta r_T^N}{N!} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f([h_s^c, h_t^c, r^c]) \\ \frac{\partial f}{\partial h_s}([h_s^c, h_t^c, r^c]) \\ \frac{\partial f}{\partial h_t}([h_s^c, h_t^c, r^c]) \\ \frac{\partial f}{\partial r}([h_s^c, h_t^c, r^c]) \\ \frac{\partial f}{\partial h_s} \frac{\partial f}{\partial h_t}([h_s^c, h_t^c, r^c]) \\ \vdots \\ \frac{\partial f^N}{\partial r^N}([h_s^c, h_t^c, r^c]) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\bar{f} \approx \bar{V}\bar{x} \quad (4)$$

Denklem (4)' te gösterilen eşitliğin çözümü için en küçük kareler çözümü kullanılıp merkez noktasının ve bu noktadaki türevlerin kestirimi, $\hat{x}$, (5) ile gerçekleştirilmektedir.

$$\hat{x} = (\bar{V}^T \bar{V})^{-1} \bar{V}^T \bar{f} \quad (5)$$

Atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması etkilerinin modelleneceği durumda $\bar{f}$ vektörü sırasıyla Denklem (6)' da gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\bar{f}_\tau = \begin{bmatrix} \tau_{band}([h_s^1, h_t^1, r^1]) \\ \tau_{band}([h_s^2, h_t^2, r^2]) \\ \vdots \\ \tau_{band}([h_s^n, h_t^n, r^n]) \\ \vdots \\ \tau_{band}([h_s^T, h_t^T, r^T]) \end{bmatrix} \quad \bar{f}_L = \begin{bmatrix} L_{band}([h_s^1, h_t^1, r^1]) \\ L_{band}([h_s^2, h_t^2, r^2]) \\ \vdots \\ L_{band}([h_s^n, h_t^n, r^n]) \\ \vdots \\ L_{band}([h_s^T, h_t^T, r^T]) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bu durumda $\hat{x}$ vektörü atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması etkileri için sırasıyla Denklem (7)' de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\hat{x}_\tau = (\bar{V}^T \bar{V})^{-1} \bar{V}^T \bar{f}_\tau \quad (7)$$

$$\hat{x}_L = (\bar{V}^T \bar{V})^{-1} \bar{V}^T \bar{f}_L$$

2.2. Model Parametrelerinin Grafik İşlemci Birimi Belleğinde Kullanımı

Benzetim aşamasında anlık görüş hattı geometrisine karşılık gelen atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması etkilerinin hesaplanabilmesi için gerekli olan $\hat{x}$ vektörleri ön işlem esnasında bir önceki bölümde anlatıldığı gibi ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Belirlenen Taylor açılımı derecesi N , ve merkez noktası, $c = [h_s^c, h_t^c, r^c]$, hesaplanan $\hat{x}$ vektörleri ile birlikte grafik işlemci birimi belleğine yüklenmektedir.

Grafik işlemci biriminde atmosferik etkilerin hesaplanması için gerekli $\bar{V}$ vektörü, anlık görüş hattı geometrisi N ve c değerleri kullanılarak (8)'de belirtildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$\bar{V} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta h_{s1} & \Delta h_{t1} & \Delta r_1 & \frac{\Delta h_{s1} \Delta h_{t1}}{1!1!} & \dots & \frac{\Delta r_1^N}{N!} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması değerleri, anlık olarak grafik işlemci biriminde oluşturulan $\bar{V}$ vektörü ve grafik işlemci birimi belleğine yüklenen $\hat{x}$ vektörlerinin çarpılmasıyla (9)'da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\tilde{\tau}_{band} = \bar{V} \hat{x}_\tau \quad (9)$$

$$\tilde{L}_{band} = \bar{V} \hat{x}_L$$

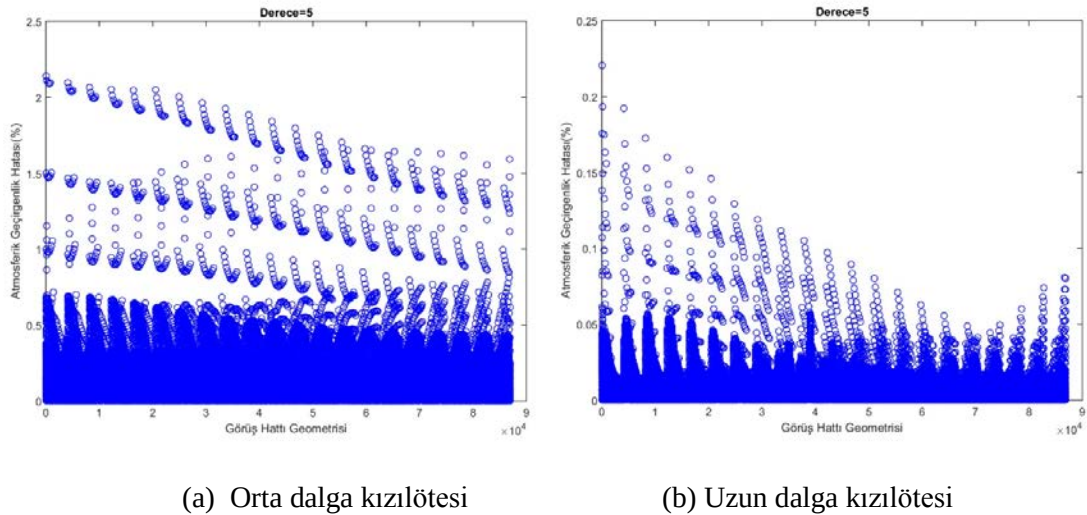
3. BENZETİM SONUÇLARI

Bu bölümde öncelikle önerilen modelin orta ve uzun dalga boyu bantlarındaki benzetim sonuçları incelenecektir. Daha sonra, Taylor açılımı derecesinin önerilen modeldeki hataya olan etkisi incelenecektir. Son olarak, önerilen model ile doğrusal ara değerlendirme yönteminin fiziksel doğruluk ve bellek kullanımı başarımı karşılaştırılacaktır. Bu çalışmada NVIDIA GeForce GT 730 2048MB DDR3 video belleği bulunan grafik işlemci birimi kullanılmıştır.

Benzetimlerde kullanılmak üzere MODTRAN® yazılımı ile standart orta-enlem kış atmosfer koşulları için orta ve uzun dalga kızılötesi bantlarında örnek bir senaryoyu temsil edebilecek görüş hattı geometrisi için atmosferik veriler elde edilmiştir. Sensör bant aralığı, orta dalga kızılötesi için 3 – 5 μm ve uzun dalga kızılötesi için 8 – 12 μm olarak belirlenmiştir. İlgili görüş hattı geometrisinde sensör ve ilgi noktası yükseklik limitleri 4 - 6 km, bu iki nokta arası mesafe limitleri de 0,5 – 20,5 km olarak belirlenmiştir. Bu limit değerleri için 100 m aralıklarla örnekler alınarak çoklu görüş hattı geometrisi tanımlanmıştır.

3.1. Kızılötesi Bant Aralığı Hata Analizi

Kızılötesi dalga boyunun modele etkisini incelemek için gerçekleştirilen benzetimlerde Taylor açılımı derecesi $N = 5$ olarak sabit alınmıştır. Benzetim sonucunda her bir görüş hattı geometrisi için elde edilen hata grafiği orta ve uzun dalga kızılötesi bantları için Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Kızılötesi bant aralığı - atmosferik geçirgenlik hata analizi

Şekillerde görüldüğü üzere atmosferik geçirgenlik etkisinin hata yüzdesi orta dalga boyu bandında maksimum %3 seviyelerine ulaşırken, uzun dalga boyu bandında bu

oran maksimum %0.25 seviyelerinde kalmıştır. Atmosferik geçirgenliğin orta dalga boyu bandında uzun dalga boyu bandına göre daha değişken olması ve orta dalga boyu bandında meydana gelen geometrik değişkenliklerin atmosferik etkilerin daha fazla değişkenlik göstermesine neden olması benzetim hata yüzdelerinin orta dalga boyu bandında daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

3.2. Polinom Derecesi Hata Analizi

Taylor açılımı derecesinin uygulanan matematiksel modelde hataya olan etkisi atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması değerleri üzerinde ayrı ayrı denenmiş ve yüksek derece kullanımının hatayı düşürdüğü görülmüştür. Taylor açılımı derecesinin sırasıyla $N = 3, 4, 5$ olduğu durumlardaki atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması etkilerinin orta ve uzun dalga boyu bant aralığındaki ortalama benzetim hata oranları Tablo 1 ile gösterilmektedir.

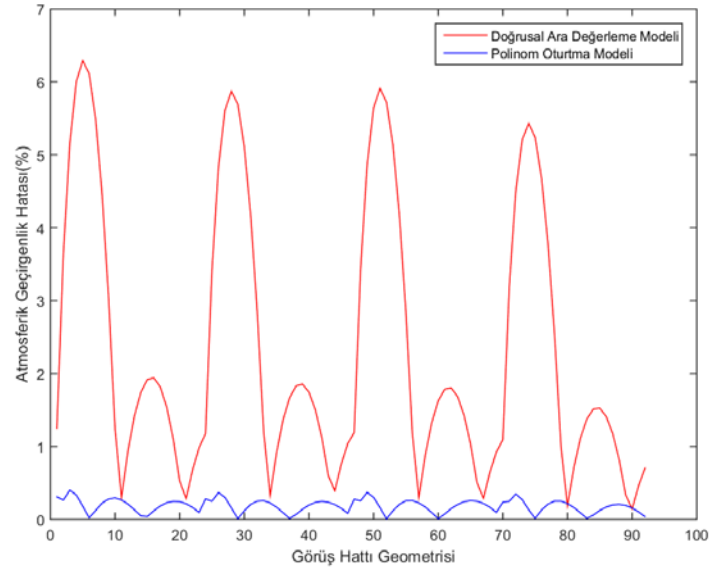
Tablo 1. Ortalama mutlak hata(%) – Taylor açılımı derecesi

Derece	Orta Dalga Kızılötesi		Uzun Dalga Kızılötesi	
	Geçirgenlik	Yol Işıması	Geçirgenlik	Yol Işıması
3	0.618	0.868	0.048	0.562
4	0.319	0.461	0.019	0.238
5	0.179	0.266	0.009	0.119

Tablodan da görüldüğü üzere Taylor açılımı derecesinin artırılması benzetim doğruluğunu artırır. Buna karşın, polinom derecesini arttırmak $\bar{V}^T \bar{V}$ matrisinin tersinin alınması sırasında sayısal hesaplama hatalarına neden olabilmektedir. Bu sebepten her bir senaryo için sayısal hesaplama hatalarının olmayacağı optimum polinom derecesi belirlenip oturtma işlemleri bu dereceye göre yapılmaktadır.

3.3. Grafik İşlemci Birimi Bellek Başarımı ve Hata Analizi

Atmosferik etkilerin benzetimi için kullanılan diğer yöntem ön işlem esnasında atmosferik niceliklerin hesaplanarak grafik işlemci birimi belleğinde tablolara yüklenmesi ve benzetim esnasında anlık görüş hattı geometrisine karşılık gelen değerlerin doğrusal ara değerlendirme yöntemiyle tablodan çekilmesidir. Bu yöntem ile elde edilen atmosferik etkilerin benzetim hata oranları, önerilen modelin benzetim hata oranlarıyla karşılaştırmalı olarak aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3. Hata analizi (doğrusal ara değerlendirme modeli – polinom oturtma modeli)

Şekilde görüldüğü üzere polinom oturtma yöntemiyle elde edilen benzetim hatası %1 seviyelerinin altında kalırken, arama tablolarındaki verilerden ara değerlendirme yöntemiyle elde edilen benzetim hatası %6 seviyelerinde olmaktadır.

Atmosferik verilerin grafik işlemci birimi belleğinde arama tabloları şeklinde tutulduğu modellerde anlık görüş hattı geometrisi arama tablosunda yer almayabilir. Bu yüzden üç boyutlu ara değerlendirme yapılması zorunlu olmaktadır. Bellek ihtiyacından dolayı az sayıda örnek grafik işlemci biriminde tutulursa ilgili anlık geometriye karşılık gelen atmosferik niceliklerin belirlenmesi bazı durumlarda yüksek hatalara sebebiyet verebilmektedir. Doğrusal ara değerlendirme işlemindeki hataları en aza indirmek için tablolardaki veri sayısının da artırılması grafik işlemci birimi belleği kullanımını önemli ölçüde yükseltmektedir.

Benzetimi yapılan örnek bir senaryoda sensör ve ilgi noktası yükseklikleri 4-6 km arası 100 m çözünürlükte, bu iki nokta arasındaki mesafe 0-20 km arası 100 m çözünürlükte örneklenip görüş hattı geometri kümesi oluşturulmuştur. Hiperspektral bir sensör için günün farklı saatlerinde benzetimi yapılmak istenen bir senaryoda gerekli olan atmosferik verinin boyutu daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Örnek olarak günün her bir saati için 3-5 μm kızılötesi dalga boyu aralığında 0.1 μm çözünürlüğünde benzetim yapıldığı durumda atmosferik geçirgenlik ve yol ışıması etkilerinin her biri için bellekte tutulması gereken örnek sayısı Tablo 2’de gösterilmiştir. Grafik işlemci birimi belleğinde her bir parametre 32 bit yer kaplayacağı için toplam bellek ihtiyacı 174,5 MB olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. Ara deęerleme yöntemi bellek gereksinimi

Görüş hattı geometrisi kümesi	Dalga boyu kümesi	Ölçüm zamanı kümesi(saat)	Grafik işlemci birimi belleğinde tutulan toplam parametre sayısı	Grafik işlemci birimi belleğinde tutulan toplam veri boyutu
21x21x201	21	24	21x21x201x21x24	174.5 MB

Önerilen modelde Taylor açılımının derecesi $N = 3, 4$ ve 5 alındığı durumlarda grafik işlemci biriminde kullanılan katsayıların oluşturduğu vektör boyutları ve grafik işlemci birimi belleğinde tutulması gereken toplam veri boyutları Tablo 3’ de gösterilmiştir.

Tablo 3. Taylor açılımı derecesi - grafik işlemci biriminde saklanan veri sayısı ve veri boyutu

Derece	Vektör Boyutu	Veri Boyutu
3	47	0.183 MB
4	77	0.301 MB
5	119	0.465 MB

4. SONUÇLAR

Atmosferik etkilerin grafik işlemci birimi tabanlı kızılötesi sahne üretisinde modellenenebilmesine imkân tanıyan bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde, en küçük kareler kestirimi ile hesaplanan model parametreleri grafik işlemci birimi belleğinde kullanılarak, atmosferik etkilerin kızılötesi sahnede anlık görüş hattı geometrisi için belirlenmesi sağlanmıştır. Yöntemin başarımlar analizleri, orta ve uzun dalga kızılötesi bantlarında incelenmiştir. Benzetimler sonucunda, önerilen yöntem ile atmosferik etkilerin kızılötesi sahne yazılımında doğru ve etkin bir biçimde modellenenebileceği ve grafik işlemci birimi bellek kullanımının azaltıldığı gösterilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Willers, C. J. (2013) Electro-Optical System Analysis and Design - A Radiometry Perspective, SPIE - The International Society for Optical Engineering: Bellingham, Washington 98227-0010 USA.
- [2] Willers, C. J., Willers, M. S., Lapierre, F. (2011), Signature modelling and radiometric rendering equations in infrared scene simulation systems, Proceedings of the SPIE, Volume 8187, id. 81870R.
- [3] Berk, A., Bernstein, L.S., ve Robertson, D.C. (1989), "MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN 7," AFGL-TR-89-0122.
- [4] Xi, H., Jianqi, Z., Shaoze, Z., Xin, W. (2014), GPU-based high-precision real-time radiometric rendering for IR scene generation, Infrared Physics & Technology, Volume 65, Pages 134-143.
- [5] Owen, M. W., Chad L. C., Guangfu S., Efthimios G. (2010), Real-time scene generation infrared radiometry, Proc. SPIE 7663, Technologies for Synthetic Environments Hardware-in-the-Loop Testing XV, 76630N.
- [6] "DIRSIG user's manual (2006), " <http://dirsig.org/documentation>.
- [7] Kavak, Ç. ve Özaraç, S. (2015), Memory efficient atmospheric effects modeling for infrared scene generators, Proc. of SPIE Infrared Imaging Systems: Design, Analysis, Modeling, and Testing XXVI
- [8] Yonatan Katznelson (2008), Mathematical Methods for Economics, (PDF), <http://classes.soe.ucsc.edu/ams011b/Winter08/PDF/11Bsn2.pdf>.
- [9] Steven, M. Kay (1993) Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458

MUHAREBE ETKİNLİK DEĞERLENDİRME MODELİ

Gökçe Özkan ^(a), Mustafa Kemal Tural ^(b), Emre Gültekin ^(a), Haluk Canberi ^(a)

^(a) STM Savunma Teknolojileri Mühendislik Ve Ticaret A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi
2151. Cadde No:3/A Çankaya/ANKARA,
{gokce.ozkan, egultekin, hcanberi}@stm.com.tr

^(b) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, tural@metu.edu.tr

ÖZ

Bu bildiride farklı konfigürasyonlara sahip su-üstü platformların farklı tehdit senaryoları altında var olabilecek su-üstü, sualtı ve hava tehditlerine karşı etkinliğinin ölçülebilmesine olanak veren Muharebe Etkinlik Değerlendirme Modeli verilmiştir. Bir su-üstü platformun kendisine atanan görevi yerine getirme derecesi olarak tanımlanan etkinlik, aralarında ödünleşmeler bulunan birçok performans ve etkinlik ölçütünün bir araya gelmesi ile oluşur. Geliştirilen Muharebe Etkinlik Değerlendirme Modeli tüm bu ölçütleri sistematik bir şekilde değerlendirmek için etkinlik ağaçlarını kullanmaktadır. Oluşturulan etkinlik ağaçları, içinde Analitik Hiyerarşi Süreci ve Hedef Programlamanın da bulunduğu çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmekte ve su-üstü platformların farklı taktik çevreler ve farklı tehdit senaryoları altındaki topyekûn etkinlikleri hesaplanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Analitik Hiyerarşi Süreci, çok kriterli karar verme yöntemleri, etkinlik ağacı, etkinlik değerlendirme modeli, hedef programlama, karar destek modeli, modelleme, su-üstü platformların etkinliği.

COMBAT EFFECTIVENESS ANALYSIS MODEL

ABSTRACT

We propose a Combat Effectiveness Analysis Model which evaluates effectiveness of surface platforms with different configurations against possible surface, subsurface and air targets under different threat scenarios. Effectiveness of a surface platform can be defined as the level of mission fulfillment and consists of several performance measures and effectiveness measures. Proposed approach uses effectiveness tree diagrams in order to systematically evaluate all effectiveness criteria. The effectiveness trees are analyzed using several multi-objective decision making approaches including Analytical

Hierarchy Process and goal programming in order to estimate the total effectiveness of the surface platform in different tactical environments against different threats.

Keywords: Analytical Hierarchy Process, decision-support model, effectiveness evaluation model, effectiveness of surface platforms, effectiveness tree diagrams, goal programming, modelling, multi-objective decision making methods.

1. GİRİŞ

Bir sistemin etkinliği, kendisine tanımlanmış bir görev kapsamında sahip olduğu hedefleri yerine getirme derecesi olarak tanımlanır. Bir muharip su-üstü platformunun etkinliği ise, kendisine verilebilecek olan çeşitli su-üstü harbi, hava savunma harbi, denizaltı savunma harbi gibi görevleri başarılı bir şekilde yerine getirme oranı şeklinde nitelendirilebilir.

Bir platformun etkinlik değerinin hesaplanması, özellikle kavramsal tasarım ve modernizasyon aşamalarında, olası tasarım alternatifleri arasında karşılaştırma yapılmasına ve en uygun alternatifi bulunmasına yardımcı olur. [1]

Literatürde, farklı platformların muharebe etkinliklerini değerlendirme konusunda birçok örnek bulunmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalar, etkinlik değerlerini genel olarak ateş gücünü temel alarak hesaplamaktadır. Ancak bir geminin etkinliği, sahip olduğu ateş gücü dışında birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler kabiliyetler, çevre, beka, güvenilirlik, dayanıklılık, hazır bulunabilirlik gibi başlıklar altında listelenebilir ([2] [3] [4] [5]). Aynı zamanda bir sistemin etkinliği değerlendirilirken maliyeti de göz önünde bulundurulmalıdır [1]. Birçok faktörün etkisinin birleşimiyle bütünsel etkinlik hesaplanması konusunda ise etkinlik endekslerinin seçilmiş çok kriterli karar verme tekniği kullanılarak değerlendirilmesi ([6] [7] [8] [9] [10]), birden fazla çok kriterli karar verme tekniğinin birlikte kullanılarak etkinlik değeri hesaplanması ([11] [12] [13]) ve olasılık tabanlı etkinlik değeri hesaplaması ([14] [15]) gibi örnekler bulunmaktadır. Aynı zamanda muharebe analizleri için matematiksel modelleme, optimizasyon ve simülasyon tekniklerinin kullanıldığı örnekler de mevcuttur [16] [17] [18]. Ancak, yazarların bilgisi dahilinde su-üstü platformların diğer su-üstü, sualtı ve hava platformlarına karşı farklı senaryolar altında bütünsel etkinliğini inceleyen bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen muharebe etkinlik değerlendirme modelinde su-üstü platformun topyekûn etkinliği ölçülebilir performans göstergeleri ve etkinlik ölçütlerinin birleşimi ile tanımlanmıştır. Tanımlanan ölçütler hiyerarşik yapılarına göre düzenlenerek bir etkinlik ağacı oluşturulmaktadır. Oluşturulan etkinlik ağacının çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak analiz edilmesi sonucunda su-üstü platformun bütünsel etkinlik değeri hesaplanmaktadır.

2. ETKİNLİK DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMI

Bir platformun topyekûn etkinliği birçok performans ölçütünün ve etkinlik ölçütünün birleşiminden oluşur. Etkinlik ölçütleri direkt olarak tanımlanan görevi başarma derecesiyle bağlantılı olan ölçütlerdir. Performans ölçütleri ise teknik ölçütler ve operasyonel ölçütler olarak iki kategoriye ayrılabilir ve genel olarak platformun alt sistemlerinin belirli koşullar altındaki fiziksel ve işlevsel niteliklerini karakterize ederler. Teknik performans ölçütleri tanımlanmış görevden bağımsızdır. Operasyonel performans ölçütleri ise platforma verilen görev doğrultusunda tanımlanırlar ve bir ya da birden çok teknik performans ölçüsüyle ilişkilendirilebilirler. Benzer şekilde bir teknik performans ölçütü birden çok operasyonel performans ölçütüyle etkileşim içerisinde bulunabilir. Bu nedenle, simülasyon koşulları sırasında teknik performans ölçütleri kullanılarak elde edilen operasyonel performans ölçütlerinin arasındaki ilişki dolaylı olarak modellenebilmektedir.

Etkinlik ölçütlerini ve performans ölçütlerini ifade etmek için farklı ölçekler kullanılabilir de karşılaştırılabilirliği korumak amacıyla tüm ölçütleri 0 ile 1 arasında bir rasyonel sayı ile tanımlamak mümkündür.

Geliştirilen modelde, etkinlik değerlendirmesi yapılırken “Değer Odaklı Düşünme” yöntemi esas alınmaktadır. Bu yöntem, bir karar verilirken öncelikle amaçlara önem verilmesi gerektiğini belirtmektedir. Amaçlar ise kendi içinde temel amaçlar ve ara amaçlar olarak iki kategoriye ayrılmaktadır. Temel amaçlar direkt olarak görevin başarıya ulaşma derecesini belirtirken, ara amaçlar temel amaçlara ulaşmak için gerçekleşmesi gereken daha çok alt sistem ve bileşenlerle ilişkili olan amaçlardır. Ara amaçlar kendi içlerinde hiyerarşik bir biçimde düzenlenirler ve bir ana amaca hizmet ederler. Değerlendirilen sistemde temel amaçlar etkinlik ölçütlerini ifade ederken, ara amaçlar genellikle teknik ve operasyonel performans ölçütlerine karşılık gelmektedir. Bir platformun etkinliği belirlenirken bir ya da birden çok ana amacın değerlendirilmesi gerekebilir. Bu nedenle bir platformun etkinliği değerlendirilirken bu etkinlik değerine hizmet eden temel amaçlar ve ara amaçların oluşturduğu etkinlik ağaçları kullanılmaktadır [19].

Bir su-üstü platformun etkinliği değerlendirilirken, bir üst seviyede bulunan aynı amaca hizmet eden ara amaçların aynı anda maksimize ya da minimize edilmesi doğaları gereği mümkün olmayabilir. Bir alternatif bir amaç açısından iyi iken, başka bir amaç açısından kötü sonuçlar yaratabilir [20]. Bu nedenle çeşitli amaçlar arasında ödünleşmeler yapılması gerekmektedir. Bu ödünleşmelerin sistematik bir biçimde yapılabilmesi için ise çok kriterli karar verme teknikleri kullanılmaktadır.

Literatürde, farklı sınıflandırmalar kullanılarak incelenen birçok çok kriterli karar verme yöntemi bulunmaktadır. Bunların bir kısmı kullanıcıdan bağımsız yöntemler iken, büyük bir kısmı kullanıcının değer fonksiyonunu göz önünde bulundurmaktadır [21]

[22]. Belirli bir konfigürasyona sahip su-üstü platformların etkinliği, farklı tehdit senaryoları ve çevre şartlarına ve kullanıcı tercihlerine göre farklılık gösterebilir. Farklı kullanıcılar, farklı temel amaçlar ve ara amaçlara önem verebilirler. Bu nedenle, etkinlik değerlendirme sürecinin ve buna bağlı olarak kullanılacak çok kriterli karar verme yöntemlerinin doğası gereği kullanıcıdan girdi alınması gerekmektedir. Geliştirilen modelde kullanılan çok kriterli karar verme yöntemleri aşağıda özetlenmiştir.

Geliştirilen yöntemde, sayısal bir hedef değeri olan ölçütlerin değerlendirilmesinde amaç programlama yöntemi kullanılmaktadır. Bu amaçların değerlerinde hedeften istenmeyen sapmalar ağırlıklandırılır ve ağırlıklı toplamaları minimize edilir [23].

Sayısal bir hedef değeri bulunmayan ölçütler için kullanılan bir yöntem ise, hiyerarşik yapıdaki kriterlerin kıyaslanmasını sağlayan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemidir. Bu yöntemde amaçlar ve ara amaçlar hiyerarşik bir yapıda listelenir. Hiyerarşide aynı seviyede bulunan ve bir üst seviyedeki aynı amaca hizmet eden amaçlar arasında ikili kıyaslamalar yapılır. Kullanıcı kıyaslanan ölçütlerden hangisinin ne kadar daha önemli olduğu bilgisini sağlar. Daha sonra AHS matrisi işlemleri yapılarak kıyaslanan amaçların ağırlıkları belirlenir. Ancak AHS yönteminin kullanılabilmesi için kıyaslanan kriterlerin birbirinden bağımsız olması gerekmektedir. Bu nedenle, eğer AHS yöntemi kullanılmak isteniyorsa, birbirine bağımlı ölçütlerin temel bileşenler analizi kullanılarak tek bir ölçüte indirgenmesi gerekmektedir. [24]

Kullanıcıdan girdi alınması mümkün olmayan amaçların kıyaslanmasında ideal çözüme uzaklık yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde, tüm amaçların alabileceği en iyi değerlerden meydana gelen ve genel olarak çözüm uzayında yer almayan ideal çözüm belirlenir ve diğer tüm çözümler bu noktaya olan uzaklıklarıyla ters orantılı olacak şekilde değerlendirilir. [25]

Son olarak, önceden belirlenmiş bir ağırlık kümesi mevcut ise, bir alt seviyedeki bağlantılı amaçların ağırlıklı toplamaları bulunarak ilgili amacın etkinlik değeri elde edilir. Uygun olması durumunda, amaçların ağırlıklı toplamı yerine minimum, maksimum, çarpım gibi toplama yöntemleri de kullanılabilir. [26]

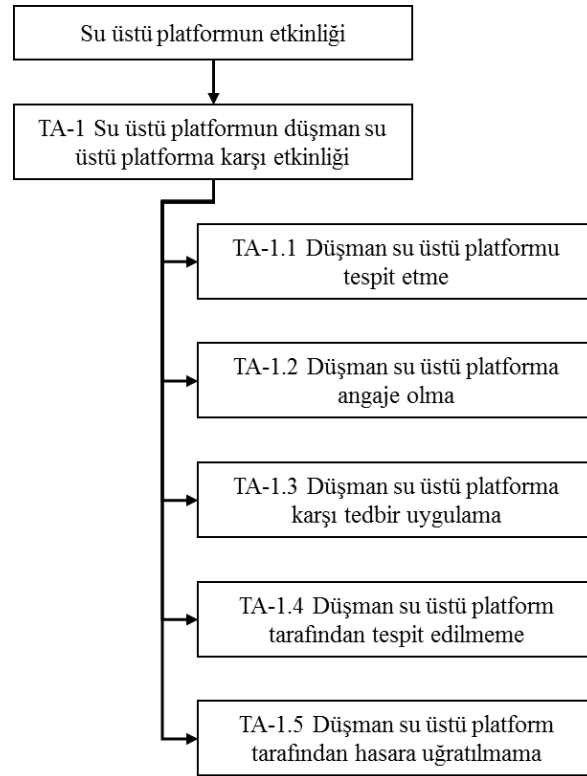
3. ÖRNEK UYGULAMA

Geliştirilen muharebe etkinlik değerlendirme modelini olası bir senaryo üzerinde örneklendirmek amacıyla, bir su-üstü platformunun sahip olduğu radarın aktif menzilinin düşman bir su-üstü platformuna karşı etkinliğine olan etkisinin değerlendirildiği bir örnek kurgulanmıştır. Kurgulanan örnekte, bir su-üstü platforma tespit edilmeden belirli bir alan içerisinde bulunan düşman platformları tespit etme görevi verilmiştir. Tanımlanan koşullarda, düşman su-üstü platform belirtilen alan içerisinde rassal bir konumda rassal bir varış noktasına ilerlemektedir. Etkinliği analiz

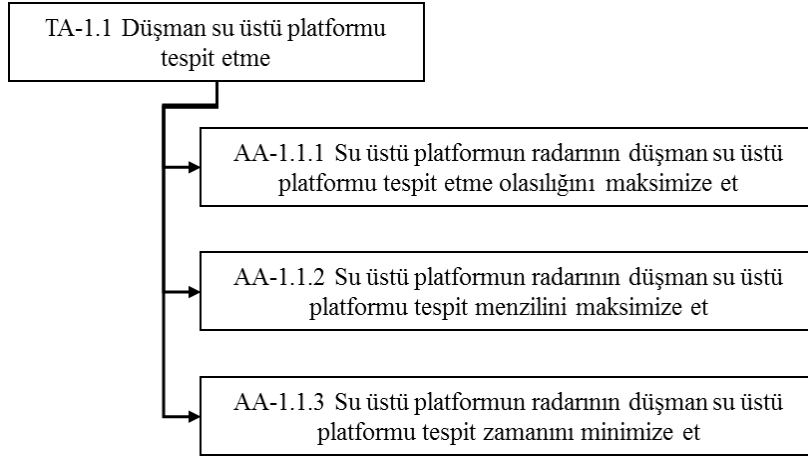
edilen platform ise tanımlı başlangıç noktasından kendisine tanımlanan rota üzerinde ilerlemektedir.

Bu kurguya uygun olarak tanımlanan operasyonel performans ölçütleri yapılan simülasyon koşumları sonrası elde edilmektedir. Koşumlar sonrası elde edilen ilgili operasyonel performans ölçütleri kullanılarak, dost su-üstü platformun sahip olduğu radarın aktif menzilinin etkinliği üzerindeki etkisi incelenmektedir.

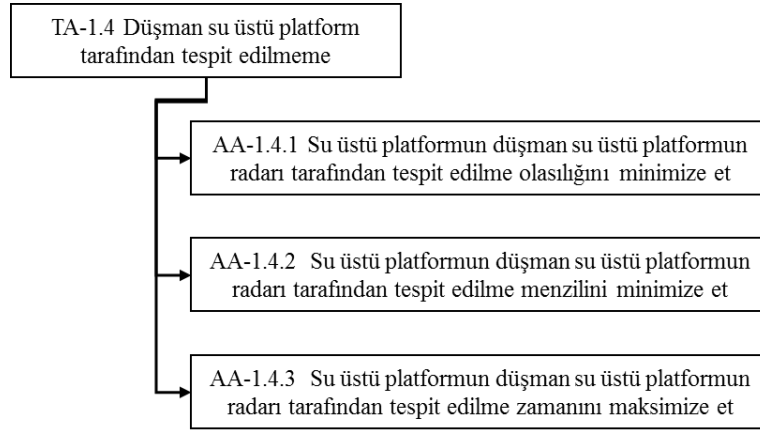
Değer odaklı düşünme yaklaşımı kullanılarak bu senaryo için hazırlanan etkinlik ağacı Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’te gösterilmektedir.



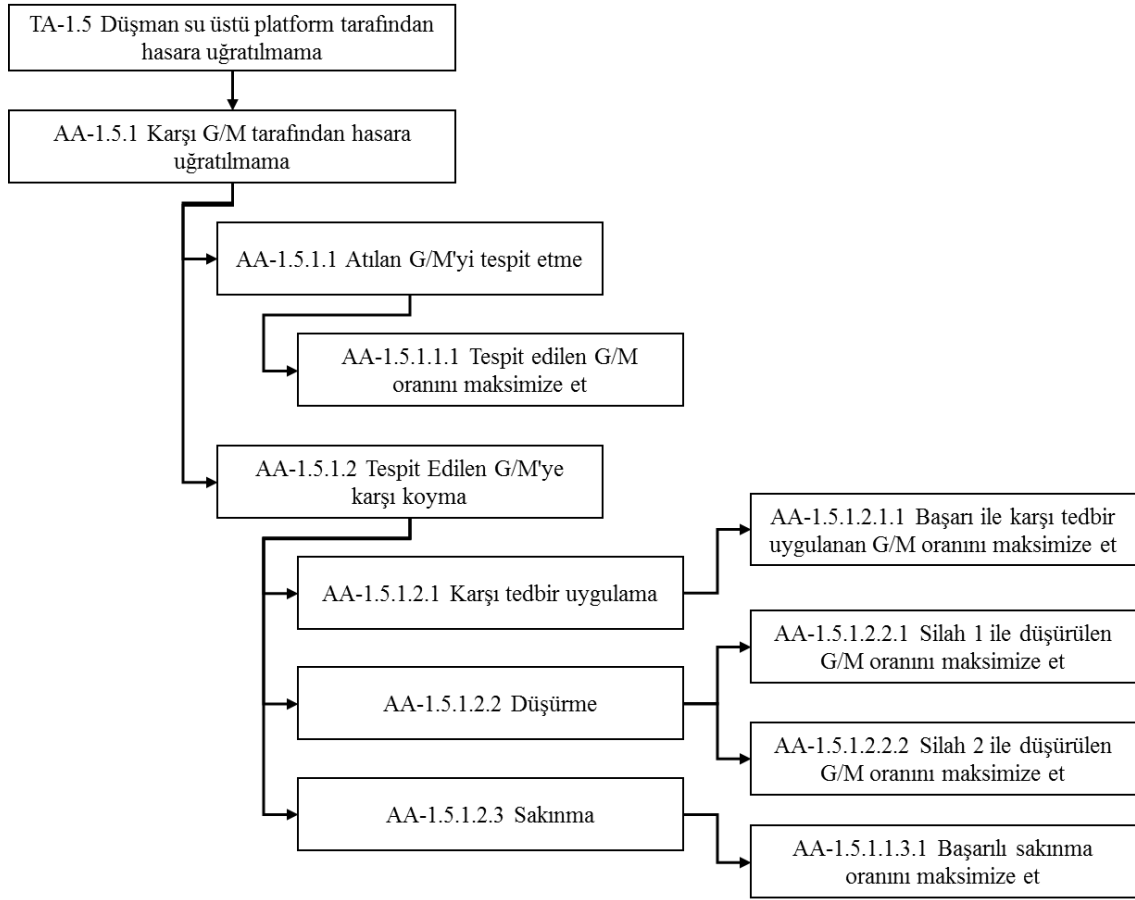
Şekil 1. Temel amaçlar hiyerarşisi



Şekil 2. Düşman su-üstü platformu tespit etme temel amacı kırılımı



Şekil 3. Düşman su-üstü platform tarafından tespit edilmeme temel amacı kırılımı



Şekil 4. Düşman su-üstü platform tarafından hasara uğratılmama temel amacı kırılmı

Oluşturulan senaryo kapsamında 15 deniz mili aktif menzilli bir radarın kullanıldığı konfigürasyon ile 25 deniz mili aktif menzilli bir radarın kullanıldığı konfigürasyonun etkinlik kıyaslaması yapılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda yapılan deney tasarımı sonrasında simülasyon koşumları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon koşumları sonucunda elde edilen ölçütlerin ortalama değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Etkinlik ölçütü değerleri

Etkinlik Ölçütünün İlgili Olduğu Amaç	15 Deniz Mili Aktif Menzilli Sonar	25 Deniz Mili Aktif Menzilli Sonar
AA-1.1.1	1.00	1.00
AA-1.1.2	0.25	0.30
AA-1.1.3	1.00	1.00
TA-1.2	1.00	1.00
TA-1.3	0.55	0.65

Etkinlik Ölçütünün İlgili Olduğu Amaç	15 Deniz Mili Aktif Menzilli Sonar	25 Deniz Mili Aktif Menzilli Sonar
AA-1.4.1	0.00	0.00
AA-1.4.2	0.00	0.00
AA-1.4.3	0.75	0.75
AA-1.5.1.1.1	0.60	0.90
AA-1.5.1.2.1.1	0.60	0.90
AA-1.5.1.2.2.1	0.30	0.40
AA-1.5.1.2.2.2	0.30	0.35
AA-1.5.1.2.3.1	0.60	0.90

Bu etkinlik/operasyonel performans ölçütlerinin değerleri kullanılarak etkinlik değeri hesaplaması yapılırken farklı çok kriterli karar verme yöntemleri ve toplleştirme teknikleri kullanılmıştır. Kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerine yönelik uygulamalar aşağıda örneklendirilmiştir.

“AA-1.5.1.2.2 Düşürme” değeri hesaplanırken “Silah 1 ile düşürülen G/M oranı” ile “Silah 2 ile düşürülen G/M oranı” toplanarak “Toplam düşürülen G/M oranı” elde edilmektedir. “TA-1 Su-üstü Platformun Düşman Su-üstü Platforma Karşı Etkinliği” ölçütü hesaplanırken kullanıcı tarafından önceden belirlenen ağırlıklar kullanılarak bu ölçüte bağlı ara amaçların değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınmaktadır. Benzer şekilde AA-1.5.1.2, TA-1.1 ve TA-1.4 değerleri belirlenirken de önceden hesaplanmış ağırlıklar kullanılmaktadır. “AA-1.5.1 Karşı G/M Tarafından Hasara Uğratılmama” değeri hesaplanırken ise “atılan G/M’yi tespit etme” ve “tespit edilmiş G/M’ye karşı koyma” olasılıkları çarpılarak atılan “G/M’ye karşı koyma” olasılığı hesaplanmaktadır.

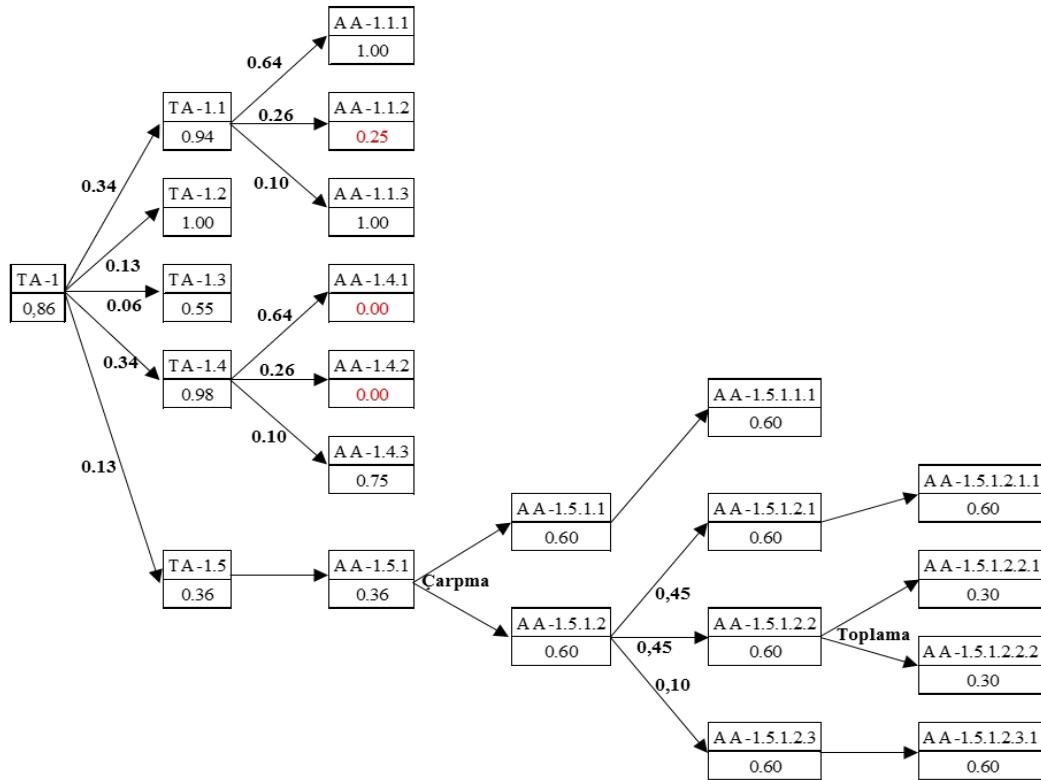
Önceden hesaplanmış ağırlıkların bir kısmı AHS yöntemi ile elde edilmiştir. Örnek olarak, TA-1.1 değeri hesaplanırken kullanılan ağırlıkların hesaplanması için kullanıcıdan AA-1.1.1, AA-1.1.2 ve AA-1.1.3 değerleri arasında ikili karşılaştırmalar yapılması istenmiş ve Tablo 2’de bulunan cevaplar elde edilmiştir.

Tablo 2. AHS matrisi

	AA-1.1.1	AA-1.1.2	AA-1.1.3
AA-1.1.1	1	3	5
AA-1.1.2	1/3	1	3
AA-1.1.3	1/5	1/3	1

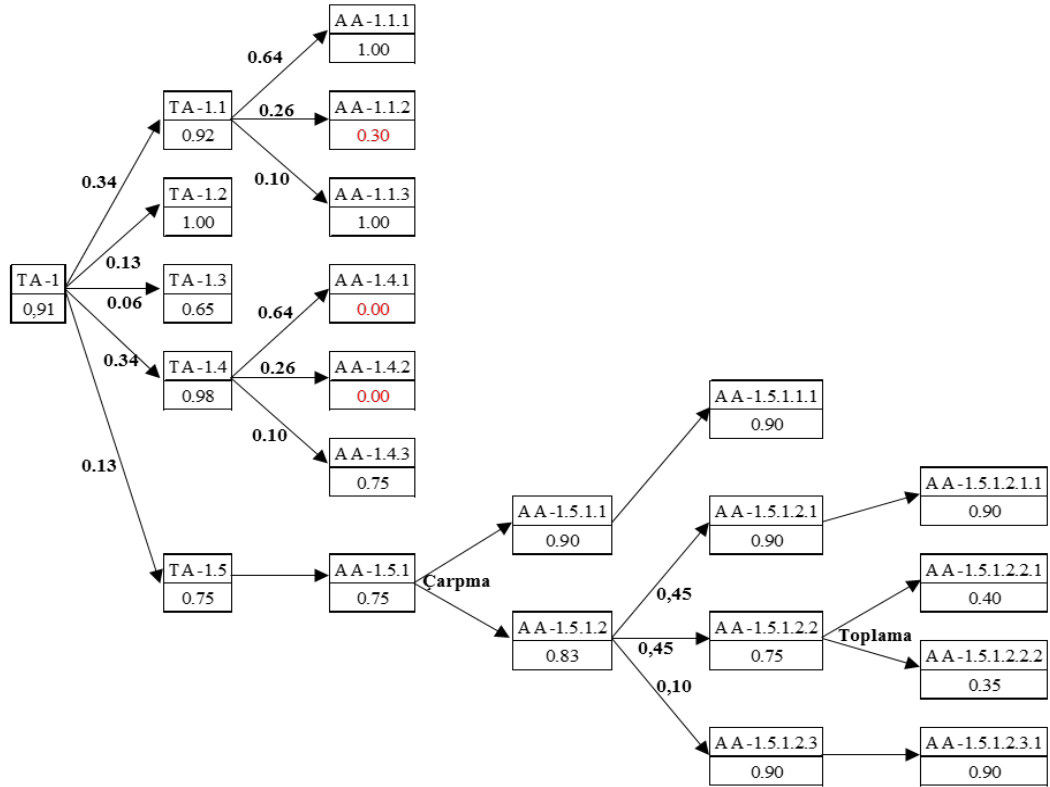
Bu cevaplar kullanılarak AA-1.1.1, AA-1.1.2 ve AA-1.1.3 amaçlarının ağırlıkları sırası ile 0.64, 0.26 ve 0.10 olarak belirlenmiştir.

15 deniz mili aktif menzilli bir radarın kullanıldığı konfigürasyon ile 25 deniz mili aktif menzilli bir radarın kullanıldığı konfigürasyonun etkinlik ağacı üzerindeki etkinlik değerleri hesaplamaları sırası ile Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 5. 15 deniz mili aktif menzilli radara sahip platformun etkinlik ağacı

Etkinlik ağacı üzerinde bulunan renklendirilmiş değerler minimize edilecek ölçütlerin değerlerini göstermektedir. Bu değerler, etkinlik değerlendirilmesi yapılırken birden çıkarılarak maksimize edilecek değerlere çevrilmiştir.



Şekil 6. 25 deniz mili aktif menzilli radara sahip platformun etkinlik ağacı

Etkinlik değerlendirme analizi sonucunda, 25 deniz mili aktif menzilli radara sahip konfigürasyonun, 15 deniz mili aktif menzilli radara sahip konfigürasyona göre etkinlik değerinde yaklaşık 0,05 (%5) puanlık bir artış sağladığı gözlemlenmiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı konfigürasyonlara sahip su üstü platformların farklı tehdit senaryoları ve çevre koşulları altında su-üstü, sualtı ve hava tehditlerine karşı etkinliğini analiz etmek için geliştirilen Muharebe Etkinlik Değerlendirme Modeli anlatılmıştır. Bu modelin, muharip su-üstü platformların tasarım, konfigürasyon seçimi, simülasyon tabanlı tedarik ve modernizasyon çalışmalarına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda, entegre olduğu simülasyon sistemi ile birlikte kullanıldığında, taktiksel ve operasyonel kararların sistematik biçimde verilmesi için de etkin bir araç olacaktır.

İlgili etkinlik değerlendirme modelinin, muharip su-üstü platformların etkinliğini değerlendirmenin yanında, diğer muharip platformlar (sualtı, hava, kara) ve uzay sistemleri için de uygulanabilir olduğu değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Kitowski, J.V. (1992), Combat Effectiveness Methodology as a Tool for Conceptual Fighter Design, *1992 Aerospace Design Conference*.
- [2] Hayward, P. (1968), The Measurement of Combat Effectiveness, *Operations Research*, 16(2), 313-323.
- [3] Roedler, G. ve Jones, C. (2005), *Technical Measurement Guide*, version 1.0. San Diego, CA, ABD: International Council on Systems Engineering (INCOSE). INCOSE-TP-2003-020-01.
- [4] Campbell, P. L. (2004), *Measures of Effectiveness: An Annotated Bibliography*, United States. Department of Energy.
- [5] Ünlü, S. (2015), *Effectiveness of unmanned surface vehicles in anti-submarine warfare with the goal of protecting a high value unit*, California: Naval Postgraduate School.
- [6] Dong, C., Wu, D. ve He, J. (2008), Study on Method of Satellite Navigation System Combat Effectiveness Evaluation Based on Rough Fuzzy Sets, *2008 Chinese Control and Decision Conference*, 3220-3223.
- [7] Dong, C., Wu, D. ve He, J. (2008), Decision Analysis of Combat Effectiveness Based on Rough Set Neural Network, *Fourth International Conference on Natural Computation*, 227-231.
- [8] Li, H. ve Xing, J. (2013), Combat Effectiveness Evaluation Method of Photoelectric Defense System Based on SVM Optimized by Particle Swarm Algorithm, *2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*, 2680-2684.
- [9] Jihua, D., Wanchun, C. ve Deping, S. (2010), Ship-to-air Missile Weapon System Command Effectiveness Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation, *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 281-284.
- [10] Li, H. ve Guo, L. (2011), A Combat Effectiveness Evaluation Model Based on Interval Number and Grey Decision Making, *2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer*, 1166-1169.
- [11] Wibowo, A.S., Permanasari, A.E. ve Fauziati, S. (2016), Combat Aircraft Effectiveness Assessment Using Hybrid Multi-Criteria Decision Making Methodology, *2016 2nd International Conference on Science and Technology-Computer (ICST)*.
- [12] Wang, J., Fan, K., Su, Y. Liang, S. ve Wang, W. (2008), Air Combat Effectiveness Assessment of Military Aircraft Using a Fuzzy AHP and TOPSIS Methodology, *7th International Conference on System Simulation and Scientific Computing*, 655-662.
- [13] Shao, X. ve Chen, Q. (2014), Complication Evaluation of Methods of Naval Battlefield Electromagnetic Environment Based on Combat Effectiveness, *Applied Mechanics and Materials*, 565, 233-237.
- [14] Seo, K., Song, H.S., Kwon, S.J. ve Kim, T.G. (2010), Measurement of Effectiveness for an Anti-torpedo Combat System Using a Discrete Event Systems Specification based Underwater Warfare Simulator, *Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 8(3), 157-171.
- [15] Zhao, Z.Q., Hao, J.X. ve Li, L.J.. (2017), Study on Combat Effectiveness of Air Defense Missile Weapon System Based on Queuing Theory, *Seventh International Conference on Electronics and Information Engineering*.

- [16] Tolk, A. (2012), *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*, John Wiley & Sons, Inc.
- [17] Washburn A., Kress M. (2009), *Combat Modeling*, Springer Science+ Business Media.
- [18] J. S. Przemieniecki (2000), *Mathematical Methods in Defense Analyses*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- [19] Keeney, R.L. (1992), *Value Focused Thinking: A Path to Creative Decisionmaking*, Cambridge, M: Harvard University Press.
- [20] Hughes, W. P. (1995), A Salvo Model of Warship in Missile Combat Used to Evaluate Their Staying Power, *Naval Search Logistics*, 42, 267-289.
- [21] Chankong, V. ve Haimes, Y.Y. (1983), *Multiobjective Decision Making. Theory and Methodology*, New York: North-Holland.
- [22] Steuer, R.E. (1986), *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Applications*, Chicester: Wiley.
- [23] Charnes, A. ve Cooper, W.W.(1977), Goal programming and multiple objective optimizations, *European Journal of Operational Research*, 1(1), 39-54.
- [24] Saaty, T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill International.
- [25] Hwang, C.L., Lai, Y.J. ve Liu, T.Y. (1993) A new approach for multiple objective decision making, *Computers and Operations Research*, 20, 889-899.
- [26] Calvo, T., Mayor, G., ve Mesiar, R. (2013), *Aggregation Operators New Trends and Applications* (Vol. 97, *Studies in Fuzziness and Soft Computing*). Heidelberg, Neckar: Physica.

HABERLEŞME SİSTEMİ SİMÜLASYONU

**Selin Akifoğlu^(a), Cansu Alakuş^(a), Zeynep Pelin Bayındır^(a), Ömer Kırca^(a),
Gökçe Özkan^(a), Seçil Savaşaneril Tüfekçi^(a), Emrah Günsel^(b), Ömer Doğan^(b),
Özgün Törezen Öztürk^(b)**

^(a) ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara,

{kırca, bpelin, aselin, calakus}@metu.edu.tr, secil.tufekci@gmail.com

^(b) Aselsan A.Ş., Ankara, {egunsel, otorezen, omerdogan}@aselsan.com.tr

ÖZ

ADOP-2000, ASELSAN tarafından geliştirilmiş, uygun hedefin uygun zamanda uygun silah sistemi ve uygun mühimmat ile ateş altına alınması için gerekli planların yapılmasını ve uygulanmasını sağlayan bir C4I¹ sistemidir [1]. ADOP-2000'in altyapı sağladığı *haberleşme sisteminin performansını incelemek* için ASELSAN ve ODTÜ tarafından ortak bir proje yürütülmektedir.

Projenin amacı haberleşme sisteminin performansını iyileştirecek haberleşme yapısının (hiyerarşi, telsiz kanal adedi, paket gönderim süresi vb.) belirlenmesidir. Proje kapsamında öncelikle ateş destek haberleşme sisteminin temel elemanları belirlenmiş ve mevcut durumda elemanlar arasındaki mesaj akışı incelenmiştir, haberleşme sistemini etkileyen sistem özellikleri ile gözlenmesi ve iyileştirilmesi hedeflenen performans ölçüleri belirlenmiştir. Haberleşme altyapısının ve mesaj trafiğinin etkisinin anlaşılması için kesikli olay tabanlı bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Kurulan benzetim modeli aracılığıyla sistem özelliklerinin farklı seviyeleri altında performans ölçülerinin değişimi incelenmektedir.

SIMULATION OF A COMMUNICATION SYSTEM ABSTRACT

ADOP-2000 is a C4I¹ system, developed by ASELSAN, that allows to make plans to cover by fire the appropriate target with the appropriate weapon system and appropriate

ammunition and apply it [1]. A joint project is being carried out by ASELSAN and METU to examine the performance of the communication system that ADOP-2000 provides infrastructure.

The purpose of the project is to determine the communication structure (hierarchy, channel number, packet sending time etc.) that will improve the performance of the communication system. Within the scope of the project, firstly the basic elements of the fire support communication system were identified and the message flow between the elements was examined in the present situation. The system characteristics affecting the communication system and the performance measures aimed to be improved were determined. In order to understand the effect of communication infrastructure and message traffic, a discrete time event based simulation model has been developed. Change in the performance measures under different levels of system characteristics is examined through the installed simulation model.

Keywords: communication system, simulation

1. GİRİŞ

Askeri komuta kontrol süreçleri, insanlar tarafından verilen kararlardan oldukça etkilenmektedir. Bu durum komuta kontrol süreçlerinin savaş simülasyonlarında modellenmesini güçleştirir. [6] ADOP-2000'in altyapı sağladığı haberleşme sisteminin performansını incelemek ve geliştirebilecek önerilerde bulunabilmek için ortak bir çalışma yürütülmüştür. Bu bildiride, bu çalışma kapsamında yapılan literatür taraması, analizler ve elde edilen sonuçlar sunulmaktadır.

Benzetim modeli hiyerarşik bir sistem varsayımı altında oluşturulmuştur. Bildiride modelin yapısı, girdileri, işleyişi ve çıktıları açıklanmaktadır. Modelde kullanılan girdilerin ve model çıktılarının değerleri paylaşılamamaktadır. Bu yüzden, çıktılar özet şeklinde paylaşılmıştır.

2. HABERLEŞME SİSTEMİ VE BENZETİM MODELİ

Bu çalışmada, ateş destek haberleşme sisteminin performansını ölçmek için sistemin *kesikli olay tabanlı* bir benzetim modeli oluşturulmuştur. Mevcut sistemde haberleşme alt yapısı iletişim araçlarının bağlı olduğu çevrimlerden oluşur. Bir çevrimde elemanların birbiri ile iletişimini sağlamak için birden fazla kanal bulunur. Farklı çevrimde yer alan bir telsizle haberleşmek istendiğinde çevrimlerde yer alan “ortak çevrim elemanları” üzerinden haberleşme sağlanır.

Bir çevrimde bulunan sistem elemanları, *sensör*, *karar merkezi* ya da *batarya (silah, namlu)* olabilir. Bir hedefi ateş altına almak için, öncelikle *sensör* tespit ettiği hedefi bağlı bulunduğu *karar merkezine* bildirir. Karar merkezi, hedefi mevcut kaynaklarıyla ateş altına alabiliyorsa, hedefi vurmak için kendi *silahlarından* birini görevlendirir. Bu haberleşme süreci görevin bitirilme kararı alınana kadar devam eder ve yeni bir hedefin tespit edilmesiyle yeni bir haberleşme süreci başlar. Bu süreçleri çeşitli işler olarak tanımlamak mümkündür. Tanımlanan işler birbirini takip eden mesajlaşmalardan ve bu mesajlara verilen teyit mesajlarından oluşur.

Mesajlar paketlere ayrılarak çevrimlerde bulunan kanallar yoluyla iletilirler. Bir mesajın iletilmesi için oluşturulan paket sayısı mesajın büyüklüğü ile orantılıdır. Mesajın tipi büyüklüğünü etkileyen bir faktördür. Çevrimde bulunan bir eleman diğer bir elemana bir mesaj paketi ileteceği zaman, öncelikle mesajı gönderecek eleman başlangıç ve mesajın gönderileceği eleman bitiş olacak şekilde bir bağlantı kurulması gerekir, yani bir kanalın o yönde tahsis edilmiş olması gerekir. Bu bağlantı önceden sağlanmamış durumdaysa, öncelikle kanal, mesajın iletileceği yönde belirli bir sürede bağlantı kurar. Bir başka deyişle bu yönde gönderilecek ilk paket bu süre sonunda diğer sistem elemanına iletilir. Mesaj gönderilmek istendiğinde çevrimdeki tüm kanallar kullanımdaysa ve bu kanallardan hiçbirisi mesajı gönderen elemandan ve mesajın iletileceği elemana tahsis edilmemişse, mesaj *tekrar gönderim süresi* kadar bekletilir ve bu süre sonunda tekrar gönderilir. Mesaj gönderilemezse *mesaj tekrar sayısı* kadar bu olay tekrarlanır. Mesaja verilecek teyit mesajı *mesaj zaman aşım süresi* süresi boyunca mesajı gönderen elemana dönmezse kullanıcı (karar verici) mesajı tekrar gönderme seçeneğine sahiptir.

2.1. Literatür taraması

Drs. S.T.G.L. Kurstjens (1998) tarafından yapılan “Kontrol, İletişim ve Bilgi Sistemlerinin Rolü” adlı çalışma 1997-98 yıllarında geliştirilen SMART (Simulation Model ARTillery) simülasyon modelinin geliştirilmiş versiyonu olan SMARTER’ı (Simulation Model ARTillery Extended and Revised) anlatılmaktadır. SMARTER modeli sayesinde bir taburda olması gereken top sayısı, hedef tespit, komuta kontrol ve silah sistemlerinin organizasyon yapısı ve hedef tespitinin ateş emrine dönüştürülene kadar iletişim sisteminde izlediği rotalar gibi birçok araştırma sorusunun cevaplanması amaçlanmıştır. SMARTER modelinde sistem elemanlarının tanımlanması, senaryo yaratılması, simülasyon ortamı ve sonuçların analiz edilmesi olmak üzere dört ana işlevden oluşan bir arayüz geliştirilmiştir. Model elemanlarından iletişim proje ile doğrudan ilintilidir. Bu çalışmada, iletişim kaynaklarının topçu sistemlerinde darboğaz olabileceği belirtilmiş ve bu modelde bilgiyi bir birimden diğerine ileten teknik kaynaklar olarak modellenmişlerdir. Ayrıca, her mesajın gönderilmek istenen yere ulaşmayabileceği de göz önüne alınmıştır. Bu yüzden, bir olasılık fonksiyonu ile bir mesajın ulaşp ulaşmayacağı modellenmiştir. [5]

“Hava Kuvvetleri Haberleşme Sistemlerinin Simülasyonu için Metodoloji ve Temel Kurallar” isimli çalışmada ADOP-2000 projesi ile oldukça benzerlikler taşıyan AFATDS projesi için yapılan haberleşme simülasyonu özetlenmiştir. Bu çalışma, AFATDS ve MIL-STD-188-220B/C protokolleri kullanıldığında AFATDS ateş destek sisteminin performansının ve AFATDS’nin genel performansının nasıl etkilendiğini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Bu çalışmada kullanılan belirli bir olasılık dağılımı ile görev dizisi yaratma yaklaşımının ADOP-2000 haberleşme sistemi benzetimi için de kullanılması planlanmaktadır. [8, 9]

Lee vd. (1995) merkezi ve merkezi olmayan komuta-kontrol mekanizmalarının performanslarını karşılaştırılmıştır. Performans ölçüsü olarak (etkisiz hale getirilen düşman birimleri) / (kaybedilen dost birlikler) belirlenmiştir. Merkezi olmayan komuta kontrol yapısında eyleme geçme zamanı daha düşük olduğu için ateşin etkisi daha fazla olmaktadır. Merkezi sistemde tüm mesajlar üste iletildiği için birlik komutanının işlem süresi arttıkça dost kuvvetlerin etkinliği azalmaktadır. Silahların menzili veya karar verme süreleri parametrelerinin değerleri değiştirilerek 50 test yapılmış ve merkezi olmayan sistemin daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. [4]

Harmon vd. (1981) askeri komuta, kontrol ve haberleşme (C3) sistemlerinin yüksek seviyede bir modelini oluşturmuş ve haberleşme alt sisteminin performansını değerlendirmek için performans ölçüleri önermiştir. Modelde askeri hiyerarşide yer alan elemanlar birer düğüm ile ifade edilmiş ve her bir düğümün diğer düğümlerle nasıl bir iletişim içinde olduğu belirtilmiştir. Her bir düğüm bir alt sistem olarak tanımlanabilir. Robot sistemleri ile analogi kurularak üç tip düğüm tanımlanmıştır: sensör, komuta, ve yürütme (eylem). Sensör ileri gözetleyici, komuta karar-emir veren birim ve yürütme batarya olarak örneklenebilir. Düğümler arasında malumat akışı gözetleyiciden komutaya, komutadan yürütmeye doğru gerçekleşir. İletişim akışı temelde iki tiptedir: (1) Bilgi (2) Mesaj. [3]

Hamilton vd. (1997) ateş destek süreci hedef yer belirleme, hedefe ateşe karar verme, hedefe hangi vasıta ile ateş etme ve hedefe ateşin gerçekleşmesi aşamalarından oluşan bir çevrimsel döngüyü ele almıştır. Bilgi iletişiminin daha iyi olmasının hedefi belirleme ve ateş altına alma arasındaki süreyi kısaltacağı belirtilmiştir. [2]

2.2. Benzetim modeli

Benzetim modelinde yer alan parametreler, sensörle ilgili parametreler (ör. hedef tespit zaman aralığı), silah ile ilgili parametreler (ör. kendi silahları ile ateş altına alma yüzdesi), karar merkezi ile ilgili parametreler (ör. ateş isteği analiz süresi), çevrim alt yapısı parametreleri (ör. kanal adedi) ve sistem ile ilgili parametreler (ör. mesaj zaman aşım süresi) olarak sınıflandırılmıştır. Bu parametreler tasarım ve ortam parametreleri olarak ayrılmıştır. Benzerim modelinde tasarım parametrelerinin seviyelerine henüz karar

verilmemiş, halihazırdaki seviyeleri kullanılmaktadır. Ortam parametrelerinden hedef tespit zaman aralığı, serbest mesaj üretme zaman aralığı ve çoklu gönderim mesaj zaman aralığı deney tasarımıyla kullanılacaktır. Bu parametreler için üç seviye kullanılacaktır.

Haberleşme sisteminin performansını değerlendirebilmek için benzetim modelinde aşağıdaki performans ölçüleri hesaplanmaktadır.

- Görev gerçekleştirme oranı
- Hedefi ateş altına alma süresi
- Çevrim kanallarının kullanım oranı
- Çevrimde kaybedilen mesaj sayısı
- Karargah kullanım oranı
- Karargah kuyruğunda ortalama bekleme süresi ve kuyruk uzunluğu
- Batarya kullanım oranı
- Batarya kuyruğunda ortalama bekleme süresi ve kuyruk uzunluğu

2.3. Benzetim modelinin yapısı, bileşenleri ve işleyişi

Sistemin büyüklüğü ve hiyerarşik yapısı modelin alt sistemlere bölünmesini gerekli kılmıştır. Emir komuta zincirinin en yukarısında yer alan birimler arasındaki haberleşme çevrimi bir sistem olarak düşünülürse bu birimlerin emir komutasında yer alan diğer birimler ve alt çevrimlerin her biri alt sistemleri oluşturmaktadır. Dolayısı ile hiyerarşik yapıda aşağılara inildikçe sistemlerin alt sistemlerine inilmektedir. En küçük birim olan Adestim'in 1 silah, 2 sensör(gözetleyici) ve 1 karar merkezinden(karargah) oluştuğu varsayılmıştır. Her bir sistem elemanı modüler olarak tanımlandığından, bir alt sistemin benzetim modelini oluşturmak için, ilgili modüllerin birbiri ile bağlantısını oluşturmak yeterlidir.

Benzetim modelinde, temel olarak sistem elemanlarının tesir görevlerini icra etmek üzere gerçekleşen mesajlaşmaları ele alınmıştır. Diğer mesajlar, serbest mesajlar ve çoklu mesajlar olmak üzere iki grupta incelenmiştir. Sistemde yer alan mesajlar örneğin *ateş isteği* ya da *atıldı haberi* olabilir.

Sistemdeki her eleman benzetim modelinde “modül” olarak tanımlanmaktadır. Alt sistemlerin ve sistemlerin oluşturulması, modüllerin bir araya getirilerek daha karmaşık modüller oluşturulması ile mümkün olmaktadır. Her modülün içerisinde o birimin sistem hiyerarşisindeki yerini belirlemek için gerekli parametreler modüllerin arayüzünde kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir. Buna ek olarak, tüm parametre değerleri harici bir dosya aracılığı ile verilmektedir. Sistemde dolaşan mesajların birer çıkış noktaları bulunmaktadır. Mesajlar, bu çıkış noktalarında yaratıldıktan sonra taşıdıkları özelliklere

göre varış birimlerine çevrim modülleri aracılığı ile ulaştırılacaklardır. Modüllere gelen mesajlar türüne göre modül içerisindeki değişik işlemlerden bir veya daha fazlasını tetikleyerek modül içerisinde tanımlanan işlerin gerçekleştirilmesini sağlar.

2.4. Benzetim modeli çıktıları

Benzetim modelinin performansını ölçmek için parametreler belirlenmiş ve bu parametrelerin farklı seviyelerdeki değerleri için en küçük birimden başlayarak model koşulmuştur. Benzetim koşumları sonunda her alt sistem için performans ölçülerinin aldığı değerler incelenmiştir ve doğrulaması yapılmıştır. Deney çıktılarını yorumlamak için istatistiksel testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre

- Serbest mesaj zaman aralığı ve çoklu mesaj zaman aralığının performans ölçülerini anlamlı seviyede etkilemediği görülmüştür.
- Hedef tespit zaman aralığının performans ölçülerini beklenen yönde etkilediği görülmüştür. Örneğin, hedef tespit zaman aralığı arttığında görev gerçekleştirme oranı anlamlı şekilde artmaktadır, batarya için kuyrukta bekleme süresi azalmaktadır.
- Sistemde üç çeşit kaynak/sunucu bulunduğu düşünülebilir: karargah, kanal ve birlikler. Sistem sınırının tespiti için olağan üstü yükleme testleri senaryosunda görev gerçekleştirme oranının düşük olması birliklerin darboğaz olması nedeniyledir. Performans ölçüleri elde edilen seviyelerde gerçekleşmiş, haberleşme ve karargah seviyesinde kaynak sıkıntısı gözlemlenmemiştir.

Bu koşumlardan sonra, sistemin kararlı halde nasıl davrandığını görebilmek için, en yoğun sistem parametreleri ile uzun bir koşum alınmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışma ateş destek haberleşme sisteminin benzetim modelinin geliştirilmesini içermektedir. Benzetim modeli kullanarak, haberleşme sisteminin farklı senaryolar altında performansı ölçülmüş ve bu performansı etkileyen sistem özellikleri araştırılmıştır. Sistemi etkileyen faktörlerin (kanal sayısı, paket gönderim hızı, vb.) hangi seviyede haberleşme sistemini nasıl etkileyeceğinin kapsamlı bir analizinin yanısıra, haberleşme sisteminin etkin bir şekilde çalışması için hangi faktörlerin ne seviyede olması gerektiğini belirlemek gereklidir. Faktörlerin yanısıra yapısal değişikliklerin (örneğin çevrim yapısı ya da mesaj iletme kurallarının değişmesi) etkilerinin analiz edilmesine ihtiyaç vardır.

4. KAYNAKÇA

- [1] <http://www.aselsan.com.tr/tr-tr/cozumlerimiz/komuta-kontrol-haberlesme-ve-bilgisayar-c4i-sistemleri/ates-destek-komuta-kontrol-sistemleri/adop-2000>
- [2] J. A. Hamilton, E. J. Sobiesk, J. C. Deal (1997), Multilevel simulation of FORCE XXI fire support operations, Systems, Man, and Cybernetics, IEEE International Conference on Computational Cybernetics and Simulation,3,2601-2606
- [3] S.Y. Harmon and R.L. Brandenburg (1981), Concepts For Description And Evaluation Of Military C3 Systems, Code 8321, Naval Ocean Systems Center, San Diego, CA 92152
- [4] T. Lee, S. Ghosh (1995), A novel approach to asynchronous, decentralized decision-making in military command and control, Proceedings ISADS 95. Second International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, 25-31
- [5] Kurstjens, S.T.G.L.(1999), The Role Of C3I In Field Artillery Simulation, RTO Meeting Proceedings- North Atlantic Treaty Organization, Research and Technology Organization RTO Mp,38.
- [6] C. R. Mason ve J. Moffat (2000), Representing the C2 process in simulations: Modelling the human decision-maker, Proceedings Of The 2000 Winter Simulation Conference,1-2, ,940-949.
- [7] J. M. Siliato, S. Barone ve K. W. Saari (1994), Modeling and simulation to support the digitized battlefield, IEEE Communications-Society 13th Military Communications Conference (MILCOM 94)/19th Annual Fort,1-3, ,154-158.
- [8] D. J. Thuente (2004), Methodology and ground rules for simulating airborne military communication Systems, 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings, 1-6, ,1061-1080.
- [9] D. J. Thuente, C. Brown, T. Borchelt ve E. Hill (1996), The Design and Analysis of the AFATDS Communication Networks using Simulation, Proceedings Of The 1996 Tactical Communications Conference: Ensuring Joint Force Superiority In The Information Age, sf.267-279.

İŞ SÜREÇLERİNİN OPTİMİZASYONUNDA BULUT KAYNAKLAR ÜZERİNDE ÇOKLU SİMÜLASYON YÖNTEMİNİN KULLANIMI

Ahmet Özkök ^(a), Cevat Şener ^(b), Hilal Akgül ^(a),
Hüseyin Umut Kazan ^(a), Serdar Bakır ^(a), Veysi İşler ^(a)

^(a) Simsoft Bilgisayar Teknolojileri Limited Şirketi Bilkent Cyberpark A Blok,
{ahmet.ozkok, hilal.akgul, umut.kazan, serdar.bakir, veysi}@simsoft.com.tr

^(b) ODTÜ Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, sener@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

İş süreçlerinin optimizasyonu alanında bir çok sistem, simülasyon yöntemini tercih etmektedir. Bu bildiri, bir süreç modeli üzerine uygulanacak farklı senaryoların simüle edilebilmesi ve sonuçlarının eş zamanlı olarak elde edilmesi üzerine kurulan yenilikçi bir optimizasyon yöntemini ele almaktadır. Bir süreç modelinde iyileştirme için kurulacak alternatif senaryoların belirli kriterler üzerinden oluşturulması, bu senaryoların kabul edilebilir süreler içinde simüle edilmesi ve sonuçlarının anlamlı bir şekilde elde edilmesi ile ilgili bulut kaynaklar kullanılarak oluşturulan simülasyon ortamı temel alınmaktadır. Bu şekilde sürecin iyileştirmeye açık yönlerinin kullanıcıya açık bir şekilde iletilebildiği ve süreçlerde uygulanacak çözümlerin sonuçlarının önceden görülebildiği bir sistem amaçlanmaktadır. Farklı süreçler için var olan farklı kriterlerin sistemde tanımlanabilmesi ve kullanıcının farklı çözümleri her yönüyle değerlendirebilmesi, bunu yaparken de performans ve zaman açısından bu işlemlerin yükünü büyük ölçüde azaltacak şekilde bulut kaynakların kullanımı esas alınmaktadır. Yöntem benzerlerine göre mimari ve verimlilik açısından bazı üstünlüklere sahiptir. Bu bildiri için Simovate sistemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon, İş Süreci Modelleme, Optimizasyon, Bulut Bilişim, Simovate

USING MULTIPLE SIMULATIONS ON CLOUD RESOURCES FOR OPTIMIZATION OF BUSINESS PROCESSES

ABSTRACT

In the business process optimization field, many systems use simulation as a method. This paper suggests a new optimization technique based on multiple simulations of alternative scenarios implemented on a business process model and gathering results of simulations simultaneously using cloud resources. A simulation environment with cloud resources is used for optimization of a business process, creating alternative scenarios using specific criteria, simulations of these alternative scenarios in reasonable time and gathering meaningful results from these simulations. In this way, improvable aspects of the process can be directly demonstrated to users and the results for possible solutions can be viewed before implementing it in real life. Defining different criteria for different processes and enabling users to examine solutions in all aspects requires long calculation times and parallel simulations on cloud resources based on parametric solutions proposes to shorten this process. This method has its advantages in terms of performance. Simovate Discrete Event System Simulation and Optimization Software is used for this work.

Keywords: Simulation, Business Process Modelling, Optimization, Cloud Computing, Simovate

1. GİRİŞ

İş süreci modelleme ve optimizasyonu yapan yazılımlarda simülasyon yöntemi uzun zamandır tercih edilmektedir. Karmaşık ve çok parametrelili süreçlerde yapılması planlanan iyileştirmelerin sonuçlarını tahmin etmek için kullanılan yöntemler arasında “Kesikli Olay Simülasyonu” güvenilir bir yer teşkil etmektedir. Uygulanacak iyileştirmeleri gerçek hayatta deneyip sonuçlarından emin olmanın getirdiği maliyetin ortadan kalkmasının yanı sıra, simülasyon yöntemi ile çok daha güvenilir ve maliyet-etkin kararlar verebilmek mümkündür. Simülasyon yönteminin zorlukları arasında gerçek hayattaki bir sürecin tüm parametrelerini ve değişkenlerini içeren bir simülasyon modeli ile ifade edilebilmesi ve gerçek hayattaki rastlantısallık ve istatistik değerlerinin model çıktılarına yansıtılabilmesi için çok sayıda tekrarlı simülasyonu koşturmak gerekliliği yer almaktadır. Bu bildirinin testlerini yapmak amacıyla kullanılan kesikli olay simülasyonu ve optimizasyonu yapan Simovate yazılımı, bu iki güncel probleme odaklanarak süreç optimizasyonu alanında bir altyapı oluşturmak çabasıdır.

Bir simülasyon yazılımında, bir iş sürecinin bütün boyutlarıyla modellenebilmesi için gerekli yetenekleri eklemek ve bütün gerçekliklere karşılık gelecek model elemanları tasarlamak ilk problemin çözümüdür. Simovate yazılımı, bunun için nispeten soyut

kalan BPMN2 standardı ile her biri çok detaylı kendine has özellikler içeren gerçek hayat kavramları arasında köprü oluşturabilecek bir özellik grubu ile kullanıcıya elverişli bir çözüm sunmaktadır.

Gerek optimizasyona yönelik çok sayıda deneme yapılması gerekliliği, gerekse rastlantısallığın gerçeğe uygunluğunu sağlamak için koşulması gereken çok sayıda simülasyonun oluşu ise Simovate yazılımının kullanıcı açısından çözüm geliştirdiği ikinci odak noktası olmuştur. Simülasyon modellerine gerçek hayattaki rastlantısallığın yansıtılması amacıyla; örneğin müşterilerin bankaya gelişler arası süresi, bankadaki işlem süreleri, vb. için, istatistiksel dağılımlar kullanılmaktadır. Bu noktada kullanıcının istatistiksel dağılımları kullanarak modele rastlantısallığı yansıtabilmesi bir avantaj sağlarken, rastlantısallığın etkisini gerçekçi bir şekilde kullanabilmek için de çok sayıda simülasyon modelini koşturmak gerekliliğinden dolayı harcanan zaman da yöntemin uygulanması için harcanan zaman maliyetinin üzerine eklenmektedir. Farklı sayıda tekrar barındıran simülasyon gruplarının farklı makinelerde paralel olarak koşulması ve sonuçlarının tek yerde toplanarak kullanıcıya anlamlı bir özet şeklinde iletilmesi Simovate yazılımının sektördeki diğer yazılımlara göre fark sağladığı noktadır. Rastlantısallık içeren süreç modellerinde, simülasyon tekrarlarının sayısı ne kadar artarsa sonucun güvenilirliği de o ölçüde artmaktadır. Bu bağlamda Simovate yazılımı; bir modelin rastlantısallığı sağlayacak parametrik değişiklikler ölçüsünde birbirinden ayrılan tekrarlarını, çok sayıda makinede birbirinden bağımsız bir şekilde eş zamanlı koşturması ve sonuçların birleştirilerek kullanıcıya iletilmesi çözümünü sağlamaktadır. Birbirine paralel koşacak simülasyonlar için bulut ortamında yer alan çok sayıda makine tercih edilmiştir. Yapılan testlerde ulaşılan sonuçlar, farklı sayıda simülasyon koşturmak için önerilen sistem tercih edildiğinde, zaman yönünden sağlanan büyük avantajı ortaya koymaktadır.

1.1. Literatür taraması

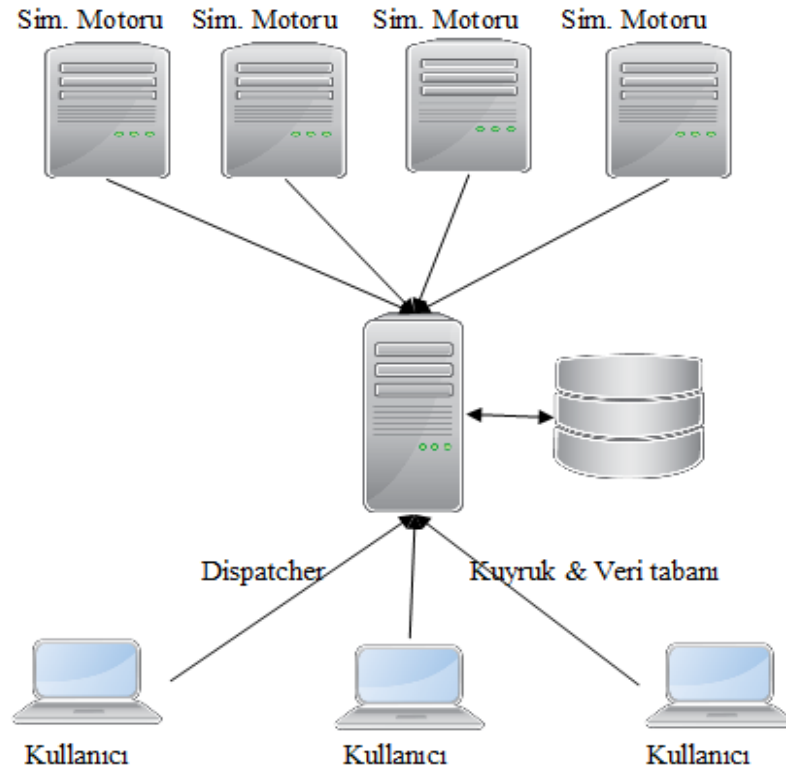
Günümüz iş dünyasında ihtiyaçlar çok hızlı değişmektedir. İş dünyasının bu değişikliklere maliyet-etkin bir şekilde uyum sağlayabilmesi için iş süreçlerini optimum şekilde kurması gerekmektedir [1]. Çok fazla girdinin olduğu bu optimizasyon için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Simülasyon yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerden biridir [2]. Ancak iş süreçlerinin modellenmesinde gerçekçiliğe yaklaştıkça gereken işlem gücü artmaktadır. Bu ihtiyacı gerektiği kadar işlem gücü sağlayabilen bulut bilişim çözümleri karşılayabilmektedir [3]. Bulut bilişim üzerinde çalışan çeşitli simülasyon yapıları bulunmaktadır. Bunların arasında uygulamaların sağladığı bulut sistemler olduğu gibi simülasyon hizmeti veren bulut sistemleri (SaaS) de bulunmaktadır [4]. Bu bildiride kendi bulut sistemi üzerinde hesaplama yapan ve bunları paralel şekilde koşturup bunların sonucunu yine bulut kaynaklarda özetleyen Simovate uygulaması kullanılacaktır.

2. SIMOVATE BULUT MİMARİSİ

Simovate daha kesin sonuçlar için modellerden akıllı algoritmalarla alternatif modeller oluşturur. Ancak bu durumda gereken işlem gücü de oluşturulan alternatif model sayısına paralel olarak artmaktadır. Bu gibi lokal sistemlerin işlem gücünün yetersiz kaldığı durumlarda bulut kaynakları kullanılabilir. Bulut kaynakları değişken sayıda olduğu için ihtiyaç anında daha fazla kaynakla hizmet verip ihtiyaç olmadığında kaynakları azaltabilir.

Bulut kaynakların yönetimi, iş dağıtımı, sonuç toplama ve sonuçların kullanıcılara aktarılması işlerinden Simovate Dispatcher adlı uygulama sorumludur. Bulut kaynaklarda çalışan bu uygulama bir kuyruk yapısı ve veri tabanı barındırmaktadır.

Simülasyon motorları ise üzerlerindeki iş yüküne göre Dispatcher'dan model isteyen, modellerin simülasyon sonucunu ilk önce özet sonra detaylı olarak Dispatcher'a aktaran yapılardır.



2.1. Modellerin oluşturulması

Simüle edilecek modeller, özgün halleri kullanıcı tarafından Simovate ile oluşturulan iş süreci modelleridir. Bu modeller, Simovate'in çeşitli optimizasyon yöntemlerine göre oldukları gibi kullanılabilir veya farklı yöntemlerle çoğaltılabilir.

Bir modelin gerçek hayat süreçlerine uygunluğu, simülasyon yönteminin güvenilirliğini sağlayan en önemli faktörlerden biridir. Modelleme yeteneklerinin gelişmişliği kadar, simülasyon motorunun gerçek hayattaki olayları gerçeğe mümkün olduğunca yakın sağlayabilmesi de bu faktörü etkiler. Modelleme sürecinde gerçek hayattaki rassallığı ve istatistiksel oluşumları sağlayabilmek için bir simülasyonun bir kere koşulması yeterli olmamakta, birçok replikasyonu koşturmak gerekmektedir. Bu bağlamda, bu replikasyonlar sektördeki yazılımlar tarafından bir modelin arka arkaya tekrar koşulması şeklinde sağlanmaktadır. Simovate ise bu tekrarlı modelleri birbirinden rastlantısallık bazında fark etmesini sağlayacak parametrelerle tanımlamakta ve birbirinden bağımsız simülasyon girdileri haline getirmektedir.

Simovate aynı zamanda, süreçlerin içinde kaynak problemlerine akıllı optimizasyon algoritmaları kullanarak çözüm getirmeye çalışan bir optimizasyon modülü barındırmaktadır. Bu modülde, akıllı optimizasyon algoritmalarının genellikle kullandıkları “çözüm uzayı” oluşturulur ve bu uzaydaki modeller arasında çeşitli algoritma adımları uygulanır. Bu noktada bir süreç modeli için alternatif çözüm uzayı oluşturmak gerekir. Simovate, bir modele alternatif model oluşturmak için modelin maliyet etkenlerinde değişiklik sağlayacak özelliklerinde parametrik değişiklikler yapar. Bu yöntem kullanılarak oluşan model, farklı özelliklere ve sonucunda farklı maliyete sahip bir model haline gelir. Bu şekilde birçok model oluşturulur ve oluşan bu uzaydaki modeller belirli adımlar gereğince simüle edilerek optimizasyon adımları uygulanır.

2.2. Bulut kaynaklara iş gönderimi

Simovate tarafından oluşturulan modeller, http isteği olarak Dispatcher'a aktarılır. Dispatcher bu modelleri kuyruğa ekler ve her model için bir ID oluşturarak kullanıcıya bu ID'yi aktarır. Bununla birlikte veri tabanında her iş için kayıt oluşturur ve bu işlerin hangi simülasyon motoruna gönderildiği, ne zaman gönderildiği gibi bilgileri kayıt eder.

2.3. Simülasyon motoru

Simülasyon motoru, bir süreç modelini “.bpmn” uzantılı, xml temelli bir dosya şeklinde alır, bu dosyayı okuyarak bir simülasyon modeli yaratır. Temel olarak “kesikli olay simülasyonu” prensiplerine uygun bir şekilde, DESMO-J simülasyon kütüphanesinin de yardımıyla bu modelin simülasyonu gerçekleştirir.

Simülasyon motorları üzerinde iş olmadığı sürece Dispatcher'dan iş isteği yapar (bir süreç modeline ait simüle edilecek girdi dosyası bir iş olarak tanımlanmıştır.). Eğer Dispatcher'da beklemede iş varsa, bu işi indirerek koşar. İşlerin sonuçlarını ilk olarak özet bilgi olarak Dispatcher'a aktarır ardından tüm sonucu detaylı olarak aktarır. Bu sayede kullanıcıya daha hızlı sonuç gösterilir.

2.4. Sonuçların alınması ve kullanıcıya aktarımı

Simülasyon esnasında kullanıcıyı ilgilendirecek bilgiler, bir yandan SQLite formunda taşınabilir bir veritabanına yazılır. Bu modele ait veritabanı aynı zamanda simülasyonun çıktısıdır. Çoklu simülasyon gruplarında, bu çıktıların tek tek değerlendirilmesinden ziyade bir simülasyona ait “Toplam maliyet”, “Toplam çıktı sayısı” gibi çok genel bilgiler değerlendirmeye gireceğinden, bütün modellerin çıktıları üzerinden değerlendirme yapmak için bütün çıktı dosyaları üzerinden işlem yapmak gerekmektedir, bu da gereksiz bir veri trafiği ve zaman maliyeti getirmektedir. Bunun yerine, bu çoklu gruptaki her modelin, bütündeki simülasyon/optimizasyon aktivitesini en çok ilgilendiren çıktı bilgileri ayrıca özet bilgi şeklinde toplanır.

Dispatcher simülasyon sonucundan aldığı özet bilgileri veri tabanına ekler. Simovate tarafında yürümekte olan simülasyon / optimizasyon tipine göre bu sonuçlar kullanılır. Kullanıcı eğer bu gruptaki herhangi bir modelin sonuçlarını daha detaylı görmek isterse, o simülasyonun sonucu tarafındaki çıktı dosyasını indirerek görüntüler.

2.5. Bulut kaynakların yönetimi

Dispatcher simülasyon motorlarını düzenli olarak kontrol eder. Kuyruktaki iş sayısına göre yeni kaynaklar oluşturup bu kaynaklarda simülasyon motoru çalıştırır. Eğer simülasyon motoru fazla ise ve kuyrukta bekleyen iş yoksa oluşturduğu ekstra kaynakları kaldırır.

2.6. Teknik mimari

Dispatcher'ın simülasyon motoru ve kullanıcılar ile iletişimi http protokolü ile sağlanmaktadır. Dispatcher Spring Boot uygulama çatısı kullanarak geliştirilmiştir. Veri tabanı olarak MySQL, kuyruk yapısı olarak ActiveMQ kullanılmaktadır. Kullanıcılar ve simülasyon motorları OAuth teknolojisi ile Dispatcher üzerinde yetkilendirilmektedir. Veri tabanı ilişkilerinde Hibernate uygulama çatısı kullanılmıştır.

Simülasyon motorları docker template'leri olarak saklanır. Yeni kaynaklara ihtiyaç olduğunda bu template sayesinde oluşturulur ve Dispatcher'a bağlanır. Simüle edeceği modelleri http isteği ile Dispatcher'dan alır. Sonuçları yine http üzerinden Dispatcher'a gönderir.

3. ÖLÇÜM VE DEĞERLENDİRME

Simülasyonda çıktı analizi, simülasyon ile üretilen verilerin (çıktıların) analiz edilmesidir. Çıktı analizinde amaç, bir sistemin performansını tahmin etmek ya da alternatif sistem tasarımlarının performansını karşılaştırmaktır. Girdi değişkenlerinin değerlerini üretmek için rastlantısal sayı üreteçleri kullanıldığından, bir simülasyon modelinden elde edilen çıktı da bu rastlantısallığa bağlı olarak değişkenlik gösterir. Çünkü farklı başlangıç değerleri kullanılarak elde edilen çıktılar birbirinden farklı olacaktır [5].

Farklı başlangıç değerleri kullanılarak farklı çıktıların elde edilmesindeki amaç deneme sonuçlarındaki hassasiyeti artırarak sonuçlarda rastlantısallığın etkisiyle oluşabilecek hata oranını en aza indirmektir.

Bir simülasyon modelinin barındırdığı rastlantısal değişkenlerin farklı başlangıç değerleri kullanılarak koşulması “tekrarlı simülasyon” olarak adlandırılır. Tekrarlı simülasyon modellerinden elde edilen çıktıların ortalama değerleri sayesinde yukarıda bahsedilen hata oranının azaltılması sağlanır. Tekrar sayısı fazla olduğunda denemelerin zaman maliyeti artmaktadır. Simovate yazılımı tekrarlı simülasyonları, bulut ortamındaki çoklu makinelerde bağımsız ve eş zamanlı olarak koşabilme yeteneğine sahiptir. Ölçümlerden beklenen sonuç; tekrarlı simülasyonların lokaldeki tamamlanma süresinin, bulut ortamındaki tamamlanma süresine göre daha fazla olmasıdır. Bulut ortamında çoklu makinelerin eş zamanlı olarak kullanılması sebebiyle performansta makine sayısı ile orantılı bir artış olması beklenmektedir. Ancak bulut ortamındaki koşumlarda, lokaldeki koşumlardan farklı olarak buluttaki makinelere bağlanma süresi söz konusu olmaktadır. Bu nedenle performansta beklenen artışın makine sayısı ile birebir orantılı olmayacağı da öngörülmektedir. Örnek simülasyon sonuçları Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmektedir.

Simulations

Generat...	No	Model Id	Cost	Duration	Number of ...	Resource Ut...	Fitness	Status
0	0	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9080.0	0.215	9080.0	Completed	
0	1	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9124.0	0.21	9124.0	Completed	
0	2	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9081.0	0.21	9081.0	Completed	
0	3	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9054.0	0.213	9054.0	Completed	
0	4	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9083.0	0.215	9083.0	Completed	
0	5	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9171.0	0.213	9171.0	Completed	
0	6	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9152.0	0.218	9152.0	Completed	
0	7	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9090.0	0.213	9090.0	Completed	
0	8	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9141.0	0.215	9141.0	Completed	
0	9	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9104.0	0.213	9104.0	Completed	
0	10	USG_64_cloud_no_0,0	1440.0	9108.0	0.213	9108.0	Completed	

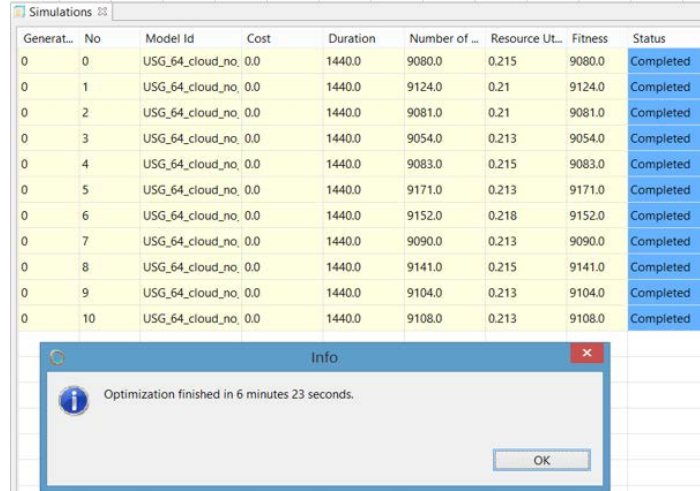
Info

Optimization finished in 2 minutes 54 seconds.

OK

Şekil 1. Bulut ortamı koşum sonuçları

Şekil 1’de USG_64 modelinin simülasyon süresi 1440 dk. ve tekrar sayısı 10 iken bulut ortamındaki üç makine ile koşumlarının sonuçları ve koşumların tamamlanma süresine ait ekran görüntüsü yer almaktadır.



Generat...	No	Model Id	Cost	Duration	Number of ...	Resource Ut...	Fitness	Status
0	0	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9080.0	0.215	9080.0	Completed
0	1	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9124.0	0.21	9124.0	Completed
0	2	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9081.0	0.21	9081.0	Completed
0	3	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9054.0	0.213	9054.0	Completed
0	4	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9083.0	0.215	9083.0	Completed
0	5	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9171.0	0.213	9171.0	Completed
0	6	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9152.0	0.218	9152.0	Completed
0	7	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9090.0	0.213	9090.0	Completed
0	8	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9141.0	0.215	9141.0	Completed
0	9	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9104.0	0.213	9104.0	Completed
0	10	USG_64_cloud_no	0.0	1440.0	9108.0	0.213	9108.0	Completed

Info
Optimization finished in 6 minutes 23 seconds.
OK

Şekil 2. Lokal koşum sonuçları

Şekil 2’de ise yine USG_64 modelinin simülasyon süresi 1440 dk. ve tekrar sayısı 10 iken lokaldeki koşum sonuçları ve koşumların tamamlanma süresine ait ekran görüntüsü yer almaktadır.

Eş zamanlı koşumların koşum süresine olan etkisinin test edilmesi amacıyla yapılan ölçümler için bulut ortamındaki üç farklı makine kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan simülasyon modellerinin tekrarlı koşumları için lokaldeki ve bulut ortamındaki sonuçlanma süreleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçlarının detayları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1. Tekrarlı koşumlar için ölçüm sonuçları

Deney No	Model Adı	Tekrar Sayısı	Sim. * Süresi	Sim. Sonucu	Lokal Süre	Bulut Süre	Oran
1	USG_64	30	5000 dk.	32022	69 dk. 24 sn.	27 dk. 43 sn.	2,50
2	USG_64	10	5000 dk.	32041	23 dk. 46 sn.	9 dk.38 sn.	2,47
3	USG_64	30	1440 dk.	9107	18 dk. 19 sn.	7 dk. 26 sn.	2,46
4	USG_64	10	1440 dk.	9108	6 dk. 23 sn.	2 dk. 54 sn.	2,20

Not. Sim. Süresi = simülasyon süresi. Sim. Sonucu = simülasyon sonucu (çıktı sayısı).

Lokal S.= lokaldeki koşumların sonuçlanma süresi. Bulut = bulut ortamındaki koşumların tamamlanma süresi. Oran = lokaldeki koşum süresinin, buluttaki koşum süresine oranı. *Simülasyon sonucu olarak tekrarlı koşumlardan elde edilen çıktı sayısının ortalaması hesaplanmıştır.

Tablo 1’deki sonuçlar USG_64 isimli modele aittir. Bu model bir hastanenin radyoloji biriminde Ultrasonografi tetkiki için gelen taleplerin randevuya dönüştürülmesi ve tetkik işleminin gerçekleşmesine kadar geçen süreçleri içermektedir. Model isminde geçen 64 sayısı USG tetkiki için kullanılan kapasiteyi (cihaz sayısı ve oda) ifade etmektedir. Simülasyon süresi 1440 dk. olduğunda 1 günlük sonuçlar, 5000 dk. olduğunda ise yaklaşık 4 günlük sonuçlar elde edilmiştir. Model girdilerini oluşturan işlem süreleri, gün içerisindeki saatlerde hastaların geliş sıklığı, randevu talebinin onaylanma olasılığı gibi değişkenler rastlantısalılık içerdiğinden tekrarlı simülasyonlar koşulmuştur. Tekrar sayısının 10 ve 30 olduğu durumlar için bulut ortamının performans etkisini gözlemleyebilmek amacıyla simülasyon süresi sabit tutularak gözlemler yapılmıştır.

Tekrarlı koşumların sonuçlanma süresine direk etkisi olan “simülasyon süresi” ve “tekrar sayısı” aynı modelde değiştirilerek, yapılan deneylerde parametre olarak kullanılmıştır. Modelin simülasyon süresi ve tekrar sayısı değiştirilerek; simülasyon sonuç değerleri, lokal ve bulut ortamındaki tamamlanma süreleri Tablo 1’deki gibi kaydedilmiştir. Simülasyon sonucu olarak da, simülasyon modelindeki sistemin bir performans ölçütü olan “sistemden çıkış yapan varlık sayısı” verisinin tekrarlı koşumlardan elde edilen sonuçlarının aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Tablo 1’deki USG_64 modelinin verileri maddeler halinde aşağıda yorumlanmıştır.

- Simülasyon süresi sabit tutularak tekrar sayısı artırıldığı zaman; koşumların hem lokal hem de bulut ortamındaki tamamlanma süreleri tekrar sayısı ile orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca tekrar sayısındaki artış ile birlikte, bulut ortamının performans farkı da lokale göre giderek artış göstermektedir. (simülasyon süresi: 1440 dk için performans artışı 2,20’den 2,46’ya ve simülasyon süresi: 5000 dk için performans artışı 2,47’den 2,50’ye çıkmıştır.)
- Yukarıdaki maddeye benzer şekilde tekrar sayısı sabit tutularak, simülasyon süresi artırıldığı zaman; koşumların hem lokal hem de bulut ortamındaki tamamlanma süreleri simülasyon süresindeki artış ile orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca simülasyon süresindeki artış ile birlikte, bulut ortamının performans farkı da lokale göre giderek artış göstermektedir.
- Tekrar sayısı ve simülasyon süresinin aynı olduğu modeller, bulut ortamında [2.20 – 2.50] kat arasında değişen şekilde ve daha hızlı tamamlanmaktadır. Simülasyon süresi ve tekrar sayısı artırıldığında bulut ortamının performansı da lokaldeki performansa göre giderek artış göstermektedir.

4. SONUÇ

İş süreci optimizasyonu alanında simülasyon güçlü bir yöntemdir. Simülasyon yönteminden verim alabilmek, gerçek hayattaki rastlantısallık parametrelerini mümkün olduğunca bozmadan simülasyon modeline aktarabilmekle mümkündür. Simülasyon sayısını artırarak gerçek hayattaki rastlantısallığa yaklaşmanın maliyetini aşmak içinse bulut kaynaklardan destek almak geçerli bir çözüm olacaktır. Bir simülasyon sürecinde koşulacak her tekrarı bağımsız bir uygulama olarak görmek ve bu mantıkla bir simülasyonu birden çok simülasyon haline getirmek, farklı kaynaklar kullanarak bu birbirinden bağımsız işlerin ortak amaç için çalışmasını sağlamak ve ardından hepsinin sonuçları üzerinden ortak bir değerlendirme yapmak, Simovate uygulamasını simülasyon alanında benzersiz bir karar destek sistemi haline getirmektedir. Yerli kaynaklar kullanılarak geliştirilen bu çözüm, Türkiye'deki çok çeşitli sektör ve büyüklükteki firmalara, uluslar arası geçerlilik taşıyan optimizasyon yöntemleriyle ve bulut kaynaklar üzerinde güncel teknolojileri kullanarak verim artırma şansı sunmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya TÜBİTAK TEYDEB 1501 programı tarafından 3141049 numaralı “İş Süreçlerinin Bulut Bilişim ve Akıllı Algoritmalara Dayalı Modelleme ve Optimizasyon Yazılımı” projesi kapsamında destek veren TÜBİTAK Teknoloji ve Yenilik Destek Programları Başkanlığı'na ve 608886 numaralı “Cloud based Simulation platform for Manufacturing and Engineering” projesi kapsamında destek veren Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı'na ve CloudSME UG ekibine teşekkürlerimizi sunarız.

6. KAYNAKÇA

- [1] Aysolmaz, B., Coşkunçay, A., Demirörs, O. & Yıldız, A. (2011), Kamuda İş Süreçleri Modelleme: Gereği ve Yararları, *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 26-28.
- [2] Balko, S. (2011, May 30). *Patent No. US20130139164 A1*. US.
- [3] Iosup, A., Ostermann, S., Yigitbasi, N., Prodan, R., Fahringer, T., Epema, D. (2011), Performance analysis of cloud computing services for many-tasks scientific computing, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed systems*, 22(6), 931-945.
- [4] Piraghaj, S., Dastjerdi, A., Calheiros, R., Buyya, R. (2016), ContainerCloudSim: An environment for modeling and simulation of containers in cloud data centers: MODELING AND SIMULATION OF CONTAINERIZED CLOUDS, *Software: Practice and Experience*, 00, 1-17.
- [5] Güngör Şen, C., Gürsoy, E.C. (2014), END 3202 Simülasyon Ders Notları: Çıktı Analizleri, Yıldız Teknik Üniversitesi, İSTANBUL.

BENZETİM ENİYİLEMESİNDE LOGNORMAL ORDİNARY KRİGING META-MODELİ

Muzaffer Balaban ^(a), Berna Dengiz ^(b)

^(a) Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara, balabanmuzaffer@gmail.com

^(b) Başkent Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara,
bdengiz@baskent.edu.tr

ÖZ

Kriging modelleri, özellikle jeolojide enterpolasyon yöntemi olarak geliştirilmiş olmasına karşın 1990'lı yıllardan buyana belirli (deterministik) benzetim eniyilemesi (BE) problemleri için başarıyla kullanılmıştır. Son zamanlarda kriging meta-modellerinin, olasılıklı (stokastik) sistemlerin BE amacıyla bazı çalışmalarda kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada, bir iletişim sistemine gelen mesajların yönlendirilmesi problemi ele alınmış, benzetim modeli için Lognormal Ordinary Kriging (LOK) meta-modeli oluşturulmuş ve önerilen LOK algoritması ile en iyi çözüm bulunmuştur. LOK şimdiye kadar konumsal istatistiklerin, örneğin; jeoloji, madencilik, çevre, iklim, vb. alanlardaki analizinde kullanılmış olup, BE'de meta-model olarak ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre LOK meta-modeli, regresyon meta-modeli ile elde edilen çözüme göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Benzetim eniyilemesi, lognormal ordinary kriging, metamodel, ordinary kriging, varyogram.

LOGNORMAL ORDINARY KRİGING METAMODEL IN SIMULATION OPTIMIZATION

ABSTRACT

Kriging models have been successfully used for deterministic simulation optimization (SO) problems since 1990's, although they have been developed as a geologic prediction method. Recently, the kriging metamodels appear to have been used in some studies for the purpose of SO of the stochastic systems.

In this study, the problem of directing messages through a communication system is discussed, and the Lognormal Ordinary Kriging (LOK) meta-model is developed for the simulation model and the best SO solution is found by the proposed LOK algorithm. It is known that LOK has been used for the analysis of spatial statistics such as geology, mining, environment, climate, up to now, it is the first meta-model application for SO in this study. According to the experimental results, the LOK meta-model gives better results compared the solutions obtained from the regression meta-model.

Keywords: Lognormal ordinary kriging, metamodel. ordinary kriging, simulation optimization, varyogram..

1. GİRİŞ

Benzetim eniyilemesi (BE), Carson ve Maria [1] tarafından girdi değişkenlerinin tüm olası değerlerinin açıkça değerlendirilemediği durumlarda tüm olası değerler içinden en iyi girdi değişkenlerin değerlerinin bulunması süreci olarak tanımlanmıştır. BE’de en temel varsayım doğrudan sahip olmadığımız bir amaç fonksiyonunu benzetim sonuçlarını kullanarak elde etmektir [2]. BE’de meta-model kullanımı girdi/çıktı ilişkilerinin bilinmediği durumlarda yaygın kullanılan bir yöntemdir [3].

Maliyet ya da diğer kısıtlamalar nedeniyle gerçek sistem üzerinde deneyler yapılamayacağından araştırmacılar gerçek sistem yerine benzetim modelini kullanırlar. Bu modellerin kendisi de oldukça karmaşık olabilir ve bu modellerin daha basit yaklaşımları oluşturulur. Kleijnen [4] bunları modelin modeli veya meta-model olarak tanımlamıştır.

Bir meta-model, bazı benzetim parametrelerini girdi olarak kullanan ve bir benzetim çıktısının bazı karakteristiklerini tahmin eden bir fonksiyondur [5].

Bu çalışmada, BE’de son yıllarda sıklıkla kullanılmaya başlanan kriging yöntemi hakkında bilgi verilmiş, kriging yönteminin teorik altyapısı anlatılarak BE için nasıl kullanılacağı örneklenmiştir. BE’de kullanılan diğer yöntemler ise çalışmada kapsam dışı tutulmuştur.

Kriging, konumsal-istatistiklerde kullanılan bir enterpolasyon yöntemidir. Veriler, varyogram modeline, araştırılan parametrelere ve örnek sayısına göre ağırlıklandırılır. Bu yöntem Güney Afrikalı Maden Mühendisi Danie Krige onuruna Matheron [6] tarafından bu ad verilmiştir. En fazla kullanılan kriging, doğrusal kriging tekniklerinin biri olan ordinary kriging (OK) olmuştur [7].

Sacks vd. [8] kriging yöntemini ilk kez belirli benzetim modellerine uygulamışlardır. Mitchell ve Morris [9] kriging yönteminin olasılıklı benzetim modelleri için kullanılabilecek meta-model yöntemlerinden biri olduğunu belirtmiştir. Van Beers ve Kleijnen [10] olasılıklı benzetim modellerine BE olarak kriging yöntemini kullanmıştır.

Daha sonra Biles vd. [11] kriging yöntemini kısıtlı BE’de uygulamışlardır. Olasılıklı kesikli sistem benzetim modellerinin eniyilemesi çalışmalarının tamamında OK yöntemi model olarak benimsenmiştir.

Diğer meta-modeller kriging meta-modelleri ile karşılaştırıldığında daha zayıf tahmin vermektedir [12]. Kriging modelleri, geniş deney alanlarından elde edilen verilere daha uygundur ve genel modellerdir [13].

Bu çalışmada, Lognormal Ordinary Kriging (LOK) modeli olasılıklı BE probleminin çözümü için meta-model olarak önerilmiştir. Çalışmada, bir iletişim sisteminde rassal gelen mesajların bir alt ağa yönlendirilmesi oranlarının eniyilemesi problemi ele alınmış [14], benzetim deneylerine uygun LOK meta-modeli oluşturulmuş ve arama uzayında tanımlanan tüm girdi değerleri için LOK hesaplanarak en iyi çözüm bulunmuştur. Ayrıca çalışmada BE’de kullanılan bir LOK algoritması da sunulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre LOK meta-modeli problemin literatürdeki regresyon meta-modeli çözümüne göre daha iyi sonuç vermiştir. Yaptığımız literatür araştırmasına göre LOK şimdiye kadar konumsal istatistiklerin (jeoloji, madencilik, çevre, iklim, vb. alanlarda) analizinde kullanılmış olmasına karşın [15, 16, 17, 18] BE’de meta-model olarak ilk kez bu çalışmada kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında kriging yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü kısımda problem tanımı, deney tasarımı ve benzetim çıktılarına LOK meta-modeli uygulaması açıklanmıştır. Dördüncü kısımda sonuçlar yorumlanmıştır.

2. KRİGING YÖNTEMİ

Kriging gözlem değerlerinin doğrusal bir fonksiyonudur. Kriging, en iyi, doğrusal, yansız tahmin edici olarak bilinir. Kriging, değişkenin gerçek değerlerine bağlı olmayan, onun konumsal dağılımını ve konumsal yapısını gösteren varyogramı veya korelogramı kullanır. Uygun varyogram modeli mevcut ise, kriging, verilerin konumsal dağılımını temsil eden en uygun tahmini elde etmemizi sağlar [19].

Krigingin amacı; $Z(x)$ olasılıklı süreç, $x \in D$ ve $x=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ gözlem noktaları için $Z=\{Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)\}$ olmak üzere $x_0 \in D$ noktası için $Z(x_0)$ ’ın tahmin değerini $\hat{Z}(x_0)$ bulmaktır.

Yapısal olarak kriging yansızdır ve en iyi yansız tahmin edicidir. Bütün doğrusal tahmin ediciler arasında en küçük ortalama hata kareli tahmin edicidir [7]. Kriging gözlem noktaları için kesin tahmin edicidir. Kriging katsayıları toplamı bire eşittir, ancak negatif değer alabilir. Kriging teknikleri hakkında daha detaylı bilgi ilgili kaynaklarda yer almaktadır [20, 21, 7].

2.1. Varyogram

Varyogram (yarı-varyogram) tahmini kriging katsayılarının hesaplanmasında kullanıldığından dolayı çok önemlidir [22]. Yarı-varyogram kavramı ilk olarak

varyansın yarısı olarak hesaplandığından dolayı Matheron tarafından kullanılmıştır [23]. $Z(x)$ rassal sürecindeki her iki gözlem değeri $Z(x_i)$, $Z(x_j)$ arasındaki varyogram değeri aşağıda verilen (1) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$\gamma(x_i - x_j) = \frac{1}{2} E[(Z(x_i) - Z(x_j))^2] \quad (1)$$

Gözlem değerlerinin varyogram tahmin edicisi olarak ise (2) numaralı eşitlik kullanılır.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \quad (2)$$

Burada h gözlemler arasındaki uzaklık operatörü olup, $N(h)$ ise $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ gözlem çiftlerinin sayısıdır [23]. Cressie ve Hawkins [24] aşağıdaki (3) numaralı eşitlik ile verilen güçlü (robust) varyogram tahmin edicisini önermiştir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2 \right]^{\frac{1}{2}} / \left(0.457 + \frac{0.494}{N(h)} \right) \quad (3)$$

Her bir tahmin noktası için kriging ağırlıklarının hesaplanabilmesi için bir teorik varyogram modelinin bulunması gereklidir. Teorik varyogram modeli deneysel (gözlemsel) varyogram verilerine uygun olmalıdır. Teorik varyogram modeli deneysel varyograma dayalı geliştirilir [23].

Bu çalışmada aşağıda (1) numaralı eşitlik ile verilen üstel varyogram modeli kullanılmıştır.

$$\gamma(h) = \begin{cases} a_0 + a_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-h}{a_2}\right) \right] & \text{eğer } h \neq 0 \text{ ise} \\ 0 & \text{eğer } h = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Ordinary Kriging

OK, ortalaması sabit ve bilinmeyen, varyogram fonksiyonu bilinen, mutlak durağanlığa sahip durumları ifade etmektedir. OK için tahmin modelleri ve parametre tahminleri aşağıda (5) ile (17) numaralar arasındaki eşitlikler ile hesaplanmaktadır [23, 25, 7].

$$Z(x) = \mu + \varepsilon(x) \quad (5)$$

$E(Z(x)) = \mu$ sabit ve bilinmiyor. OK tahmin edici (6) numaralı eşitlik ile verilmiştir.

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \text{ ve } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (6)$$

Tahminin ortalama hata karesi (OHK), (7) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$OHK(x_0) = (Z(x_0) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i))^2 = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i) \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (8)$$

kısıtı altında

$$\text{Enk OHK}(x_0) \quad (9)$$

(8) ve (9) numaralı eşitlikler ile verilen enküçükleme problemi Lagrange yöntemi ile çözülmüşse aşağıdaki (10) ve (11) numaralı eşitlikler ile verilen denklem sistemi elde edilir.

$$\sum_j^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + m = \gamma(x_0 - x_i), \text{ her } i = 1, 2, \dots, n \text{ için} \quad (10)$$

$$\sum_i^n \lambda_i = 1. \quad (11)$$

Bu denklem sistemi (12) numaralı eşitlikte verildiği gibi matris formunda yazılabilir.

$$\Gamma_o \lambda_o = \gamma_o \quad (12)$$

Burada,

$$\Gamma_o = \begin{vmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \gamma(x_1 - x_2) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \gamma(x_n - x_1) & \gamma(x_n - x_2) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (13)$$

$$\gamma_o = (\gamma(x_1 - x_0), \gamma(x_2 - x_0), \gamma(x_3 - x_0), \dots, \gamma(x_n - x_0), 1)' \quad (14)$$

$$\lambda_o = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n, m)' \quad (15)$$

Böylece kriging ağırlıkları (16) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$\lambda_o = \Gamma_o^{-1} \gamma_o \quad (16)$$

$Z(x_0)$ 'ın tahmin edicisi, $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n)'$ olmak üzere (17) numaralı eşitlik ile verilmiştir.

$$\hat{Z}(x_0) = \lambda' Z \quad (17)$$

Her yeni tahmin noktası x_0 için γ_o 'ın yeniden hesaplanması gerekir. Varyogram matrisi Γ_o , yeni tahmin noktası (x_0) için değişmez. Ancak gözlem verilerinin pozisyonları değiştiğinde veya başka bir teorik varyogram modeli seçildiğinde varyogram matrisi Γ_o da değişir. Kriging tahmin varyansı $\sigma^2(x_0)$ ile gösterilir ve (18) numaralı eşitlik ile hesaplanır.

$$\sigma^2(x_0) = \lambda_o' \gamma_o \quad (18)$$

2.3. Lognormal Kriging

Eğer veri $\{Z(x) : x \in D\}$ çok fazla çarpık ise koşullu beklenen değeri doğrusal olmayabileceğinden, doğrusal tahmin ediciler en iyi seçenek olmayabilir. Bu problemi çözmek için verilere logaritmik dönüşüm uygulanır [26].

Lognormal rassal bir süreç $\{Z(x) : x \in D\}$, pozitif değerli bir süreçtir ve $Y(x) = \ln Z(x)$, $x \in D$, normal dağılıma sahiptir.

$Y(x_0)$ için tahmin edici (19) numaralı eşitlik ile verilmiştir.

$$\hat{Y}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \ln Z(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i) \quad (19)$$

Böylece $x_0 \in D$ için $Z(x_0)$ 'ın yansız tahmin edicisi olarak $\hat{Y}(x_0)$ 'ın $\hat{Z}(x_0)$ 'a geri dönüşümü aşağıdaki (20) numaralı eşitlik ile gerçekleştirilir.

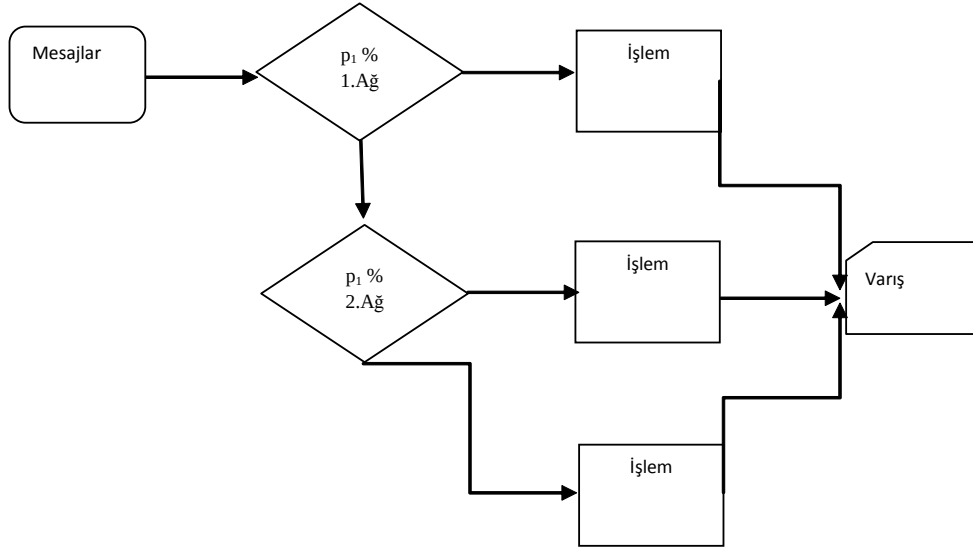
$$\hat{Z}(x_0) = \exp \left(\hat{Y}(x_0) + \frac{\sigma_{Y,k}^2}{2} - m_Y \right) \quad (20)$$

Burada $\sigma_{Y,k}^2$ Y 'nin kriging varyansı ve m_Y ise Lagrange çarpanı değeridir [7]. Literatürde, Journell and Huijbregts [27] ve Dowd [28] gibi LOK üzerine yapılmış birçok çalışma vardır.

3. PROBLEM VE UYGULAMA

3.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada bir iletişim sisteminde toplam maliyeti en küçükleyecek şekilde rassal gelen mesajların bir ağa yönlendirilme yüzdelerinin bulunması problemi ele alınacaktır. Bu problem Barton ve Meckesheimer [14] tarafından tanımlanmış ve 3 ağa yönlendirilen 1000 rassal mesaj dikkate alınmıştır. Her ağın farklı değerlendirme maliyeti ve süresi vardır. Bir mesaj ağ 1'e p_1 yüzdesi, ağ 2'ye p_2 yüzdesi ile gitmektedir. Kalan mesajlar ise Şekil 1'de gösterildiği gibi ağ 3'e gider. Sistem maliyeti, her bir mesaj için birim zaman başına 0.005 \$ ve bir mesaj işleme maliyeti, a_i gibi varsayımlar göz önüne alınarak üç ağ için sırasıyla 0.03, 0.01, 0.005 \$ olarak hesaplanmaktadır. Mesajların gelişler arası süresi, ortalaması 1 zaman birimi olan üstel bir dağılıma sahiptir. Ağ geçişi süreleri ortalama $E(S_i) = i$ ve her ağ için sınırları ± 0.5 olan üçgen dağılıma sahiptir.



Şekil 1. İletişim ağı sisteminin akış şeması

Amaç, sistemin toplam maliyetini en küçükleyen yönlendirme yüzdelerini (p_1 , p_2) bulmaktır. p_1 ve p_2 , BE probleminin girdi değişkenleridir. Sonraki bölümlerde, sistemin toplam maliyetini belirtmek için $Z(x)$ ve p_1 , p_2 yerine de x_1 , x_2 kullanılmıştır.

Sistemin benzetim modeli ARENA platformunda kodlanarak oluşturulmuştur.

3.2. Kriging için Deney Tasarımı

Deney tasarımının amacı, değerlendirilmesi gereken faktör (girdi) kombinasyonlarının seçilmesidir.

Latin hiperküp tasarım (LHT) genellikle benzetim verilerinde Girdi/Çıktı ilişkisine uygun kriging meta-modelini bulmak için kullanılan bir deney tasarımıdır [13]. LHT, tüm tasarım alanını kapsayabildiği için kriging için özellikle uygundur [11]. LHT, ilk olarak bilgisayar deneyleri için McKay vd. [29] tarafından, her faktör eksenini n eşit aralıklarla bölünen Latin hiperküp örnekleme esinlenerek geliştirilmiştir [30]. Öncelikle, LHT'de kaç tane tasarım noktasının kullanılacağına karar vermek gerekir. Her bir girdi değişkeni aralığı k eşit aralığa bölünür. İki faktör için bir $n \times n$ tasarım matrisi elde edilir. Her sütun ve sıranın bir tasarım noktası vardır [12].

Rastgele üretilen bir LHT iki soruna neden olabilir. Birincisi, faktörler arasında çok yüksek korelasyon oluşabilir. İkincisi, deneysel bölgede geniş bir alan araştırılamayabilir. Literatürde bu sorunlardan kaçınmak için bazı çalışmalar bulunmaktadır [31].

Bu çalışmada LHT, deneysel tasarım stratejisi olarak iki boyutlu girdi değişkenleri için kullanılmıştır. Tasarım bölgesi $x_1 = (35, 80)$, $x_2 = (35, 80)$ olarak kabul edilmiştir. Her değişkeninin aralıkları 3 olarak seçilmiştir ve tasarım noktalarının sayısı 16'dır.

Tasarım noktalarını elde etmek için rastgele LHT algoritması kullanılır ve tasarım bölgesi, giriş değişkenleri arasındaki mükemmel korelasyonun önüne geçmek için tasarım noktalarının eşit olarak dağıldığından emin olmak için dört bloğa bölünür.

Rastgele LHD algoritması C ++ ortamında kodlanmıştır ve benzetim modeli, bu 16 tasarım noktası için 10 tekrarlamayla çalıştırılmıştır.

3.3. Lognormal Ordinary Kriging Algoritması

2.1, 2.2 ve 2.3'deki yöntemleri kullanarak, sistemin toplam maliyetini, $Z(x)$, en küçükleyen girdi faktörlerini (mesaj rotalama yüzdeleri) bulmak için aşağıdaki algoritma geliştirilmiş ve C ++ ortamında kodlanmıştır.

BE için Lognormal Ordinary Kriging Algoritması

Adım 1: Girdi: $x_i=(x_{1i}, x_{2i})$, $Z(x_i)$, $Y(x_i)=\ln(Z(x_i))$ her $i=1$ den n 'e

Adım 2: a) Her deney çifti için varyogramı hesapla

b) Her deney çifti için uzaklığı hesapla

Adım 3: a) Teorik varyogram modelini bul, $\gamma(h)$

b) Teorik varyogram matrisini oluştur, Γ_o

c) Teorik varyogram matrisinin tersini oluştur, Γ_o^{-1}

Adım 4: Z^* , x_1^* , x_2^* başlangıç eniyi değerini ata

Adım 5: a) Yeni tahmin noktası ata $x_o(x_1, x_2)$ (tüm x_1, x_2 değer kombinasyonu)

b) Yeni tahmin noktası ile deneyler arası uzaklığı hesapla

c) Yeni tahmin noktası ile deneyler arası varyogramı hesapla, $\gamma(x_o)$

Adım 6: a) Yeni tahmin noktası için OK katsayılarını hesapla

$$\lambda_i = \Gamma_o^{-1}\gamma(x_o)$$

b) Yeni tahmin noktası için maliyeti hesapla

$$Y(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Y(x_i) \text{ ve } Z(x_o) = \exp(Y(x_o) + \frac{\sigma_{Y,k}^2}{2} - m_Y)$$

Adım 7: a) Eğer $Z(x_o) < Z^*$ ist $x_1^* = x_1$, $x_2^* = x_2$, $Z^* = Z(x_o)$

b) Tüm x_1, x_2 değer kombinasyonu tamamlandıysa adım 8'e git

Diğer durumda adım 5'e git

Adım 8: Kriging eniyileme sonuçlarını rapor et Z^* , x_1^* , x_2^*

Adım 9: Kriging eniyileme sonuçlarını benzetim modeli kullanarak gerçek sonuçları bul

BE için kriging meta-modeli oluşturma çalışmalarında genelde DACE araç seti kullanılmaktadır [10, 11, 13]. LOK meta-modeli oluşturma ve eniyileme için kullanılabilir bir program var olmadığından bu çalışmada LOK algoritması için C++ programı kodlanarak kullanılmıştır.

Bölüm 2.3'te tartışılan nedenlerden dolayı LHT ile elde edilen verilere logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Üstel varyogram modeli, $\gamma(h) = 0.3 \cdot (1 - \exp(-h/20))$ verilere uygun teorik varyogram modeli olarak seçilmiştir. Sonra, LOK meta-modelini kullanarak minimum Z' 'yi bulmak için 45×45 girdi değişkenleri x_1 ve x_2 için tüm yanıt yüzeyini değerlendiren bir arama algoritması kullanılmıştır. Tüm olası girdi değişken kombinasyonlarının değerlendirilmesi sonucu LOK meta-modeli ile yapılan BE'den $x_1^*, x_2^* = \{55, 63\}$ girdi değişkenleri için $Y^* = 3.4988$, kriging varyansı, $\sigma_{Y,k}^2 = 0.0353$ ve $m_Y = 0$ bulunmuştur. Geri dönüşüm tekniği kullanıldığında $\ln Z^*$ den Z^* 'ye $Z^* = \exp(3.4988 + 0.0353/2) = 33.6647$ elde edilmiştir.

BE'nin son adımı, sistemin benzetim modelini kullanarak sonuçların gerçek değerlerinin bulunmasıdır. Bu adım, kriging hatalarını ortadan kaldırmak ve sistemin tahmini en iyi değerlerini elde etmek için önemlidir. Benzetim modeli, $x_1^*, x_2^* = \{55, 63\}$ girdi değişkenleri kümesi için çalıştırılır ve $\hat{\sigma}^2 = 0.1702$ varyanslı $Z^* = 32.99$ elde edilir.

Bölüm 3.1'de belirtildiği gibi, Barton ve Meckesheimer [14] bu problemi iletişim ağı sisteminin toplam maliyetini eniyileyecek yönlendirme yüzdelerini (p_1, p_2) belirlemek için bir regresyon meta-modeli kullanmışlardır. Onların stratejisi, deneysel bölgenin yerel alt bölgelerini sırayla keşfetmek ve en iyiye yakın yeni bir deneysel alt bölge aramaktır. Yöntemin bir dezavantajı algoritmanın otomatikleştirilmiş sürümlerinin bulunmamasıdır. Genel meta-modeller, bir dizi yerel meta-model kullanma yerine, tek bir meta-model kullanarak eniyileme için iyi bir fırsat sunar. Genel bir meta-model olan kriging, bir deney tasarımından elde edilen benzetim çıktılarına uygun olarak bir kez oluşturulduktan sonra eniyilemenin tüm süreçlerinde aynı meta-model kullanılabilir [14].

Söz konusu iletişim ağı sisteminin ortalama maliyeti BE tahmin sonuçları olarak LOK meta-modeli ve regresyon metamodeli ile Tablo 1'de görüldüğü gibi sırasıyla 32.99 ve 33.04 olarak verilmektedir. Bu sonuç, kriging'in toplam sistem maliyetini en küçükleyen en iyi yönlendirme yüzdelerini (p_1, p_2) bulduğunu göstermektedir. İki sonuç arasında anlamlı bir farklılık olmamasına rağmen, LOK meta-model stratejisinin güven aralığı, regresyon meta-model stratejisine göre daha dardır. Bu da LOK meta-modelinin, Barton ve Meckesheimer [14] tarafından iletişim ağı sistemi için bir regresyon meta-model kullanarak buldukları sonuçlara göre daha etkin (varyansı küçük) bir çözüm bulduğunu göstermektedir. Öte yandan LOK meta-model algoritması, eniyileme açısından bu problem için regresyondan daha kaliteli çözümler sunmaktadır.

Tablo 1. Kriging ve regresyon meta-modeliyle BE sonuçları

Meta-model	p ₁	p ₂	Maliyet	Güven aralığı ($\alpha=0.05$)
LOK	55	63	32.99	[32.68, 33.30]
Regresyon	54	63.8	33.04	[32.67, 33.41]

4. SONUÇLAR

Bu makale ile BE'de bir kriging meta-modelinin nasıl uygulandığı adım adım gösterilmiştir. İlk olarak tasarımın rassal yapısını koruyarak deneyler arasında yüksek korelasyonu önlemeye çalışan bir LHT geliştirilerek deney tasarımı elde edilmiştir. Benzetim sonuçlarına bu çalışmada geliştirilen LOK algoritması uygulanmıştır.

Bu çalışmada yapılan analizlere göre, uygun varyogram modeli elde edildiğinde LOK meta-modelinin BE'de alternatif bir meta-model olarak kullanılabileceği gösterilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Carson Y. ve Maria, A. (1997), "Simulation Optimization: Methods and Applications", Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.
- [2] Fu M.C., Glover, F.W. ve April, J. (2005), "Simulation optimization: A review, new developments, and applications", Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference.
- [3] Barton, R.R. (1998), "Simulation metamodels", Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [4] Kleijnen J.P.C., (1979), "Regression metamodels for generalizing simulation results", IEEE Transactions on systems, man and cybernetics, vol. SMC-9, No.2.
- [5] Barton, R.R. (2015), "Tutorial: Simulation metamodeling", Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference.
- [6] Matheron, G. (1963), "Principles of Geostatistics", Economic Geology, 58, pp. 1246-1266.
- [7] Cressie N.A.C., (1993), "Statistics for spatial data", revised edition, New York, A Wiley-Interscience publication.
- [8] Sacks, J., Welch, W.J., Mitchell, T.J. ve Wynn, H.P. (1989), "Design and analysis of computer experiments", Statistical Science, vol.4, no. 4, pp. 409-435.
- [9] Mitchell, T. J. ve Morris, M. D. (1992), "Bayesian design and analysis of computer experiments: two examples. Statistica Sinica, v. 2, pp. 359-379.
- [10] Van Beers W. ve Kleijnen, J.P.C. (2003), "Kriging for interpolation in random simulation", Journal of the Operational Research Society, no. 54, pp. 255-262.
- [11] Biles W.E.ve Kleijnen, J.P.C., Van Beers, W. ve Van Nieuwenhuyse, I. (2007), "Kriging Metamodeling In Constrained Simulation Optimization: An Explorative Study", Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference.

- [12] Van Beers W.ve Kleijnen, J.P.C. (2004), Kriging Interpolation In Simulation: A Survey, Technical report, Department of Information Management, Tilburg University, Netherlands.
- [13] Kleijnen, J.P.C. (2009), Kriging metamodeling in simulation: a review, *European Journal of Operational Research*, vol.192, pp. 707–716.
- [14] Barton R. R. ve Meckesheimer M. (2006), Metamodel-based simulation optimization in Simulation, *Handbooks in Operations Research and Management Science* vol. 13., Amsterdam: Elsevier B.V.
- [15] Paul R. ve N. Cressie, N. (2011), Lognormal Block Kriging for Contaminated Soil, *European Journal of Soil Science*, vol.62, pp.337-345.
- [16] Gilbert R.O. ve Simpson, J.C. (1985), kriging for Estimation Spatial Pattern of Contaminants: Potential and Problems”, *Environmental Monitoring and Assessments*, Vol.5, pp.113-135.
- [17] Mc Gratha D., Zhangb, C. ve Carton, O.T. (2004), Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland, *Environmental Pollution* vol. 127, pp. 239–248.
- [18] Lark R.M., ve Lapworth, D.J. (2012), Quality measures for soil surveys by lognormal kriging, *Geoderma*, 173-17, pp 231-240.
- [19] David M., (1977), *Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Amsterdam: Elsevier.
- [20] Journel A. ve Huijbregts, G.C. J. (1978), *Mining Geostatistics*, Academic Press, London.
- [21] Isaaks E.H., ve Srivastava, R.M. (1989), *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, Toronto.
- [22] Genton M. G. (1998), Highly Robust Variogram Estimation, *Mathematical Geology*, Vol.30, No. 2.
- [23] Myers D.E. (1991), On Variogram Estimation, *The frontiers of statistical scientific theory & industrial applications*.
- [24] Cressie, N.A.C. ve Hawkins, D.M. (1980), Robust estimation of the variogram: I, *Mathematical Geology*, vol.12, no.2, pp.115-125.
- [25] Cressie N.A.C., (1990), The origins of kriging, *Mathematical Geology*, 22, pp.239–252.
- [26] Roth C. (1998), Is Lognormal Kriging Suitable for Local Estimation?, *Mathematical Geology*, Vol. 30, No. 8.
- [27] Deutsch, C.V. ve Journel, A.G. (1998), *GSLIB: Geostatistical software library and user's guide*, 2nd ed., Oxford Univ. Press, New York.
- [28] Dowd P.A. (1982), Lognormal kriging—The general case”, *Math. Geology*, v. 14, no. 5, p. 474-500.
- [29] Mc Kay, M G.D., Beckman, R.J. ve Conover, W.J. (1979) ,A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code, *Technometrics*, 21, 239– 245.
- [30] Santner T.J., Williams, B.J. ve Notz, W.I. (2003), *The Design and Analysis of Computer Experiments*, Springer-Verlag, NY, USA.
- [31] Joseph V.R. ve Hung, Y. (2008), Orthogonal-Maximin Latin Hypercube Designs, *Statistica Sinica* 18, pp.171- 186.

SİMÜLASYON ARAÇLARININ HAVA TRAFİK KONTROL ALANINDA KULLANIMI

Mustafa Özdemir ^(a), Öznur Usanmaz ^(a)

^(a) Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, {mozdemir26, ousanmaz}@anadolu.edu.tr

ÖZ

Simülasyonlar, birçok alanda olduğu gibi havacılık sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Havacılığın operasyonel anlamda en önemli bölümlerinden birisi olan hava trafik kontrolde simülasyonlar, gerek kontrolör eğitiminde gerekse mevcut ve yeni sistemlerin test edilmesinde sıkça başvurulan araçlardır. Kontrolör eğitiminde daha çok gerçek zamanlı simülasyonlar kullanılırken havaalanı ve hava sahası kapasitesinin ölçülmesi, etkin ve verimli rotaların tasarlanması, yeni sistemlerin mevcut sisteme entegre edilmesi gibi durumlarda öncelikli olarak hızlı zamanlı simülasyonlardan yararlanılır. Hızlı zamanlı simülasyonlardan elde edilen sonuçların geçerliliği ise gerçek zamanlı simülasyonlarla değerlendirilir.

Bu çalışmada, hava trafik kontrolde kullanılan simülasyon araçları incelenmiş ve bu araçların birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları araştırılarak hava trafik sistemi içerisinde kullanım alanlarına yönelik literatüre dayalı değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerçek zamanlı simülasyon, Havaalanı, Hava sahası, Hava trafik kontrol, Hızlı zamanlı simülasyon

USE OF SIMULATION TOOLS IN AIR TRAFFIC CONTROL

ABSTRACT

Simulation tools are widely used in aviation as well as in many other areas. In air traffic control, which is one of the most important operational parts of the aviation, they are often used in controller training and testing existing or new systems. Real time simulations are mostly used in controller training while fast time simulations are primarily used in the estimation of airport and airspace capacity, designing efficient routes, and the integration of the new system into the existing system.

In the study, simulation tools used in air traffic control were examined, and the advantages and disadvantages of these tools were investigated, and their area of utilization within the air traffic system were evaluated based on the literature.

Keywords: Real time simulation, Airport, Airspace, Air traffic control, Fast time simulation

1. GİRİŞ

Hava trafik kontrol operasyonları birbirinden bağımsız birçok değişkeni ve belirsizliği içermektedir. Karmaşık gerçek dünya sistemlerinin davranışlarını incelemek için kullanılan simülasyon yöntemi özellikle hava trafik kontrol ile ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Hava sahası değişiklik önerileri öncelikle simülasyonlar doğrultusunda geçerlilik kazandıktan sonra operasyonel kullanıma geçilmektedir. Hatta simülasyon ile yapılan değerlendirmelerde öncelikle hızlı zamanlı simülasyon sonuçlarına bağlı yapılan çalışmalar doğrultusunda oluşturulan hava sahası modelleri kontrolör davranışlarını ölçmek ya da kontrolörlerden geri bildirim almak amacı ile gerçek zamanlı simülasyonlar ile de değerlendirilmektedir.

Simülasyonlar, havacılık sistemlerinin potansiyelinin belirlenmesine ve yeni kavramların erken keşfedilmesine olanak tanıyarak gelişmekte olan kavramların performansını ve emniyetini belirlemeye yardımcı olur. Pahalı olmayan ve kolayca yeni durumlara uyarlanabilen simülasyonlar, insan-makine uyumunun belirlenmesi, hava sahası tasarımı, yeni prosedürlerin ve hava alanına eklenen yeni yapıların test edilmesi, yeni ya da restore edilmiş havaalanlarının kapasite tahmini ve operasyonel değişikliklerin emniyet, performans ve ekonomik etkilerinin araştırılması amacıyla sıkça kullanılmaktadır [1, 2]. Ancak bu alanda kullanılabilecek ve farklı amaçlara hizmet eden birçok simülasyon aracının bulunması, araştırmacıların birçok seçenek arasından problemleri için en uygun aracı seçmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, hava trafik kontrol alanında yaygın olarak kullanılan simülasyon araçlarının kullanım alanlarının belirlenmesi, güçlü ve zayıf yönlerinin ortaya konması ilgili problem için en uygun aracın seçimini kolaylaştıracaktır.

Bu çalışmada, söz konusu simülasyon araçları, geliştirici firmalar tarafından hazırlanan ve bu araçlar hakkında detaylı bilgilerin yer aldığı dokümanlar, ilgili web siteleri ve akademik yayınlar baz alınarak araştırılmıştır. Ayrıca kullanım alanına dönük değerlendirmeler literatüre dayalı olarak verilmiştir. Literatür taraması kapsamında 1997-2017 yılları arasında yayınlanan birçok makale incelenmiştir. Literatür, “SIMMOD, TAAM, RAMS, AirTOP, SAAM, CAST, SDAT, The LMI Runway Capacity Model, The FAA Airfield Capacity Model, DELAYS, AND, MACAD, CAMACA, real time simulation, fast time simulation, analytic model, simulation tool, air traffic control, airspace ve airport” anahtar kelimeleriyle ve bunların çeşitli varyasyonlarıyla taranmıştır.

2. SİMÜLASYON ÇEŞİTLERİ

Genel anlamda modeller, simülasyon ve analitik modeller olarak iki ana grupta incelenebilir. Simülasyonlar ise, gerçek ve hızlı zamanlı simülasyonlar olarak ikiye ayrılabilirler. Gerçek zamanlı simülasyonlarda, hava trafik olayları normal akışında simüle edilerek gerçeklik düzeyinin mümkün olduğunca yüksek tutulması amaçlanmaktadır. Hızlı zamanlı simülasyonlarda ise amaç mümkün olduğunca farklı değişkenleri simülasyonlara katarak birçok farklı senaryoyu kısa bir süre içerisinde denemektir.

Gerçek ve hızlı zamanlı simülasyonlar birlikte kullanılarak daha etkili sonuçlar elde etmek mümkün olabilir. Gerçek zamanlı simülasyonlarda senaryo oluşturulmasında hızlı zaman simülasyonunun verileri kullanılabilirken hızlı zamanlı simülasyon modellerinin geçerliliği gerçek zamanlı simülasyonlarla test edilebilir [3]. Bu bağlamda, hızlı zamanlı simülasyonların gerçek zamanlı simülasyonlar için bir ön çalışma ortamı sağladığı söylenebilir.

Analitik modeller, basitleştirilmiş hava trafik operasyonlarını tanımlayan bir dizi matematiksel ilişkiden oluşur. Hava trafikte kullanılan bazı analitik modeller SDAT (Sector Design Analysis Tool), The LMI Runway Capacity Model, The FAA Airfield Capacity Model, DELAYS, AND (Approximate Network Delays), MACAD ve CAMACA olarak sıralanabilir [4-6]. Ancak, analitik modeller bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.

2.1. Gerçek zamanlı simülasyonlar

Gerçek zamanlı simülasyonlar, gerçek hayata uygulanması emniyet ve finansal nedenlerle zor olan durumları, yeterli ölçüde gerçeklik kazandırarak benzetim imkânı sağlamaktadır [7]. Hava trafik kontrolde gerçek zamanlı simülasyonlar, gerçekçi bir ortamda yeni araçların gösterimi/kanıtlanması, insan makine etkileşiminin geliştirilebilmesi için insan faktörü araştırılması ve hava trafik kontrolörlerinin yeni sistemlerde ve prosedürlerde kabiliyetlerinin artırılmasına olanak tanımaktadır [2]. Gerçek zamanlı simülasyonlar, daha gerçekçi ve detaylı bir çalışma ortamı sunması yönüyle hızlı zamanlı simülasyonlardan ayrılmaktadır. Bu bakımdan temel hava trafik eğitiminde sıkça kullanılmaktadır.

2.2. Hızlı zamanlı simülasyonlar

Hızlı zamanlı simülasyonlar sağladığı esneklik ve pratiklik sayesinde hava trafik sisteminin incelenmesinde sıkça kullanılmaktadır. İnsan davranışlarının ve gerçek hayatın rastlantısallığının tam olarak modellenememesi nedeniyle gerçeklik düzeyi sınırlı olabilmekle birlikte, bu simülasyonların hızlı zamanlı olarak yürütülebilmesi çok büyük bir zaman tasarrufu sağlamaktadır. Hızlı zamanlı simülasyonlar, yatırımlar ve operasyonlar için maliyeti düşürür, karar verme süreçlerini hızlandırır ve işlemlerin emniyetli, düzenli ve zamanında yapılmasını destekler.

Simülasyonlarla modelleme yapabilmek için kullanılan simülasyon aracına, modellenecek bölgeye ve detay seviyesine göre değişebilen veri girişi gerekmektedir.

Bu veriler arasında, hava sahası ve sektörler, uçuş yolları, çakışma algılama ve çözümleme stratejileri, uçak park pozisyonları, pistler, park pozisyonları ile pistler arasındaki taksi yollarını içeren ağ yapısı ve tasarlanan modelde kullanılacak uçak bilgileri gösterilebilir.

Günümüzde hava trafik sisteminin sadece havaalanı ya da hava sahası kısmını modellemeye yönelik geliştirilen simülasyonların yanı sıra hava trafik sisteminin tamamını modellemeye dönük simülasyon araçları da mevcuttur. Sayısal olarak birçok hızlı zamanlı simülasyon araçları bulunmakla birlikte, bu çalışmada gerek literatürde yer alan ve akademik amaçlı sıkça kullanılan gerekse hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları tarafından yaygın olarak kullanılan simülasyon araçlarına yer verilmiştir. Ayrıca, günümüzde artık kullanılmayan simülasyonlar da bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur. Bu bağlamda çalışma kapsamında, Airport and Airspace Simulation Model (SIMMOD), Total Airspace & Airport Modeller (TAAM), Re-organized ATC Mathematical Simulator (RAMS), Air Traffic Optimization (AirTop), the System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level (SAAM) ve Comprehensive Airport Simulation Tool (CAST) simülasyon modelleri incelenmiştir.

2.2.1. SIMMOD

SIMMOD, FAA tarafından geliştirilen ve pist, taksi yolları ve apron dahil olmak üzere bir hava alanını, havaalanı ve ilgili terminal hava sahasını ve bölgesel bir hava sahasını ayrıntılı olarak simüle etmek için kullanılabilen bir modeldir. SIMMOD, hava alanı ve hava sahasının düğüm ve bağlantı (node-link) kullanılarak ayrıntılı olarak temsil edilmesine dayanır. Trafik, belirli bir zamanda her bir düğüm veya bağlantının tek bir uçağı barındırabildiği düğüm ve bağlantılardan oluşan ağ boyunca hareket eder. İki uçak aynı düğüm veya bağlantıda karşılaştığında, bunlardan hangisinin bu düğümü veya bağlantıyı önce geçeceği ve hangisinin gecikmeye uğrayacağı programlanmıştır.

SIMMOD, olasılıksal olayları simüle etmek için çeşitli seçeneklere sahiptir ve uçak bazında oldukça ayrıntılı istatistikler sağlayabilir. SIMMOD'daki başlıca kısıtlayıcı varsayım, trafiğin önceden tanımlanmış kurallara göre önceden belirlenmiş bir düğümler ve bağlantılar ağı üzerinde hareket etmesi gerekliliğidir. Uçuş yolları arasındaki çakışmalar açısından SIMMOD, tek boyutlu bir model olup esas olarak uçaklar arası uzunlamasına çakışmaları kontrol eder, fakat yanal veya dikey ayırım ihlallerini kontrol etme imkânı vermemektedir. Bu nedenle, ağ yapısı üzerinde hareket eden trafiğin simülasyon sırasında algılanamayan çakışmalarını engellemek için yeterli yanal ve dikey ayırmalara sahip düğümler ve bağlantılar oluşturulmalıdır [5, 8].

2.2.2. TAAM

TAAM, Avustralya Sivil Havacılık Otoritesi (CAA) ile işbirliğiyle the Preston Group (TPG) tarafından geliştirilen tüm hava trafik sistemlerinin modellenebildiği büyük ölçekli ve detaylı hızlı zamanlı simülasyon modelidir. TAAM, çoğu ATM işlevini ayrıntılı bir şekilde simüle edebilir ve gerçek zamanlı hava trafik kontrol (Air Traffic Control, ATC) simülatörleri için senaryo üretimi sağlayabilir.

TAAM modülleri, kullanıcıya hava sahası veya havalimanının 2 veya 3 boyutlu görüntüsünü sağlayan interaktif bir grafiksel hızlı zaman simülasyon aracı, gerçek zamanlı bir hava trafiğini izleme aracı ve simülasyon tarafından üretilen verilerin raporlandığı bir araçtan oluşur. Çakışma çözümü ve havaalanı kaynaklarının kullanımı gibi modelin kilit noktaları, kullanıcı tarafından belirlenen kurallara bağlı olarak kontrol edilebilir ve bu kurallar simülasyonun çalışması sırasında da düzenlenebilir.

TAAM ile bir hava trafik sisteminin büyük ölçekli olarak modellenmesi amaçlandığı için tüm hava trafik sistemini tanımlayan kapsamlı veri girişi dosyaları gereklidir. Ayrıca, ayrıntı seviyesi kritik alanların daha iyi modellenmesi için değiştirilebilir. TAAM ile kötü hava koşulları veya özel kullanımlı hava sahası (Special use of airspace, SUA) dinamik olarak modellenemez. Çakışma algılama ve çözümleme fonksiyonu vardır ancak bütün çakışmalar çözülemeyebilir [5, 9].

2.2.3. RAMS

RAMS, hava sahası operasyonlarını modellemek amacıyla ISA Software tarafından geliştirilmiştir. Genel olarak terminal hava sahası ve uçuşun yol safhasının modellendiği ve kontrolör iş yükünün ölçülebildiği bir simülasyon modelidir. Bununla birlikte, hava sahası operasyonları ile paralel veya kesişen pistlerin etkileşimleri de modellenenebilir. RAMS, yeni kavramların arzu edilen detay seviyesinde test edilebilmesine olanak sağlayarak esnek bir hava sahası simülasyon ortamı sunar. RAMS'in esnek tasarımı, ATC kavramlarının geniş bir yelpazede incelenmesine olanak tanır. RAMS, 4 boyutlu uçuş profilleri, çakışma algılama ve çözümleme mekanizmaları, iş yükü modelleri, modern kullanıcı ara yüzü ve bir veri hazırlama ortamı içerir. RAMS ile kötü hava koşulları ve yasak bölgelerin modellenmesi de mümkündür [5, 10].

2.2.4. AirTOP

AirTOP simülasyon modeli, 2007 yılında AirTOP Soft tarafından geliştirilen yeni nesil bir simülasyon aracıdır [11]. AirTOP; kalkış, saha, yaklaşma operasyonlarının ve anlaşıma mektuplarının yanı sıra havaalanı yer hareketlilerinin, yer hizmetleri araçlarının, yolcu davranışlarının ve tüm terminal süreçlerinin modellenenebildiği açık ve modüler hızlı zamanlı simülasyon platformudur. AirTOP, kapasite ve sektörizasyon çalışmaları, rotaların yeniden düzenlenmesi, serbest rota (free-route) veya Azaltılmış Dikey Ayırma Minimumu (Reduced Vertical Separation Minima, RVSM) çalışmaları için uygundur. AirTOP, dünya çapında 20 den fazla Hava Seyrüsefer Hizmet Sağlayıcısı tarafından kullanılmaktadır. AirTOP ile genel olarak; kapasite, iş yükü, gecikme, ekonomik veya çevresel etkiler modellenenebilir. Çakışma algılama ve çözümleme çalışmaları; alçalma ya da tırmanmanın durdurulması, vektör tekniği, seviye değişikliği, erken alçalma, öndeki uçağın aynı hızda ya da aynı alçalma açısıyla takip edilmesi gibi çakışma çözümleme teknikleri kullanılarak ve kullanıcı tarafından düzenlenerek modellenenebilir. AirTOP, oldukça etkileşimli 2 boyutlu haritalar ve 3 boyutlu görüntüler

içeren tek bir gelişmiş ara yüz aracılığıyla senaryo düzenleme, simülasyonu yürütme, hata ayıklama, raporlama ve simülasyon analizine olanak tanır [12, 13].

2.2.5. SAAM

SAAM, EUROCONTROL tarafından geliştirilen ve hava trafiğinin, sivil ve askeri hava sahalarının ve TMA senaryolarının ağ genelinde veya bölgesel olarak tasarımı, değerlendirmesi, analiz edilmesi ve görüntülenmesi için bütünleşik bir sistemdir. SAAM, stratejik trafik akışlarını optimize etmek, rota ağını ve hava sahasını tasarlamak, geçmiş ve gelecek trafik akışlarını analiz etmek, projeleri görüntülemek ve karşılaştırmak için operasyonel planlama amacıyla kullanılmaktadır [14].

2.2.6. CAST

Airport Research Center (ARC), tarafından geliştirilen CAST simülasyon modeli, terminal binası içerisinde, bilet kontrol işlemleri, güvenlik, bekleme kapıları, bagaj ve gümrük işlemleri gibi yolcu hareketleri; havaalanındaki ve havaalanı çevresindeki uçakların yaklaşma, iniş, kalkış, taksi, dönüş ve dinamik park pozisyonu tahsisi gibi operasyonları; yer hizmetleri açısından otobüs hareketleri, kargo ve bagaj taşımacılığı, yakıt ikmali ve temizlik gibi tüm havaalanı işlemlerinin modellenebileceği 3 boyutlu hızlı zamanlı simülasyon sistemidir. CAST, EUROCONTROL tarafından ve Türkiye’de Antalya havalimanı olmak üzere dünya üzerinde bir çok havalimanı tarafından kullanılmaktadır [15, 16].

3. SİMÜLASYON MODELLERİNİN LİTERATÜRE DAYALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma kapsamında incelenen modellerden birisi olan SIMMOD, bir hava alanının yüksek detayda modellenebilmesine olanak tanırken hava sahasında yatay ayırma ihlallerinin ve kontrolör iş yükü etkisinin ölçülmesine imkân vermemektedir. RAMS ise daha çok hava sahası operasyonları için uygun bir model olup bu model ile hava alanı operasyonlarının modellenmesi kısıtlıdır. TAAM ise, ATM sürecinin tümünü SIMMOD ve RAMS’e göre genellikle daha ayrıntılı olarak kapsar. Ayrıca, RAMS ve TAAM’ın gerçekçilik düzeyi üç boyutlu görselleştirme imkânı vermesi nedeniyle SIMMOD’a göre daha yüksektir [5]. SIMMOD, TAAM, RAMS ve AirTop simülasyon araçlarının hava trafik sisteminin nerdeyse tamamını modellemeye yönelik olduğu söylenebilir. Ancak, terminal binası ve yolcu davranışlarını da modellemesi nedeniyle AirTop, bahsedilen diğer modellere göre daha kapsamlı ve daha yeni bir modeldir.

CAST ve SAAM modelleri ise sadece hava trafik sisteminin bir bölümünün modellenmesine yöneliktir. CAST havaalanı, terminal binası ve yolcu davranışlarının modellenebileceği üç boyutlu bir modeldir. SAAM’ın kullanım alanı ise hava sahasıyla sınırlıdır.

Çalışma kapsamında incelenen hızlı zamanlı simülasyonlardan SIMMOD’un sıkça havalimanı ve terminal hava sahası operasyonlarında kullanıldığı görülmektedir. Wei ve

Taobo, artan trafik talebini karşılamak amacıyla, piste paralel taksi yolu yapılması gibi havaalanı altyapısının geliştirilmesiyle havaalanı ve pist kapasitesini artırmayı amaçlamıştır [17]. Bubalo ve Daduna, trafik sayısı ve çeşitliliğini değiştirerek bağımsız paralel pist operasyonlarını incelemişlerdir [18]. Müller ve Santana ise hava alanında yaşanan tıkanıklık ve gecikmelerin ekonomik etkilerini incelemiştir [19]. Peng ve ark. tarafından yapılan çalışmada, paralel pist operasyonları için geliş ve kalkış prosedürleri tasarlanmış ve oluşturulan model ARENA ve SIMMOD ile karşılaştırılmalı olarak test edilmiştir [20]. Cetek ve ark. İstanbul Atatürk Limanında tıkanıklık yaşanan bölgeleri belirleyerek farklı pist konfigürasyonları içeren öneriler geliştirmişlerdir [21]. Lee ve Balakrishnan, SIMMOD kullanarak havaalanlarındaki belirsizliklerin havaalanı performansına etkisini incelemiştir [22]. Gao ve ark. ise, birbirine yakın sivil ve askeri havaalanlarından oluşan toplam on havaalanı arasındaki etkileşimlerden kaynaklanan tıkanıklıkları ve gecikmeleri uçuş planlarını optimize ederek azaltmayı amaçlamıştır [23]. Chao ve ark. havaalanı kapasite ve gecikme analizi yaparak simülasyon sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda kapasite modeli geliştirmişlerdir [24]. Kleinman ve ark. havaalanlarında yaşanan gecikmelerin ekonomik etkisini değerlendirerek uçakların park pozisyonunda optimum sürede bekletilmesi için prosedür geliştirmiş ve sonuçları SIMMOD'da test etmişlerdir [25]. Li ve ark. ise yakın paralel pistlerin farklı kullanım şekillerini simülasyon ortamında modelleyerek bu konfigürasyonların kapasite ve operasyonel verimliliklerini değerlendirmişlerdir [26]. Simic ve Babic, farklı konfigürasyonlardaki havaalanı yerleşim planlarının, farklı trafik taleplerinin ve ATC uygulamalarının havaalanı sisteminin performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [27]. Hutchison ve Hill, havaalanlarında yaşanan gecikmeyi azaltarak zamanında yapılan operasyonları artırmak amacıyla SIMMOD ve optimizasyon yöntemlerinden faydalanmışlardır [28]. Wei ve Siyuan ise, SIMMOD kullanarak yakın paralel pist operasyonları için en uygun konfigürasyonu, seyahat süresi, gecikme miktarı, kalkış kuyruğunda bekleme süresi gibi parametrelere bağlı olarak araştırmışlardır [29].

Hava trafik sisteminin tamamının modellenebildiği TAAM ile yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bazargan ve ark. pist kapasitesini farklı yerleşim planları için incelemişlerdir [30]. Holden ve Wieland, havaalanına yapılan yeni bir pistin diğer pistlerle birlikte kullanılması ve uçuş operasyonlarının yeniden planlanması için TAAM kullanmışlardır [31]. Yousefi ve ark. TAAM simülasyonundan elde edilen çıktıları, kontrolör iş yükünü tahmin etmek için kullanmışlardır [32]. Massimini ve ark. Kontrolör Pilot Veri Hattı Haberleşmesi (Controller-Pilot Data Link Communications, CPDLC) sisteminin kullanılmasının etkilerini incelemişlerdir [33]. Alipio ve ark. ile Harris ve ark. özellikle büyük havalimanlarını birbirine bağlayan, tek yönlü yollardan oluşan ve yüksek hacimli trafik akışına uygun yeni bir sektör tasarımı önermişlerdir [34, 35]. Bazargan ve ark. küçük uçaklarla yapılan taşımacılığın mevcut genel havacılık akışına etkisini incelemişlerdir [36].

RAMS ile yapılan çalışmalar genellikle kontrolör iş yükü, yakıt-emisyon analizi ve havacılığın çevresel etkileri gibi konuları içermektedir. Majumdar ve Ochieng, kontrolör iş yükünü etkileyen hava trafik ve sektör faktörlerini incelemiştir [10]. Pejovic ve ark. Londra Heathrow havalimanı için gecikme, alternatif havaalanlarına yönlendirme ve uçuş iptallerini içeren sistem aksaklıklarının maliyet, yakıt tüketimi ve dolayısıyla CO2 emisyonları üzerindeki etkisini RAMS ile incelemiştir [37]. Pejovic ve ark. bir diğer çalışmalarında ise CO2 emisyon tahmini için gerçek hava trafik verilerine dayalı bir metodoloji geliştirmişlerdir [38]. Williams ve ark. yüksek irtifada oluşan yoğunlaşma izlerinin uçakların seyir irtifasının sınırlandırılarak önlenebileceğini belirtmiş ve irtifa kısıtlaması, hava sahası kapasitesi ve karbondioksit emisyonu için bir dengeleme analizi önermişlerdir [39]. Bir başka çalışmada ise Williams ve Noland, yüksek irtifada oluşan yoğunlaşma miktarlarını tahmin etmek için bir model geliştirmişlerdir [40]. Ivanescu ve ark. ise Point Merge yöntemini RAMS ile modelleyerek sonuçları vektör tekniğiyle karşılaştırmıştır [41]. Enea ve ark. CPDLC uygulamasının gecikmelere ve hava trafik kontrolörlerinin iş yüküne etkisini değerlendirmişlerdir [42]. Ehrmanntraut ise, saha operasyonlarında çakışmaları önlemek için kullanılan yöntemleri karşılaştırmıştır [43].

AirTop ile yapılan çalışmalar hem hava sahası hem de hava alanı operasyonlarını kapsamaktadır. Li ve ark. Çin hava sahasındaki uçuş ağ yörüngelerinin optimize edilerek planlamasını önermişler ve tüm hava sahasının rota ağını AirTop ile modelleyerek önerilen çözümün geçerliliğini test etmişlerdir [44]. Chen ve ark. terminal manevra sahasında kötü hava koşullarından kaçınmak için algoritmaya dayalı dinamik geliş ve kalkış rotaları önermişler ve söz konusu rotaların verimliliğini AirTop ile incelemişlerdir [45]. Soares ve ark. ise kalkış uçaklarının uygun kalkış zamanlarının belirlenmesi için Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning) tekniklerini önermiş ve çalışma kapsamında AirTop simülasyon modelinden faydalanmışlardır [46].

SAAM ile yapılan çalışmalar genellikle hava sahası tasarımıyla ilgilidir. Mihetec ve ark. Avrupa hava sahasında Hava Sahası Esnek Kullanımı (Flexible Use of Airspace, FUA) kavramını SAAM ile modelleyerek bu kavramın uygulanmasının uçuş verimliliğine etkisini değerlendirmişlerdir [47]. Aneeka ve Zhong, hava taşımacılığının çevresel etkilerini ve serbest rota uygulamasının potansiyel faydalarını değerlendirmiş ve İleri Emisyon Modeli ve SAAM ile emisyon hesabı yapmışlardır [48].

CAST ile yapılan çalışmalar hava alanı performansı ve terminal binası içerisinde yolcu hareketlerini konu alan çalışmaları kapsamaktadır. Roßnagel ve ark. spor karşılaşmaları, konser, fuar ve sokak festivalleri gibi büyük halka açık etkinlikler için acil durum yönetim sistemi önermişler ve havaalanlarındaki yolcu davranışlarını CAST ile modellemişlerdir [49]. Zografos ve ark. hava alanı operasyon yönetimi ve planlaması için karar destek sistemi geliştirmiş ve önerilen sistemin modelleme fonksiyonunu ve karar verme yeteneğini incelemişlerdir [50].

Tablo 1’de çalışma kapsamında incelenen ve literatürde yer alan simülasyon çalışmalarında kullanılan modellerin uygulama alanları verilmiştir.

Tablo 1. Simülasyon araçlarının kullanım alanları

Uygulama alanı	Kullanılan model	Çalışma
Hava alanı/pist konfigürasyon değişikliği	SIMMOD	Wei ve Taobo (2010), Wei ve Siyuan (2010), Bubalo ve Daduna (2011), Peng ve ark. (2013), Cetek ve ark. (2014), Li ve ark. (2015), Simic ve Babic (2015)
	TAAM	Bazargan ve ark. (2002) Holden ve Wieland (2003)
Gecikmelerin ekonomik etkisi	SIMMOD	Kleinman ve ark. (1999) Hutchison ve Hill (2003) Müller ve Santana (2008)
Kapasite/Gecikme Tıkanıklık	SIMMOD	Chao ve ark. (2008), Gao ve ark. (2008), Lee ve Balakrishnan (2012)
	TAAM	Bazargan ve ark. (2004)
Hava sahası yönetimi	TAAM	Alipio ve ark. (2003), Harris ve ark (2006)
	RAMS	Ivanescu ve ark. (2009)
	SAAM	Mihetec ve ark. (2013)
	AirTOp	Li ve ark. (2016)
Yakıt-emisyon ve Çevresel etkiler	SAAM	Aneeka ve Zhong (2016)
	RAMS	Williams ve ark (2002), Williams ve Noland (2005), Pejovic ve ark (2008), Pejovic ve ark (2009)
Kontrolör iş yükü	TAAM	Yousefi ve ark. (2003)
	RAMS	Majumdar ve Ochieng (2004)
Havaalanı yönetimi	AirTOp	Soares ve ark. (2015)
	CAST	Zografos ve ark. (2013)
	CAST	Roßnagel ve ark. (2010)
CPDLC	RAMS	Enea ve ark. (2009)
	TAAM	Massimini ve ark. (2000)
Çatışma algılama	RAMS	Ehrmanntraut (2005)
Hava koşulları	AirTOp	Chen ve ark. (2013)

4. SONUÇ

Farklı simülasyon araçlarının farklı yetenekleri, kuvvetli ve zayıf yönleri olabilmektedir. Bu nedenle, yapılacak bir simülasyon çalışmasında kullanılacak simülasyon aracının o alana uygulanmasının uygun olup olmadığının belirlenmesi yapılacak çalışmada elde edilecek sonuçların doğruluğu açısından önemlidir. Bu bağlamda, hava trafik kontrol alanında kullanılan simülasyon araçlarının literatüre dayalı olarak araştırılması bu araçların kullanım alanları hakkında fikir verebilir.

Her ne kadar SIMMOD, TAAM, RAMS ve AirTOp gibi simülasyon araçlarıyla hava trafik sisteminin tamamının modellenmesi mümkün olsa da Tablo 1’de bu simülasyon araçlarının her alanda uygulanmadığı görülmektedir. Bu durum söz konusu modellerin modelleme kabiliyetlerinin hava trafik sisteminin farklı bölümleri için değişkenlik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, SIMMOD ile yapılan bir hava sahası

tasarımında kontrolör iş yükünün modele dahil edilememesi, tasarımın ve elde edilecek sonuçların gerçekçilik düzeyini sınırlandırmaktadır. Bu alandaki çalışmalarda TAAM veya RAMS ön plana çıkmaktadır.

Diğer taraftan, yapılan literatür araştırması sonucu AirTOp ile yapılan çalışmaların henüz sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Fakat hava trafik sisteminin tamamının, terminal binasının, yer hizmetleri operasyonlarının ve serbest rota gibi dinamik operasyonların modellenenbilmesine olanak tanınması, bu modelin potansiyelini göstermektedir.

5. KAYNAKÇA

- [1] Zellweger, A. (2003), Simulation in CNS/ATM research with examples from the United States, *Simulation Modelling Practice and Theory*, (11), 173-185.
- [2] Kaltenhauser, S. (2003), Tower and airport simulation: flexibility as a premise for successful research, *Simulation Modelling Practice and Theory*, (11), 187-196.
- [3] Schier, S., Papenfuss, A., Lorenz, S., Walther, J. ve Moehlenbrink, C. (2011), An approach to support controller work-place design in a multi-airport environment using fast and real-time simulations, *CEAS Aeronautical Journal*, (2) 185-193.
- [4] Mirkovic B. ve Stepe V. (2010), Airfield Modelling–State of the Art, *University of Belgrade*, 1-24.
- [5] Odoni, A. R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J. *et al.* (1997), Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts, International Center For Air Transportation Massachusetts Institute Of Technology
- [6] Janic, M. (2014), Modeling effects of different air traffic control operational procedures, separation rules, and service disciplines on runway landing capacity, *Journal of advanced transportation*, (48) 556-574.
- [7] Morlang, F. (2006), Validation facilities in the area of ATM bottleneck investigation, *2006 IEEE/AIAA 25th Digital Avionics Systems Conference*, (1- 3) 94-102.
- [8] Simmod PLUS! Reference Manual (2012), Section 1: Introduction, ATAC Corporation, Santa Clara, USA.
- [9] Boesel, J., Gladstone, C.X., Hoffman, J., Massimini, P.A., Shiotsuki, C. ve Simmons, B. (2001), TAAM Best Practices Guidelines-MITRE Technical Report, The MITRE Corporation.
- [10] Majumdar, A., Ochieng, W.Y., McAuley, G., Lenzi, J.M. ve Lepadatu, C. (2004), The factors affecting airspace capacity in Europe: A cross-sectional time-series analysis using simulated controller workload data, *Journal of Navigation*, (57) 385-405.
- [11] Federal Aviation Administration (FAA). (2014), Initial Airspace and Procedures Feasibility Analysis for the Proposed South Suburban Airport (SSA), The MITRE Corporation.
- [12] <http://airtopsoft.com/> (Erişim tarihi 16.05.2017).
- [13] <http://www.eurocontrol.int> (Erişim tarihi 16.05.2017). *The AirTOp fast time simulator*.
- [14] <http://www.eurocontrol.int/saam> (Erişim tarihi 17.05.2017). *SAAM – System for traffic Assignment and Analysis at a Macroscopic level*.
- [15] <http://www.airport-consultants.com/cast-simulation> (Erişim tarihi 17.05.2017). *CAST Simulation*.

- [16] Krammer, P., Junker, O. ve Scholz, D. (2010), Aircraft Design for Low Cost Ground Handling-The Final Results of the ALOHA Project, *27th International Congress of The Aeronautical Sciences*.
- [17] Wei, G. ve Taobo, W. (2010), A Simulation Study on airport capacity and the factors, *Computer Science and Information Technology (ICCSIT)*, 390-393.
- [18] Bubalo, B. ve Daduna, J.R. (2011), Airport capacity and demand calculations by simulation-the case of Berlin-Brandenburg International Airport, *NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking*, (12) 161-181.
- [19] Muller, C. ve Santana, E.S.M. (2008), Analysis of flight-operating costs and delays: The Sao Paulo terminal maneuvering area, *Journal of Air Transport Management*, (14) 293-296.
- [20] Yang, P., Gao, W. ve Sun, J.Q. (2013), Capacity Analysis for Parallel Runway through Agent-Based Simulation, *Mathematical Problems in Engineering*, (2013) 1-8.
- [21] Cetek, C., Cinar, E., Aybek, F. ve Cavcar, A. (2014), Capacity and delay analysis for airport manoeuvring areas using simulation, *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, (86) 43-55.
- [22] Lee, H. ve Balakrishnan, H. (2012), Fast-Time Simulations of Detroit Airport Operations for Evaluating Performance in the Presence of Uncertainties, *2012 IEEE/AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 1-13.
- [23] Gao, W., Xu, X.H., Diao, L. ve Ding, H.J. (2008) SIMMOD Based Simulation Optimization of Flight Delay Cost for Multi-airport System, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 698-702.
- [24] Wang, C., Zhang, X.Y. ve Xu, X.H. (2008), Simulation Study on Airfield System Capacity Analysis Using SIMMOD, *2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 87-90.
- [25] Kleinman, N.L., Hill, S.D. ve Ilenda, V.A. (1999), SPSA/SIMMOD optimization of air traffic delay cost, *Airport Modeling and Simulation*, 45-63.
- [26] Li, X., Chen, X.Q., Li, D.B. ve Wei, D.X. (2015), Simulation Study on Runway Threshold Stagger and Utilization Pattern of Closely Spaced Parallel Runways, *2015 International Conference on Electromechanical Control Technology and Transportation*, 254-259.
- [27] Simic, T.K. ve Babic, O. (2015), Airport traffic complexity and environment efficiency metrics for evaluation of ATM measures, *Journal of Air Transport Management*, (42) 260-271.
- [28] Hutchison, D.W. ve Hill, S.D. (2003), Simulation optimization of airline delay with constraints and multiple objectives, *ISUMA 2003: Fourth International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis*, 417-422.
- [29] Wei, G. ve Siyuan, J. (2010), Simulation Study on Closely Spaced Parallel Runway Analysis Using SIMMOD Plus, *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 344-347.
- [30] Bazargan, M., Fleming, K. ve Subramanian, P. (2002), A simulation study to investigate runway capacity using TAAM, *2002 Winter Simulation Conference*, 1235-1243.
- [31] Holden, T.C. ve Wieland, F. (2003), Runway schedule determination by simulation optimization, *2003 Winter Simulation Conference*, 1670-1676.
- [32] Yousefi, A., Donohue, G. ve Qureshi, K. (2003), Investigation of En route Metrics for Model Validation and Airspace Design Using the Total Airport and Airspace Modeler (TAAM), 5th EUROCONTROL / FAA ATM R&D Conference, 1-10.
- [33] Massimini, P.A., Dieudonne, J.E., Monticone, L.C., Lamiano, D.F. ve Brestle, E.A. (2000), Insertion of controller-pilot data link communications into the National Airspace System: Is it more efficient?, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, pp. 25-29.

- [34] Alipio, J., Castro, P., Kaing, H., Shahid, N., Sherzai, O., Donohue, G.L. *et al.* (2003), Dynamic Airspace Super Sectors (DASS) as high-density highways in the sky for a new US air traffic management system, *2003 Ieee Systems & Information Engineering Design Symposium*, 57-65.
- [35] Harris, M., Raza, A., Rojas, Z., Price, E. ve Rajlawat, S. (2006), Preliminary design analysis of Dynamic Airspace Super Sectors DASS, *2006 IEEE Systems and Information Engineering Design Symposium*, 207-211.
- [36] Bazargan, M. (2014), Integration of small aircraft transportation system (SATS) with General Aviation (GA) - An operational feasibility study, *Msv'04 & Amcs'04 Proceedings*, 125-128.
- [37] Pejovic, T., Noland, R.B., Williams, V. ve Toumi, R. (2009), A tentative analysis of the impacts of an airport closure, *Journal of Air Transport Management*, (15) 241-248.
- [38] Pejovic, T., Noland, R.B., Williams, V. ve Toumi, R. (2008), Estimates of UK CO₂ emissions from aviation using air traffic data, *Climatic Change*, (88) 367-384.
- [39] Williams, V., Noland, R.B. ve Toumi, R. (2002), Reducing the climate change impacts of aviation by restricting cruise altitudes, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, (7) 451-464.
- [40] Williams, V. ve Noland, R.B. (2005), Variability of contrail formation conditions and the implications for policies to reduce the climate impacts of aviation, *Transportation Research Part D-Transport and Environment*, (10) 269-280.
- [41] Ivanescu, D., Shaw, C. ve Tamvaclis, C. (2009), Models of Air Traffic Merging Techniques: Evaluating Performance of Point Merge, *9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (ATIO)*, 1-10.
- [42] Enea, G., Trani, A. ve Franca, L. (2009), Simulation-Based Study to Quantify Data-Communication Benefits in Congested Airport Terminal Area, *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference*, 1-20.
- [43] Ehrmanntraut, R. (2005), The Potential of Lateral Offset for The Multi Sector Planner, *24th Digital Avionics System Conference*.
- [44] Li, Y., Cai, K., Yan, S., Tang, Y. ve Zhu, Y. (2016), Network-wide flight trajectories planning in China using an improved genetic algorithm, *2016 IEEE/AIAA 35th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 1-7.
- [45] Chen, J.T., Yousefi, A., Krishna, S., Wesely, D., Sliney, B. ve Smith, P. (2013), Integrated arrival and departure weather avoidance routing within extended terminal airspace, *2013 IEEE/AIAA 32nd Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 1A4-1-1A4-17.
- [46] Soares, I.B., Hauwere, Y.M., Januarius, K., Brys, T., Salvant, T. ve Nowé, A. (2015), Departure MANagement with a Reinforcement Learning Approach: Respecting CFMU Slots, *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 1169-1176.
- [47] Mihetec, T., Steiner, S. ve Odić, D. (2013), Utilization of Flexible Airspace Structure in Flight Efficiency Optimization, *PROMET-Traffic&Transportation*, (25) 109-118.
- [48] Aneeka, S. ve Zhong, Z. (2016), NOX and CO₂ emissions from current air traffic in ASEAN region and benefits of free route airspace implementation, *Journal of Applied and Physical Sciences*, (2) 32-36.
- [49] Roßnagel, H., Zibuschka, J. ve Junker, O. (2010), Agent-Based Simulation for Evaluation of a Mobile Emergency Management System, *Sustainable e-Business Management*, 100-114.
- [50] Zografos, K.G., Madas, M.A. ve Salouras, Y. (2013), A decision support system for total airport operations management and planning, *Journal of Advanced Transportation*, (47), 170-189.

UÇUŞ SİMÜLATÖRLERİNDEKİ DIŞ DÜNYA GÖRSEL VERİTABANI ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN ALÇAK UÇUŞTA YÜKSEKLİK ve HIZ ALGISINA ETKİSİ

Şafak Tulumoğlu ^(a), Hasan Umut Akın ^(b)

^(a) HAVELSAN A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi 2120 Cadde No:39 P.K.:06510
Çankaya/ANKARA, stulumoglu@havelsan.com.tr

^(b) Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Bahçekapı Mahallesi Okul Sokak No:11 06790
Etimesgut/ANKARA, uakin@thk.edu.tr

ÖZ

Simülator eğitiminde, uçuş becerilerinin gerçek dünyaya olumlu şekilde aktarılabilmesi için simülasyonun gerekli görsel ipuçlarını içermesi çok önemlidir. Bu nedenle, uçuş simülatorlarındaki dış dünya görsel sahnesinin ayrıntı seviyesi, alçak irtifa uçuş görevleri gerçekleştirildiğinde daha da önem kazanmaktadır. Görüntü üreteçlerindeki sistem performansı kısıtları dış dünya görsel veri tabanının detay seviyesinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, uçuş simülatorlarındaki dış dünya görsel veri tabanının alçak irtifa uçuşlarındaki yükseklik ve hız algılamasına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı arazi dokusu çözünürlüklerinde ve farklı sayıda üç boyutlu modele sahip görsel araziler üzerinde yapılan uçuşlar kaydedilerek katılımcılardan uçuşun yükseklik ve hız değişimleri hakkında yargıda bulunmaları talep edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, alçak irtifa uçuşlarda dış dünya görsel sahne detaylarının yükseklik ve hız algısı üzerindeki etkilerini görmek için değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunun, görsel veri tabanı yaratıcılarına dış dünya görsel sahnesinin ayrıntı düzeyini belirlemede yardımcı olacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alçak uçuş, arazi dokusu çözünürlüğü, görsel simülasyon, havacılık, uçuş simülatorü, üç boyutlu nesneler.

EFFECT of FLIGHT SIMULATOR OUT THE WINDOW VISUAL DATABASE on PERCEPTION of ALTITUDE and SPEED in LOW LEVEL FLIGHT

ABSTRACT

In simulator training, it is crucial that the simulation include the necessary visual cues in order to transfer flight skills to the real world positively. Therefore the detail level of

outer the window (OTW) visual scene of flight simulators becomes more important when low level flight missions are performed. System performance constraints in image generators play an important role in determining the level of detail of the external world visual database. In this study, the effect of OTW visual database of flight simulators on perception of altitude and speed in low-level flight was investigated. For this purpose, recorded flights on different OTW visual databases which differs on terrain texture resolution and number of 3D models resting on it will be shown to the participants to request them for judging on the change of altitude and speed of the flight. The results will be evaluated to see the effects of the visual scene details on altitude and speed in low level flight. It is expected that the result of the study will help visual database creators with determining on the detail level of visual scene.

Keywords: Aviation, flight simulator, low-altitude flight, three-dimensional objects, terrain texture resolution, visual simulation

1. GİRİŞ

Simülâtör eğitiminde, uçuş becerilerinin gerçek dünyaya olumlu şekilde aktarılabilmesi için simülasyonun gerekli görsel ipuçlarını içermesi önemlidir [1]. Bu nedenle, uçuş simülâtörlerinin dış dünya görsel sahnesinin ayrıntı seviyesi, alçak irtifa uçuş görevleri gerçekleştirildiğinde daha da önem kazanmaktadır. Alçak irtifalarda uçan pilotlar, yüksekliği kontrol etmek için büyük ölçüde kokpit dışındaki görsel ipuçlarına güvenirlir. Ne yazık ki, uçuş simülâtörlerinde gerçekleştirilen alçak irtifalı uçuş görevlerinde eğitim aktivitesinin etkinliği, simülâtörlerde kullanılan görsel veri tabanlarının detay seviyesiyle sınırlı olup, bu veri tabanları yükseklik görsel ipuçları açısından çok az bilgi içermektedir [2].

Görsel veri tabanı oluşturma teknolojileri gelişmekle birlikte, hala bilgisayarların işlem gücü en önemli konudur. Görüntü üretici (CIG) bilgisayarlarının kısıtlı işlemci kapasiteleri simülâtörlerin görsel sahnelerinin ayrıntılarına kısıtlamalar getirmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, dış dünya görsel veri tabanının alçak irtifa uçuşlarında yükseklik ve hız algısı üzerindeki etkisini değerlendirmektir. Çalışmanın sonucunun, görsel veri tabanı tasarımcılarına görsel sahnenin ayrıntı düzeyini belirlemede yardımcı olması beklenmektedir.

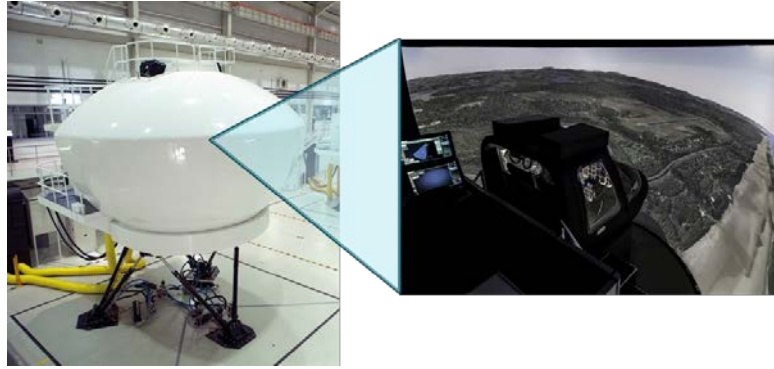
2. ALÇAK UÇUŞTA UÇUŞ SİMÜLATÖRLERİNİN ÖNEMİ

Alçak uçuş daha çok askeri pilotlar tarafından kullanılan ve düşman radarlarından kurtulmak için yapılan bir taktik uçuştur. Bu tip uçuşlar genellikle ortalama 450 knots civarında hızda ve yerden 100 ila 500 feet yükseklikler arasında gerçekleştirilir. Pilotlar

yere çok yakın olarak uçtukları için ufak hatalar istenmeyen büyük tehlikelere neden olabilmektedir [3][4].

2013 yılında kaydedilen ticari olmayan uçak kazalarının % 74'ü pilotajla ilgilidir. Bu kazaların önemli bir kısmını kontrol kaybının ve engellerin önemli bir bileşeni olduğu düşük irtifalı uçuşlar oluşturmaktadır [5][6].

Uçuş simülatörleri pilotların teknik uçuş yeterliliğini artırmak için 1960'ların sonu ve 1970'lerin başında geliştirilmeye başlanmıştır ve düşük irtifa uçuşu eğitimleri bu simülatörlerde pilotların kazandığı uçuş tecrübelerindendir (Şekil 1). Uçuş platformlarının yüksek uçuş saati maliyetleri nedeniyle pilot eğitimleri için uçuş simülatörlerini kullanmak neredeyse bir zorunluluktur [9].



Şekil 1. Tam Uçuş Simülatörü

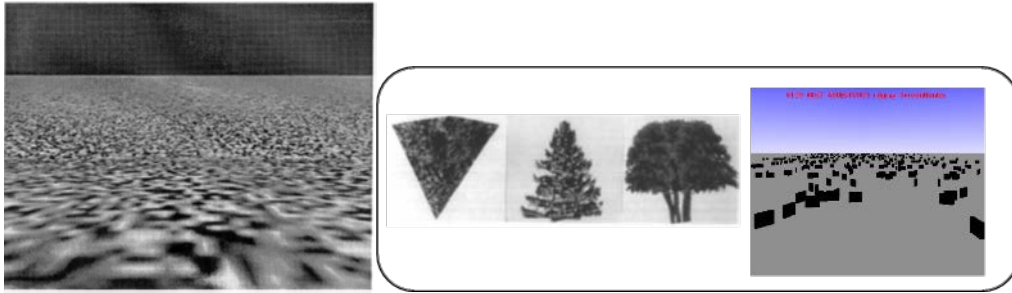
Simülatör eğitiminde kazanılan uçuş becerilerinin gerçek dünyaya olumlu bir şekilde aktarılması için, yapılan simülasyonun gerekli görsel ipuçlarını içermesi kritik derecede önemlidir [7]. Çünkü gelişmiş kokpit göstergelerine rağmen, düşük irtifalarda uçan pilotlar, yüksekliği tahmin etmek ve yükseklikteki değişiklikleri saptamak için kokpit dışındaki görsel ipuçlarına büyük ölçüde güvenmektedirler [3][4] (Şekil 2). Bu nedenle iyi tasarlanmış görsel veri tabanlarına sahip simülatörler pilotlara gerçek dünyadakine eşdeğer ipuçları sağlarlar [10].



Şekil 2. Uçuş Simülatörü Dış Dünya Görüntüleri

3. GÖRSEL ARAZİNİN YÜKSEKLİK VE HIZ ALGISINA ETKİSİ

Simülatörlerde, üst düzey karar vermeyi desteklemek için doğru ipuçlarının sağlanması hayati önem taşımaktadır [8]. Bu nedenle daha gerçekçi dış dünya görsel sahnesini yaratmak uçuş simülatörleri için çok önemlidir. Dış dünya görüntüsünün oluşturulması için pek çok farklı yöntem geliştirilmiştir. Önceki simülatörlerde arazi örtüsü olarak bilgisayarlarda üretilmiş olan jenerik dokular (ing. generic texture) kullanılmaktaydı (Şekil 3). Üç boyutlu modeller olarak ise dört yüzlü şekiller (ing. tetrahedrons), çam ağaçları (ing. pine trees) ve kutular (ing. boxes) kullanılmaktaydı (Şekil 3).



Şekil 3. Bilgisayarda üretilmiş jenerik arazi dokusu ile dört yüzlü şekil, çam ağaçları ve kutular

Teknolojik gelişmelerle birlikte artık günümüzde simülatörlerde arazi örtüsü olarak uydu fotoğrafları kullanılmaktadır (Şekil 4). Üç boyutlu modeller olarak da gerçek görünümüne benzeyen nesneler modellenmekte ve gerçek konumlarında birebir ölçülerde kullanılmaktadır (Şekil 4). Fakat hangi çözünürlükte bir uydu fotoğrafı kullanılacağı ya da gerçek dünyadaki yapıların ne kadarının modelleneyeceği yeni bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Çünkü bilgisayarların sınırlı işlem gücü hala en büyük kısıtlayıcılardan biridir.



Şekil 4. Uydu fotoğrafı ile gerçek görünümlü üç boyutlu nesneler

4. UYGULAMA

4.1. Yükseklik ve Hız Görsel Algı Testi

Öncelikle, çözünürlüğün ve üç boyutlu model yoğunluğunun pilotların yükseklik ve hız algısına etkisini araştırmak için, görsel uçuş videolarından oluşan ve web sayfası

aracılığıyla ulaşılabilen bir test hazırlanmıştır. Uçuş kayıtları, Level D tipi uçuş simülatörleri de dahil olmak üzere çeşitli simülasyon ve eğitim uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş, 60 frame-per-second (FPS) hızda yüksek güvenilirlikli 3B grafik üreten, gerçek zamanlı bir görüntü üretici kullanılarak oluşturulmuştur. Bu test için Amerika Birleşik Devletleri'nin Utah eyaleti bölgesindeki bir arazinin modellenmesiyle oluşturulmuş 6 farklı görsel veri tabanı seçilmiştir. Bu görsel veri tabanlarından 3 tanesi üzerinde üç boyutlu model bulunmamaktadır ve 10 metre, 1 metre ve 0,25 metre çözünürlüklerdeki uydu fotoğraflarından oluşturulmuşlardır. Diğer 3 görsel veri tabanı ise üç boyutlu model sayıları bakımından birbirlerinden farklılaşmışlardır. Bu görsel veri tabanlarını az, orta ve çok sayıda üç boyutlu modele sahip görsel veri tabanları olarak sınıflandırabiliriz. Bu görsel veri tabanları sırasıyla ortalama 14, 27 ve 50+ sayıda gerçek konumlarında gerçek boyutlarıyla modellenmiş üç boyutlu modellere sahiptirler. Bu 6 farklı görsel veri tabanı üzerinde yükseklikleri 100 feet ile 500 feet arasında değişen 5 farklı yükseklikte ve hızları 350 knots ile 550 knots arasında değişen 5 farklı hızda yapılan uçuşlar video olarak kaydedilmiştir. Katılımcılardan, testte yer alan videoları izlemeleri ve yükseklik ve hız ile ilgili değişimleri cevaplamaları istenmiştir.

4.1.1. Katılımcı Profili

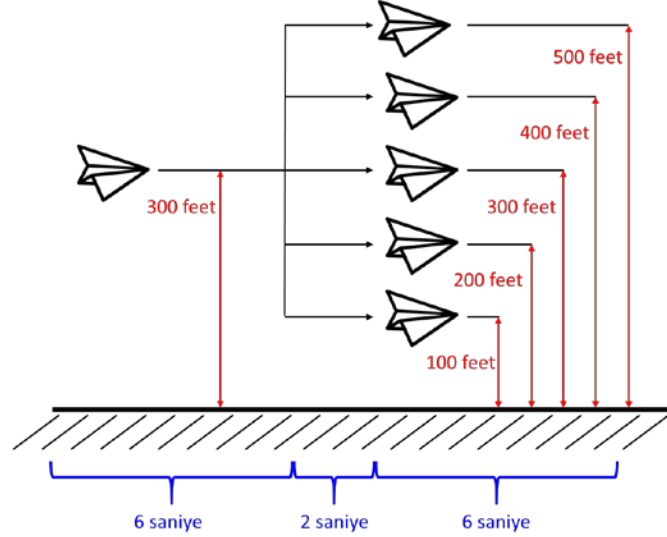
Teste 17 Nisan – 10 Haziran 2017 tarihleri arasında askeri ve sivil havacılıkta görev yapan/yapmış 33 pilot ve pilot adayı katılım sağlamıştır. Katılımcıların yaş aralıkları 23 ile 59 arasında değişmektedir. Pilotların uçuş tecrübeleri ise toplam 145 saat ile 15100 saat arasında değişmektedir.

4.1.2. Test Soruları

Test 2 ana bölümden ve 60 sorudan oluşmaktadır. Birinci bölümde pilotlardan 30 adet yükseklik algısı sorusuna, ikinci bölümde ise 30 adet hız algısı sorusuna yanıt vermeleri istenmiştir. Video sorularından önce ise pilotlardan görsel veri tabanlarına aşinalık kazanmaları için her görsel veri tabanı üzerinde farklı hız ve yüksekliklerde kaydedilmiş örnek uçuş videolarını izlemeleri istenmiştir.

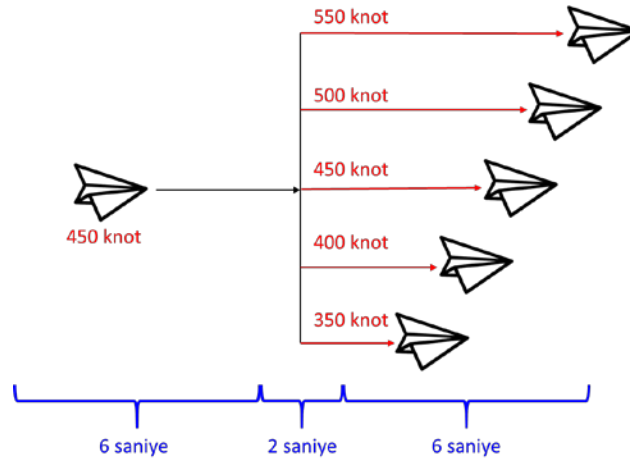
Birinci bölümde yer alan sorular ikişer adet videodan oluşmaktadır. Daha önce belirlenmiş olan 6 adet görsel veri tabanı bu sorular arasında rastgele olarak dağıtılmıştır. Pilotlara ilk olarak 6 saniye boyunca birinci video izletilmekte ardından 2 saniye ekran karartılmakta ve sonra da 6 saniye boyunca ikinci video izletilmektedir. Pilotlardan ikinci uçuş videosunun yüksekliğini ilk videodaki uçuş yüksekliği ile karşılaştırması ve “ikinci uçuş daha yüksek”, “İkinci uçuş daha alçak” ya da “İki uçuşun yüksekliği aynı” seçeneklerinden birini seçmeleri istenmiştir. Sorulardaki videolarda yer alan uçuşların uçuş hızları sabittir ve 450 knots'tır. Sorularda yer alan ilk videolardaki uçuşların uçuş yükseklikleri 300 feet'tir. İkinci videolardaki uçuşlar ise 100 feet ile 500

feet arasında rastgele olarak değişmektedir. Şekil 5'te yukarıda anlatılan akışın şekilsel görünümü verilmiştir.



Şekil 5. Birinci bölüm soru akışı

İkinci bölümde yer alan video soruları da birinci bölümdeki sorularla benzerlik göstermektedir. Pilotlardan ikinci videoda yer alan uçuşun hızını ilk videodaki uçuş hızı ile karşılaştırması ve “İkinci uçuş daha hızlı”, “İkinci uçuş daha yavaş” ya da “İki uçuşun hızı aynı” seçeneklerinden birini seçmeleri istenmiştir. Bu bölümdeki sorularda yer alan uçuşların yükseklikleri 300 feet olarak sabittir. Sorularda yer alan ilk videolardaki uçuşların hızları 450 knots’tır, ikinci videolardaki uçuşların hızları ise 350 knots ile 550 knots arasında rastgele olarak değişmektedir. Şekil 6’da burada anlatılan akışın şekilsel görünümü verilmiştir.



Şekil 6. İkinci bölüm soru akışı

4.1.3. Test Sonuçları

4.1.3.1. Pilot Özelliklerine Göre Test Sonuçları

Katılımcıların genel olarak yükseklik sorularına verdiği doğru cevap oranı hız sorularına verdikleri doğru cevap oranından fazladır. Katılımcıların özellikleri ile yükseklik ve hız sorularına verilen doğru cevaplar arasındaki ilişki Çizelge 1’de verilmiştir. Bu çizelge incelendiğinde hız sorularına verilen doğru cevaplar ile yaş arasında düşük seviyede negatif korelasyon olduğu görülmektedir. Helikopter uçuş tecrübesindeki artış, yükseklik sorularına verilen doğru cevap oranlarındaki azalış ile az seviyede, hız sorularına verilen doğru cevap oranlarındaki azalış ile ise orta seviyede bir korelasyona sahiptir. Bu sonuçları yaş ile açıklamak mümkündür. Yaş arttıkça helikopter uçuş tecrübesi artmakta fakat hız ve yükseklik algısı azalmaktadır. Helikopter uçuş tecrübesinin tersine pervaneli uçak uçuş tecrübesindeki artış hız sorularına verilen doğru cevap oranlarının artmasını, jet uçak uçuş tecrübesindeki artış ise hem yükseklik hem de hız sorularına verilen doğru cevap oranlarının artmasını sağlamaktadır.

Çizelge 1. Katılımcı özellikleri ile yükseklik ve hız sorularına verilen doğru cevaplar arasındaki korelasyon tablosu

	Yaş	Helikopter Uçuş Tecrübesi	Pervaneli Uçak Uçuş Tecrübesi	Jet Uçak Uçuş Tecrübesi	Toplam Uçuş Tecrübesi
Yükseklik	-0.125089639	-0.186798928	-0.088205502	0.282413086	0.026466109
Hız	-0.220319942	-0.355313685	0.140220615	0.239720559	-0.082225627

Yapılan testin sonuçları pilotların ana uçuş platformuna, yaşına ve toplam uçuş saatlerine göre analiz edilmiştir. Katılımcılar uçtukları ana uçuş platformuna göre “Helikopter” pilotu, “Uçak” pilotu ve “Pilot Adayı” olarak üç gruba ayrılmıştır. 18 helikopter, 9 uçak ve 6 pilot adayı bulunmaktadır. Bu gruplar üzerinde yükseklik ve hız sorularına verdikleri doğru cevap oranlarına göre t-testi uygulanmış (Çizelge 2) ve tek istatistiksel anlamlı fark olarak uçak pilotlarının hız sorularına verdiği doğru cevap oranlarının helikopter pilotlarınınkinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 2. Ana uçuş platformuna göre hız sorularına verilen doğru cevaplar üzerinde uygulanan t-testi sonucu

Hız		
t-Test: Farklı Varyanslar Varsayarak İki Örnek		
	Helikopter	Uçak
Ortalama	17,55555556	21,22222222
Varyans	21,08496732	14,69444444
Gözlem	18	9
Öngörülen Ortalama Farkı	0	
df	19	
t Stat	-2,189648681	
P(T<=t) tek-uçlu	0,020615972	
t Kritik tek-uçlu	1,729132812	
P(T<=t) iki-uçlu	0,041231943	
t Kritik iki-uçlu	2,093024054	

Yaşlarına göre gruplandırılmış olan katılımcıların yükseklik ve hız sorularına verdikleri doğru cevap oranlarına göre t-testi uygulanmıştır. Bu analizlerde genç ve sadece

pervaneli uçak tecrübesi olan 6 pilot adayı kapsam dışı bırakılmıştır. Katılımcılar yaşlarına göre 45 yaş ve üstü ve 45 yaş altı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. 45 yaş ve üstü toplam 20 katılımcı, 45 yaş altı ise toplam 7 katılımcı bulunmaktadır. Sonuçları incelediğimizde hız algısı ile ilgili sorulara verilen doğru cevaplar açısından iki grup arasında belirgin bir fark olmadığı görülmektedir.

Son olarak, katılımcılar toplam uçuş tecrübesine göre gruplandırılmıştır ve yine pilot adayları kapsam dışı bırakılmıştır. Bu gruplara t-testi uygulandığında, toplam uçuş tecrübesinin yükseklik ve hız sorularına verilen doğru cevaplar üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Toplam 5000 saat ve üzerinde uçuş tecrübesine sahip 15 katılımcı, toplam 5000 saat altı uçuş tecrübesine sahip 12 katılımcı bulunmaktadır.

4.1.3.2. Görsel Veri tabanı İle Yükseklik/Hız İlişkisine Göre Test Sonuçları

Farklı çözünürlüğe sahip ve farklı model yoğunluklarına sahip görsel veri tabanları ile yükseklik ve hızlar arasındaki ilişkiyi incelemek için doğru cevaplar üzerinde tek etkenli ANOVA testi uygulanmıştır. Bu analizlerde de pilot adayları kapsam dışı bırakılmıştır.

Görsel veri tabanlarındaki farklı yüksekliklerde yapılan uçuşları karşılaştırdığımızda tüm veri tabanlarında en yüksek doğru cevap sayısının 100 feet yükseklikteki uçuşlarda en düşük doğru cevap sayısının ise 400 feet yükseklikteki uçuşlarda olduğu görülmektedir. Farklı çözünürlüklerdeki görsel veri tabanları üzerindeki yükseklik sorularına verilen doğru cevapların analizini içeren test sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Buna göre değişik çözünürlüklerde yükseklik algı düzeyleri arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre en anlamlı farkın 100 ile 400 feet uçuşlarına verilen doğru cevaplar arasında olduğu görülmektedir. 200 ile 300 feet, 100 ile 200 feet ve 300 ile 500 feet yüksekliklerdeki uçuşlara verilen doğru cevaplar arasında ise anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir.

Farklı model yoğunluklarına sahip görsel veri tabanları üzerindeki farklı uçuş yüksekliklerine verilen doğru cevapların analizini içeren sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir. Buna göre değişik model yoğunluklarında yükseklik algı düzeyleri arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Analizin sonuçlarına göre 300 ile 500 feet yüksekliklerdeki uçuşlara verilen doğru cevaplar arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı fakat bunun dışındaki tüm uçuşlar arasında anlamlı bir farkın oluştuğu görülmektedir. En önemli fark ise farklı çözünürlüklerdeki görsel veri tabanları üzerindeki uçuşlarda olduğu gibi yine 100 ile 400 feet yüksekliklerindeki uçuşlar arasındadır.

Çizelge 3. Farklı Çözünürlüklere Sahip Görsel Veri tabanları Üzerindeki Yükseklik Cevaplarının ANOVA Analizi

Çözünürlük - Yükseklik Analizi						
Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
100 feet	3	2,6296	0,87654321	0,03338		
200 feet	3	2,2963	0,765432099	0,00732		
300 feet	3	1,8889	0,62962963	0,00137		
400 feet	3	0,8889	0,296296296	0,00137		
500 feet	3	1,6667	0,555555556	0,02606		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar Arasında	0,588	4	0,14691358	10,5691	0,00129	3,47805
Gruplar İçinde	0,139	10	0,01390032			
Toplam	0,727	14				
LSD Post Hoc Test						
100ft vs 400ft	0,58	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 400ft	0,47	NULL Hipotez reddedilir				
300ft vs 400ft	0,33	NULL Hipotez reddedilir				
100ft vs 500ft	0,32	NULL Hipotez reddedilir				
400ft vs 500ft	0,26	NULL Hipotez reddedilir				
100ft vs 300ft	0,25	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 500ft	0,21	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 300ft	0,14	NULL Hipotez reddedilmez				
100ft vs 200ft	0,11	NULL Hipotez reddedilmez				
300ft vs 500ft	0,07	NULL Hipotez reddedilmez				

Çizelge 4. Farklı Model Yoğunluklarına Sahip Görsel Veri Tabanları Üzerindeki Yükseklik Cevaplarının ANOVA Analizi

Model Yoğunluğu - Yükseklik Analizi						
Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
100 feet	3	3	1	0		
200 feet	3	2,66667	0,888888889	0		
300 feet	3	2,18519	0,728395062	0,001828989		
400 feet	3	1,55556	0,518518519	0,004115226		
500 feet	3	2,2963	0,765432099	0,0086877		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	F ölçütü
Gruplar Arasında	0,394513032	4	0,098628258	33,703125	8,87935E-06	3,478049691
Gruplar İçinde	0,029263832	10	0,002926383			
Toplam	0,423776863	14				
LSD Post Hoc Test						
100ft vs 400ft	0,48	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 400ft	0,37	NULL Hipotez reddedilir				
100ft vs 300ft	0,27	NULL Hipotez reddedilir				
400ft vs 500ft	0,25	NULL Hipotez reddedilir				
100ft vs 500ft	0,23	NULL Hipotez reddedilir				
300ft vs 400ft	0,21	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 300ft	0,16	NULL Hipotez reddedilir				
200ft vs 500ft	0,12	NULL Hipotez reddedilir				
100ft vs 200ft	0,11	NULL Hipotez reddedilir				
300ft vs 500ft	0,04	NULL Hipotez reddedilmez				

Yukarıdaki ANOVA sonuçları incelendiğinde, yükseklik sorularına verilen doğru cevap oranlarının hem çözünürlüğe göre değişen görsel veri tabanlarında hem de model

yoğunluğuna göre değişen görsel veri tabanlarında anlamlı farklar gösterdiği görülmektedir. Bu iki görsel veri tabanı kategorisinden hangisinde yükseklik değişimlerinin daha doğru algılandığını anlamak için bu görsel veri tabanları bağımlı örneklemeler t- testine göre karşılaştırılmış model yoğunluğuna göre değişen görsel veri tabanları üzerindeki yükseklik değişimlerinin çözünürlüğe göre değişen görsel veri tabanlarınınkinden daha doğru anlaşıldığı görülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Görsel veri tabanları üzerindeki yükseklik sorularına verilen doğru cevaplar üzerinde uygulanan bağımlı örneklemeler t- testi sonucu

t-Test: Ortalamalar İçin iki Örnek		
	Çözünürlük	Model Yoğunluğu
Ortalama	62,468	78,024
Varyans	489,61277	328,79223
Gözlem	5	5
Pearson Korelasyonu	0,98044227	
Öngörülen Ortalama Fark	0	
df	4	
t Stat	-6,18289338	
P(T<=t) tek-uçlu	0,00173849	
t Kritik tek-uçlu	2,13184679	
P(T<=t) iki-uçlu	0,00347699	
t Kritik iki-uçlu	2,77644511	

Çözünürlüğe veya model yoğunluğuna göre farklılaşan görsel veri tabanları üzerinde yapılan farklı hızlardaki uçuşları karşılaştırdığımızda tüm veri tabanlarında en yüksek doğru cevap sayısının 550 knots hızlardaki uçuşlarda en düşük doğru cevap sayısının ise 400 knots hızlardaki uçuşlarda olduğu görülmektedir. Çizelge 6, farklı çözünürlüklerdeki görsel veri tabanları üzerindeki hız sorularına verilen doğru cevapların analizini içeren test sonuçlarını göstermektedir. Buna göre değişik çözünürlüklerde hız algı düzeyleri arasında belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu sonuçlara göre en anlamlı fark 400 ile 550 knots hızlardaki uçuşlara verilen doğru cevaplar arasında oluşmuştur. 450 ile 500 knots, 350 ile 450 knots ve 350 ile 500 knots hızlarındaki uçuşlara verilen doğru cevaplar arasında anlamlı bir farkın oluşmadığı görülmektedir.

Farklı model yoğunluklarına sahip görsel veri tabanları üzerindeki farklı uçuş hızlarına verilen doğru cevapların ANOVA analizine göre değişik model yoğunluklarında hız algı düzeyleri arasında belirgin farklılıklar olmadığı görülmektedir.

Çizelge 6. Farklı Çözünürlüklere Sahip Görsel Veri Tabanları Üzerindeki Hız Cevaplarının ANOVA Analizi

Çözünürlük - Hız Analizi						
Anova: Tek Etken						
ÖZET						
Gruplar	Say	Toplam	Ortalama	Varyans		
350 knot	3	1,85185	0,617283951	0,0086877		
400 knot	3	1,11111	0,37037037	0,028806584		
450 knot	3	1,77778	0,592592593	0,021947874		
500 knot	3	1,92593	0,641975309	0,012802926		
550 knot	3	2,44444	0,814814815	0,001371742		
ANOVA						
Varyans Kaynağı	SS	df	MS	F	P-değeri	Fölçütü
Gruplar Arasında	0,302149063	4	0,075537266	5,130434783	0,016467273	3,478049691
Gruplar İçinde	0,147233653	10	0,014723365			
Toplam	0,449382716	14				
LSD Post Hoc Test						
400kt vs 550kt	0,44	NULL Hipotez reddedilir				
400kt vs 500kt	0,27	NULL Hipotez reddedilir				
350kt vs 400kt	0,25	NULL Hipotez reddedilir				
400kt vs 450kt	0,22	NULL Hipotez reddedilir				
450kt vs 550kt	0,22	NULL Hipotez reddedilir				
350kt vs 550kt	0,20	NULL Hipotez reddedilir				
500kt vs 550kt	0,17	NULL Hipotez reddedilir				
450kt vs 500kt	0,05	NULL Hipotez reddedilmez				
350kt vs 450kt	0,02	NULL Hipotez reddedilmez				
350kt vs 500kt	0,02	NULL Hipotez reddedilmez				

5. SONUÇ

Uçuş simülatörlerindeki en büyük kısıtlardan biri dış dünya görsel sahnesinin detay seviyesinin belirlenmesidir. Uçuş simülatörlerinde verilen eğitimin gerçek uçuşa yaklaşması ve pilotlara verilecek negatif eğitimlerden kaçınılması için bu detay seviyesinin doğru belirlenebilmesi çok önemlidir. Bu nedenle teknolojinin gelişimi ile birlikte dış dünyanın betimlendiği görsel veri tabanlarını oluşturmak için farklı yaklaşımlar ve yeni yöntemler denenmeye devam edilmektedir. Bu çalışmada uçuş simülatörlerindeki dış dünya görsel sahnesinin oluşturulmasında arazi örtüsü olarak kullanılan farklı seviyelerdeki uydu fotoğrafı çözünürlükleri ile görsel modellerin oluşturulmasında kullanılan gerçek görünümlü üç boyutlu nesnelerinin yoğunluk oranlarının farklı uçuş tecrübelerine sahip pilotlar üzerindeki yükseklik ve hız algılarına etkileri incelenmiştir.

Uçak platformunda uçan pilotların hızları algılama oranları Helikopter platformunda uçan pilotlara göre daha yüksektir. Ayrıca yaşın artması ile birlikte yükseklik algılama oranlarında düşüş ortaya çıkmaktadır. 5000 saat veya daha fazla uçuş tecrübesine sahip pilotların algıları ile 5000 saatten az uçuş tecrübesine sahip pilotların algıları arasında anlamlı bir fark görülmemektedir. Bu durum algının belli bir uçuş tecrübesinden sonra çok değişmediğini göstermektedir.

Yükseklik değişimlerinin algılanması hem çözünürlüğe göre değişen görsel veri tabanları üzerinde hem de model yoğunluğuna göre değişen görsel veri tabanları üzerinde anlamlı farklılıklar göstermektedir. Alçalmanın algılanması yükselmenin algılanmasına göre daha doğru sonuçlar vermektedir. En önemli fark 100 feet ile 400 feet arasında görülmektedir. Farklı uçuş yüksekliklerine verilen doğru cevap oranları arasındaki anlamlı farklar açısından bakıldığında model yoğunluğunun çözünürlüğe göre daha etkili olduğu görülmektedir.

Farklı uçuş hızlarına verilen doğru cevap oranları arasındaki anlamlı farklar açısından bakıldığında, çözünürlüğün hız farkları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşturduğu fakat model yoğunluğunun ise bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Çözünürlüğe göre değişen görsel veri tabanları üzerinde hızlanma yavaşlamaya göre daha doğru algılanmaktadır ve en önemli fark 400 knots ile 550 knots arasında görülmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Gray, R. (2007), 2D vs. 3D Visual Cues for Altitude Maintenance in Low-Altitude Flight, *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 51, No. 19, pp. 1287-1290). Sage Publications.
- [2] Kleiss, J. A., Curry, D. G. ve Hubbard, D. C. (1988). Effect of three-dimensional object type and density in simulated low-level flight. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 32, No. 18, pp. 1299-1303). SAGE Publications.
- [3] Kleiss, J. A. ve Hubbard, D. C. (1993). Effects of three types of flight simulator visual scene detail on detection of altitude change. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 35(4), 653-671
- [4] 162nd Tactical Fighter Group. (1986). Academic text: Low-altitude training. Tucson, AZ: Author.
- [5] AOPA Air Safety Institute (2016). General Aviation Accidents In 2013. 25th Joseph T.Nall Report.
- [6] Burnside, J. (Kasım 2016), “Low-Level Flying” Aviation Safety Magazine, http://www.aviationsafetymagazine.com/issues/36_11/features/Low-Level-Flying_11259-1.html.
- [7] Gray, R., Geri, G. A., Akhtar, S. C. ve Covas, C. M. (2008). The role of visual occlusion in altitude maintenance during simulated flight. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 34(2), 475.
- [8] Maran, N. J. ve Glavin, R. (2003). Low-to high-fidelity simulation—a continuum of medical education?. *Medical education*, 37(s1), 22-28.
- [9] Karaahmetoğlu, C., Yılmaz, E., Cetin, Y. Y., & Köksal, G. (Mayıs 2006). Out-the-window scene properties in pc-based helicopter simulators. In *Defense and Security Symposium* (pp. 622600-622600). International Society for Optics and Photonics.
- [10] Çetin, Y., Yılmaz, E., & Çetin, Y. Y. (2012). Evaluation of visual cues of three-dimensional virtual environments for helicopter simulators. *The Journal of Defense Modeling and Simulation*, 9(4), 347-360.

SİMÜLASYON TABANLI PAZARLAMA

B.Kağan Aktürk ^(a), Mustafa Dinç ^(b)

^(a) Yalova Üniversitesi, kagan.akturk@yahoo.com

^(b) ODTÜ, mdinc1972@gmail.com

ÖZ

Bu çalışmada, müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerinin karşılanmasında pazarlamaya yönelik simülasyon yazılımları kullanılarak, müşteri tatmininin sağlanması, bu tatmine göre oluşan müşteri sadakatine bağlı olarak ürün satış ve kullanımında artış ile birlikte işletme performansı artırılabilir mi sorusuna cevap aranmaktadır. Ayrıca bu çalışma ile, Simülasyon Tabanlı Pazarlama (STP) yaklaşımının kavramsal altyapısı ortaya konularak, bu kavramlar arasındaki ilişkileri gösteren *ilişki yol modeli* oluşturulmuştur.

Yapılan literatür araştırmasında, simülasyon sistemlerinin pazarlama faaliyetlerinde kullanılması konusu daha önce yaygın olarak çalışılmadığı tespit edilmiştir. Her ne kadar Gupta ve diğerleri (2010) pazarlama faaliyetlerini bir simülasyon modeline oturtmaya çalışmışlarsa da bu makalede önerilen yaklaşıma uygun literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon Tabanlı Pazarlama, Simülasyon, Bilgi Yönetimi.

SIMULATION BASED MARKETING

ABSTRACT

In this study, we seek an answer the question whether business performance can be increased by using simulation software in marketing to meet customer needs and expectations depending on customer loyalty and an increase in product sales and usage. Additionally, the conceptual basis of Simulation Based Marketing (SBM) approach was established by creating a *relationship path model*, which shows the relationship between SBM based terms.

In the literature review, it has been determined that the use of simulation systems in marketing activities has not been studied extensively before. Although Gupta et al. (2010) attempted to model marketing activities in a simulation, we cannot find a study in the literature similar to this approach proposed in this study.

Keywords: Simulation Based Marketing, Simulation, Knowledge Management.

1. GİRİŞ

Müşterinin pazarlama faaliyetlerinin tam ortasına yerleştirildiği günümüzde, müşterilerin ihtiyaçları eksiksiz olarak karşılanırken müşteriye beklentilerinin üzerinde tüketim tecrübesi yaşatarak, söz konusu markaya ilişkin sadakatini kazanmak ve ürün işlem hacmini arttırmak pazarlamada faaliyetlerin temel hedefidir. Bu çalışmada, müşterilerin ihtiyaç ve beklentilerinin oluşmasında simülasyon sistemleri kullanılarak müşteri tatmini sağlanması, müşteri sadakatine ve ürün satış ve kullanım artışına bağlı olarak işletme performansı artırılabilir mi sorusuna cevap aranmaktadır. Yapılan literatür taramasında, her ne kadar Gupta ve diğerleri (2010) pazarlama faaliyetlerini bir simülasyon modeline oturtmaya çalışmışlarsa da simülasyon sistemlerinin pazarlama faaliyetlerinde kullanılması konusu daha önce yaygın olarak çalışılmamıştır.

Günümüzde, geliştirilen çok sayıda simülasyon sayesinde toplantı odalarındaki yoğun münakaşaların yerini, artık hayal gücümüzle sınırlı çılgın fikirlerimizi test edebileceğimiz sanal simülasyon ortamları almıştır. Eğer ortaya koyduğumuz yeni fikrimiz işe yaramaz ise, burada kaybettiğimiz sadece zaman ve geliştirdiğimiz yazılımdan ibarettir.

Bu çalışma ile Simülasyon Tabanlı Pazarlama (STP) yaklaşımının işletme performansına etkisinin kavramsal altyapısı ortaya konulmaya çalışılacaktır. Ancak bu kavramsal çözümleme yapılırken, simülasyon kullanımına bağlı olarak müşteride iki önemli psikolojik olgu ön plana çıkmaktadır. Bunlar; müşterinin alışveriş yaparken duyduğu tecrübe ile yine müşterinin beklentilerini doğru tanımlamasıdır. Bu iki kavramın da müşteri tatminini olumlu yönde etkileyeceği dolayısıyla işletmelerin özellikle kâr olarak ölçülebilen performanslarını artıracakları öngörülmektedir. Ayrıca bu kavramlar arasındaki mantıksal ilişki ise *yol analiz modeli* ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Son yıllarda üretim sistemlerinde artan teknolojik olanaklar ve küresel anlamdaki rekabet, pazarlamanın ucuz ürün tabanlı kitle üretiminden müşteri odaklı yaklaşımlara geçmesine sebep olmuştur (Andajani, 2015). Bu nedenle hedef müşteriye ulaşmak ve önceliklerini anlamak, işletmelerin temel ilgi alanı ve hedefi olmuştur (Nazia, 2012). Klasik müşteri davranışları yaklaşımı, satın alma davranışını mantıksal karar verme süreci olarak görmektedir (Andajani, 2015). Hâlbuki Holbrook ve Hirshman (1982) keyif, güzellik, yaratıcılık, sembolik anlamlar gibi bazı kavramların müşteri davranışlarını yönlendirdiğini, bu nedenle satın alma faaliyetinde üzerinde durulması gereken temel olgunun mal ya da hizmet tüketimini motive eden müşteri tecrübesi olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu noktada, Clinton ve Wellington'un (2013) farklı müşteri tatmini ve tatminsizliği üzerinde yaptıkları araştırmada tüm modellerin özünde,

müşterilerin önceki tecrübelerine ilişkin değerlendirmelerinden elde ettikleri öğrenmenin yattığını belirtmektedir. Aigbavboa ve Thawala (2013) ise müşteri tatminini bir öğrenme süreci olarak tanımlamaktadır. Söz konusu çalışmada, her satın almadan müşterinin elde ettiği kazanımların şirkete ve mala karşı olumlu tatminini arttırdığı, buna karşılık her olumsuz tecrübeye ise müşteri tatminin olumsuz yönde etkilendiği belirtilmektedir. Bu yaklaşım önceki bakış açılarını statik bir konuma iterken, müşteri tatmini kavramını dinamik bir statüye dönüştürmektedir.

Diğer yandan, Wortman ve Richardson, (2012, IV-9) sürdürülebilir tatminin müşteri sadakatini temeli olduğunu belirtmektedir. Kriss (2014) ise yaptığı çalışmada, müşterilerin bir ürüne ilişkin olumlu tüketim tecrübelerinin aynı markaya ilişkin gelecekteki kazanç fırsatlarını birebir etkilediğini ortaya koymuştur. Hatta bu konuda ölçülebilir kıstaslar ortaya koyarak bir ürün için geçmişte olumlu tecrübeleri olan müşterilerin gelecekte de kötü tecrübeleri olan müşterilere nazaran aynı ürün için %40 daha fazla harcama yaptığını, müşteri olarak devam etme olasılıklarının ise %70 civarında daha fazla olduğunu belirtmektedir. Gures, Aslan ve Tun (2014) ise yaptıkları çalışmada müşteri tatmininin müşteri sadakatini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Serenko, Stach (2009) bu bulguları desteklerken, bunlara ilave olarak olumlu tecrübe yaşayan müşterilerin, işletmelerin farklı ürünlerinde de tüketmeye devam ettikleri hatta ilişkide oldukları kişiler aracılığı ile de tecrübelerini paylaşarak, müşteri portföyünü arttırdıklarını tespit etmişlerdir.

Burada müşteri tatmini, müşteri beklentilerinin ne kadar karşılandığı noktasına odaklanmaktadır. Ancak müşteri beklentileri genellikle gerçek fiziksel ihtiyaçların yanında çoğu zaman sosyolojik ve psikolojik etkenlere de bağlı olarak tanımlanmaktadır. Zeithaml, Berry ve Parasuraman (1993) ortaya koydukları kavramsal modelde istenen hizmet seviyesi ile mevcut hizmet seviyesi arasında bir tolerans alanı bulunduğunu ancak elde edilen hizmetin seviyesi ile aralarında tatmin edilmeyen bir boşluğun olduğunu ifade etmektedir. Wortman ve Richardson (2012, IV-23) ise müşteri beklentilerinin temel, beklenen, istenilen ve sürpriz değer olarak sınıflandırılabilirliğini belirtmektedir. Burada ki temel nokta müşteri gerçek ihtiyaçları, geçmiş tecrübeleri, hizmet taahhütleri, uzman görüşleri ve beklentiler ile şekillenen istenilen hizmetin seviyesinin hizmet alternatifleri, müşteriye düşen roller ve genel durumlar nedeni ile uygun bir hizmet seviyesine kadar düşebilmesidir.

Hâlbuki Fürstner ve Zoran (2010) müşterilerin tam bir uzman gibi bir ürün ya da hizmetin biçimlendirilmesinde halen yeterli bilgi ve deneyime sahip olmadıklarını, çoğu zaman tanımlama aşamasında oluşan başarısızlıkların bir şekilde çözülmesi gerektiğini belirtmektedir. Spears (2016) ise bu yargıyı destekler şekilde iyi bir müşteri tecrübesi için en önemli unsurun müşteri asistansı olduğunu ifade etmektedir. Diğer yandan yeni teknolojik iletişim kanalları, müşteri ihtiyaçlarını her gün yeniden biçimlendirdiği gibi elde edilen hizmet konusunda müşterileri sadece sorgulayan değil, aynı zamanda ihtiyaçlarını biçimlendiren unsurlar haline getirmiştir (Duncan, 2001).

Diğer taraftan Walsh ve Ungson, (1991) bilginin kâğıt, tablet gibi gerçek ortamlar ya da sayısal ortamlara ek olarak işletme içinde, işletme kültürü, işletme süreçleri, organizasyonu ve eko-sistemi olmak üzere dört farklı ortamda daha depolanabileceğini

ifade etmektedir. Bu noktada Walsh ve Ungson'un önermesine benzer olarak pazarlamaya sunulan her ürün aslında işletmelerin tüm üretim yeteneklerini kapsayan örtük ya da açık bilgilerin somutlaşmış şeklidir. Bu bağlamda simülasyon uygulamaları işletmelerin ürün geliştirme süreçlerini, ürünün çevre ile ilişkisini (örneğin bir hava ya da kara aracı geliştirme süreci, ürünün oşinografik, meteorolojik etkileşimleri de göz önüne almak zorundadır) içeren tüm bilgileri ihtiva etmektedir. Burada simülasyon terimi tanım olarak, gerçek dünyaya ait bir sistem, süreç ya da olayın taklit edilerek, kendisini temsil eden matematiksel, fiziksel veya mantıksal bir modele uygun olarak zamana bağlı modellenmesi şeklinde tanımlanmaktadır (Banks, Carson ve arkadaşları, 2001).

Günümüzde simülasyonlar savunmadan sağlık hizmetlerine, eğitimden eğlence sektörüne kadar hemen hemen her alanda geniş uygulama alanı bulmuştur. Simülasyonların genel olarak ana kullanım alanları; eğitim ve öğretim, ARGE ve mühendislik çalışmaları, test, analiz ve karar destek ile eğlence (animasyonlar, oyunlar, vb.) olarak sıralanabilir. Son yıllarda bilgisayar teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler, simülasyon teknolojilerinin de aynı hızla gelişmesini sağlamış ve gerçek hayatta gerçekleştirilmesi son derece zor veya riskli, pahalı, ya da uzun süre gerektiren bir çok sistem, süreç ve olayın sanal ortamda geliştirilmesini mümkün kılmıştır (Dinç ve Öztürk, 2015).

Burada özellikle soğuk savaş sonrası daralan savunma bütçelerine rağmen birlikte çalışabilirlik esaslarına bağlı, çok parametrelili, artan karmaşık teknolojik yapıdaki silah sistemleri ihtiyacı nedeniyle silahlı kuvvetlerin uzun zamandır simülasyon tabanlı tedarik prosedürlerini kullandıkları bilinmektedir. Hatta Keane ve arkadaşları (2000), Amerikan Savunma Bakanlığının endüstri ile beraber sağlam tedarik işlemleri ve prosedürlerinin simülasyon tabanlı gerçekleştirilmesine ilişkin ortaya koyduğu vizyonundan sonra yeni askerî sistemlerin tedarikinde %50 zaman tasarrufu sağlanırken, toplam sahip olma maliyetlerinde de önemli ölçüde tasarruf sağlandığı ifade edilmektedir. Çünkü simülasyon tabanlı tedarik yaklaşımı ile firmalara sanal ortamda modellenen sistemler üzerinde yüzlerce farklı alternatif ile sınırsız deneme ve test yapma imkânı sağlanırken, müşterinin istediği ve ihtiyacı olan optimum çözüme çok kısa zamanda ve maliyet-etkin olarak ulaşılabilmektedir (Dinç ve Öztürk, 2015).

Ancak simülasyon tabanlı tedarik olarak tanımlanan bu kavram genellikle Savunma Bakanlığı gibi büyük devlet kurumlarının yürüttüğü ve uzun vadeli süreçler gerektiren karmaşık, pahalı ve büyük proje alımlarında kullanılmaktadır. Burada simülasyon altyapısı da temel olarak bu projelerin ayrıntılarındaki boşluklar ile belirsizliklerinin net olarak ortaya konulabilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Çünkü tedarik sürecindeki belirsizlikler tedarikçiler tarafından bir risk olarak algılanmakta, bu nedenle alımlarda üretici firmalar tarafından eder fiyatının çok üzerinde bedeller talep edilmektedir. Ayrıca ortaya çıkan prototip ürün genellikle alıcının hayalini kurduğu yeteneklerden uzak ve ihtiyacını da karşılamamaktadır. Bu nedenle, geçmişte bu sorun ARGE'ye dayalı prototip geliştirme uygulamaları ile çözülmeye çalışılmıştır. Ancak söz konusu yöntem de sonucunun belirsizliği, uzun zamana yayılması ve tedarik problemleri nedenleri ile sorunu tam olarak çözmemiştir.

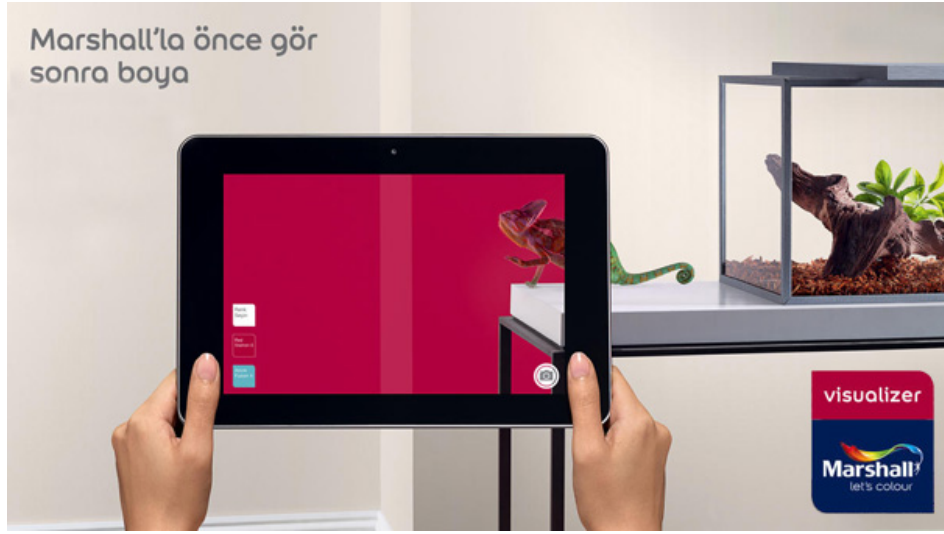
Diğer yandan son yıllarda bilgisayar teknolojilerinin işlem hızı ve kapasitesindeki baş döndürücü gelişmeler, doğrudan Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) teknolojilerine de yansımış ve karar verme ve analiz süreçlerinin kısalmasını, karmaşık sistemlerin daha hassas bir biçimde modellenmesini ve diğer sistem modellemeleri ile etkileşimlerini kolaylaştırmıştır. Bu ise, MODSİM teknolojilerinin tedarik süreçlerinde daha yoğun olarak kullanılmasına zemin hazırlamıştır (Dinç ve Öztürk, 2015). Böylece kullanıcılar, ihtiyaç makamı, tedarik makamı, tasarımcılar, mühendisler, bakımcılar, test, maliyet ve kalite uzmanlarını içeren proje yönetim gruplarının ihtiyaç ve sistem analizi, tasarım ve geliştirme safhalarında etkileşimi artmakta ve gelecekte karşılaşılması muhtemel problemleri asgariye indirilerek, kaynaklar daha maliyet-etkin kullanılabilmektedir.

Her ne kadar tüm bu simülasyon uygulamaları genellikle müşterilerin satın alma süreçlerine ilişkin değerleri ve nitelikleri belirlemek adına yaptıkları hazırlık faaliyetleri olsa da müşterinin yaşadığı olumlu tecrübeleri arttırdığı bilinmektedir. Diğer yandan bu simülasyon uygulamaları son dönemlerde birçok şirketin mallarının tutundurulması, marka değerinin arttırılması ve şirket imajlarının geliştirilmesi adına niteliksel performanslarını arttırmak amacı ile kullanıldıkları bilinmektedir.

STP'ye yönelik sivil uygulamalar incelendiğinde daha çok başlangıç seviyesinde, düşük maliyetli bazı simülasyon uygulamaları göze çarpmaktadır. Bunlar arasında, inşaat firmaları tarafından kullanılan ev maketleri, yine ev satışlarında kullanılan sanal gerçeklik uygulamaları, ürün (web) tabanlı etkileşimli (interaktif) grafik modeller (Peugeot'nun tanıtım amaçlı araba modeli), kuaförler tarafından kullanılan makyaj simülasyonları ve estetik operasyonları öncesi kullanılan simülasyonlar örnek olarak verilebilir.

3. STP İÇİN ÖRNEK BİR UYGULAMA

Bu konuda Dünya'nın sayılı büyük boya, kaplama malzemesi ve özel kimyasal maddeler üreticisi olan Hollanda merkezli AkzoNobel bünyesinde yer alan Marshall Boya ve Vernik Sanayii A.Ş. tamamen tüketici algılarını simülasyon teknolojileri kullanılarak analiz ederek, tüketici ihtiyaçlarına uygun geliştirilen ve 29 farklı ülkede halen kullanılan "Visualizer" isimli bir uygulamayı 2014 yılında bir basın toplantısı ile müşterilerine tanıtmıştır. Söz konusu uygulama, aynı yıl içinde İnternet üzerinden 34.000 kez indirilme rakamına ulaşmıştır. Şirketin hedef kitlesini oluşturan müşterilerine reklam filmleri ile "GÖR&BOYA" adı ile tekrar tanıtımı yapılan söz konusu simülasyon uygulamasının Eylül 2016 tarihinden itibaren 2.200.000 defa indirildiği, haftalarca en popüler uygulamalar arasında ilk beş arasında, Apps Store popüler aramalar listesinde o dönemde ilk onda yer aldığı öğrenilmiştir.



Şekil 1. Marshall Boya'nın Visualizer Simülasyon Uygulaması

İşletmenin yapmış olduğu müşteri araştırmasının sonuçları hakkında detaylı bilgiler veren uygulamanın tanıtım broşürleri incelendiğinde, şirketin uygulamayı geliştirme aşamasında müşteri hedef kitlesinin %90'ının daha renkli bir hayatı tercih ettiklerini tespit etmişlerdir. Ancak özellikle bu hedef kitlenin ev dekorasyonuna ilgi duymalarına rağmen, boya uygulaması sonrasında eşyalar ile uyum ve evdeki ışığa bağlı olarak kesin tatmin sağlayacaklarına emin olmamaları nedeni ile duvarlarında daha özgür renk kullanmayı tercih etmedikleri sonucuna varıldığı anlaşılmaktadır.

Bu bulguya dayalı olarak geliştirilen simülasyon uygulamasında müşterilerin resmini çektiği odadaki tüm nesneler algılanmakta ve duvar ve geri kalan bölgeler resimlerdeki eşyalara ve ışıklara uygun olarak boyanmaktadır. Ayrıca müşteri tatminini sağlayabilmek adına şirketin, kendi faaliyet alanında sahip olduğu renk ve estetik kavramlarına ilişkin (hangi rengin hangi ışıkta nasıl reaksiyon vereceği gibi) entelektüel bilgisini, simülasyon içindeki ürünlerin üretim ağacı uygulaması ile müşteri ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik olarak paylaşmayı hedeflediği görülmektedir.

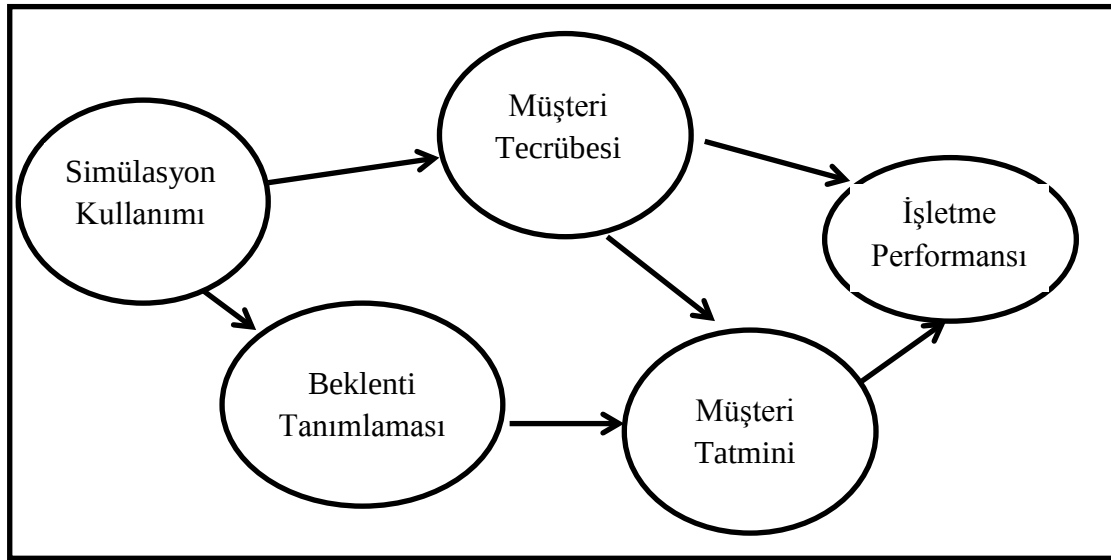
Böylece müşteri seçilen rengin farklı tonları ile evin konumuna ve ışığın yansımasına bağlı olarak, farklı zamanlarda mobilyaların duvar renkleri ile uyumunu test edebilmektedir. Ayrıca bu simülasyon uygulaması müşterinin seçtiği renge uygun olarak kombinasyon sunabilmektedir. Simülasyondaki diğer bir özellik ise bir fotoğrafta yer alan bir renge en yakın şirket ürününün önerilmesine ilişkin destektir. Son olarak, en yakın dağıtım bayisinin konumunu gösteren harita uygulaması ile zenginleştirilen uygulama akıllı telefon ve tablet üzerinden de kullanılabilir.

Şirket yetkilileri ile yapılan görüşmede projenin bir promosyon faaliyeti gibi algılanmadığı, bu simülasyon uygulamasının müşteri memnuniyetine ve şirketin pazar payına dolayısıyla şirket performansına etkisinin analiz edilmediği ifade edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada uygulamanın objektif sonuçlarına ilişkin veriler elde edilememiştir.

4. ÖNERİLEN STP MODELİ

Literatüre dayalı kavramsal çalışma ve örnek uygulama incelemesi sonrasında önerilen “İlişki Yol Modeli”nde, simülasyon uygulamalarının kullanımının müşterinin istenen hizmet ve uygun hizmet beklentileri arasındaki farkın azalması, dolayısıyla müşteri tatmini ve göreceli olarak marka bağlılığı ve ürün tüketiminin yaygınlaşmasına bağlı olarak işletme performansını artıracakları öngörülmektedir.

Yine yukarıda açıklanan literatür taramasında da görüldüğü gibi müşterilerin satın alma aktivitelerindeki tecrübeleri ve tatminleri yeniden satın alma aktivitesini tetikleyen en önemli faktörlerden biridir. Ancak özellikle yüksek beklentiler müşterilerde hayal kırıklıkları yaratırken tatmini düşürmekte, marka bağlılığı ile işletme performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu noktada örnek uygulama da görüldüğü üzere kolay kullanımlı simülasyon uygulamaları müşterilere alacakları ürün hakkında gerçekçi bilgiler verirken, eşsiz bir satın alma tecrübesi yaşatmaktadır. Bu hususa ilişkin önerilen nihai “İlişki Yol Modeli” Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. İlişki Yol Modeli

Önerilen bu modelde simülasyon uygulamalarının kullanımının müşterinin istenen hizmet ve uygun hizmet beklentileri arasındaki farkın azalması, dolayısıyla müşteri tatmini ve göreceli olarak marka bağlılığı ve ürün tüketimi yaygınlaşmasına bağlı işletme performansının artırılacağı öngörülmektedir. Ayrıca bu kavramsal modelde ortaya çıkan bir diğer sonuç ise örnek olayda olduğu gibi müşterinin simülasyon kullanımı ile özellikle satış öncesi olumlu satın alma tecrübesini arttırarak, müşteri tatmini ve işletme performansında artışın sağlanmasıdır.

5. SONUÇ

Ticari faaliyetlerde müşteri ihtiyaçlarının ana belirleyici olduğu günümüzde, müşteri tatminini en üst seviyeye çıkartarak, işletmenin gerek niceliksel gerekse niteliksel performansının sağlanması ana gayedir. Ancak söz konusu amaca ulaşılabilmesi

işletmenin sahip olduğu tüm bilgi birikimi ile müşterilere beklentilerinin üzerinde bir satın alma tecrübesi yaşatılması ile mümkündür. Hâlbuki çoğu zaman müşteriler almak istedikleri ürünlere ilişkin net bir ihtiyaç tanımlamasına sahip değildirler. Müşterilerin kafalarındaki ihtiyaç tanımlaması ise çoğunlukla çevreden edindikleri bazı bilgiler ve olurluğu maliyet ya da teknolojik olarak imkânsız arzulardan oluşur. Bu ise satın alma faaliyeti sonrasında ister istemez müşteriye tatminsizliğe itecektir.

Hâlbuki bir ürün/hizmet işletmenin sahip olduğu tüm örtük ya da kapalı bilgilerinin yetenek olarak somutlaşmış halidir. İşletmeler müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilecekleri yeteneklere sahip olmasalar doğal olarak misyonlarını yerine getiremezler. Bu nedenle bu çalışmada işletmelerin mevcut bilgilerini kullanarak müşterilerine daha iyi bir satın alma tecrübesi ve beklentiye dayalı müşteri tatmini nasıl oluşturabilecekleri sorusuna cevap aranmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda, işletmelerin pazarlama faaliyetlerinde müşteri ihtiyaçlarını iyi analiz etmeleri gerektiği ve satın alma işlemi sonrasında müşterilerine beklentilerinin ötesinde tecrübeler yaşatabilmeleri gerektiği sonucuna varılmıştır. Beklenti ve ihtiyaç tanımlamalarına bağlı olarak müşterinin geçmiş tecrübelerden kaynaklanan negatif algısını ya da diğer bir ifade ile tatminsizliğini azaltarak, marka ve ürün memnuniyetini maksimize edilmesi gerektiği görülmüştür.

Diğer yandan literatürdeki bilgiler çözümlendiğinde özellikle bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile beraber ivme kazanan simülasyon uygulamalarında işletmelerin ürüne, ürün geliştirilmesi sürecine ve ürünün çevresel faktörler ile ilişkisine yönelik bilgilerin bir bütün olarak depo edilebileceği ve bu bilgilerin pazarlama faaliyetlerinde müşteri ihtiyaçlarının tatmini aşamasında kullanılabileceği görülmüştür.

Bu kavramsal önerme incelenen bir örnek olay ile de doğrulanmıştır. Söz konusu örnek olayda işletmenin renk, ışık gibi unsurlara ilişkin bilgi birikimini bir simülasyon yardımı ile kullanıcıya aktardığı, hatta ürün katalog bilgisi ile bilgiyi yeteneğe çevirerek müşteri tatminini maksimuma çıkarmaya çalıştığı görülmüştür. Ayrıca kullanıcıya eşsiz bir alışveriş tecrübesi yaşatarak, süreç içinde gene müşteri tatminine katkı sağladığı belirlenmiştir.

Böylece literatür taraması ve örnek uygulama incelemesi sonrasında işletmelerin pazarlamada simülasyon uygulamaları kullanılarak müşteri ihtiyaçlarını daha iyi analiz edebildikleri, satın alma işlemi sonrasında müşteri beklentilerinin ötesinde tecrübeler yaşattıkları sonucuna varılmıştır. Simülasyon uygulamalarının beklenti ve ihtiyaç tanımlamalarına bağlı olarak müşterinin geçmiş tecrübelerden kaynaklanan negatif algısını ya da diğer bir ifade ile tatminsizliğini azaltarak, marka ve ürün memnuniyetini maksimize ettiği değerlendirilmiştir. Söz konusu önermeye ilişkin bir model geliştirilerek bundan sonra bu konuda çalışacak akademisyenlerin dikkatine sunulmuştur. Ayrıca bu çalışma ile geliştirilen Simülasyon Tabanlı Pazarlama (STP) kavramının önümüzdeki dönemde işletme yazınına kazandırılması hedeflenmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Andajani, E., (2015). "Understanding Customer Experience Management in Retailing", 2nd Global Conference on Business and Social Science , 17-18 September, Bali-Indonesia, Elseviere Procedia – Social and behavior Science, 211, (2015) 628-633.
- [2] Aigbavboa, C., Thawala, W., (2013). A Theoretical Framework User's Satisfaction/ Dissatisfaction Theories and Models.
- [3] Banks, J., Carson, J., Nelson, B.; Nicol, D., (2001). Discrete-Event System Simulation, *Prentice Hall*. p.3. ISBN 0-13-088702-1.
- [4] Clinton, D., Wellington T., (2013). "A Theoretical Framework of Use's Satisfaction/Dissatisfaction Theories and Models", 2nd International Conference on Arts, Behavioral Sciences and Economic Issues, Dec.17-18, 2013, Pattaya, Thailand, pp.48-53.
- [5] Dinç, M., Öztürk, D., (2015). "Savunma Planlama Ve Askerî Projelerin Tedarik Süreçlerinde Modelleme Ve Simülasyonun Kullanımına Yönelik Değerlendirmeler (Simülasyon Tabanlı Tedarik) ", USMOS 2015 ODTÜ, Ankara.
- [6] Duncan, J., (2001). "Horizon Issue: Rising Customer Expectations", The State Education Department, The University of The State of New York.
- [7] Fürstner, I., Zoran, A., (2010). "Methodology Concept of Customer Profile Definition", *International Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol 1, No:3.pp.121-128.
- [8] Gupta, A., Singh, K., Verma, R., (2010). "Simulation: An affecting Marketing Tool", *International Journal of Computer Application*, Vol.4, Num.11, pp.8-12.
- [9] Gures, N., Aslan, S., Tun, S.Y., (2014). "Customer Expectation, Satisfaction and Loyalty in Turkish Airline Industry", *International Journal of Marketing Studies*, Vol.6. No:1.pp.66-74.
- [10] Holbrook, M.B. ve HIRSCH E.C., (1982). "The Experiential Aspects of Consumption: Customer Fantasy, Feeling and Fun", *Journal of Customer Research*, 9 (2) pp.132-140.
- [11] Kriss, P., (2014). "The Value of Customer Experience, Quantified", *Harvard Business Review*, AUGUST 01.
- [12] Keane, J.F., Lutz, R.R., Meyers, S.E., Coolahan, J.E., (2000). An architecture For Simulation Based Acquisition, Johns Hopkins Apl Technical Digest Vol.21, No:2, pp.348-358.
- [13] Mevlütoğlu, A., (2010). "Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Tedarik Süreç Yönetiminde Kullanılması ve Simülasyon tabanlı Tedarik Yöntemi", *Savunma Sanayii Gündemi*, sf.21-25.
- [14] Nazia, N., (2012). "Customer Expectations of Service Quality: A Study on Private Banks of Bangladesh", *World Review of Business Research*, Vol.2 No:4, July, pp.1.
- [15] Serenko, A., Stach, A., (2009). "The Impact of Expectation Disconfirmation on Customer Loyalty on Recommendation Behavior: Investing Online Travel and Tourism Services, *Journal of Information Technology Management*, Vol.XX, No:3, pp.26-41.
- [16] Spears, C., (2016). "How Evolving Customer Expectations Influence Customer Experiences", <http://education.arke.com/2016/06/evolving-customer-expectations-influence-customer-experiences.html>.
- [17] Walsh, J. P. ve Ungson, G.R., (1991). "Organizational Memory", *Academy of Management Review*, Vol. 16, No. I, pp.57-91.

- [18] Wortman, B. ve Richardson, W.R., (2012). *The Six Sigma Green Belt Primer*, Second Edition, Quality Council of Indiana.
- [19] Zeithaml, V.A., Berry, L.L., Parasuraman, A., (1993). “The Nature and Determination of Customer Expectation of Service “, *Journal of the Academy of Marketing Science*, V.21,N.1, pp.1-12.
- [20] İnternet: Gör ve Boya Uygulaması, <https://www.marshallboya.com/tr/dekorasyon-ipuclari-ve-danismanlik/marshall-visualizer-ile-nce-gr-sonra-boya>, Erişim 03 Ekim, 2017.

AJAN (ETMEN) TABANLI SİMÜLASYON YAKLAŞIMI KULLANARAK İŞGÜCÜ VE SÜREÇLERİNİN MODELLEMESİ

Gökçe Dilek Kılı (a), Mustafa Dinç (b)

(a) Gazi Üniversitesi, kgokcedlek@gmail.com

(b) ODTÜ, mdinc1972@gmail.com

ÖZ

Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) teknolojilerinin önemli uygulama alanlarından biri de üretim sistemlerinin gerçeğe yakın bir şekilde modellenerek, yöneylem araştırması kapsamında kullanılmasıdır. Bu çalışmada, metal veya kompozit malzemelerden oluşan bir üretim sistemine yönelik geliştirilen MODSİM yaklaşımı ile fabrika üretim hattında malzeme çıktı sayısının artırılması, işçilerin davranış ve çalışma sürelerine yönelik elde edilen analiz sonuçlarından bahsedilecektir.

Söz konusu üretim sistemi özet olarak şu şekilde tanımlanabilir: bir olasılık dağılımına uygun olarak üretim bantlarına giren metal veya kompozitten oluşan malzeme parçaları, üç farklı tecrübe seviyesine sahip işçiler tarafından şekil veya form verildikten sonra sistemden çıkarılmaktadır. Ancak işçilerin mola zamanları, moral ve motivasyon düzeyleri ile kategorilerine bağlı olarak ürün parçalarının işlem süreleri değişmektedir. İşlem sürecinde tüm işçiler için geçerli olan ve aynı anda verilen yemek molası ile kısa molalara ilave olarak çalışanların kendi inisiyatifleri ile kullandıkları diğer molalar mevcuttur.

Üretim modeli oluşturulurken, üretim bandında işçilerin malzeme parçalarını şekillendirme süreçlerinde “Kesikli Olay Simülasyonu”; işçilerin moral, motivasyon ve davranış modellenmesi için “Ajan (Etmén) Tabanlı Simülasyon” yöntemi kullanılmıştır. MODSİM aracı olarak, “Kesikli Olay Simülasyonu” ile “Ajan (Etmén) Tabanlı Simülasyon” yöntemlerini destekleyen *Anylogic* ticari programı kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında, farklı simülasyon programları kullanılarak çeşitli üretim sistemlerinin modellendiği tespit edilmiştir. Ancak Ajan (Etmén) Tabanlı Simülasyon yaklaşımı kullanarak işçilerin deneyim, ihtiyaç veya davranış biçimlerinin dikkate alınarak işgücüne dayalı bir üretim ortamının modellenmesine rastlanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: *Anylogic*, Ajan (Etmén) Tabanlı Simülasyon, İşgücü Modellemesi, Performans Ölçütü, Simülasyon Tabanlı Üretim Sistemi.

LABOR FORCE AND PROCESS MODELING USING AGENT BASED SIMULATION

ABSTRACT

One of the most significant areas of implementation of Modeling and Simulation (MODSİM) technologies is realistic modeling of the production systems for operational research purposes. In this study, we discussed the results of analysis on MODSIM approach which is implemented for production system consisting of metal or composite materials, on increasing the number of material output in the factory production based on behavior and working time of the workers.

The production system can be briefly described as follows: parts of metal or composite material which enter the production lines at certain intervals in accordance with a probability distribution are removed from the system after being shaped by workers of three different levels of experience. In addition, the processing times of product parts vary depending on workers' breaks, morale and motivation levels and categories. In the system there are the food breaks and short breaks which are valid for all workers at the same time, as well as the breaks that the employees used with their own initiatives.

The "Discrete Event Simulation" method is used in the process of shaping material parts in the production line by workers and the "Agent Based Simulation" method is used for the morale, motivation and behavior modeling of the workers. *Anylogic* is used as a simulation tool, which supports Discrete Event Simulation and Agent Based Simulation methods. In the literature review, it has been determined that various production systems are modeled by using different simulation programs. However, we found no modeling approach using Agent-Based Simulation to model a labor-based production environment, taking into account workers' experience, behaviors, or needs.

Keywords: *Anylogic*, Agent Based Simulation, Performance Measure, Simulation Based Production System, Workforce Modeling.

1. GİRİŞ

Son yıllarda teknolojiye meydana gelen hızlı gelişmeler ile birlikte şirketler arası rekabet üretim sektörünü önemli ölçüde etkilemektedir. Bir üretim firmasının etkin ve verimli bir şekilde vizyonuna uygun ilerlemesi ve bu doğrultuda eldeki kaynaklarını en etkin şekilde kullanarak üretimini gerçekleştirmesi, istediği üretim kalite ve kapasitesine ulaşması gerekmektedir. Özellikle emek yoğun işler için bilgi yönetiminin doğru bir şekilde yapılabilmesi, sistemin insan faktörü, endirekt iş gücünde bulunan bilgi ve deneyimler ve maliyet faktörlerinin dikkate alınarak incelenmesi ile mümkündür. Mevcut bir sistemin incelenmesi veya yeni teknolojilerin sisteme uyarlanması için farklı metodolojiler kullanılabilir. Fakat bir sistemi anlamak, kontrolünü sağlamak ve yeni teknolojilerin sisteme dâhil edilmesi zaman ve maliyet kaybına yol açabilmektedir.

Harcanan zaman ve maliyetin şirketler için ne kadar değerli olduğunu düşünecek olursak, bu etkenleri azaltmak adına en etkili yöntemlerden birinin MODSİM teknolojileri olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımı üretim ortamlarında insan faktörü ile davranış modellemesinin üretime etkisinin incelenmesi için etkin bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Etmen tabanlı simülasyon ile birbirinden bağımsız gibi görünen etmenlerin (ajanların) bireysel veya toplu olarak sistem üzerindeki etkileri bilgisayar ortamına aktarılabilir. [1] [2].

Bu çalışmada, bir üretim sisteminde insan faktörünü dikkate alan etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımından bahsedilecektir. İlk olarak MODSİM ve bir alt dalı olan etmen tabanlı simülasyon yaklaşımı hakkında özet bilgi verilecektir. Daha sonra etmen tabanlı simülasyonu destekleyen *Anylogic* programı hakkında kısa bir bilgilendirme yapılmasının ardından bir üretim ortamının etmen tabanlı olarak modellemesine ait uygulamadan bahsedilerek, simülasyondan elde edilen sonuçlar paylaşılacaktır.

2. ETMEN TABANLI MODELLEME ve SİMÜLASYON

Etmen tabanlı sistemler, kendi kendine karar verme, farklı tepki ve davranışlarda bulunabilme, çevresi ve birbirleri ile etkileşim hâlinde olabilme kabiliyetine sahip olan etmen (ajan) adı verilen varlıkların bir araya gelmesinden oluşan karmaşık sistemlerdir. Bu sistemler etmenlerin davranış ve tepkilerine göre farklı sonuçlar elde edebilmektedirler. Etmen tabanlı modelleme ise, etmen tabanlı sistemleri modellemek için birbiriyle etkileşim içinde olan otonom etmenlerden (ajanlardan) meydana gelen bir yapay zekâ tekniğidir [7].

3. MODSİM VE ÜRETİM SİSTEMLERİ

Günümüzde sistemler giderek daha karmaşıkmaktadır. Karmaşık bir yapıya sahip olan üretim, hizmet, toplumsal yapı gibi birçok alanın doğru olarak ilerlemesi için sistemlerin devamlı olarak incelenmesi, gerekli olduğu durumlarda müdahale edilmesi, yapısının değiştirilmesi/dönüştürülmesi gerekebilmektedir. Fakat bu durumu sistem üzerinde sürekli deneme yanılma gibi yöntemlerle gerçekleştirmek personel, zaman, malzeme ve maliyet gibi birçok kayba yol açabilmektedir. İşte tüm bu sebeplerden dolayı MODSİM yöntem ve teknolojileri çağımızda her alanda kullanılabilecek gerekli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Modelleme, gerçek dünyadaki bir sistemi incelemek, sonuçlar elde edebilmek için mevcut sistemin bir örneği, taklidi olarak tanımlanabilmektedir [3]. Simülasyon ise belirli zaman ve mekân içerisinde modellenen sistemin işleyişinin bir taklididir. Kısaca, bir simülasyon modeli var olan gerçek bir sistem üzerinde yapılabilecek değişikliklerin gerçekleştirilerek, sonuçlarının neler olacağının gözlemlenmesi veya yeni bir sistemi oluşturmak için kullanılabilecek etkili bir yöntemdir [4]. MODSİM yöntem ve teknolojilerinin birçok çeşidinin olması ile birlikte bu çalışmada işçilerin çalışma durum ve davranışlarını incelemek amacıyla etmen (ajan) tabanlı simülasyon ve üretim ortamındaki parça akışı için kullanılan kesikli olay sistem modellemesinden bahsedilecektir.

4. ANYLOGIC

Anylogic farklı benzetim tekniklerinin birlikte yer aldığı modellerin oluşturulmasını destekleyen etkin bir simülasyon yazılım aracıdır. *Anylogic* etmen (ajan) kütüphanesi ve dinamik etmen oluşturma, yok etme, birbirleri ile bağlantısını sağlama, haberleşmesini gerçekleştirme gibi çeşitli tanımlamaları ile “Ajan (etmen) Tabanlı Simülasyon” oluşturmada kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır [16].

Java programlama dili ve nesne yönelimli programlama yaklaşımını kullanan *Anylogic* yazılımı araştırmacıların oldukça dikkatini çekmektedir. Bu yazılım ile farklı uygulama alanlarına yönelik gerçekleştirilmiş çeşitli örnek çalışmalar mevcuttur. Örneğin tedarik zinciri yönetimi, malzeme taşıma sistemi, hava savunma sistemi, araç çizelgeleme gibi daha birçok sistemin modellenmesine yönelik, yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca *Anylogic* nesne yönelimli programlamayı desteklerken, ihtiyaca uygun hazır kütüphaneler kullanılabilmekte, oluşturulan modelin 3B/2B kavramsal görsel modelini kolaylıkla desteklemektedir [17].

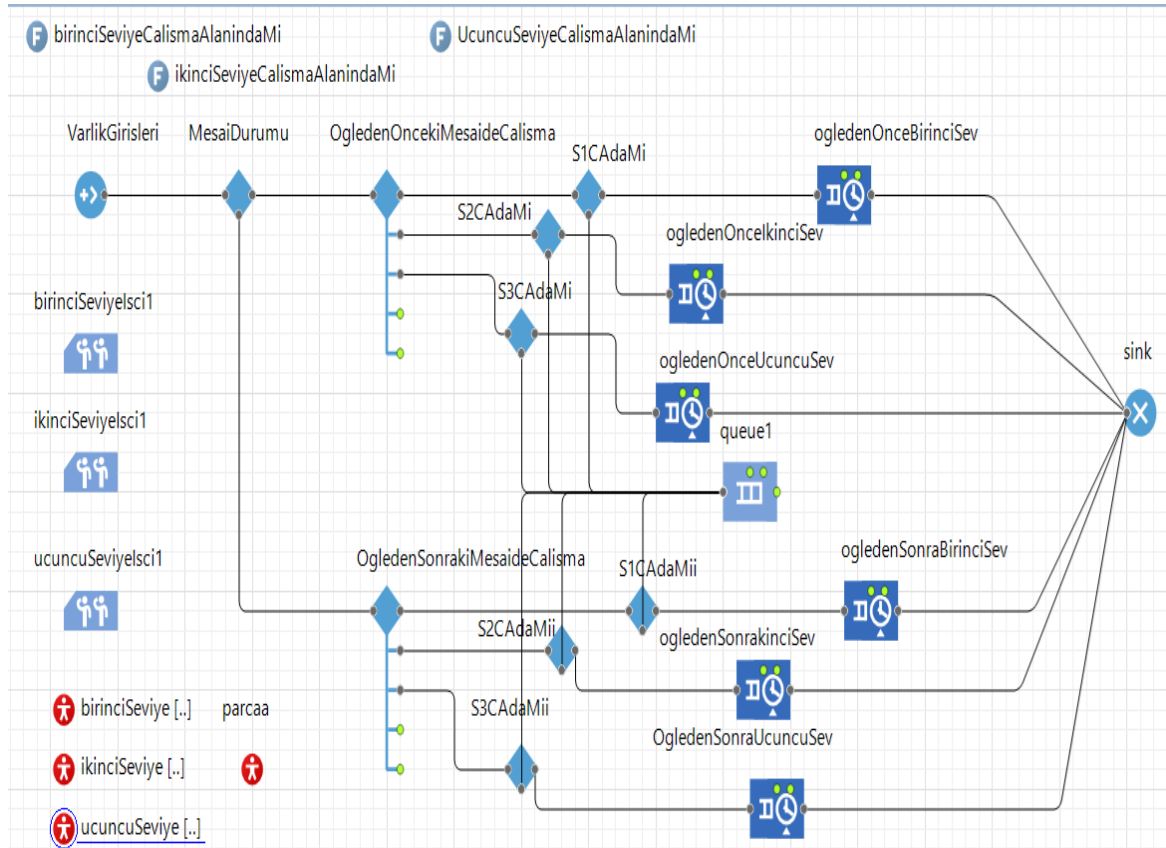
5. ÜRETİM SİSTEMİ MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU

Bu çalışmada, Türkiye’de savunma sanayii alanında faaliyet gösteren bir fabrika’da emek yoğun iş yapılan üretim sistemi *Anylogic* simülasyon programı yardımı ile modellenmiştir. Bu sistemden bildirinin devamında gerçek sistem olarak bahsedilecektir. Söz konusu üretim sistemi; çalışma alanı, yemekhane, çay, sigara molası ve tuvalet olmak üzere toplam 5 alandan, 3 farklı tecrübe seviyesine sahip işçilerden ve sisteme girip işlenerek, sistemden çıkan parçalardan oluşmaktadır. Burada, üretim hattında çalışan işçilerin tecrübe seviyeleri:

- 1. seviye 10 yıllık deneyim 3 işçi
- 2. seviye 5 yıllık deneyim 3 işçi
- 3.seviye 1 yıllık deneyimli 3 işçi olarak gruplandırılmıştır.

Sistem içinde üretim hattı üzerinde işlem gören parçalar nesne olarak, hat üzerinde parça akışı ise kesikli olay simülasyonu yaklaşımına uygun olarak modellenmiştir. Üretim sistemi modellemesinde ana hedef çalışanların çalışma durum ve davranışlarının analiz edilmesidir. Bu kapsamda, her bir işçi etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımına uygun olarak modellenmiş ve işçilerin karar verme mekanizmalarına ve çevre ile etkileşimlerine bağlı olarak, mesai sürelerinin ne kadarında aktif olarak çalıştıkları, ne kadarında ise işten kaydardıkları gözlemlenmeye ve analiz edilmeye çalışılmıştır.

Aşağıda Şekil-1’de verilen üretim hattına yönelik kavramsal süreç modelinde, sistemdeki parça akış modeli, kesikli olay simülasyonu yaklaşımına uygun olarak *Anylogic* ile modellenmiştir.



Şekil 1. Üretim Sisteminin Kavramsal Süreç Modeli

Şekil 1’de görülen modele göre parçalar sisteme [1-5] dakika aralıklarla exponential(0.2) üstel dağılıma uygun olarak gelmektedir. Sistemde mesai saatleri, saat 08:00-12:00 arası ile saat 13:00-17:00 arası olmak üzere ikiye bölünmüş, üretim hattındaki parçaların sistemde işlem görme zamanları da mesai saatlerine uygun olarak ayarlanmıştır. Burada işçilerin parçaları işleme sürelerini aktif mesai süreleri etkilemekte olduğundan, sistem modellemesinde mesai süresi ikiye ayrılarak incelenmiştir. Parçaların öğleden önce veya öğleden sonra olarak sistemde işlenmek üzere ilerlemesine ilave olarak çalışma bölgesinde olan birinci, ikinci ve üçüncü seviyedeki işçilere deneyimleri göz önüne alınarak sırasıyla 0.4194, 0.35, 0.2306 olasılık değerleri atanmıştır. Bu olasılıklar 5 farklı günde yapılan gözlemlerden gün boyunca gelen ortalama 360 ürünün, 151 tanesinin birinci seviyedeki işçilere, 126 tanesinin ikinci seviyedeki işçilere, 83 tanesinin üçüncü seviyedeki işçilere atandığı gözlemden yola çıkarak hesaplanmıştır.

İşçilere atanan parçalar, işçilerin çalışma alanında bulunmaması durumunda geçici depolama alanında bekletilmektedir. İşlem gören parça(lar) daha sonra sistemden ayrılmaktadır. Bir parçayı işleme süresi işçi deneyimleri ile ters orantılıdır. Yani birinci seviye tecrübeye sahip olan bir işçinin gelen parçayı işleme süresi, üçüncü seviyede

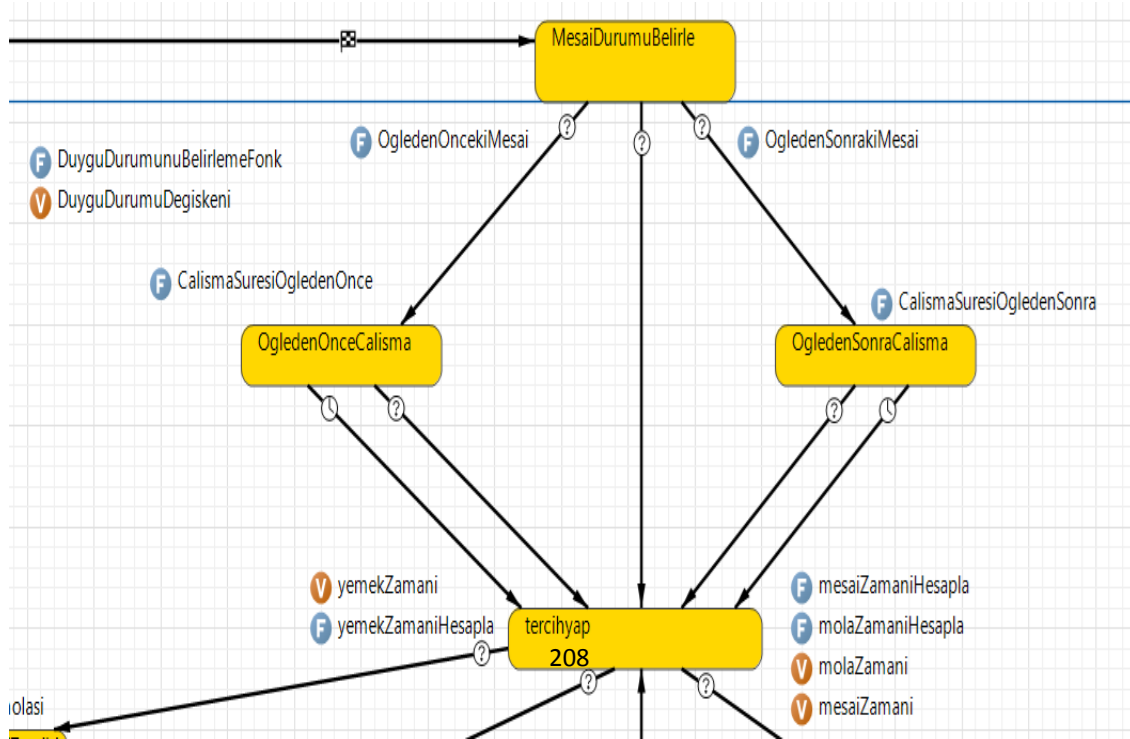
olan işçiye göre daha azdır. Aşağıdaki tabloda mesai ve işçi seviyelerine göre parça işleme süreleri görülmektedir.

Tablo-1 Mesai ve İşçi Tecrübe Seviyelerine Göre Parça İşleme Süreleri

	Dağılımlar	
Parça Gelişleri	normal(1.25,0.48) dk	
Öğleden Önceki Mesai	Birinci Seviye İşçi	normal(5, 1.46) dk
	İkinci Seviye İşçi	normal(6.176, 1.48) dk
	Üçüncü Seviye İşçi	normal(10.5, 1.12) dk
Öğleden Sonraki Mesai	Birinci Seviye İşçi	normal(7.5, 1.12) dk
	İkinci Seviye İşçi	normal(8.95, 1.52) dk
	Üçüncü Seviye İşçi	normal(12.5, 1.18) dk

Tabloya göre her işçinin bulunduğu mesai ve seviyesine göre parçayı işleme süresi farklılık göstermektedir. Süreler normal dağılıma uygun olarak değişmektedir. Dağılımlar her bir işçinin işlediği 53 parça için gözlemlenerek elde edilen zaman verisi dikkate alınarak hesaplanmıştır. Dağılımdaki sürelerin öğleden önce ve öğleden sonraki değerlerinin farklılaştığı görülmektedir. Bunun sebebi işçilerin öğleden sonra daha yavaş bir performans göstermeleridir.

Şekil-1’de sistemdeki parça akışını temsil eden süreç modeli anlatılmakta olup, sistemin temelini oluşturan ajan tabanlı simülasyon bölümü ise Şekil-2’ de gösterilmiştir. Şekil-2. ‘de ayrıca çalışanların öğleden önce veya öğleden sonraki mesaide olmalarının belirlenmesinin ardından moral durumlarına göre ne kadar çalışacakları ve molaya çıkma durumları modellenmiştir.



Şekil-2. Etmen (Ajan) Tabanlı Modelleme İşçi Moral Durumu Hesaplanması

İşçilerin karar verme süreçleri “Etmen (Ajan) Tabanlı Simülasyon” yaklaşımına uygun olarak modellenmiştir. İşçiler mesai başlangıcı olan saat 08:00’de çalışma alanına gelmekte, çalışanların hangi mesai sürecinde olduklarının tespitinin ardından moral ve motivasyonlarının üç kategoride rassal olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Moral ve motivasyon durumları bilinen işçilerin çalışma alanında aralıksız olarak çalışma süreleri rassal bir şekilde belirlenmektedir. Belirli bir süre aralıksız çalışan işçiler, bulunan zaman dilimine göre bir tercih yapmaktadırlar. Bu tercih, saat 10:00-10:15 arasında ve saat 15:00-15:15 arasında işçilere resmi olarak verilen 15’er dakikalık molaya, 12:00-13:00 arasında verilen yemek molasına veya saat 08:00-17:00 mesai saatleri arasında diğer molalardan farklı olarak kendi inisiyatiflerine bağlı verdikleri molalara göre değişmektedir. İşçiler mesai sürecinde iken aralıksız çalışmanın ardından sigara ve/veya tuvalet ihtiyaçlarını karşılamak üzere kendi inisiyatifleri doğrultusunda mola verebilmektedirler. Tercihleri rassal sayı üreticiden yararlanılarak belirlenmektedir. Sigara veya tuvalette kalma süreleri ise oluşturulan fonksiyonlar ile yine rassal olarak belirlenmektedir. Çalışanlar 15’er dakikalık sabit mola sürecinde ise sigara ve/veya tuvalet ve/veya çay ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar. İşçiler çalışırken 15’er dakikalık mola zamanı gelmiş ise çalışmasını bırakmaktadır. Mola süreleri işçilerin verdikleri kararlara göre uzayabilmekte, molalarının bitmesinin ardından ise çalışma alanına geri dönmektedirler. İşçiler molada iken sigara ihtiyacı için sigara alanına, tuvalet ihtiyacı için tuvalet alanına gitmekte, yemek molası için ise yemekhane alanına gitmektedirler. Aşağıda verilen Tablo-2’de çalışanların çalışma alanında kalış süre seçimleri ve Tablo-3’de ise molalarda kullanılan süreler verilmiştir.

Tablo-2. İşçilerin Çalışma Alanında Kalış Süre Seçimleri

Mesai Durumu	Moral Durumu	İyi	Orta	Kötü
Öğleden Önce	Birinci Seviye İşçi	random(25-50)dk	random(25-45)dk	random(20-35)dk
	İkinci Seviye İşçi	random(30-60)dk	random(30-50)dk	random(25-40)dk
	Üçüncü Seviye İşçi	random(27-55)dk	random(28-48)dk	random(23-35)dk
Öğleden Sonra	Birinci Seviye İşçi	random(25-45)dk	random(20-35)dk	random(20-25)dk
	İkinci Seviye İşçi	random(30-55)dk	random(25-45)dk	random(20-40)dk
	Üçüncü Seviye İşçi	random(28-50)dk	random(23-38)dk	random(15-30)dk

Çalışanların moral ve motivasyonları ile mesainin öğleden önce veya öğleden sonra olması durumları, işçilerin aralıksız çalışma alanında kalma sürelerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Çalışanların moral ve motivasyonları da parçaların işlem sürelerinde değişikliklere yol açabilmektedir. Örneğin, 1. Tecrübe seviyesinde olan işçinin işten kaytarma olasılığı daha uzun yıllar çalışmış olmaktan kaynaklanan bıkkınlıktan dolayı daha yüksek olmaktadır. Tablo-2’de verilen çalışanların çalışma alanında kalış süre seçimleri, işçilerin moral düzeyleri ve mesainin öğleden önce veya öğleden sonra olmasına göre değişmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda çalışanların çalışma alanında kalışlarının kendi kararlarına göre çok fazla değişkenlik gösterdiği

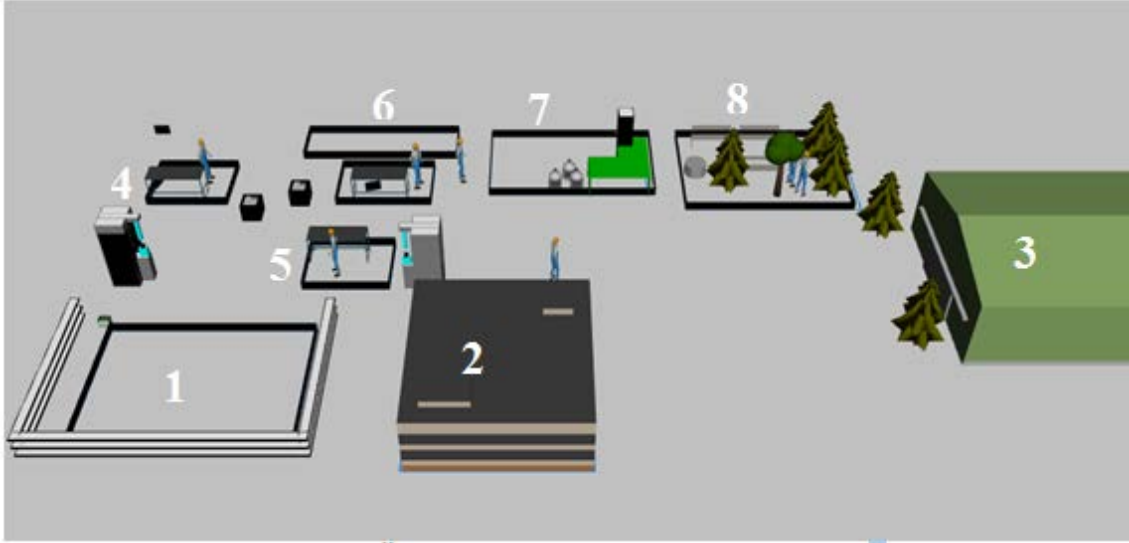
saptanmıştır. İşçilerin kendi kararlarının söz konusu olduğu bu durum için zamanların rassal değerler olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Rassal olarak elde edilecek süreler için gözlem değerlerinin minimum ve maksimum değer aralıkları dikkate alınmıştır.

Tablo-3 Molalarda Kullanılan Süreler

Bulunduğu Durum	Mola Çeşidi	Mola Sıralaması	Birinci Seviye İşçi
Mesai	Sigara	Çalışmadan sonra Sigara	random(5-7)dk
		Tuvaletten sonra Sigara	random(4-6)dk
	Tuvalet	Çalışmadan sonra Tuvalet	random(3-8)dk
		Sigaradan sonra Tuvalet	random(3-4)dk
Mola	Tuvalet	Çay - Tuvalet	random(4-5)dk
		Sigara - Tuvalet	random(3-4)dk
		Çay-Sigara-Tuvalet	random(4-5)dk
		Sigara-Çay-Tuvalet	random(4-5)dk
		Tuvalet	random(4-19)dk
	Sigara	Çay - Sigara	random(5-6)dk
		Tuvalet - Sigara	random(4-5)dk
		Çay-tuvalet-Sigara	random(5-6)dk
		Tuvalet-Çay-Sigara	random(4-5)dk
		Sigara	random(5-15)dk
	Çay	Sigara-Çay	random(5-6)dk
		Tuvalet-Çay	random(5-8)dk
		Sigara-Tuvalet-Çay	random(5-6)dk
		Tuvalet-Sigara-Çay	random(5-8)dk
		Çay	random(6-21)dk

Birinci seviye işçilerin molalarda kullandıkları süreler Tablo-3’de verilmiş, bu tabloda her işçinin mesaide veya molada olması, verdiği mola çeşidi ve bu molaların gerçekleşme sırasına göre geçirdikleri süreler belirtilmiştir. Verilen süre dağılımları ikinci ve üçüncü seviye işçiler için de geçerlidir. Bu süreler de çalışanların çalışma alanında kalış süre seçimlerindeki aynı mantığa dayalı yapılan gözlemler sonucunda elde edilmiştir.

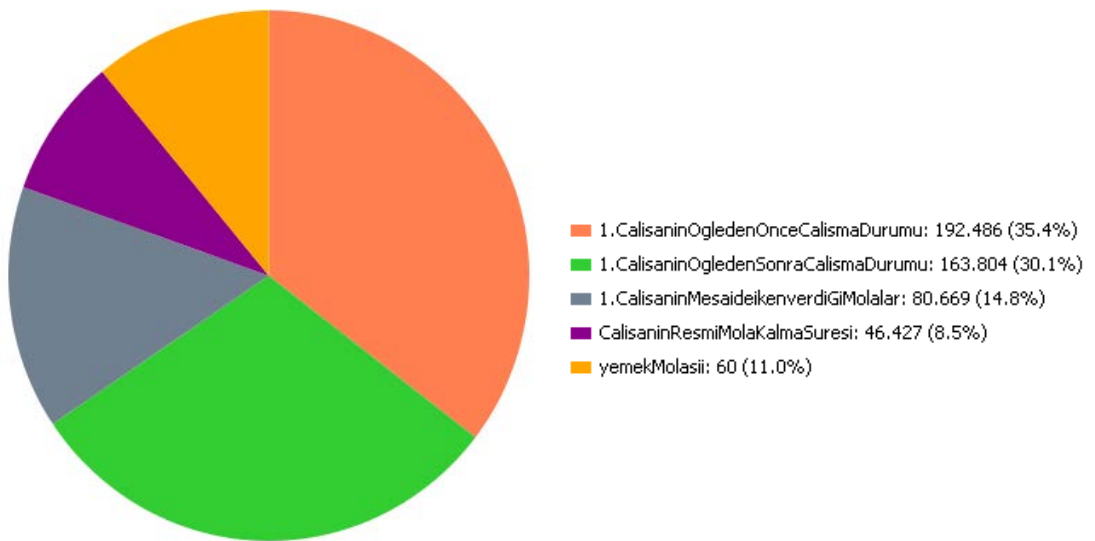
Çalışanların mola vermeleri veya çalışmaları o anki aktif gerçekleştirdikleri durumları göstermek üzere *Anylogic* durum bloğundan yararlanılmış, durumlar arasındaki geçişler geçiş elemanı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışanın bölümler arası hareketleri de işçi etmen (ajan) yapısında durum (state) olarak belirtilmiş olup, bu gidiş hareketi Java programlama dili kullanılarak, *Anylogic*’te fonksiyon olarak kodlanmış ve durum değişkenleri içerisine yerleştirilmiştir. Sistem modellenmesi 2 boyutlu ve mantıksal modelleme ile gerçekleştirilmiş, üretim sistemi süreçlerinin 3 boyutlu (3B) görselleştirilmesi program içerisindeki *3D Window* özelliği ile sağlanmıştır. Üretim sisteminin 3 boyutlu görsel modeli Şekil-3’de gösterilmiştir.



Şekil-3. Üretim Sisteminin 3B Görsel Modeli

Şekil-3’de verilen Üretim Sisteminin 3B Görsel Modeli’nde numaralara göre sırasıyla 1; Ara Stok Alanı, 2;Tuvalet, 3;Yemekhane, 4; 1.Seviye İşçi Çalışma Alanı, 5; 2.Seviye İşçi Çalışma Alanı, 6; 3.Seviye Çalışma Alanı, 7; Çay Ocağı, 8; Açık Hava Dinlenme Alanı olarak belirlenmiştir.

Sistemde toplamda 9 işçi bulunmaktadır, bu işçilerden örnek olarak birinci tecrübe seviyedeki 1. işçinin gün içerisinde mesai boyunca zamanını hangi alanlarda harcadığına dair grafik Şekil-4’de verilmiştir.



Şekil-4. Bir İşçinin Mesai Boyunca Harcadığı Süreler

Şekil-4 Süreler Yüzdelik Dilimde birinci seviyedeki bir işçinin öğleden önceki çalışması, öğleden sonraki çalışması, mesaide içerisinde iken verdiği mola, resmi mola, yemek molası için harcadığı süreler ve yüzdelik dilimleri görülmektedir. Çalışanların parça aramalarında geçen süre mesai süresine, molalara çıkarken yolda harcadıkları süreler ise mola sürelerine dahil edilmiştir. Buna göre çalışanın öğleden önce çalışma performansının öğleden sonraki çalışma performansına oranla daha yüksek olduğu, ayrıca çalışanın mesai süresi içerisindeyken verdiği molaların, toplam sürenin %8,5' lik bir bölümünü oluşturduğu görülebilmektedir. Çalışanların resmi molalarının 30 dk olduğu düşünüldüğünde grafikte oluşan yaklaşık 46 dakikalık mola süresindeki 16 dakikalık fazlalığın sebebi, çalışanların resmi moladan geç dönebilmeleridir. Bu durumun gerçek sistemdeki çalışanların öğleden önceki ve öğleden sonraki çalışma durumlarının değişkenliği ile de uyum sağladığı gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ

İnsan çevresinden etkilenen ve çevresini etkileyen bir varlıktır. Dolayısıyla ortaya çıkarılan işlenmiş ürün miktarı çalışanın yeteneğine, moral ve motivasyonuna göre değişebilmektedir. İnsan faktörünün etkili olduğu üretim alanları için insan psikolojisi, deneyimi gibi etkenlerin modele dâhil edilmeden sadece sürecin simüle edilmesi, gerçek sistemi tam olarak yansıtmadığı için yanlış sonuçlar üretebilmektedir. Bunun için insanın etkin olarak bulunduğu üretim çevrimlerinde etmen (ajan) tabanlı simülasyon yaklaşımının kullanılması bizi daha doğru sonuçlara ulaştırmaktadır. Bu şekilde gerçek sistemde istenilen ürün miktarına ulaşamamasının sebebinin işçilerin durum ve davranışları ile ne kadar alakalı olduğu ve sistemi düzeltmek için neler yapılması gerektiği gibi çıkarımları daha kolay ve doğru bir şekilde yapılabilecektir.

Bu çalışmada, sistem içerisinde en önemli faktör olarak değerlendirilen insan karar verme mekanizması dikkate alınarak sistem modellenmeye çalışılmıştır. Modelleme yapılırken, çalışanların moral ve motivasyon düzeyleri dikkate alınmıştır. Örnek olarak, simülasyonda ikinci seviyedeki bir işçinin mesai başlangıcında moralinin yüksek olarak işe başladığı ve 55 dakika boyunca aralıksız olarak çalıştığı gözlemlenmişken, yaklaşık bir saat sonrasında ise moral ve motivasyon seviyesinin düşmesi sonucunda aralıksız olarak ortalama 27 dakika çalıştığı gözlemlenmiştir. Aynı işçi morali düşük olarak öğleden sonraki mesaisinde de çalışmaya devam etmiş, mesai bitimine kadar aralıksız olarak çalışma alanında aktif olarak kalması her verdiği moladan sonra ortalama 22 dakika olarak tespit edilmiştir. Sistemde seviye grupları arasında en iyi çalışma performansı sergileyen grup, ikinci seviye çalışanlar olarak tespit edilmiştir. İkinci seviyeyi, üçüncü seviye takip etmekte olup, en az çalışan grup birinci seviye işçiler olarak tespit edilmiştir. Ancak birinci grup işçilerin az çalışmasına rağmen daha hızlı bir şekilde ürün işlemeleri, üretilen ürün açısından performans değerlendirmesinde, birinci seviyedeki işçileri gün içerisinde ortalama 50 ürün üretmesi ile, ortalama 42 ürün üreten ikinci seviye işçi ve ortalama 28 ürün üreten üçüncü seviyedeki işçinin önüne geçirdiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak sistem modellenirken, tüm faktörler dikkate alınarak modelin doğruluk ve geçerliliği sağlanmaya çalışılmıştır. Bu şekilde sistemdeki problemler doğru olarak

tespit edilerek, gerçekçi çözüm alternatifleri ile sisteme müdahale edilebilmesi amaçlanmıştır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Russell, S.J., and Peter N. (1995). “Artificial Intelligence: A modern approach” EnglewoodCliffs, N.J.: Prentice Hall.
- [2] Axelrod, R.M., (1997). “The complexity of cooperation: Agent-based models of competition and collaboration”, Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- [3] ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi. “Modelleme ve Simülasyon Nedir?” Erişim 02 Ocak, 2017. <http://modsim.metu.edu.tr/node/115>
- [4] Altıparmak, F., (2016). “Benzetim” Basılmamış Lisans Dersi Notları, Gazi Üniversitesi, MMF.
- [5] Dinç, M., (2003). “Key Concepts, Definitions, and Terms”, Notlar, Ankara.
- [6] Liu, J., Zhong, W., Jiao, L., (2010). “A Multiagent Evolutionary Algorithm for Combinatorial Optimization Problems. Systems”, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on, 40(1), 229-240.
- [7] Seyhan, O., (2013). “Kamu Yönetiminde Etmen Tabanlı Modelleme”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14/1, s. 69-86.
- [8] Şeker, M.E., (2006). “Etmen Tabanlı Sistemlerle Kullanıcı Hareketinin Modellenmesi: Müze Örneği” Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- [9] Bankes S.C., (2002). “Agent-based modeling: A revolution? Proc”, National Academy of Sciences, 99: Suppl. 3: 7: 199-200.
- [10] Kiel, L.D., (2005). “A Primer for Agent-based Modeling in Public Administration: Exploring Complexity in ‘Would-be’ Administrative Worlds”, Public Administration Quarterly, 29: 268-296.
- [11] Macal, C.M., North, M.J., (2010). “Tutorial on agent-based modelling and simulation” Journal of Simulation, 4, s.151-162.
- [12] Janssen, M.A., (2005). “Agent-Based Modelling”, Ecological Economics, s.(1-9).
- [13] Epstein, J.M., Axtell, R., (1996). Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up. MIT Press: Cambridge, MA.

- [14] Yüzer, M.A., YÜZER Şebnem, (2006). “Cellular Automata Tabanlı Lucam Modeli ile İstanbul'un Gelişim Ve Dönüşümüne İlişkin Makro Form Simülasyonları” Journal of İstanbul Kültür University, s. 231-244
- [15] İnternet: Weimar J., Simulation with Cellular Automata, <http://www.tu-bs.de/institute/WiR/wcimar/Zascripncw/intro.html> , Erişim 20 Ocak, 2017.
- [16] İnternet: Agent Based Modelling <http://www.xjtek.com/anylogic/approaches/agentbased>, Erişim 05 Ocak, 2017.
- [17] İnternet: Anylogic Simulation Software Overview, <http://www.anylogic.com/overview/>, Erişim 02 Ocak, 2017.

ÇOK DİSİPLİNLİ YAKLAŞIMLA KATI YAKITLI ROKET MOTORU YAPISAL DAYANIM VE İÇ BALİSTİK PERFORMANS OPTİMİZASYONU

Ceyhun Tola ^(a), Melike Nikbay ^(a)

^(a) İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul, {tola, nikbay}@itu.edu.tr

ÖZ

Katı yakıtlı roket motorları, sahip oldukları avantajlar sebebiyle askeri sistemlerde sıklıkla kullanılırlar. Bu motorların tasarım süreci, iç balistik performans analizleri ve yakıt yapısal analizleri olmak üzere iki temel disiplinden oluşur. Bu disiplinlerin birbirinden ayrı şekilde incelenmesinin yol açtığı iteratif sürecin tasarım maliyetlerini arttırdığı, tasarım takviminin sarkmasına yol açtığı, optimum tasarıma göre daha ağır ve daha düşük performansa sahip roket motorlarının tasarımına neden olduğu görülmektedir. Bu durumu önlemek ve tasarım sürecini mümkün olduğunca kısaltmak; iç balistik performans ve yapısal dayanım bakımından optimum performansa sahip tasarımlar üretmek amacıyla, çalışma kapsamında her iki analiz disiplininin birbirini döngüsel olarak tamamladığı bağlaşıklık analiz yöntemi kurgulanmıştır. İç balistik performans analizleri, Matlab ortamında hazırlanan sıfır boyutlu iç balistik performans ve analitik geriye yanma çözücülerini ile gerçekleştirilmiş; ısı transferi ve doğrusal viskoelastik yakıt yapısal analizleri ise Abaqus ticari yazılımında oluşturulan parametrik Python kodları kullanılarak tamamlanmıştır. Optimizasyon döngüsü içerisinde iç balistik performans analizlerinden elde edilen sonuçlar yapısal analizler için girdi olarak kullanılmıştır. Çok disiplinli optimizasyon döngüsünü kurgulayarak optimum tasarım limitlerini belirlemek amacıyla Mode Frontier ticari yazılımından faydalanılmış; kurgulanan yöntemle, yüksek verime sahip katı yakıtlı roket motorlarının tasarım süreci kısaltılarak düşük kütleli, yüksek performanslı ve mukavim katı yakıtlı roket motorlarının tasarlanmasına öncülük edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok Disiplinli Optimizasyon, İç Balistik Performans Analizi, Katı Yakıt, Roket Motoru, Sonlu Elemanlar Analizi.

MULTIDISCIPLINARY OPTIMIZATION OF A SOLID ROCKET MOTOR IN TERMS OF STRUCTURAL STRENGTH AND INTERNAL BALLISTIC PERFORMANCE

ABSTRACT

Solid rocket motors have various advantageous and so they have been used for various military systems so far. Design phase of these motors covers two different disciplines that are internal ballistic performance and structural strength. Examination of the disciplines separately, leads to iterative design process that extends design phase, increases design costs and prevents optimum solid rocket motor design. This research covers development and application of a ballistic – structural interaction approach in order to shorten the design and optimization process. In house codes such as zero dimensional internal ballistic solver and an analytical burn-back solver are used to perform internal ballistic performance analysis. Parametric in house Python scripts are prepared and used to solve heat transfer and viscoelastic finite element models. By using a coupled analysis approach, ignition step of the viscoelastic finite element model uses the pressure data obtained from the internal ballistic performance results. Using Mode Frontier commercial optimization software, optimum geometrical parameters for slotted grain subjected to internal ballistic performance and structural constraints are determined.

Keywords: Finite Element Analysis, Internal Ballistic Performance Analysis, Multidisciplinary Optimization, Rocket Motor, Solid Propellant.

1. GİRİŞ

Katı yakıtlı roket motorları, sıvı ve hibrit yakıt ile çalışan sistemlere göre daha kolay ve daha düşük maliyetle üretilen; geçmiş yıllardan beri farklı askeri sistemler ve fırlatma sistemlerinde kullanılan güvenilir motorlardır. Yoğun şekilde kullanılan bu teknolojinin iyileştirilerek daha verimli hale getirilmesi oldukça önemlidir.

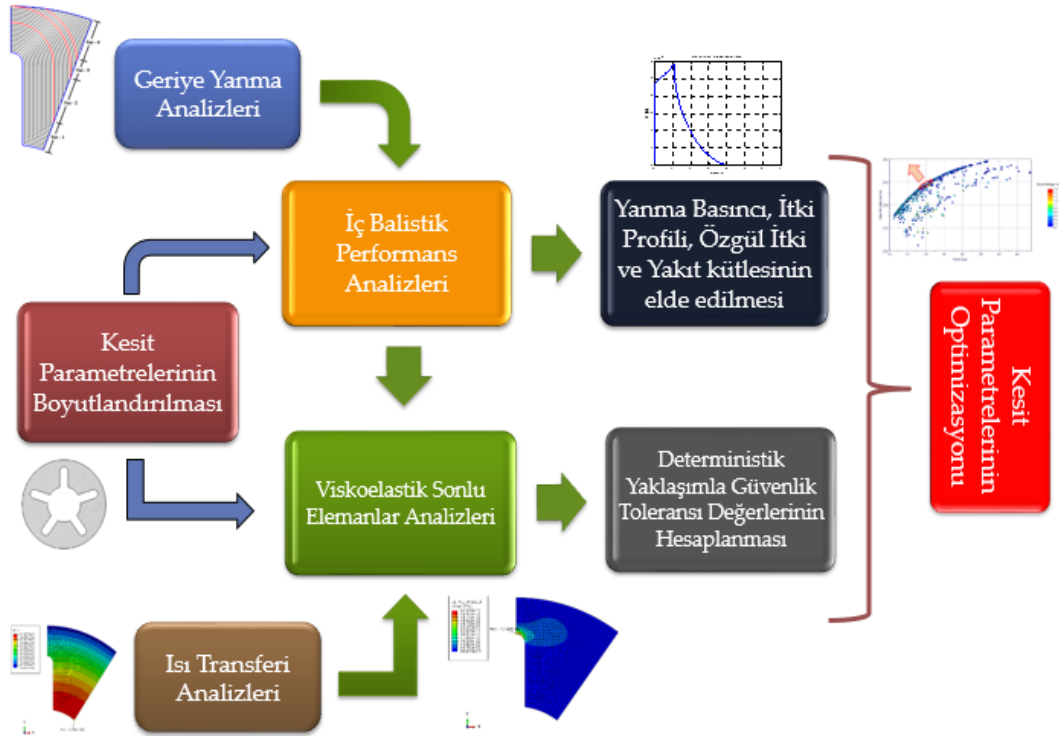
Bu alandaki araştırmalar, iç balistik performans ve yapısal dayanım olmak üzere iki ana disiplin altında incelenebilir. İç balistik performans disiplini ile ilgili araştırmalar, geriye yanma analizleri, iç balistik performans çözücü geliştirme ve optimizasyon üzerine odaklanmıştır. Ricciardi, yıldız şeklindeki kesite sahip değişik konfigürasyondaki yakıtların geriye yanma analizlerini gerçekleştiren bir kod oluşturmuş ve bu kodu kullanarak iç balistik performans analizlerine gerekli girdiyi sağlamıştır [1]. Nisar ve Guozhu, vagon tekeri ve silindir – yüzgeç tipi geometriler için optimizasyon çalışması yürütmüşlerdir [2,3]. Yapısal dayanım ile ilgili çalışmalar ise sonlu elemanlar analizleri ile yapısal dayanım inceleme, servis ömrü belirleme ve malzeme modeli geliştirme şeklinde gruplandırılabilir. Heller, roket motoru raf ömrü

üzerine kapsamlı araştırmalar yürütmüştür [4,5]. Yıldırım ve Özüpek, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak katı yakıtlı bir roket motorunun yapısal analizini gerçekleştirmiş ve yakıttaki yaşlanmanın analiz sonuçlarına etkilerini incelemişlerdir [6].

Literatür araştırması sonucunda iç balistik performans ve yapısal dayanım disiplinlerini bağlaşıklık olarak optimize eden bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu iki disiplinin birbirinden bağımsız olarak incelenmesi, tasarımın iteratif bir prosese dönüşmesine; dolayısıyla, sürecin uzamasına, maliyetlerinin artmasına ve en önemlisi optimum tasarıma kıyasla daha ağır ve daha düşük iç balistik performansa sahip roket motorlarının tasarlanmasına yol açar. Bu bakımdan, iç balistik performans ve yapısal dayanım analizlerini birbirleriyle etkileşimli biçimde optimize ederek tasarım sürecini kısaltmayı amaçlayan bu çalışma literatürde ilk örnek olma özelliğine sahiptir.

2. YÖNTEM

Çalışmada, katı yakıtlı roket motoru tasarımında sıklıkla tercih edilen oluklu kesite sahip katı yakıt geometrileri, iç balistik performans ve yapısal dayanım bakımından bağlaşıklık olarak analiz edilmiş ve belirli bir katı yakıt kütlesi için, optimizasyon kısıtlarından ödün vermeden tasarlanabilecek en verimli sistemler elde edilmiştir. Şekil 1’de bu sürecini özetleyen akış şeması sunulmuştur.



Şekil 1. Bağlaşıklık optimizasyon süreci

3. YAPISAL ANALİZLER

Yapısal analizler ve ısı transferi analizleri Abaqus 6.12 ticari sonlu elemanlar yazılımında gerçekleştirilmiştir.

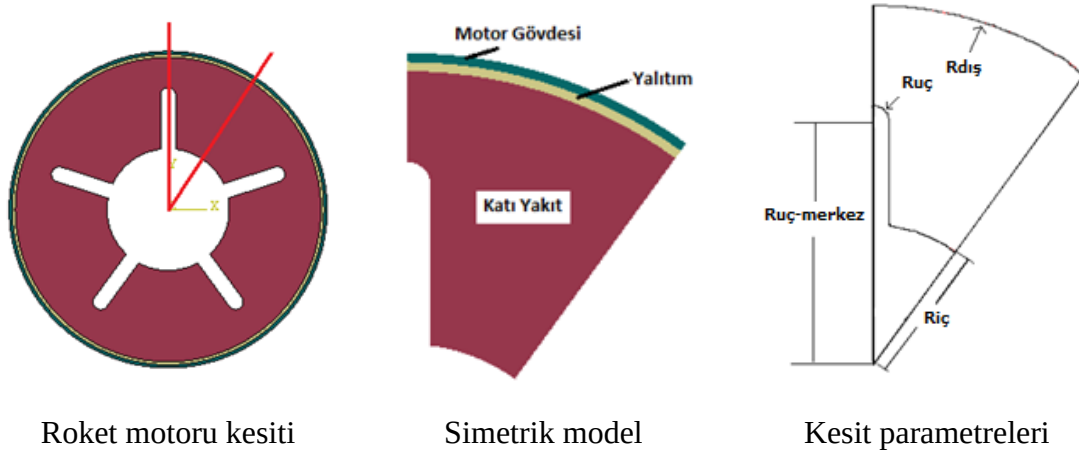
3.1. Geometri

Katı yakıtlı roket motoru, motor gövdesi, yalıtım, ateşleyici, lüle ve katı yakıt olmak üzere 5 ana bölümden oluşur. Optimizasyonu gerçekleştirilen yakıt; oluklu kesit geometrisine sahip olup, Tablo 1’deki parametreler ile modellenir.

Tablo 1. Oluklu kesite ait değişken parametreler

Tür	Parametre	Açıklama
Ayrık	N	Oluk Sayısı
	L	Yakıtın Boyu
Sürekli	$R_{iç}$	İç Çap
	$R_{dış}$	Dış Çap
	$R_{uç}$	Oluk Ucu Yarıçapı
	$R_{uç-merkez}$	Oluk Merkezinin Yarıçapı

Yapısal analiz modeli, katı yakıt, yalıtım ve motor gövdesinden oluşmaktadır. İncelenen problemin yapısına uygun olarak doğru, pratik ve hızlı çözüm sağlamayarak optimizasyon sürecini mümkün olduğunca kısaltmak amacıyla sonlu elemanlar modelleri düzlem gerinim varsayımı altında, simetri sınır koşulları uygulanarak Şekil 2’deki gibi modellenmiştir. Tablo 1’de listelenen parametreler Şekil 2’den incelenebilir.



Şekil 2. Katı yakıtlı roket motorunun modellenmesi

3.2. Malzeme

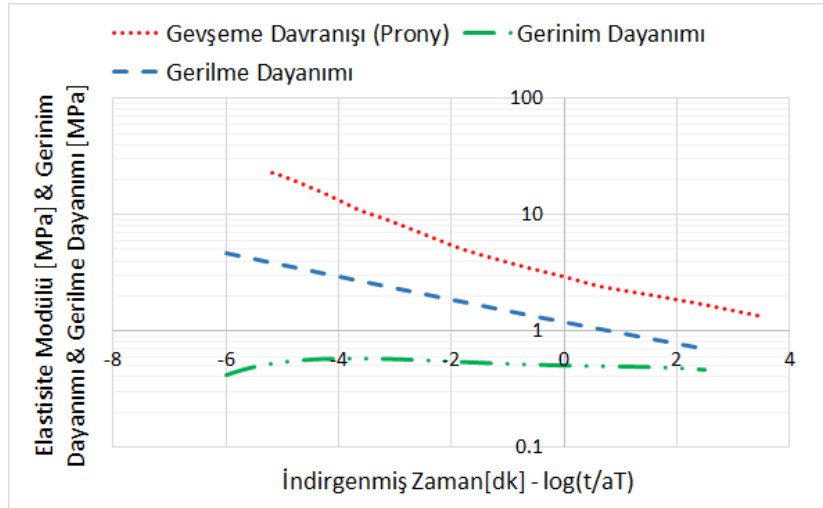
Yapısal analiz modelinde, HTPB (Hydroxyl Terminated Polybutadiene) bazlı yakıt, EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer) bazlı yalıtım ve motor gövdesi için Maraging Çelik olmak üzere 3 çeşit malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelere ait ısıl ve mekanik özellikler Tablo 2’de listelenmiştir.

Tablo 2. Malzemelerin mekanik ve ısı özellikleri.

Özellik	Maraging Çelik [7]	EPDM Bazlı Yalıtım [8]	HTPB Bazlı Yakıt [9]		Birim										
E	190000	500	1.09 (E_{∞})		MPa										
ν	0.3	0.3	0.499		-										
ρ	8000	1000	1700		kg/m ³										
α	$10.1 \cdot 10^{-6}$	$5.76 \cdot 10^{-4}$	$9.0 \cdot 10^{-5}$		mm/mm/°C										
k	<table><tr><th>k</th><th>T (K)</th></tr><tr><td>25.3</td><td>293</td></tr><tr><td>25.8</td><td>323</td></tr><tr><td>27</td><td>373</td></tr></table>		k	T (K)	25.3	293	25.8	323	27	373	0.2	0.60		W/m/K	
	k	T (K)													
	25.3	293													
	25.8	323													
27	373														
c_p	813	500	<table><tr><th>c_p</th><th>T (K)</th></tr><tr><td>895</td><td>233</td></tr><tr><td>525</td><td>273</td></tr><tr><td>380</td><td>313</td></tr><tr><td>270</td><td>343</td></tr></table>		c_p	T (K)	895	233	525	273	380	313	270	343	J/kg/K
			c_p	T (K)											
			895	233											
			525	273											
380	313														
270	343														

Not. E = Elastisite Modülü . ν = Poisson Oranı. ρ = Yoğunluk. α = Isıl Genleşme Katsayısı. k = Isı İletim Katsayısı. c_p = Özgül Isı.

Ayrıca viskoelastik katı yakıtta ait gevşeme davranışını ve yapısal dayanım limitlerini temsil eden yakıt ana eğrisi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yakıt ana eğrisi [9]

3.3. Yükler

Yakıt yapısal analizleri, şartlandırma ve ateşleme olmak üzere 2 adımda tamamlanmıştır. Şartlandırma adımında motor, gerinimsiz-gerilmesiz sıcaklık olan 331 K’den, sistemin görev yapması istenen minimum sıcaklık olan 233 K’e soğutulmuş ve bu yükleme sonucunda yakıt üzerinde oluşan gerilme ve gerinimler analiz edilmiştir.

Şartlandırma adımımda önce bağımsız bir ısı transferi modelinde ısı analiz yapılarak yakıtın en sıcak bölgesinin soğuma süresi ve yapısal model üzerindeki sıcaklığın zamana göre değişimi elde edilmiştir. Daha sonra, sıcaklık ve soğuma süresi bilgileri viskoelastik sonlu elemanlar modeline transfer edilerek yakıt üzerinde oluşan gerilme ve gerinim değerleri elde edilmiştir. Ateşleme adımımda ise, iç balistik performans analizlerinden elde edilen yanma basıncının aniden arttığı süre (t_{fem}) ve bu süreye karşılık gelen basınç değeri (P_{fem}) yakıtın yanma yüzeyine uygulanmıştır.

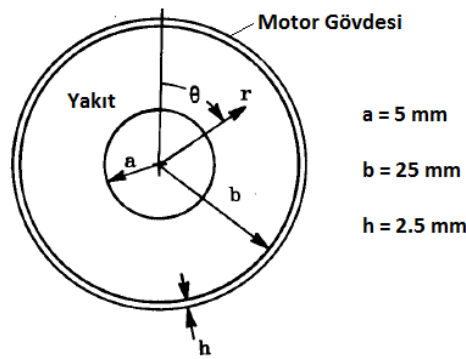
Optimizasyon sürecinde çok sayıda modelinin hazırlanabilmesi için ısı transferi ve viskoelastik analiz modelleri parametrize edilerek Python kodları oluşturulmuştur. Isı transferi analizini gerçekleştirmesi için hazırlanan Python kodu içerisinde, oluklu yakıtta ait soğuma süresini yüksek doğrulukta öngören ve cevap yüzeyi analizi sonucunda elde edilen bir denklem barındırmaktadır. Bu sayede yakıt soğuma süresinin iterasyonsuz olarak tespit edilmesi sağlanmış ve analiz çözüm süresi buna göre ayarlanmıştır.

3.4. Viskoelastik Sonlu Elemanlar Modelinin Doğrulanması

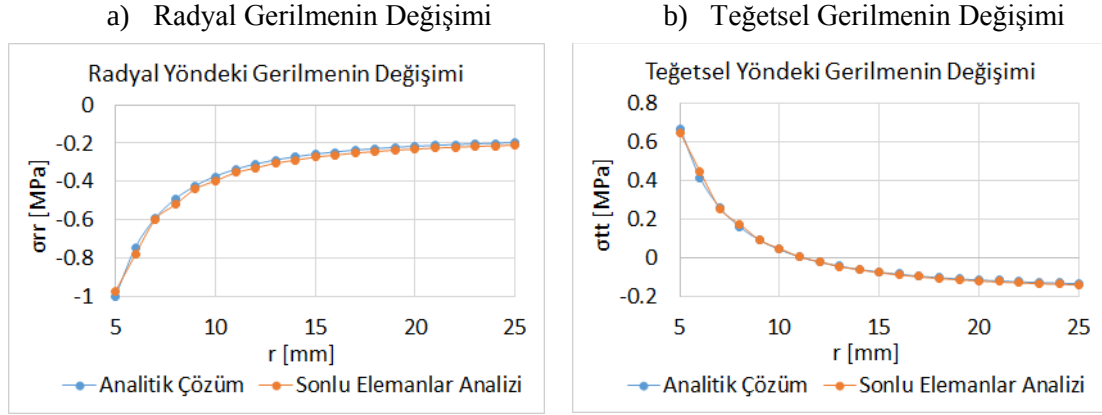
Viskoelastik sonlu elemanlar modelini, tüp kesite sahip yakıt geometrisi gibi basit geometrilere ait analitik çözümleri kullanarak doğrulamak mümkündür. Bu sebeple, özellik ve boyutları Tablo 3 ve Şekil 3'te sunulan tüp kesite sahip yakıt geometrisi; önce viskoelastik sonlu elemanlar modeli ile çözülmüş, daha sonra elde edilen sonuçlar [10] numaralı referanstan elde edilen analitik çözümler kullanılarak doğrulanmıştır (Çizelge 2).

Tablo 3. Analitik hesaplamalarda kullanılan parametreler

Parametre	Açıklama	Değeri	Birimi
p	Yanma Basıncı	1	MPa
E_p	Yakıtın Elastisite Modülü	10.261	MPa
E_c	Motor Gövdesinin Elastisite Modülü	210000	MPa
ν_p	Yakıtın Poisson Oranı	0.4	-
ν_c	Motor Gövdesinin Poisson Oranı	0.3	-



Şekil 3. Viskoelastik modelin doğrulanmasında kullanılan geometri [10]

Çizelge 2. Viskoelastik yapısal analiz modelinin doğrulanması

3.5. Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapısal analiz sonuçlarının deterministik yaklaşımla değerlendirilmesi amacıyla (1) numaralı denklem kullanılır [11].

$$MS = \frac{KDF_T \cdot Z_i}{DF \cdot Z_h} - 1 \quad (1)$$

Burada, MS , güvenlik toleransı, Z_h , sonlu elemanlar analizlerinden hesaplanan gerinim ve gerilme değerlerini, Z_i ise yakıt ana eğrisinden elde edilen dayanım değerlerini temsil etmektedir. DF tasarım çarpanıdır ve yakıtın karakterizasyon prosesinin güvenilirliği göz önüne alınarak [11] numaralı referansa uygun şekilde 1.25 olarak belirlenmiştir. KDF_T , toplam azaltma çarpanı olup yaşlanma (KDF_y), değişkenlik (KDF_d), çok eksenlilik ($KDF_ç$) ve sıkıştırılabilirlik (KDF_s) gibi sonlu elemanlar modeline dâhil edilemeyen etkilerin sonuç değerlendirmesinde göz önüne alınması amacıyla kullanılır. Toplam azaltma çarpanı, bütün bu faktörlerin çarpılması sonucunda elde edilir. Çalışmada kullanılan azaltma çarpanları, [11] numaralı referansa uygun şekilde belirlenmiştir. Viskoelastik analizler ve güvenlik toleransı değerleri zamana bağlıdır. Güvenlik toleransı eşik değeri 0.1 olarak belirlenmiştir.

4. İÇ BALİSTİK PERFORMANS ANALİZLERİ

4.1. Sıfır Boyutlu (0B) İç Balistik Performans Çözücünün Geliştirilmesi

İç balistik performans analizlerini gerçekleştirerek farklı tasarımların üretmiş olduğu basınç – zaman ve itki – zaman profillerinin hızlı ve doğru şekilde elde etmek amacıyla [12] numaralı referansta belirtilen varsayımlar uygulanarak, Matlab ortamında 0 boyutlu iç balistik çözücü hazırlanmıştır. Çözücü temel olarak kütle korunumu kanununa dayanır ve (2) – (7) arası eşitliklerin sırasıyla çözülmesiyle yüksek doğrulukta sonuçlar sunar [12]. Yanma basıncının (P_c) zamanla değişimi (2)'deki gibi hesaplanır.

$$\frac{dP_C}{dt} = \frac{1}{V_i} \left[R \cdot T_C \left(\rho_p \cdot A_b \cdot a \cdot P_C^n - \frac{P_C \cdot A_t}{c^*} \right) - P_C \frac{dV_i}{dt} \right] \quad (2)$$

Burada, P_C odası yanma basıncını, R ideal gaz sabitini, T_C yanma odası sıcaklığını, ρ_p yakıtın yoğunluğunu, A_b yakıtın yanma yüzey alanını, V_i yanmış gaz hacmini, A_t , lüle alanını, c^* karakteristik hızı, a ve n ise yanma hızı katsayısını ve yanma hızı basınç etki katsayısını temsil etmektedir. Lüle çıkış basıncı (P_e), lüle genişleme oranı (A_t/A_e) kullanılarak (3) numaralı eşitlikten elde edilir.

$$\frac{A_t}{A_e} = \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot \left(\frac{P_e}{P_C} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{P_e}{P_C} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (3)$$

Burada, γ özgül ısıların oranıdır. İtke katsayısı (C_F), (4) numaralı eşitlikten elde edilir.

$$C_F = \sqrt{\frac{2\gamma^2}{\gamma-1} \left[\frac{2}{\gamma+1} \right]^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}} \left\{ 1 - \left[\frac{P_e}{P_C} \right]^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right\}} + \frac{P_e - P_{amb}}{P_C} \cdot \frac{A_e}{A_t} \quad (4)$$

Burada, P_{amb} ortam basıncını temsil etmektedir. İtkinin (F) zamanla değişimi, toplam darbe (I_t) ve özgül itki (I_{sp}) sırasıyla (5), (6) ve (7) kullanılarak hesaplanır.

$$F = C_F \cdot P_C \cdot A_t \quad (5)$$

$$I_t = \int_0^t F \cdot dt \quad (6)$$

$$I_{sp} = \frac{c^* \cdot C_F}{g_0} \quad (7)$$

Burada, g_0 , yerçekimi ivmesidir. Çalışma kapsamında kullanılan yakıta ait karakteristik özellikler ve lüle boyutu Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. 0B iç balistik performans çözücünde kullanılan girdiler

Sembol	Açıklama	Değer	Birim
T_C	Yanma Odası Sıcaklığı	3370	K
ρ_p	Yakıtın Yoğunluğu	1700	kg/m ³
R	Gaz Sabiti	284	J/kg.K
γ	Özgül Isıların Oranı	1.17	-
c^*	Karakteristik Hız	1575	m/s
n	Yanma Oranı Basınç Etki Katsayısı	0.4	-
r_{b-ref}	1000 PSI Basıncındaki Referans Yanma Hızı	15	mm/s
A_t	Lüle Boğaz Alanı	2800	mm ²
A_e/A_t (ε)	Lüle Çıkış Alanının Lüle Boğaz Alanına Oranı	4	-

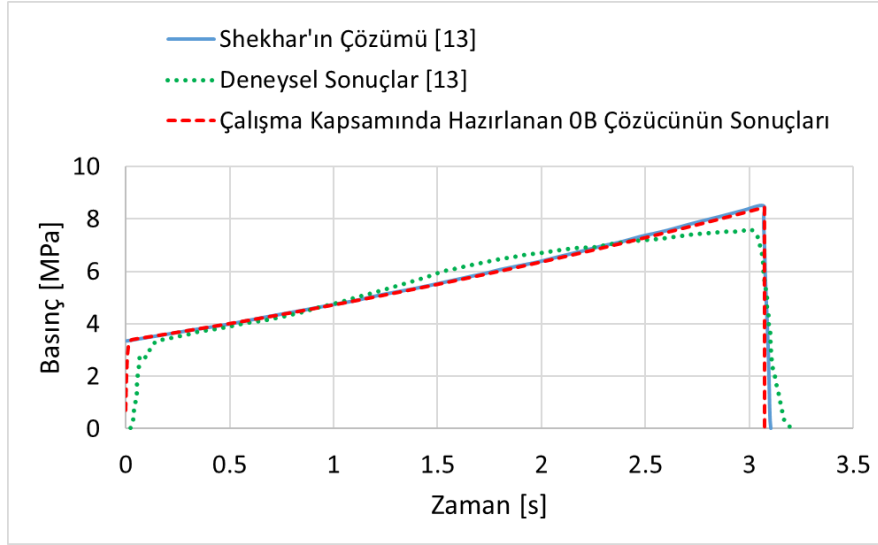
4.2. Geriye Yanma Analizleri

Yanma prosesi süresince yakıt yanma yüzey alanı ve yanmış gazların hacmi değişir. (2) numaralı denklemin çözülerek iç balistik performans analizlerinin yürütülebilmesi için bu değişimin hesaplanması gerekmektedir. Optimizasyon sürecinde çok sayıda tasarımın inceleneceği göz önünde bulundurularak, bütün olası oluklu kesit geometrilerinin geriye yanma analizlerini gerçekleştirebilen analitik çözümler geliştirilmiş, doğrulanmış ve bu sayede kapsamlı bir Matlab kodu oluşturulmuştur.

4.3. Sıfır Boyutlu (0B) İç Balistik Performans Çözücünün Doğrulanması

Shekhar, 2015 yılında yayınlanan çalışmasında, silindirik kesite sahip katı yakıtlı motor geometrisi için yapmış olduğu analitik iç balistik performans çözümünü, deneysel sonuçlar ile karşılaştırmıştır [13]. Aynı problem, bu çalışma kapsamında hazırlanan 0B iç balistik performans çözücü ile çözülerek elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te karşılaştırılmış ve böylece hazırlanan çözücü doğrulanmıştır.

Çizelge 3. 0B Çözücünün doğrulanması



Hazırlanan çözücüde erozif yanma etkileri ihmal edilmiştir; dolayısıyla bu çözücü, yakıt narinlik oranı (L/D) 5 ve 5'in altındaki sistemlerin çözümünde doğru sonuçlar sunmaktadır [14].

5. KESİT PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

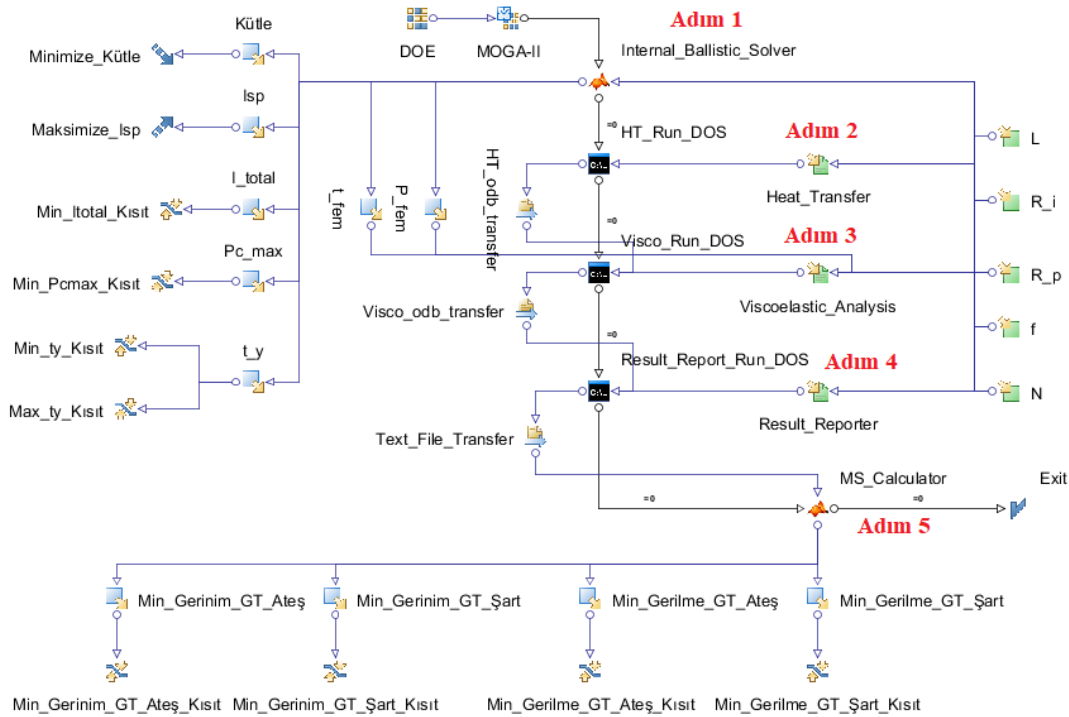
Oluklu kesite ve 200 mm sabit dış çapa sahip katı yakıt geometrisine ait kesit parametreleri, Tablo 5'te belirtilen sınırlar ve Tablo 6'da listelenen optimizasyon kısıtlarına uygun olarak maksimum özgül itki ve toplam darbeyi minimum yakıt kütlesiyle sağlayacak şekilde optimize edilmiştir. Süreç Mode Frontier yazılımında, Şekil 4'de sunulan akış şeması uygulanarak 5 adımda tamamlanmıştır.

Tablo 5. Optimizasyon değişkenlerine ait sınırlar

Sembol	Alt Sınır	Üst Sınır	Hassasiyet	Birim
$R_{iç} (R_i)$	50	65	0.5	mm
$R_{uç-merkez} (R_p)$	70	85	0.5	mm
$R_{uç} (f)$	2.5	7.5	0.25	mm
N	3	6	1	-
L	300	500	10	mm

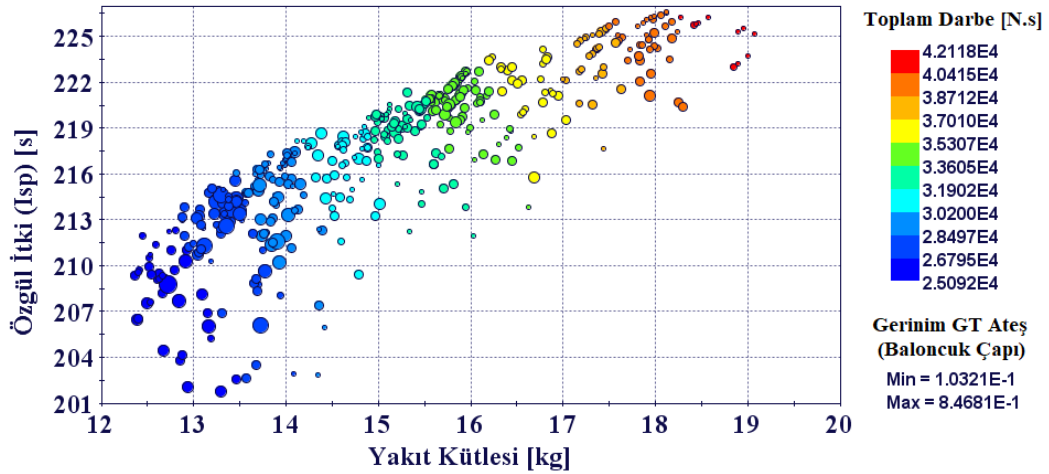
Tablo 6. Optimizasyon kısıtlarına ait sınırlar

Sembol	Açıklama	Alt Sınır	Üst Sınır	Birim
I_t	Toplam darbe	25000	-	N.s
P_{max}	Yanma süresince karşılaşılan en yüksek basınç değeri	2	-	MPa
t_y	Yanma süresi	5	6	s
MS	Güvenlik toleransı değerleri	0.1	-	-

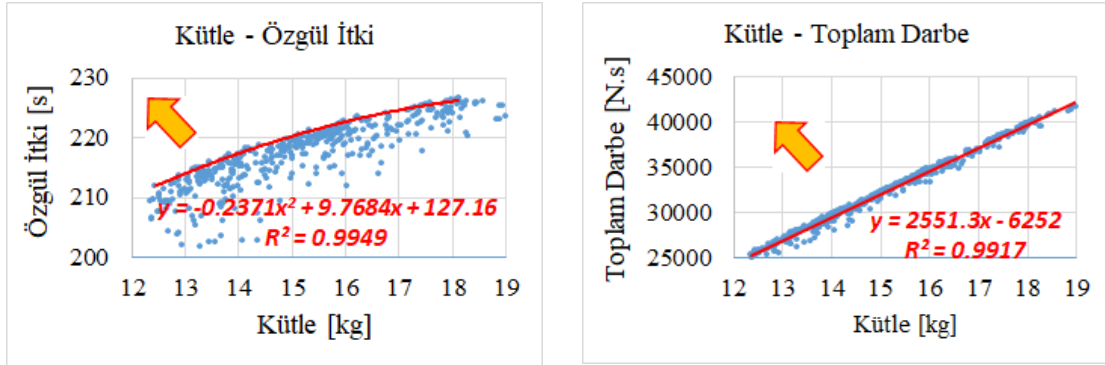
**Şekil 4.** Optimizasyon sürecine ait akış şeması

Optimizasyon süreci sonunda, bütün kısıtları sağlayan çözümlere ait sonuç grafiği Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada, baloncukların rengi toplam darbeye, çapları ise ateşleme adımı sonucunda hesaplanan gerinim güvenlik toleransına göre değişmektedir.

Sonuçlar incelendiğinde, daha yüksek toplam darbe ve özgül itki elde etmek için daha fazla yakıt kütesine ihtiyaç duyulduğu ve aynı yakıt kütesine sahip daha düşük özgül itki ve toplam darbeye sahip tasarımların gerekenden çok daha yüksek güvenlik toleransı değerine sahip olduğu gözlenmiştir. Daha fazla değerlendirme yapabilmek amacıyla, Şekil 5, iki alt grafiğe bölünerek, optimizasyon kısıtları dahilinde belirli bir kütleyle sahip yakıttan elde edilebilecek maksimum özgül itki ve toplam darbe miktarını tahmin eden (9) ve (10) numaralı denklemler elde edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 5. Optimizasyon sonuçlarını özetleyen grafik



Şekil 6. Optimizasyon sonuçlarını özetleyen grafik

Bu şekilde oklar, optimum tasarımın yönünü işaret etmektedir. Yanma ve yapısal dayanım özellikleri daha iyi olan bir sistemde, (8) ve (9) numaralı denklemlerle ifade edilen optimum tasarım sınırları yönü bu oklar yönünde ötelenecektir.

$$I_{sp \max} = -0.2371 \cdot m_p^2 + 9.7684 \cdot m_p + 127.16 \quad (8)$$

$$I_{t \max} = 2551.3 \cdot m_p + 6252 \quad (9)$$

6. SONUÇ

Çalışmada, oluklu kesite sahip katı yakıtlı roket motoru geometrisi, iç balistik performans ve yapısal analiz disiplinlerinin bağlaşıklık olarak kurgulanmasıyla optimize edilmiştir. Çözüm doğruluğundan ödün vermeksizin çok sayıda iç balistik performans ve yapısal analizi kısa sürede gerçekleştirebilmek için çeşitli varsayımlar yapılarak bir sistematik oluşturulmuştur. Bu sayede, analiz edilen yakıt türü için belirli bir yakıt kütesinden elde edilebilecek maksimum toplam darbe ve özgül itki miktarı kısa süre içerisinde yüksek doğrulukta elde edilmiştir. Böylece, daha yüksek verime sahip katı yakıtlı roket motorlarının daha kısa sürede tasarlanmasının önü açılmıştır.

7. KAYNAKÇA

- [1] Ricciardi, A. (1992), Generalized Geometric Analysis of Right Circular Cylindrical Star Perforated and Tapered Grains, *Journal of Propulsion and Power*, 8(1), 51-58.
- [2] Nisar, K. ve Guozhu, L. (2008), A Hybrid Approach for Design Optimization of Wagon Wheel Grain for SRM, 44th Joint Propulsion Conference and Exhibit.
- [3] Nisar, K., Guozhu, L., & Zeeshan, Q. Ricciardi, A. (2008), A Hybrid Optimization Approach for SRM FINOCYL Grain Design, *Chinese Journal of Aeronautics*, 21(6), 481-487.
- [4] Heller, R. A. ve Singh, M. P. (1983), Thermal Storage Life of Solid-Propellant Motors, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 20(2), 144-149.
- [5] Zibdeh, H. S. ve Heller, R. A. (1989), Rocket Motor Service Life Calculations Based on the First-Passage Method, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 26(4), 279-284.
- [6] Yıldırım, H. C. ve Özüpek, Ş. (2011), Structural Assessment of a Solid Propellant Rocket Motor: Effects of Aging and Damage, *Aerospace Science and Technology*, 15(8), 635-641.
- [7] Url-1 <https://en.wikipedia.org/wiki/Maraging_steel>, erişim tarihi 16.04.2016.
- [8] Url-2 <<http://www.makeitfrom.com/material-properties/Ethylene-Propylene-Diene-RubberEPDM-EPT/>>, erişim tarihi 16.04.2016.
- [9] Sutton, G. P., ve Biblarz, O. (2001), *Rocket Propulsion Elements*, John Wiley and Sons. New York, ABD.
- [10] NASA. (1973). *Solid Propellant Grain Structural Analysis* (NASA SP-8073).
- [11] AGARD. (1997). *Structural Assessment of Solid Propellant Grains* (AGARD-AR-350).
- [12] Açık, S. (2010), *Internal Ballistic Design Optimization of a Solid Rocket Motor* (M.Sc. Thesis), Middle East Technical University, Department of Mechanical Engineering, Ankara.
- [13] Shekhar, H. (2015), Effects of Burning Rate Index on the Pressure Time Profile of Progressive Burning Tubular Rocket Propellant Configurations, *Central European Journal of Energetic Materials*, 12(2), 347-357.
- [14] Sheikholeslam, M. R. Z., Kazemi, D., ve Amiri, H. (2011), Experimental Analysis of the Influence of Length to Diameter Ratio on Erosive Burning in a Solid Tubular Propellant Grain, *Applied Mechanics and Materials*, 3394-3399.

BİR GEMİ İZİNDE HELİKOPTER UÇUŞ BENZETİMİ VE PİLOT PERFORMANSLARI

Erkan Abdulhamitbilal ^(a), Önder Erdoğan ^(a), Necdet Ünal Elbeyli ^(a)

^(a) Heksagon Studio Mühendislik ve Tasarım A.Ş., Taysad Organize Sanayi Bölgesi
1.Cadde 15.Yol No:7 Şekerpınar, Gebze, KOCAELİ,
{erkan.abdulhamitbilal, onder.erdogan, unal.elbeyli}@hexagonstudio.com.tr

ÖZ

Bu çalışma, gemi helikopter hareketlerine yönelik limitlerin belirlenmesi kapsamında gemi hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizi, pilot ve helikopter uçuş dinamiğinin modellenmesi, ve kullanım kolaylıkları analizinin kullanıldığı kapsamlı bir gemi izinde helikopter uçuş benzetimi analiz sürecini ele almaktadır. Ele alınan helikopter gemi çifti için analiz çıktıları GHHS ve GAPES haritalarıdır.

Anahtar Kelimeler: Gemi HAD analizleri, GHHS (SHOL), GAPES (DIPES), Yaklaşım manevraları, Pilot modeli, AH-1 Cobra, Helikopter simülasyonu, Kullanım kolaylıkları.

HELICOPTER FLIGHT SIMULATION IN A SHIP WAKE AND PILOT PERFORMANCES

ABSTRACT

This study is a coverage of ship computational fluid dynamics analysis, pilot and helicopter flight dynamics modeling, and handling qualities analysis to perform comprehensive simulation analysis of a helicopter in a ship wake. Result of the analysis is SHOL and DIPES maps for considered helicopter-hip models.

Keywords: AH-1 Cobra, Helicopter simulation, Approach maneuvers, DIPES (GAPES), SHOL (GHHS), Ship CFD analyses, Pilot model, Handling qualities.

1. GİRİŞ

Özellikle yüzer veya sabit deniz platformlarına yönelik iniş ve kalkış harekâtı yapacak döner kanatlı hava araçlarının güvenli bir şekilde yanaşması veya ayrılması için ihtiyaç duydukları güvenli bölgenin tanımlamasına ilişkin oldukça karmaşık ve hassas matematik

modellemeler gerekmektedir. Rüzgârın hızı ve yönü, iniş veya kalkış yapılacak platformun geometrisi, platformun yüzer tip olması durumunda yönü ve hızı oluşturulan bu modellerin kritik parametrelerini teşkil ediyor. Platformun hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelinin oluşturulması ile farklı rüzgâr hızları ve yönleri dikkate alınarak akışkanlar dinamiği analizlerinin yapılması çalışmanın bir basamağını oluşturuyor. Paralelinde oluşturulan helikopter uçuş dinamik modeli ve pilot refleks modeli kullanılarak helikopter uçuş manevraları için gerçekleştirilen benzetimler ise sürecin diğer önemli basamağıdır. Bu iki çalışmanın tümleşik çıktıları ise Gemi Helikopter Harekat Sınırları (GHHS) ve Güverte Arayüz Pilot Efor Skalası (GAPES) haritalarıdır. Elde edilen haritalar, önceden tanımlı deniz ve hava platformları için rüzgârın hızını ve yönünü dikkate alarak, pilotun refleks davranışını da bir parametre olarak değerlendirerek, belirli yaklaşma ve uzaklaşma manevraları için planlanan iniş/kalkış harekâtının yapılıp yapılamayacağına ilişkin pilota ve gemideki güverte subayına bilgi vermesi bakımından hayati önem taşır. Olayı betimlemek açısından Şekil 1’de bir helikopterin gemi güvertesine inişi verilmiştir.

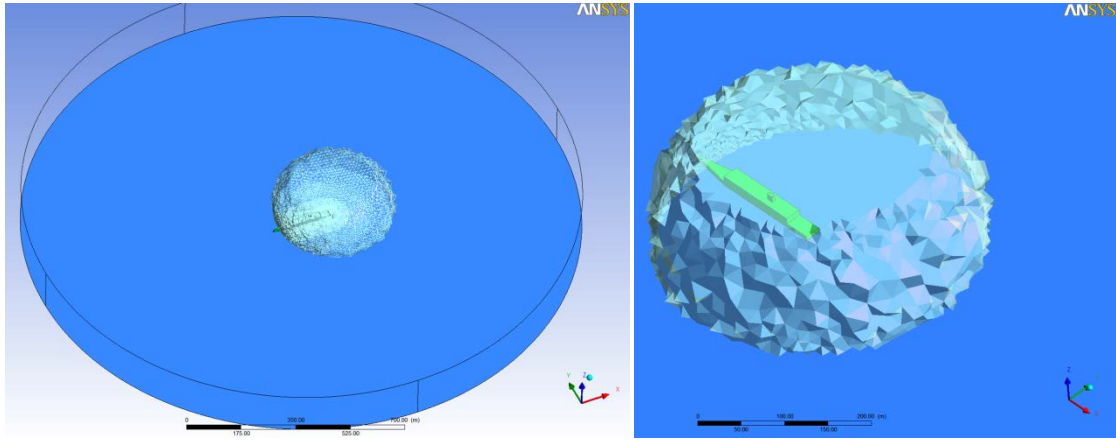


Şekil 1. AH-1 Cobra helikopterin bir askeri gemiye inişi

Bu analizleri gerçekleştirmek üzere öncelikle helikopter uçuş dinamiğini modelleme ile çalışmaya başlanır. Bu işlemin nasıl yapılacağı [1,2]’de sunulmuştur. Modellenen helikopter uçuş dinamiklerinin doğruluğunu kanıtlayarak uçuş simülasyonlarına başlanır. Bu çalışmada seçilen helikopter modelinin uçuş testleri [3,4]’te mevcuttur. Daha sonra belirlenen gemi için hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri değişik rüzgar yönü ve hızları için gerçekleştirilir. Gemi ve helikopter analizleri birleştirilerek, helikopterin gemi iniş benzetimleri ve analizleri [5,6]’ya göre gerçekleştirilir. Bu aşamada GHHS haritaları elde edilir. Pilot eforunu hesaplamak için kullanım kolaylıkları analizleri [5,7]’ye göre gerçekleştirilir ve pilot matematiksel modeli [8]’den faydalanılır. Bu alanda literatürde yapılan bazı çalışmalar [9]’da verilmiştir.

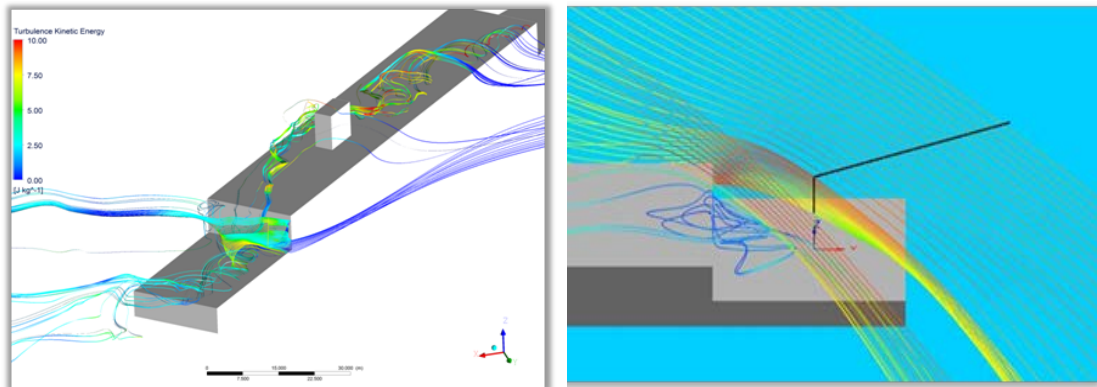
2. GEMİ HESAPLAMALI AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ ANALİZİ

SFS2 (Simple Frigate Ship 2) basit fırkateyn gemi 2 modeli Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri yetenek geliştirme ve doğrulama çalışmaları için uygun görülmüştür. Analizler Ansys-Fluent kullanılarak yapılmış ve geniş mavi dairesel bölge hesaplama alanı olarak Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu geniş bölgede rüzgar açık denizlerde estiğine benzer şekilde modellenmiştir.



Şekil 2. SFS2 Gemi modeli için HAD sonuçları

Gemi etrafındaki bulut/küme bölgesi ise açık denizdeki rüzgâr akımının $\pm 180^\circ$ gemi etrafında ve iz bölgesindeki rüzgâr değişimlerini kestirmek üzere daha sıkı bir ağ örgüsü (mesh) Şekil 2’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Bu bölgede uygun tanımlanan her bir düğüm noktasında (yani X, Y, Z noktalarında) analizler sonucunda $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ rüzgâr yönleri ve 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 kts rüzgâr hızlarındaki gemi izindeki hava akımının düğüm noktalarındaki üç asal eksen üzerindeki U, V, W hız bileşenleri hesaplanmıştır. Bu analizler yaklaşık üç ay sürmüştür. Eğer hava aracının konumu herhangi bir düğüm noktasında değil ise, bulunduğu konuma en yakın altı nokta hesaplanır ve lineer interpolasyon ile olası X, Y, Z konumunda U, V, W hızları doğrusal yaklaşım ile hesaplanır.



Şekil 3. SFS2 Gemi modeli için HAD sonuçları

Rüzgârın sancaktan 60° ve 30 kts ile estiği hal için yapılan analizlerden elde edilen sonuçlardan turbulans kinetik enerjisi (solda) ve 10 kts ile gemi eksenine göre 45° esen rüzgârın altında hava akımı çizgileri (sağda) Şekil 3'te verilmiştir.

3. HELİKOPTER UÇUŞ DİNAMİĞİNİN MODELLENMESİ

Bu çalışmada AH-1 Cobra helikopteri ele alınacaktır. Uçuş dinamiği modeli [1, 2]'ye bağlı kalarak tanımlanacak ve uçuş benzetimlerinde ve gemiye yanaşma manevralarında hava aracı hareketlerini modelleyecektir. Bir sonraki başlık altında doğrusal olmayan helikopter uçuş dinamiği yüzeysel olarak tariflenecek. Detaylı anlatım için [1, 2]'ye ayrıca bakılabilir. Uçuş dinamiği modelinin doğrulanması ise [3, 4]'te yer alan uçuş testlerinden elde edilen veriler ile yapılmıştır.

3.1. Doğrusal olmayan helikopter uçuş dinamiği modeli

Bir hava aracının hareketini tanımlayan geçiş ve yönelme dinamik denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanır [7].

$$\dot{U}_B = -\Omega_B U_B + \frac{1}{m} F \quad (1)$$

$$I \dot{\omega}_B + \Omega_B I U_B = M \quad (2)$$

burada I atalet kütle matrisi (kg-m^2), $U_B = [u_B \ v_B \ w_B]^T$ gövde eksen takımındaki çizgisel hızlar (m/s), $\omega_B = [p_B \ q_B \ r_B]^T$ gövde eksen takımındaki yuvarlanma, yunuslama ve sapma açısal hızlar (rad/s), m hava aracının kütlesi (kg), hava aracının ağırlık merkezinde konumlanmış gövde eksen takımına etki eden toplam kuvvet bileşenleri $F = [F_X \ F_Y \ F_Z]^T$ (N), yine hava aracının ağırlık merkezinde konumlanmış gövde eksen takımına etki eden toplam moment bileşenleri $M = [M_X \ M_Y \ M_Z]^T$ (Nm), ve Ω_B köşegen elemanları sıfır ve diğer elemanları açısal hızlardan oluşan simetrik 3×3 bir matristir. Helikopterin ağırlık merkezinde konumlanmış gövde eksen takımında tanımlı toplam kuvvet ve toplam moment vektörleri aşağıdaki bağıntıdan elde edilebilir:

$$F = F_{AR}(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) + F_{KR}(\delta_P) + F_{YD} + F_{DK} + F_G + F_{TA} + F_D \quad (3)$$

$$M = M_{AR}(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) + M_{KR}(\delta_P) + M_{YD} + M_{DK} + M_G + M_D \quad (4)$$

Yukarıdaki indisler sırasıyla AR ana rotor, KR kuyruk rotor, YD yatay dengeleyici, DK dikey kanat, G gövde, TA toplam ağırlık, ve D diğer olarak tanımlanmıştır. Ayrıca δ_C müşterek (collective), δ_{1C} yanlamasına döngüsel (lateral cyclic), δ_{1S} ilerlemesine döngüsel (longitudinal cyclic), ve δ_P pedal kontrol girişleridir.

3.1.1. Ana rotor

Yukarıda tanımlanan helikopter kuvvet (3) ve moment (4) ifadelerinde ana rotora ait bileşenler aşağıdaki gibi hesaplanır [2]:

$$\begin{bmatrix} F_X(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ F_Y(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ F_Z(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \end{bmatrix}_{AR} = \begin{bmatrix} -ci_s & 0 & si_s \\ 0 & 1 & 0 \\ -si_s & 0 & -si_s \end{bmatrix} \rho \pi R_{AR}^2 (\Omega_{AR} R_{AR})^2 \begin{bmatrix} c_{H,H}(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ c_{Y,H}(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ c_T(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \end{bmatrix}_{AR} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} M_X(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ M_Y(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \\ M_Z(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \end{bmatrix}_{AR} = \begin{bmatrix} -ci_s & 0 & si_s \\ 0 & 1 & 0 \\ -si_s & 0 & -si_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_H(\delta_{1C}) \\ M_H(\delta_{1C}) \\ Q(\delta_C, \delta_{1S}, \delta_{1C}) \end{bmatrix}_{AR} + \Delta_{AR} \begin{bmatrix} F_X(\dots) \\ F_Y(\dots) \\ F_Z(\dots) \end{bmatrix}_{AR} \quad (6)$$

Yukarıda i_s ana rotor şaft eğim açısı (rad), $c_{H,H}$ rotor göbeğindeki sürüklenme aerodinamik katsayısı, $c_{Y,H}$ rotor göbeğindeki yanal kuvvet katsayısı, c_T itki kuvvet katsayısı, L_H rotor göbeğindeki yuvarlanma momenti, M_H rotor göbeğindeki yunuslama momenti, L_H rotorun torku, Ω_{AR} açısal hızı, R_{AR} ana rotor yarıçapı, ρ hava yoğunluğu,

$$\Delta_i = \begin{bmatrix} 0 & WL & -BL \\ -WL & 0 & STA \\ BL & -STA & 0 \end{bmatrix}_i \quad (7)$$

Yukarıda $i = AR, KR, YD, DK, G...$ indislerine denk gelmektedir. WL ilgili bileşenin referans noktasından z eksenindeki konumu, BL ise y eksenindeki konumu, ve STA da x eksenindeki konumudur.

3.1.2. Kuyruk rotoru

Kuyruk rotorun toplam kuvvet ve moment değerleri ise şöyle tanımlanır [2]:

$$\begin{bmatrix} F_X(\delta_P) \\ F_Y(\delta_P) \\ F_Z(\delta_P) \end{bmatrix}_{KR} = \begin{bmatrix} -c\beta_{KR} & -s\beta_{KR} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -s\beta_{KR} & c\beta_{KR} & 0 \end{bmatrix} \rho \pi R_{KR}^2 (\Omega_{KR} R_{KR})^2 \begin{bmatrix} c_{H,W}(\delta_P) \\ c_{Y,W}(\delta_P) \\ c_T(\delta_P) \end{bmatrix}_{KR} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} M_X(\delta_P) \\ M_Y(\delta_P) \\ M_Z(\delta_P) \end{bmatrix}_{KR} = \rho \pi R_{KR}^3 (\Omega_{KR} R_{KR})^2 \begin{bmatrix} 0 \\ c_Q(\delta_P) \\ 0 \end{bmatrix}_{KR} + \Delta_{KR} \begin{bmatrix} F_X(\delta_P) \\ F_Y(\delta_P) \\ F_Z(\delta_P) \end{bmatrix}_{KR} \quad (9)$$

Yukarıda β_{KR} yana kayma açısıdır.

3.1.3. Yatay dengeleyici ve dikey kanat

Yatay dengeleyici kuvvet ve moment değerleri şöyle yazılır [2]:

$$\begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}_j = \frac{1}{2} \rho V_j^2 A_j \eta_j \begin{bmatrix} c\beta_j c\alpha_j & 0 & -s\alpha_j \\ s\beta_j & 0 & 0 \\ c\beta_j s\alpha_j & 0 & c\alpha_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -c_D \\ 0 \\ -c_L \end{bmatrix}_j \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} M_X \\ M_Y \\ M_Z \end{bmatrix}_j = \Delta_j \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}_j \quad (11)$$

Yukarıda $j = YD, DK$ 'dir. Ayrıca, α_j hücum açısı ve β_j yana kayma açılarıdır.

3.1.4. Gövde

Gövde kuvvet ve moment değerleri şöyle yazılır [2]:

$$\begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}_G = \begin{bmatrix} c\beta_G c\alpha_G & -s\beta_G c\alpha_G & -s\alpha_G \\ s\beta_G & c\beta_G & 0 \\ c\beta_G s\alpha_G & -s\beta_G s\alpha_G & c\alpha_G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -D \\ Y \\ -L \end{bmatrix}_G \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} M_X \\ M_Y \\ M_Z \end{bmatrix}_G = \begin{bmatrix} c\beta_G c\alpha_G & -s\beta_G c\alpha_G & -s\alpha_G \\ s\beta_G & c\beta_G & 0 \\ c\beta_G s\alpha_G & -s\beta_G s\alpha_G & c\alpha_G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ell \\ M \\ N \end{bmatrix}_G + \Delta_G \begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}_G \quad (13)$$

Yukarıda β_G gövdenin yana kayma açısı, ve α_G gövde hücum açısıdır.

3.1.5. Toplam ağırlık

Toplam ağırlık şöyle yazılır:

$$\begin{bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}_{TA} = mg \begin{bmatrix} -s\theta_B \\ c\theta_B s\phi_B \\ c\theta_B c\phi_B \end{bmatrix}_{TA} \quad (14)$$

İniş takımı vb. sistemlerin etkileri de kuvvetler için benzer şekilde F_D 'ye, momentler M_D 'ye eklenir.

3.2. Uçuş dinamiği modelin doğrulanması

Yukarıda tanımlanan helikopter uçuş dinamiği modelinin doğrulanması ise yapılan uçuş testlerinden elde edilen veriler ile yapılmıştır. Matematiksel model, [1, 2]'de ifade edildiği gibi ilerleme oranının (advanced ratio) $\mu < 0.3$ olması durumunda uygun yakınsamakta fakat $\mu > 0.3$ durumu için model uygun yakınsamamaktadır.

Hava aracının test verileri için sabit uçuş irtifa performansı şöyledir [3]:

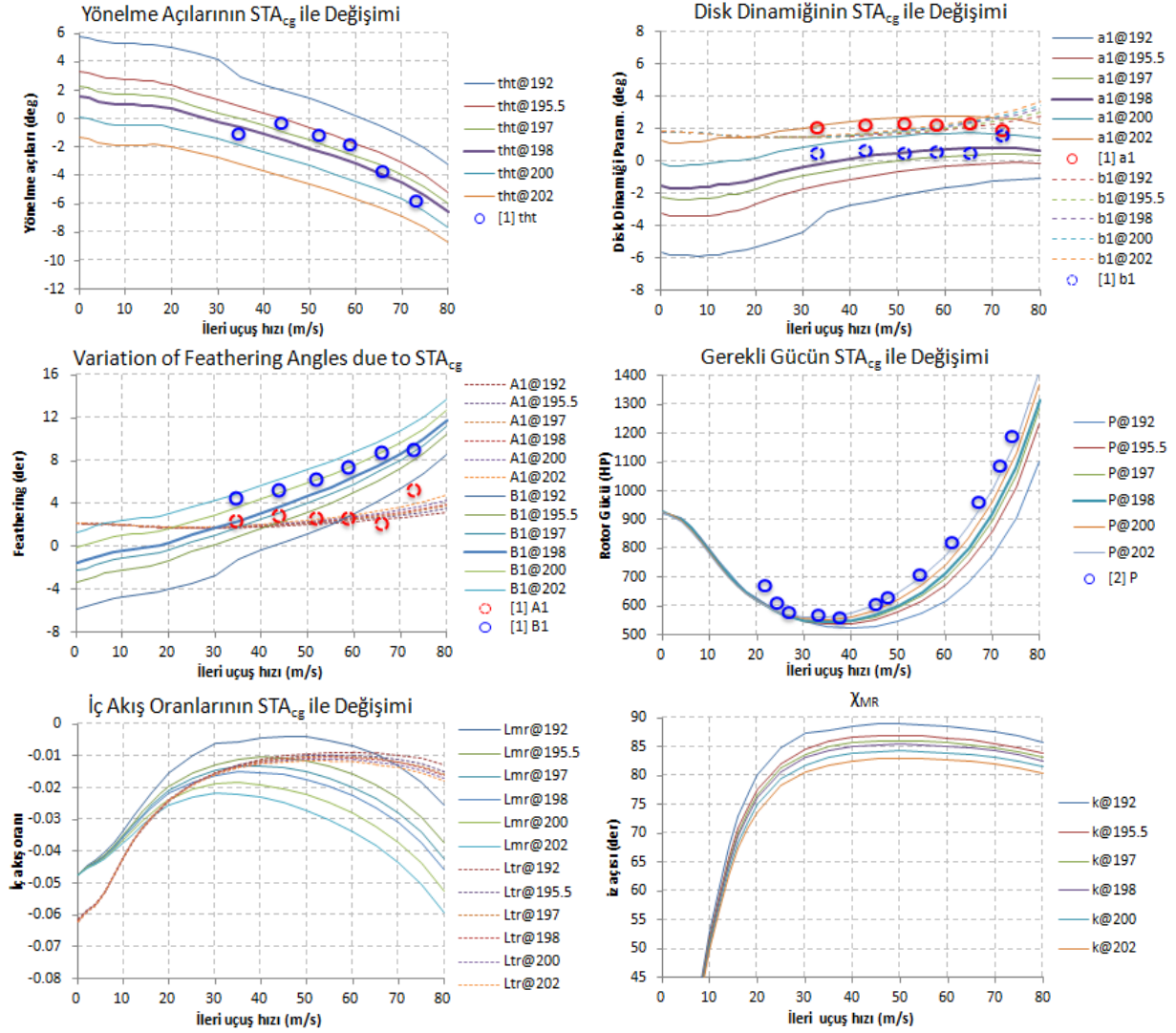
Rotor rpm	: 325
Yoğunluk irtifası	: 4310 ft
CT (taşıma katsayısı)	: 48.80×10^{-4}
Toplam ağırlık	: 8650 lb
C.G. pozisyonu	: 192.0 inc (FWD)

Hava aracına ait ve analizlerde gerekli bazı parametreler ise şöyledir [4]:

Palanın ağırlık ataleti	: 110.0 lbf
Rotor pitch-flap etkileşimi, δ_3	: 0°
Flaplama ataleti, I_β	: 1499.704 slug-ft ² /pal
Rotor pala ön-eğimi, α_0	: 2.75°
Lock numarası, γ	: 5.078 (SLSTD)

Helikopter uçuş dinamiği modelinin 4310 ft uçuş yoğunluk irtifasında değişik STA_{cg} değerleri için yapılan trim analizinden elde edilen sonuçlar ve yukarıda verilen bazı uçuş

halleri için [3, 4]'de yapılan uçuş testlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak aşağıda Şekil 4'te verilmiştir. Görüleceği üzere AH-1G helikopter modeli uçuş testleri ile uyushmaktadır.



Şekil 4. Doğrusal olmayan AH-1G helikopter uçuş dinamiği ve uçuş test sonuçlarının karşılaştırılması

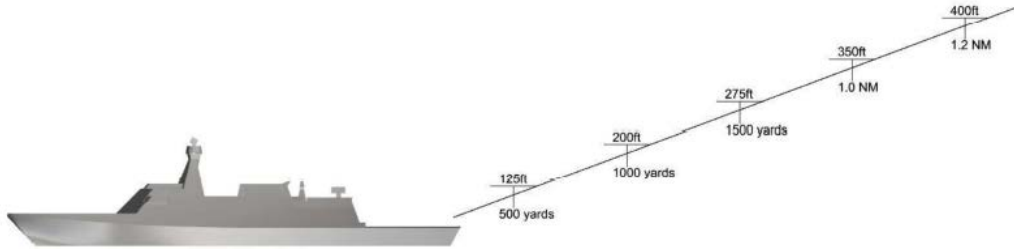
4. GEMİ HELİKOPTER HAREKATI

Açık denizde seyir halindeki iniş pistli bir geminin helikopter operasyonu gerçekleştirmesi rüzgar hızı ve gemiye göre izafi rüzgar yönüne hayati derecede bağlıdır. Bu tarz operasyonlarda geminin rotasından veya görevinden taviz vermeden hizmetine devam etmesi tercih edilir. Hali hazırda bu sınırları belirleyen haritalar bazı gemi ve

helikopter çiftleri için mevcut değildir. Bu eksiği kapatmak ve hareket kabiliyetini arttırmak üzere bu çalışmada gemi helikopter hareketları üzerine değinilmiş ve sonuç olarak GHHS haritaları hesaplanmıştır.

4.1. İniş manevrasının tanımlanması

NATO standartlarında [5] Avrupa kıtası ülkelerin, örneğin İngiltere ve Hollanda Kraliyet Donanmaları altı standart yaklaşma-iniş ve kalkış manevrası tanımlamışlardır. Bu manevralardan 3-4 aktif olarak kullanılmaktadır. Türk Deniz Kuvvetleri helikopter operasyonu icra edebilen gemilerine ise arkadan yanaşma manevrasını kullanmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada yaklaşma manevrası ve iniş usulü Türk Deniz Kuvvetleri'nin uyguladığı prosedüre benzer olarak tanımlanacaktır. Yaklaşma modeli Şekil 5'te resmedilmiştir. Hava aracı gemiye arkadan gemi eksenine boyunca yaklaşır, iniş bölgesi üzerine ve hangar yüksekliğinde askıda kalır, ve iniş gerçekleştirir.



Şekil 5. Helikopterin gemiye arkadan yaklaşma manevrası

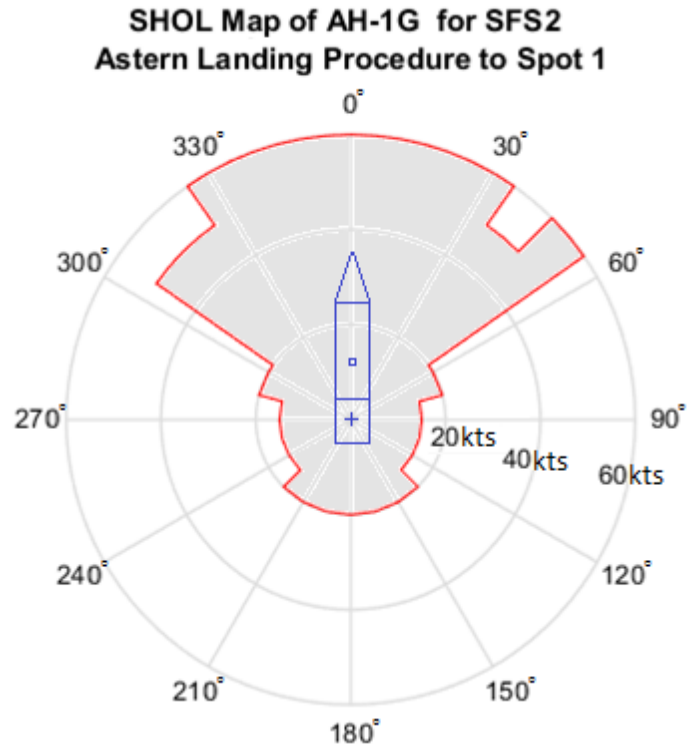
Kalkış manevrasında ise, hava aracı havalanır ve hangar tavan hizasında askı hali sağlanır. Rüzgar yönüne doğru gemi eksenine ile 30° yapacak şekilde dönülür ve irtifa kazanılarak uçuşa geçilir.

4.2. Gemi Helikopter Harekât Sınırlarının (GHHS) belirlenmesi

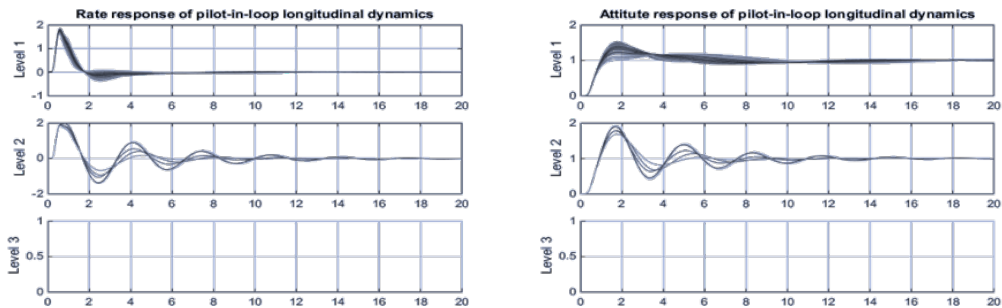
Bu aşamada SFS2 gemi modelinden değişik rüzgar hızı ve yönleri için yapılan HAD analizleri ve dinamik uçuş modeli kullanılarak yaklaşma ve iniş manevrası gerçekleştirilerek bu harita belirlenir. Yukarıda tanımlanan yaklaşma ve iniş manevrası boyunca hava aracının uçuşu benzetilir. Kontrol girişleri, yönelme açıları ve açısal hızları, ve güç gereksinimi manevra boyunca kabul edilebilir limitler dahilinde kalıyor ise analiz edilen rüzgar yönü ve hızı için güvenli iniş alanı işaretlenir. Şekil 6'da $\pm 180^\circ$ gemiye göre izafi rüzgar yönü ve 10-60 kts rüzgar hızı aralığında yapılan analiz sonuçlarından elde edilen güvenli iniş bölgesi kırmızı çizgi içinde kalan gri alandır. Bu çalışmada ele alınan AH-1 Cobra Helikopter Modeli ve SFS2 Gemi Modeli için arkadan yanaşma manevrası için bu grafik GHHS haritasını göstermektedir.

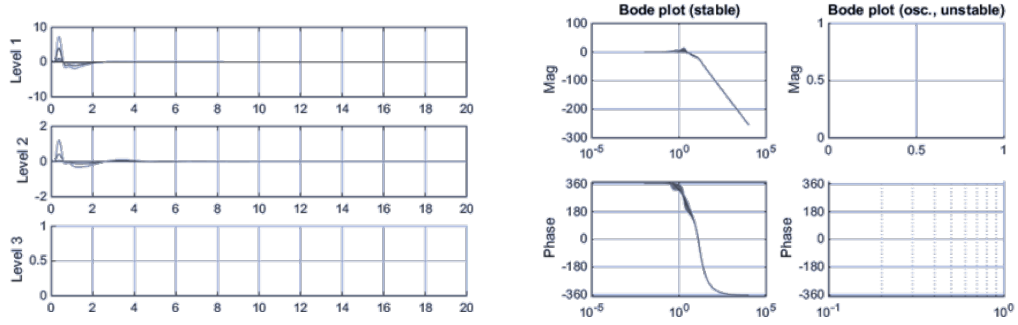
5. PİLOT PERFORMANSI

Rüzgarın yönü ve hızına bağlı olarak iniş-kalkış manevraları esnasında pilotlara gelen ekstra ve sürekli salınımlı kontrol giriş eforu pilot performansını çok etkilemektedir. Pilot performansı değerlendirmek üzere kullanım kolaylıkları analizinden yola çıkarak pilotun ilgili manevra için olası efor değerleri hesaplanacaktır. Bu hesaplamanın sonucu ise GAPES haritasıdır.

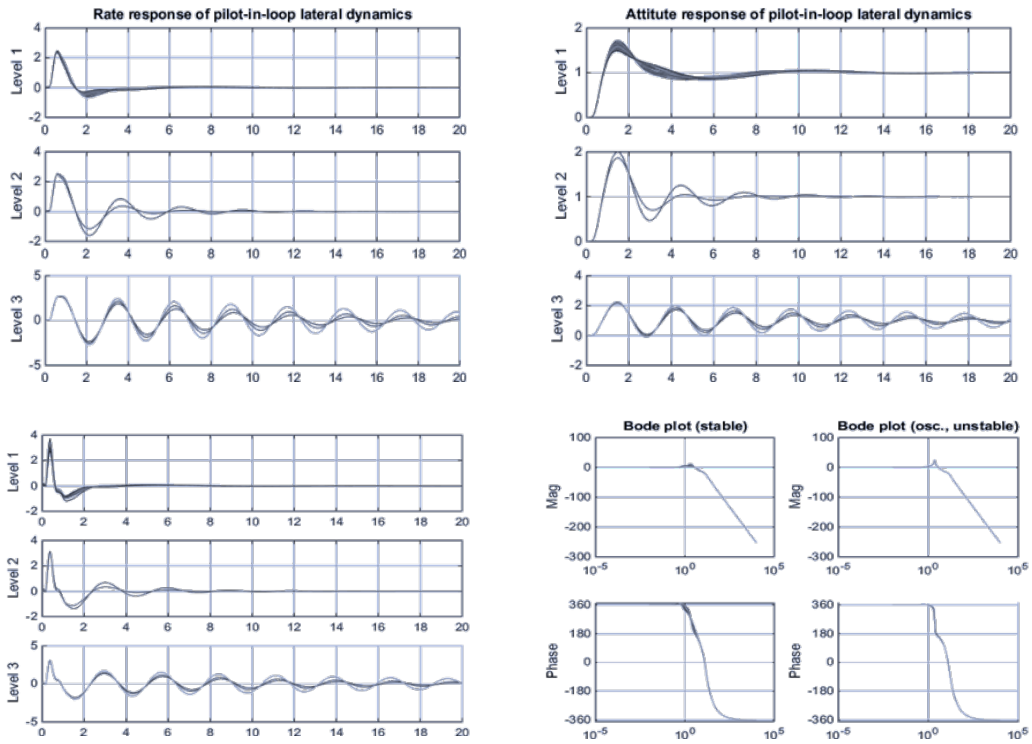


Şekil 6. AH-1G helikopter modelinin SFS2 gemi modeline arkadan yaklaşma için GHHS (SHOL) haritası





Şekil 7. Bir manevra için ileri yönlü uçuş dinamiğinin kullanım kolaylıkları analizi



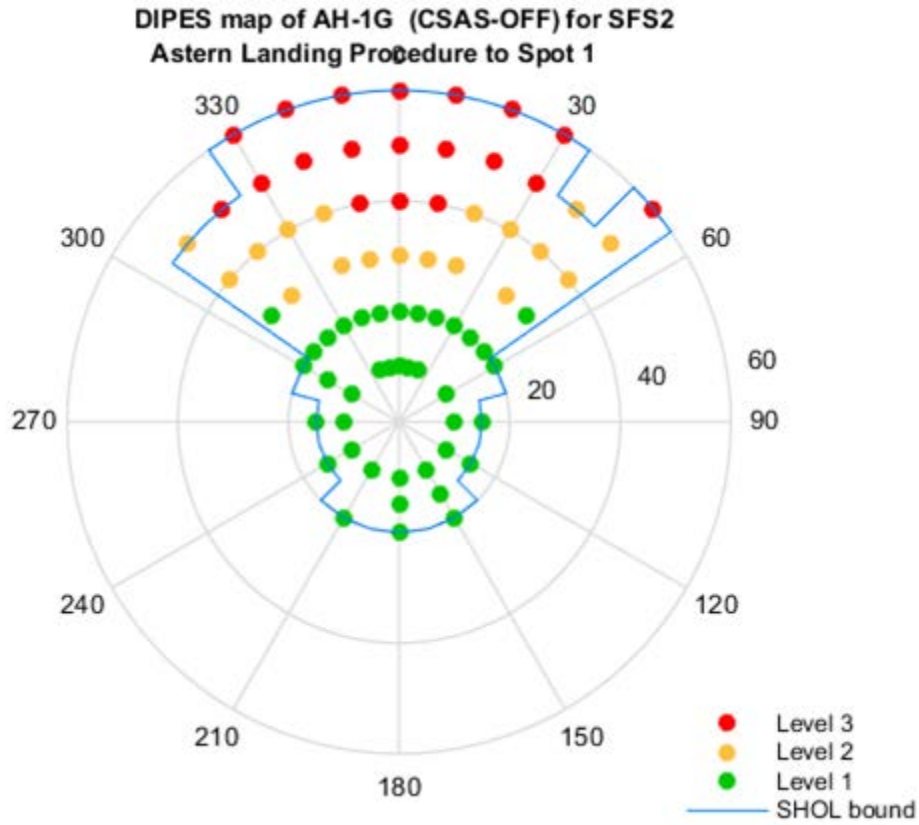
Şekil 8. Bir manevra için yanal yönlü uçuş dinamiğinin kullanım kolaylıkları analizi

5.1. Kullanım kolaylıkları analizi

Kullanım kolaylıkları (handling qualities) analizi [5, 7]'de gösterildiği gibi yapılmıştır. Tüm değerlendirmeler ileri yönlü ve yanal yönlü uçuş dinamikleri için gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada analizlerde yapısal pilot modeli [8] kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar birleştirilerek analizde elde edilen en yüksek seviye ilgili manevranın seviyesi olarak işaretlenmiştir. Bu analizler her bir rüzgar yönü ve hızı için tekrarlanmıştır. Bir uçuş manevrası için ileri yönlü uçuş dinamiklerine ait analiz sonuçları Şekil 7'de, ve yanlamasına uçuş dinamiklerine ait analiz sonuçları Şekil 8'de verilmiştir.

5.2. Güverte Arayüz Pilot Efor Skalası (GAPES) çıkarılması

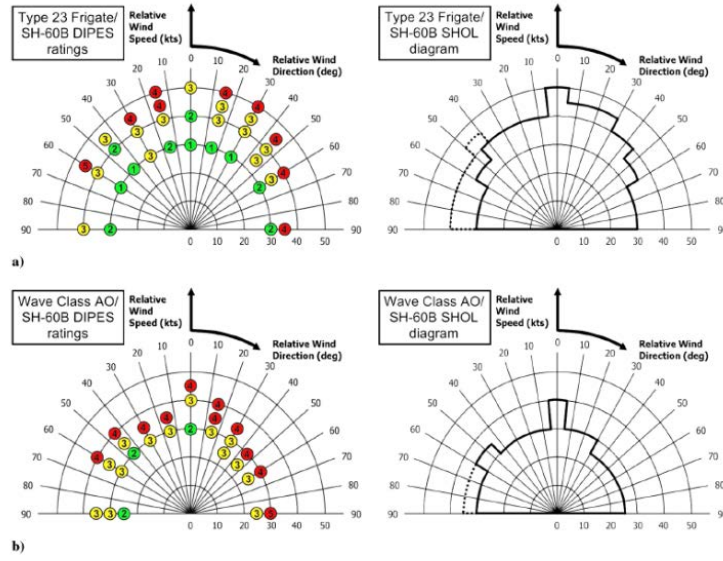
Güverte arayüz pilot efor skalası (GAPES) pilotlu uçuş gerçekleştirilerek, pilotların ilerlemesine, yanlamasına, ve yönelme hareketleri için kolaydan zora doğru puanlama yaparak gerçekleştirilir. Bir diğer yöntem ise, kullanım kolaylıkları analizinden faydalanılarak pilot eforunu hesaplamaktır. Bu çalışmada [5, 7]'de verilen adımlar takip edilerek kullanım kolaylıkları analizi yapılmış ve pilot efor değerleri kestirilmiştir. Elde edilen sonuçlar polar ekseninde çizdirilince Şekil 8'de verilen GAPES (DIPES) haritası elde edilir.



Şekil 9. AH-1G helikopter modelinin SFS2 gemi modeline arkadan yaklaşma için GAPES (DIPES) haritası

6. SONUÇ

Bu çalışmada Gemi Helikopter Harekatları Sınırlarının belirlenmesi üzerine AH-1 Cobra Helikopter Modeli ve SFS2 Gemi Modeli kullanılarak hesaplama tekniği geliştirilmiş ve başarıyla uygulanarak GHHS ve GAPES haritaları elde edilmiştir. Elde edilen haritalar literatürdeki benzer çalışmalar ile örtüşmektedir (bkz. Şekil 9). Standartlara uygun manevralar takip edilerek mühendislik yaklaşım ile hava aracı sınırları belirlenmiş ve pilot efor değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 10. Mevcut GHHS (SHOL) ve GAPES (DIPES) haritaları [9]

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın olgunlaşması ve şu anki haline gelmesi için çaba gösteren İbrahim Çınaroğlu ve Murat Özkan'a çok teşekkür ediyoruz. Ayrıca SFS2 Gemi Modeli için HAD analizlerini yılmadan gerçekleştiren Umut Cirik'e ve sonuçları almamızda bize yardımcı olan Adem Özdemir'e teşekkürlerimizi borç biliriz.

8. KAYNAKÇA

- [1] R.T.N. Chen, (1980), Effects of a Primary Rotor Parameters on Flapping Dynamics, NASA-TP-1431.
- [2] P.D. Talbot, B.E. Tinling, W.A. Decker, and R.T.N. Chen, (1982), A Mathematical Model of a Single Main Rotor Helicopter for Piloted Simulation, NASA TN 84281.
- [3] R.L. Finnestead, W.J. Connor, (1969), Engineering Flight Test, AH-1G Helicopter HueyCobra, Phase B, Part 6, Final Report, AD-862700.
- [4] R.V.Dompka, J.D.Cronkhite (1986), Summary of AH-1G Flight Vibration Data for Validation of Coupled Rotor-Fuselage Analyses, NASA-CR-178160.
- [5] US Army, (2000), Aeronautical Design Standart Performance Specification Handlimng Qualities Requirements For Military Rotorcraft, ADS-33E-PRF.
- [6] NATO (2003), Helicopter/Ship Qualification Testing, TRO-AG-300 vol. 22.
- [7] D. McLean (1990), Automatic Flight Control Systems, Prentice Hall.
- [8] R.A. Hess (1979), Structural model of the adaptive human pilot, Journal of Guidance and Control, 3(5), 416-422.
- [9] J.S.Forrest, I.Owen, G.D.Pathfield (2012), Ship-helicopter operating limits prediction using piloted flight simulation and time-accurate airwakes, *Journal of Aircraft*, 49(4), 1020-1031.

HAVELSAN SÜRÜ SİSTEMLERİ SİMÜLATÖRÜ DİZAYN KONSEPTİ

**Barış Yalçın^(a), Serhat Turhan^(a), Mehmet Kozan^(a), Aycan Okan^(a), E. Kartal
Tabak^(a)**

^(a) HAVELSAN A.Ş., Mustafa Kemal Mah., 2120 Cad., No. 39, 06510 ANKARA
{barisyalcin, sturhan, mkozan, aokan, ktabak}@havelsan.com.tr

ÖZ

Kompleks ve dinamik çevresel koşullar altında, çoklu hava ve yer platformlarının koordinasyonu ve ayrık görevleri kooperatif icrası günümüzde çözümlenmesi iddialı olan problemlerdendir. Mevcut savaş sistemlerinin, asimetrik tehditlere karşı zaafının olduğu bilinmekte olup, sürü sistemlerinin modüler oluşu, asimetrik yapısı ve tekil platformlara nazaran daha az risk içermesi gibi gerekçelerden ötürü gelecekte bu sistemlerin askeri teknolojilerle daha çok entegre olacağı ön görülmektedir. Bu bakımdan, konvansiyonel komuta ve kontrol sistemlerini tamamlar nitelikte olan sürü zekası algoritmalarının bu problemlerin çözümüne katkı sağlayacağı yapılan akademik çalışmalarla desteklenmektedir.

Bu makale çerçevesinde işlenmekte olan sürü sistemleri simülatörü konsepti, HAVELSAN'ın sahip olduğu eş zamanlı ve ayrık çalışabilen simülasyon ortam dizaynı mimarisinin üzerine konumlandırılmaktadır. Bu mimari yapıda, simüle sistem üzerinde taktik çevre unsurlarının (CGF: Computer Generated Forces) yaratılıp yönlendirilebildiği bir ortam sağlanmaktadır. Sunmakta olduğumuz sürü simülatörü konseptinde yapay zeka içeren bu çoğul unsurların, platform kullanıcıları ile ortak görev icrasını gerçekleştirebildiği bir ortam oluşturulmaktadır. Sürü sistemlerinin gerçek platform test fazı öncesi detaylı olarak simülatör ortamında çalışılarak yapılandırılması, maliyet ve takvim avantajı içermesinin yanısıra çoklu sistemlerin dizaynı için önemli bir girdi oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Otonomi, Simülatör, Sürü Sistemleri, Yapay Zeka

1. GİRİŞ

Doğadan esinlenmiş tanımıyla sürü, lideri olmayan, kollektif hareket edebilen ve kompleks davranışlar gösterebilen nispeten homojen topluluklardır. Sürüler, basit lokal bilgi seviyesi kullanımı yaparak bireylerin birbiri ile veya birbiri üzerinden üzerinden

etkileşim halinde olduğu, olasılıksal davranışlar gösteren biyolojik ailelerdir^[1]. Bu özelliklerin teknolojiye uyarlanması ile ölçeklenebilir, paralel koşumlu ve hataya dayanıklı sistemler oluşturmak mümkündür. Sürü zekası kavramı 1980lerin sonundan itibaren robot sistemleri üzerinde uygulanmaktadır^[2], biyolojiden sosyolojiye farklı uygulama alanları bulmuştur^[3].

Askeri uygulamalarına bakıldığında, daha yüksek risk almaya imkan veren, hacimli sayıda üretilen, maliyet etkin sürü sistemleri karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerin bir takım avantajları arasında düşmana daha çok zarar verme, savunma hatlarını satüre etme, asimetrik taarruz ve vuruş ihtimalini artırma imkanı elde edilmesi gösterilmektedir^[4]. Ek olarak, insanlı ve insansız sistemlerin birlikte iş yapabilmesinin yeni nesil askeri sistemlerde aranan bir özellik olacağı değerlendirilmektedir. Özellikle 2015 yılının sonlarından itibaren, DARPA gibi ileri seviye teknoloji araştırma kurumlarında sürü sistemleri kullanımı, bu sistemlerin komuta ve kontrolü, sürü sistemleri ile taktik geliştirilmesi gibi çeşitli konularda çok ciddi projeler başlatılmıştır.

Bu teknolojik trend, gelecek nesil askeri sistem isterleri ve ihtiyaçları neticesinde, gerek sunduğu ekonomik avantajlar, gerek eğitimsel yönü, gerekse zaman tasarrufu yapılabilecek olması gibi nedenler ile, hem gerçek platform kullanımı öncesi eğitim ve taktik yeterliliğin artırılması bakımından, hem de sürü sistemlerinin dizaynına yönelik olarak, simülatör sistemleri kullanımı elzemdir. Bu açıdan, HAVELSAN'ın hali hazırda dizayn ve kurulumunu gerçekleştirmiş olduğu simülatörlerin de kullanıldığı, geniş kapsamlı sürü sistemleri simülatör mimarisi bu makale çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu mimari yapıda, simülatörler birbirleriyle şebekelenerek gerçek zamanlı ve senkronize çalışabilmekte, bu sayede dağıtık birliklerin ortak eğitim icrasında bulunabilmelerine imkan sağlanmaktadır. Bu gerçek zamanlı eğitim ortamının F16 Simülatörü, Anka Simülatörü, Atak Simülatörü gibi farklı tipte simülatörlerin dahil olduğu çoklu ve etkileşimli bir yapı olarak değerlendirilip, CGF unsurlarının da eklenmesi ile insanlı-insansız sistemlerin birlikte görev icra edebilmelerine olanak sağlaması hedeflenmektedir.

II. Bölüm'de sürü sistemlerinin temel yazılım birimleri açıklanmaktadır. III. Bölüm'de sürü sistemleri simülatör mimarisinin fiziksel olarak incelenmesinin ardından IV. Bölüm'de sonuç ve öneriler belirtilmektedir.

2. SÜRÜ SİSTEMLERİ YAZILIM MODÜLLERİ

Sürü sistemleri simülatörleri tasarımı, modülerlik ve esneklik bakımından katmanlara bölünmüş ve dört farklı seviyede ele alınmıştır:

- Uygulama yazılımı seviyesi,
- Simülatör seviyesi,

- Simülatör merkezi seviyesi,
- Simülatör merkezleri seviyesi.

Uygulama yazılımı seviyesinde sürü algoritmaları ve yapay zeka yazılım modülleri bulunmaktadır. Taktik çevre simülasyonu yazılımına, sürü sistemleri kontrol ve yapay zeka yazılımlarına bu bölümde yer verilmektedir. Taktik ortam simülasyonu, planlanan taktik eğitimler için sanal unsurlar (CGF) yaratır. Sanal kuvvetler, eğitim ihtiyacına göre tehdit, dost veya tarafsız olabilir. Bu unsurlar, ilgili platformları temsil eder, pasif/aktif rota takibi yaparlar, yapay zeka unsurları ile desteklenerek operasyonel kabiliyetler içerirler.

Taktik çevre unsurlarının yanısıra insansız platformların detaylı dinamik modellerinin yer aldığı yazılımlar mevcuttur. Bu modellerin yapay zeka ve kontrol modülleri ile birlikte kullanılmasıyla, heterojen ve çoklu insansız platformların, insanlı sistemlerle ortak görev icrası yapabilmesine, ortak taktik geliştirilmesine imkan sağlanmaktadır. Sistemde veritabanı, arayüz yazılımları, sunucu yazılımları da bulunmaktadır.

2.1. Taktik Çevre Simülasyonu

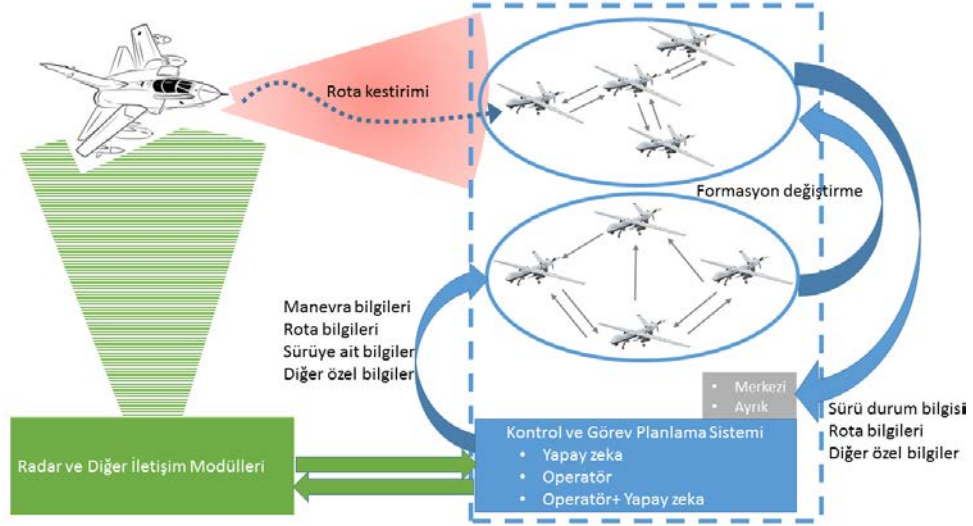
Sanal eğitim ortamında, hareketli veya durağan, savunma ve taarruz kabiliyetlerine sahip, kural tabanlı yapay zeka aracılığıyla eğitim senaryosunda tanımlı görevleri otomatik icra edebilen, arazi ve hava şartları ile etkileşim kurabilen, gerektiğinde kullanıcı girdilerini alıp yarı otomatik kuvvetler olarak davranabilen, kara/hava/deniz platformlarının ve bu platformlara ait alt sistemlerin benzetimini yapan yazılımdır. Hava, su ve arazi ortamlarının platform ve oyuncu sistemlerine olan etkilerini simüle etmesinin yanısıra, manevra yörüngeleri, formasyon oluşturma ve formasyona dahil olma gibi taktiksel fonksiyonları içerir.

Bu sistem, eğitim sistemlerinde taktik ortam ihtiyacının karşılanması, stratejik ve operatif eğitimler için harp oyunlarına yönelik uygulamalara elverişli olması, silah, karşı tedbir ve elektronik harp eğitimleri gibi etkileşimli görevler için uygunluğu, taktik hareket eğitimlerinde maliyet etkin ve kolay yönetilebilir bir ortam sağlaması, kolayca senaryolar oluşturup farklı taktikler denenmesine imkan tanıması nedeni ile kullanılmaktadır. Gerçek sistemlerin geliştirilmesi aşamasında mühendislik simülatörleri altında analiz yapılmasına imkan sağlamanın yanısıra maliyet etkin testlerin yapılmasına olanak sağlar.

2.2. Sürü Sistemleri ve Yapay Zeka

Kararlılık sağlayıcı sistem ve yönetim modülü otonom sistemlerde bulunmaktadır. Bu sistem, her türlü harici (rüzgar, türbülans, vb.) ve dahili (sürtünme, boşluk, sensör performans kayıpları, vb.) bozucu koşul altında insansız sistemlerin istenilen görevi icra edecek şekilde davranış göstermesini ve dinamiklerinin kontrol altında tutulmasını sağlar. Bu bölümde insansız sürü sistemlerine örnek olarak İHA (insansız hava aracı) sürüleri verilmekte, konu bu çerçevede detaylandırılmaktadır. İnsansız kara araçları ve

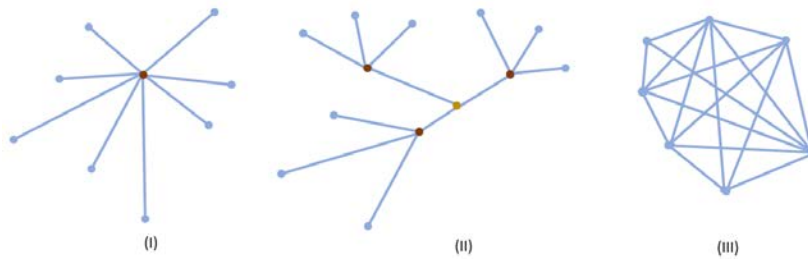
deniz araçları da sürü sistemleri ve yapay zeka kullanımı bakımından ortaklıklar içermektedir.



Şekil 1. Yapay zeka ve sürü sistemleri sunucusu yazılım senaryosu

Uçuş yönetim modülü altında görev planlayıcısı, seyrüsefer bilgileri ve manevra tipleri gibi referans içerikli bilgileri, kullanıcının tanımlamış olduğu görev alanı, nirengi noktaları, hız ve irtifa değerleri çerçevesinde oluşturur. Yapay zeka ve sürü algoritmaları, uçuş yönetim modülü içerisinde yer almaktadır. Karşısında yer alan düşman platformun davranışına göre, tam otonom, kendi kendine karar verebilen, yapay zekaya sahip bir sürü İHA sistemi veya kullanıcısının karar alma sürecine destek veren bir yapay zeka sistem modülüne yazılım mimarisinde yer verilmiştir.

Sürü sistem simülasyonlarında uygulama yazılım seviyesi yeteneklerine yönelik genel konsept Şekil 1’de özetlenmektedir. Hem merkezi bir kontrol ve görev planlama sistemince planlanmış görevlerin her bir İHA’ya iletilmesi ve her bir İHA’dan toplanan bilgilerin merkezi sistem tarafından değerlendirilip yeni komutların iletilmesi betimlenmiş, hem de her bir İHA üzerinde karar alma mekanizmalarının bulunabileceği ve her İHA’nın birbiri arasında haberleşerek istenilen formasyonları oluşturabileceği vurgulanmıştır.

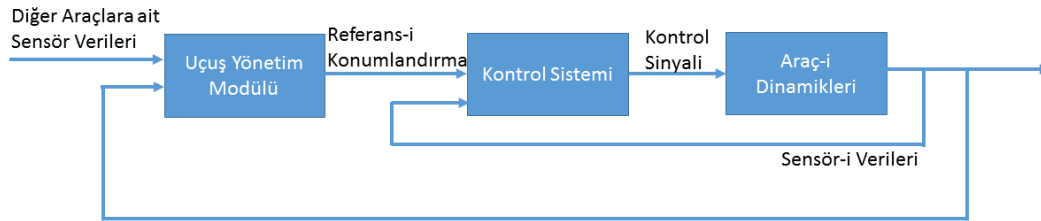


Şekil 2. Koordinasyon mimarileri

Tespit edilen hedeflerin rota kestirimi, dost düşman ayrımı, hedef unsurların sayısı, hedeflerin önceliklendirilmesi, olası karşı tedbirlerin belirlenmesi çerçevesinde İHA kullanımı senaryosu uçuş yönetim modülünün de entegre edildiği silah yönetim modüllerinin de dahil olduğu daha büyük bir taktik sistem yazılım mimarisinin parçasıdır. Bu mimari yapıda, eğitim alan pilot ile İHA'lar etkileşim içerisinde olacaktır. Etkileşim esnasında İHA koordinasyon mimarileri Şekil 2'de gösterilmiştir^[5]:

- I. Merkezi koordinasyon kontrol sistem mimarisinde sürü elemanları bir merkezi planlama sistemine bilgi geri beslemesi yapar. Merkezi planlama sistemi, her bir sürü elemanını bu bilgiler doğrultusunda komuta eder,
- II. Hiyerarşik koordinasyon kontrol sistem mimarisinde, her bir sürü elemanının bilgilerini bir üst seviye master elemana iletmesi ve o eleman tarafından bu bilgiler doğrultusunda kontrol edilmesidir,
- III. Konsensus ile koordinasyon kontrol mimarisinde, her bir sürü elemanının kendi aralarında iletişim kurarak ortak menfaatler doğrultusunda bir çözüme ulaşmasıdır^[6].

Merkezi kontrol mimari yapısının dağıtık yapıya kıyasla duyarlı noktası, merkez sistemleri ile insansız sistemlerin iletişiminin kopması veya sekteye uğramasıdır. Merkezi ve dağıtık yapı, kontrolcü yapısını da etkilemektedir; dağıtık yapıda diğer İHA'lardan toplanan durum bilgileri de kararlılık döngüsünde değerlendirilmelidir. Dağıtık kontrolün, merkezi kontrol sistemine göre avantajı, dağıtık yapı neticesinde, karar verici mekanizmaların ve sayısının sürü seviyesinde otonom değiştirilebilir kılınmasıdır. Bu sayede sistemin daha gürbüz olacağı değerlendirilmiştir. Şekil 3'te merkezi veya dağıtık mimariye uygun kademeli kontrol sistemi gösterilmektedir.



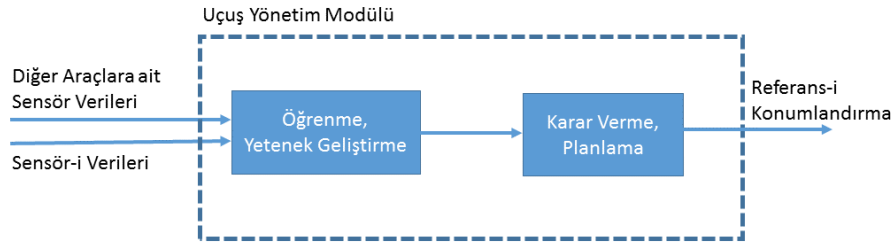
Şekil 3. Kademeli kontrol sistemi mimarisi

Çok etmenli koordinasyon kontrol problemlerinde, konsensüs, formasyon kontrolü, hizalama ve sürü zekası algoritmalarının kendi aralarında ve Graph Teorisi ile ilişkileri temel rol oynar^[7]. Yapay zeka ve sürü sistemleri yazılım mimarisinde kullanılan algoritmaların bazıları şunlardır:

- Formasyon Kontrol Algoritmaları, çok özneli takımların belirli hedefleri yerine getirmek üzere hareket halindeyken önceden belirlenen geometrik şekli koruması ve çevresel kısıtlara uyum sağlaması için kullanılmaktadır.

- Formasyon Değiştirme Algoritmaları, bir formasyon şeklinden bir başka formasyon şekline geçiş amaçlı kullanılmaktadır.
- Formasyon altında Sakınım Algoritmaları, hareket halindeyken formasyon şeklini çevresel engeller göz önünde bulundurup oluşturma ve koruma amaçlı kullanılır.
- Formasyon Adaptasyonu Algoritmaları, bilinmeyen çevresel şartlara uyacak şekilde formasyon oluşturma ayarlama amaçlı kullanılır.
- Arazi takip algoritmaları, sabit yer irtifasında ilgilenilen bölge üzerine sürekli ulaşılma, düşman savunma sistemlerinden saklanma amaçlı kullanılır.
- Arazi maskeleyme algoritmaları, engebeli arazide gizlenebilme, platformun arazi şartlarından da faydalanarak düşman radarlarından hedefine giderken dahi gizlenebileceği rotalar oluşturma amaçlı kullanılır.

Bu algoritmalara ek olarak ayrılma, birleşme, hizalama, sakınım, plan seçim, hedef takip gibi algoritmalar da optimizasyon rutinleri ile birlikte kullanılmaktadır. Veri gecikmeleri altında kararlılığın korunmasına yönelik algoritmaların kullanımı fiziksel sürü sistemleri için kesinlikle gereklidir^[8]. Karar verme ve planlama faaliyetleri optimizasyon rutini çerçevesinde Şekil 4'te belirtilen yönetim modülü altında icra edilmektedir.



Şekil 4. Uçuş yönetim modülü

İnsansız sistemlerde yapay zeka algoritmaları eklentisini, sinyal güvenilirliği, yakıt, haberleşme durumu, tehdit parametrelerinin şiddeti vb. maliyet fonksiyonları altında, manevra, rota planlama gibi görev icra parametrelerinin optimizasyonu olarak değerlendirmek de mümkündür.

3. SÜRÜ SİSTEM SİMÜLATÖRLERİ

Gerçekçi bir tatbikat ortamı yaratarak maliyet etkin, dağıtık görev eğitimi imkanı vermesi bakımından sistem simülatörleri, özellikle sürü sistemleri ve yapay zekanın da eklenmesi ile eğitim alacak askeri personelin pilotaj yeteneğini desteklemesinin yanı sıra, içerdiği öğrenme, planlama ve karar verme yeteneğiyle stratejik anlamda önemlidir.

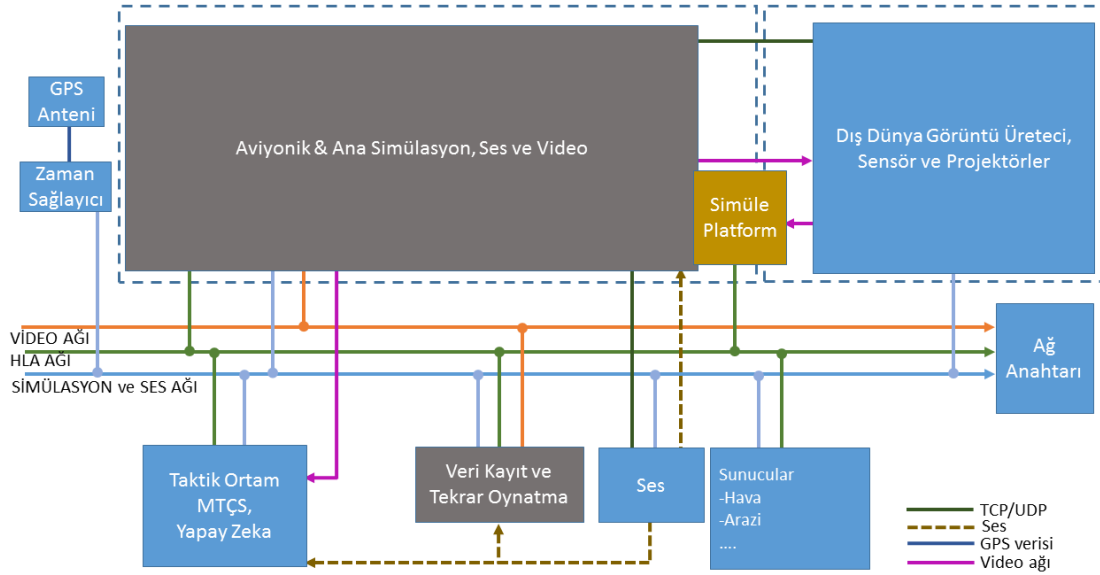
3.1. Simülâtör Mimarisi:

Simülâtör mimarisi, görev ve uçuş alt sistemi, aviyonik ve ana simülasyon modeli, ses ve haberleşme modeli gibi temel konfigürasyon elemanlarını altında barındırmaktadır. Aviyonik ve ana simülasyon modülü, platformun aerodinamik uçuş modellemesini, aviyonik sistemlerinin modellenmesini ve silah-sensör modellerini içeren ve bu modellerin diğer modellerle haberleşmesini sağlayan arayüzleri kontrol eden yazılımdır.

Tablo 1. Kısaltmalar

TGS: Tam görev simülâtörü	RSS: Radyo seyrüsefer sunucusu
TİM: Taktik izleme merkezi	HLA (High level architecture): Yüksek seviyeli mimari
RTI: Run time infrastructure	MTÇS: Milli Taktik Çevre Simülasyonu
KGS: Kısmi görev simülâtörü	STE: Silah Sistemleri Taktik Eğiticisi

TCP/UDP haberleşme protokolleri aracılığıyla bir kısım haberleşme gerçekleştirilmektedir. Dış dünya görüntü üretici, lokal olarak tuttuğu 3B modeller ve arazi verilerini kullanarak, aviyonik ve ana simülasyon modülünden gelen komutlara göre görüntüleri oluşturur. Genel simülâtör mimarisi Şekil 5'te gösterilmiştir.

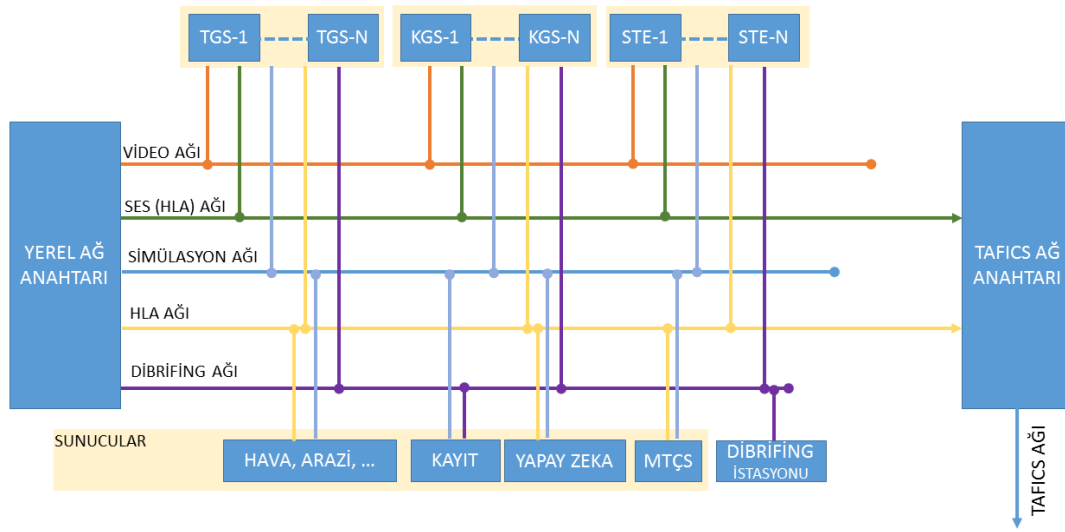


Şekil 5. Genel simülâtör mimarisi

3.2. Simülâtör Merkezi İçi Fiziksel Mimari

Simülâtör merkezi içi fiziksel mimari, merkezde bulunan sunucular ve simülâtörler arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. Simülâtör merkezinde Şekil 6'da gösterildiği üzere HLA ağı, video ağı, ses ağı, simülâtörler arası gerçek zamanlı haberleşmeyi ve tüm

merkezde bulunan bilgisayarların yönetimini sağlayacak olan simülasyon ağı ve dibrifing ağı bulunmaktadır. RTI yazılımı, HLA mimarisi üzerinden yapılan haberleşmenin alt yapısını oluşturur. Simülör merkezinde, hava durumu sunucusu, radyo seyrüsefer sunucusu, arazi sunucusu, veri depolama ve konfigürasyon sunucusu, veritabanı geliştirme istasyonu, dibrifing sistemi gibi sistemler de bulunmaktadır. GPS’den güncellenen zaman sağlayıcıları, dağıtık simülörlerde modüller arası eş zamanlılığı sağlar.



Şekil 6. Simülör merkezi içi fiziksel mimarisi

RSS, çalışma zamanında simülörlere sanal ortamda bulunan seyrüsefer bilgilerini sunan yazılımdır. Arazi sunucusu, simülörlerden gelen araziyle ilgili sorgulamalara cevap verir. Veri kayıt sunucusu, bir takım senaryoların ve tekrar oynatma kayıtlarının tutulduğu sunucudur. Hava durumu sunucusu, sanal ortamın hava durumu bilgilerini, tanımlanan senaryoya göre sunan yazılımdır. Dibrifing sistemi, simülör eğitimlerinde, eğitimlerin eğitim sonunda değerlendirme yaptığı sistemdir.

3.3. Simülör Merkezleri Arası Fiziksel Mimarisi

Dağıtık görev mimarisi kapsamında ayrıık konuşlandırılmış ve çeşitli tiplerde simülörlerin yer aldığı simülör merkezleri kullanılması planlanmakta olup, sistemler arası veri paylaşımı TAFICS hattı üzerinden yapılmaktadır. SISO-STD-001-1999 (Guidance, rationale and interoperability modalities for the RPR FOM), IEEE-1278 (Standard for distributed interactive simulation), IEEE-1516 (Standard for modelling and simulation high level architecture) standartları referans alınmıştır.

Sürü sistemleri için ihtiyaç duyulan veri iletim hızlarında çalışabilmesi için filtreleme modülleri tasarlanarak bant genişliğinin verimli kullanımı, simülör içi ve simülörler arası veri iletimi, senkronizasyonu ve koordinasyonu sağlanmaktadır.

4. SONUÇ

Sürü sistemlerinin, sahip olduğu avantajlar nedeni ile askeri alanda gelecekte daha sık kullanılacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle maliyet etkin olarak simülatör ortamında dizayn ve testlerinin yapılması, pilot eğitimi gibi hususlar önem arz etmektedir. Bu makale çerçevesinde, sürü simülatör sistemleri konseptinin geliştirilmesine ait detaylar paylaşılmıştır. Detaylar kapsamında sistem genel mimarisi, mimari bileşenleri ve bu bileşenlere ait yazılım ve donanım alt sistem bilgileri tanıtılmıştır. Simülatör sistemleri, sistemler arası etkileşim ve yazılımlar bu mimari yapı altında detaylandırılmıştır. Geleceğin askeri teknolojilerinde daha sık karşımıza çıkacağını düşünmekte olduğumuz bu tip sistemlerin gerek dizaynı, gerekse insanlı-insansız kooperatif görev eğitimi ve tehditlere karşı ortak strateji geliştirilmesi bakımından simülatör kullanımı gerekli olacaktır.

5. KAYNAKÇA

- [1] B. Clough, "UAV Swarming? So what are those swarms; what are the implications, and how do we handle them?" Air Force Research Lab, AFRLVA-WP-2002-308, 2002.
- [2] Cheng D, Chen H., From swarm to social behavior control, Science & Technology Review, pp. 4–7, 2004.
- [3] Beni G, Wang J, "Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems", Proceedings of the NATO Advanced Workshop on Robotics and Biological Systems, pp 26-30, Tuscany, Italy, 1989.
- [4] Pham, Loc V. Monterey, UAV swarm attack: protection system alternatives for Destroyers. California, Naval Postgraduate School, 2012.
- [5] Anderson BDO, Yu C, Fidan B, Hendrickx JM., Rigid graph control architecture for autonomous formation, IEEE Control System Magazine 2008, pp. 48–63.
- [6] Olfati-Saber R., Flocking for multi-agent dynamic systems: Algorithms and theory, IEEE Transactions on Automatic Control, pp. 401–420, 2006.
- [7] Godsil C, Royle G., Algebraic Graph Theory, Springer-Verlag, New York, 2004.
- [8] Olfati-Saber R, Murray RM., Consensus problems in networks of agents with switching topology and time delays, IEEE Transactions on Automatic Control 2004, pp. 1520–1553.

CİDDİ OYUNLARIN TANIMLANMASI & CİDDİ OYUNLARI SİMÜLASYON VE DİĞER OYUN UYGULAMALARINDAN AYIRAN TEMEL ÖZELLİKLER

Levent Berke ÇAPLI ^(a), Ali Emrah YILDIZ ^(b), Altan ÖZKİL ^(c)

^(a) ODTÜ Sosyal Bilimler Enstitüsü Teknoloji Politikaları Bölümü, Ankara,
lbcapli@gmail.com

^(b) TSK K.K.K.lığı, Ankara, aleyildiz@gmail.com

^(c) Atılım Üniversitesi SAVTAM, İncek Ankara, altan.ozkil@atilim.edu.tr

ÖZ

Gelişen oyun endüstrisi ile, oyunların kullanım alanları, oyun pazarındaki firma ve oyun uzmanlarının sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu büyüme, eğlence sektörüne özel olan bilgisayar oyunları ve oyun teknolojilerinin, eğitim alanı gibi “ciddi” amaçlara yönelik olarak kullanılması fikrini de beraberinde getirmiştir. Ciddi oyunlar, kullanıcıları eğitmek amacıyla, öğretilmek istenilen içeriğin, eğlence sağlayan oyun teknolojileri ile harmanlanması sonucunda türemiş eğitim yazılımlarıdır. Bu tanım ile bir çok oyunu ve simülasyonu, ciddi oyun olarak tanımlanmak mümkün olduğundan, ciddi oyunlar çoğu kez, benzer uygulamalarla karıştırılmaktadır. Bu nedenle, ciddi oyunlar, net bir eğitim amacı taşıyan ve eğitici fonksiyonları barındıran oyunlar olarak tanımlanmalıdır. Ciddi oyunların en önemli ayırdedici özelliği, yazılım geliştirme aşamasında, alan ve oyun geliştirme uzmanlarının da görev alıyor olmasıdır. Oyun geliştirme uzmanları tanımı, sadece yazılımı değil, oyun ve görsel tasarım uzmanlarını da kapsamaktadır. Ciddi oyunlarda eğitim ve oyun dinamikleri 3 farklı şekilde bir araya gelmektedir. Bunlar, destekleyici (oyunun eğlence özellikleri her eğitim bölümünün sonunda ödül olarak sunulur), motivasyon sağlayıcı (eğlendirici oyun özellikleri kullanıcının ilgisini, dikkatini ve eğitime olan hazırlığını artırmak amacıyla kullanılır), karışım (eğitim süreci eğlenceli hale getirilir. Yani oyunda uzmanlaşmak/kazanmak /ilerlemek eğitim sonucunda öğrenmek ile aynı anlama gelmektedir) şeklindedir. Bu çalışmada, ciddi oyunların, dijital oyunlardan ve simülasyonlardan ayırdedilmesini sağlayacak tanımlamaların yapılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Oyun, Ciddi Oyun, Simülasyon, Oyun Teknolojileri, Oyun Akışı.

DEFINITION OF SERIOUS GAMES & DIFFERENTIATING FEATURES OF SERIOUS GAMES FROM SIMULATIONS AND DIGITAL GAMES

ABSTRACT

With the advancement of gaming industry, the number of game companies and gaming specialists are rapidly growing. This growth has brought the idea that computer games and gaming technologies that are specific to the entertainment sector could be used for "serious" purposes, such as education. Serious games are educational softwares developed by blending entertainment game technologies with educational content. With this definition, it is possible to define most games and simulations as serious games; thus causing serious games to be mixed with similar applications. For this reason, serious games should be defined as digital games that have a clear educational purpose and functions. The most important differentiating feature of serious games is that, during the software development phase both area experts and game development specialists are involved. Game development specialists include not only software developers, but also game and graphic design experts. In serious games, the training and game elements integrate in 3 different methods. These methods are; (The fun part of the game is presented as a reward at the end of each training module), the motivation provider (Small entertaining game elements are used with the aim to increasing the attention and motivation of the user), the mixture (Training process is made entertaining, Progression in the game is the same as learning). In this article, it is aimed to make definitions that will distinguish serious games from digital games and simulations.

Keywords: Digital Games, Serious Game, Simulations, Game Technologies, Game Flow.

1. GİRİŞ

Dijitalleşmenin doruk noktasına ulaştığı günümüzde, öğretim ve eğitim metodları hızla gelişmektedir. Sadece klasik yöntemlere bağlı kalarak eğitimlerin devam ettirilmesi farklı algılama kapasitelerine ve beğenilere sahip yeni neslin ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Öğretilecek konuların aktarılmasında, teknolojinin imkanlarını kullanmanın bir yolu da simülasyon ve oyun teknolojilerini kullanmaktır. Giderek artan araştırmalar sonucunda, simülasyon ve oyun tabanlı bilgi ve iletişim teknolojilerinin öğrenmeyi, motivasyonu ve bilişsel düşünme yeteneklerinin gelişimini desteklemede çok büyük bir öneme sahip olduğu görülmüştür [1], [2], [3].

2. KAPSAM

Ciddi oyunlar, dijital oyunlar ve simülasyonlar birden fazla türe ayrılmaktadır. Bu türler ise farklı şekillerde tanımlanmakta ve sınıflandırmaktadır. Bu karşılaştırma çalışmasının sınırlandırılarak temellendirilmesi amacı ile; Dijital oyunlar sadece eğlence amacı taşıyan ve doğrudan öğrenim amacı olmadan geliştirilmiş oyunlar olarak tanımlanmaktadır. Ciddi oyunlar ise tedavi amacı dışında eğitim ve öğrenim amacı taşıyan dijital oyunlar olarak tanımlanmaktadır. Simülasyonlar ise canlı, test, mühendislik ve analitik simülasyonlar dışında kalan sanal eğitim simülasyonlarını kapsamaktadır.

3. ETKİ

Ciddi oyunların bilinirliği her geçen gün artmaktadır. Ancak ne dijital oyunlar ne de simülasyonlar kadar gündelik hayatımıza girmeyi başaramamıştır. Hatta hemsalleinin yaygın olduğu savunma sanayii pazarında ciddi oyunları payı hala sınırlı kalmaktadır. Ciddi oyunlar dijital oyunların eğlence ile sağladığı motivasyonu sağlamayı amaçlarken simülasyon kalitesine yakın eğitim sınıma çalışmaktadır.

Bu kesişim ve farklılık noktalarını ayırt edilmesi ve anlaşılması ciddi younu farklı ve özel kılan değer noktalarının görünür hale gelmesini sağlayacaktır. Bu değer noktalarının kavranması kaliteli ve etkin ciddi oyunların geliştirilmesi aşamasında yardımcı olacaktır.

4. OYUNLAR VE SİMÜLASYONLAR

Oyunlar ve simülasyonlar birbirini takip eden, benzer ilişkiler içerisinde olan sanal ortamlardır. Her birinin belirli unsurları, araçları ve amaçları vardır. Oyunların ve simülasyonların ortak noktaları olmasına rağmen, bazı önemli farklılıklar her iki yöntemin net bir şekilde ayırdedilmesini sağlar [4].

Simülasyonlar, çeşitli durumlardaki belirlenmiş aktivitelerin, katılımcılar tarafından mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir biçimde deneyimlendiği uygulamalardır. Eğitim amaçlı simülasyonlar, ayrıntılı bir biçimde tanımlanmış senaryolarla, gerçek dünyaya doğrudan aktarılacak ortamları geliştirmek için tasarlanmış stratejileri kullanmaktadır. Bazı aktivitelerin, pratik uygulamalara ihtiyaç duyduğu ve bazı gerçek koşulların pratik uygulama yapılmasına izin vermediği durumlarda, simülasyonlar çok kullanışlı olmaktadır. Bu yöntem, eğitilenlerin kazanmış olduğu teorik bilgileri, kolayca pratiğe dökmelerine yardımcı olur. Simülasyon, verilmesi planlanan eğitimin küçük bir parçasını kapsayabilir, ama, olabildiğince gerçek şartlara uygun olmalıdır [5].

Oyunlar ise, eğlence amaçlı aktiviteleri içeren ve çoğunlukla sadece eğlence amacı taşıyan, ama aynı zamanda belirli araçları, kuralları, davranışları ve fikirleri insanlara kazandırmayı hedefleyen uygulamalardır. Bütün oyunlar, belli kurallara dayandırılmış sanal ortamlarda yapılır [5]. Geri besleme mekanizmaları ve bunları destekleyen gerekli araçlar vardır. Bu araçlar, simülasyonlardaki örneklerinden farklı tanımlanmıştır. Oyunların tanımlanmasında hedeflerin ve kuralların belirlenmesi çok önemlidir. Oyunlar özellikle öykü veya belirli bir amaç barındırmalı, belirli oyun mekaniklerini (örneğin oyun ortamının hava veya fizik koşullarına göre değişebilmesi), kaliteli grafikleri, aktiviteler arası ilişkileri ve oyun içerisinde mücadele ortamını oluşturma yeteneğini barındırmalıdır [6].

Clarck Aldrich'e [7] göre simülasyonların ve oyunların, sanal ortamlar üzerine kurulmuş sistemler olduğu unutulmamalıdır.

5. CİDDİ OYUNLARI, SİMÜLASYON VE OYUN UYGULAMALARINDAN AYIRAN TEMEL ÖZELLİKLER

5.1. Ciddi Oyunların Tanımlanması

Günümüzde ciddi oyunlar çok farklı tanımlamalarla ifade edilmektedir. Ciddi oyun, genel olarak simülasyon ve eğitim amacı taşıyan oyun olarak tanımlanabilir. Ciddi oyun, oyunların yarattığı dünya ve atmosfer ile oyuncuların ilgisini çekip onları oyuna dahil ederek, oyun endüstrisinin bilgi ve teknolojilerini spesifik bir amaç ve yeni bilgi yaratma amacıyla kullanır [5]. Literatürde ciddi oyun kavramına yönelik ortaya konan bazı tanımlar aşağıya çıkarılmıştır:

- Ciddi oyunlar belirli kurallar çerçevesinde bilgisayarla oynanan, müşterek eğitimlerde eğlence unsurunu da barındıran, eğitim, sağlık, ve strateji alanındaki iletişim araçlarıdır [8].
- Ciddi oyunlar dijital oyunlar olarak tanımlanabilir. Eğitici olmasının yanında tasarım ve eğlence unsurlarını barındırmalıdır [9].
- Eğitim veya öğretim amaçlı yeni oyun teknolojilerinin kullanıldığı oyunlar ciddi oyunlardır [10].
- Ciddi oyunların tek bir tanımı yoktur. Ancak çoğunlukla, amacı olan oyunlar olarak yaygın bir şekilde kabul edilmektedir. Diğer bir ifadeyle, ciddi oyunlar, eğlence sınırlarında hareket ederek, interaktif medyanın öğrenmeyi desteklemesine katkı sağlarlar [11].
- Ciddi oyunlar, kimi zaman “değişim için oyunlar” ve “sosyal etkili oyunlar” olarak da anılırlar. Bu teknoloji ve bu eğitim yöntemi, çeşitli sivil toplum kuruluşları, politikacılar, aktivistler, öğretmenler, sanatçılar, askerler ve tasarımcıların dikkatini çekmiştir [12].

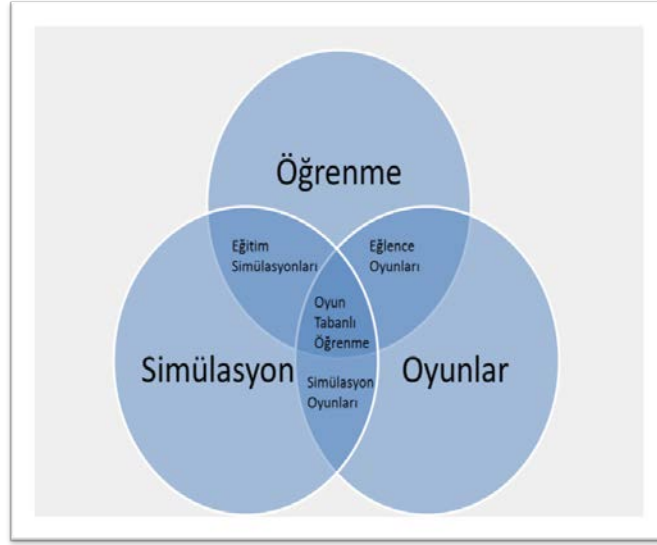
Kısacası ciddi oyunlar, en geniş tanımıyla, kullanıcıları eğitmek amacıyla, içeriğin, eğlence sağlayan oyun teknolojileri ile harmanlanması sonucunda, dijital oyun tabanlı yazılımlardan türemiş eğitim yazılımlarıdır [13]. Bu tanım, ciddi oyunların şekil değiştirme ve kolayca uyumluluk sağlama özelliklerinden dolayı anlam karmaşasına neden olmaktadır. Bazıları ciddi oyunu net bir eğitim amacı olan ve eğitici fonksiyonlar barındıran oyun olarak tanımlamaktadır. Bazıları ise, oyun geliştirme motoru kullanılarak geliştirilen, eğlence amacının yanı sıra, başka bir amaç taşıyan tüm yazılımlara ciddi oyun demektedir. Bu durum nedeniyle çoğu simülasyon ciddi oyun olarak tanımlanmaktadır.

Ciddi oyunların, oyunlardan farklı olduğunu ve sadece pazarlama amacıyla ciddi oyun olarak adlandırılmadığını anlamak önemlidir. Yarar tabanlı ciddi oyun tanımı incelendiğinde, ciddi oyunların “**Eğitim Senaryosu + Dijital Oyun Senaryosu**” birleşimi olarak tanımlandığı görülmektedir. Bu noktada ciddi oyun, ana amacı eğlence, bazı durumlarda yan etkisi öğrenme olabilen dijital oyunlardan; ilk amacı eğitim, destekleyici öğesi eğlence olan oyunlar olarak ayrılmaktadır [13]. En önemli ayırt edici özellik, ciddi oyunların yazılım geliştirme aşamasında, alan ve oyun geliştirme uzmanlarının görev alıyor olmasıdır. Oyun geliştirme uzmanları tanımı, sadece yazılımı değil, oyun ve görsel tasarım uzmanlarını da kapsamaktadır [13].

Ciddi oyunlarda eğitim ve oyunun dinamikleri 3 farklı türde bir araya gelebilmektedir. Bunlar; destekleyici (Oyunun eğlence kısımları her eğitim kısmının sonunda ödül olarak sunulur), motivasyonu artırıcı (Eğlendirici oyun parçaları kullanıcının ilgisini, dikkatini ve eğitime olan hazırlığını artırmak amacı ile kullanılır) ve karışım (Eğitim süreci eğlenceli hale getirilir. Yani oyunda uzmanlaşmak/kazanmak/ilerlemek eğitim sonucunda öğrenmek ile aynı anlama gelmektedir.) olarak ifade edilebilir [14].

5.2. Ciddi Oyunlar, Simülasyonlar ve Oyunlar Arasındaki İlişki

Öğrenme hedefleri (pedagoji) içermeksizin oyunların sadece eğlence amaçlı olduğu söylenebilir. Şekil-2’de görülebileceği gibi ciddi oyunlar, esasında oyunlar, simülasyonlar ve öğrenmenin kesiştiği noktada ortaya çıkmaktadır [15]. Zyda, [8] pedagojinin oyunun oynanması ve öyküsü ile eş tutulmaması gerektiğini savunmaktadır. Bu nedenle, oyunların içeriğinde öğrenmenin önemini vurgulamaktadır [5].



Şekil-2: Simülasyonlar, oyunlar ve öğrenme arasındaki ilişki [15].

Bu bağlamda, oyunlaştırma ve simülasyon arasında bağlantıların ve ortak yönlerin olduğu göz ardı edilemez. Oyunlaştırma, simülasyonun yerini alamasa da bazı açılardan simülasyonu tamamlamaktadır [16]. Özellikle senaryo ve öğretme hedefleri (pedagoji) eklenmesi ile oyunlar simülasyonlardan bile daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Kısacası, oyunlar ve simülasyonlar arasındaki en önemli farkın, simülasyonlarda oyuncuların kendi motivasyonlarını oluşturmaları gerektiği söylenebilir [5].

5.2.1. Oyunlar ve Ciddi Oyunlar Arasındaki İlişki

Oyunlar, her ne kadar ana amacı eğlence sağlamak olsa da, yan etki olarak eğitici değer taşıyabilmektedir. Çoğu refleks ve koordinasyon gerektiren oyunlar psikomotor kabiliyetlerin artmasına destek olmaktadır. Çok yönlü karar alma yeteneği, çoğu oyunda başarılı olabilmek için gereklidir; oyunda başarı arttıkça bu yeteneğin de arttığı görülmektedir.

Oyunların öğretme yeteneği göz önüne alındığında, ciddi oyunlar ile oyun arasındaki temel farkı, eğitim amacının, tasarımın başından itibaren ele alınıp alınmaması oluşturmaktadır. Ciddi oyunlarda, eğitim hedefleri ve adımları tasarımın en başında belirlenip, oyunun içerisine işlenmektedir [13].

Dijital oyunların ciddi oyunlara getirdiği öykü, grafik tasarım, etkileşim, anlık geribildirim, ara yüz imkanları ve erişebilirlik imkanları sayesinde oyuncuların potansiyel motivasyonu artmaktadır [17]. Ciddi oyunun başarısı, içerdiği oyunun iyi bir oyun olmasından geçmektedir. Bu bağlamda, ciddi oyunun, ciddi oyun olarak kabul

edilebilmesi için yukarıda belirtilenlerin yanı sıra, aşağıdaki belirtilen oyun öğelerini farklı miktarlarda ve tasarımlarda içermesi gerekmektedir:

- Oyun içi bilgilerin işlenmesi ve kazanmaya yönelik olarak kullanılması
- Kaynakların sunulması ve bu kaynakların oyunu kazanmaya yönelik olarak kullanılması
- Zaman baskısından yararlanılması
- Senaryoda oyuncuyu tetikleyen unsurların ve oyuncunun buna karşı tepkilerinin olması
- Beklenmedik eylemlerin gerçekleşmesi [18]
- Toplanabilir başarımların sunulması
- Fantastik özellikler taşıması
- Yapay zekalardan geribildirim veya destek alınması
- Belirli bir kazanma senaryosunun olması
- Bazı sonuçların şansa bağlı olması
- Puanlar, kazananlar ve lider tablolarının olması
- Öykü tabanlı anlatımın olması [19].

Yukarıda belirtilen oyun dinamikleri ile eğitici içerik arasında bir denge kurulması önem taşımaktadır. Ciddi oyun, kesinlikle içerisinde belirli bir seviyede “**oyun akışı**” öğeleri taşımaktadır. Oyun akışı, kullanıcının oyun tarafından tamamen çevrelendiği ve bu nedenle dış dünya ile olan bağının koptuğu durumda hissedilen temel bir haz olarak tanımlanmaktadır. Bu akışı oyunlarda sağlayan ve geliştirilen yazılımın, “ciddi” olarak tanımlanması için gerekli olan dinamikler aşağıda belirtilmiştir. Bunlar:

- Verilen görevler/hedefler belirli bir yetenek seviyesi talep etse dahi gerçekçi olmaktan uzaklaşmamalıdır
- Kullanıcının oyuna dikkatini vermesi sağlanmalıdır
- Oyun içerisinde hedefler açık şekilde tanımlanmış olmalıdır
- Oyun içerisinde hedeflerin tamamlanması sonucunda anlık geribildirimler olmalıdır
- Oyunda elde edilen başarılar oynarken harcanan tüm çabaları unutturucu nitelikte olmalıdır
- Kullanıcının/oyuncunun günlük sıkıntılarını unutturucu nitelikte olmalıdır
- Gerçekleştirilen eylemin/oyunun üzerinde kontrol hissi yaratmalıdır
- Benlik hissini güçlendirmelidir
- Zaman algısını değiştiren öğeler taşınmalıdır [13].

Akış tanımının bize sunduğu mantık incelendiğinde, bir yazılımın, oyun dinamikleri ve eğitim hedefleri içerdği durumlarda ciddi oyun olarak tanımlanabileceği savunulsa da,

ciddi oyunun gerçek anlamda hedeflediği amaçları gerçekleştirebilmesi için yukarıda belirtilen dinamiklerin hepsini karşılaması gerekmektedir.

Ciddi oyunlar ve dijital oyunlar incelendiğinde ortaya farklılıkların yanı sıra, ortak noktaların çıktığı da görülmektedir. Ciddi oyunlar, dijital oyunların dinamiklerini temel olarak kullanıp, oyunların sunduğu imkanların etrafına eğitim hedefleri ve içerikleri inşa etmektedir. Bu bağlamda, ciddi oyunlar tanımlarken, net eğitim hedeflerini ve tüm özelliklere sahip dijital oyun özelliklerini içermesi gerektiği görülmektedir. Bunun yanı sıra, ciddi oyunun başarısının içerdiği oyunun kalitesine ve gerçekliğe olan uyumuna bağlı olduğu görülmektedir.

Temel seviyede zaman baskısı veya puan dinamiği ile sunulan eğitimler, eğitimin oyunlaştırılması olarak algılanabilir. Ancak oyun akışı oluşturan dinamikleri tam anlamıyla sunan dijital tabanlı oyunların, eğitim içeriği ile harmanlanmasıyla ortaya ciddi oyunların çıktığı özellikle belirtilmelidir.

5.2.2. Ciddi Oyunlar ve Simülasyonlar Arasındaki Farklar

Simülasyon kelimesinin yaygın kullanımdan dolayı özellikle ciddi oyun alanında kavram karmaşası yaşanmaktadır. Dijital oyun ve simülasyonun birleştiği noktada ortaya simülasyon oyunları çıkmaktadır. Genellikle simülasyon oyunlarının net bir kazanma amacı yoktur [20]. “Flight Simulator” adlı simülasyon uygulamasında olduğu gibi kullanıcı farklı uçaklarla farklı uçuşlar gerçekleştirir ve başarılı iniş yapmaya çalışır; ancak, hiçbir zaman bir kazanma senaryosu veya bir sıralama ile oyun bitmez.

Bu durumda, eğitim simülasyonları ile ciddi oyunlar arasındaki farkı belirlememiz gerektiğinde, Roger Smith’in [17] belirttiği gibi " Simülasyonlarda kullanıcı kendi motivasyonunu sağlar" ifadesinin yeterli olacağı söylenebilir. Yani, simülasyon kullanıcının eğitime olan motivasyonunu artırmak için bir çaba harcamaz; asıl ve tek amacı eğitimin gerçekçiliğini sağlamaya çalışmaktır.

Oyunlar ve eğitim simülatörleri karşılaştırıldığında, aralarında ciddi bir gerçekçilik farkı olduğu ortaya çıkmaktadır. Oyun, gerçekçiliği esnek bir şekilde kullanabilir, eğlenceyi artırmak için gerektiği yerde gerçekliğin düzeyini ayarlayabilir. Ancak simülasyonlar bunu amaçlamaz ve daima amaç odaklı bir gerçekçilik sunarlar. Oyun dinamiklerine ait başlıklar üzerinden simülasyonların ve ciddi oyunların farkları aşağıda belirtilmiştir.

- Öykü

Oyunlar: Olaylara dair arka plan ihtiyacı duymaz. Kullanıcı oyuna hemen başlayabilir.

Simülasyonlar: Mevcut durumun anlaşılması için ciddi anlamda arka plan bilgisi ister.

- Kullanıcı Oyun İçi Kamerası

Oyunlar: İzometrik, 2D boyutlu, platform, 3. şahıs, orbital 3. şahıs, birinci ve ikinci şahıs bakış açılı kameralar gibi birçok seçenek sunar.

Simülasyonlar: Birinci ve ikinci şahıs bakış açılı kameralar kullanır.

- Çevre Tasarımı

Oyunlar: Hayal gücü ile sınırlı olmak üzere her türlü tarzda ve gerçekçilikte çevre tasarımı kabul edilmektedir.

Simülasyonlar: Gerçek yaşam senaryoları etrafına kuruludur, fotorealistik çevre tasarımları ve karakterleri içerir.

- Etkileşim Tarzı

Oyunlar: Genellikle klavye ve fare ile eylem tabanlı etkileşim sağlar.

Simülasyonlar: Çok seçenekli ve karar ağacına dayalı senaryo tabanlı etkileşim sağlar.

- Kurallar

Oyunlar: Kurallar oyunları yönetir. Kuralların daha iyi anlaşılması oyundaki başarının artmasına eşittir.

Simülasyonlar: Bilgi simülasyonu yönetir. Bilgi düzeyi arttıkça daha doğru kararlar verilir.

- Doğrusallık

Oyunlar: Öğrenim doğrusal olmayan şekilde ilerleyebilir.

Simülasyonlar: Karar verme süreçleri doğrusal şekilde ilerler.

- Kuralların ve Durumun Değiştirilmesi

Oyunlar: Bölümden bölüme veya değişik aşamalarda yeni veya değişen kurallar olabilir. Oynanış tarzı ve zorluk değişebilir.

Simülasyonlar: Yeri durumlar, değişkenler ve çevre senaryodan senaryoya değişebilir.

- Geri Bildirim

Oyunlar: Puanlar ve bölümler aracılığı ile anlık geribildirim vardır. Başarısızlık oyuna devam edememe yoluyla mesaj olarak verilir.

Simülasyonlar: Karar ağaçlarında geribildirim gecikebilir. Başarı veya başarısızlık kararı sonuçların değerlendirilmesi ile verilir.

- Kazanma Durumu

Oyunlar: Kazanma durumu oyun sonunda kazanılan puan, son bölüme ulaşma veya sınırlı sayıda tekrar oynama ile belirlenir. Bu nedenle, kullanıcı aynı oyunu oynadığında, her ne kadar kazanma durumu aynı olsa da, her seferinde bambaşka bir oyun deneyimi yaşayabilir.

Simülasyonlar: Başarı, sınırlı sayıda karar ile ana görevi tamamlamak olarak tanımlanır. Simülatörü tekrar kullanmak ikinci sefer daha kolaydır, ancak deneyimin benzerliğinden eğitimi güçlendirici özelliğe sahiptir [21].

Simülasyonlar ve ciddi oyunlar arasındaki farklara rağmen, ciddi oyunlar simülasyon öğeleri, simülasyonlar ise oyun dinamikleri içerebilmektedirler.

Oyun mekaniklerinin parçalar halde kullanılması durumunda oyunlaştırılmış simülasyonlar ortaya çıkmaktadır. Ancak dijital oyunun ve simülasyonun tüm mekanikler ile birleşmesi durumunda ortaya ciddi oyun çıkmaktadır.

6. SONUÇ

Günümüzde ciddi oyunlar gittikçe daha fazla uygulama alanında kendisine yer bulmaktadır. Yapılan birçok çalışma interaktif yolla verilen eğitim desteğinin günümüzde vazgeçilmez bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Ciddi oyunlarla ilgili olarak yapılan bir pazar araştırması, dünya genelinde ciddi oyun pazarının 2010 yılı itibari ile 1.5 milyar Euro olduğunu ortaya çıkarmıştır (Alvarez, Alvarez, Djaouti ve Michaud, 2010). Eğer bu göstergeleri ciddi oyuna dair başarı göstergesi olarak kabul edecek olursak, varılabilecek sonuç, video oyunlarının eğlence dışında ciddi amaçlarla da kullanılmasının faydasıdır. Bu kapsamda; ciddi oyunlar sahip oldukları birçok özellik ile eğitim alanında, hem pratik ve düşük maliyetli, hem de etkili bir yol sunmaktadır. Ancak her yazılımı ciddi oyun olarak tanımlanmak, hedeflenen eğitim konularının eğitilenlere istenen seviyede aktarılmasında başarısız sonuçların ortaya çıkması anlamına gelebilmektedir. Verilmek istenen eğitimlerin, eğitimi alan kitle bazında etkili

olmasını sağlamak amacıyla başvuru olan ciddi oyunların özelliklerini ve diğer sanal uygulamalardan ayırt edici özelliklerini bilmek önem arz etmektedir. Bu çalışmada, ciddi oyun yoluyla verilmek istenen bir eğitimin hangi özellikleri taşıyan bir yazılımla verilmesi gerektiğine dair önemli hususlar ortaya konmuştur. Bu nedenle, her uygulamanın bir ciddi oyun olmadığı çok iyi bilinmeli ve bu çalışmada belirtilen özelliklerin bir ciddi oyunda mutlaka aranması gereken özellikler olması gerektiği unutulmamalıdır.

7. KAYNAKÇA

- [1] Delanghe, F. (2001), Validating small arms simulation. *Military training and simulation news*, 6, 31-34.
- [2] De Freitas, S. ve Levene, M. (2004), An investigation of the use of simulations and video gaming for supporting exploratory learning and developing higher-order cognitive skills, *In Proceedings of the IADIS Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age Conference*, Lisbon, Portugal.
- [3] Green, C. ve Bavelier, D. (2003), Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534-537.
- [4] Stone, R. (2005), The convergence between serious gaming technologies and military simulations. *Paper submitted to Human Computer Interaction International Conference*, Las Vegas, US.
- [5] Yıldız, A. E. (2016), Kol Seviyesinde Birliklere Yönelik İntikallerde El Yapımı Patlayıcılar ile Mücadele Kapsamında Sistem Mühendisliği Yaklaşımıyla Ciddi Oyun Geliştirilmesi: ihtiyaç ve Gereksinim Analizi, *Savunma Bilimleri Enstitüsü*, Tez, Ankara.
- [6] Derryberry, A. (2007), *Serious Games: online games for learning - adobe whitepaper*. 25 Aralık 2015, <http://seriousgames.ning.com/forum/topics/show>.
- [7] Aldrich, C. (2009), Virtual worlds, simulations, and games for education: A unifying view, *Innovate: Journal of Online education*, 5(5).
- [8] Zyda, M. (2005), From visual simulation to virtual reality to games, *Computer*, 38(9), 25-32.
- [9] Sorensen, B. H. ve Meyer, B. (2007), Serious games in language learning and teaching-a theoretical perspective, *In Proceedings of the 2007 Digital Games research Association Conference*, 559-566.
- [10] Felicia, P. (2009), *Digital games in schools: A handbook for teachers*, 21 Mart 2016, http://games.eun.org/upload/GIS_HANDBOOK_EN.PDF
- [11] Stone, B. (2008), *Human Factors Guidelines for interactive 3D and Games-based training Systems Design*, 22 Şubat 2016, www.eece.bham.ac.uk/Default.aspx?tabid=154.
- [12] McGonigal, J. (2011), *Reality is broken. Why games make us better and how they can change the World*, New York: The Penguin Press, p.14.

- [13] Michaud, L. ve Alvarez, J. (2008), Serious games. Advergaming, edugaming, trainin, IDATE Consulting & Research.
- [14] Breuer, J. ve Bente, G. (2010), Why so serious? On the relation of serious games and learning, *Journal for Computer Game Culture*, 4, 7-24.
- [15] Martens, A., Diener, H. ve Malo, S. (2008), Game-Based Learning with Computers – Learning, *Simulations and Games*. 5080:172-190
- [16] Sawyer, B. (2004), The serious games summit: Emergent use of interactive games for solving problems is serious effort, *Magazine Computers in Entertainment*, 2(1), 5.
- [17] Atkinson-Bonasio, A. (2008), Video games in military training: An interview with Roger Smith, Retrieved March, 1, 2009.
- [18] Hartog, C. (2009), Scenario design for serious gaming: guiding principles for the design of scenarios and curricula in military Job Oriented Training. *TNO Defense, Security & Safety*, p.16.
- [19] Kapp, K. (2013), Some Thoughts of Games Vs. Simulations, 15 Nisan 2017, Retrieved from <http://karlkapp.com>.
- [20] Alvarez, J., Alvarez, V., Djaouti, D. ve Michaud, L. (2010), Serious Games: Training & Teaching, Healthcare, Defence & Security, Information & Communication, *France: Market and Data Report*, IDATE.
- [21] Petroski, A. (2012), Games vs. simulations: When simulations may be a better approach, T+ D, 66(2), 27-29.

İLK YARDIM TEKNİKLERİNİ ÖĞRETME AMAÇLI TASARLANMIŞ OYUN TABANLI MOBİL PLATFORM

Hüseyin Erdoğan^(a), Yahya Ayhan Acar^(b), Orhan Çınar^(c), Elif Sürer^(a), Pınar Karagöz^(d)

^(a) Enformatik Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çankaya,
Ankara, {huseyin.erdogan, elifs}@metu.edu.tr

^(b) Ankara Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Keçiören,
Ankara, yahya_acar@yahoo.com

^(c) Acıbadem Üniversitesi Acil Tıp AD, Çankaya,
Ankara, orhancinar@yahoo.com

^(d) Bilgisayar Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Çankaya,
Ankara, karagoz@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Temel ilk yardım becerilerini doğru şekilde ve zaman kaybetmeden uygulayabilmek hayati önem taşımaktadır ve bu becerilerin öğretilmesinde güncel tekniklere, pratik uygulamalara, gerçekçi senaryolara ve deneyimli personele ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, alınan eğitimin sıklıkla tekrar edilebilmesi, öğrenilen tekniklerin unutulmaması ve ihtiyaç olduğunda soğukkanlılıkla uygulanabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bu gereksinimlerin sağlanması ve ilk yardım eğitiminin gerçekçi modeller ve senaryolar eşliğinde yapılması amacıyla oyun tabanlı bir mobil platform geliştirilmektedir. Ayrıca, tüm kullanıcılara eşit öğrenme ortamı sağlayan açık kaynaklı, genişletilebilir bir platform sunmak, öğrenme deneyimini oyun bileşenleri ile zenginleştirmek ve oyuncuları gerekli geri bildirimlerle sıklıkla uygulamaya motive etmek amaçlananlar arasındadır. Hareket yakalama, üç boyutlu modelleme ve oyun motoru teknolojileri ile geliştirilen mobil platform üç ana modülden oluşmaktadır: 1) Simülasyon Kursları, 2) Uygulamalı Oyunlar ve 3) Sınavlar. İlk modülde, bir ilk yardım senaryosunun gerçekçi simülasyonu kullanıcılara sunulmaktadır. İkinci modül, kullanıcıların birinci modülde öğrendikleri süreçleri ciddi oyun bağlamında uyguladıkları etkileşimli bir ortamdır. Sınavlar modülünde, kullanıcıların öğrenme seviyeleri bir simülasyon ortamında ölçülür ve gerekli geri bildirim sağlanır. Çalışma şu anda kanama senaryosu üzerine odaklanmıştır. Oyun senaryolarının da sisteme entegre edilmesinin ardından öğrenme çıktılarının değerlendirilmesi ve kullanılabilirlik testlerinin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ilk yardım, ciddi oyun, öğrenilebilirlik, kullanılabilirlik

GAME-BASED MOBILE PLATFORM TO INSTRUCT FIRST-AID TECHNIQUES

ABSTRACT

Performing first-aid skills correctly and without losing time is life-sustaining and it requires the use of current techniques, practical applications, realistic scenarios and experienced staff. Furthermore, it is important that the training can be repeated frequently so that the learned techniques are not forgotten and they can be applied in a calm manner when needed. In this study, a game-based mobile platform is developed to meet these requirements and to make first-aid learning procedure with realistic models and scenarios. Also, an open source, extensible platform that provides an equal learning environment for all users is presented in order to enrich the learning experience with game components and to motivate them with frequent feedback to apply that learning experience. The mobile platform, which is developed with a motion capture system, three-dimensional modeling and game engine technologies, consists of three main modules: 1) Simulation Courses, 2) Applied Games and 3) Examinations. In the first module, a realistic simulation of a first-aid scenario is presented to the user. The second module is an interactive environment in which users apply the information they learn in the first module in a serious game context. In the Exams module, the learning levels of the users are measured in a simulation environment and the feedback, which is necessary for them to improve their practice, is provided. This study is now focused on bleeding as the initial basic first-aid scenario. After integrating game scenarios into the system, evaluation of learning outcomes and usability tests will be performed.

Keywords: first-aid, serious game, learnability, usability

1. GİRİŞ

İlk yardım becerilerini doğru ve hızlıca uygulayabilmek hayati önem taşımaktadır. Bu eğitim ülkemizde Sağlık Bakanlığı tarafından onaylanan bir müfredat doğrultusunda İlk Yardım Merkezleri tarafından verilmektedir. Bu çalışmada amaçlanan, ilkyardım ana eğitimini tekrar edebilme, bilgileri her an uygulayabilecek durumda olabilme ve bu eğitimi gerçekçi modeller ve senaryolar üzerinden oyun tabanlı mobil bir platform aracılığıyla pekiştirebilme olanağını kullanıcılara sunmaktır. Gerçekçi modeller sunabilmek için hareket yakalama sistemi kullanılmakta ve oyun tabanlı mobil platform simülasyon, oyun ve sınav modüllerinden oluşmaktadır. Bu çalışmanın devamı, ilgili bölümler hakkında detaylı bilgiler sunmakta ve geliştirilen platformun yapısı ile genel görünümü hakkında açıklamalar içermektedir.

2. HAREKET YAKALAMA

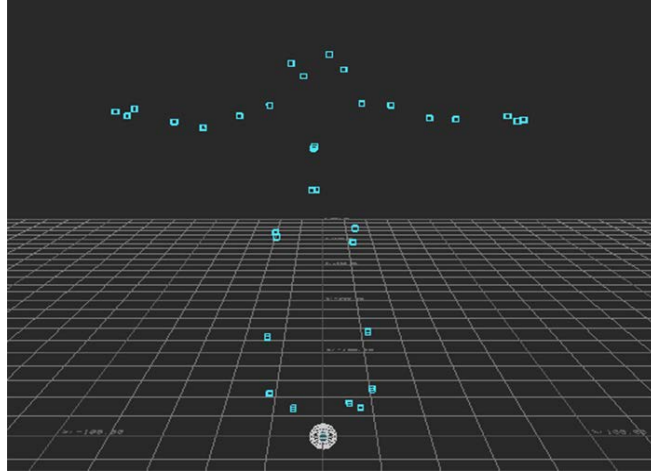
Animasyonlar günümüzde birçok yöntem ile elde edilebilmektedir. Bunlar “Key Frame”, “Motion Capture”, “Semi Procedural” ve “Fully Procedural” olarak dörde ayrılabilir. Bu yöntemlerin birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Proje kapsamı gözönünde bulundurularak seçilen hareket yakalama yönteminin diğerlerine göre avantajlarından bazıları; hızlı yapılan animasyonların (jimnastik, akrobatik hareketler gibi) kolay elde edilmesi, elde edilen animasyonun aktörün hareketlerini birebir yansıtması ve böylelikle animasyonların gerçeğe yakınlığının artmasıdır [1]. Güncel animasyon teknolojileri kapsamında Mixamo [2] ve MakeHuman [3] gibi hazır model yazılımları da bulunmaktadır ancak ilk yardım gibi yapılan her bir hareketin kritik önem taşıdığı bu alanda, simülasyonların mümkün olduğunca gerçeğe yakın olması önem arz etmektedir. Bu nedenle de, aktörlerden gerçek zamanlı veri almanın mümkün olduğu optik hareket yakalama sisteminin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu aşamada geliştirilecek modüller için ihtiyaç duyulan hareket verisi, ODTÜ-TSK MODSİMMER Hareket Yakalama Laboratuvarı’nda alınmıştır [4]. Bu laboratuvarda Phasespace Impulse Optik Hareket Yakalama Sistemi [5] kullanılmaktadır ve bu sistemin sağladığı aktif işaretleyiciler yardımı ile gerçek zamanlı, hızlı ve doğal hareket verisi yakalanabilmektedir. Hareket verilerinin alımında belli eklem noktalarında işaretleyiciler bulunan bir giysi kullanılmıştır. Alanında uzman bir sağlık personeli tarafından bu giysi giyilerek animasyonlar alınmıştır. Geliştirilecek modüller kapsamında iki kişiden aynı anda yapılan hareketlerin yakalanması gerekmektedir, fakat laboratuvarda kullanıma hazır tek bir giysi bulunduğu için animasyonlar kişilerin giysiyi sırayla giymeleri sonucunda elde edilmiştir. Proje desteği kapsamında alınan ikinci giysi Ağustos 2017 tarihinde MODSİMMER’e ulaşmıştır ve böylelikle projenin ileriki aşamalarında iki kişiden aynı anda veri alabilmek mümkün olacaktır.

Hareket yakalama prosedürünün kesin adımları bulunmamasına rağmen referans olarak alınan adımlar [6] aşağıdaki gibidir:

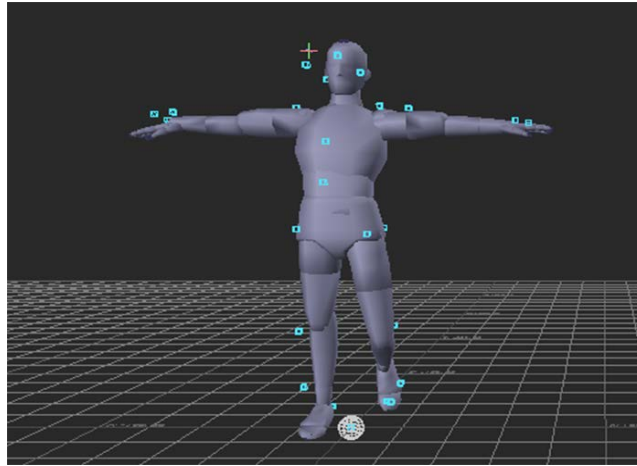
- Karakter gereksinimlerinin analiz edilmesi
- Prova ve sorunların düzeltilmesi
- Hareketin yakalanması
- Hareket verileri ile üç boyutlu model iskeletinin eşleştirilmesi
- Karakter geometrisine iskeletin yerleştirilmesi
- Anormal eklem hareketlerinin tespit edilmesi ve düzeltilmesi
- Düzeltilemeyen hareketler için yeniden veri alımı
- Yukarıdaki iki işlemin tüm animasyonlar için tekrar edilmesi

Hareket verileri, ilk yardım alanında yetkili kişi tarafından yapılan canlandırmanın ardından alındıktan sonra, bu verilerin işlenmesi aşamasında Autodesk Motion Builder [7] yazılımından yararlanılmıştır. Alınan hareket verileri bir işlem yapılmadan bu yazılıma aktarıldığında Şekil 1’deki gibi görünmektedir. Bu şekilde görülmekte olan her bir mavi nokta, giysinin üzerinde bulunan işaretleyicileri simgelemektedir.



Şekil 1. Hareket verilerinin işlenmemiş görünümü

Bu işaretleyiciler programda bulunan iskelet ile eşleştirildikten sonra kullanılabilir hale gelmektedir. Bu amaçla Şekil 2’de görülen iskelet üzerindeki belirli eklemlerle işaretleyiciler bağlanarak iskeletin hareket etmesi sağlanabilmektedir. Bu aşamada işaretleyiciler ile iskelette bulunan eklemlerin birebir eşleşmesine gerek yoktur, mümkün olduğunca yakın eklemler seçilerek iskelet gerçekçi bir şekilde hareket ettirilebilir.



Şekil 2. Hareket verilerinin iskelet ile eşlenmiş görünümü

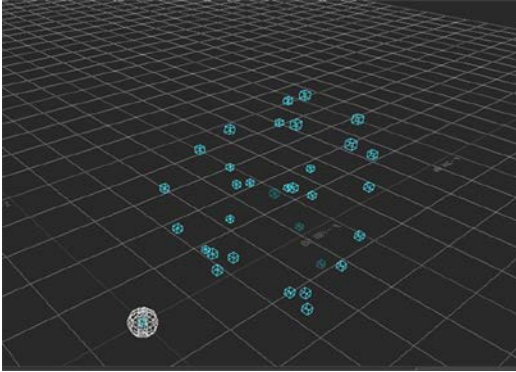
İskelet üzerindeki eklemler ile işaretleyiciler eşlendikten sonra yine programda bulunan üç boyutlu model hazırlanır ve modeli hareket ettirmek için gerekli girdiler iskelet

üzerinden alınır. Bu amaçla kullanılacak model, programda bulunan sahneye sürüklenir ve iskeletin boyutu bu modele göre ayarlanır. Daha sonra iskelette bulunan eklemler ile kullanılacak modeldeki eklemler eşleştirilir. Bu işlemler sonucunda, sahnedeki model üzerine kaydedilen ilk yardım animasyonları gerçekleştirilir. Bu aşamadan sonra elde edilen animasyonların kalitesine göre bazı hataları düzeltme işlemi gerekebilmektedir.



Şekil 3. Hareket verilerinin 3D model ile eşlenmiş görünümü

İskelet ile model eşleştirildikten sonra iskeletin insan anatomisine uygun olmayan bazı deformasyonları da giderilmiş olmaktadır. Şekil 4’te bunun bir örneği sunulmuştur. İskelet yapısında sol ayak yer olarak kabul edilen düzleme uygun olmayan bir şekildedir, fakat model üzerinde bu deformasyon ayak tabanının yer ile paralel hale getirilmesi sonucunda düzeltilmiştir.



Şekil 4. Sol kola sargı animasyonu için işlenmemiş (solda) ve işlenmiş (sağda) hareket verileri

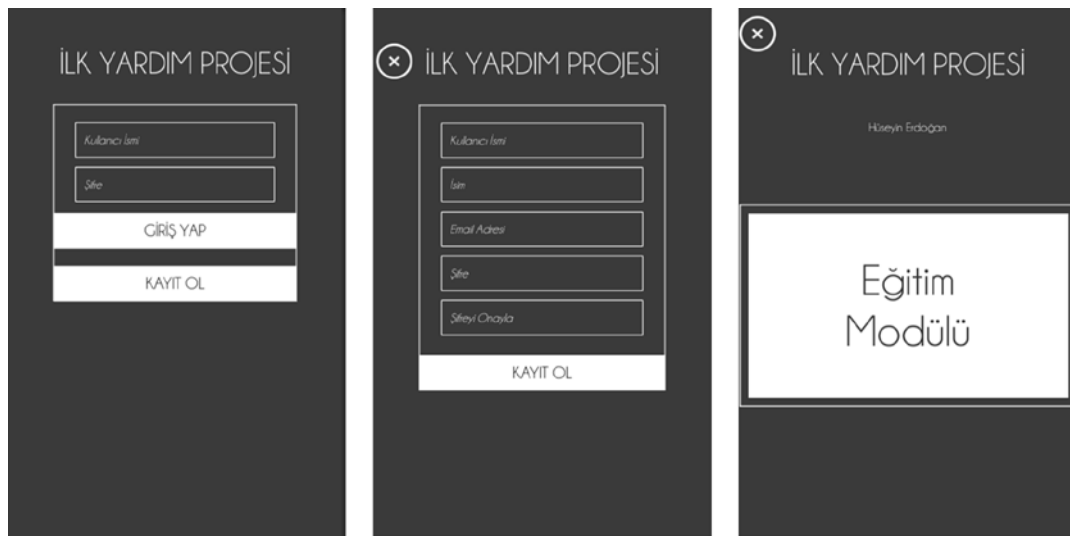
3. EĞİTİM PLATFORMU

Bu bölümde, ciddi oyunlar ve gerçekçi simülasyonlar içeren ve ilk yardım tekniklerini öğretme amacıyla geliştirilen mobil platformun genel yapısı sunulmaktadır. Bu platform üç ana modülden oluşmaktadır ve bunlar Simülasyon Kursları, Uygulamalı Oyunlar ve

Sınavlardır. Bu mobil platformun geliştirilmesi aşamasında Unity3D oyun motoru kullanılmaktadır. Bu oyun motoru farklı platformlarda geliştirilen uygulamaların ve oyunların yayınlanmasını sağlamaktadır [8]. Unity3D'nin sağladığı bu olanak, geliştirme ortamı olarak seçilmesinde önemli rol oynamıştır çünkü geliştirilecek mobil platformun mümkün olduğunda geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşması hedeflenmektedir.

Geliştirilen mobil sistemde kullanıcıların gelişimlerini ve performanslarını görüntüleyebilmeleri hedeflenmektedir. Böylelikle kullanıcılara hangi modüllere yoğunlaşmaları gerektiği geri bildirimi verilebilmektedir. Bu amaçla, kullanıcı verilerinin kaydedilmesi gerekmektedir ve bunun için SQLite veritabanı motoru kullanılmaktadır. SQLite yüksek güvenilirliğe sahip, gömülü, sunucu gereksinimi olmayan, sıfır yapılandırma gerektiren ve kullanıcı eklemelerine açık bir veritabanı motorudur [9]. SQLite kodu açıktır ve bu nedenle ticari veya özel amaçlı kullanım için ücretsizdir. Kullanım kolaylığı nedeniyle gerek büyük çaplı gerekse küçük çaplı projelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Projenin geliştirilen sürümünde veritabanı yerelde tutulmaktadır fakat ileride SQLite veritabanı sisteminin sunduğu avantajlar sayesinde online bir veritabanına geçiş kolaylıkla uygulanabilecektir.

Kullanıcı uygulamayı kullanmaya ilk başladığında giriş sayfasıyla karşılaşmaktadır. Bu sayfada kullanıcı adı ve şifre ile uygulamaya giriş sağlanmaktadır. Eğer daha önce kayıtlı bir kullanıcı değil ise, kayıt ol sayfasında çeşitli bilgilerini girerek mobil platforma kayıt olabilmektedir. Bu standart işlemler sonucunda kullanıcı sisteme kayıt olup giriş yaptığında kullanıcı sayfası ile karşılaşmaktadır. Bu sayfa kullanıcıların performans ve gelişiminin görüntülendiği bir sayfa olduğu için her kullanıcıya özeldir. Kullanıcı bu sayfada modülleri görebilmekte ve bu modülleri kullanabilmektedir. Şekil 5'te bu sayfaların ilk versiyonları görülmektedir.



Şekil 5. Uygulamanın giriş, kayıt olma ve kullanıcı ekranları

Sistem kapsamında geliştirilmesi planlanan modüller üçe ayrılmıştır: Simülasyon Kursları, Uygulamalı Oyunlar ve Sınavlar. Aşağıdaki alt başlıklar bu modüllerin ayrıntılarını içermektedir.

4. SİMÜLASYON KURSLARI

Bu modül yardımı ile kullanıcıların ilk yardım senaryolarını gerçekçi simülasyonlar eşliğinde daha etkili bir şekilde öğrenebilmeleri amaçlanmaktadır. Bu modülde kullanıcılara sunulan simülasyonlar, hareket yakalama teknolojisi ile elde edilen animasyonların ortama ve karakterlerin hareketlerine göre birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Bu modül kapsamında alt modül olarak geliştirilen animasyon ekleme sistemi sayesinde yeni animasyon ekleme, bu animasyonlara açıklama atama, animasyonların oynatılacağı üç boyutlu modellerin animasyon başlangıcındaki pozisyonlarını belirleme gibi işlemler sistem kodu üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan istenildiği miktarda eklenebilmektedir. Bu sistem Şekil 6’da görülmektedir.

The screenshot displays a software interface for managing animation clips. It is organized into a tree view on the left and a detailed parameter editor on the right.

- Tree View (Left):**
 - Infos**
 - Size**: 5
 - Sağ Kol Turnike**
 - Button Name: Sağ Kol Turnike
 - Animation Description: Test Açıklama
 - Animation 01: ☐ dive_roll
 - Avatar 01 Position: X 0, Y 0, Z 1
 - Avatar 01 Rotation: X 0, Y 180, Z 0
 - Animation 02: ☐ infantry_combat_idle
 - Avatar 02 Position: X 0, Y 0, Z 0
 - Avatar 02 Rotation: X 0, Y 0, Z 0
 - Sol Kol Turnike**
 - Button Name: Sol Kol Turnike
 - Animation Description: Test Açıklama
 - Animation 01: ☐ gunplay
 - Avatar 01 Position: X 1, Y 0, Z 0
 - Avatar 01 Rotation: X 0, Y 0, Z 0
 - Animation 02: ☐ Move
 - Avatar 02 Position: X -1, Y 0, Z 0
 - Avatar 02 Rotation: X 0, Y 0, Z 0
 - Sağ Kol Sarğı**
 - Button Name: Sağ Kol Sarğı
 - Animation Description: Test Açıklama
 - Animation 01: ☐ Female_Action_Pose
 - Avatar 01 Position: X 0, Y 0, Z 0
 - Avatar 01 Rotation: X 0, Y 0, Z 0
 - Animation 02: ☐ standing_death_right_01
 - Avatar 02 Position: X 0, Y 0, Z 0
 - Avatar 02 Rotation: X 0, Y 0, Z 0
 - Sol Kol Sarğı**
 - Button Name: Sol Kol Sarğı
 - Animation Description: Test Açıklama
 - Animation 01: ☐ None (Animation Clip)

Şekil 6. Modüler animasyon ekleme sistemi

Hazırlanan simülasyonlar kullanıcıya üç boyutlu bir ortamda gösterilmektedir. Bu simülasyonlar ileri ve geri alınabilmekte ve gerektiğinde kullanıcı tarafından durdurulabilmektedir. Kullanıcılar bu sayede simülasyonları ayrıntıları kaçırmadan inceleyebilmektedirler. Ayrıca, kullanıcıların simülasyonları ayrıntılı bir şekilde analiz edebilmeleri için sahneyi gösteren kameranın pozisyonu, yönü ve görüş mesafesi değiştirilebilmektedir. Bu sayede kullanıcılar simülasyonu farklı görüş açılarından izleyebilmektedirler. Bu modülle ilgili bazı görseller Şekil 7’de görülmektedir.



Şekil 7. Geliştirilen Simülasyon Kursları modülünden bazı görüntüler

5. UYGULAMALI OYUNLAR

Öğrenilen simülasyon kurslarının uygulanmasına imkan sağlayan, kullanıcıların sıkılmadan bilgilerini tekrar edebilecekleri, farklı koşullara göre çeşitlendirilecek oyun senaryoları oluşturulmaya ve geliştirilmeye başlanmıştır. Bu uygulamalı oyunlar kullanılabilirlik ve öğrenilebilirlik konularında değerlendirileceklerdir.

6. SINAVLAR

Simülasyon kurslarının ve uygulamalı oyunların yanısıra, platformda soru-cevap ve simülasyon temelli uygulamalı sınav sorularının olduğu sınav modülü bulunmaktadır. Böylelikle kullanıcı eksik olduğu modülleri görebilecek, ilgili simülasyon kursunu tekrar inceleyebilecek ve gelişimini düzenli olarak ölçme şansına sahip olacaktır.

7. SONUÇ

Bu çalışmada, ilk yardım tekniklerini öğretme amaçlı olarak oyun tabanlı mobil bir platform geliştirilmektedir. Platform, simülasyon kursları, uygulamalı oyunlar ve sınav modüllerinden oluşmakta, kanama kontrolü eğitimini merkezine almaktadır. Platformun çıktıları kullanıcılar tarafından test edilecektir ve kullanılabilirlik ve öğrenilebilirlik testlerinin ardından gerekli görülen güncellemeler yapılacaktır.

8. TEŞEKKÜR

Bu bildiride anlatılan çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü tarafından BAP-1 projesi (Proje No: BAP-08-11-2016-019) kapsamında desteklenmektedir.

9. KAYNAKÇA

- [1] Sharma, A., Agarwal, M., Sharma, A., ve Dhuria, P. (2013), Motion capture process, techniques and applications, *Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun*, 1, 251-257.
- [2] Mixamo, *Animated 3D characters. No 3D knowledge required*, [Online]. Available: <https://www.mixamo.com/>.
- [3] MakeHuman, *Open Source tool for making 3D characters*, [Online]. Available: <http://www.makehuman.org/>.
- [4] ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi, *Hareket Yakalama Laboratuvarı*, [Online]. Available: <http://modsim.metu.edu.tr/tr/hareket-yakalama-laboratuvari>.
- [5] Phasespace (2013), *Products*, [Online]. Available: <http://www.phasespace.com/productsMain.html>.
- [6] Fischer R., Jung M., Fischer R. ve Gleicher M. (2002), Motion capture process and systems, *Motion capture and editing: Bridging principle and practice*. Natick, MA: AK Peters.
- [7] Autodesk Motion Builder, *MotionBuilder 3D character animation software*, [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/motionbuilder/overview>
- [8] Unity3D, *Build once, deploy anywhere*, [Online]. Available: <https://unity3d.com/unity/multiplatform>.
- [9] SQLite (2000), *About SQLite*, [Online]. Available: <https://www.sqlite.org/about.html>.

TIP EĞİTİMİNDE CİDDİ OYUNUN EĞİTİM YÖNTEMİ OLARAK DİDAKTİK EĞİTİMLE KARŞILAŞTIRILMASI

M.Erhan Sayalı ^(a), Dilek Kitapcıoğlu ^(b), M.Emin Aksoy ^(c), Feray Güven ^(a)

^(a) Acıbadem Üniversitesi, CASE (Center of Advanced Simulation and Education),
Kayışdağı cad. No: 32 İçerenköy İstanbul,
{erhan.sayali, feray.guven}@acibadem.edu.tr

^(b) Acıbadem Üniversitesi, Tıp Fakültesi Tıp Eğitimi Ana Bilim Dalı, Kayışdağı cad.
No: 32 İçerenköy İstanbul, dilek.kitapcioglu@acibadem.edu.tr

^(c) Acıbadem Üniversitesi Biyomedikal Cihaz Teknolojisi, Kayışdağı cad. No: 32
İçerenköy İstanbul, emin.aksoy@acibadem.edu.tr

ÖZ

Ciddi Oyunların uzun süredir farklı alanlarda bir eğitim yöntemi olarak kullanılmasına rağmen; ülkemizde Tıp eğitiminde kullanılmak üzere tasarlanmış bir ciddi oyun bulunmamaktaydı. Bu durumu değerlendirerek tasarladığımız bir ciddi oyun etkinliğini araştırmak üzere toplam 85 birinci sınıf Tıp öğrencisi ile bir araştırma yapmaya karar verdik. Öğrenciler 48 kişiden oluşan bir çalışma grubuna ve 37 kişiden oluşan bir kontrol grubuna ayrıldı. Çalışma grubu Temel Yaşam Desteği eğitimi için tasarlanmış ve European Resuscitation Council 2015 kılavuzunu esas alan, evden ulaşılabilir bir ciddi oyun ile eğitimini tamamlarken, kontrol grubu aynı konuda 2 saatlik didaktik sınıf içi ders gördü. Ertesi gün her iki gruba manken bazlı Temel Yaşam Desteği beceri eğitimi uygulandı. Bir hafta sonra tüm öğrenciler NÖKS(Nesnel Ölçülebilir Klinik Sınav) ile değerlendirildi. Ciddi oyun ile eğitim gören grubun NÖKS sonuçları, sınıf içi eğitim gören grubun NÖKS sonuçları ile eşitti. Çalışmamızın sonuçları Tıp eğitiminde ciddi oyunun bir eğitim yöntemi olarak kullanılmasının sınıf içi teorik ders ile aynı etkinliğe sahip olduğunu göstermektedir. Evde uygulanabilecek ve öğrencinin kendi ihtiyaçlarına göre tekrarlayabileceği ciddi oyunun bir eğitim yöntemi olarak üniversitede uygulanması gereken ve 2 saat süren bir didaktik ders ile aynı etkinliğe sahip olması, özellikle Tıp eğitiminin yoğun ders programı değerlendirildiğinde, ciddi oyunların geliştirilmesinin önemine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: ciddi oyun, didaktik, ERC (European Resuscitation Council) 2015, NÖKS (Nesnel Ölçülebilir Klinik Sınav), tıp eğitimi

COMPARISON OF A SERIOUS GAME AS AN EDUCATIONAL TOOL VERSUS DIDACTIC LECTURING IN MEDICAL EDUCATION

ABSTRACT

Even though serious games are being used as an educational tool in several areas, there was no serious game designed for medical education in Turkey. Considering this we decided to investigate the efficiency of a serious game we had designed, on 85 first-year medical students. These were either assigned to an intervention group (n=48) or a control group (n= 37). While the intervention group completed a serious game module designed for self-education at home devised according to the European Resuscitation Council (ERC) 2015 guidelines for Basic Life Support (BLS) , the control group received a didactic 2 hour lecture on the same content. The next day both groups received simulation-based hands-on training for BLS. All students were assessed with an Objective Structured Clinical Examination (OSCE) the following week. Results of our study imply that the use of serious games as an educational tool in medical education can be as useful as standard didactic lecture. The result that serious games as a web based self-learning strategy at home can be as useful as a 2 hour long didactic lecture at university, emphasizes the importance of developing serious games, especially regarding the dense curriculum of medical education.

Keywords: didactic, ERC(European Resuscitation Council) 2015, medical education, OSCE (Objective Structured Clinical Examination), serious game

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler ile beraber öğrenci ve eğitimcilerin beklentileri de değişmektedir ve eğitim yöntemleri de bu değişime uyum sağlamak zorundadır. Günümüzün üniversite öğrencileri düzenli internete kullanımı ve bilgisayar oyunları ile yetişmiş olma özellikleri ile ‘Millenials’ veya ‘Net Generation’ olarak tanımlanmaktadır (1 - 4). Bilgisayar oyunları bu kuşakta yetişmiş olan öğrencilerin sosyal hayatlarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu oyunlar günümüzde tüm yaş gruplarına hitap etmekte, böylece çocuk ve erişkinler evde bilgisayar ile ilgilendikleri sürenin çoğunu bu oyunlar ile geçirmektedir [5][6]. Yolton ve de Calesta makalelerinde eğitimde devrimsel değişikliklerin olacağını ve bilgi sunmaya yönelik geleneksel eğitim yöntemlerinden daha aktif bir eğitime geçileceğini öngörmektedir [7]. Bu değişim için bir gerekçe olarak geleneksel eğitim sürecinde herkese aynı zamanda aynı bilginin sunulması ve bu durumda kimi öğrencinin sunulan dersleri aşırı zor olarak algıladığı, başka öğrencilerin ise aynı dersleri sıkıcı olacak kadar kolay algılaması gösterilmektedir [8].

Prensky çalışmalarında bilgisayar oyunlarının öğrenim süreci ve özellikle beceri eğitimleri ile stratejik düşünmenin gelişimi açısından olumlu katkıları olduğu sonucuna varmaktadır [9]. Holtzger, Kickmaier-Rust ve Albert interaktif oyunlar ile eğitimin ders kitabına dayalı statik eğitimden üstün sonuçlar verdiğini göstermektedir [10]. Daha sonra yapılan geniş çaplı deneysel çalışmalar da oyun temelli eğitim araçlarının etkinliğini desteklemektedir [11-13]. Michael ve Chen ciddi oyunları "başlıca amacı eğlendirmek veya keyif vermek olmayan oyun ve simülasyonlar" olarak tanımlamaktadır [14]. Ancak eğlendirici olmaları da ciddi oyunların bir eğitim aracı olarak kullanılmasına bir tercih nedeni olarak gösterilmektedir [8]. Charles P. Friedman tıp eğitiminin zaman kısıtlılığı ve içerik yoğunluğu içinde sıkıştığını vurgulamaktadır [15]. Tıp öğrencilerinin video oyunları ile deneyimlerini ve bu oyunlarının bir eğitim aracı olarak kullanımı ile ilgili tutumlarını araştıran bir çalışma, sosyal hayatlarında video oyunları ile ilgilenmeyenler de dahil olmak üzere, tıp öğrencilerinin video oyunları ve diğer yeni teknoloji araçları ile eğitilmelerinin kendileri için faydalı olduğuna inandıklarını göstermektedir [16].

2. AMAÇ

Türkiye’de de üniversite öğrencileri internet, cep telefonu veya bilgisayar oyunlarını Avrupa ve Amerika’daki öğrenciler kadar yoğun olarak kullanmakta olmasına ve çeşitli çalışmalar bilgisayar temelli eğitim araçlarının etkinliğini kanıtlamış olmasına rağmen, ülkemizde tıp eğitiminde bu tür eğitim araçlarının kullanımına yer verilmemektedir. Bu nedenle interaktif bilgisayar tabanlı eğitim araçlarını tıp eğitimine entegre etmeye yönelik bir çalışma tasarladık.

Üniversitemizdeki tüm tıp öğrencileri öğrenimlerinin ilk yılında Temel Yaşam Desteği dersini almaktadırlar. Bu dersin içeriği iki saatlik teorik ders sunumu ve bunu takiben basit beceri maketleri üzerinde uygulanan 30 dakikalık bir beceri eğitiminden oluşmaktaydı. Dünya çapında interaktif eğitim araçlarına verilmekte olan önemi ve uluslararası kardiyopulmoner resüsitasyon kılavuzlarında eğitimlerin video ve bilgisayar destekli oyunlar aracılığı ile verilmesinin teşvik edildiğini değerlendirerek [17], üniversitemizde Temel Yaşam Desteği eğitimi amaçlı bir ciddi oyun geliştirmeye karar verdik.

Tıp eğitiminde bilgisayar destekli eğitim araçlarını geleneksel eğitim ile karşılaştıran çalışmalar vardı. Örneğin Ohm, van Oostrom, Meurs anestezi asistanlarına yönelik nöromusküler blokaj eğitiminin geleneksel eğitim yöntemleri ile sunulması ile interaktif bilgisayar temelli eğitim olarak verilmesini karşılaştırmıştı [18]. Goldberg ve Mc Khann nöroloji dersinin sanal ortamda verilmesi ile geleneksel sınıf düzeni içinde sunulmasını karşılaştırmıştı [19]. Rondon, Sassi ve de Andrada tıp öğrencilere baş-boyun anatomisi ve fizyolojisi dersinin geleneksel şekilde sunulması ile bu dersin bilgisayar oyunu temelli verilmesini karşılaştırmıştı [20].

Bizim çalışmanın amacı Türk tıp öğrencilerinde bilgisayar temelli eğitimin etkinliğini didaktik verilen eğitimin etkinliği ile karşılaştırmaktır.

3. METOD

3.1 Sanal Öğrenim Modeli

Bütün öğrenim hedefleri European Resuscitation Council (ERC) 2015 kılavuzlarına göre oluşturuldu. Bu amaçla tasarlanan ciddi oyun üniversitemizin biyomedikal cihaz teknolojisi bölümü ile beraber geliştirildi. Oyuna giriş yapacak öğrenci kendisine verilen kullanıcı adı ve şifre ile oyunu açabilmektedir. Öncelikle karşısına İngilizce ve Türkçe dil seçenekleri sunulmaktadır. Dil tercihi ile birlikte başlangıç sayfasında ‘Eğitim’ , ‘Sınav’ ve ‘Sınav Sonuçları’ şeklinde üç seçenek bulunmaktadır. Öğrenciye öncelikle ‘eğitim’ tuşuna basması söylenmektedir. Eğitim modülünde oyunun işleyişi ve öğrenim hedefleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Daha sonra öğrenciye ERC 2015 kılavuzuna göre Temel Yaşam Desteği oyununda bir adımdan diğerine nasıl geçmesi gerektiği yeşil oklar ve talimatlar ile öğretilmektedir. Talimatlar ve oklar ile belirtilen işlemler öğrenci tarafından uygulanmadan bir sonraki sayfaya geçilememektedir. Bu eğitim modülünü birkaç kez tamamladıktan sonra öğrenci kendi belirlediği zaman ‘sınav’ seçeneğini açabilme şansına sahiptir. Sınav modülünde ise talimat ve yönlendirmeler bulunmamaktadır. Öğrenci tüm adımları kendi bilgisi ile tamamlamak durumundadır. Öğrencilerin tüm işlemleri zamana karşı kayıt edilmektedir. Öğrenci işlemleri belirlenen zaman aralıklarında doğru tamamlarsa tam puan, eksik veya yavaş tamamlarsa yarım puan almaktadır, yapmadığı işlemlerde ise puan alamamaktadır. ‘Sınav’ tamamlandıktan sonra sonuçlar ekrana yansımakta, tam ve zamanında tamamlanan işlemler yeşil, eksik veya geç tamamlanan işlemler turuncu, yerine getirilmeyen işlemler kırmızı kutucuklar içinde belirtilmektedir. Aynı zamanda öğrencinin aldığı toplam puan ve ciddi oyundaki sanal hastanın kurtulup kurtulmadığı da ekrana yansıtılmaktadır. Öğrencinin sınavı tekrarlaması mümkündür ve tüm sonuçlar kayıt altına alınmaktadır. ‘Sınav Sonuçları’ seçeneği altında öğrencinin girdiği sınavların ayrıntılı dökümüne ulaşılabilir.

Öğrenci ‘sınav’ modülünden en az bir kez 75 puan aldığında ciddi oyunun sınavından geçmiş olarak kabul edilmektedir.

3.2 Katılımcılar ve çalışmanın yapısı

Çalışmaya daha önce Temel Yaşam Desteği konusunda eğitim almamış toplam 85 birinci yıl tıp öğrencisi dahil edildi. Tüm öğrencilerden çalışmaya katılmadan önce yazılı onam alındı. Katılımcılar çalışma grubu ve kontrol grubu olmak üzere iki gruba dağıtıldı. Her iki grup yaş ve cinsiyet dağılımı açısından eşitti. Kontrol grubuna dahil edilen 37 katılımcıya 2 saatlik bir didaktik ders verilirken, çalışma grubuna dahil edilen

48 katılımcıya ciddi oyunun kullanıcı isim ve şifreleri dağıtıldı ve bu oyunun sınav bölümünü en az 75 puan ile tamamladıktan bir gün sonra verilecek beceri eğitimine katılabilecekleri söylendi. Kontrol grubunda didaktik dersi dinleyen ve çalışma grubunda ciddi oyunda istenilen hedef puana ulaşan katılımcılar ertesi gün düzenlenen beceri eğitimine alındı. Beceri eğitimi sırasında teorik bilgiler tekrarlanmadı, sadece usule uygun kardiyak kompresyon ve solunum desteği beceri eğitimi maket üzerinde uygulatıldı. Bir hafta sonra her iki gruba da aynı NÖKS (Nesnel Ölçülebilir Klinik Sınav) uygulanarak bilgi ve becerileri değerlendirildi. Sınavı değerlendirilen eğitmenlere katılımcıların hangi gruba dahil olduğu bildirilmedi.

3.3 Beceri eğitimi

Temel Yaşam Desteğine yönelik manken bazlı bir beceri eğitimi uygulandı. Bu eğitimde ERC 2015 kılavuzlarına göre simülasyon temelli kardiyak kompresyon ve solunum desteği teknikleri öğretildi.

Beceri eğitiminin öğrenim hedefleri aşağıda gibi özetlenebilir:

- 1- Kardiyak kompresyon göğüs kafesinin ortasına uygulanmalı
- 2- Kompresyon derinliği 5 santimetreden az ve 6 santimetreden derin olmamalı
- 3- Kardiyak kompresyon hızı dakikada 100 ila 120 aralığında olmalı
- 4- Her kompresyon sonrası göğüs kafesinin tamamen kalkmasına izin verilmeli, kompresyonlar arasında göğüs kafesine yaslanılmamalı

3.4 NÖKS ile performans değerlendirilmesi

Tüm katılımcılara eğitimden bir hafta sonra performans değerlendirilmesi manken bazlı simülasyon ile uygulandı. NÖKS ile yapılan bu değerlendirme ERC 2015 kılavuzuna uygun ve sağlık personeline yönelik olarak aşağıdaki 10 madde ile yapıldı:

- 1- Çevre güvenliğini sağla
- 2- Sözlü ve ağırlı uyarılar ile kişinin bilinç kontrolünü uygula
- 3- Baş çene pozisyonu uygula ve bak- dinle hisset yöntemi ile solunumu kontrol et
- 4- Dolaşımı karotis nabzına bakarak kontrol et
- 5- Yardım çağır
- 6- Bir kişiden otomatik defibrilatör getirmesini iste

- 7- Yüksek kaliteli kardiyak kompresyon ve solunum desteğinde bulun ve bunları 30 / 2 olarak uygula
- 8- Otomatik defibrilatör getirildiğinde bunu mankene usule uygun bağla ve çalıştır
- 9- Otomatik defibrilatörün talimatlarına uygun davran
- 10- Şok önerildiğinde tüm kurtarıcıların defibrilasyon sırasında mankenden uzaklaşmasını sağla

Tüm maddelerin tamamlanması için katılımcıya toplam 3 dakika süre verildi. Katılımcı yukarıdakilerin her biri için uygun şekilde ve belirtilen zaman aralıklarında tamamladığında 10 puan verildi. Eksik veya geç tamamlanmış işlemler için ise 5 puan verildi. Yapılmayan ve yanlış yapılan işlemler için puan verilmedi. Tüm işlemler usule uygun ve zamanında tamamlandığında toplam 100 puana ulaşılabilirdi.

4. SONUÇLAR

Toplam 85 birinci sınıf tıp öğrencisi çalışmaya dahil edildi. Yaş ve cinsiyet açısından eşitlenmiş olarak iki gruba ayrılan bu öğrencilerden 48 adedi çalışma grubuna, 37 adedi kontrol grubuna alındı. Çalışma grubuna alınan öğrenciler Temel Yaşam Desteği eğitimi için tasarlanmış bir ciddi oyun aracılığı ile evde eğitim görürken, kontrol grubuna alınan öğrencilere aynı ders başlığı altında 2 saatlik bir didaktik eğitim verildi.

İstatistik değerlendirme için bağımsız örneklem T-testi kullanıldı. Çalışma ve kontrol grubunun NÖKS ile yapılan performans değerlendirilmesinde iki grup arasında istatistiksel bir fark saptanamadı. Bu sonuç her iki gruba verilen eğitimin aynı etkinliğe sahip olduğunu göstermekteydi.

Çalışma grubunda bulunan 48 öğrencinin ortalama NÖKS skoru 88.65, 37 öğrenciden oluşan kontrol grubunun ortalama NÖKS skoru ise 88.78 iken, T- değeri -0.04861 ve p- değeri .96135 olarak tespit edildi.

5. TARTIŞMA

Daha önce yapılmış ve tıp alanında geleneksel eğitim ile bilgisayar bazlı eğitimi karşılaştıran çalışmaların sonuçları oldukça çelişkili idi. Ohm, van Oostrom, Meurs bilgisayar bazlı eğitim ile geleneksel eğitimden daha hızlı öğrenim hedeflerine ulaşıldığı sonucuna varırken [18], Goldberg ve Mc Khann de bilgisayar bazlı eğitim gören öğrencilerin geleneksel eğitim görenlere göre çok daha başarılı sınav sonuçlarına ulaştığını göstermektedir [19]. Ancak Rondon, Sassi ve de Andrada's çalışmalarında bilgisayar bazlı eğitimin kısa dönemde geleneksel eğitim ile karşılaştırılabilecek sonuçlar ürettiğini, ancak uzun dönem bellekte tutma açısından didaktik eğitimin bilgisayar bazlı eğitime kıyasla üstün olduğu sonucuna varmaktadır [20]. Temel Yaşam Desteği eğitimini değerlendiren başka bir çalışmada ise, video bazlı

kardiyopulmoner resüsitasyon beceri eğitiminin faydalı olduğu, ancak istenilen kardiyopulmoner resüsütasyon kalitesinin ancak bir eğitici tarafından verilecek geri bildirimler ile sağlanabileceği sonucuna varılmaktadır [21].

Türkiye’de Tıp eğitiminde ciddi oyun bazlı eğitimi geleneksel eğitim yöntemleri ile kıyaslayan bir çalışma yapılmamıştı. Biz çalışmamızda Temel Yaşam Desteği Eğitimi amaçlı geliştirdiğimiz ciddi oyun ile verilen eğitimi geleneksel didaktik ders temelli eğitim ile NÖKS aracılığı ile yapılan performans değerlendirmesi sonuçları üzerinden kıyasladık. Sonuçlar her iki yöntemin aynı etkinlikte olduğunu göstermektedir.

Ciddi oyun aracılığı ile verilen eğitimin öğrencilerin istedikleri yer ve zamanda alınabilmesi, ayrıca kendi kişisel ihtiyaçlarına göre tekrarlanabilmesi ve bu eğitimin geleneksel eğitim ile aynı etkinlikte olması büyük bir avantaj olarak ortaya çıkmaktadır. Bu da özellikle ders yoğunluğu oldukça fazla olan Tıp eğitiminde, hem öğrenciler hem de öğretim üyeleri açısından zaman tasarrufu anlamına gelmektedir.

Ancak çalışmamızın nispeten küçük bir örnekleme ile yapılmış olması nedeniyle, bu tür çalışmaların daha geniş gruplar ile tekrarlanması gerektiği görüşündeyiz.

Çalışmamız bilgisayar bazlı eğitimin ve özellikle interaktif ciddi oyunların Türkiye’de Tıp eğitiminde etkin olduğuna, bu alanda daha fazla bilimsel çalışma yapılması gerektiğine ve ciddi oyunların geliştirilmesinin önemine işaret etmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Elam C, Stratton T, Gibson DG. Welcoming a new generation to college: The Millennial students. *Journal of College Admission*. 2007; 195(Spring): 20–25
- [2] Oblinger DG, Boomer, Gen-Xers, Millennials. Understanding new students. *Educause Review*. 2003; 38(4): 37–47.
- [3] Oblinger DG, Oblinger JL. In: *Educating the Net Generation*. Oblinger DG, Oblinger JL, editor. EDUCAUSE; 2005
- [4] Strauss W, Howe N. *Millennials Rising: The next great generation*. New York: Vantage Press; 2000
- [5] Buchman, D., & Funk, J. B. Video and computer games in the '90s: Children report time commitment and game preference. *Children Today* , 1996; 31: 12–15
- [6] Oblinger, D. The Next Generation of Educational Engagement. *Journal of Interactive Media in Education* , 2004 (8). Special Issue on the Educational Semantic Web . ISSN:1365-893X [www-jime.open.ac.uk/2004/8] 2004

- [7] Yolton RL, deCalesta D. : Pacific's experience with Web-based instruction: bats in the belfry or Webs in the classroom? *Optometry*. 2000; Jan; 71(1): 20-8.
- [8] Deterding,S. *Gameful Design For Learning Training & Development*. 2013; 67(7) : 62
- [9] Prensky,M. *The Conference Board Review*. Fall, 2012; Vol. 49(4): 64
- [10] Holzinger A, Kickmeir-Rust M, Albert D. : Dynamic media in computer science education: Content complexity and learning performance: Is less more? *Educational Technology & Society*. 2008; 11(1): 279–290.
- [11] Rieber, L. P. : Seriously considering play: Designing interactive learning environments based on the blending of microworlds, simulations and games. *Educational Technology Research & Development*, 1996; 44 (2): 43- 58.
- [12] Rosas, R., Nussbaum, M., & Cumsille P. : Beyond Nintendo: Design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers & Education*, 2003; 40: 71-94
- [13] Papastergiou, M., : Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Comput. Educ.*: 2009; 52, 1: 1–12.
- [14] Michael, D., & Chen, S. : *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform* (1er ed.). Course Technology PTR. 2005
- [15] Friedman, C. P. : The marvelous medical education machine or how medical education can be 'unstuck' in time *Medical Teacher*. 2000; 22(5): 496-502.
- [16] Kron, F.W. , Gjerde, C. L. , Sen, A. , Fetters, M. D. : Medical student attitudes toward video games and related new media technologies in medical education *BMC Medical Education*. 2010;10(1): 50
- [17] Soar,J., Monsieurs, K.G. : Ballance JH, Barelli A, Biarent D, Greif R, et al. European resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 ; Section 9.
- [18] Ohm, M.A. , van Oostrom, J.H. , van Meurs, W,L. : A comparison of traditional textbook and interactive computer learning of neuromuscular block. *Anesth Analg*. 1997;84(3): 657–661.
- [19] Goldberg ,H.R. , McKhann G.M. : Student test scores are improved in a virtual learning environment. *Adv Physiol Educ*. 2000; 23: 59–66.
- [20] Rondon, S. , Sassi, F.C. , Furquim de Andrada, C.R. : Computer game-based and traditional learning method: a comparison regarding students' knowledge retention. *BMC Medical Education*; 2013; 13 (1): 1-8.
- [21] Mpotos, N. , De Wever, B., Paul A. Calle P., A. Valcke, M., Wim Peersman, W. and Koenraad G. Monsieurs, K.G. : Acquiring basic life support skills in a self-learning station: video alone is not enough. *European Journal of Emergency Medicine* 2013;; 20: 315–321

CİDDİ OYUNLARDA GERÇEK ZAMANLI YANGIN SİMÜLASYONU

Merve Tuncel ^(a), Mustafa Ertuğrul Erdoğan ^(b)

^(a) Simsoft Bilgi Teknolojileri, Ankara, {merve.tuncel, ertugrul.erdogan}@simsoft.com.tr

ÖZ

Ciddi oyunlar, gerçek hayatta olan birçok olayı gerçeğe en yakın biçimde simüle etme arayışındadır. Bu bildiride ciddi oyunlardaki yangın konusu ele alınmıştır. Geliştirilen yangın algoritması, yayılım hızı, yangın şiddeti, söndürücü maddelerin yangın üzerindeki etkisi, rüzgârın yönü ve hızı gibi birçok parametre içermektedir. Yangının bu parametreleri kullanarak gerçeğe en yakın biçimde, gerçek zamanlı olarak simüle edilmesi ve görselleştirilmesini gerekmektedir. Bu problemi çözmek için farklı modellerde ve farklı noktalarda yangın oluşturabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Yangın algoritması kullanılan modellen poligon modeli (mesh) bilgisinden yararlanarak oluşturduğu ızgara (grid) yapısı ile yangın yayılımını simüle etmektedir. Yangın algoritması söndürme işleminde kullanılan maddenin cinsi ve miktarından, soğutma işleminden etkilenmektedir. Algoritma, C# programlama dili kullanılarak Unity3D Oyun Motoru ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yapı çeşitli simülasyonlarda, farklı modellerde, gerçekçi ve kaynakları verimli kullanan, yangın sistemi olarak çözüm sunmaktadır. En önemli üstünlüğü algoritmanın gerçek zamanlı olarak çalışabilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Yangın, Simülasyon, Ciddi Oyunlar, Gerçek Zamanlı, Oyun Teknolojileri

REAL TIME FIRE SIMULATION IN SERIOUS GAMES

ABSTRACT

Serious games seek for simulating real life conditions in a proper way. This paper mainly focuses on fire simulations in serious games. Developed algorithm for fire simulation has parameters like fire spread speed, fire strength, extinguisher type, and wind velocity. It is necessary to real time simulate and visualize fire considering these parameters. In order to solve this problem, a new method regarding various models and different fire starting positions is developed. The algorithm relies on model's mesh data to create grid structure to simulate fire spread. Fire algorithm is affected by extinguisher type, amount and cooling process. Algorithm is developed in Unity3D environment by

using C# programming language. Developed structure provides a solution to different types of models, realistic and efficient fire system. The foremost feature of this algorithm is its real time performance.

Keywords: Fire, Simulation, Serious Games, Real Time, Game Technologies.

1. GİRİŞ

Geleneksel yöntemlerle kazanılan bilginin uygulamaya aktarımı ve gerçek hayatta bir problem ile karşılaşıldığında nasıl bir çözüm yolu izleneceğinin tecrübe edilmesinde simülasyonlar oldukça önemlidir. Simülasyon ortamları üç boyutlu maketler olarak oluşturulabileceği gibi, maliyeti azaltmak ve güvenliği artırmak için dijital ortamlarda da simüle edilebilir. Burada geliştirilen sistem, itfaiye ekiplerinin gerçek bir yangınla karşılaşma durumunda izlemesi gereken yöntemleri dijital platformda uygulayabilecekleri bir ortam yaratmaktadır. Bu tecrübenin en eğitici şekilde yaşanması açısından da gerçek hayat koşullarının ayrıntılı bir şekilde dijital ortama aktarılması gerekmektedir.

Ciddi oyunlar geleneksel oyunlardan farklı olarak pedagojik bir değere de sahiptir. Bu sebepten dolayı eğlence amacından çok eğitim amacı taşımaktadır ve simülasyonlar kadar gerçekçi olma kaygısı taşır. Eğitim ve bireyin kendini geliştirmesi önemli bir konudur ve yüksek motivasyona sahip bireyler görevlerinde daha başarılı olurlar. Gerekli olan motivasyonu ve eğitimi kazanmaları için geleneksel yöntemlerden farklı olarak, ciddi oyunlar daha eğlenceli ve etkili bir öğrenme sağlar ve daha motive edici bir yapıya sahiptir.

Bu makalede, ciddi oyunlardaki yangın konusu ele alınmıştır. Yangın ciddi oyunlarda sıkça işlenen bir konudur. Birçok acil durum simülasyonunda ve savaş konulu oyunlarda yangın büyük rol oynamaktadır. Bu sebepten ötürü yangının gerçekçi olması bu tipteki oyunların başarısını ve dolayısıyla eğitim kaygısıyla geliştirilen ciddi oyunlarda personelin eğitim seviyesini ve tecrübesini artıracaktır. Yaşanan tecrübenin kalitesi, arka planda çalışan uygulamanın performansına da bağlıdır. Yangının, oyunun performansını negatif yönde etkilemeyecek şekilde simüle edilip görselleştirilmesini gerekmektedir.

Yangın konusunda daha önce geliştirilmiş simülasyon ve uygulamaları araştırdığımızda Emergency 2014, Far Cry 2 ve Rescue 2013: Everyday Heroes, 911: First Responders oyunlarının geliştirmek istediğimiz sisteme en yakın özellikleri içerdiğini gördük [1]. Ancak bu oyunlar, yangın yayılımını istediğimiz gerçeklik seviyesinde simüle etmiyordu ve temel olarak eğlence kaygısı ile geliştirildiği için yangın yayılımının görsel yönü gerçekçiliğinden daha çok önemsenmişti [2]. Ciddi oyunlarda ve simülasyonlarda ise görsellik önemli olsa da ana hedef sistemin gerçek hayata yakın

olmasıdır. Bu yüzden bizim geliştirdiğimiz sistem gerçek itfaiye personellerinden alınan geri dönütler doğrultusunda şekillenmiş ve gerçeğe uygunluğu daha ön planda tutarak geliştirilmiştir.

2. YANGIN SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE ALT YAPISI

Yangın algoritması geliştirilirken farklı modeller üzerinde sorunsuzca çalışması hedeflenmiştir. Gerçek dünyada bir çok farklı nesne vardır. Her nesne için özel bir yapı geliştirmek maliyetlidir. Algoritma, kapsamlı bir şekilde her türlü üç boyutlu model ile çalışabilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu özellik algoritmayı herhangi bir uygulamaya bağlı kalmadan her türlü yapıda kullanmaya olanak sağlamaktadır.

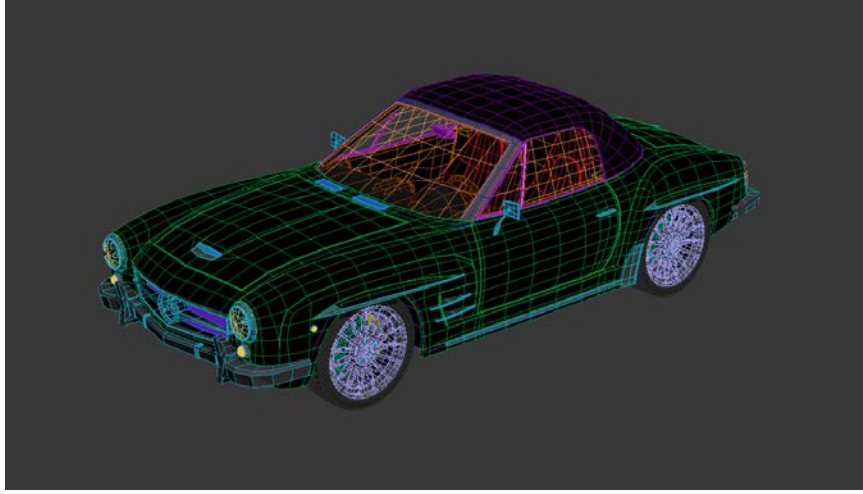
Yangın algoritması modelden bağımsız çalışabilmesi için her modelde var olan bir yapı kullanılmıştır. Kullanılan bu ana yapı, üç boyutlu modellerin mesh (poligon modeli) bilgisidir. Mesh bilgisi, modelin içerdiği verteks datasını içermektedir. Bu yapı bütün üç boyutlu modellerde bulunmaktadır. Bu sayede algoritma herhangi bir şekle sahip üç boyutlu modeller ile kullanılabilir.

Algoritma aşağıdaki adımları izlemektedir:

- Öncelikle modelin mesh verisi kullanılarak bir grid modeli çıkartılır.
- Oluşturulan grid yapısındaki düğümler kullanılarak yangın simüle edilir.
- Yangına hava koşullarının ve söndürme işleminin etki etmesi için düğümlerde değişiklik yapılır.

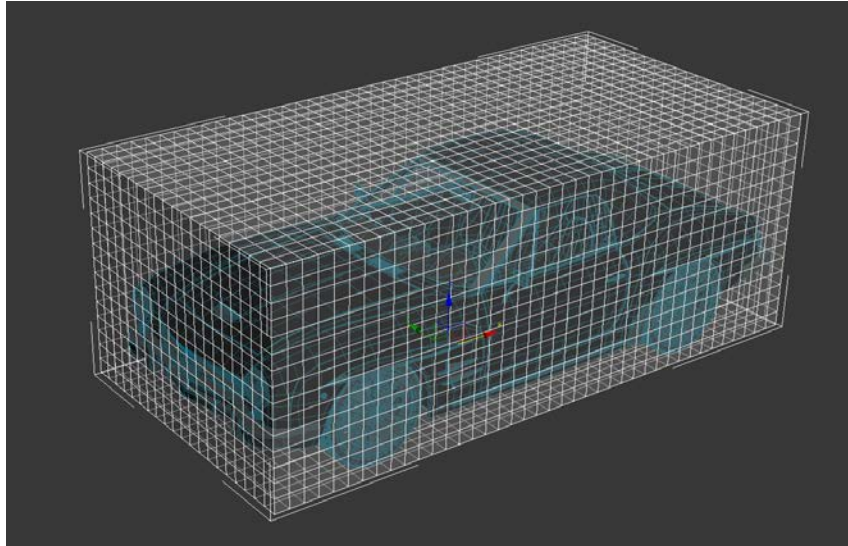
2.1. Grid Oluşturulması

Algoritmanın ilk gerçekleştirdiği adım, ızgara (grid) yapısını oluşturmaktır. Grid yapısı üç eksenli bir yapıdır. Grid yapısını oluşturmak için gerekli olan bilgi, modelin mesh verisidir. Mesh verisi her üç boyutlu modelde bulunur. Grid yapısı düğüm noktaları (node) hesaplamak için modeli dışbükey bir yapıda düşünerek maksimumları hesaplar. X,Y ve Z eksenlerinde hesaplanan maksimumların limitlerine göre belirlenen detay seviyesinde düğümler oluşturulur.



Şekil 1. Araç Modeli Meshi

Şekil 1’de üç boyutlu bir araba modelinin tel gösterimi (mesh) görülmektedir. Geliştirilen algoritma bu modele uygulandığı zaman, tel gösterimi yapısı ile modelin kesiştiği noktalarda düğümler oluşturulacaktır. Bu sayede aracın şekline uygun olarak bir grid yapısı oluşturulmuş olacaktır. Şekil 2’de oluşturulabilecek muhtemel düğümler görülmektedir. Bu düğümleri küp şeklinde düşünebiliriz. Düğümün sorumlu olduğu alanda herhangi bir vertex bulunması durumunda düğüm oluşturulacaktır.



Şekil 2. Grid Yapısı ile Oluşabilecek Muhtemel Düğümler

2.2. Yangının Simüle Edilmesi

Üç boyutlu modelin mesh bilgisi kullanılarak elde edilen düğümler, yangının simüle edilmesinde rol oynayan ana yapıyı oluşturur. Yangın yayılması, görselleşmesi gibi bütün işlemler düğüm verisi hesaplanarak oluşturulur. Bir düğümün tuttuğu bilgi, yerel pozisyon, hasar durumu ve şiddet gibi ana özelliklere ek olarak malzeme tipi, yanıcı madde tutuşma sıcaklığı gibi çeşitli parametreler eklenerek çoğaltılabilir. Yangın yayılması simüle edilirken düğümlerin pozisyon bilgisi önemli rol oynar. Bütün düğümler yerel pozisyon bilgisine sahiptir. Bu bilgiler kullanılarak yangın yayılma şartları sağlandığında komşu düğümlere yangın yayılmakta ve komşu düğümleri yanar hale getirmektedir.

Yanıcı maddenin yanma durumu kalan madde miktarı ile hesaplanmaktadır. Her nesnenin yanıcı madde miktarı, nesnenin cinsine göre farklılık gösterebilir. Yangın devam ettikçe düğümlerin madde miktarı azalır ve madde miktarı biten düğüm madde miktarı kalmadığı için söner. Düğümlerin sahip olduğu yangın şiddeti, madde miktarının azalmasında etkilidir. Şiddetli bir yangın, madde miktarını kısa sürede tüketebilir.



Şekil 3. Yangın Yayılımı

Yangının yayılmasında rüzgâr da hesaba katılmaktadır. Yangın yayılma şartı sağlandığında rüzgârın yönü ve şiddeti hesaba katılarak yangının yayılacağı düğümler seçilmektedir.

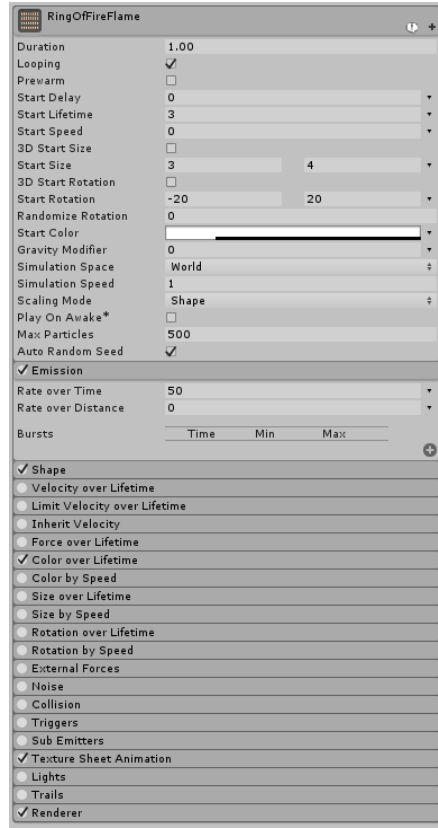
2.3. Yangına Müdahale Edilmesi

Yangın devam ettiği sırada dışarıdan müdahale edilebilmektedir. Söndürme ve soğutma işlemleri yangın devam ettiği sırada hesaplama katılmakta ve yangının gerçek zamanlı olarak bu işlemlere tepki vermesi sağlanmaktadır. Grid sistemindeki her bir düğüme, istenilen şekilde müdahale edilebilmektedir. Bu yetenek söndürücü maddenin cinsi, miktarı gibi parametreleri hesaba katarak yangının gerçekçi tepkisi artırmaktadır. Aynı şekilde istenilen düğüme, yangını güçlendirecek şekilde de müdahale edilebilmektedir. Düğüm yapısı yangının istenilen noktada başlatılmasına da olanak sağlamaktadır.

3. GÖRSELLEŞTİRME

Yangının görselleştirilmesi Unity3D yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Unity3D yazılımı efektleri görselleştirmek için parçacık sistemlerini kullanmaktadır. Kullanılan her parçacık sistemi uygulamaya hesaplama yükü getirmektedir. Bu sebepten dolayı olabildiğince az parçacık sistemi kullanılmalıdır. Geliştirdiğimiz algoritma sadece bir parçacık sistemi kullanarak bütün yangın simüle edebilmektedir.

Parçacık sistemi isminden de anlaşılacağı gibi görselleştirme yaparken parçacıkları kullanmaktadır. Her bir kullanılan parçacığın hesaplama maliyeti olduğu için kullanılan parçacık sayısı, sistemin performansına doğrudan etki etmektedir. Kullanılan parçacık sayısını minimumda tutmak uygulamanın performansı için büyük öneme sahiptir.



Şekil 4. Unity3D Parçacık Sistemi

Parçacık sistemi çeşitli modüllerden oluşmaktadır. Bu modüllerin her biri yayılan parçacığın davranışı üzerinde etkiye sahiptir. Parçacık şekli, rengi, hızı, ve yönü gibi birçok parametre bu modüllerin hesaplaması sonrası ortaya çıkar ve uygulanır. Rüzgârın görsel etkisi ise, parçacıklara uygulanan kuvvetle görselleşir.

Görselleştirmenin yüksek performanslı olması için tek bir parçacık sistemi her bir düğümden parçacık yayılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde bütün düğümler doğru şekilde görselleştirilmiş ve performans olumsuz yönde etkilenmemiştir.

4. YANGIN SİSTEMİNİN CİDDİ OYUNLARDA KULLANIMI

Geliştirilen yangın sistemi havalimanlarındaki acil durumları konu alan ARFF TTES adlı ciddi oyunda kullanılmıştır. Bu ciddi oyun havalimanlarındaki acil durumlara müdahaleyi konu almaktadır. Acil bir durum olan yangın da uygulamada yer almaktadır.

Uygulamada farklı tiplerde uçak, helikopter gibi hava taşıtları yer almaktadır. Hava taşıtlarında yangın oluşturulabilmektedir. Ayrıca kaza sonucu yakıtın yayılması ve alev almasıyla oluşabilecek yangın da yazılımda yer almaktadır.

Uygulamada farklı tip söndürücü malzemeler bulunmakta ve söndürücüler hortumlarla veya araçlara ait monitörlerle yangına uygulanarak yangın söndürülebilmektedir. Söndürücü maddenin cinsi, uygulama şekli ve miktarının yangının söndürülmesinde farklı etkileri vardır.

Bu uygulamada geliştirilen yangın isteminin başarılı bir şekilde çalıştığı, istenilen gerçeklik ve performansı sağladığı görülmüştür.

5. SONUÇ

Ciddi oyunlar, gerçek hayatta karşılaştığımız durumları en gerçekçi biçimde simüle etme arayışındadır. Geliştirdiğimiz yöntem, gerçek hayatta karşılaşıldığında hızlı bir şekilde karar verilmesi oldukça önemli olan yangın söndürme işlemi simüle etmektedir. Bu sistem, itfaiye personellerinin eğitimlerinde kullanılmaktadır ve simülasyonun gerçekçiliği eğitimin kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Geliştirilen sistemin farklı uygulamalara ve modellere de entegrasyonunun mümkün olması büyük bir avantajdır. Her hangi özel bir yapıya bağlı olamaması ve mesh bilgisini temel alarak çalışması, gelecek projelerde kolay bir şekilde yazılıma implement edilmesine olanak sağlamaktadır. Sisteme yeni bir model eklendiğinde, ekstra bir işlem yapılmadan sadece mesh bilgisi üzerinden sisteme dahil olması sağlanabilmektedir. Ayrıca birçok parametre ile yangın yayılımı desteklendiği için farklı tip yangınlar içinde kullanıma açıktır. Yangın tipine göre parametreler ayarlanarak istenilen yangın türüne ait karakteristikler simüle edilebilir. Bu belirtilen özelliklerden dolayı geliştirilen sistem gelecek projelerde de kullanılarak gerçekçi ve performanslı bir şekilde yangını simüle ederek istenilen ihtiyaçları karşılayacaktır.

Sonuç olarak, ciddi oyunlarda hedeflenen gerçekçilik seviyesine sahip, görsel olarak da ihtiyaçları karşılayabilen, birçok farklı uygulamada kullanılmaya uygun ve gerçek zamanlı çalışan bir yangın algoritması geliştirilmiştir.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, değerli bilgilerini bizlerle paylaşan ve desteklerini esirgemeyen Fuat Bölükbaş'a ve Prof. Dr. Veysi İşler'e teşekkürlerimizi sunarız.

7. KAYNAKÇA

- [1] Lévesque, Jean-Francois. (2008), How Far Cry 2's Fire Fuels, Spreads, Ubisoft.
- [2] Tyni, Mikko. (2013). Rescue Everyday Heroes 2013. Fire Chief's Field Handbook.

SARGUS: SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR (SAR) GÖZETLEME UYDUSU GÖREV YÜKÜ SİMÜLASYONU

Bilgehan Çakmak ^(a), Erkin Çilden ^(a), Ahmet Sezer ^(a)

^(a) STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi
2151.Cadde No:3/A 06530, Çankaya - ANKARA, TURKEY
{bilgehan.cakmak, erkin.cilden, asezer}@stm.com.tr

ÖZ

SARGUS, uydu SAR görev yükü ihtiyaç makamlarına ve operatörlerine SAR konsepti hakkında farkındalık oluşturacak, ayrıca operatör eğitimlerinde de etkin olarak kullanılabilecek bir simülasyon aracıdır. SARGUS ile alçak dünya yörüngesinde bulunan SAR uydusu etkin görev planlamaları için ön başarımlar analizi yapılması, SAR algoritma ve yazılımlarının ön benzetimi yapılarak mevcut bir sisteme ve gelecekte geliştirilecek yeni SAR görev yüklerine tasarım desteği sağlanması, uydu entegrasyonu aşamasında görev yükü yer testlerinde referans veri kaynağı olarak kullanılabilmesi hedeflenmektedir. SARGUS yazılımı, model tanımlama, senaryo tanımlama, senaryo koşumu (yörünge ilerletme ve görev başarımlar analizleri), SAR ham verisi oluşturma, SAR görüntü işleme, koşum sonrası analiz ve görüntü değerlendirme işlevlerini barındırır. Herhangi bir ticari ürün bağımlılığı olmayan SARGUS'u benzerlerinden ayıran özellik SAR ham verisi üretme benzetimi kabiliyeti ile temel uydu mekaniği simülasyonu işlevlerini bir araya getirmesidir. Bu çalışmada, SARGUS sistem mühendisliği yaklaşımı, prototip yazılım mimarisi, kullanım senaryoları sunulmuş, alınan kararlar ve karşılaşılan sorunlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alçak Dünya Yörüngesi, SAR ham verisi, SAR görüntü işleme, Sentetik Açıklıklı Radar, Simülasyon, Uydu

SARGUS: SIMULATION OF EARTH OBSERVATION SATELLITE WITH SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR) PAYLOAD

ABSTRACT

SARGUS is a simulation tool that will create awareness about the SAR concept for SAR satellite operators and competent authorities who need SAR payload, and can also be used effectively in operator trainings. SARGUS aims to perform preliminary performance analysis for effective mission planning of Low Earth Orbit SAR satellites, to provide

design support to existing and future SAR payloads by preliminary simulation of SAR algorithms and software, to be used as a reference data source in payload ground tests during the satellite integration phase. SARGUS software includes model definition, scenario description, scenario execution (orbit propagation and mission performance analyses), raw SAR data generation, SAR image processing, post-simulation analyses and image evaluation functions. SARGUS, which does not have any commercial product dependency, distinguishes itself from similar SAR simulation software by combining the raw SAR data generation simulation capability with fundamental orbital mechanics functions. In this study, SARGUS's system engineering approach, prototype software architecture, use case scenarios are presented and decisions taken and problems encountered are discussed.

Keywords: low earth orbit, SAR image processing, satellite, simulation, synthetic aperture radar, raw SAR data.

1. GİRİŞ

SARGUS, 500 km ve 800 km arası alçak irtifa (İng., low earth orbit) uydularının yüksek sadakat seviyeli yörünge modeli ve SAR görev yükü donanım modeli benzetimi ile referans çerçeveleri arası dönüşüm, uydu görüş açıları, yeryüzü tarama alanı gibi hesaplamaları ve koşum sonrası analizleri için gerekli işlevleri içeren, animasyon kabiliyetine de sahip bir uydu nümerik simülasyon yazılımıdır. Benzerleriyle kıyaslandığında daha spesifik bir yörünge çerçevesi ve görev yükü tipi ile tanımlanan SARGUS, uydu yörünge mekaniği benzetimi ile entegre çalışan SAR ham verisi üretme kabiliyeti, ve bu görüntüleri işleme/kıymetlendirme işlevleriyle de farklı yer edinmektedir.

SARGUS, sınırlı seviyeli hiyerarşik yapı ile tanımlanabilen bir senaryo kapsamında, benzetim başlangıç-bitiş zamanlarına bağlı olarak uydu yörüngelerinin, hedef bölgelerin, yer istasyonlarının, yeryüzü izlerinin 2B ve 3B olarak görselleştirilebildiği, senaryonun nümerik simülasyonunu gerçekleştirilerek farklı raporlar üretilebildiği, animasyon kabiliyeti de içeren bir platform sunar. Bu altyapı kullanılarak, SAR uydu görev yükü ile tanımlanan benzetim hesaplamaları sonucunda ilgili senaryoda tanımlı hedef bölgelere ait SAR ham verisinin üretilmesi sağlanabilmekte, koşum sonrasında SAR görüntüsü oluşturma ve oluşturulan görüntünün analizi de mümkün olmaktadır.

SARGUS, STM'nin Göktürk-3 vizyonunu temel alarak “Sentetik Açıklıklı Radar Gözetleme Uydusu Görev Yükü Simülasyonu” başlığı ile tanımladığı ve TÜBİTAK tarafından da desteklenen bir araştırma projesinin beklenen çıktısıdır [1]. Henüz proje takviminin başlarındaki bu Ar-Ge projesinde simülasyon modellerinin ve yazılım altyapısının ilk prototipleri üretilmiştir.

Bu çalışmada, SARGUS'un amacı, hedefleri, öngörülen bazı kullanım senaryoları, geliştirme sürecinde uygulanan yaklaşım ve ana hatlarıyla yazılım mimarisi sunulmuş ve tartışılmıştır.

2. MOTİVASYON

2.1. Amaç

SARGUS projesinin amacı, Türkiye'nin ilk milli Sentetik Açıklıklı Radar Keşif Gözetleme Uydusu olacak Göktürk-3 [2] projesinden esinlenilerek, SAR uydu veya uydu sistemlerinin tasarımına ve analizine yönelik çalışmaları destekleyecek milli yazılım platformu ihtiyacını karşılamaktır. Kapsamlı bir milli simülasyon yazılımı bulunmaması, ileride farklı tip görev yüklerinin de analiz ve tasarımına destek verebilecek şekilde güncellenebilecek yapıya sahip olması SARGUS'un gerçekleştirilmesinde dikkate alınan bir diğer etkidir.

Sistem, hem elektro-optik hem de SAR görev yüklü alçak dünya yörüngesi uydularına odaklanmakta, uydu sistemlerinin görev planlama çalışmalarına ve performans analizlerine yardımcı olması amaçlanmaktadır. SAR uydusunun yörüngede iken elde edeceği SAR ham verisini üreten SARGUS, bu kabiliyeti ile uydu simülasyonu yapan mevcut araçlardan farklıdır.

Öncelikli olarak, SAR ham verisi üretmek için aktarılan ve alınan sinyallerin geometrik bir modeli olması gerekmektedir [3]. Bu geometrik model yapısı elektro-optik görev yüklü uydulara da uygulanabildiği için SARGUS sisteminde elektro-optik görev yükü geometrisine de yer verilmiştir. Ayrıca, ham veri üretimini etkileyen SAR donanımı tasarlama eklentisi sayesinde kullanıcılarına donanım parametrelerinin tanımlanması imkânı sağlanarak tasarım sürecinde destek olacak bir araçtır. Ek olarak, içeriğindeki çeşitli SAR sinyali işleme algoritmaları ile hem ürettiği sentetik ham verileri hem de gerçek SAR uydusu ham verilerini işleyen kombine bir sistem olması amaçlanmaktadır.

2.2. Başarım hedefleri

SARGUS'un temel hedefi, başta STM'nin uydu görev çalışmaları olmak üzere, ilgili kurum ve kişilere SAR uydu sistemleri kapsamında tasarım ve analiz yapma imkânı sağlamaktır. Tanımlanan alçak irtifa yörüngesindeki uydunun veya uyduların, yüksek hassasiyetli yörünge ilerletme (İng., propagation) teknikleriyle yüksek sadakatli simülasyon çıktısı elde edilmesi hedeflenmektedir.

SARGUS için ilk başarım kriteri, çalışan ve uydu sistem mühendisliği faaliyetleri kapsamında üretilmiş simülasyon modellerinin entegre edildiği prototipin tamamlanmasıdır. Gerçeklenen prototipin, gerek ilerletme, gerekse SAR ham veri üretme/işleme yöntemleri ile elde edilen sonuçlarının yaygın kabul görmüş benzer simülasyon araçlarının çıktılarıyla doğrulanması amaçlanmaktadır.

Bir diğer başarımlı hedefi ise, gerçekçilik arttıkça daha yüksek hesap yoğunluğu gerektirdiği bilinen sentetik SAR ham verisi oluşturma kabiliyetinin, kabul edilebilir bir koşum performansı seviyesinde gerçekleşmesidir. Bu amaç doğrultusunda ihtiyaç çerçevesinde çevrim-dışı ön hesaplama ve paralel veri işleme gibi yöntemlerden yararlanılabilecektir.

3. KULLANIM SENARYOLARI

SARGUS, tanımlı yörüngeleri ve analizlerini görselleştirmek amacıyla iki boyutlu dünya projeksiyon haritası ve üç boyutlu dünya modeli pencereleri içermektedir. Ayrıca, hedef bölgede bir sentetik arazi ve arazi üzerinde kısıtlı sayıda yapay nesneler tanımlanabilmesi amacıyla, kullanıcı ile etkileşimli bir arazi oluşturma kabiliyeti de tasarlanmaktadır. Bu kabiliyetlerle desteklenen sistemin temel kullanım durumlarını anlatan üç örnek senaryo aşağıdaki gibidir:

Örnek kullanım durumu 1. *Senaryodaki uydu/uyduların kapsama analizi*

Kullanıcı başlangıç-bitiş zamanı veya zaman aralığı tanımına göre bir senaryo oluşturur. Ardından sistemdeki senaryo elemanı seçeneklerinden analiz amacıyla uydular ve hedef bölgeler seçer. Seçtiği uyduların yörünge parametrelerini farklı alternatifler (klasik Kepler parametreleri, durum vektörü vb.) kullanarak tanımlar. Benzer şekilde seçimi yaptığı hedef bölgelerin koordinatlarını da yeryüzünde bir poligon çizerek tanımlar. Kullanıcı uydu ve hedef bölge eşleşmesi yaparak analizi başlatır. Sistem kapsama analizi sonuçlarını kullanıcıya raporlar.

Örnek kullanım durumu 2. *Sentetik senaryo ortamında SAR ham verisi üretme*

Kullanıcı başlangıç-bitiş zamanı veya zaman aralığı tanımına göre bir senaryo oluşturur ve senaryo elemanı seçeneklerinden uydu ve hedef bölge seçimini yapar. Seçimini yaptığı uydunun yörünge parametrelerini ve hedef bölgenin koordinatlarını tanımlar. Kullanıcı tanımladığı hedef bölgeye ilişkin bilgileri detaylandırmak amacıyla arazi tanımlama işlevini başlatır. Tanımladığı bölge için yükseklik bilgilerinin kaynağını tanımlar (yükseklik verilerinin bulunduğu bir detaylı bir veritabanı seçer). Arazide belirlediği bir konuma önceden tanımlanmış üç boyutlu bir nesne modelini yerleştirir ve arazi tanımını kaydeder. Ardından kullanıcı SAR ham verisi üretmesini istediği uyduyu seçerek SAR görev yükü parametrelerini tanımlar. Uydu-arazi eşleşmesi sırasında uydunun hedef bölgeyi kapsama bilgileri hesaplanır. Ardından sistem, bu kapsama bilgilerini dikkate alarak SAR ham verisini oluşturur ve dosya sistemine kaydeder.

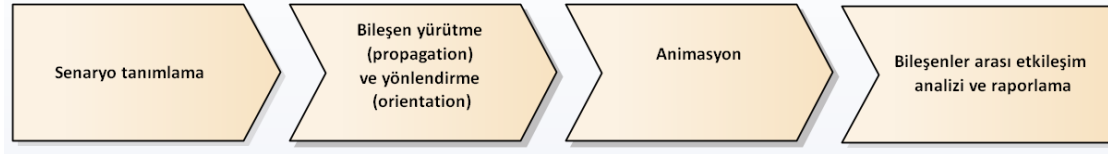
Örnek kullanım durumu 3. *SAR ham verisi işleme*

Kullanıcı SAR ham verisi işleme işlevini çalıştırır ve dosya sisteminde kayıtlı olan bir SAR ham verisini seçer. Sistem kullanıcının SAR ham verisinin üretildiği uydu platformu parametrelerini kayıtlı bir uydu platformu seçerek veya tanımlayarak sağlamasını ister.

Kullanıcı bu bilgiyi sağladıktan sonra SAR ham verisinin işlenmesinden kullanılacak yöntemi seçer. Sistem işlenmiş SAR görüntüsünü oluşturarak kullanıcıya gösterir.

4. TEMEL İŞLEVLER

SARGUS’la kısmen örtüşen kabiliyetlere sahip, yaygın kabul gören ticari ve açık kaynak kodlu yazılım ürünleri arasında STK [4], SAR Simulation Toolbox [5], SaVi [6], RadarFX SAR Server [7] ve GMAT [8] sayılabilir. SAR Simulation Toolbox ve RadarFX SAR Server, daha genel amaçlı SAR benzetim işlevini gerçekleştiren eklentiler/kütüphanelerdir (sırasıyla MATLAB ve MAK VR-Link/VR-Forces için). STK, GMAT ve SaVi ise çalışma akışları ve bazı işlevleri bakımından, SARGUS ile benzerlik taşımaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. SARGUS ve benzer araçların temel işlevleri çalışma akışının özeti

Bir SARGUS senaryosunun temel bileşenleri uydu tanımlamaları, hedef bölgeler ve yer istasyonları, ikinci seviye bileşenleri ise genel amaçlı (jenerik) elektro-optik algılayıcılar ve SAR görev yükü tanımları olup, bir senaryoda birden fazla aynı tip bileşen tanımlanabilmektedir. Benzetimi yapılan hedef bölge sentetik arazi oluşturma, senaryoya üç boyutlu nesne ekleme ve dijital arazi haritası seçme gibi farklı yöntemlerle oluşturulabilir. Görev yükü eklentileri her bir görev yükü tipine özel olarak belirlenmiş varsayılan değerlere sahip olup kullanıcının seçimlerine göre değiştirilebilmektedir.

SARGUS ile kullanıcının tanımladığı SAR donanım parametrelerine göre senaryodaki hedef bölgeye ait SAR ham verisinin oluşturulması ve oluşturulan sentetik SAR ham verisinin veya gerçek SAR ham verisinin işlenmesi hedeflenmektedir.

5. GELİŞTİRME YAKLAŞIMI VE YAZILIM MİMARİSİ

SARGUS yazılım mimarisinin tasarım kararlarını ilk aşamada hedeflenen işlevsel kapsam, performans hedefleri ve proje sonrası eklenmesi muhtemel kabiliyetler şekillendirmektedir.

SARGUS yazılımı C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmektedir. Uydu mekaniği, görev yükü mekaniği, SAR donanımı ve analiz yapma hesaplamalarına yönelik modeller ise alan uzmanları tarafından modellenmektedir. Hızlı prototip geliştirme açısından

yaygın kabul görmüş (MATLAB, Python, C++ vb.) hesaplama ortamları üzerinde geliştirilen bu modeller yazılıma entegre edilmektedir.

Bu çerçevede, yazılım geliştirme faaliyetleri ile modelleme çalışmaları ayrı başlıklarda ele alınmaktadır.



Şekil 2. SARGUS mimari tasarım bileşenleri

5.1. Mimari Tasarım ve Kullanılan Kütüphaneler

SARGUS yazılımı, nesne yönelimli analiz ve tasarım yaklaşımı kullanılarak C++ programlama dilinde gerçekleştirilmekte, entegre geliştirme ortamı olarak Microsoft Visual Studio, CASE aracı olarak Sparx Enterprise Architect, gereksinim yönetimi için IBM Rational DOORS kullanılmaktadır.

SARGUS yazılım mimarisi, en alt seviyede dosya sistemi erişimi, grafik kullanıcı arayüzü (Qt [9]) gibi temel işlevleri yanında, coğrafi bilgi yönetimi (QGIS/GDAL [10], [11]), bilgisayar grafiği sahne yönetimi (OpenSceneGraph [12]) kütüphanelerinin üzerine inşa edilmiştir. OpenSceneGraph kütüphanesi, 2B gösterim, 3B gösterim (OSGEarth [13]) ve animasyon kabiliyetleri için de uygun bir altlık sağlamaktadır (Şekil 2). Tüm simülasyon modelleri, senaryo ve senaryo bileşeni tanımlama, veri yönetimi gibi kabiliyetler, bu kütüphanelerin bir araya getirildiği ve MVC (İng., Model-View-Controller) örüntüsünü esas alan bir mimari altlık kullanılarak oluşturulmuştur.

SARGUS, kullanıcı deneyimi bakış açısıyla Uydu Simülasyonu çekirdek kabiliyeti üzerine eklenmiş bir SAR ham Verisi Oluşturma/İşleme bileşeni ile tanımlanır.

Uydu simülasyonu kabiliyeti, aşağıdaki sıralanan işlevlerin yerine getirilmesini sağlar:

- Senaryo bileşeni tanımlama: Uydu, uydu görev yükü, yörünge modeli, hedef bölge, yer istasyonu parametrelerini tanımlama, dosyaya kaydetme, dosyadan yükleme, güncelleme.

- Senaryo tanımlama (görev planlama): Farklı bileşenlerin bir araya getirilerek bir senaryo (görev) tanımlama, simülasyon zamanı ayarlama, senaryo hiyerarşisi oluşturma
- Senaryo koşumu: Tanımlanmış bir senaryo için bir aşamada (senaryonun kaydedilmesi) deterministik sayısal simülasyon koşturulması, sonuçların yeniden oynatma, raporlama ve 2B/3B gösterim amacıyla saklanması
- 2B/3B gösterim: Senaryo tanımlama ve senaryo koşumu aşamalarında 2B/3B ön gösterimi
- Yeniden oynatma (Animasyon): Koşumu gerçekleştirilmiş bir senaryonun 2B/3B animasyonu, başlatma, hızlandırma/yavaşlatma, durdurma (İng., pause) gibi işlevler
- Koşum raporu: Bir senaryonun, koşum sonrasında oluşturulmuş bilgilerinin derlenerek raporlanması

SAR verisi oluşturma/işleme bileşeni ise kullanıcıya aşağıdaki yetenekleri sunar:

- SAR ham veri oluşturma: Kısmen çevrim-dışı (İng., off-line) bir işlev olarak sentetik SAR ham veri üretilmesi
- SAR görüntü oluşturma: Sentetik/gerçek SAR ham verisinden SAR görüntüsü oluşturma
- Görüntü çözünürlük belirleme aracı: İlave bir araç/eklenti olarak, bir SAR görüntüsünün çözünürlük analizinin yapılabilmesi

5.2. Matematiksel Modeller

SARGUS projesinde matematiksel modeller dört ayrı kapsamda değerlendirilerek geliştirilmektedir.

5.2.1. Yörünge modeli

Yörünge tanımlamaya ve yörünge ilerletmeye yönelik hesaplamaların gerçekleşeceği fonksiyondur. Yörünge parametreleri, analiz zamanı, zaman aralığı, yörünge ilerletici seçenekleri yörünge modeline girdi olarak sağlanmaktadır. Yörünge modelinin temel çıktıları uydunun zamana bağlı hız ve pozisyon bilgisidir.

5.2.2. Görev yükü modeli

Görev yükü modeli, SAR donanımı, görev yükü geometrisi, SAR ham verisi oluşturma ve SAR görüntüsü işleme hesaplamalarını kapsar.

Görev yükü geometrisini tanımlamaya yönelik yapılmış çalışmalarda, kullanıcılara uydu platformlarının yer ile bağlantısını sağlayan geometrik hacimleri kullanma imkânı sağlanır [14]. Aynı şekilde SARGUS sistemi de kullanıcılarına bu görev yükünün

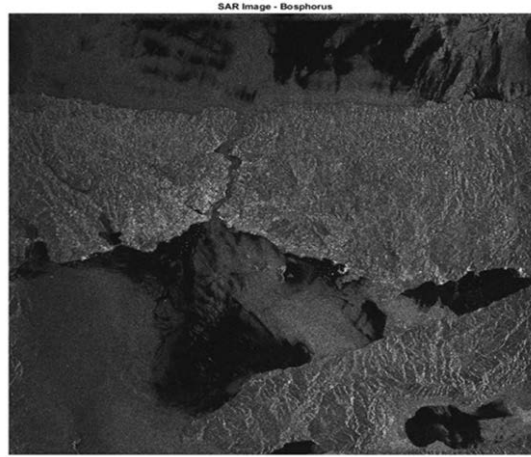
geometrik hacimlerini temsil eden konilerin veya dörtgen piramitlerin parametrelerini tanımlama yeteneğine sahiptir.

SAR donanımının özelliklerini etkileyen uyarıcı, verici, alıcı ve anten temel alt sistemler bulunmaktadır [15]. SARGUS sisteminde, kullanıcıya bu alt sistemlerin özelliklerini tanımlanma imkanı sağlanıp tanımlanmış SAR donanımının sinyaline yönelik fiziksel özellikler hesaplanabilir.

SAR ham verisi oluşturmak için SAR donanım parametreleri, görüntülenecek sahne bilgileri, SAR çalışma metodu ve kullanılacak algoritmalar ile birlikte uydu pozisyon ve hız bilgileri girdi olarak kullanılır. Çıktı olarak oluşturulan SAR ham verisi sunulacak olup, bu veri görüntüleme yapılan süre boyunca darbe tekrar frekansına bağlı olarak yansıyan sinyalleri içerir.

Literatürde, yüksek çözünürlüklü SAR görüntüsü oluşturmak için geri-izdüşüm, menzil doppler, cıvıltı ölçekleme (İng., range doppler, back projection, chirp scaling) ve omega-k algoritmaları kullanılmıştır [16]. SARGUS yazılımı da sistemde bulunan veya harici olarak sağlanan SAR ham verisinden SAR görüntüsü oluşturmak için kullanıcı seçimine bağlı olarak bu algoritmaları kullanabilmektedir.

SAR görüntüsü oluşturma kapsamında yapılan çalışmalarından biri Şekil 3'de örnek olarak verilmiştir.

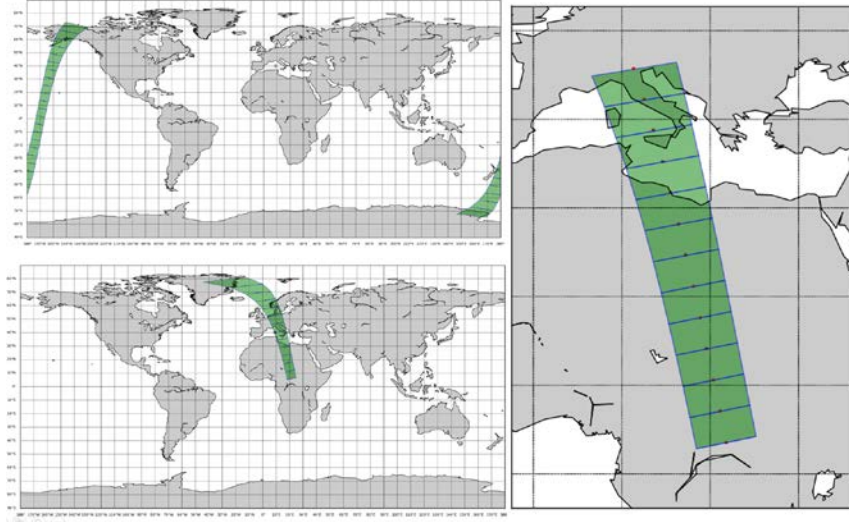


Şekil 3. Örnek işlenmiş SAR görüntüsü

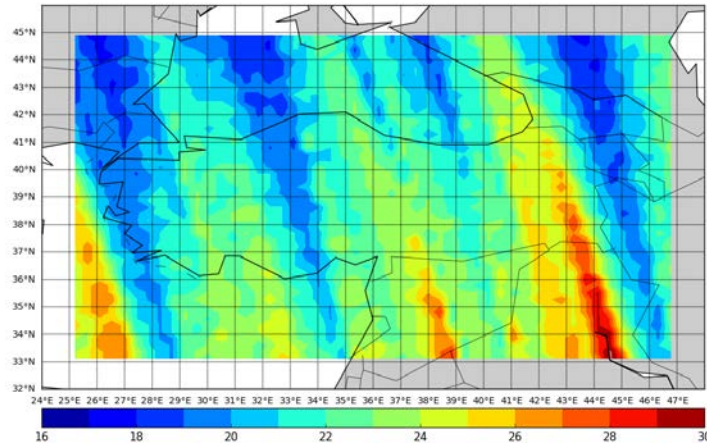
5.2.3. Analiz modeli

Analiz modelinde; yörünge modeli çıktıları, uydu görev yükü geometrik modeli ve hedef alan tanımı girdi olarak kullanılacak olup kullanıcının seçimine göre uydu kapsama alanı ve tekrar ziyaret zamanı gibi performans ölçütlerinin analizleri gerçekleştirilebilecektir. SARGUS kapsamında geliştirilen analiz modeli prototipi ile takım uydu sistemlerinin kapsama alanı analizini inceleyen bir çalışma yapılmıştır [17]. Analiz modeli temel olarak uydunun hareketi boyunca, görev yükünün dünya üzerinde görev yapabileceği alanların

(İng., potential swath [12], görülebilir alan) belirlenmesi, bu alanların hedef bölge özelinde sayısal değerlendirmelerinin sağlanması işlerini gerçekleştirir. Görülebilir alan hesaplanması sırasında oluşturulan görülebilir alanlara yönelik örnek grafik çıktıları Şekil 4’de verilmiştir. Görülebilir alan bilgilerinin hedef bölge üzerinde analiz edilmesi ile oluşturulan performans ölçütlerine ait örnek çıktı ise Şekil 5 ile verilmiştir.



Şekil 4. Örnek görülebilir alan çıktıları



Şekil 5. Örnek senaryo için ortalama ziyaret zamanı (saat)

5.2.4. Referans çerçeveleri ve dönüşümleri

SARGUS yazılımı için tanımlanan fonksiyonel gereksinimlerin karşılanması için, matematik modellerin farklı koordinat ve zaman sistemlerinde işlemler yapması gerekmektedir. Verilerin modeller arası aktarılması ve kullanıcıya anlamlı veri olarak sunulabilmesi için bu sistemler arası dönüşümlerin gerçekleştirilmesi ihtiyacını karşılamak üzere çerçeveler arası dönüşüm modelleri oluşturulmuştur. Bu model SARGUS yazılımı tüm bileşenleri tarafından ortak kullanılacak bir kütüphane olarak

tanımlanmıştır. Bu model ile hesap kabiliyeti sunulması planlanan koordinat ve zaman sistemleri aşağıdaki gibidir:

- Referans Çerçeveler:
 - o Dünya merkezli eylemsiz referans çerçeve (ECI)
 - o Dünya merkezli dönen referans çerçeve (ECEF)
 - o Yörünge merkezli eylemsiz referans çerçeve (İng., Perifocal)
 - o Toposentrik ufuk referans çerçevesi (SEZ, ENZ)
 - o Normal-Teğet-Normal referans çerçeve (NTW)
 - o Gövde Sabit Çerçeve
- Zaman sistemleri
 - o Evrensel Zaman
 - o Atomik Zaman
 - o Jülyen Günü
 - o Dinamik Zaman

6. SONUÇ

Bu çalışmada, STM bünyesinde halen Ar-Ge projesi olarak geliştirilmekte olan Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) Gözetleme Uydusu Görev Yüğü Simülasyonu (SARGUS) kabiliyetleri, uygulanan sistem ve yazılım mühendisliği yaklaşımı aktarılmıştır.

Henüz ilk prototipleri ortaya çıkmakta olan SARGUS için hedeflenen örnek kullanım senaryoları anlatılmış, simülasyon yaklaşımı, kullanılan teknolojiler, yazılım mimarisi, modellerin içeriği özetlenmiştir.

Geliştirilen SAR algoritmalarının doğrulanması için farklı SAR uydularından ham veri tedariki gerçekleştirilmiştir. Farklı algoritmalar ile işlenen ham veriler ile SAR görüntüleri oluşturulacak ve başarımlı amaçlı karşılaştırmalar gerçekleştirilecektir. Böylece Göktürk-3 gibi projeleri hedefleyen çalışmalara yönelik teknolojik hazırlıkların daha etkin şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır.

SARGUS'un temel işlevler açısından genişletilebilir bir nümerik uydu simülasyonu altyapısı sağlayacağı öngörülmektedir. Bu kapsamda, mevcut haliyle özel bir uygulama olarak SAR görev yükü ele alınmakla birlikte, orta ve uzun vadede farklı görev yükü türlerinin de bu altyapıya eklenebileceği değerlendirilmektedir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Sanayi Ar-Ge Projelerini Destekleme Programı kapsamında 3160106 numaralı proje ile desteklenmiştir.

8. KAYNAKÇA

- [1] Sütçüoğlu, Ö. (2017), A Combined Spaceborne Synthetic Aperture Radar (SAR) Simulation Tool for Both System Engineering and Operational Purposes, *ESA Workshop on Simulation and EGSE for Space Programmes*.
- [2] Ercan, C. ve Kale, İ. (2017), Historical space steps of Turkey: It is high time to establish the Turkish space agency, *Acta Astronautica*, c. 130, ss. 67–74.
- [3] Jung, C. H., Choi, M. S. ve Y. K. Kwag (2007), Parameter based SAR simulator for image quality evaluation, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International*, ss. 1599–1602.
- [4] Analytical Graphics (2017), STK, [Çevrimiçi] <https://www.agi.com/products/engineering-tools> [Erişim: 17-May-2017].
- [5] Array Systems Computing Inc. (2017), SAR Simulation Toolbox, [Çevrimiçi] <http://www.array.ca/solutions/sar-simulation.html> [Erişim: 17-May-2017].
- [6] Wood, L. (2017), SaVi, [Çevrimiçi] <http://savi.sourceforge.net/> [Erişim: 17-May-2017].
- [7] VT MAK (2017), RadarFX SAR Server, [Çevrimiçi] <https://www.mak.com/products/visualize/sensors> [Erişim: 17-May-2017].
- [8] NASA (2017), General Mission Analysis Tool (GMAT), [Çevrimiçi] <https://gmats.gsfc.nasa.gov/> [Erişim: 17-May-2017].
- [9] Blanchette, J. ve Summerfield, M. (2006), *C++ GUI programming with Qt 4*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [10] QGIS (2017), A Free and Open Source Geographic Information System, [Çevrimiçi] <http://www.qgis.org> [Erişim: 23-May-2017].
- [11] GDAL (2017), Geospatial Data Abstraction Library, [Çevrimiçi] <http://www.gdal.org/> [Erişim: 23-May-2017].
- [12] Wang, R. ve Qian, X (2010), *OpenSceneGraph 3.0 Beginner's Guide*. Packt Publishing.
- [13] Pelican Mapping (2017), osgEarth Documentation, Release 2.4.
- [14] Stodden, D. Y. ve Galasso, G. D. (1995), Space system visualization and analysis using the Satellite Orbit Analysis Program (SOAP), *1995 IEEE Aerospace Applications Conference. Proceedings*, ss. 369–387 c.1.
- [15] Curlander, J. C. ve McDonough, R. N. (1991), *Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons.
- [16] Cumming I. G. ve Wong F. H. (2005), *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*. Artech House.
- [17] Sezer, A., Çelikkaya, O. ve Hassoy, B. (2016), Revisit Analysis of Microsatellite Constellation, *7th Nano-Satellite Symposium*.

EMNİYET ANALİZ YÖNTEMLERİNİN GENEL BİR FÜZE SİSTEMİNE UYGULANMASI

Firdevs Işık^(a), Murat Caner Testik^(b), Adem Metin Çalı^(a)

^(a) Roketsan, Kemalpaşa Mahallesi Şehit Yüzbaşı Adem Kutlu Sokak No:21
06780 Elmadağ, ANKARA,

firdevs.isik@roketsan.com.tr, ademmetincali@computer.org

^(b) Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, mtestik@hacettepe.edu.tr

ÖZ

Modern sistemlerin giderek karmaşık bir hal alması, emniyet kural ve yönetmeliklerinin sıkılaşmasıyla birlikte emniyet analiz yöntemleri projelerde daha önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebeple bu analizlerin, projenin ilk aşamalarından itibaren başlayıp tasarım süreciyle birlikte proje sonuna kadar yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu gerekliliği karşılamak için son yıllarda emniyet analiz yöntemleri ile sistem modelleme faaliyetleri projenin belirli aşamalarında bir arada kullanılmaktadır. Bu kapsamda, projelerin ilk aşamalarında yapılan tehlike ve hata modu analizleri ile emniyet kritik gereksinimler, fonksiyonlar ve bileşenler belirlenip model tabanlı emniyet analizi yapılmaktadır. Böylece emniyet açısından kritik bütün noktalar belirlenmeye çalışılmaktadır. Füze sistemleri, piroteknik alt sistemleri sebebiyle karmaşık ve emniyet gereksinimleri fazla olan sistemlerdir. Bu çalışmada, SysML ile üç tane model oluşturulacaktır. İlk sistem modelinde, füze sisteminin temel çalışma mantığı gösterilecek olup herhangi bir emniyet analizi gerçekleştirilmeyecektir. İkinci ve üçüncü modellerde, sistem modelleme ile birlikte emniyet analizleri gerçekleştirilecektir. Emniyet analizleri ikinci modelde sistematik bir şekilde yapılmayacak olup üçüncü modelde ise projenin ilk aşamalarından itibaren belirli safhalarda gerçekleştirilip ileriki safhalara girdi oluşturulacaktır. En sonunda ise bu modeller birbirleri ile emniyet açısından mukayese edilecektir. Emniyet analizlerinin yapılmasının ve projenin belirlenmiş aşamalarında uygulanmasının füze sistemini emniyet yönünden nasıl etkileyeceği değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: füze sistemleri, emniyet analizi, kritik sistem tasarımları, sistem modellemesi, tehlike analizi

APPLICATION OF SAFETY ANALYSIS METHODS TO A GENERAL MISSILE SYSTEM

ABSTRACT

With the increasing complexity of modern systems and the tightening of safety rules and regulations, safety analysis methods become more important in projects. For this reason, it has become clear that these analyzes should be carried out from the first stages of the project to the end of the project together with the design process. In recent years, to meet this requirement, safety analysis methods and system modeling activities have been used together at specific stages of the project. In this context, hazard and failure mode analyzes are made at the first stages of the project, safety critical requirements, functions and components are determined, and model based safety analysis is done. Thus, all critical points are tried to be determined in terms of safety. Due to pyrotechnic subsystems, missile systems are complicated and have high safety requirements. In this study, three models are formed with SysML. In the first system model, the basic operational logic of the missile system is shown and with no safety analysis being performed. In the second and third models, safety analysis are carried out with system modeling. The safety analyzes is not done systematically in the second model, whereas in the third model, these analyses which began in the first stages of the project are carried out at certain stages and the subsequent stage inputs are generated. Finally, these models are compared with each other in terms of safety. The implementation of safety analyzes and the application of them at certain stages of project are assessed to show the effects on the missile system in terms of safety.

Keywords: critical system design, hazard analysis, missile system, system modelling, safety analysis

1. GİRİŞ

Sistemlerin karmaşıklığının giderek artması ve güvenlik kurallarının sıkılaşması ile emniyet analizi süreçleri de karmaşıkmaktadır. Bu nedenle, maliyetleri düşürmek, başarısızlığı önlemek ve kaliteyi arttırmak amacıyla tasarımın erken aşamalarından itibaren emniyet analizlerinin yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Günümüz projelerinde giderek azalan proje süreleri erken tasarım aşamalarında emniyet analizlerinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum tasarım ile emniyet çalışmaları arasında bir boşluğun oluşmasına sebebiyet vermekte, sistem mühendisleri ile güvenilirlik mühendisleri arasında iletişim kopukluğuna neden olmaktadır [1].

Bu zamana kadar yaygın kullanılmış olan yaklaşımlarda geleneksel emniyet analizleri SysML ile birlikte kullanılmakta ya da belirli alanlara odaklanılmaktadır [örn. 11,12,13].

Bu çalışmada sistem emniyet analizleri ömür döngüsü içerisinde belirli fazlarda sistem modellemesi ile birlikte yapılmıştır. Bu sayede yukarıda bahsedilen problemlere ortak bir modelleme dili olan SysML kullanılarak çözüm getirileceği düşünülmektedir.

2. YAŞAM DÖNGÜSÜ MODELLERİ

Yaşam döngüsü modeli sistem mühendisliğinde yer alan temel kavramlardan biri olup bir dizi aşamadan oluşmaktadır. Bir sistem için yaşam döngüsündeki bu aşamalar sistemin bir aşamayı terk edecek kadar olgunlaşıp diğer bir aşamaya geçtiğini onaylayan yönetim kararları ile düzenlenmektedir.

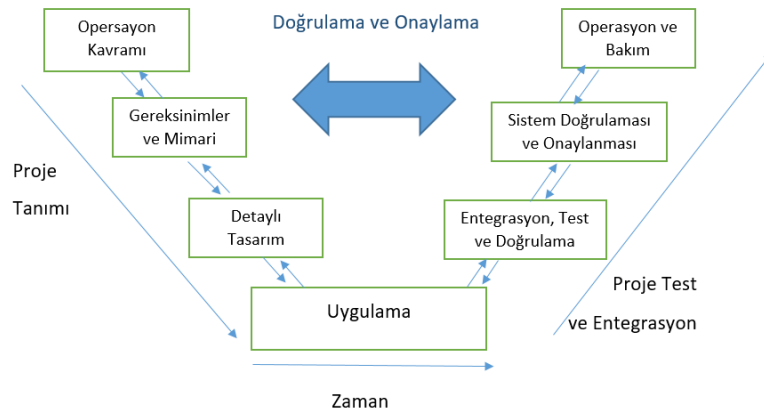
Basit bir sistemde tanım aşamasında yalnızca bir aşama yeterli olabilirken karmaşık sistemlerde ise iki veya daha fazla aşamaya ihtiyaç duyulabilir. Bu nedenle tüm durumlara uygun genel bir yaşam döngüsü bulunmamaktadır [2].

2.1. V-Model

V-Modeli, ana aktivite alanlarının birbirleri arasında koordinasyonunu sağlayan, tüm aktiviteleri içerik bakımından tanımlayan ve her seviye arasında problemin tanımlandığı andan ürün sürümüne kadar geçen tüm aşamalarda bir doğrulama adımını barındıran bir metodolojiler toplamıdır. V-modeli şelale modelinin gelişmiş hali olarak düşünülebilecek bir geliştirme süreci sunar. V-modeli, paydaşlar ile sürekli iletişimi ve bu sayede proje için sürekli olarak risk ve fırsat değerlendirmesinin yapılmasının önemini vurgular.

V-modelinde zaman ve sistem olgunluğu soldan sağa ilerlemektedir. Modelin sol tarafında gereksinimler ayrıştırılıp sistem özellikleri oluşturulurken sağ tarafında ise parçaların bütünleşmesi ve onaylanması gerçekleşir.

V-Modelinin gösterimi Şekil 1’de yer almaktadır.



Şekil 1. V-Model

Bu çalışmada V geliştirme modeli kullanılmıştır. Bunun sebebi şunlardır:

- Savunma sanayii gibi emniyetin ön plana çıktığı sektörlerde yoğun olarak kullanılması
- Belirsizliklerin az ve iş tanımlarının belirgin olması
- Kullanıcının projeye katkısını arttırması
- Safhalar arasındaki geri dönüşlerin yeterli olması ve modelin değişikliğe açık olması [2, 3].

3. EMNİYET ANALİZLERİ

En basit anlamıyla emniyet, bir sistemi, kullanıcılarını ve ortamı hasara ve kayıplara karşı korumaktır. Bir sistemin emniyetli olabilmesi için tehlikeye sebep olabilecek olası hata durumları ortadan kaldırılmalı veya riskleri azaltılmalıdır. Bu bağlamda tehlike, kazaya sebep olabilecek sistem durumlarındaki olası hata veya arızalardır. Bu hata durumlarını, hata durumlarının etkilerini, nedenlerini ve kritiklik seviyelerini belirlemek için emniyet analizleri gerçekleştirilir. Bu analizlerin bir kısmında her bir hata için risk seviyesi belirlenir. Daha sonra bu hata durumları ortadan kaldırılmaya veya azaltılmaya çalışılır [1,4].

Bu çalışmada kullanılacak olan emniyet analizleri ön tehlike analizi, fonksiyonel hata analizi ve işlevsel hata türleri ve etkileri analizidir.

3.1. Ön Tehlike Listesi (ÖTL)

Ön tehlike listesinde sistem içerisinde yer alabilecek potansiyel tehlikeler, kazalar tanımlanır ve listelenir. Bu listenin oluşturulması tehlike analizinin ilk basamağıdır. ÖTL kavramsal veya ön tasarım aşamaları esnasında yapılmaktadır. ÖTL oluşturulurken daha önce benzer sistemlerden elde edilen deneyimler, tasarım bilgisi ve tehlike bilgisi kullanılır. Burada anlatılmak istenen sistem tasarımının, tehlikelerin, tehlike kaynaklarının, tehlikeye sebep olabilecek parçaların ve benzer sistemlerdeki tehlikelerin temel seviyede bilinmesidir [4].

3.2. Ön Tehlike Analizi (ÖTA)

Ön tehlike analizi, sistemdeki tehlikeleri tanımlamak, tespit edebilmek ve sistemin emniyet ile ilgili gereksinimlerini belirlemek için tasarımın erken aşamalarında kullanılan bir tekniktir. Analiz edilecek tehlikeler belirlenirken genellikle ön tehlike listesinden faydalanılır. Bu analizi yapabilmek için ÖTL, tasarım bilgisi, tehlike bilgisi ve en üst seviye kazaların belirlenmesi gereklidir. Bu analizin çıktıları tehlikelerin önlebilmesi için faaliyetler, tehlikelerin sebepleri ve kritik emniyet gereksinimleridir [5].

3.3. Fonksiyonel Hata Analizi (FHA)

Fonksiyonel hata analizi sistemler ya da alt sistemler için yapılabilir. Bu analizde öncelikle sistemin temel işlevsel özellikleri net bir şekilde tanımlanır ve sınıflandırılır. Daha sonra bu tehlikelerin vereceği hasara göre şiddeti belirlenir. FHA'nın yapılabilmesi için gerekli olan girdiler sistem faaliyetinin işlevsel akış diyagramı ve sistemin bütün fonksiyonları hakkında oluşturulmuş bir listedir. FHA yapıldıktan sonra elde edilen çıktılar fonksiyonel hata durumları, emniyet kritik işlevler, tehlikeye sebep olabilecek etmenler ve tehlikeleri azaltmak için gerekli olan emniyet gereksinimleridir [5, 6].

3.4. İşlevsel Hata Türleri ve Etkileri Analizi

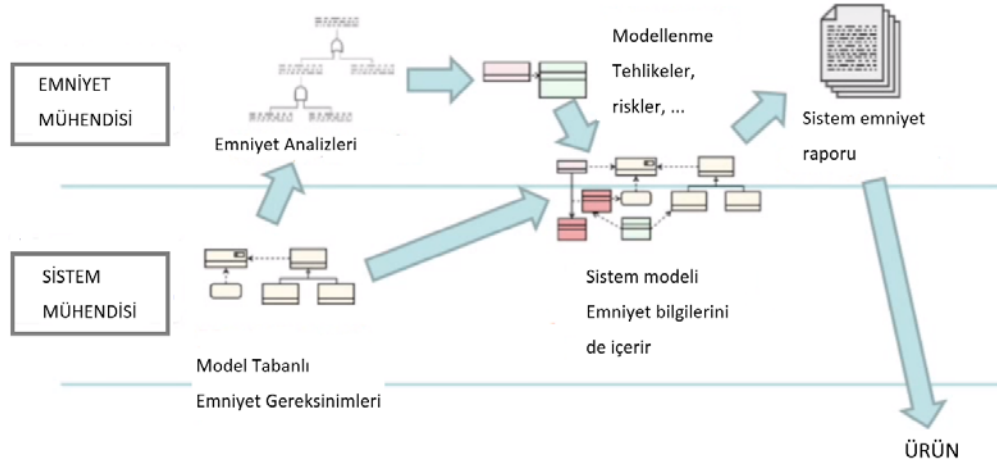
Genellikle donanımda yer alan parçalar tek tek tanımlanamadığında ya da sistemin karmaşık olmasından dolayı en üst seviye donanımın işlevlerinden en alt seviye donanım işlevlerine inilmesi gereken durumlarda kullanılır. Tanımlanan her hata modu için şiddet sınıfı ve uygun bir düzeltici faaliyet tanımlanır. Hata modları şiddet sınıfına ve düzeltici faaliyete göre önceliklendirilerek tasarıma girdi sağlar. Yıkıcı ya da kritik sınıfta yer alan hata modları yok edilmeye, yok edilemeyen hata modlarının etkileri azaltılmaya, etkileri azaltılamıyorsa kabul edilebilir seviyede kontrol altına alınmaya çalışılır. Kontrol altına alınamıyorsa uyarıcılar eklenir ya da kullanıcılar bilgilendirilir. Bir hata modunu incelenirken sadece o hata modunun bağlı olduğu işlev ele alınır. Tek nokta kaynaklı hata modlarının tespit edilemediği durumlarda ise başka bir işlevde de meydana gelebilecek hata modlarının da değerlendirilip, bir araya gelerek (kombine hata durumları) oluşturabilecekleri hata modları ele alınır. Sistemin kullanılacağı tahmin edilen çevre koşulları hata durumları tanımlanırken dikkate alınmalıdır [7].

3.5. Tehlike Analizi Profili ve Emniyet Analizleri Prosedürü

Sistem tasarımlarında emniyet açısından yaşanan sıkıntılar şunlardır:

- Emniyet ile alakalı analiz ve bilgilerin birden çok bakış açısına hitap etmesinden dolayı dağınık olması ve bu durumun getirdiği karmaşa
- Emniyet mühendisliği ile diğer mühendislik dalları ile ortaya çıkan iletişim problemleri
- Emniyet ile ilgili oluşan sıkıntıların çözülmesinde harcanan zaman ve paranın yüksek olması

Bu yaklaşımın asıl amacı, SysML üzerinden emniyet analizlerini sistem tasarımında etkin olarak kullanmaktır. SysML'in kullanılma amacı ortak bir dil oluşturulması, birden çok bakış açısına hitap etmesi ve sistemin matematiksel olarak ifade edilmesinin getirdiği avantajlardır. Sistem tasarımı SysML ile modellendiğinde, bu model temel alınarak yapılan emniyet analizlerinin sonuçları da eş zamanlı olarak modellenir. Bu uygulama Şekil 2'de kısaca gösterilmiştir [1].

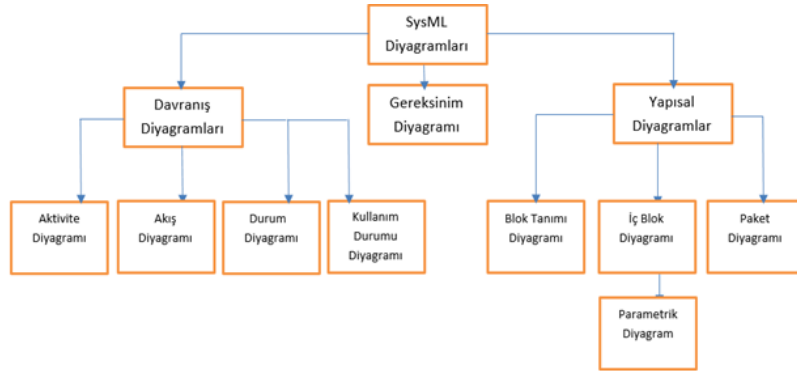


Şekil 2. Emniyet Prosedürü

4. SYSML VE DİYAGRAMLAR

SysML karmaşık sistemleri tanımlamak, analiz etmek, tasarlamak ve doğrulamak için kullanılan grafiksel bir modelleme dilidir. Bu karmaşık sistemler donanım, yazılım, personel, bilgi, prosedürler ve tesislerden oluşabilir.

Bu dil kullanılarak sistemin gereksinimleri, davranışları ve parametleri modellenir ve bu modellerle mühendislik analizleri desteklenir. Herhangi bir SysML modelinde, bir ürünün gereksinimlerini, yapısal ve davranışsal yönünü anlatmak üzere üç tip diyagram bulunmaktadır. Bu üç kısmın da modelleme yapılırken oluşturulması, kendi içlerinde ve birbirleriyle tutarlı olması gerekmektedir [8, 9]. SysML diyagramları Şekil 3'te yer almaktadır.



Şekil 3. SysML Diyagramları

4.1. SafeML

SafeML, geliştirme ekipleri ve ekip üyeleri arasındaki iletişimi ve tutarlılığı sağlamak amacıyla emniyet bilgilerini sistem tasarım bilgileri ile bütünleştiren bir SysML profilidir. SafeML emniyet analizleri yoluyla ortaya çıkan bilgileri sistem tasarımında görünür kılmak üzere yoğunlaşmıştır. SysML, sistem tasarımı için gerekli olan diagram

ve elemanları sağlarken, SafeML bu alt yapıyı kullanarak sistem modeline emniyet bilgilerini eklemektedir. Temel olarak SafeML’de bulunan üç temel yapı şunlardır: HAZARD, HARM, HARMCONTEXT. HAZARD sistemden dolayı meydana gelebilecek zararların potansiyel kaynağıdır. HARM çevreye veya kişiye zarar veren durumların gerçekleşmesidir. HARMCONTEXT bir ya da daha fazla tehlikenin gerçekleşmesine sebep olan ortam ve koşulları tanımlar. Bu temel SafeML elemanlarına ek olarak SafeML bünyesinde PASSIVEDEFENCE, ACTIVEDEFENCE, CONTEXTDETECTOR ve DEFENCERESULT gibi emniyet ile ilgili modellemelerde ve analizlerde kullanılabilecek yardımcı SafeML elemanları da mevcuttur [10].

5. UYGULAMA

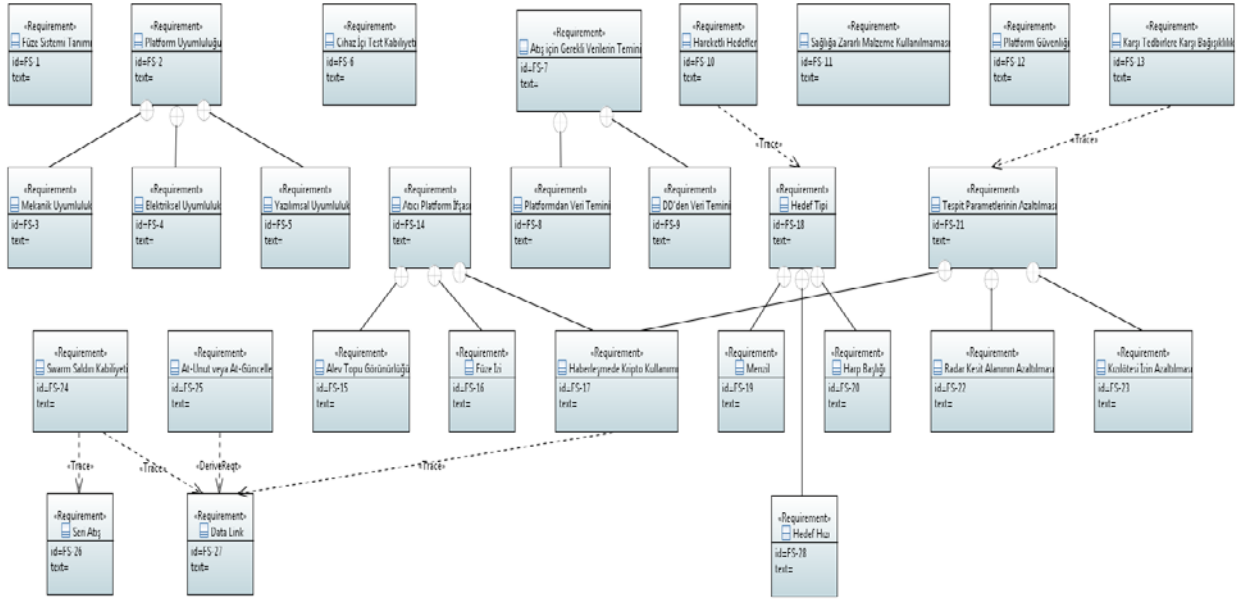
Daha önce bahsedilen problemlere (iletişim, zaman kaybı, maliyet vb.) çözüm olması için aşağıdaki fazlar takip edilmiştir. Buna ek olarak aşağıdaki çözümün etkinliğini mukayase etmek için iki model daha oluşturulmuştur. Oluşturulan modellerin ilkinde sadece SysML kullanılmış olup herhangi bir hata analiz yöntemi kullanılmamıştır. İkinci modelde ise hata analiz yöntemleri ömür döngüsüne bağlı olmaksızın uygulanmıştır. Bu modelde sistem akışında yer alan fonksiyonlar belirlendikten sonra FHA yapılmıştır ve sonuçları diyagramlara yansıtılmıştır. Üçüncü modelin uygulama fazları ise aşağıda anlatıldığı gibidir.

Bu modeller oluşturulurken V-model kullanılmıştır. Bu sayede safhalar arasında geri dönüş sağlanmış ve ilk modelde oluşturulan diyagramlara, diğer modellerde uygulanan emniyet analizlerinin sonucu yansıtılarak diğer modellerin diyagramları oluşturulmuştur.

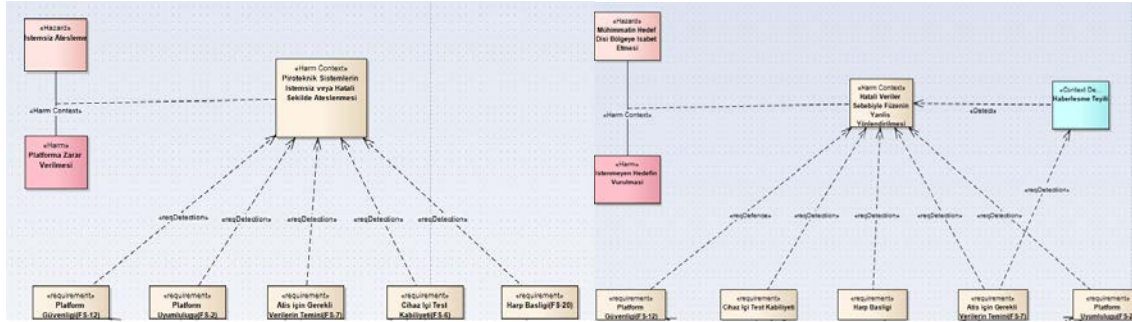
Sonuç bölümünde ise bu üç model arasındaki farklar değerlendirilmiştir.

5.1. Gereksinimler ve Kullanım Durumları

Bu fazda ilk olarak gereksinimler belirlenip SysML ile gereksinim diyagramı çizilir ve bu diyagramda gereksinimlerin birbirleri arasındaki ilişkiler tanımlanır. Daha sonra ÖTL oluşturulur ve sonrasında ÖTA yapılır. Buradan elde edilen emniyet gereksinimleri platform güvenliği altında yer alacaktır. Daha sonra SafeML aracılığıyla emniyet ile alakalı modelleme yapılır. Gereksinimler modellenirken emniyet gereksinimleri de oluşturulmalıdır. Gereksinimlerin modellendiği diyagram Şekil 4’te, SafeML diyagramları ise Şekil 5’te yer almaktadır.



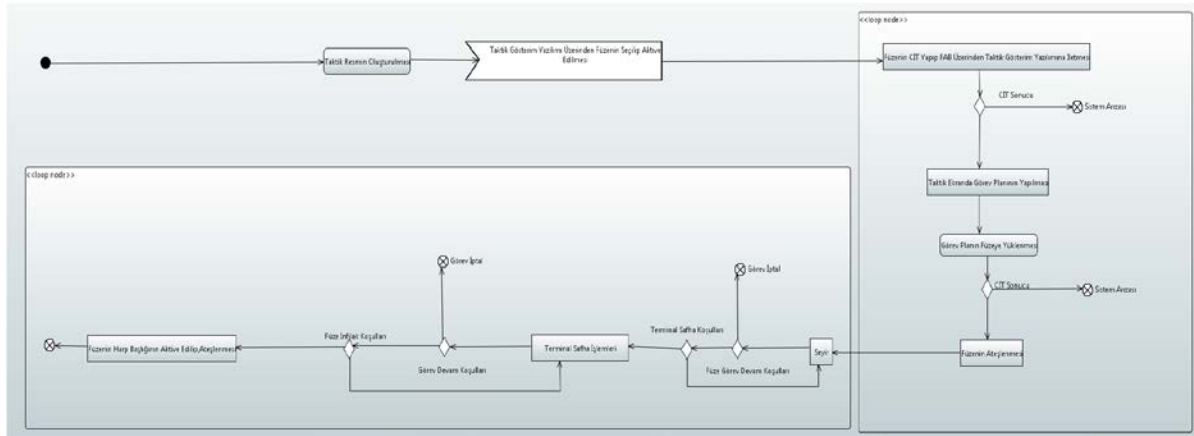
Şekil 4. Gereksinim Diyagramı



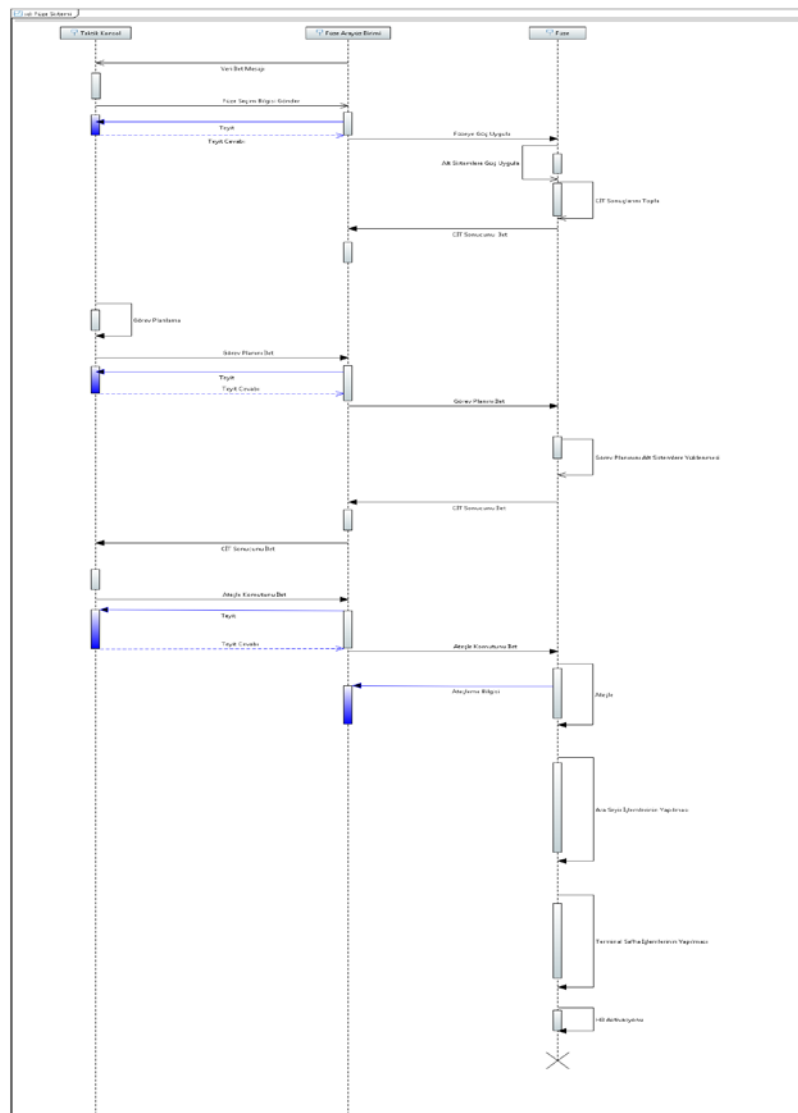
Şekil 5. SafeML Diyagramları

5.2. İşlevsel Mimari

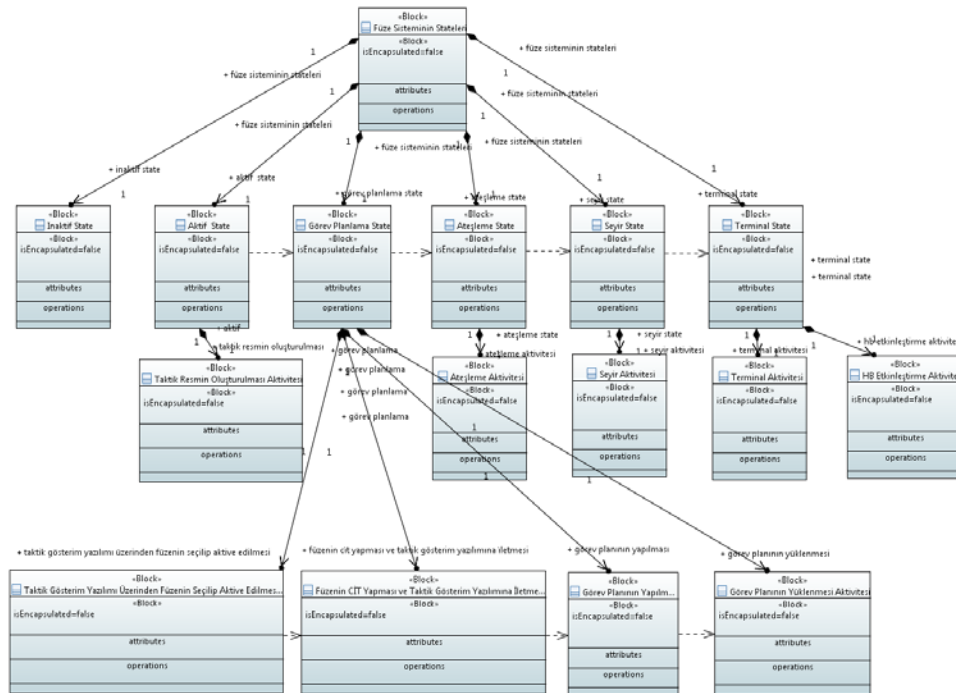
Bu fazda ilk olarak sistemin işlevleri belirlenir. Sistemin davranışını gösteren aktivite, durum, kullanım durumları ve akış diyagramlarından gerekli olanlar çizilir. Daha sonra belirlenen işlevlere FHA ve işlevsel FMEA uygulanır. Bu işlemlerle alakalı aktivite diyagramı Şekil 6’de, akış diyagramı Şekil 7’de, aktivite dekompozisyonu Şekil 8’de ve FHA Şekil 9’da yer almaktadır.



Şekil 6. Aktivite Diyagramı



Şekil 7. Akış Diyagramı



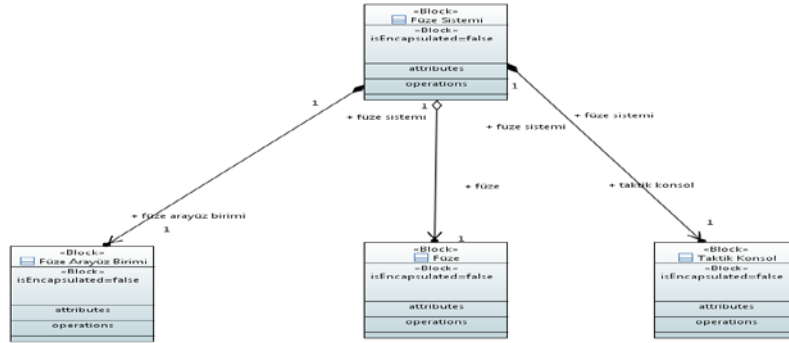
Şekil 8. Akvite Dekompozisyonu

[illegible]

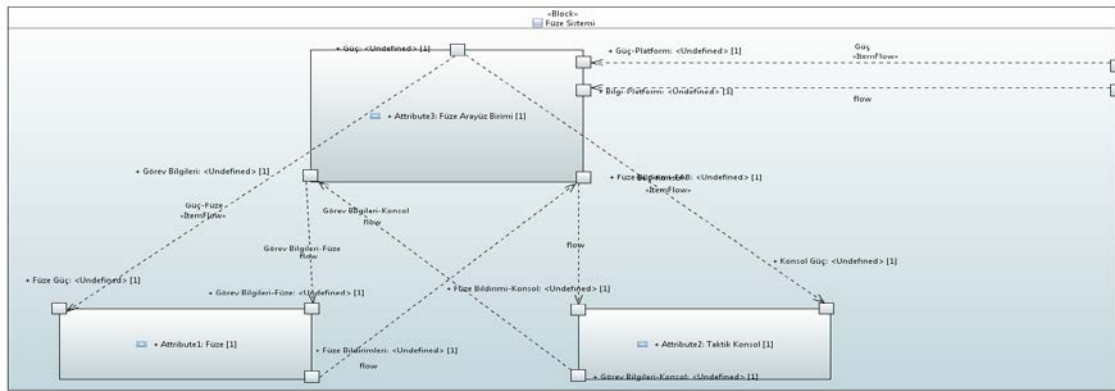
Şekil 9. FHA

5.3. Sistem Mimarisi

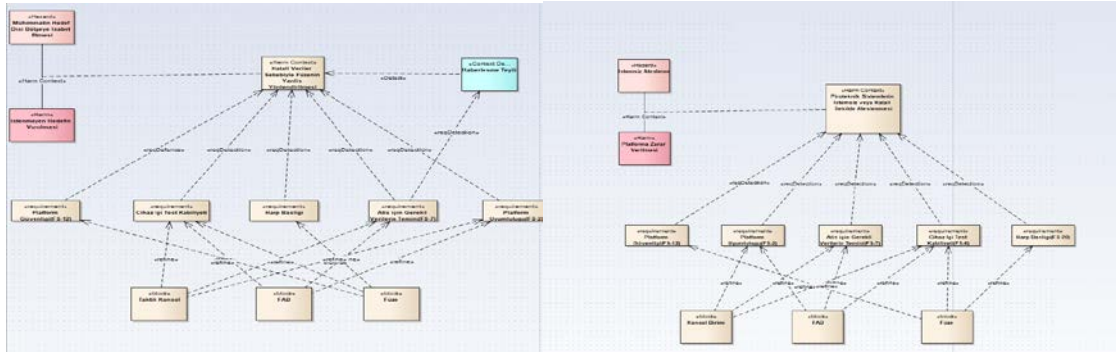
İkinci faza benzemesine rağmen bu fazda sistemin dinamik davranışları ve diyagramları değil, sistemin statik yapısı için gerekli SysML ve SafeML diyagramları çizilip analizler yapılır. Bu fazda çizilen diyagramlar aşağıda yer almaktadır.



Şekil 10. Blok Tanımı Diyagramı



Şekil 11. İç Blok Diyagramı



Şekil 12. SafeML Diyagramları

6. SONUÇ

Yapılan üç model birbirleri ile kıyaslandığında ilk modelde sadece SysML kullanılmış olup herhangi bir hata analiz yöntemi uygulanmamıştır. Bunun sonucunda ortaya çıkan model sadece konsept olarak füzenin çalışmasını açıklayacak yeterliliktedir. İkinci modelde SysML'e ek olarak hata analiz yöntemleri kullanılmasına karşın bu yöntemler ömür döngüsünde önceden belirlenmemiş olduğundan dolayı analiz yapıldıktan sonraki fazlara üçüncü modeldeki kadar tasarım girdisi sağlamamaktadır. Bunun sonucu olarak, ilk modelde bariz şekilde hata analizine dahi gerek kalmadan ortaya çıkabilecek olan

tehlikelerin tedbirlerinin alınmasının ötesine geçilememiştir. Bu modelde işlevsel akışa kontrol amaçlı mesajlar eklenmiştir. Bu şekilde tehlikeler önlemeye çalışılmıştır. Son modelde ise hata analiz yöntemlerinin ömür döngüsünde önceden belirlenmiş fazlarda yapılması ile ilk modelde bariz şekilde görünmeyen tehlikeler için de önlemler alınmıştır. Özellikle hata analiz listelerindeki ortalama bir hatanın tasarım tarafındaki girdisi olarak bir kontrol fonksiyonu ortaya çıkmakta iken hatanın yıkıcılığının artması veya benzer nedenlere sahip hataların artması durumunda ise sistemin yapısal tarafında da bir değişikliğe neden olacak bir tasarım girdisi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, bu modelde kontrol mesajlarına ek olarak güvenlik birimi eklenmiştir. Hata şiddeti fazla olan ve birden fazla tehlikenin sonucunda olma ihtimali olan istemsiz ateşleme ve mühimmatın hedef dışı bölgeye isabet etmesi için SafeML profili çizilmiştir. Bunun sonucunda güvenlik birimi oluşturulmuştur ve bu birimin kritik etkilere sebep olacak füze alt sistemleri ile ilişkisi kurulmuştur. Bu durum üçüncü modeli diğer iki modelden emniyet tedbirleri açısından net bir şekilde ayırmaktadır.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmamız boyunca bize destek olan Ayça YETERE KURŞUN, Esmâ ALTINBAŞ GENÇER ve Saygın KARAGÜLLE'ye sabırlarından ve yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

8. KAYNAKÇA

- [1] Muller, M., Roth, M., & Lindemann, U. (2016). The hazard analysis profile: Linking safety analysis and SysML. *2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon)*. doi:10.1109/syscon.2016.7490532
- [2] Walden, D. D. (2015). *INCOSE systems engineering handbook: a guide for system life cycle processes and activities*. Hoboken: Wiley.
- [3] Leibrandt, R. (2002). A Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) Introduction. *Insight*, 5(1), 7-7. doi:10.1002/inst.2002517
- [4] System Safety Handbook. (2013, March 19). Retrieved May 1, 2017, from https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/risk_management/ss_handbook/
- [5] Ericson, C. A. (2016). *Hazard analysis techniques for system safety*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
- [6] Department of Defence Standard Practice System Safety (2012, May 11). Retrieved April 12, 2017 from <https://www.system-safety.org/Documents/MIL-STD-882E.pdf>
- [7] Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (1980, November 24). Retrieved April 14, 2017 from <http://sre.org/pubs/Mil-Std-1629A.pdf>
- [8] Holt, J., Perry, S. A., & Brownsword, M. (2012). *Model-based requirements engineering*. Stevenage, Herts, U.K.: Institution of Engineering and Technology.
- [9] OMG SysML Home | OMG Systems Modeling Language. (n.d.). Retrieved May 1, 2017, from <http://www.omgsysml.org/>
- [10] SafeML 1.1 User's Guide. (2015, June). Retrieved May 1, 2017, from https://staff.aist.go.jp/geoffrey.biggs/safeml/files/safeml_users_guide_1_1.pdf
- [11] Yakymets N, Perin M, Lanusse A. Model-driven multi-level safety analysis of critical systems. In: 2015 9th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon)
- [12] Xiang J, Yanoo K, Maeno Y, Tadano K. Automatic synthesis of static fault trees from system models. In: Secure Software Integration and Reliability Improvement (SSIRI), 2011 Fifth International Conference on; 2011
- [13] Hause MC, Thom F. An Integrated Safety Strategy to Model Driven Development with SysML. In: 2007 2nd Institution of Engineering and Technology International Conference on System Safety; 2007

GENEL AMAÇLI BİLEŞEN TABANLI UÇUŞ MODELİ

Ertan Ataman ^(a), İlyas Kandemir ^(b), M. Fatih Hocaoglu ^(a, c)

^(a)Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, İstanbul Teknopark Pendik Tuzla,
ertan.ataman@agenabst.com

^(b)Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze/Kocaeli, kandemir@gtu.edu.tr,

^(c)İstanbul Medeniyet Üniversitesi,
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr; hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Bu çalışmada sabit ve döner kanat hava platformları için geliştirilmiş olan ve fiziksel, kumanda ve otomatik kontrol katmanlarından oluşan bir uçuş modeli sunulmuştur. Fiziksel katman hava aracının kuvvet üreten bileşenlerinin üst katmanlardan soyutlanarak, aralarındaki etkileşimlerinin modellenmesini içerir.

Soyut bir oyun çubuğu olarak nitelendirilebilecek kumanda katmanı ise fiziksel katmandaki bileşenlerin temel havacılık kumandaları üzerinden sürülmesini sağlar. Bu katman fiziksel bir oyun çubuğunun ya da başka herhangi bir fiziksel kumanda cihazının bağlanabilmesine imkan sağlayan iyi tanımlı bir arayüz sağlar.

Otomatik kontrol katmanı ise kumanda katmanı üzerinden sabit kanat, döner kanat gibi değişik temel hava aracı konfigürasyonlarını, hedef hız vektörünü temel alarak, PID (Proportion-Derivative-Integral) geri besleme denetleyicisiyle yönlendirir. Bu katman belli bir yönde ve irtifada hareket, hedef koordinata gitme, hedef hava aracını yakalama ve takip etme, hava aracının bir bileşenini bırakma gibi üst seviye istekleri yerine getirir.

Geliştirilen yapı, herhangi bir hava aracının kendine özgü bileşenlerinin davranışları bilindiğinde fiziksel olarak kolayca modellenebilmesine, el yordamıyla ya da otomatik olarak sürülebilmesine olanak tanır.

Anahtar Kelimeler: Döner kanat, Otomatik uçuş kontrol, PID Kontrol, Uçuş kontrol, Sabit kanat

GENERAL PURPOSE COMPONENT BASED FLIGHT MODEL

ABSTRACT

In this study, a flight control model developed consisting of an automated control layer and a physical control layer for fixed wing and rotary wing air platforms is presented. The physical layer model consists of force generator components that are abstracted from upper control layers and interaction between the components.

A control layer that might be named as abstract joystick drives the components at the physical layer using basic air control commands. The layer provides a well-defined interface to be able to interact with a physical joystick or any other physical control component.

The automated control layer drives the basic air platforms configurations such as air platforms of fixed wings and rotary wings over the command layer taking target velocity vector as a base by PID (proportion-derivative-integral) back propagation controller. The layer achieves the requests such as catching up with a target air platform and following it, movement to a certain direction at a certain altitude, reaching a target coordinate, dropping a component of the air platform.

The solution presented here allows modelers to develop any air platform with known behaviors by customizing its specific behaviors and components and to drive it automatically and manually.

Keywords: Automated Flight Control, Flight Control, Fixed Wing, PID Control, Rotary Wing

1. GİRİŞ

“Ağena Uçuş Modeli” olarak isimlendirilen bu çalışma, gerçek zamanlı bir çevresel sistem yazılımında çeşitli türde hava araçlarının otonom ve el yordamıyla hareket ettirilebilmesi ve ayrıca bu modellerin ayrı ayrı özgün olarak tanımlanması yerine, genel özellikleri (ör. azami sürat, boş ağırlık, yük kapasitesi vb.) üzerinden tanımlanabilmesi gereksinimlerinden ortaya çıkmıştır. Platform simülatörlerine göre çok daha az detaylı olan modellerin el yordamıyla sürüldüğü sırada yeterince gerçeklik duygusu verebilmeleri, bunun yanı sıra çok sayıda sanal oyuncunun otonom hareket ettikleri sırada da el yordamıyla sürüşle tutarlı davranma gereklilikleri bu tasarımı şekillendiren başlıca ayırım olan fiziksel, kumanda ve otomatik kontrol katmanlandırması fikrini beraberinde getirmiştir. Tutarlılığı kaybetmeden yüksek performansla çalışma ihtiyacı, hava aracına etkiyen kuvvetlerin karakteristiklerine göre ayrı ayrı hesaplanmasını gerektirmiş ve bileşen ve bileşene özgü aradeğer kestirimi fikirlerini beraberinde getirmiştir. Ortaya çıkan modelin halihazırda analiz ve harp oyunu benzetimlerinde de rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür.

Popüler açık kaynak kodlu dinamik uçuş modeli simülasyonlarında (JSBSim [1], YASim [2]) hava araçlarının tanımlamaları havacılığa dair alan bilgisi gerektirmekte ve modelin parametrelerini belirli bir çerçeve içerisinde elde etmek zorunda bırakmaktadır. Buna karşın, çalışmamız istenilen detayla doğru orantılı bilgi ve çalışma gerektirecek şekilde model oluşturmaya olanak tanır. Grafikleri verilen Cessna-172 ve F-16, kolay bulunan ve alan bilgisi gerektirmeyen ilgili parametrelerle oluşturulmuştur ve aynı kodla işletilirler. Bunun yanı sıra istenilen detay seviyesine göre yapılandırma ya da kodlamayla hali hazırda var olan bileşenler kullanılabilir. Ya da ileri giderek, hava aracının herhangi bir bileşenini belirli bir konumda kuvvet(ler) üretmek şartıyla programlanıp, yine var olan bileşenlerle birlikte çalıştırılabilir.

Dinamik havacılık modellerinde dikkat çeken bir husus ise döner-kanat ve sabit kanat ayrımının keskin bir biçimde baştan yapılmış olması ve ürünlerini bu iki konuda ayrı ayrı sunmalarıdır. RTDynamics in FixedWingLib ve RotorWingLib kütüphaneleri ve Pregasis'in FlightSIM ve HeliSIM ürünleri başarılı popüler örnekler içerisinde gösterilebilirler. Bileşen tabanlı yaklaşım ise çizgiyi baştan çekmek yerine farkları belirlemeyi ve benzerlikleri ortak kullanmayı teşvik eder. Örneğin jet motoru olan bir helikopter ya da rotorlar yardımıyla dikey iniş kalkış yapabilen bir uçağın modellenmesinde esnek bileşen yaklaşımı oldukça kolaylık sağlar.

Fiziksel katman hava aracının kuvvet üreten bileşenlerinin üst katmanlardan soyutlanmış biçimde, aralarındaki etkileşimleriyle birlikte modellenmesinden oluşmaktadır. Soyut bir oyun çubuğu olarak nitelendirilebilecek kumanda katmanı ise fiziksel katmandaki bileşenlerin temel havacılık kumandaları üzerinden sürülmesini sağlar. Bu katmana fiziksel bir oyun çubuğu ya da başka herhangi bir fiziksel kumanda bağlanabilir.

Otomatik kontrol katmanı ise kumanda katmanı üzerinden sabit kanat, döner kanat gibi değişik temel hava aracı konfigürasyonlarını, hedef hız vektörünü temel alarak, PID geri besleme denetleyicileriyle yönlendirir. Bu katman belli bir yönde ve irtifada hareket, hedef koordinata gitme, hedef hava aracını yakalama ve takip etme, hava aracının bir bileşenini bırakma gibi üst seviye istekleri yerine getirir.

Geliştirilen yapı herhangi bir hava aracının kendine özgü bileşenlerinin davranışları bilindiğinde fiziksel olarak kolayca modellenebilmesine, el yordamıyla ya da otomatik olarak sürülebilmesine olanak tanır.

Gerçek zamanlı simülasyon olarak geliştirilen modelde hava araçları koşum fonksiyonuna belirli bir süre verilerek ilerletilir [3]. Bu fonksiyon sanal güncelleme fonksiyonunu çağırdıktan sonra bileşenlerini bu zaman kadar çalıştırarak araç üzerindeki kuvvetleri ve aracın yeni fiziksel durum değerlerini hesaplar.

2. FİZİKSEL KATMAN

Modelin en alt katmanı olan fiziksel katman araç üzerindeki kuvvetlere ve momentlere göre yer, hız, yönelim ve açısal hızı, ivme ve açısal ivme değerleri üzerinden günceller. Bu katman aşağıda detaylı anlatılan araç ve bileşen kavramlarından oluşur [4].

2.1. Bileşen Kavramı

Hava araçları üzerinde kuvvet üreten her şey bir bileşen olarak kabul edilmiştir. Bu bileşenler ağırlık merkezine göre konuma ve kütleye sahiptirler. Verilen zaman aralığı kadar işletilen sanal fonksiyonları ara değer kestirimiyle ağırlık merkezine göre belirtilen konumda kuvvet döndürürler [4]–[9]. Aşağıda somutlaştırmaya yardımcı olması amacıyla çeşitli bileşen türleri açıklanmıştır. Belirli bir konumda kuvvet üretmesi şartıyla başka herhangi bir bileşen eklenebilir.

2.1.1. Uçuş Yüzeyleri

Uçuş yüzeyleri (aero-surface) hava ile etkileşim sonucunda sürüklenme ve taşıma kuvvetleri üreten bileşenlerdir. Bu bileşenler uçağa göre, rüzgâra ve hücum açısına göre ilgili kuvvetleri üretirler. Değişik yüzeyler, taşıma ve sürüklenme kuvvet değerlerinde farklılıklar gösterirler. Sabit yüzeyler, yönelimi ve ürettiği kuvvetin konumu hava aracına göre değişmez kabul edilen yüzeylerdir. Mevcut yapılandırmalarda hava araçlarının gövde ve kanatları sabit yüzey olarak modellenmiştir.

Kontrol yüzeyleri, yönelimi ve ürettiği kuvvetin konumu hava aracının ağırlık merkezine göre değişen yüzeylerdir. Mevcut geliştirmelerde sapma, yunuslama ve yuvarlanma momentleri (rudder, elevator, aileron) kontrol yüzeylerinden türetilmişlerdir. Kontrol yüzeylerinin diğer ayırt edici özellikleri kumanda katmanı bölümünde açıklandığı üzere kontrol kumandalarına bağlanabilmeleridir.

Sarf yüzeyleri, hava araçlarının yanı sıra uçuşu modellenen sarf varlıkları gerçekleyen yüzey modelidir. Mevcut çalışmada uçuşu sırasında yüzey büyüklüğü ve kütlesi zamana göre değişen kızılötesi aydınlatıcı (IR flare) modelinin uçuşunu desteklemek amacıyla geliştirilmiştir.

2.1.2. Güç Üreten Bileşenler

Temel işlevi itki yaratmak olan ve kontrol edilebilen bileşenlerdir. Etkin durumda olabilmeleri için yakıta ihtiyaç duyarlar. İtki motoru, Pervane ve Vektörel pervane güç üreten bileşenler olarak modellenmiştir.

İtki motoru belirli bir yönde gaz oranında kuvvet üreten bileşendir. Mevcut çalışmada sabit kanat konfigürasyonlarının güç kaynağıdır. Temel sabit kanat konfigürasyonunda gaz dümenine (SOL_İLERİ_GERİ) bağlı bileşendir. Rotor itki üretmesinin yanı sıra kanatları üzerinde taşıma kuvveti oluşturan kolektif kumandasına sahip bileşendir.

Sapma (yaw) kontrolü için kullanılan helikopterin kuyruk pervanesi bu bileşen tipinde geliştirilmiştir ve temel helikopter konfigürasyonunda sapma dümenine bağlıdır. Vektörel Pervane üst başlıkta anlatılan pervane sınıfından türetilmiş yunuslama ve yuvarlanma yönelimi değiştirilebilen bileşendir. Temel helikopter konfigürasyonunda ana pervane bu bileşene örnektir ve kolektif, yunuslama ve yuvarlanma dümenleri bu bileşene bağlıdır.

2.1.3. Diğer Bileşenler

Araç modelinin detayına göre çeşitli bileşenler tanımlanabilir. Örneğin mevcut sistemde yakıt deposu yalnızca kütleinden dolayı kuvvet üretmektedir. Güç üretici bileşenler depodan yakıt çektikçe ürettiği kuvvet azalmakta ayrıca aracın toplam kütlesi azaldığından eylemsizliği de azalmaktadır.

2.2. Kuvvetlerin Ara Değer Kestirimiyle Hesaplanması

Belirtildiği gibi mevcut çalışma gerçek zamanlı bir simülasyon tasarımı olup belirli zaman aralıklarıyla (T) işletilmektedir. Bileşenlerin çalış fonksiyonlarının ürettikleri kuvvetler araca T süre sabit olarak uygulandığında, T 'nin büyüklüğüne ve araç üzerindeki kuvvetlerin gerçekteki değişim hızına bağlı olarak, örneğin keskin manevralar sırasında ya da güçlü bir motorun tam gazdan sıfır gaza bir anda inmesi durumunda, modellerin tutarsız davranabildiği gözlemlenmiştir.

Sorun, istenilen T aralığını, net kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak alt aralıklara bölerek çözülebilir. Ancak bu durumda kuvvet hesapları tekrar tekrar yapılacağından benzetim yazılımının başarımı hava aracının özelliklerine ve anlık olarak hareketine tam anlamıyla bağlı olacaktır. Bu çalışmada tutarlılığı, başarımdaki kararlılığı da feda etmeden çözebilmek için bileşenlerin ürettikleri kuvvetler üzerinde ara değer kestirimi yapmaları önerilmiştir. Bu ara değer kestirimlerine bileşenler özgün özelliklerine bağlı olarak kendileri karar verirler. Ara değer kestirimi kuvvetin yön ve büyüklüğünün yanı sıra konumunu da içerebileceğine dikkat edilmelidir.

Somutlaştırmak gerekirse, itki motoru t_0 anında F_0 kuvvetini $t_0 + T$ anında F_1 kuvvetini üretsinsin. Motor gazla doğru orantılı olduğundan bileşenin ürettiği kuvveti doğrusal ara değer kestirimiyle döndürmek tutarlı görünmektedir. Gövde yüzeyi için düşünüldüğünde ise daha detaylı ve karesel oranıyı dikkate alan bir ara değer kestirimi yapmak yerinde olacaktır. Çünkü aerodinamik kuvvetler hızın karesine bağlı olarak değişmektedir.

2.3. Araç Kavramı

Hava aracı bir bileşen konteyneri olarak düşünülebilir. Bileşenlerin özgün özellikleriyle ilgilenmez ve bilmez. Bunun yerine kendisine çalışması için verilen süre kadar her bir bileşeni işletir ve

- Döndürülen ağırlık merkezine göre konumlandırılmış kuvvet değerlerini

- Bileşenler üzerinden hesaplanan toplam kütle
- Kendi öz niteliği olan eylemsizlik momenti¹

bilgilerini kullanarak konum, hız, yönelim ve açısal hız değerlerini günceller.

3. KUMANDA KATMANI VE SANAL KUMANDA SINIFI

Sanal kumanda sınıfı uçuş kumandalarını içerecek şekilde araç sınıfından türetilmiştir. Kumanda eksenlerini istenilen değere getiren arayüzleri sağlar. Kumanda eksenleri araç konfigürasyonlarına bağlı olarak araç nesnesinin oluşturulması sırasında ilgili bileşenlere bağlanır. Bu yapı ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Üst seviye (türetilmiş) sınıflar, yine üst seviye komutlarını bu kumanda eksenleri değerlerini güncelleyerek gerçekleştirir. Mevcut durumda hem döner kanat hem de sabit kanat araçlar için ortak olacak biçimde dört (4) ana kumanda eksenleri kullanılmıştır. Bu eksenlerin isimlendirmelerinde aşağıdaki fotoğrafta gösterilen genel amaçlı havacılık oyun çubuğundan esinlenilmiştir. Bunlar,

- SAĞ_İLERİ_GERİ (yunuslama kontrolü)
- SAĞ_SAĞ_SOL (yuvarlanma kontrolü)
- SAĞ_BURMA (Uçuş kontrolünde pedallar olarak da düşünülebilir. Sapma dümeni.)
- SOL_İLERİ_GERİ (Sabit kanatlarda gaz, döner kanatlarda kolektif kontrolü.)

Bu dört kanala yenilerinin eklenmesine engel olacak herhangi bir varsayım ya da kısıtlama bulunmamaktadır.

4. ELLE KUMANDA

Hava araçları elle (manuel) sürülmek istendiğinde aracın sanal güncelleme fonksiyonu her bir ilerletmede kumanda donanımından aldığı girdilerle üst bölümde anlatılan kumanda eksenlerini günceller. Mevcut yapıda döner kanat ve sabit kanatlı araçlar yapılandırmaları oyun çubuğu aracılığıyla sürülebilmektedir.

5. OTO-KUMANDA KATMANI

Sanal kumanda sınıfından türetilen sanal oto-kumanda sınıfı: 1) Konuma gitme, 2) Belirli yönde ve irtifada gitme ve 3) Hareketli varlıkları takip etme gibi komutlara göre hedef hız vektörü hesaplar ve kendisinden türetilen yapılandırmaya özgü sınıfların kullanımına sunar. Bu sınıflar oto-kumanda katmanının sanal ve soyut yapılandırmaya özgü güncelleme fonksiyonu içerisinde kumanda eksenlerini günceller.

Hedef hız vektörünün oto-kumanda katmanının anahtar kavramı olduğu söylenebilir. Çünkü bu katmanın nihai amacı aracın hız vektörünü istenilen yönde ve büyüklükte

¹ Eylemsizlik momenti matrisi kütle dağılımıyla belirli olduğundan bileşenler üzerinden detaylandırarak hesaplamak yerine şimdilik aracın özelliği olarak tanımlanmıştır.

olacak şekilde değiştirmektir. Aşağıda sabit kanat ve döner kanat kontrolleri için bu fonksiyonun çalışma prensibi anlatılmıştır. Bu iki prensibin ortak özelliği ise PID geri besleme yapıları üzerinden mevcut hız vektörünü istenilen hız vektörüyle çakıştırmaya çalışmalarıdır. PID katsayıları mevcut yapılandırmalarda deneme yanılma yöntemiyle belirlenmiş sabitlerdir. Okuyucuların PID geri besleme mekanizmasını bildikleri varsayılmıştır.

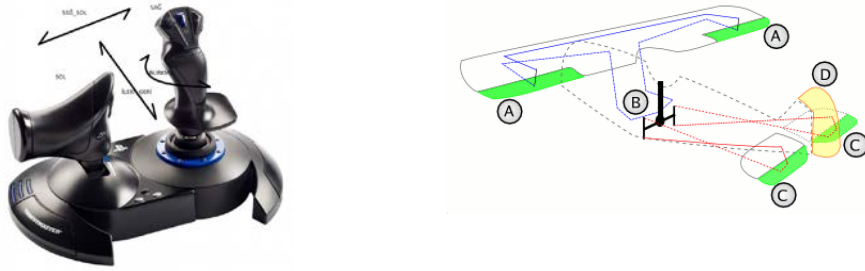
5.1. Sabit Kanat Kontrolü

Sabit kanat konfigürasyonu kontrol bileşenleri aşağıda sunulmuştur.

- SAĞ_SAĞ_SOL, yuvarlanma, kanatçıklara (A)
- SOL_İLERİ_GERİ, itki motorunun gazına (B)
- SAĞ_İLERİ_GERİ, yunuslama, elevatöre (C)
- SAĞ_BURMA, sapma, istikamet dümenine (D)

bağlanmıştır.

Bu dört kontrol sırasıyla sürat, yunuslama, yuvarlanma ve baş açısı PID geri beslemelerine bağlanmışlardır. Belirtilen yönelimlerin gövde koordinatlarına göre olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 1. Oyun Çubuğu/Sabit Kanat Kontrol Noktaları

Sabit kanat modelleri uçak ve mühimmatlar olmak üzere ikiye ayrılmışlardır. Bu iki yapılandırma arasındaki temel iki fark

- Uçaklar pilotlarca yönetildiğinden mühimmatlara göre düşük g sınırlarıyla kontrol edilirler.
- Pilotlar üzerindeki g limitleri dikey ekseninde farklılık gösterdiğinden yuvarlanma kumandasını etkin olarak kullanırlar.

Bu ayrım yuvarlanma ve gövde eksenlerinde g limit değerleri üzerinden yapılmıştır ve aynı mantıkla sürülürler.

Üst bölümde belirtildiği üzere hava araçları var olan hız vektörünü hedef hız vektörüne eşitlemeye çalışırlar. Sabit kanat konfigürasyonları bu hız farkını hedef ivme vektörü olarak kullanır ve bu ivmeyi korumayı gözetir.

V_c : Mevcut hız, V_t : Hedef hız, g : yer çekimi ivmesi büyüklüğü,

G_t :Hedef g. (Hedef ivme / g), T:Hedef hızı yakalamak istenen süre. Sabit 1 olarak kullanılmaktadır.

$$G_t = (V_t - V_c) / (T * g)$$

Konfigürasyonun g limitleri G_t 'ye uygulanarak izin verilen limitler içinde kalan G_a elde edilir. 1) Sürat PID'si hata değeri, hedef sürat (hız büyüklüğü) ile halihazırdaki süratin farkı, 2) Yunuslama PID'si hata değeri, G_{az} , 3) Sapma PID'si hata değeri, G_{ax} , 4) Yuvarlanma PID'si hata değeri G_t 'nin gövde çerçevesinin xz düzlemiyle yaptığı açı olarak belirlenmiştir.

5.2. Döner Kanat Kontrolü

Döner kanat konfigürasyonu kontrol bileşenleri aşağıda sunulmuştur.

- SOL_İLERİ_GERİ, ana pervane kolektifine
- SAĞ_İLERİ_GERİ, ana pervane yunuslama kontrolüne (ileri, geri)
- SAĞ_SAG_SOL, ana pervane yuvarlanma kontrolüne (sağ, sol)
- SAĞ_BURKMA, kuyruk pervanesi kolektifine (pedallar)

bağlıdır. Bu dört dümen sırasıyla irtifa, yatay sürat, yuvarlanma ve baş açısı PID geri beslemelerine bağlanmışlardır.

Bilindiği üzere yunuslama kontrolü, ana pervanenin ürettiği taşıma kuvvetini ileri hareket ve yukarı hareket arasında paylaştırır. Benzer biçimde yuvarlanma kontrolü de taşıma kuvvetini yana hareket ve yukarı hareket arasında paylaştırır. Sonuç olarak aşırı uygulanan yunuslama ya da yuvarlanma kumandası, kontrolsüz irtifa kaybına sebep olur. Aşağıda PID girdilerinin bileşeni olan E vektörü irtifa eksenindeki sapmanın bir ölçüsü olarak tanımlanmıştır.

Gövde koordinatlarında,

$V_d = V_t - V_c$: Hız farkı, g_b :Gövde koordinatlarında yerçekimi yönü, c: Sabit 10. (Deneyle belirlenmiş sabit)

$$e = c * g_b * V_d : \text{Güvenlik katsayısı, } E = e * g_b, T = V + E$$

a: V_c 'nin xz düzlemiyle yaptığı açı. (Hızın yönelimden sapması)

h: V_t 'nin xz düzlemiyle yaptığı açı. (Gövde koordinatlarında baş açısı)

olmak üzere 1) İrtifa PID'si hata değeri T_{dz} , 2) Yatay sürat PID'si hata değeri T_{dx} , 3) Yuvarlanma PID'si hata değeri T_{dy} , 4) Baş açısı hata değeri PID'si hata değeri $|a| < |h|$? a:h olarak belirlenmiştir.

6. ARAÇ VE BİLEŞENLERİ ARASI ÖZGÜN İLİŞKİLER VE YAPILANDIRMA

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere araç çalışma sırasında bileşenlerin özgün nitelikleriyle ilgilenmemekte, ancak bileşenlerin birbirleriyle ya da araçla özgün ilişkiler içinde olmaları gerekebilmektedir. Örneğin temel döner kanat yapılandırmasının kuyruk pervanesi, ana pervane ve benzin deposu bileşenlerini içermekte ve pervaneler kuvvet üretmek için gerekli yakıtı aynı depodan sağlamaktadır. Anlaşılabileceği üzere pervaneler çalıştıkça depodan yakıt çekecektir. Bu durumda pervaneler ve benzin deposu arasında bu bileşenlere özgü bir ilişkiye ihtiyaç vardır. Yine önceki başlıklarda belirtildiği üzere temel döner kanat yapılandırmasında kumandalar pervanelere bağlıdır. Bu durumda araçla pervaneler arasında özgün kumanda bağlantıları olmalıdır.

Yukarıda bileşenlere (ya da araca) özgü iki farklı bağlantı türüne (bileşen-bileşen, araç bileşen) örnek verilmiştir. Bu bağlantıların oluşturulması çalışmamızın yapılandırma kavramını ortaya çıkartmaktadır. Çünkü hava aracı basit bir bileşenler kümesi değil bir bileşenler organizasyonudur, sistemdir. İlgili bağlantılar, bileşenlerin yayıncı-abone tasarım şablonuna (Publisher-subscriber design pattern) uygun türetilmesiyle oluşturulur. Tipik bir hava aracı üreten fonksiyonun yapılandırma adımları; 1) Hava aracının yaratılması, 2) Yapılandırmaya ait bileşenlerin yaratılması, 3) Bileşenler arası bağlantıların bağlanması ve 4) Bileşenlerin hava aracı konteynerine eklenmesi, olarak özetlenebilir. Örnek olarak döner kanat yapılandırması oluşturulurken: 1) Döner kanat aracı yaratılır, 2) Gövde, pervaneler ve yakıt deposu bileşenleri yaratılır, 3) Pervaneler araç nesnesine kumanda bağlantılarından ve depoya yakıt bağlantısı üzerinden abone olurlar ve 4) Bileşenler döner kanatlı araca eklenir.

Yukarıda anlatılan yapılandırma kavramının ortaya konmasındaki asıl amaç, her bileşenin bilmesi gerektiği kadarına, gerektiğince erişebilmesini sağlamaktır. Gereksiz bilginin araç nesnesi ve bileşenleri içinde saçılımının engellenmesinin iki temel getirisi:

- Bileşenlerin matematiksel ya da işlevsel detayları arttırıldığında değişikliklerin kötü durumda karşılık gelen yayıncı ya da abonede değişiklik gerektirmesi; örneğin hava aracına yakıt göstergesi özelliği eklenmek istendiğinde, araç yakıt deposunun (ya da depolarının) abonesi olacak, yalnızca yakıt deposunun ilgili yayıncı sınıfından da türetilmesi gerekecektir.
- Bileşenlerin azami seviyede yalıtılmasının, sorunları (henüz yeterince detaylandırılmama ya da hatalı geliştirme) dar ve kolay tespit edilebilir bir alanda sınırlaması

olarak düşünülebilir.

6.1. Temel Yapılandırmalar

Önceki bölümlerde sıkça bahsettiğimiz temel yapılandırmalar hava araçları için belirli varsayımlarla birlikte bileşenlerin çeşitli özellikleri parametrik olarak verilebilmektedir.

Örnek vermek gerekirse, mevcut durumda temel döner kanat yapılandırmasının varsayımları;

- Gövde, ana pervane, kuyruk pervanesi ve depo bileşenlerinden meydana gelmesi.
- Kontrol kumandalarının pervanelerin ilgili parametrelerini değiştirilmesi

Bu varsayımlara göre; 1) Ağırlık, 2) Boyutlar, 3) Azami hız, 4) Azami ivme, 5) Baş açısı değiştirme hızı, 6) Ana pervane yükselme ve yuvarlanma açıları hareket aralıkları, 7) Azami ve asgari tırmanma hızı, 8) Azami taşınabilecek yük, 9) Azami taşınabilecek yakıt miktarı belirtilerek, farklı yeteneklere sahip helikopter modelleri oluşturulabilmektedir. T-129 ATAK ve Sikorsky UH-60 temel döner kanat yapılandırmasına uygun olduğundan ilgili parametreleri ile modellenenabilirler.

6.2. Mevcut Temel Yapılandırmalar

Üst bölümde anlatılan döner kanat yapılandırmasının yanı sıra temel sabit kanat, sabit kanatlı mühimmat ve kızıl ötesi aydınlatıcı yapılandırmaları da mevcut durumda geliştirilmiştir.

6.3. Birim Testler

Farklı araç yapılandırmalarının gerek otomatik gerek elle doğru biçimde çalışmasının yönetimi hayli önem arz etmektedir. Araçların benzetiminin içerdiği her değer için istenilen sınırlar içerisinde kaldığını gözlemlemek ve zamanla yenilerini ekleyebilmek amacıyla uçuş modeline özgü bir birim test yapısı geliştirilmeye başlanmıştır. Mevcut durumda yapılandırmalara desteklenen komutlar verilmekte, belirli bir süre koştuktan sonra çıktılar gözle incelenmektedir. Ek’de sunulan şekillerde otomatik pilotla ilerleyen bir sabit kanat araç hedef baş açısı, irtifa ve sürat değerleri değiştirildiğinde davranışı gözlemlenmektedir. Şekilde pozisyon, sürat, hedefleme, sapma, yunuslama, yuvarlanma, irtifa, itki, oyun çubuğu sapması, oyun çubuğu yunuslama oyun çubuğu yuvarlanma, hücum açısı ve yanal hücum açısı değer grafikleri görülmektedir. Platform rotası pozisyon grafiğinden takip edilebilir.

7. SONUÇ

Hava araçlarının gerçek zamanlı bir benzetimi olan Uçuş Modeli kolay yönetilebilme, bileşen yapısıyla yeni benzetim ihtiyaçlarına hızlı cevap verebilme ve zamanla hali hazırda karşılar hale gelebilme iddiasını taşımaktadır. Geliştirilen “*Agna Uçuş Kontrol Yapısı*”, herhangi bir hava aracının kendine özgü bileşenlerinin davranışları bilindiğinde fiziksel olarak kolayca modellenenebilmesine, el yordamıyla ya da otomatik olarak sürülebilmesine olanak tanır.

Mevcut durumda aracın sabit özniteliği olan eylemsizlik momentinin, kütle dağılımı dikkate alınarak dinamik hesaplanması modelin gerçekçiliğini arttıracaktır. Mevcut durumda sabit ve döner kanat yapılandırmalarında PID katsayıları denemeyle

belirlenmiş sabitlerdir. Çeşitli modelleri esnek yapılandırmalarla desteklemek amacıyla PID katsayılarının fiziksel teknik özelliklerle korelasyonları araştırılıp dinamik olarak belirlenmeleri hedeflenmektedir.

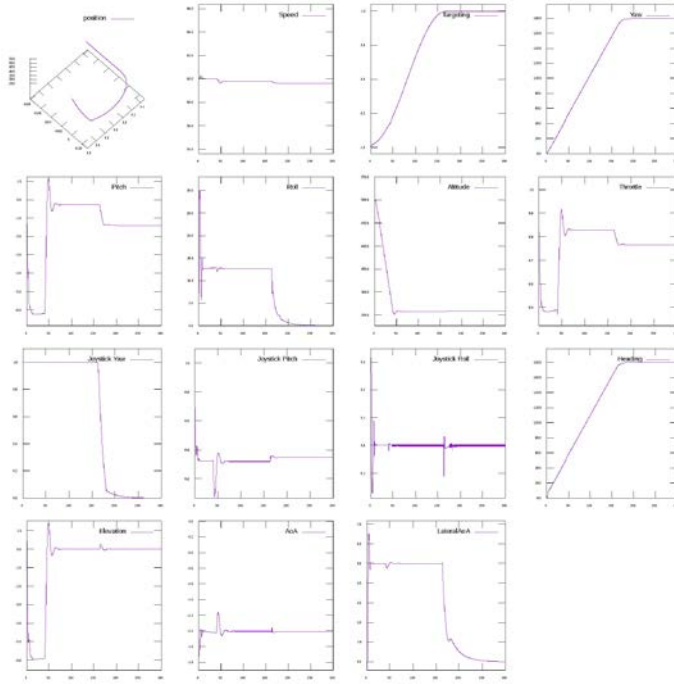
Mevcut durumda araç sınıfı bir bileşen konteyneri ve organizasyonudur ve bileşenden farklı bir sınıftır. Tüm aracın bileşen olarak kullanılabilmesinin en temel faydası, benzetim çalışması sırasında bir süre bileşen gibi davranması gerekebilecek araçların koşumunu kolaylaştıracak olmasıdır. Örneğin, uçağın taşıdığı bir mühimmat ateşlendikten sonra her iki aracın da benzetimi değişikliğe ihtiyaç olmaksızın yürütülebilmektedir.

Uçuş modelinin değişik projelerde ortaya çıkacak ihtiyaç çeşitliliği ve detayına göre yeni geliştirmelere ihtiyaç duyulacağı açıktır. Üçüncü tarafların bileşen ve yapılandırma tasarlayabilmelerine olanak veren yapıya geçişle birlikte kütüphanenin farklı geliştirme kültürüne sahip gruplar (şirket, topluluk vs.) tarafından denenmesinin ve geliştirilmesinin önü açıktır.

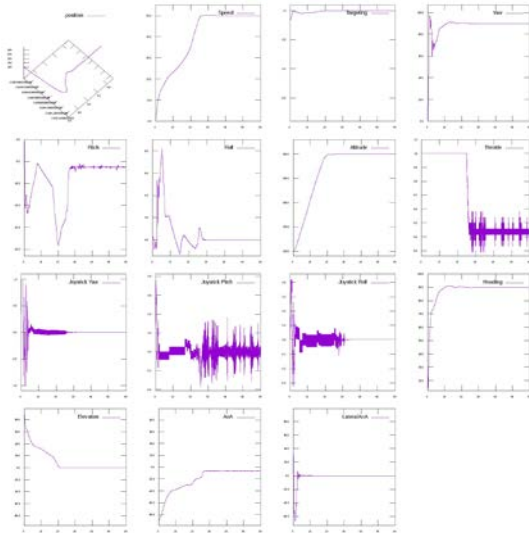
8. KAYNAKÇA

- [1] J. S. Berndt, “JSBSim,” 2011. [Online]. Available: <http://jsbsim.sourceforge.net/JSBSimReferenceManual.pdf>.
- [2] “Introduction To YASim.” [Online]. Available: <http://www.buckarooshangar.com/flightgear/>.
- [3] D. J. Murray-Smith, *Continuous System Simulation*. University of Glasgow, Glasgow, UK: Chapman & Hall, 1995.
- [4] D. G. Hull, *Fundamentals of Airplane Flight Mechanics*. Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin, 2007.
- [5] C. H. Murphy and W. H. Mermagen, “Flight Mechanics of an Elastic Symmetric Missile,” USA, 2000.
- [6] A. C. Kermode, R. H. Barnard, and D. R. Philpot, *Mechanics of Flight*, 11th ed. Essex, England: Pearson Education Inc., 2006.
- [7] Standart, “Missile Flight Simulation Part I: Surface to Air Missiles,” USA, 1995.
- [8] J. Roskam, “Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls – Part II,” USA, 2003.
- [9] “Military Handbook Missile Part I Simulation One Surface-To-Air,” 1995.

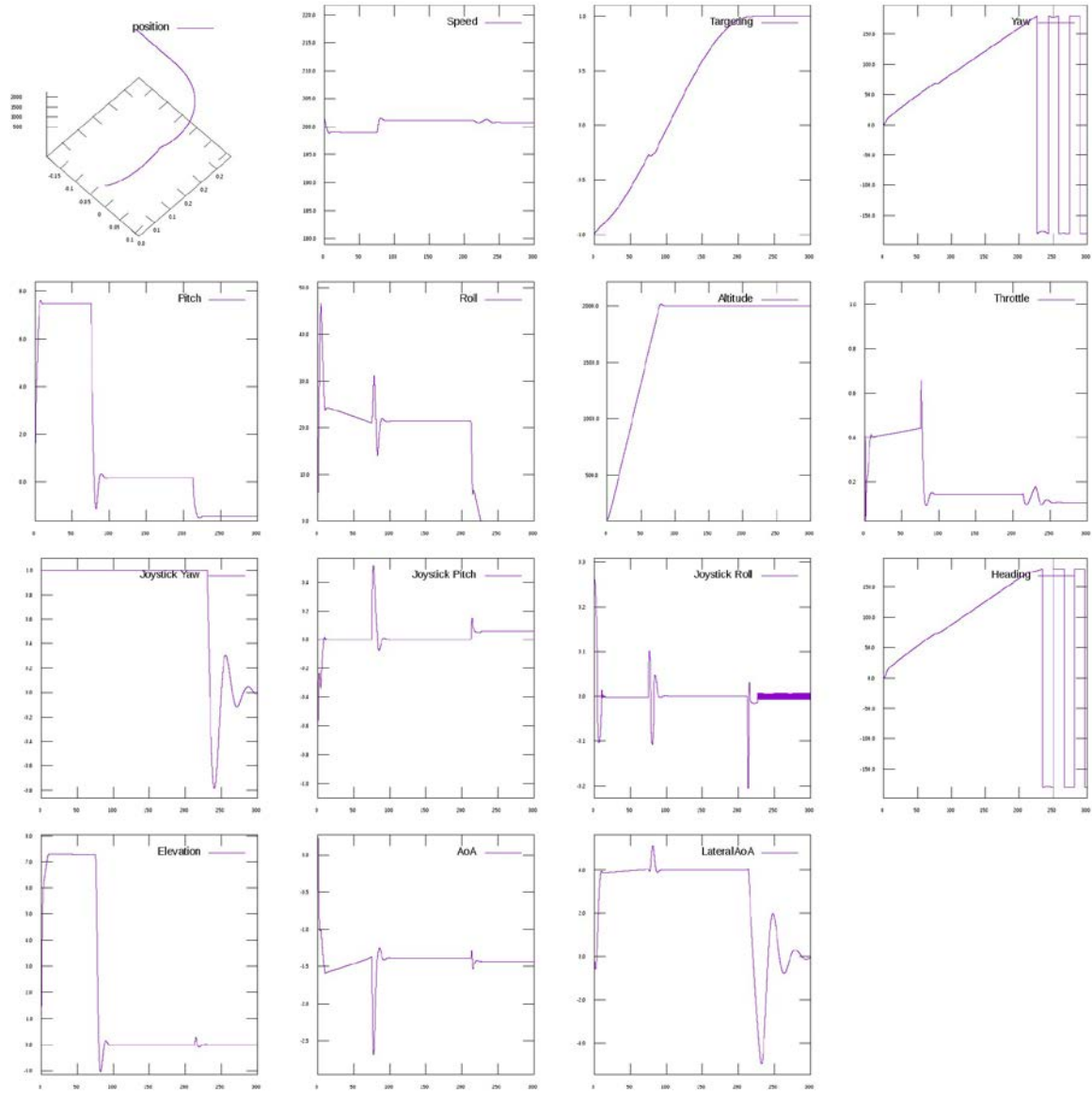
EKLER



100 m irtifada kuzeye ilerleyen bir F-16'ya 2000 m'de güneye gitmesi emri verildiğinde sergilediği davranış



0 m irtifada kuzeye yönelmiş halde duran T-129'a 300m irtifada 50m/s süratle güneye gitmesi talimatı verdiğinde sergilediği davranış.



500 m irtifada kuzeye ilerleyen bir Cessna-172'e 250m'de güneye gitmesi gitmesi emri verildiğinde sergilediği davranış

DENİZ KONVOY HAREKATINDA HAVA SAVUNMA HARBİNİN KESİKLİ OLAY BENZETİMİ İLE MODELLENMESİ VE KAVRAMSAL MODEL TASARIM UYGULAMALARI

Ali E. Opçin ^(a), Murat M. Günel ^(b)

^(a) Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Bakanlıklar/ANKARA, a.opcin7110@gmail.com

^(b) Barbaros Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü,
Milli Savunma Üniversitesi, Tuzla/İSTANBUL, m_gunal@hotmail.com

ÖZ

Hava Savunma Harbi (HSH) deniz savaşlarında temel harp çeşitlerinden birisidir. Modelleme ve simülasyon, deniz hareketinin analizi maksadıyla kullanılabilecek en etkili yöntemlerdendir. Bu çalışmada deniz konvoy hareketinin benzetimi maksadıyla bir Kesikli Olay Benzetimi HSH Analiz Modeli geliştirilmiştir. Modelde gemiler, gemilerin sensörleri ve silahları, hava tehdit unsurları gibi ana modüllerin oluşturduğu 15 bileşen yer almıştır. Farklı detay seviyelerine sahip olan her bir bileşen toplamda 99 girdi değişkeni içeren olay grafikleri (Event Graphs) ve UML diyagramları ile modellenmiştir. Java programlama dili ve Simkit kütüphanesi kullanıldığından esnek ve ölçeklendirilebilir bir yapı elde edilmiştir. HSH Analiz modeli ile belirlenen bir perde nizamında perde gemilerinin, nizamın ve yüksek değerlikli birlik özelliklerinin etkinliği analiz edilebilmektedir. Ayrıca taktik ve hareket konseptlerinin kullanıldığı konvoy hareketlerinde önemli başarı faktörlerini tespit edebilmek mümkündür. Analiz modeli, deniz hareketinde katmanlı hava savunma ve perde nizamı uygulamalarına olanak sağlaması bakımından literatüre katkı sağlayacak niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Benzetim Sonuç Analizi, Hava Savunma Harbini Modelleme, Katmanlı Savunma Sistemleri, Kesikli Olay Benzetimi, Nizam Hareketi, Parça Temelli Yaklaşım, Simkit

MODELING ANTI-AIR WARFARE FOR NAVAL CONVOY OPERATIONS WITH DISCRETE EVENT SIMULATION AND CONCEPTUAL MODEL DESIGN APPLICATIONS

ABSTRACT

Anti-Air Warfare (AAW) is primary naval warfare area. Modeling and simulation is among the most effective methods to analyze naval operations. In this research, a discrete event simulation model was built to model ships, their sensors, and their weapons, called AAW Analysis Model (AAWAM). AAWAM comprises of 15 components which are ships, their sensors and weapons, and air threats. Each component is modeled with different resolution levels facilitating event graphs and UML diagrams that requires 99 input variables. AAWAM is built using Java Programming Language and Simkit Library which supported its flexible and scalable design. Using AAWAM, effectiveness of a given screen disposition, screen ships, High Value Unit in a naval convoy operation can be analyzed and the most effective success factors can be determined. The model has potential contribution to the literature as it includes layered defense concepts and screen disposition applications.

Keywords: Component Based Approach, Discrete Event Simulation, Formation Movements, Layered Defense Systems, Modeling Anti-Air Warfare, Simkit, Simulation Output Analysis,

1. GİRİŞ

Hava tehdidi altındaki konvoy hareketleri en kritik deniz hareketleri arasındadır. Problemin doğasında bulunan karmaşıklık, sonucu etkileyen faktörler arasında bulunan doğrusal olmayan ilişkiler, söz konusu problemin analizi için simülasyon kullanımını ideal hale getirmektedir [1]. Deniz hareketlerinde bir görev grubu içerisinde Hava Savunma Harbi (HSH) genel olarak, deniz hareket taktiklerini kullanarak katmanlı hava savunma ile yüksek değerlikli birliği (YDB) korumak sureti ile icra edilmektedir. Katmanın en dışındaki koruma mümkün olduğu ve başarı ile sonuçlandığı takdirde genel olarak uçaklarla sağlanır. Bir sonraki katman ise Standard Missile (SM) gibi menzili 100 deniz milini (nm) bulan ve YDB'yi koruma ile görevli perde gemilerden ateşlenen uzun menzilli hava savunma güdümlü mermileri (Surface to Air Missile-SAM) ile temin edilir. Dış katmanlarda bulunan bu savunma sistemlerinden sızan hava tehditleri, top menzilinde 76 mm Oto Melara topu gibi toplar ile veya imhanın hala başarıya ulaşmaması durumunda ise, kısa mesafede Rolling Airframe Missile (RAM) veya Phalanx gibi yakın hava savunma silahları ile imha edilmeye çalışılır.

Simülasyon bir bütün olarak sözü edilen kadar karmaşık bir sistemi analiz edebilmeye olanak sağlayan tek metodolojidir. İyi dizayn edilmiş bir simülasyon, girdi değişkenleri

üzerinde iyi bir kontrole ve bu yolla da yüksek boyutlu deneylerin analizine olanak tanır. Bu tarz bir simülasyon modüler, ölçeklenebilir, esnek bir yapıya sahip olmalı ve bu yolla da gelecekte yapılabilecek muhtemel gelişimlere de açık olmalıdır. HSH Analiz Modeli (HSHAM) bu amaçlara gerçekleştirmek amacı ile Simkit [2] kullanılarak geliştirilmiş bir Kesikli Olay Benzetimi (KOB) modelidir.

HSHAM ilk aşamada belirlenen bir perde nizamının, perde gemilerinin ve YDB özelliklerinin etkinliklerinin analiz maksadı ile geliştirilmiştir. Model aynı zamanda deniz konvoy hareketinin başarısında en etkili faktörleri tespit etmek maksadı ile de kullanılabilir. HSHAM perde nizamının ve katmanlı hava savunma sistemlerinin deniz konvoy hareketi üzerindeki etkilerini, düşman gemileri ve onların angajmanlarını da göz önünde bulundurarak ele alması bakımından özeldir.

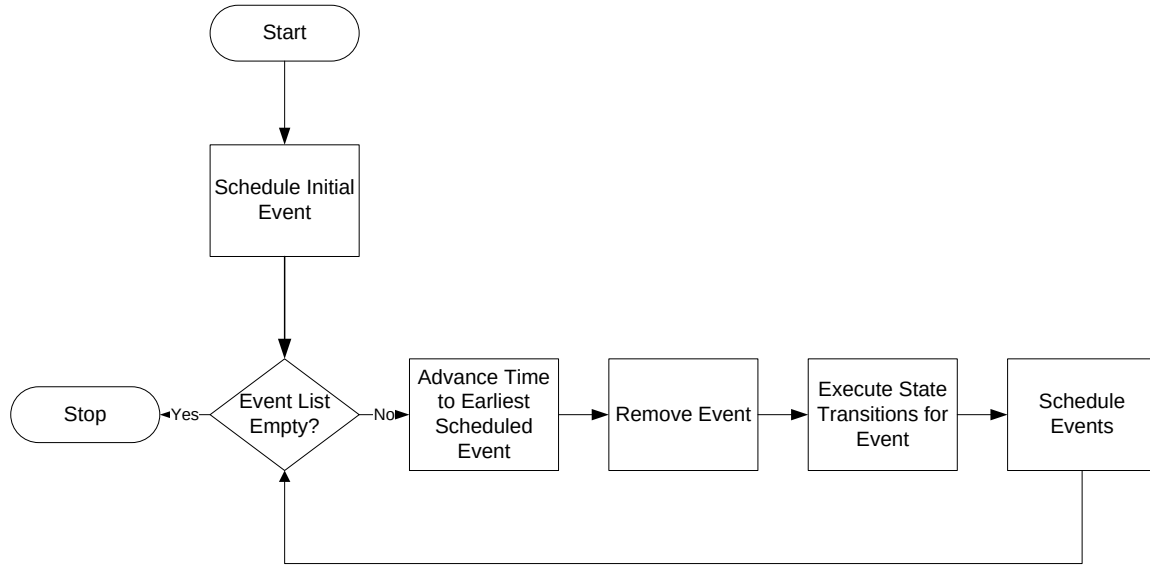
HSHAM'nin geliştirilmesinde kullanılan KOB metodolojisi, olaylar dizisinin (sequence of events) belirli zamanlarda icra edilmesine dayanır [3]. Simülasyonda tanımlanan her bir olay spesifik bir zamanda gerçekleşir ve olay listesi her bir olayı bünyesinde bulundurarak takip eder. Olayın gerçekleşmesinden sonra, gerçekleşen olay bir başka olayı belli bir zaman gecikmesi (söz konusu zaman gecikmesi sıfır da olabilir) ile planlayabilir veya planlamayabilir. Bütün bu olaylar tek bir olay listesinde, gelecekte olacakları zamanlara (due time) göre sıralı olarak yer alır. KOB'un üç temel elementi aşağıda olduğu gibidir:

1. Durum Değişkenleri (State Variables)
2. Olaylar (Events)
3. Olaylar arasındaki planlama ilişkileri (Scheduling Relationships Between Events)

Buss'a göre [4], Durum değişkenleri şu şekilde tanımlanır: “KOB'deki bir durum değişkeni bir simülasyon koşumu süresince en az bir kez değerini değiştirme potansiyeline sahiptir. Bir KOB modelinde durum değişkenlerinin tamamı bir arada, söz konusu benzetim modelinin herhangi bir andaki tanımlaması olmalıdır.”

KOB'de bir olay hiçbir durum değişkenini, değiştirmeyebilir veya bir ya da birden fazla durum değişkenini değiştirebilir. Her bir durum değişkeninin değişimi modelin de farklı durumlarının oluştuğunu ifade eder. Modelde olması muhtemel her bir durum (state) değişimi için bir olay (event) tanımlanmalıdır [4].

KOB'un çalışmasının temelini teşkil eden gelecek olay algoritması (Next Event Algorithm) Buss tarafından şu şekilde tanımlanmıştır [4]: “KOB'de zaman ilerleme metodu gelecek olay olarak tanımlanmıştır. Zamanda düzenli, tutarlı ilerlemeler yerine simülasyon zamanı tipik olarak eşit olmayan şekilde ve bir olayın planlanan zamanından diğer olayın planlanan zamanına ilerleyecek şekilde ilerler”. Gelecek olay algoritması Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Gelecek Olay Algoritması [4].

Buss'a göre [4], KOB'de ikinci tipte bir değişken ise simülasyon parametresidir. Simülasyon parametreleri, simülasyon koşumu süresince değişmezler. HSHAM bir çok parametreye sahiptir (Örneğin; Bir geminin arama radarının menzili).

Bir KOB koşumu iki yolla sona erdirilebilir. Bunlardan ilki; belirlenen bir zaman geçtikten sonra simülasyonun sona ermesi, ikincisi ise belirli bir olay gerçekleştikten sonra simülasyonun sona ermesidir. HSHAM'de, simülasyonun her zaman belirlenen bir zamanda sona ermesi mümkün olmadığından ikinci yol kullanılmıştır. HSHAM'nin bir koşumu YDB imha edildikten sonra ya da önceden belirlenmiş hedef pozisyonuna ulaşıldıktan sonra sona ermektedir.

Bir KOB modeli, durum değişkenleri, parametreler ve olayları tanımlamak; durum değişimlerini açıklamak, her bir olaya özgün bir isim vermek ve olaylar arasındaki planlama ilişkileri tanımlamak sureti ile geliştirilebilir. KOB ve bu yaklaşımın model mekanikleri, zaman kademeli (time-stepped) modellere göre özellikle askeri hareket modellerinde önemli üstünlüklere sahiptir. Askeri hareket modellerinde, kaynak kodunun çalışma zamanı dahi model üzerinde çok önemli değişikliklere sebep olabilir. Bir zaman kademeli modelde, zaman kademesinin boyutu dahi (1 salise olması veya 1 saniye olması) sonuçları önemli oranda etkileyebilir [5]. Özellikle amacın simülasyon girdi değişkenlerinin simülasyon çıktıları üzerindeki etkilerinin analizi olan yapısal simülasyonlarda KOB metodolojisinin kullanılması endişeleri ortadan kaldırmakta, daha doğru analiz sonuçları elde edilmesine temel oluşturmaktadır.

Temel KOB sisteminde, olaylar arasındaki planlama ilişkileri, olaylar arasındaki iki terimli (binary) etkileşimi tanımlar. Bir diğer ifade ile; halihazırda icra edilmekte olan olay ile icra edilecek olaylar arasındaki etkileşimi tanımlar. Hangi olayın halihazırda icra edildiğini bilmek bize, hangi olayın ne zaman, hangi koşulda planlanacağına dair

önemli ipuçları verir. Dolayısı ile, KOB’de olaylar arasındaki ilişkileri tanımlamak olay çizgilerinin (Event Graphs-EG) kullanılması ile mümkündür [4].

Bir EG, olayları temsil eden düğümlerden (node) ve başka olayları planlama metodolojisine karşılık gelen yönlü ayrıtlardan (edges) meydana gelir. Ayrıtlar olayları belirli bir zaman gecikmesiyle planlamaya ilişkin mantıksal koşullara sahip olabilir veya olmayabilir. Bir diğer ifade ile, eğer bir EG’deki bir ayrıt, sonraki olayın planlanması ile ilgili bir koşula sahip ise, sonraki olay mevcut koşulun gerçekleşmesine göre planlanır veya planlanmaz. EG’lerin temel yapısı [6]’da açıklanmıştır.

EG’ler olayların arasındaki ilişkileri açık ve kolay anlaşılır hale getirmesi açısından kritik öneme sahiptir. EG’lerin anlaşılması müteakip bölümlerde değinilecek HSHAM’nin kavramsal modellerinin anlaşılması açısından önem teşkil etmektedir. Tam bir EG modeli, sonraki bölümlerde de görüleceği üzere, parametreler, durum değişkenleri, olay düğümleri, planlama ayrıtları ve durum değiştirme mantıklarından müteşekkildir.

Simülasyon modellerinde varlıkların (entity) konumları genellikle en etkili roldedir. Zaman basamaklı (time-stepped) bir yaklaşım tipik olarak hareketin varlık modellenmesinde KOB yaklaşımına tercih edilmektedir. Çünkü; hareketin zamana bağlı olarak algılanması, olaylara bağlı olarak algılanmasına kıyasla daha basittir. Fakat zaman kademeli yaklaşım özellikle harbin modellenmesinde daha önce bahsedildiği gibi bazı problemlere sahiptir. Hareketin ve tespitin KOB ile modellenmesi her ne kadar ilk bakışta bir zorluk olarak görünse de, birçok avantaja sahiptir. Buss ve Sanchez [7] KOB’de hareketi aşağıdaki şekilde tanımlar: “Varlıkların hareketini KOB ile modellemek ilk bakışta çok ciddi bir zorluk getirmekte gibi görünmektedir. Çünkü, bir varlığın durum değişkeni (örneğin konumu), varlık hareket halinde iken sürekli bir değişim halindedir. Bu zorluğun üstesinden, örtülü değişken (implicit state) tanımlaması ile gelinebilir. Örtülü değişkenler, modelin durum değişkenleri arasında açık bir şekilde tanımlanmazlar ancak tanımlanan durum değişkenlerini kullanarak hesaplanabilirler. Düzgün doğrusal bir hareket içinde olan bir varlığın konumu örtülü değişken olarak tanımlanabilir ve ihtiyaca binaen hesaplanabilir. Konumun örtülü değişkeni, 3 durum değişkeni kullanılarak belirlenir: Varlığın hareketine başladığı ilk konum, hareketine başladığı zaman ve varlığın hız vektörü.”

KOB’de hareketin modellenmesine ilişkin detaylara Opçin tarafından 2016’da yapılan “Modeling Anti-Air Warfare in Discrete Event Simulation and Analyzing Naval Convoy Operations” [8] adlı çalışmadan ulaşılabilir.

Simkit [2], KOB’u Sonraki Olay algoritması ile uygulamak için uygulamak üzere Naval Postgraduate School (NPS)’da tasarlanmış bir Java kütüphanesidir. Ticari KOB benzetim ürünleri, Özellikle KOB’de hareketin modellenmesi, sensör kullanımı, hareketin tespiti, silahlar arasındaki etkileşime olanak sağlayamamaktadır. HSHAM’nin

geliştirilmesinde bu nedenle Simkit kullanılmıştır. Model implementasyonu yapılmadan önce önemli bir aşama olan kavramsal modelleme aşaması ise Simkit'in kavramsal modelleme aracı olan olay çizgeleri (Event Graphs) kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada HSMAM'ın kavramsal modeli detayları sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

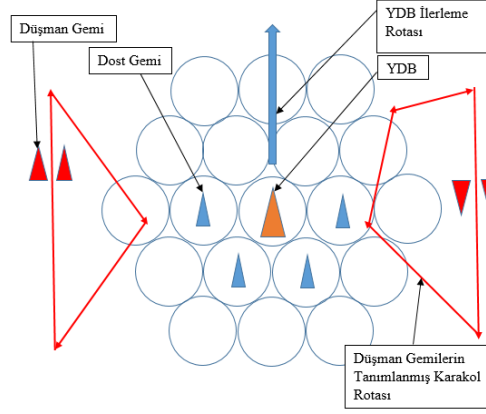
Literatürde HSH alanına adanan birkaç çalışma bulunmasın rağmen, hiç birinin bu çalışmada yer aldığı kadar kapsamlı bir şekilde model tasarımına sahip olmadığı görülmüştür. Kulaç [9], HSH'da özellikle infrared ve radar sensörlerin, aktif ve pasif sensörlerin kıyaslanması ve analizi için bir model geliştirmiştir. Fakat, Kulaç'ın çalışması temel olarak sensörlere ve iki tip silah üzerine yoğunlaşmıştır: Gemiye karşı kullanılan güdümlü mermi (Anti-Ship Missile-ASM) ve SAM. Aydın [10], deniz görev gruplarının perde nizamlarını, etkili savunma nizamlarını analiz etmek ve tespit etmek maksadı ile modellemiştir. Söz konusu modelde konvoyla atılan ASM'leri gönderen unsurlar modellenmemiştir. Bir diğer ifade ile düşman tehdidi yalnızca ASM ile modellenmiştir. Turan [11], 2 farklı gemi öz savunma işlemi ve ateşleme politikası seçimini analiz etmek maksadı ile bir model geliştirmiştir. Turan'ın modeli, katmanlı savunma sistemini göz önünde bulundurmamış ve söz konusu modelde geminin topu ve yakın savunma silahı modellenmemiştir. Townsend [12], ASM savunma modeli adını verdiği bir analiz modeli geliştirmiş olmasına rağmen sadece toplu ASM taarruzlarına yoğunlaşmış ve katmanlı savunma sistemini göz önünde bulundurmamıştır. Townsend'in modeli, gemiler, ASM ve SAM'ları içermiştir.

Sonuç olarak, literatürde karmaşık perde nizamı ve SAM'lar, toplar, ve yakın savuma sistemleri ile yapılan katmanlı hava savunmasını içeren HSH senaryolarının bir bütün halinde analizine olanak sağlayacak nitelikte bir çalışmaya rastlanmamıştır. HSHAM, literatürdeki bu boşluğu doldurmak üzere geliştirilmiştir.

3. HSHAM'NİN TASARIMI

HSHAM, konvoy hareketlerinde YDB'nin korunmasını etkileyen faktörleri araştırmak maksadı ile geliştirilen stokastik bir KOB modelidir. Modelde halihazırda, 3 tip gemi modellenmiştir: Mavi (dost) gemiler, YDB ve kırmızı (düşman) gemiler. Ancak, geliştirilen model jenerik gemi dizaynlarına olanak tanımaktadır. Temel senaryo, YDB'nin dost gemilerce, düşman gemilerine karşı korunmasını içermektedir. YDB, her bir senaryoda önceden tanımlı bir rotada ilerlemekte ve dost gemiler YDB'nin hareketi süresince korunması maksadı ile perde nizamındaki konumunu almaktadır. Her bir düşman gemisi, kendilerine önceden tanımlı rotalarda karakol icra etmektedir. Dost gemilerinin ilk konumları perde nizamına göre belirlenmektedir ve dost gemiler dinamik olarak YDB'nin rotasına göre kendi konumlarını güncellemektedir. Dost gemilerin görevi YDB'yi korumak ve düşman gemilerini tespit halinde angaje olmak ve düşman gemilerinden gönderilen ASM'leri yok etmektir.

HSHAM ile araştırılabilecek muhtemel bir senaryo Şekil 2’de sunulmuştur. Düşman gemilerinden gelen tehditler katmanlı hava savunma ile bertaraf edilmekte, ayrıca düşman gemilerine angaje olunmaktadır.



Şekil 2. Muhtemel HSHAM Senaryosu.

HSMAM’de gemiler birbirlerine menzillerine bağlı olarak ASM’ler ve toplarla angaje olabilirler. Bir gemi, düşman gemisi tarafından gönderilen ASM ile, eğer ASM katmanlı savunmadan geçer ise vurulabilir. Bir ASM, katmanlı savunmada SAM, top mermisi veya yakın savunma silahı tarafından bertaraf edilebilir. HSHAM beş tip angajmana yer vermektedir: ASM’nin gemiye angajmanı, topun gemiye angajmanı, SAM’nin ASM’ye karşı angajmanı, topun ASM’ye angajmanı ve yakın savunma silahının ASM’ye angajmanı.

HSHAM 15 farklı bileşenden meydana gelmiştir: Gemi, ASM, SAM, Güdümlü Mermi Hareket Yönetimi Bileşeni, Nizam Hareket Bileşeni, YDB hareket bileşeni, Top Mermisi, Top Mermisi Hareket Bileşeni, Gemi Arama Sensörü, SAM Angajman Sensörü, Top Mermisi Angajman Sensörü, Yakın Savunma Silahı Angajman Sensörü, Temas Bileşeni, Angajman Politikası Bileşeni ve Angajman Değerlendirme Bileşeni. Söz konusu bileşenler arasında stokastik olanlar Gemi Arama Sensörü, ASM, SAM, Top Mermisi, Temas ve Angajman değerlendirme bileşenleridir. Gemi arama sensörü içerisindeki tespitler üssel dağılıma göre planlanır. ASM, SAM ve top mermisi bileşenleri hedeflerini vurduklarında ne kadar hasar verdiklerini normal dağılıma göre hesaplamaktadırlar [13]. Hedeflerin gerçek konumlarına yönelik hatalar yönlendirilmiş çift değişkenli normal dağılım kullanılarak temas bileşeninde üretilmektedir. Angajman değerlendirme bileşeni her tip angajmana özel olasılık modelleri ile angajman sonuçlarını belirlemektedir. Modellerin detaylı tanımlamalarına ve kavramsal modellerine Opçin (2016) [8]’dan ulaşılabilir. Bileşenlerin kavramsal modellerine ilişkin açıklamalar aşağıda sunulmuştur. Gemi modeli HSHAM’nin en temel bileşeni olduğundan gemi nesnesinin kavramsal modeline ve HSHAM’de merkezde gemi nesnesinin olduğu Genel Simülasyon Olay Dinleme Paternine İlişkin kavramsal model detaylı olarak açıklanmış, HSHAM’nin diğer nesnelerinin EG’lerine ve tüm modellerin

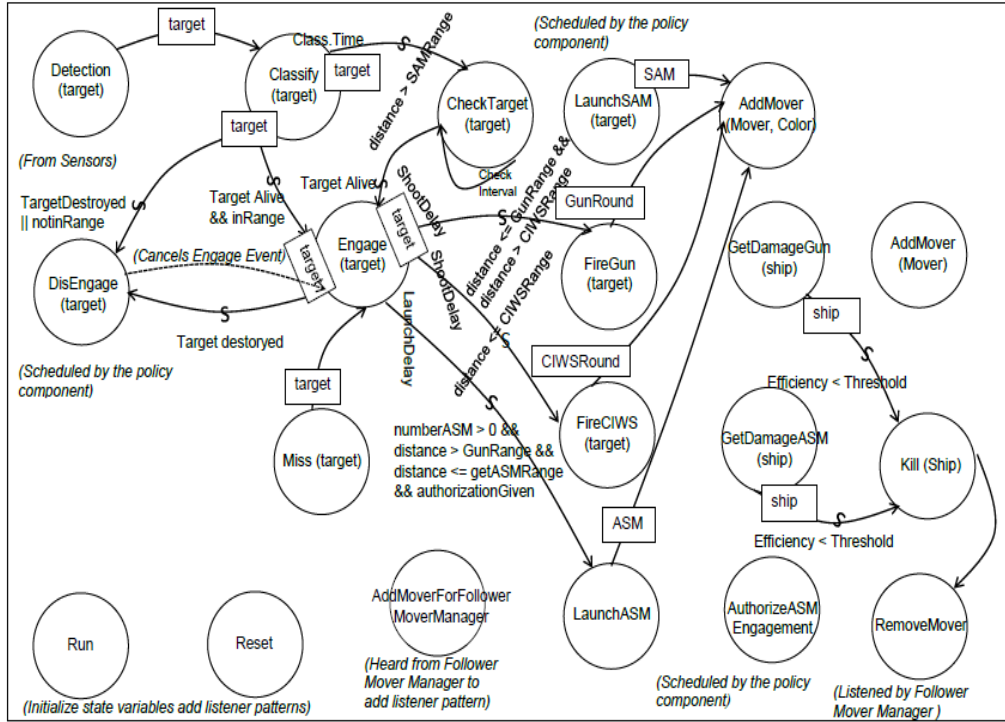
UML (Unified Modeling Language) diyagramlarına Opçin (2016) [8]'den veya yazar ile iletişime geçerek ulaşılabilir.

3.1. Gemi

Gemi HSHAM'nin temel modelidir. Gemi, Java Simkit kütüphanesinde Temel Doğrusal Hareket nesne sınıfı üzerine geliştirilmiştir (extending Basic Linear Mover Class). Gemi nesnesi, her tip platformun muhtelif parametreler ile modelleneyeceği şekilde dizayn edilmiştir. Gemi nesnesinin, sahip olduğu imkan ve kabiliyetlere göre kendi güdümlü mermisini, top mermisini atabilmek gibi metotları mevcuttur. Örneğin; gemi bir uçak gemisi veya yük tankeri gibi YDB ise üzerinde yalnızca yakın savunma silahları bulunurken, eğer gemi fırkateyn olarak tanımlanırsa, ASM, SAM, top mermisi de taşıyabilmektedir. Diğer taraftan gemi, herhangi bir sensör/silah kombinasyonu ve özellikleri ile de tanımlanabilir. Söz konusu sensör ve silahlar için gereken silah menzilleri, güdümlü mermi süratleri, top veya güdümlü mermi atış gecikmeleri veya sensör tespiti oranı gibi parametrelerin bilinmesine bağlıdır.

3.1.1. Gemi EG

Gemiye ait EG Şekil 3'te görülmektedir. Söz konusu EG gemi nesnesine ait olayların ve metotların kavramsal olarak nasıl modellendiğini ifade etmektedir. Örneğin; Tespit (Detection) olayının tetiklenmesi ile gemide işleyen süreç şu şekilde ifade edilebilir. Bu ifade, Şekil 3'te sunulan EG'nin kavramsal olarak nasıl yorumlanması gerektiğine de ışık tutmaktadır. Şeklin sol üstünde bulunan Tespit (Detection) olayı gemi arama sensöründe gerçekleşen aynı isimli olay ile tetiklenir. Gemi beklendiği şekilde müteakip alt başlıkta açıklanacağı üzere sensörlerini dinlemektedir. Gemi içerisinde tetiklenen Tespit olayı hiçbir zaman gecikmesi olmaksızın, tespit edilen nesneye ait bilgileri ile birlikte sınıflandırma (classification) olayını tetikler. Sınıflandırma olayı, gelen hedef bilgilerine göre hedefi, yeniden kontrol etmeyi, hedefe angaje olayı veya hedefi angajman listesinden çıkarmayı tercih eder. Sınıflandırma olayının, Angajman (Engage) olayını çağırması durumu hedefin canlı olması ve herhangi bir silah menzili içerisinde olmasına bağlıdır. Hedefe angajman koşullarının gerçekleştiğini varsayalım. Bu durumda, sınıflandırma zamanı kadar gecikme ile hedefe angajman olayı hedef bilgilerini de aktararak planlanmış olur. Bu noktadan sonra angajman olayı hedefin menzile ve hedef tipine göre SAM Ateşle (Launch SAM), Top Ateşle (Fire Gun), Yakın Savunma Silahı Ateşle (Fire CIWS) veya ASM Ateşle (Launch ASM) olaylarından birini tetikler. Söz konusu olaylardan herhangi biri gerçekleştiğinde, bir diğer ifade ile bir silah ateşlediğinde, bu silaha ait bilgiler ile (Top, ASM, SAM veya Yakın Savunma Silahı) Hareket Nesnesi Ekle (Add Mover) olayını tetiklenir.



Şekil 3. Gemi EG

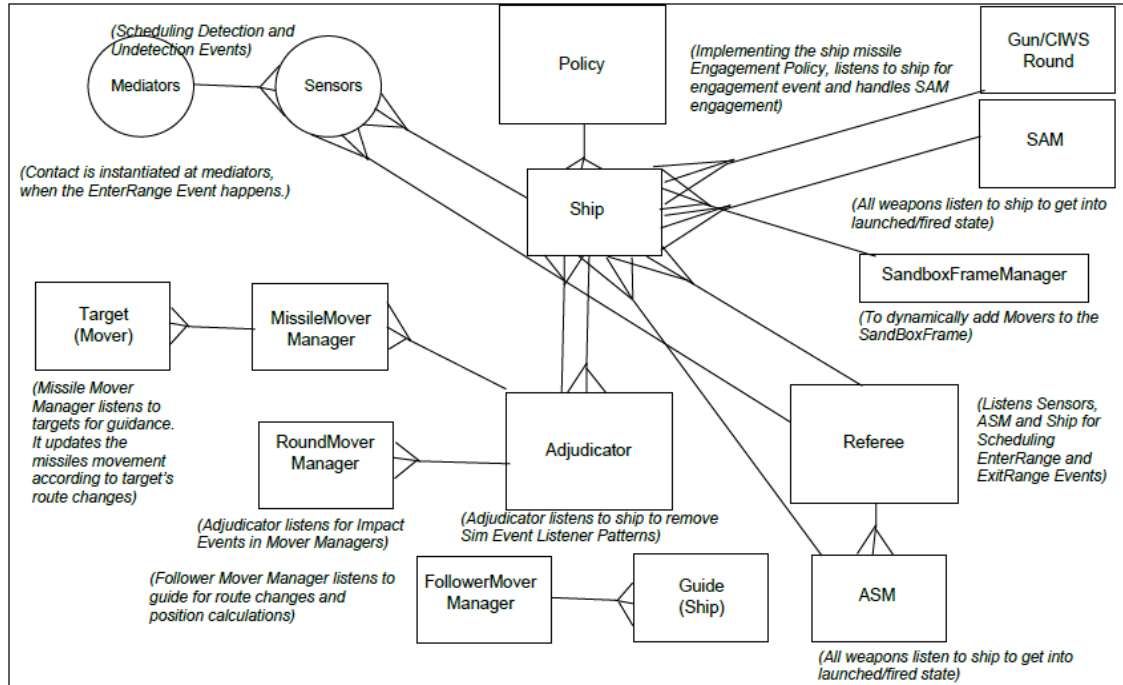
Hareket Nesnesi Ekle olayı ile silah ateşlenmiş mermi namludan çıkmış olur. Örneğin; bir düşman gemisine bir ASM angajmanı gerçekleşmiş olsun. Bu durumda, söz konusu ASM güdümlü sistemi ile düşman gemisinin radardan gelen temas bilgilerine güdümlü bir şekilde ilerleyecektir.

Eğer güdümlü mermi, temas bileşenin rastgele olarak yarattığı hataya rağmen hedefin belirli bir mesafesine yaklaşır ise, bir başka bileşen olarak angajman değerlendirme bileşeni söz konusu angajmanın gemiyi gerçekten vurup vurmadığına göre karar verecektir. Müteakiben; ASM içerisinde bulunan ASM Hasarı (Get Damage ASM) olayını tetikleyecek, tetiklenen söz konusu olay gemi nesnesi içindeki Şekil 3'te de görülen ASM Hasarı olayını tetikleyecek, gemi söz konusu olayın sonucunda ortaya çıkacak rassal miktarda hasar alacaktır. Her bir gemi için alınan kümülatif hasar, geminin dayanıklılığının üstüne çıkarsa gemi harekatta sakıt kalacak veya imha olacaktır. Bu durumda, Şekil 3'ün sağ tarafında görülen Öldür (Kill) olayının ASM Hasarı olayı tarafından tetiklenmesi ile gerçekleşecektir.

3.1.2. HSHAM Simülasyon Olay Dinleme Paterni

HSHAM içinde bulunan bazı bileşenlerin birbirleri ile koordineli bir biçimde hareketini sağlamak amacıyla Simülasyon Olay Dinleme Paterni oluşturulmuştur. Eğer bir nesne diğerini dinliyorsa, dinleyen nesnede bulunan ve dinlenen nesnede tanımlanan olayların aynı isim ve parametrelere sahip olması durumunda dinleyen nesnede söz konusu

olaylar tetiklenir ve bu yolla simülasyon nesneleri arasındaki koordine sağlanmış olur. HSHAM’de tanımlanan, Simülasyon Olay Dinleme Paterni Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. HSHAM Simülasyon Olay Dinleme Paterni.

Şekil 4’te de görüldüğü üzere gemi nesnesi; Top/Yakın Savunma Top Mermisi (Gun/CIWS Round), SAM, ASM, Angajman Politikası Bileşeni (Policy), Angajman Değerlendirme Bileşeni (Adjudicator) ve detaylarına Opçin (2016) [8]’da değinilen alt modellerden Hakem (Referee) ve Arayüz Yöneticisi (SandBox Frame Manager) tarafından dinlenmektedir. Şekil 4’te birbirleri ile etkileşim halinde olan diğer nesneler de görülmektedir.

Modelde yer alan tüm bileşenlere ait kavramsal model diyagramları, bu makaledeki yer kısıtlamasından dolayı eklenememiştir. Yöntemsel bir örnek olması açısından sadece gemi modeline ilişkin detaylar sunulmuştur. Diğer modüllere ilişkin detaylara Opçin (2016) [8]'den erişilebilir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, deniz konvoy hareketını modellemek üzere bir HSHAM isimli kesikli olay benzetim modeli geliştirilmiştir. Söz konusu model, kullanılan dizayn metotları KOB’de nesnelerin hareketinin, harp modellerinin, Deniz Hava Savunma Harbinin modellenmesine yönelik literatüre katkı yapacak niteliktedir. Modelin Java Programlama Dili Simkit kütüphanesinde geliştirilmesi modelin esnek, ölçeklenebilir

bir şekilde tasarlanmasına olanak sağlamıştır. Bu sebeple model geliştirilmeye açık durumdadır.

HSHAM'de detaylı sensör ve silah dizaynlarına yer verilmiştir. Model herhangi bir silah ve sensör kombinasyonları ile herhangi bir geminin muhtelif parametreler ile simülasyon nesnesi olarak yaratılmasına ve simüle edilmesine olanak sağlayacak niteliktedir. HSHAM, KOB'u kullanarak, belirlenmiş katmanlı hava savunma taktikleri, güdümlü mermi ateşleme politikaları gibi HSH konsept ve taktiklerinin modellenmesine de olanak sağlayacak şekilde kullanılmaktadır.

Modelin temel kullanım amacı HSH konsept ve taktiklerini ve etkinliklerini belirlemek olduğundan, HSHAM 99 farklı girdi değişkeni ile, prototip olarak geliştirilen 3 farklı senaryo için yaklaşık 1,5 milyon kez koşturulmuş ve sonuçlar analiz edilmiştir. Yapılan ileri seviye analizde, YDB'nin yaşamasına etki eden en önemli faktörlerin, söz konusu 99 değişken arasından bir kaç olan, YDB'nin duruş gücü, perde gemilerinin ASM'lere karşı kullandıkları SAM'ların özellikleri (menzil, sürat vuruş olasılığı) ve düşman gemilerinin ASM özellikleri olduğu anlaşılmıştır. Bu bilgiler, kısıtlı bütçeler ile yapılacak muharip suüstü gemilerinin HSH etkinliğini artırmak için yapılması gereken ilk geliştirmenin SAM güdümlü mermilerine ve ASM'leri etkinliğini azaltması muhtemel elektronik harp ve dekoylara yönelik olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, düşman gemilerinin ASM özelliklerine yönelik istihbari bilgilerin herhangi bir deniz hareketinden önce elde bulunması hayati önem taşımaktadır.

Söz konusu bilgiler, gibi birçok bir HSHAM'nin muhtelif amaçlarına yönelik kullanımı ve sonuçların analizi ile elde edilebilir. HSHAM, askeri alanda bu tarz önemli bilgilere ışık tutması ve kullanılan kavramsal modellerin sonraki yapılacak çalışmalara katkı sağlama potansiyelinin bulunması sebepleri ile özgün bir modeldir.

Modele yönelik muhtemel geliştirmeler; hareketlerin doğrusal olması yerine gerçek hayata daha uygun olacak şekilde doğrusal olmayan bir şekilde modellenmesi, modellenen gemilerin birbirlerini tespit ettikten sonra sakınma manevraları da icra etmesi, elektronik harp ve deko kullanımı da HSHAM'de modellenmesi, uçaklar ve adalara konuşlu güdümlü mermi bataryalarının da modellenmesi ve modelin geçişleme faaliyetinin yapılması olarak listelenebilir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlardan Ali E.OPÇİN, başta NPS'de yüksek lisans yapma şansını sağlayan Türkiye Cumhuriyeti Devleti ve Deniz Kuvvetleri Komutanlığı olmak üzere, çalışma'nın icra edildiği süre boyunca desteklerini esirgemeyen NPS'de görevli değerli öğretim üyelerinde Dr.Arnold H. Buss, Prof.Thomas W. Lucas ve Paul J. Sanchez'e saygı ve minnetlerini sunmaktadır.

6. KAYNAKÇA

- [1] Lucas, T. W., Kelton, W. D., Sánchez, P. J., Sanchez, S. M. and Anderson, B. L. 2015. Changing the paradigm: Simulation, now a method of first resort. *Naval Research Logistics*, 62: 293–303. doi:10.1002/nav.21628.
- [2] Buss, A. H. 2016. Simkit (Version 1.4.4) [Computer software]. Retrieved from <https://eos.nps.edu/simkit/>.
- [3] Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis*. New York: McGraw-Hill.
- [4] Buss, A. H. (2011). Lecture on discrete event simulation modeling. Personal collection of A. H. Buss. Naval Postgraduate School, Monterey CA.
- [5] Al Rowaei, A. (2011). The effect of time advance mechanism (TAM) in modeling and simulation: DES & DTS comparison analysis, case study: combat simulation. Doctoral dissertation. Naval Postgraduate School, Monterey, CA..
- [6] Scruben, L. (1983). Simulation modeling with event graphs. *Communications of the ACM*, 26(11), 957–963. Ithaca, NY: Cornell University. Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=358460>.
- [7] Buss, A. H., & Sanchez, P. J. (2005). Simple movement and detection in discrete event simulation. In: *Proceedings of 2005 Winter Simulation Conference*, M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines (eds.). Piscataway, NJ: Institute of Electronics Engineers, Inc., pp.992-100
- [8] Opçin, A. E. 2016. Modeling anti-air warfare with discrete event simulation and analyzing naval convoy operations. Masters thesis, Department of Operations Research and MOVES Academic Committee, Naval Postgraduate School, Monterey, CA..
- [9] Kulac, O. (1999). A comparative analysis of active and passive sensors in anti-air warfare area defense using discrete event simulation components (Master's thesis). Retrieved from <https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/13620/99MarKulac.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- [10] Aydin, E. (2000). Screen dispositions of naval task forces (Master's thesis). Retrieved from <http://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/7785/screendispositio00aydi.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.
- [11] Turan, B. (2002). A comparative analysis of ship-self air defense (SSAD) systems using a modkit simulation (Master's thesis). Retrieved from https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/13647/99Mar_Turan.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [12] Townsend, J. R. (1999). Defense of naval task forces from anti-ship missile attack (Master's thesis). Retrieved from https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/13646/99Mar_Townsend.pdf?sequence=3&isAllowed=y.
- [13] Armstrong, M. J. (2005). Stochastic salvo model for naval surface combat model. *Informs*, 53, 830–841. Retrieved from <http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/opre.1040.0195?journalCode=opre>.

HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜLEMEDE SU ETKİSİNİN MODELLENMESİ

İsa Cem Eken ^(a), Yasemin Yardımcı Çetin ^(a,b)

^(a) Bilişim Sistemleri, Enformatik Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, Türkiye,
cem.eken@metu.edu.tr

^(b) ODTÜ-TSK MODSİMMER, Ankara, Türkiye
yyardim@metu.edu.tr

ÖZ

Su altı nesne tespiti uygulamalarında (arama kurtarma, mayın arama, arkeoloji, deniz dibi incelemesi vb.) aranan nesnenin hızlı ve doğru şekilde tespit edilebilmesi çözülmesi gereken bir problemdir. Hiperspektral görüntüleme, ayrıntılı spektral bilgi çıkarabilme yeteneği sayesinde, seçili bir alandaki farklı bileşenleri tespit edebilme konusunda etkili olabilmektedir. Hiperspektral görüntüleme ile yapılacak uygulamalarda aranacak nesnelerin su üstündeki ve su altındaki spektral farklılıklarının incelenmesi, aranan nesnelerin daha iyi tespit edilebilmesi açısından önemlidir. Suyun spektral veri üzerindeki etkisini derinlik, su kalitesi, güneş açısı gibi parametrelere göre inceleyen çeşitli modelleme çalışmaları bulunmaktadır. Parametre değerlerindeki değişiklikler sonucu oluşabilecek farklı durumların gerçek verilerle analizi zaman ve kaynak anlamında maliyet gerektiren bir durumdur. Bu analizlerin kısa sürede ve az maliyetle yapılabilmesi amacıyla sentetik verilerle tasarlanacak simülasyon çalışmaları olası çözümleri elde etme hususunda önem arz etmektedir. Bu çalışmada suyun cisimlerin yansımaya etkisini inceleyen farklı modeller kullanılarak sentetik veriler elde edilmiş ve bu verilerin deneyler sonucu elde edilen hiperspektral veriler ile karşılaştırması yapılmış ve aracın nesne tespiti uygulamalarına katkısı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hiperspektral Görüntüleme, Su Etkisi, Nesne Tespiti, Simülasyon, Yansıma.

MODELING OF WATER EFFECT IN HYPERSPECTRAL IMAGERY

ABSTRACT

Fast and precise target detection is an issue in underwater object detection applications such as search and rescue, mine detection, archeological remains, sea floor analysis. Hyperspectral imaging could be effective in determining different components in a selected region thanks to its ability to provide detailed spectral information. It is important to analyze the spectral differences of objects between surface and underwater conditions in order to obtain better detection performances in hyperspectral imagery applications. Modeling studies that examine the effect of water in spectral data due to parameters like depth, water quality, solar angle are available. Analyzing the different scenarios due to changes in these parameters with real data is expensive in time and resources. To perform these analyses with less effort, simulation studies designed with synthetic data play important roles in obtaining possible solutions. In this study, synthetic data is obtained from different models that examine the effect of water on spectral reflectance and these data is compared with the hyperspectral data obtained from experiments. The effect of the tool in object detection is investigated.

Keywords: Hyperspectral Imagery, Water Effect, Object Detection, Simulation, Reflectance,

1. GİRİŞ

Hiperspektral görüntüleme, bir nesnenin spektral yansımalarını küçük bant aralıklarıyla elde edebilen bir görüntüleme sistemidir. Spektral verinin yüzlerce ardışık spektral bant üzerinde elde edilmesini, böylece nesnelerin spektral yansımaları arasındaki farklılıkların ayırt edilebilmesini sağlar. Hiperspektral görüntülemenin keşif, gözetleme, tespit, gıda, tarım, astronomi, kimyasal görüntüleme gibi birçok alanda uygulamaları bulunmaktadır.

Su altı nesne tespiti uygulamalarında, aranan nesnenin yansıması su nedeniyle değişime uğrar. Bu değişimi inceleyen bazı modelleme çalışmaları bulunmaktadır. Burt [1] su altı ve su üstünde bulunan deniz mayınlarının tespiti ile ilgili bir çalışma yapmış, ancak su altında bulunan nesne tespitleri için suyun etkisini incelememiştir. Jay ve Guillaume [2] suyun etkisini inceleyen modellerin kullanılmasıyla su altı nesne tespiti uygulamalarında iyileştirme elde edilebildiğini göstermiştir. Konu ile ilgili yapılmış sınırlı çalışma bulunmakta olup başka çalışma tespit edilmemiştir. Çalışmamızda suyun nesnelerin yansımasına etkisini inceleyen modeller kullanılarak sentetik veriler elde edilecek ve bu verilerin deneyler sonucu elde edilen hiperspektral veriler ile karşılaştırması yapıp aracın nesne tespiti uygulamalarına katkısı araştırılacaktır.

2. bölümde suyun etkisini modelleyen iki çalışma tanıtılıp, 3. bölümde bu modellerin simülasyon ve kısıtlı gerçek verilerle karşılaştırması incelenecektir. 4. bölümde modellerin nesne tespitine etkisi incelenecek, 5. bölümde çalışmanın sonuçları değerlendirilecek ve sonraki çalışmalar için öneriler yapılacaktır.

2. SUYUN ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Zoffoli vd. [3] çalışmasında, su kütlesinin etkisini düzelten algoritmaları beş alt başlığa bölmüştür. Bu algoritmaların bazıları spektral bantlar arasında oranlama yaparak asıl dip yansımasından ziyade, derinlik ve bantlar arası yansıma ile orantılı bir indeks değeri vermekte [4][5][6][7], bazıları çalışma alanının dip bilgisinin bilinmesi sonucu dip nesneleri ile farklı senaryolar dahilinde oluşturulan yansımaları, gerçek görüntü ile karşılaştırarak bir zemin haritası vermekte [8][9][10][11][12], bazıları farklı zamanlarda elde edilen görüntüleri düzeltmekte [13], bazıları çalışma alanını jeomorfolojik inceleme sonucu farklı alanlara bölerek her bir alana farklı sınıflandırma uygulamakta [14], bazıları da suyun etkisini modelleyen yarı analitik modeller oluşturarak su altında bulunan dip yansımasını elde etmektedir [15][16][17][18][19][20].

Su altında bulunan bir nesnenin tespit edilebilmesi için elimizde suyun nesneye etkisini izleyebileceğimiz nesnenin su altındaki yansımasının bulunması gerekmektedir. Böylece ilgi alanımızda bulunan bir nesnenin su altı ve su üstündeki spektral farklılıklarının kıyaslanması ile suyun özellikleri tahmin edilebilir ve hedef nesnelerin su altındaki spektral yansımaları suyun üstündeki görüntülerinden elde edilebilir. Bu nedenle çalışmamızda suyun nesnelerin üzerindeki etkisini derinlik, suyun kalitesi, güneş açısı gibi parametrelerle modellemeye çalışan algoritmalar incelenecektir.

2.1. Maritorena vd. (1994)'nin Algoritması

Maritorena vd. (1994) (bundan sonra MVD olarak bahsedilecektir) su yüzeyinin altında elde edilen yansımanın (r) su katmanının yansıması (r_∞) ve su katmanı ile dip yansıması (p) arasındaki kontrast farkının suyun derinliğine (h) ve zayıflatma katsayısının (k) üssel etkisi ile toplamı olduğunu belirten bir model geliştirmişlerdir [16]:

$$r = r_\infty + (p - r_\infty)e^{-2kh} \quad (1)$$

Bu modelde bulunan derinlik (h) dışındaki bütün parametreler spektral bantlara bağlı olup r_∞ ve k parametreleri suyun kalitesine göre değişmektedir. Formülasyon basitliği açısından spektral bant bilgisi atlanmıştır. Suyun araştırma yapılan bölge içerisinde homojen olduğu varsayılırsa, bu parametreler ilgili bölgede bütün nesneler için aynı olacaktır. Her ne kadar aşağı yönlü ve yukarı yönlü zayıflatma katsayıları farklı olsa da, yukarı yönlü zayıflatma katsayılarının doğrudan ölçülememesi nedeniyle sadeleştirilme yapılmış ve modeldeki yerini ($2k$) olarak almıştır. Modelin elde ettiği değerler Monte

Carlo Simülasyonları sonuçları ile kıyasladığında modelin iyi sonuçlar elde ettiği belirtilmiştir.

2.2. Lee vd. (1999)'nin Algoritması

Lee vd. (bundan sonra LVD olarak bahsedilecektir), MVD'de olduğu gibi elde edilen yansımanın r_∞ , p , h ve k ile ilgili olduğunu, MVD'nin kullandığı varsayımlardan k ile olanını daha da ayrıntılandırıp aşağıdaki modeli önermiştir [19]:

$$r_{rs} = r_\infty (1 - e^{\{[-(k_d + k_{uc})h]\}}) + \frac{p}{\pi} (e^{\{[-(k_d + k_{ub})h]\}}) \quad (2)$$

LVD ile MVD arasındaki farklar incelendiğinde görünen en belirgin özelliklerden biri, LVD'nin aşağı yönlü zayıflatma katsayısı (k_d), yukarı yönlü su katmanı zayıflatma katsayısı (k_{uc}) ve yukarı yönlü dip zayıflatma katsayısının (k_{ub}) birbirinden ayrılmış olmasıdır. Ayrıca dip malzemesi Lambertian yansıtıcı olduğundan ötürü dip yansımasının (irradiance reflectance) π 'ye bölüldüğü de görülmektedir. LVD modelindeki zayıflatma katsayılarını (k_d , k_{uc} , k_{ub}) suyun optik özellikleri (k) ile her bir zayıflatma katsayısının dağılım fonksiyonuna (D_d , D_{uc} , D_{ub}) ayırdığımızda ortaya çıkacak parametreler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$k_d = D_d k, \quad k_{uc} = D_{uc} k, \quad k_{ub} = D_{ub} k \quad (3)$$

$$D_d = 1 / \cos(\theta_w) \quad (4)$$

θ_w güneş başucu açısı (solar zenith angle) olup D_d 'yi sabit bir parametre haline getirmektedir. Bu durumda suyun hemen altında elde edilen uzaktan algılama yansıması r_{rs} aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$r_{rs} = r_\infty (1 - e^{\left\{-\left[\frac{1}{\cos(\theta_w)} + D_{uc}\right]kh\right\}}) + \frac{p}{\pi} (e^{\left\{-\left[\frac{1}{\cos(\theta_w)} + D_{ub}\right]kh\right\}}) \quad (5)$$

LVD modelinin çeşitli Hydrolight simülasyon tekrarları ile genel koşulları karşılayan sabit değerli yarı analitik bir model oluşturulmuştur. Elde edilen simülasyon sonuçları ile su kütlesinin yansıması (r_∞),

$$r_\infty \approx (0.084 + 0.17u)u \quad (6)$$

yukarı yönlü su ve dip fotonlarının dağılım fonksiyonları (D_{uc} , D_{ub}),

$$D_{uc} \approx 1.03(1 + 2.4u)^{0.5}, \quad D_{ub} \approx 1.04(1 + 5.4u)^{0.5} \quad (7)$$

olarak belirlemiştir. Suyun optik özellikleri olan u ve k parametreleri,

$$u = b_b / (a_t + b_b), k = a_t + b_b \quad (8)$$

olarak formüle edilip suyun kalitesine göre bu optik özelliklerin değişimi gözlenebilir. Burada a_t suyun soğurma, b_b ise suyun geri saçılım parametreleridir.

LVD modelinin bir diğer özelliği, suyun hemen üzerindeki uzaktan algılama yansımalarını elde edebilmemizi sağlamasıdır. Hydrolight simülasyon çalışmaları sonucu elde ettikleri su-hava geçişi değişimi,

$$R_{rs} \approx \frac{0.5r_{rs}}{1 - 1.5r_{rs}} \quad (9)$$

olarak belirtilmiştir. İlerleyen bölümlerde nesne yansımalarının suya bağlı değişim incelemeleri yukarıda bahsedilen iki model üzerinden yapılacaktır.

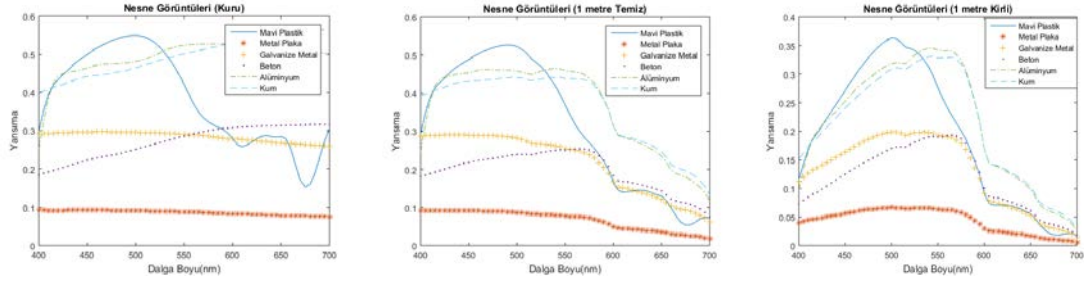
3. MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Çalışmanın bu bölümünde yukarıda bahsedilen MVD ve LVD modellerinin, çeşitli derinliklerde, simülasyon ve gerçek veriler ile karşılaştırılması yapılmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi suyun optik özellikleri suyun kalitesi ile ilgili olduğundan ölçülmesi gereken parametrelerdir. Çalışmada bu parametreler Jay ve Guillaume [2]'nin çalışmasında olduğu gibi tespit edilecektir. Çalışmada bulunan su ortamı homojen bir yapıda olduğu varsayıldığından ilgi alanı içindeki bütün noktalarda suyun optik özellikleri eşit olacaktır. Yani suyun altında olan bir nesnenin hem ıslak hem de su altı yansıması elde edilebilirse, bu iki yansıma arasındaki değişim üzerinden su ile ilgili parametreler tespit edilebilir. Elde edilen değerler suyun altında bulunan başka bir nesnenin su üstündeki ıslak yansımasına eklenip elde edilen yansıma ile su altındaki ilgili nesnenin kendi yansıması karşılaştırılarak modellerin karşılaştırması yapılabilir.

3.1. Simülasyon Karşılaştırması

Yapılan simülasyonda, Jay ve Guillaume [2]'nin çalışmasında yer alan simülasyon örnek alınmıştır. Zemini kum olan bir alanda çeşitli boyutlarda mavi plastik, metal, galvanize metal, beton ve gri boyalı alüminyum nesneleri oluşturulmuştur. İlgili nesnelerin spektral imzaları USGS Spektral Kütüphanesinden [21] alınmıştır. Simülasyon hazırlama aşamasında nesne imzalarının çeşitliliğini benzetmek için nesnelerin gerçek verileri üzerindeki standart sapmaları ölçülmüş, kütüphaneden edinilen spektrallara aynı miktarda beyaz gürültü eklenmiştir. Sualtı yansıma simülasyonu için LVD ve MVD modelleri kullanılmıştır. Su altı yansıma görüntüsü elde edildikten sonra sensör gürültüsünü benzetmek için yine beyaz gürültü eklenmiştir. Suyun optik parametre değerleri Brando vd. [22] ve Bricaud vd. [25]'den, temiz suyun soğurma indeksi ve geri saçma denklemi Pope ve Fry [23] ile Richardson ve LeDrew [24]'den alınmıştır. Şekil 1'de etiketteki sırasıyla mavi plastik, metal, galvanize metal,

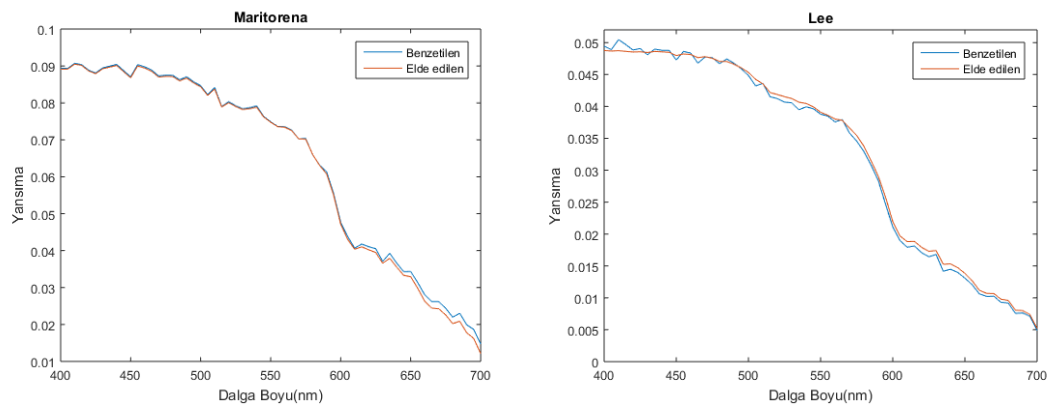
beton, gri boyalı alüminyum ve kumun kuru, 1 metre derinlikte temiz ve kirli suda bulunan yansımaları görülmektedir.



Şekil 1 – Nesnelerin Kuru, Temiz (1m) ve Kirli (1m) Sudaki Yansıma Değişimi

Şekil 1’de görüldüğü üzere nesnelerin yansıma değerleri temiz suda kırmızı bantlardan, kirli sularda hem kırmızı hem de mavi bantlardan itibaren azalmaktadır. Buradan da anlaşılabileceği üzere su altında farklı materyallerin spektral imzaları arasındaki farklılıklar, temiz sularda mavi bantlarda, kirli sularda yeşil bantlarda tespit edilebilmektedir.

Daha önce bahsedildiği gibi, gerçek şartlarda su altında bir nesnenin tespitini yapabilmek için öncelikle zemin materyali olan kumun su altındaki ve su üstündeki spektral imzaları MVD ve LVD modellerine giriş ve çıkış değeri olarak verilecek, suyun optik parametreleri tespit edilecek, aranacak malzemenin ıslak yansıması ile birlikte MVD ve LVD modellerine girdi verilerek modellerden elde edilen su altı yansıması ile nesnenin su altındaki benzetme yansıması kıyaslanacak ve hangi modelin daha iyi sonuç verdiği değerlendirilecektir.



Şekil 2 – Farklı Modellerle Metal Plakanın 1 Metre Derinlikte Elde Edilen İmzası

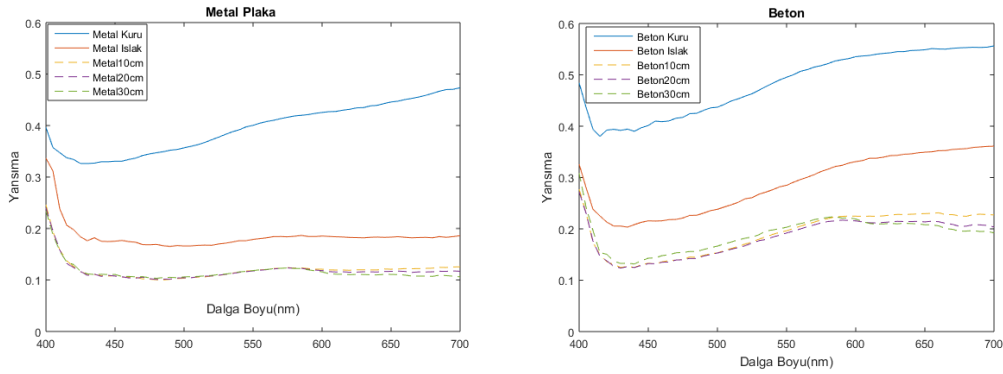
Şekil 2’de metal plakanın MVD ve LVD modelleri kullanılarak elde edilen benzetme yansımaları gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, kumun su altı ve su üstünde bulunan imzaları arasındaki farklılığın LVD ve MVD modellerine girdi ve çıktı olarak

alınıp, suyun optik özelliklerini elde ederek, bunları metalin su üzerindeki imzasına eklediğimizde elde ettiğimiz sonuç, metalin ilgili derinlikteki benzetme yansımasına kayda değer bir benzerlik göstermektedir. İki yansımanın benzerliği, iki spektra vektörünün aralarındaki açının ölçülmesiyle tespit edilebilir. Spektral Açı Haritalama (Spectral Angle Mapper) olarak uzaktan algılamada sıkça kullanılan bu ölçüt ile MVD modelinin elde ettiği yansımanın açısı (0.012 rad), LVD modelinin elde ettiği yansımanın açısından (0.017 rad) daha az olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Gerçek Veri Karşılaştırması

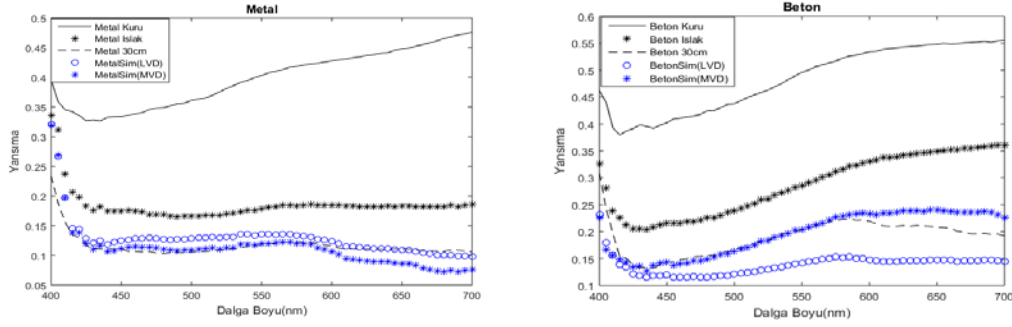
Gerçek verilerle karşılaştırma, çeşitli materyallerin kontrollü bir laboratuvar ortamında belirli derinliklerdeki sualtı görüntülerinin incelenmesidir. Bu aşamanın amacı çeşitli dış faktörlerden (bulut, rüzgar, parlama, gölge, değişen güneş açısı, vb.) arındırılarak suyun malzeme imzalarına etkisinin tespiti.

Laboratuvar çalışmalarında çekim için Headwall A serisi hiperspektral kamera, aydınlatma için tungsten ışık kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan su şehir şebekesi suyu olup içindeki Pitoplankton, Alg ve sarı madde (colored dissolved organic matter – CDOM) değerlerine göre temiz su olarak değerlendirilmiştir. Beton ve metal plakanın kuru, ıslak ve çeşitli derinliklerdeki (10 cm, 20 cm, 30 cm) imza değişiklikleri incelenmiş ve görüntülenmiştir.



Şekil 3 – Metal Plaka ve Betonun Laboratuvar Çekimlerindeki İmzaları

Şekil 3'te metal plaka ve betonun kuru, ıslak, 10cm, 20cm ve 30 cm derinlikli sulardaki yansıma değişiklikleri gösterilmektedir. Görüldüğü üzere bir materyalin temiz su altındaki yansıması, kırmızı band bölgesinden başlamak üzere azalmaktadır. Referans yansımaları ile laboratuvar çekimlerinde elde edilen yansımaların farklı değerlerde olması materyal çeşitliliği ve kullanılan ışık kaynağıyla bağlantılı olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4 – Metal Plaka ve Betonun Suyun Optik Parametrelerinin Tahmini Sonrası Simüle Edilmesi

Şekil 4’te ıslak ve 30 cm derinlikteki imza farklılıklarından elde edilmiş su parametrelerinin materyaller üzerine LVD ve MVD modelleri kullanılarak uygulanmasıyla elde edilmiş sonuçlar görüntülenmektedir. Spektral Açık Haritalama ölçütü ile modeller karşılaştırıldığında LVD modelinin her iki materyalde (Metal LVD = 0.113 rad MVD = 0.186 rad , Beton LVD = 0.070 rad MVD = 0.118 rad) de MVD modelinden daha düşük açılı bir sonuç çıkardığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin LVD modelinin MVD modelinde yer alan varsayımları genişleterek daha kapsamlı bir model oluşturması olduğu değerlendirilmektedir.

4. MODELLERİN NESNE TESPİTİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

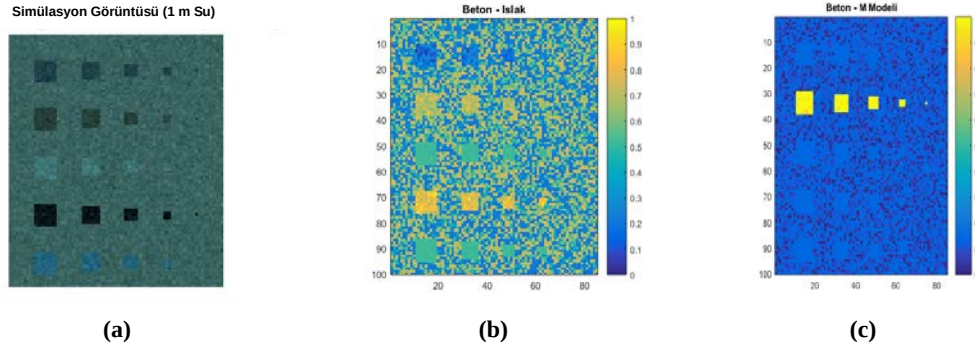
Modellerin nesne tespitine etkisi, simülasyon verisi ve gerçek veri üzerinden incelenmiştir. Nesne tespiti algoritması olarak adaptif bağdaşlık kestiricisini (adaptive coherence estimator - ACE) [26] kullanılmıştır.

$$T_{ACE}(x) = \frac{(d^T \sum^{-1} x)^2}{(d^T \sum^{-1} d) (x^T \sum^{-1} x)} \quad (10)$$

Burada d hedef spektrasını, x piksel spektral vektörünü, $\sum$ ise arka plan kovaryans matrisini ifade etmektedir. ACE, hedef ve arka plan imzalarını daha iyi ayırt etmesi bakımından iyi bir tespit algoritması olduğu değerlendirilmektedir.

4.1 Simülasyon Çalışmaları

Yapılan simülasyon çalışmasında (Şekil 5-a) (yukarıdan aşağıya olmak üzere) galvanize metal, beton, boyalı alüminyum, metal plaka ve mavi plastik maddelerinin kum zemin üzerinde, çeşitli hedef ebatlarında, 1 metre derinlikteki yansıması gösterilmektedir. Betonun farklı hedef imzaları (ıslak spektra vs. MVD modeli ile elde edilmiş spektra) ile oluşan tespit performansları Şekil-5’te gösterilmektedir.



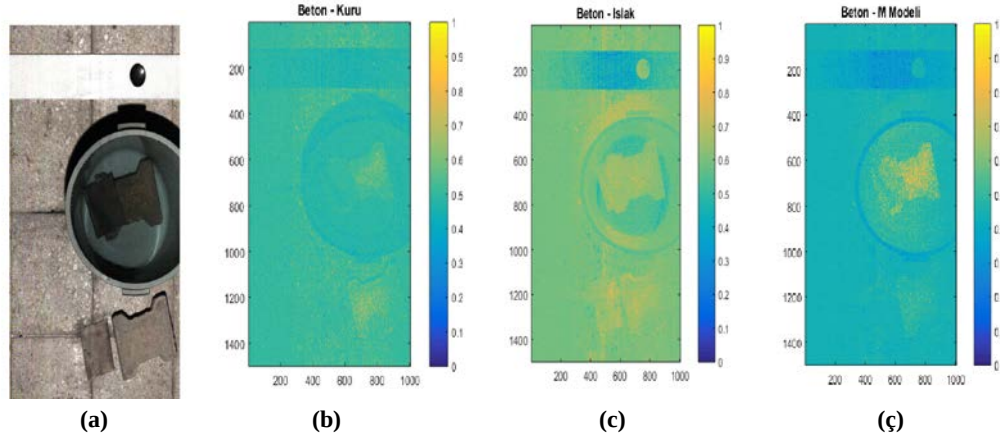
(a) (b) (c)
Şekil 5 – Simülasyon Verilerinde Betonun Tespit Farkları

(a – Simülasyon görüntüsü, b – Hedef: Islak yansıma, Su etkisi : Yok, c – Hedef: Islak yansıma, Su Etkisi: Var)

Görüldüğü üzere MVD algoritması ile elde edilen hedef yansıması, suyun etkisi dikkate alınmadan uygulanan tespit yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Betonun ıslak spektrası ile yapılan tespiti bakıldığı zaman, büyük ebatlardaki hedeflerin nispeten düşük performansla tespit edilebildiği, tek piksel ve dokuz pikselden oluşan küçük ebatlardaki hedeflerin ise arka plan ile karıştığı gözlemlenmektedir. Ayrıca nesnelerden dördüncü sırada olan metal plakanın, tespit algoritması tarafından beton gibi değerlendirmesi de hedef spektrası olarak suyun etkisinin dikkate alınmadığından kaynaklandığı görülmektedir. Performans ölçütü olarak görsel değerlendirme ele alınmış olup derinlik arttıkça performans farkının da artacağı değerlendirilmektedir. Nesnelerin USGS Spektral Kütüphanesindeki [21] referans değerleri modelde ıslak referans değeri olarak değerlendirildiği için betonun kuru spektral imzası ile tespit yapılmamıştır.

4.2 Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında, betonun farklı hedef imzaları (kuru, ıslak, MVD modeli ile elde edilmiş spektra) ile oluşan tespit performansları Şekil-6'da gösterilmektedir. Betonun kuru yansıma imzası hedef imza olarak alındığında, beton nesnesi ile arka plan arasında ayırım düşük seviyede yapılmaktadır. Islak yansıma hedef olarak alındığında, kuru imzaya göre daha iyi bir sonuç alınmış ancak arka plan nesneleri ile beton arasındaki ayırım yeterince yapılamamış, su dışında kalan yerlerde yanlış tespitler meydana gelmiştir. MVD modeli ile elde edilen yansıma hedef olarak alındığında 30 cm su altında bulunan beton üzerinde elde edilen tespit oranı daha yüksek çıkmış ve arka plan nesneleri ile arasında iyi bir kontrast oluşmuştur.



Şekil 6 – Gerçek Verilerde Betonun Tespit Farkları

(a – Kamera görüntüsü, b – Hedef: Kuru yansıma, Su etkisi : Yok, c – Hedef: Islak yansıma, Su Etkisi: Yok, ç – Hedef: Islak Yansıma, Su Etkisi: Var)

Şekil-6'daki farklı imzalardan elde edilen performans değerlendirmesini sayısal olarak incelemek istersek, F-ölçütü (F-measure) tekniğini kullanabiliriz [27]:

$$F = \frac{2(PR)}{P + R} \quad (11)$$

Burada P tespitin kesinliğini (Precision), R tespitin duyarlılığını (Recall) ifade etmektedir. Tablo 1'de imzaların P,R ve F değerleri gösterilmektedir. Bu değerler Şekil 6'nın su altı nesne tespiti için ilgili olan bölgesinden, Otsu'nun eşikleme metodu [28] ile elde edilmiştir.

İmza Türleri	Kesinlik (P)	Duyarlılık (R)	F-ölçütü
Kuru Yansıma	0,0133	0,002	0,0035
Islak Yansıma (Su etkisi yok)	0,6909	0,5923	0,6378
Islak Yansıma (Su etkisi var)	0,7940	0,7208	0,7557

Tablo 1 – Çeşitli İmzalardaki F-Ölçütü Farklılıkları

5. SONUÇ

Bu çalışmada, suyun hiperspektral görüntülemeye etkisi, suyun kalitesi, güneş açısı vb. parametreler ile modelleyen iki algoritma üzerinden kıyaslamalı olarak incelendi. Suyun hiperspektral görüntülemeye etkisinin kırmızı bantlardan itibaren yansıma değerlerini

azaltmasıyla kendini belli ettiği hem gerçek, hem de simülasyon verileri üzerinde gözlemlendi. Görüntü üzerindeki farklı bir nesnenin ıslak ve sualtı görünümü arasındaki farklardan LVD ve MVD modellerinin giriş parametreleri elde edilip, ıslak hedef yansımından sualtı hedef görüntüsü elde etme çalışması incelendi. Sentetik verilerin elde edildiği simülasyon çalışmasında, suyun parametrelerinin elde edilmesi işleminde MVD modeli LVD modeline göre daha olumlu sonuç verirken, laboratuvar çalışmasında, suyun parametrelerinin elde edilmesi işleminde LVD modelinin daha iyi sonuç verdiği tespit edildi. Bunun simülasyon verileri ile gerçek veriler arasındaki gürültü, ışık etkisi, ışık açısı gibi farklardan oluştuğu değerlendirilmektedir. Daha sonra yapılan tespit çalışmalarında MVD modelinin nesne tespitine olumlu katkı yaptığı hem görsel olarak hem de f-ölçütü ile görüldü.

İleri çalışmalarda, farklı nesnelerin gerçek hava şartlarında, daha derin sularda yansımaları incelenecek ve elde edilen sonuçlarla kıyaslaması yapılacaktır. Ayrıca LVD modelinin nesne tespiti çalışmalarına katkısı ile kirli sulardaki yansıma değişikliklerinin incelenmesi planlanmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Çalışma sürecinde, özellikle veri toplaması aşamasında çeşitli yardımlarıyla bize destek olan Didem BAŞKURT ve Okan Bilge ÖZDEMİR'e teşekkür ederiz.

7. KAYNAKÇA

- [1] Burt, C.(2012), "Detection of Spatially Unresolved (Nominally Sub-Pixel) Submerged and Surface Targets Using Hyperspectral Data", Master's Thesis, *Naval Postgraduate School*.
- [2] Jay, S. ve Guillaume, M. (2010), "Underwater Target Detection with Hyperspectral Remote-Sensing Imagery", *IGARSS*, 2820-2823.
- [3] Zoffoli, M.L., Frouin, R. ve Kampel, M. (2014), "Water Column Correction for Coral Reef Studies by Remote Sensing", *Sensors*, 14, 16881-16931.
- [4] Lyzenga, D. (1978), "Passive Remote Sensing Techniques for Mapping Water Depth And Bottom Features", *Applied Optics*, 17, 379-383.
- [5] Tassan, S. (1996), "Modified Lyzenga's method for macroalgae detection in water with non-uniform composition", *Int.J.Remote Sens.*, 17, 1601-1607.
- [6] Sagawa, T., Boisnier, E., Komatsu, T., Mustapha, K.B., Hattour, A., Kosaka, N., Miyazaki, A., (2010), "Using bottom surface reflectance to map coastal marine areas: A new application method for Lyzenga's model", *Int.J.Remote Sens.*, 31, 3051-3064.
- [7] Conger, C.L., Hochberg, E.J., Fletcher, C.H., Atkinson, M.J. (2006), "Decorrelating remote sensing color bands from bathymetry in optically shallow waters", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44, 1655-1660.
- [8] Louchard, E.M., Reid, R.P., Stephens, F.C., Curtiss, O., Davis, R.A., Leathers, R.A., Downes, T.V. (2003), "Optical remote sensing of benthic habitats and bathymetry in coastal environments at Lee Stocking Island, Bahamas: A comparative spectral classification approach.", *Limnol. Oceanogr.*, 48, 511-521.
- [9] Mobley, C.D., Sundman, L.K., Davis, C.O., Bowles, J.H., Downes, T.V., Leathers, R.A., Montes, M.J., Bissett, W.P., Kohler, D.D.R., Reid, R.P., *et al.* (2005), "Interpretation of hyperspectral remote-sensing imagery by spectrum matching and Look-Up Tables.", *Appl. Opt.*, 44, 3576-3592.

- [10] Klonowski, W.M., Fearn, P.R.C.S., Lynch, M.J. (2007), "Retrieving key benthic cover types and bathymetry from hyperspectral imagery.", *J. Appl. Remote Sens.*, 1, doi:10.1117/1.2816113.
- [11] Brando, V.E., Anstee, J.M., Wettle, M., Dekker, A.G., Phinn, S.R., Roelfsema, C. (2009), "A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyperspectral data.", *Remote Sens. Environ.*, 11, 755–770.
- [12] Hedley, J., Roelfsema, C., Phinn, S.R. (2009), "Efficient radiative transfer model inversion for remote sensing applications.", *Remote Sens. Environ.*, 113, 2527–2532
- [13] Eldridge, C.D., Dietz, J.B., Berkemans, R., Andréfouët, S., Skirving, W., Strong, A.E., Tuttle, B.T. (2004), "Satellite observation of Keppel Islands (Great Barrier Reef) 2002 coral bleaching using IKONOS data.", *Coral Reefs*, 23, 123–132.
- [14] Bertels, L., Vanderstraete, T., van Coillie, S., Knaeps, E., Sterckx, S., Goossens, R., Deronde, B. (2008), "Mapping of coral reefs using hyperspectral CASI data: A case study: For data, Tanimbar, Indonesia.", *Int. J. Remote Sens.*, 29, 2359–2391.
- [15] Gordon, H.R., Brown, O.B. (1974), "Influence of bottom depth and albedo on the diffuse reflectance of a flat homogeneous ocean.", *Appl. Opt.*, 13, 2153–2159.
- [16] Maritorena, S., Morel, A. ve Gentili, B. (1994), "Diffuse reflectance of oceanic shallow waters: Influence of water depth and bottom albedo", *Limnology and Oceanography*, 39(7), 1689-1703.
- [17] Bierwirth, P., Lee, T., Burne, R. (1993), "Shallow sea floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery.", *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 59, 331–338.
- [18] Purkis, S.J., Pasterkamp, R. (2004), "Integrating *in situ* reef-top reflectance spectra with LANDSAT TM imagery to aid shallow-tropical benthic habitat mapping.", *Coral Reefs*, 23, 5–20.
- [19] Lee, Z., Carder, K.L., Mobley, C.D., Steward, R.G. ve Patch, J.S. (1999), "Hyperspectral remote sensing for shallow waters: 2. Deriving bottom depths and water properties by optimization", *Applied Optics*, 38(18), 3831-3843.
- [20] Yang, C., Yang, D., Cao, W., Zhao, J., Wang, G., Sun, Z., Xu, Z., Ravi, K.M.S. (2010), "Analysis of seagrass reflectivity by using a water column correction algorithm.", *Int. J. Remote Sens.*, 31, 4595–4608.
- [21] Clark, R. N., G. Swayze, A., Wise, R., Livo, K. E., Hoefen, T. M., Kokaly, R. F., Sutley, S. J. (2007), "USGS Digital Spectral Library splib06a", *U.S. Geological Survey, Data Series 231.*, Link: <https://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06/ds231/datatable.html>
- [22] Brando, V.E., Anstee, J.M., Wettle, M., Dekker, A.G., Phinn, S.R., Roelfsema, C. (2009), "A physics based retrieval and quality assessment of bathymetry from suboptimal hyperspectral data", *Remote Sensing of Environment*, 113, 755–770.
- [23] Pope, R. M. ve Fry, E. S. (1997), "Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements", *Applied Optics*, 36, 8710-8723.
- [24] Richardson, L.L. ve LeDrew, E.F. (2006), "Remote Sensing of Aquatic Coastal Ecosystem Processes : Science and Management Applications", *Springer*.
- [25] Bricaud, A., Babin, M., Morel, A. ve Claustre, H. (1995), "Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: analysis and parameterization", *Journal of geophysical research*, 100, 13321–13332.
- [26] Jin, X., Paswaters, S., Cline, H. (2009), "A comparative study of target detection algorithms for hyperspectral imagery", *SPIE*, 7334.
- [27] Zhang, E., ve Zhang, Y. (2009), "F-measure", *Encyclopedia of Database Systems*, 1147-1147, Springer US.
- [28] Otsu, N. (1979) "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9, 62-66.

DONANIM DÖNGÜDE UYDU SİMÜLATÖRÜ

Ali Telli ^(a), Başar Kasım ^(a), Aycan Okan ^(a)

^(a) HAVELSAN A.Ş., Mustafa Kemal Mah., 2120. Cad., No:39, 06510, Ankara
{atelli, bkasim, aokan}@havelsan.com.tr

ÖZ

Uzay için teknoloji, ürün ve sistem geliştirme yeteneklerine; tasarım, üretim ve test alt yapısına sahip olmak hem ülkeler hem de şirketler için önemli ve kritiktir. Günümüzde güvenlik, enerji, sağlık, çevre gibi önemli konularda uzaya bağlı çözümler geliştirilmektedir. Uydular yapı, güç (güneş panelleri, pil, elektrik güç dağıtım/anahtarlama sistemi), haberleşme, uydu bilgisayarı, yönelim tespit ve kontrol ana alt sistemlerinden ve görev yükünden oluşurlar. Uyduyu yerden kontrol etmek ve sağlık bilgilerini izlemek için yer istasyonu gerekmektedir. Uydu ve alt sistemlerinin geliştirilmesi ve üretilmesi süreçlerinde yer testlerinin gerçekleştirilmesi için yazılım ve donanım içeren benzetim ve test ortamları tasarlamak/geliştirmek en az uydu tasarlamak ve geliştirmek kadar önemli bir husustur. Bu çalışmada, uydu sistemleri için kavramsal tasarım, geliştirme, operasyon planlama, eğitim ve hareket destek faaliyetleri için kullanılabilecek bir uydu simülatörü adreslenmektedir. Önerilen sistem, uydunun yönelim tespit ve kontrol algoritmalarının denenebilmesine, güç bütçe hesaplarının doğrulanabilmesine olanak sağlamaktadır. Haberleşme birimleriyle kanal modelleri eklenerek veri ve link bütçesi doğrulanabilecek, telemetri verileri eklenerek operasyonel senaryolar yerde denenebilecektir. Modüler yapıdaki benzetim ortamına yer istasyonu ve uzay ortam modelleri de eklenebilecek, tüm uydu sisteminin benzetimi yapılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Donanım Döngüde, Modüler, Simülatör, Uydu, Yazılım

HW IN THE LOOP SATELLITE SIMULATOR

ABSTRACT

Being able to develop technology, product and system and having infrastructure for design, production and test for space are very important for both countries and the companies. Nowadays, there are space based solutions developed for important applications such as security, energy, health and environment. Satellites are composed of subsystems such as structure, power (solar cells, batteries, electrical power

distribution and switching system), communications, on board computer, attitude determination and control and mission payloads. There is also ground station to control the satellite and to monitor the health information from the ground. To design/develop hardware (HW) in the loop test and simulation systems for ground tests is also important as to design, develop and produce satellite and its subsystems. In this work, satellite simulator is addressed for conceptual design, development, operational planning, training and operational support. The proposed system allows to check and test satellite attitude determination and control algorithms as well as correction of the power budget. By adding communications channel models, link budget will be checked and by adding telemetry data, operational scenarios will be tested on ground. By adding ground station and space models to the modular simulation system, it will be possible to simulate and test whole system.

Keywords: Hardware In The Loop, Modular, Simulator, Satellite, Software.

1. GİRİŞ

Tanım farklılıkları olmasına karşın küçük uydular boyut ve ağırlıklarına göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır: Mini Uydu (100-1000 kg), Mikro Uydu (10-100 kg), Nano Uydu (1 - 10 kg), Piko Uydu (0.1 - 1 kg), Femto Uydu < 0.1 kg. [1] Küp Uydu - 10x10x10cm (1U) uydu <1.33 kg. Küp uydularda bir boyut 10cm'nin katları şeklinde değiştirilir diğer boyutlar sabit kalır. Örneğin boyutları 20x10x10cm olan küp uydu 2U uydu olarak adlandırılmaktadır.

Büyük uyduların geliştirme ve üretim süreçleri ortalama 5 yıl maliyetleri ortalama 300 milyon Amerikan Dolarıdır. Küçük uyduların ise geliştirme ve üretim süreçleri ortalama 1 yıl maliyetleri ortalama 3 milyon Amerikan Dolarıdır. Küp uydular düşünüldüğünde bu değerler zaman olarak 3-6 ay, maliyet olarak ise ortalama 300000 Amerikan Doları'dır. Bu bağlamda küp uydular ucuz maliyetleri ve hızlı geliştirme/üretim süreleri nedeniyle test platformu olarak oldukça cazip ve popüler olmaya başlamışlardır.

Uzaya ürün ve sistem göndermenin maliyetinin çok yüksek olması aynı zamanda uzaya gönderilen ürün ve sistemlere gönderim sonrası fiziksel erişim sağlanamaması nedeniyle geliştirilen ürün ve sistemlerin düşük maliyetli olarak hızlı bir şekilde uydu uzaya gönderilmeden yerde benzetim ortamlarında denenmesi/test edilmesi çok önemlidir.

2. UYDU ALT SİSTEMLERİ

Uydular yapı, güç (güneş panelleri, pil, elektrik güç dağıtım/anahtarlama sistemi), haberleşme, uydu bilgisayar, yönelim tespit ve kontrol ana alt sistemlerinden ve görev yükünden oluşurlar [2]. Uyduyu yerden kontrol etmek ve sağlık bilgilerini izlemek için

yer istasyonu gerekmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte uydu ve tüm alt sistemler için kritik gereksinimler modülerlik, standartlaşma, ucuz COTS (Commercial-Off-the-Shelf) ürünler/ Tüketici Elektronik kullanma ve tekrar kullanılabilirlik (Re-usable/Re-entry). Fırlatma maliyetleri düşünüldüğünde bir diğer kritik gereksinim ise uydunun ve alt sistemlerinin küçültülmesidir.

2.1. Yapı Alt Sistemi

Tüm uydu sistemini bir arada tutan mekanik iskelet yapı alt birimi olarak adlandırılır. Alt sistem mekanik kutuları da yapının parçalarıdır. Yapı, hafif, dayanıklı ve uzay radyasyonuna karşı dayanıklı olmalıdır. Günümüzde, alt sistem mekanik yapısı olarak modüler/esnek ‘card frame based’ mimariler tercih edilmektedir.

2.2. Güç Alt Sistemi

Uydu alt sistemleri için gerekli tüm enerjinin üretilmesi ve dağıtılmasından sorumlu alt sistem güç alt sistemidir. Güç alt sistemi, güneş panelleri, pil ve elektrik güç dağıtım/anahtarlama sisteminden oluşur. Güneş’ten alınan enerjiyi maksimum seviyede tutmak için panellerin monte edildiği platformu dinamik olarak hareket ettirmek günümüzdeki kritik konulardandır.

2.3. Haberleşme Alt Sistemi

Faydalı yük tarafından toplanan verinin ve uydu alt sistemlerinin sağlık verilerinin yer istasyonuna, yer istasyonundan gelen komut bilgilerinin uydu bilgisayarına iletilmesinden haberleşme alt sistemi sorumludur. Antenler, alıcı ve vericilerden oluşur.

2.4. Uydu Bilgisayarı Alt Sistemi

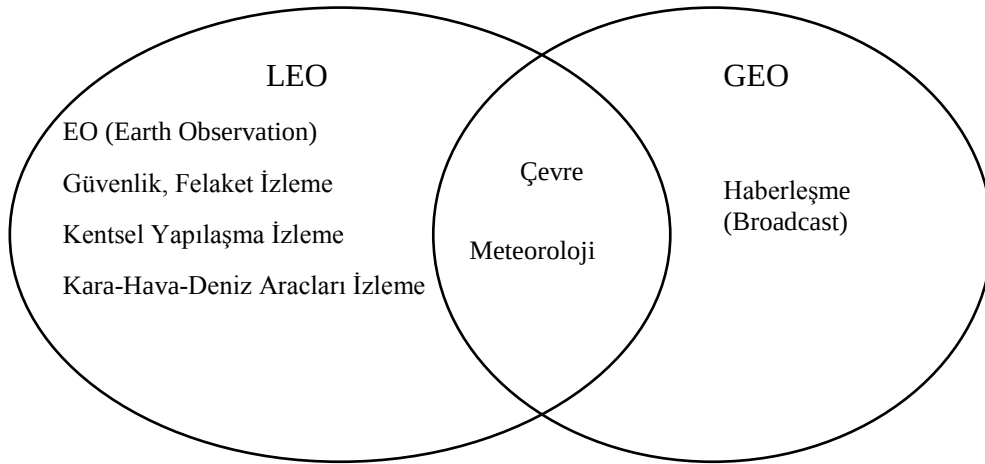
Tüm uydu alt sistemlerinin belirlenmiş senaryolara uygun olarak birbirleriyle uyumlu çalışmalarından, yer istasyonundan gelen komutların algılanıp istenen işlerin yapılmasından ve sağlık verilerinin toplanıp yer istasyonuna gönderilmesinden uydu bilgisayar ve üzerinde koşan uydu yazılımı sorumludur. Uydu bilgisayar yüksek hızlarda gerçek zamanlı on-board veri işleme ve yüksek miktarda veri depolama yeteneğine sahip olmalıdır. Uydu yazılımı güvenilir (reliable) olmalı ve yedekli (redundant) bir mimaride çalışmalıdır. Birçok uydu yazılım kaynaklı hatalardan dolayı kaybedilmektedir.

2.5. Yönelim Tespit ve Kontrol Alt Sistemi

Uydunun tüm yönelim hareketlerinden sorumlu alt sistem yönelim tespit ve kontrol alt sistemidir. Sensörler, eyleyiciler ve yönelim kontrol bilgisayarından oluşur. Yörünge düzeltmesi gerektiren uydularda itki sistemi kullanılmalıdır. Çevre duyarlılığı sebebiyle yakıtlı itki sistemleri yerine günümüzde elektrikli itki sistemleri popüler olmaya başlamıştır. Bunun yanında küçük uydularda taşınabilecek yakıt miktarı da sınırlıdır.

2.6. Faydalı/Görev Yüğü

Uydu tarafından taşınan yük faydalı yük ya da görev yükü olarak adlandırılır. Görev yükü operasyon senaryosuna ve uygulamaya bağlı olarak (tarım alanlarının izlenmesi, kuş ve hayvan sürülerinin takibi, felaket izleme, maden operasyonları izleme, petrol depolama izleme, yapısal kentleşme izleme, kara-hava-deniz araçları takibi vb.) duyar ya da duyar füzyonu (VIS (Visual Imagery System) / SWIR (Short Wave Infra Red/ MWIR (Mid Wave Infra Red)/ LWIR (Long Wave Infra Red), SAR (Synthetic Aperture Radar) olabilir. Faydalı yük aynı zamanda bilimsel veri toplamak için tasarlanmış bir birim de olabilir (X-ray, elektron yoğunluğu izleme, vb.) duyar ya da duyar füzyonundan elde edilen veriler gerçek zamanlı ve on board analiz edilmelidir. Optik faydalı yükler için günümüzde istenen çözünürlük cm mertebesindedir. LEO (Low Earth Orbit) ve GEO (Geostationary Earth Orbit) uyduların uygulama alanları ve buna bağlı faydalı yükler Şekil 1 ile verilmiştir.



Şekil 1. Uygulama Alanları/Faydalı Yük

2.7. Yer İstasyonu

Yer istasyonu uyduyu kontrol etmek ve haberleşmek için kullanılan yer terminalidir. Küçük ve ucuz olmalıdır. Uydu faydalı yük ve uyduya ait sağlık verileri grafiksel kullanıcı arayüz (GUI – Graphical User Interface) ekli yazılımlar yardımıyla gerçek zamanlı olarak analiz edilmeli ve görselleştirilmelidir.

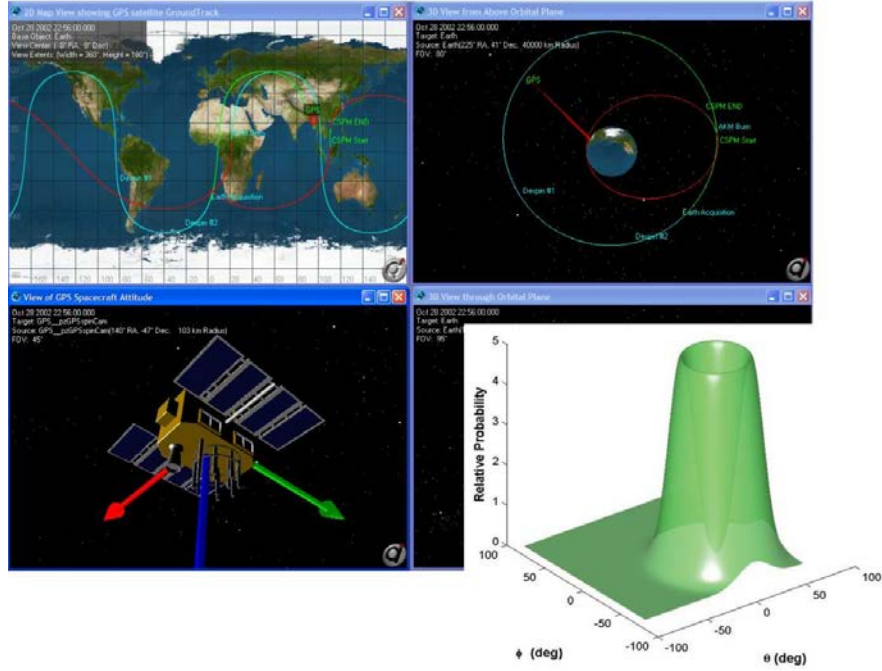
3. DONANIM DÖNGÜDE UYDU SİMÜLATÖRÜ

Uydu ve alt sistemlerinin hem geliştirme hem de üretim fazlarında yer testlerini gerçekleştirmek için yazılım ve donanım tabanlı benzetim sistemleri ile test ortamlarını geliştirmek kritik ve önemli bir konudur.

Simülasyon ve doğrulama istasyonu düşük maliyetli ve az riskli hızlı geliştirme, kavramsal tasarım, operasyon planlama, eğitim ve destek faaliyetleri için gereklidir. Bu sistemler ile yönelim tespit ve kontrol algoritmaları denenebilir. Güneş simülatörü eklenerek güç bütçe hesapları doğrulanabilir. Haberleşme birimleri eklenerek veri ve link bütçesi doğrulanabilir. Telemetri veri simülasyonu ile uydu operasyon senaryoları denenebilir. Veri protokol doğrulaması yapılabilir. Kanal modelleri eklenerek link bütçesi doğrulanabilir. Yer istasyonu sisteme eklenerek tüm sistem simüle edilebilir. Uydunun etkileşimde bulunacağı uzay ortamı ve diğer sentetik ortam bileşenleri tasarlanacak simülasyon sisteminde adreslenebilir. Simülasyon teknolojisinin sağlayacağı avantajlar sayesinde alt birim, ve farklı faydalı yük modelleri eklenebilir. Uydu çevresel testlerdeyken simülatör yardımıyla test edilebilir [3, 4].

Dünyada uydu üreten ve uydu sistemlerine yönelik teknolojileri geliştiren ülkeler bu konuda çeşitli çalışmalar yapmaktadır [5, 6, 7]. Hem akademik seviyede hem de uzay sanayisine yönelik faaliyetlerde bulunan şirketlerin bünyesinde bu konularda faaliyetler yürütülmektedir [8, 9]. Gerçek zamanlı koşan simülasyon yazılımının uydu donanımı ile entegrasyonu sayesinde geniş bir kapsama alanında uçtan uça test imkanı elde edilmesiyle uydu yönelim kontrol sisteminin güvenilirliğini arttırıldığı tecrübe edilmiştir [10]. Donanım döngüde simülasyon metodolojisiyle bir küp uydunun işlevsel gereksinimlerinin doğrulama çalışmaları daha kısa sürede ve daha az maliyette gerçekleştirilebilmektedir [11].

Ülkemizde yürütülmekte olan milli uydu sistemlerinin geliştirilmesi faaliyetlerinin daha verimli ve maliyet etkin bir biçimde yürütülmesi önemli ve kritik bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır [12]. Değişik amaçlarla çeşitli seviyelerde simülasyon kullanımlarının ilgili kurumlarımızda mevcut olduğu bilinmektedir. [13] Ayrıca, hazır ticari ürün olarak temin edilebilen analiz ve simülasyon yazılımları (System Tool Kit [14], vb.) da hem dünyada hem ülkemizde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, simülasyon yazılımları ve simülatör sistemleri geliştirmede ülkemiz kurumlarındaki bilgi birikimi ve tecrübenin de kullanımıyla uydu geliştirme faaliyetlerine ciddi katkı sağlayacağını düşündüğümüz geniş kapsamlı bir Uydu Simülatörü Projesi'nin başlatılması önerilmektedir. Bu sayede dışa bağımlılığı önemli seviyede azaltma, kullanıcı ülke durumundan üretici ülke aşamasına daha güçlü bir şekilde geçebilme ve dünya pazarına açılabilme imkanı elde edilebileceği değerlendirilmektedir. Bugünlerde son aşamaya yaklaşan Türk Uzay Ajansı'nın kurulması ile de bu çalışmaların daha koordineli ve planlı bir şekilde devam edeceği öngörülmektedir.

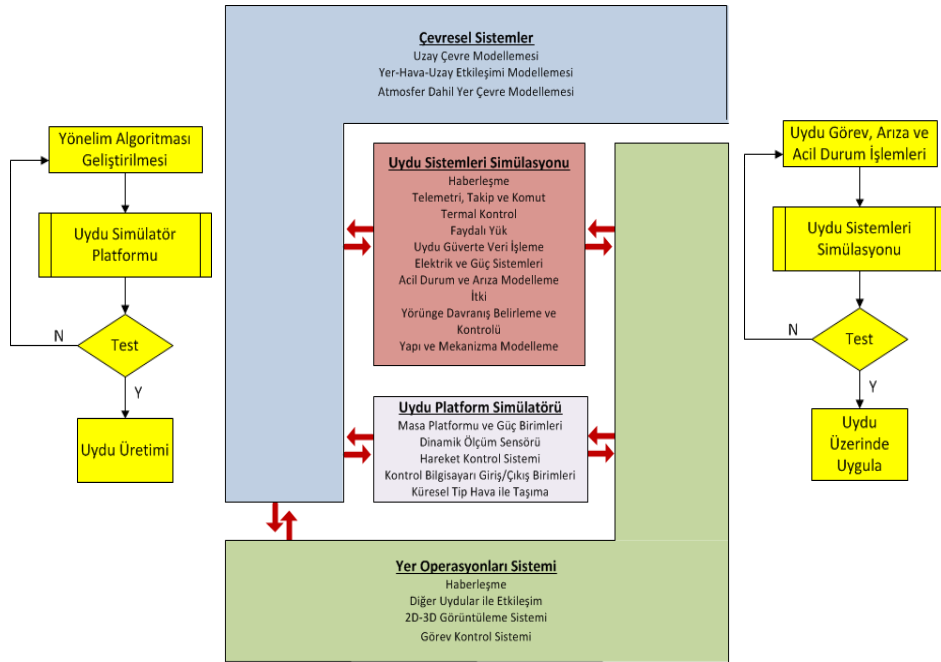


Şekil 2. Uydu Simülasyon Yazılımları

Bu çalışmada adreslenen uydu simülatörü projesi konsepti kapsamında uydu sistem entegrasyon, test ve simülasyon merkezinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Uydu simülatörü kapsamında, milli uydu sistemlerinin geliştirilmesinde ihtiyaç duyulan simülasyon ve simülatör gereksinimlerinin giderilmesi ve uydu görev planlaması ile uyduların kullanım ömrünün arttırılması planlanmaktadır. İlgili yazılımlar ve donanımlar geliştirilerek bütünleşik bir şekilde çalışan bir sistem kurulacaktır. Yazılım simülasyonlarına yönelik görsel örnekleri Şekil 2’de verilmiştir. Sistem modüler özellikte olacak ve ileride karar verilecek sistem mimarisi çerçevesinde benzetim cihazları ve/veya uydu üzerine takılacak gerçek cihazların da döngüde olabileceği bir altyapı tesis edilecektir.

Uydu Simülatörü Projesi’nin temel bileşenleri aşağıdaki gibidir:

- Uydu Platform Simülatörü
- Uydu Operasyonları Simülatörü
 - Uydu Yer İstasyonu Simülasyonu
 - Uydu Alt Sistemleri Simülasyonu
- Uzay Ortamı ve Sentetik Ortam Simülasyonu



Şekil 3. Uydu Simulatörü Yaşam Döngüsü

Söz konusu tüm bu bileşenler birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışmakta ve tanımlı arayüzler üzerinden gerekli bilgi akışını Şekil 3'te gösterildiği gibi gerçekleştirmektedir. Simülasyon ve similatör ortamında istenilen kriterlere göre başarı ile denenen uyduda kullanılan çeşitli algoritmaların ve uydu sistemleri modellerinin gerçek sistemlere çevrilmesi ve entegre edilmesi kararı alınabilmektedir.

Bu bileşenler vasıtasıyla Tablo 1'de sıralanan temel ihtiyaçlara çözüm getirilmesi hedeflenmektedir.

Tablo 1. Temel İhtiyaçlar ve Çözümler

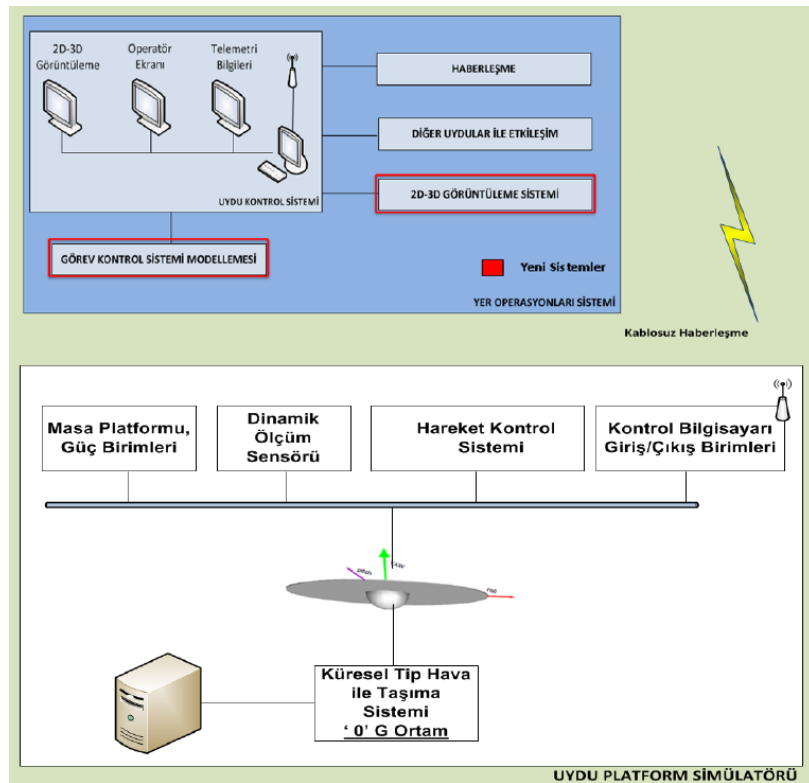
Temel İhtiyaç	Çözüm
Yönelim algoritmalarının, yönelim algılayıcılarının ve eyleyicilerin geliştirilmesi ve test edilmesi [15]	Uydu Platform Similatörü
Acil durum ve arızaların sistemde test edilerek manevra prosedürlerinin geliştirilip en doğru müdahalenin yapılabilmesi	Uydu Sistemleri Simülasyonu
Operatör eğitim ihtiyaçlarının karşılanması	Uydu Sistemleri Simülasyonu
Uydu Sistemi tasarım, bütünleştirme ve doğrulama faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi	Uydu Sistemleri Simülasyonu & Uydu Platform Similatörü

Temel İhtiyaç	Çözüm
Uydu Sistemi üretimi sırasında sisteme etki eden yüklere yönelik analizlerin yapılması	Uydu Sistemleri Simülasyonu & Uydu Platform Simülatörü
Uydu verimliliğinin artması	Yer Operasyonları Görev Kontrol Sistemi

3.1. Uydu Platform Simülatörü

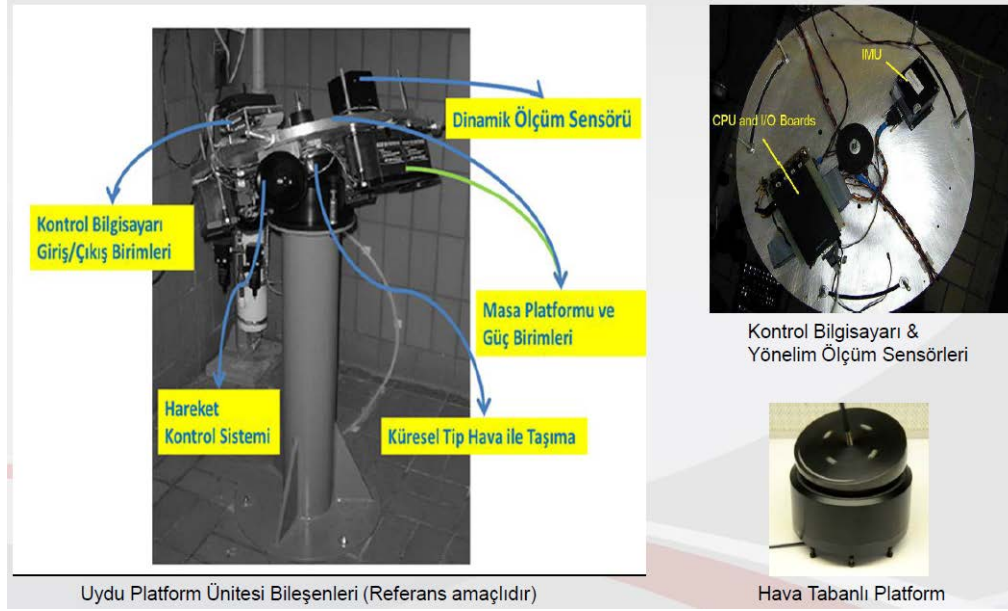
Sıfır “g” ortamında çalışacak bu bileşenin temel işlevleri, sistem tasarım, geliştirme üretim, bütünleşme ve test faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi için uygun ortam teşkil etmek olacaktır. Bununla birlikte sistem, milli imkânlarla geliştirilecek olan uyduların yönelim ve kontrol algoritmalarının proje ön tasarım ve başlangıç aşamalarında yerde iken test edilmesine imkân sağlayacaktır. Yönelim algılayıcılarının ve eyleyicilerin geliştirilmesi ve test edilmesi çalışmaları da gerçekleştirilebilecektir [16].

Temel alt sistemlere yönelik blok şema Şekil 4’te verilmiştir. Yer operasyonları sistemi ile kablosuz haberleşme tesis edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 4. Uydu Platform Simülatörü Alt Sistemleri

Uygun donanımların seçilmesi ile başlayan süreçte ilgili bileşenlerin birbirleriyle uyumlu çalışması temin edilecektir. Bileşenlere örnekler Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 5. Uydu Platform Simülasyonu Bileşenleri

3.2. Uydu Operasyonları Simülasyonu

Bu alt sistemin temel işlevi uydu operasyon senaryolarının ve alt sistemlerin işlevselliğinin yerde denenmesidir. Bu altyapı operatör eğitim ihtiyaçlarının karşılanmasına da imkân verecek şekilde olabilecektir. Görev planlamasının doğrulanması ile yakıt (hydrazine) tasarrufunun sağlanması ve uydu ömrünün uzatılması da amaçlanmaktadır.

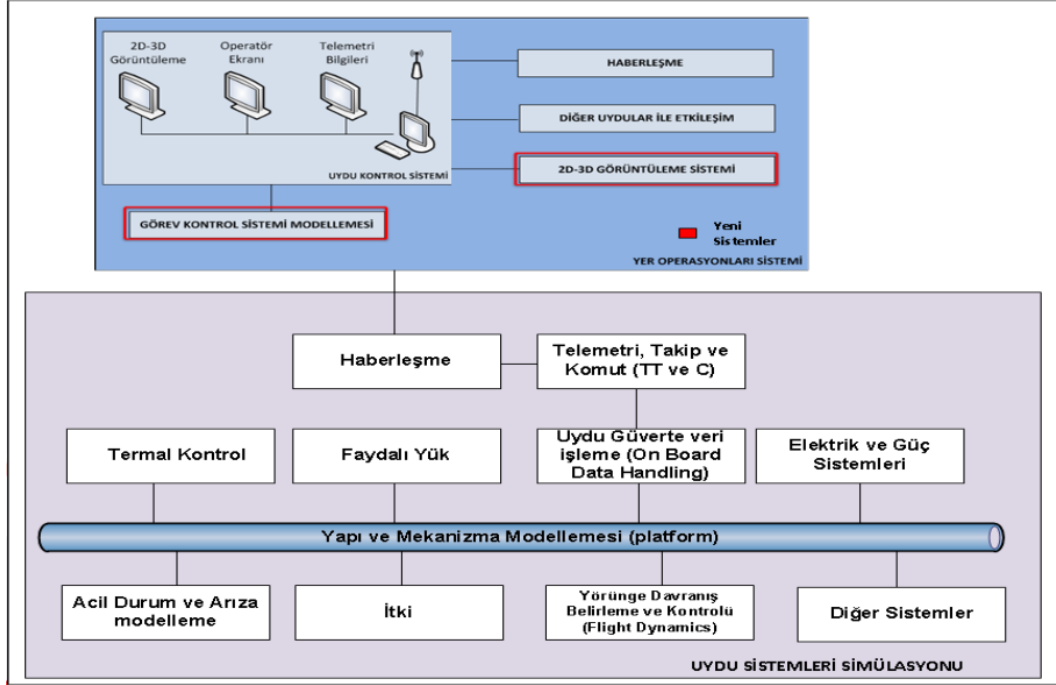
3.2.1. Uydu Yer İstasyonu Simülasyonu

Bu simülasyon kapsamında geliştirilecek olan yer operasyon sistemi blok şeması Şekil 6’da verilmiştir. Haberleşme, diğer uydularla etkileşim, 2B-3B görüntüleme sistemi, görev kontrol sistemi modellemesi de bu sistem üzerinde gerçekleştirilecektir.

3.2.2. Uydu Alt Sistemleri Simülasyonu

Bu simülasyonun temel işlevi uydunun sahip olduğu tüm alt sistemlerle birlikte benzetiminin yapılmasıdır. Bu sayede gerçek uydu üzerinde gerçekleştirilen tüm işlemlerin yerde tekrarlanabilmesi imkânı olacaktır. Bununla birlikte acil durum ve arıza durumlarının da simülasyona eklenmesiyle bu durumların sistem üzerinde görülerek ihtiyaç duyulan manevra prosedürlerinin geliştirilip iyileştirilmesiyle uyduya en doğru

müdahalenin yapılabilmesine olanak sağlanacaktır [17]. Uyduda yer alan ve simülasyonu yapılması öngörülen temel alt sistemler Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 6. Uydu Alt Sistemleri Simülasyonu Bileşenleri

3.3. Uzay Ortamı ve Sentetik Ortam Simülasyonu

Uydu sistemlerinin çalışacağı yörüngelerde uzay ortamındaki çevresel ortamın modellenmesi gerekmektedir. Güneş, Dünya ve yıldız simülatörleri bu birimin alt bileşenleri olacaktır.

4. SONUÇ

Son zamanlarda yürütülen çalışmalar ve faaliyetlerle uzay ortamı ülkemizin kısa ve orta vadeli hedefleri için önemli ve kritik bir hal almaya başlamıştır. Bu tespitin doğal bir sonucu olarak ülkemiz için uzay yol haritası oluşturulmuş ve uydu sistemi teknolojilerinin altyapısını tesis etmek üzere çeşitli çalışmalar yürütülmeye başlanmış ve projeler planlanmıştır.

Bir uydunun geliştirilmesi için çok sayıda ve çeşitlilikte birbiriyle etkileşim halinde olan ve oldukça karmaşık yapıya sahip alt birimlerden oluşan bir sistemin etkin ve verimli tasarım, bütünleşme ve doğrulama süreçleri başarıyla tamamlanmalıdır. Uydunun işlevsel/operasyonel gereksinimleri tam olarak karşılayıp karşılamadığı uydunun uzayda

içinde bulunacağı çevresel koşullar da dikkate alınarak tüm geliştirme süreci boyunca analiz edilmelidir.

Uydu uzaya gönderilmeden uydu operasyon senaryolarına bağlı olarak uydu alt sistemlerinin birlikte uyumlu ve maliyet etkin çalışabilirliği test edilmelidir. Uydu uçuş bilgisayarı yazılımları test edilmeli olası hatalar önceden giderilmelidir.

Bu çalışma, bu amaçlara hizmet edecek Uydu Simülatörü Sistemi önermektedir. Uydu Platform Simülatörü, Uydu Operasyonları Simülatörü ve Uzay Ortamı ve Sentetik Ortam Simülasyonu alt sistemlerinden oluşması planlanan bu bütünleşik sistem ile milli uydu sistemlerimizin geliştirilmesinde ihtiyaç duyulacak tüm simülasyon ve simülatör gereksinimlerinin milli olarak karşılanması hedeflenmektedir.

Geliştirilmesi önerilen uydu simülatörü sistemi altyapısı ile farklı nitelikte (askeri/sivil) çeşitli kategorilerdeki uydu sistemlerine yönelik yazılım ve donanım olarak uyarlanabilir bir yetenek kazanımı hedeflenmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu makale, şirketimiz bünyesinde gerçekleştirilmiş iş geliştirme ve teklif oluşturma faaliyetleri kapsamında yürütülen Uydu Simülatörü Projesi çalışmaları çerçevesinde hazırlanmıştır. Yazarlar bu süreçte görev alan tüm çalışanlarımıza ve yöneticilerimize teşekkür ederler.

6. KAYNAKÇA

- [1] Özkaptan, C., Tekinalp, O. (2001), Uzay Uygulamalarında Küçük Uyduların Yeri ve Maliyeti Düşürme Yöntemleri, (The potential of small satellites in space applications, and cost reduction techniques), *Proceedings of the 1st International Symposium: Global Space Activities and Potential in Turkey*, 69-82, Ankara, Türkiye.
- [2] Pattan, B. (1993), *Satellite Systems – Principles and technologies*, Springer US.
- [3] Eickhoff, J. (2009), *Simulating Spacecraft Systems*, New York:Springer.
- [4] Hendricks, R., Eickhoff, J. (2005), The significant role of simulation in satellite development and verification, *Aerospace Science and Technology* 9, 273-283, Elsevier.
- [5] Vilathgamuwa, D.M., Yue, X., Tseng, K.J. (2004), Development and control of a 3-axis motion simulator for satellite ADCS hardware-in-the-loop simulation, *30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Vol. 1, 524-529.
- [6] Nasirian, M., Bolandi, H., Khaki Sedigh, A., Khoogar, A.R. (2006), Design of a satellite attitude control simulator, *1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics*, Vol. 1, 163-166.

- [7] Boge, T., Wimmer, T., Ma, O., Zebenay, M. (2010), EPOS: A Robotics-Based Hardware-in-the-Loop Simulator for Simulating Satellite RvD Operations, *i-SAIRAS*, Sapporo, Japonya.
- [8] Qian, W., Tao, Z., Jingyan, S. (2009), Study on the control system of a hardware-in-loop micro-satellite simulator, *IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2427-2432.
- [9] Aghili, F., Namvar, M., Vukovich, G. (2006), Satellite simulator with a hydraulic manipulator, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3886-3892.
- [10] Bayat, F., (2015), Conceptual design of a low-cost real-time hardware-in-the-loop simulator for satellite attitude control system, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23:789-803.
- [11] Corpino, S., Stesina, F. (2014), Verification of a CubeSat via Hardware-in-the-loop Simulation, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 50, N. 4 – ISSN 0018-9251.
- [12] Özkan, A., Sezginalp, E., Solakoğlu, E., (2009), Uydu sistemi tasarım & üretim çalışmaları, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası IV. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Mühendisliği Kurultayı Bildirisi*.
- [13] Yavuzylmaz, C., Akbaş, M., Acar, Y., Gulmammadov, F., Kahraman, O., Subaşı, Y., Ertongur, N., Tüfekçi, C.S. (2011), RASAT ADCS flight software testing with dynamic attitude simulator environment, *5th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 974-977.
- [14] Systems Tool Kit (STK), (<http://www.agi.com/products/engineering-tools>), Analytical Graphics, Inc.
- [15] Markley, F. L. (et al.) (2014), Fundamentals of Spacecraft Attitude Determination and Control, Springer.
- [16] Schwartz, J. L., Peck, M.A., Hall, C. D., (2003), Historical Review of Spacecraft Simulators, *Proceedings of the 13th Space Flight Mechanics Conference*, AAS 03-125.
- [17] Rainey, L. B., (2004), Space Modeling and Simulation Roles and Applications through the System Life Cycle, The Aerospace Press, AIAA.

HİPERSPEKTRAL GÖRÜNTÜLEMEDE GAZ YAYILIMI TESPİTİ VE TANIMLANMASI

**Yusuf GÜR ^(a), Fatih ÖMRÜUZUN ^(a), Didem ÖZİŞİK BAŞKURT ^(a),
Yasemin YARDIMCI ÇETİN ^(a,b)**

^(a) Bilişim Sistemleri, Enformatik Enstitüsü, ODTÜ, Ankara, Türkiye,

{yusuf.gur, omruuzun, bdidem}@metu.edu.tr

^(b) ODTÜ-TSK MODSİMMER, Ankara, Türkiye

yyardim@metu.edu.tr

ÖZ

Uzaktan algılama görüntülerinde yüksek çözünürlüklü spektral bilginin sağladığı avantaj, hiperspektral görüntülemenin madde tespiti ve tanımlanması amacıyla yaygın olarak kullanılmasının önünü açmaktadır. Katı ve sıvı haldeki maddelerin yanı sıra gaz halindeki maddelerin de uygun spektral bant aralıklarında elde edilmiş hiperspektral görüntüler içerisinde tespit çalışmaları devam etmektedir. Söz konusu görüntüler çevre kirliliği, sera gazları yanında KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer) taarruzlarda kullanılabilecek çeşitli gazları da kapsamaktadır. Fakat, oluşabilecek farklı fiziksel koşullarda gerçek verilerle analiz yapmak imkan, zaman ve işgücü anlamında hem tehlikeli hem zor hem de maliyet gerektiren bir işlemdir. Söz konusu koşullara uygun çözümlerin güvenli, kısa sürede ve az maliyetle elde edilebilmesi amacıyla tasarlanacak benzetişim çalışmaları olası çözümleri elde etme hususunda önemlidir. Bu çerçevede eldeki limitli veriden başka senaryoların geliştirilmesi, gaz modelinin çıkarılması ve yeni senaryoların oluşturulması önem arz etmektedir. Bu çalışmada çeşitli kaynaklardan yayılan gazların tespiti ve tanımlanması geliştirilen benzetişim modelleri üzerinden incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Gaz Tespiti, Gaz Tanımlaması, Hiperspektral Görüntüleme, KBRN, Benzetişim.

DETECTION AND IDENTIFICATION OF GAS PROPAGATION IN HYPERSPETRAL IMAGING

ABSTRACT

The advantage of high resolution spectral information in remote sensing images provide the possibility of using hyperspectral imaging extensively for detection and identification of substances. Detection studies of solid and liquid as well as gas substances in obtained hyperspectral images in appropriate spectral regions are continuing. These images include environmental pollution, greenhouse gases as well as various gases that can be used in CBRN (Chemical, Biological, Radiological and Nuclear) assaults. However, it is a dangerous, difficult and costly process in terms of time, labor, and ability to analyze real data in different physical conditions that may occur. Simulation studies designed to ensure safe, short time and cost-effective solutions in accordance with these conditions are important for achieving possible solutions. In this framework, it is important to develop various scenarios with the limited information we have, to reveal the gas model and to create new scenarios. In this study, the detection and identification of gases emitted from various sources will be examined through the developed simulation models.

Keywords: Gas Detection, Gas Identification, Hyperspectral Imaging, CBRN, Simulation.

1. GİRİŞ

Hiperspektral algılayıcılar elektromanyetik tayfın farklı bölgelerinde sık aralıklarla veri toplayarak sahne içerisinde görüntülenen nesnelerin farklı frekanslardaki enerji (ışık veya ısı) yayma ve yansıtma karakterleri hakkında bilgi sunmaktadır. Sağladığı bu fayda sebebiyle hiperspektral görüntüleme son dönemde katı ve sıvı maddelerin yanı sıra gaz halindeki maddelerin uzaktan tespiti uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır. Enerji üretimi, üretim endüstrisi ve ulaşım sektörü başta olmak üzere yerinde yapılan incelemelere alternatif olarak özellikle kızılötesi bantlarda elde edilen hiperspektral görüntüler gaz tespiti uygulamaları için tercih edilmektedir.

Literatürde bu konu ile ilgili farklı çalışmalar yapılmıştır. [1]'de Uzun Dalga Kızılötesi (UDK) bölgede elde edilen hiperspektral görüntülerde, aynı bölgede yüksek enerji soğurma karakteristiğine sahip olan gazların tespiti ve niceliklendirilmesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. [2]'de sunulan çalışmada ise metan (CH_4) gazı içeren türbülanslı baca dumanını kapsayan bir sahne incelenmiştir. Bu çalışma arka planda gökyüzünün bulunduğu durumlar için gaz içerdiği bilinen bir pikselin modellenmesinde önemli bir kaynak olmuştur. Önceki iki çalışma gibi [3]'de de UDK hiperspektral algılayıcı ile uzaktan gaz tespiti konusunda bir çalışma sunulmuştur. Çalışmada farklı konsantrasyonda gazlar ve farklı çevre koşullarında alınan ölçümler için laboratuvar test sonuçları

aktarılmış ve aynı zamanda freon (CHClF_2) gazının tespitine ilişkin deneysel sonuçlar paylaşılmıştır. [4]'te gemi bacasından çıkan karbondioksit (CO_2) ve karbonmonoksit (CO) gazlarının Orta Dalga Kızılötesi (ODK) algılayıcı ile uzaktan kimyasal niceliklendirme uygulamalarında başarılı sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Bu çalışma özellikle gaz çıkış bölgesinin arka planının farklı türde maddelerden (baca, gökyüzü) meydana geldiği karmaşık sahnelerin incelenmesi hakkında bilgi vermektedir. Bunun yanı sıra tespit edilmek istenen gazların yüksek soğurma karakterine sahip bölgelerinin atmosferin geçirgenlik seviyesinin en alt düzeyde olduğu bölge ile kesişiyor olmasının gazın yakalanma olasılığını düşürdüğü gösterilmiştir. [5]'de ise UDK algılayıcı ile kontrollü ortamda alınan veri üzerinde gaz olduğu bilinen durumlar için son üye tabanlı bir yaklaşım izlenerek bir pikselin birden fazla materyal içerme durumunu incelenmiştir. Bu yaklaşım ile piksel altı analiz yapılarak son üyeler arasından metanol (CH_3OH) buharını tespit edip, farklı metriklerin başarımları karşılaştırılmıştır. Literatürde sunulan çalışmalarda en temel olarak [2]'de anlatılan gaz modeli referans olarak alınmaktadır. Bu çalışma kapsamında da aynı model referans olarak alınmaktadır. Ancak modelin ihtiyaç duyduğu bazı parametreler uzaktan algılama uygulamalarında kolaylıkla ölçülememekte ve modelin kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu zorlukların önüne geçecek bazı varsayımlar kullanılarak model basitleştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yayılan gazların tespiti ve tanımlanması için kullanılacak algoritmalar benzetişim modelleri oluşturularak incelenecektir.

2. GAZIN ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde gazın modellenmesi ve sentetik verinin elde edilmesi için ihtiyaç duyulan işlemler ve sonuçları anlatılmaktadır. Benzetişim verisi gaz çıkışı olan bir bölgeden ve tek malzemeden oluşan bir arka plandan oluşmaktadır. Gaz ve arka plan imzaları yönteme dışardan referans olarak verilmekte ve standart sapma değerine göre çoğaltılmaktadır.

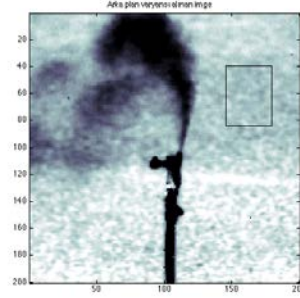
2.1. Yapay verinin tanımlanması

Arka plan ışınım tahmini performanslarını değerlendirmek için hiperspektral imgenin başlık verileri kullanılmıştır. Bu verilerden sağlanan dağılım bilgileri ile "gerçeğin" bilindiği kapsamlı bir benzetişim modeli geliştirilmeye çalışılmıştır.

Oluşturulacak olan benzetişim verisinin boyutu ve spektral aralığı referans olarak kullanılacak olan hiperspektral imgenin boyutu ve dalga boyu aralığına göre uyarlanacaktır. Verinin boyutu $128 \times 128 \times 171$ (sütun * satır * spektral bant sayısı), dalga boyu aralığı ise $850\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ ve 4 cm^{-1} çözünürlüktedir. Bu alt bölümde, yapay veri üretme süreci anlatılacaktır.

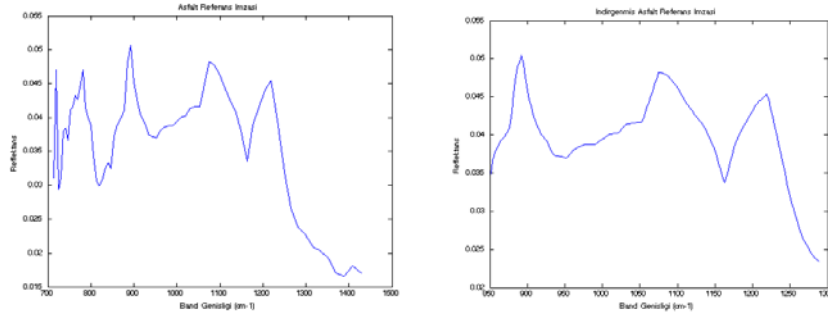
2.2. Arka planın modellenmesi

İlk olarak Şekil 1’de verilen Havelsan tarafından sağlanan hiperspektral imgeden saf olarak arka plan içeren bir alan seçilmiş ve bu alanın ışıma ve standart sapması hesaplanarak arka planın modellenmesi için kaydedilmiştir.



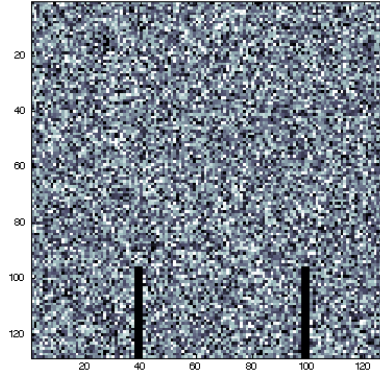
Şekil 1. Havelsan A.Ş. tarafından sağlanan imge

Daha sonra ASTER spektral kütüphanesinden alınan asfalt imzası bir önceki bölümde anlatıldığı şekilde belirlenen dalga boyu aralığına göre kesilmiş ve Şekil 2’de sunulmuştur. Elde edilen asfalt imzası arka plan için hesaplanan standart sapma bilgisi kullanılarak oluşturulan yeni imgeye dağıtılmıştır.



Şekil 2. Arka plan için kullanılacak referans asfalt yansıtma imzaları: a. 700-1500 cm^{-1}
b. 850-1300 cm^{-1}

Zemin sıcaklığının sınıf içi değişkenliğini hesaba katmak için 1 m mesafeden hiperspektral görüntüsü alınan malzemeye göre 1 K’lık standart sapma ile bir Gauss beyaz gürültü eklenmiştir. Buna karşılık, yeryüzünün yayınlılığının sınıf içi değişkenliği hesaba katılmamıştır. Arka plan imzasının dağıtılmasına müteakip oluşan geniş bantta arka plan görüntüsü Şekil 3’de sunulmuştur.

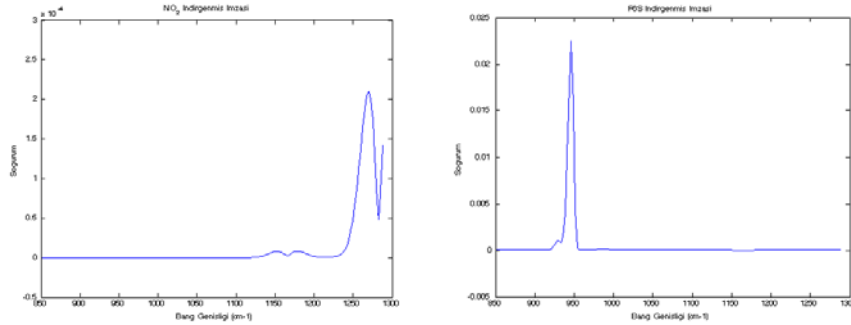


Şekil 3. Gürültü eklenmiş arka plan imgesi

2.3. Hedef gaz imzalarının modellenmesi

Farklı gaz türleri çeşitli dalga boylarında ışığı emerler. Bu olgu, gaz moleküllerinin elektronik, titreşim ve dönme enerjisi bant yapılarına dayanmaktadır.

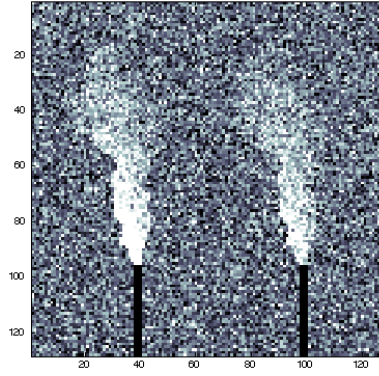
Bu çalışmada, farklı ışımsal davranışa sahip olan iki adet kirletici gaz seçilmiştir. Çalışma kapsamında referans olarak Pasifik Kuzeybatı Ulusal Laboratuvarı (PKUL) tarafından paylaşıma açılmış olan kızılötesi gaz imzası kütüphanesinden faydalanılmaktadır [8]. Azot dioksit (NO_2) ve sülfürhekzaflorür (F_6S) gazlarına ait soğurma imzaları Bölüm 2.1’de kesilmiş ve Şekil 4’de sunulmuştur.



Şekil 4. PKUL gaz imzaları

2.4. Gaz dağılımının modellenmesi

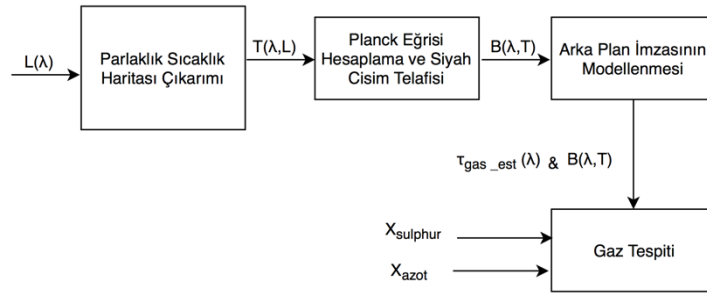
Son olarak gaz salınım benzetişiminin veriye yerleştirilmesi aşamasında, belirli bir noktadan çıkan gazın salınım kaynağından uzaklaştıkça konsantrasyonunun düşeceği varsayımı kullanılmaktadır. Yayılan gazın dağılımının modellenmesi için dikey yönde (Gaz çıkış noktasından rüzgâr yönünde ve/veya atmosfere doğru) 1’den başlayan bir üstel dağılım; yatay yönde ortalaması 0 olan ve standart sapması 1K olan bir Gauss dağılımı kullanılmıştır [11]. Modelleme sonucunda farklı konsantrasyonlarda gaz imzaları eklendikten sonra geniş bantta oluşturulan görüntü Şekil 5’de gösterilmiştir. Gaz imzaları imgeye sol ve sağda boru ucundan salınacak şeklinde eklenmiştir. Solda bulunan borudan çıkan gaz sülfürhekzaflorür; sağda bulunan borudan çıkan gaz azot dioksittir.



Şekil 5. Gazları içeren yapay veri

3. YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde soğurma kestirimi için ihtiyaç duyulan işlemler ve sonuçların yer doğrulama verisi ile karşılaştırılması anlatılmaktadır. Kullanılan yöntemin akış şeması Şekil 6'da sunulmuştur. İlk olarak çalışmada temel alınan gaz modeli, ardından da modelin ihtiyaç duyduğu parlaklık-sıcaklık haritası ve Planck eğrisi çıkarımı anlatılmıştır. Son olarak, gaz tespiti ve oranlarının çıkarımında kullanılacak olan ayırıştırma yöntemi anlatılmıştır.



Şekil 6. Önerilen yöntemin akış şeması

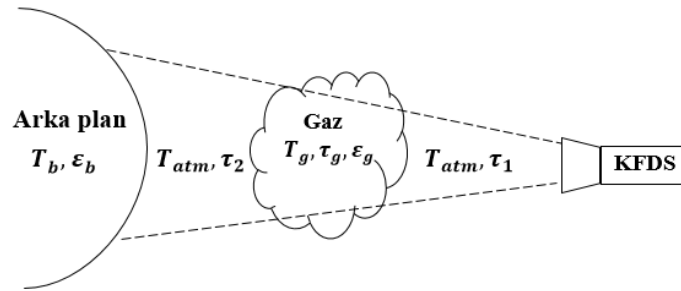
3.1.1. Geçirgenlik verisinin elde edilmesi ve soğurma imzasına dönüşümü

Hedef gazlar olan azot dioksit (NO_2) ve sülfürhekzaflorür (F_6S) gazlarına ait soğurma imzası hiperspektral imgenin elde edildiği bant aralığına göre kesilmiş ve Şekil 4'de sunulmuştur. Gazın geçirgenlik imzası, kontrollü ortamda ilk olarak ortamda gaz yokken ölçülmekte, ardından ortama gaz salınarak tekrar ölçülmektedir. Bu iki ölçüm arasındaki oran geçirgenlik değerini vermektedir. PKUL tarafından sunulan imzalar gazların soğurma değerlerinden oluşmaktadır.

Ancak çalışmada kullanılan pasif kızılötesi algılayıcılar geçirgenlik yerine gaz moleküllerinin belirli bantlarda titreşim halinde iken ortaya çıkardıkları enerjiyi ölçmektedir. Çalışmada kullanılan kızılötesi algılayıcılar ise ortaya çıkan bu enerjiyi ölçmektedirler.

Gaz tespitinde kullanılacak olan karşılaştırma işlemi için verinin referans imzalar ile aynı birime sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle ışıma verisi üzerinde geçirgenlik ya da soğurma dönüşümü yapılmalıdır.

[2] ve [3]'te uzaktan gaz tespitinde karşılaşılan sahne basitçe Şekil 7'de görüldüğü üzere modellenmiştir. Bu model Kızılötesi Fourier Dönüşüm Spektrometre (KFDS) algılayıcısının görüntülediği gaz ve arka planı içermektedir ve ölçülen ışıma değeri bunların yanı sıra atmosferin geçirgenliğinden de etkilenmektedir. T_b , T_g ve T_{atm} sırasıyla arka plan, gaz ve atmosferin sıcaklığını göstermektedir. ε_b ve ε_g ise arka plan ve gaza ait yayılım değerlerini içermektedir. Algılayıcının hemen önündeki alanda etkili olan atmosferin geçirgenlik değeri τ_1 , gaz ve arka plan arasında kalan atmosferin geçirgenlik değeri ise τ_2 ile ifade edilmiştir. Çalışmanın sonunda tespit etmeye çalıştığımız gaz ya da gazların geçirgenlik değerleri ise τ_g ile gösterilmektedir.



Şekil 7. Gaz ışıma değeri modellemesi

Literatürde sunulan gaz modellemeleri şu şekilde biçimlendirilmiştir:

$$L(\lambda) = \tau_1[\varepsilon_g B(\lambda, T_g) + \tau_2 \tau_g \varepsilon_b B(\lambda, T_b)] + L_{atm}(\lambda) \quad (1)$$

burada; $L(\lambda)$ gazın bulunduğu piksele ait ışıma değerini içermektedir.

Literatürde sunulan çalışmalarda τ_1 ve τ_2 değerlerinin kestirimi için koordinat ve tarih bilgilerini kullanan atmosfer modelleme yazılımlarının kullanıldığı görülmüştür. Bazı çalışmalar ise istatistiksel çıkarım yöntemleri ile atmosferin geçirgenlik değerini tahmin etmeye odaklanmıştır. Ancak sunulan sonuçlar yakın mesafelerden alınan ölçümlerde atmosferin geçirgenlik etkisinin göz ardı edilebileceğini göstermiştir [3]. Bu nedenle bu değerler 1 numaralı denklemden çıkarıldığında elde edilen denklem şu şekildedir:

$$L(\lambda) = \varepsilon_g B(\lambda, T_g) + \tau_g \varepsilon_b B(\lambda, T_b) \quad (2)$$

[3]'de sunulan çalışmada veriye ait $L(\lambda)$ ışıma değerinin siyah cisim Planck eğrisine bölüldüğü durumda yayılım değerinin tahmin edilebileceğinden bahsedilmektedir. Bu bilgi kullanılarak elde edilen denklem ise şu şekildedir:

$$\varepsilon(\lambda) = \varepsilon_g \frac{B(\lambda, T_g)}{B(\lambda, T_b)} + \tau_g \varepsilon_b \quad (3)$$

Katı ve gazlar için enerji korunumu yansıtm, geçirgenlik ve soğurma değerlerinin toplamı ile elde edilmektedir. Kirchoff yasası soğurma ve yayılım değerleri arasında sabit bir oran olduğunu söyler ve yapılan çalışmalarda soğurma ve yayılım değerlerinin birbirlerinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Bu durumda gazlar için 4 numaralı denklemde sunulduğu şekilde bir eşitlikten bahsedilebilir.

$$\varepsilon_g = 1 - \tau_g \quad (4)$$

Önerilen yöntem 2 ve 4 numaralı denklemlerde belirtilen eşitlikleri kullanarak gazın geçirgenlik imzasını tahmin etmeye çalışmaktadır. T_g ve T_b sıcaklık çıkarımları Bölüm 3.1.2'de anlatıldığı şekli ile Parlaklık-Sıcaklık Haritası çizdirilerek elde edilebileceği gibi, sensörden elde edilen üstbilgiden de sağlanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında T_g ve T_b değerleri sensör üstbilgisinden elde edilmiştir. ε_b değeri ise gazın arka planının homojen bir yapıda olmasından yararlanarak gaz içermeyen bir alandan seçilmiştir. Arka plana ait yayılım değerinin elde edilebilmesi için ilgili pikselden alınan ışıma değeri Plank eğrisine bölünmüştür.

3.1.2. Parlaklık-Sıcaklık haritası

İşıma imzasında genellikle sabit bir taban çizgisi bulunmamaktadır. İmzanın tavan ve taban diyagramları gaz (bulut ve atmosfer) ve arka plan sıcaklıklarından gelmektedir [8]. Birçok yüzeyin yayımı 650 cm^{-1} ile 1500 cm^{-1} arasında yüksek ve hemen hemen sabittir. Bundan dolayı bu materyallerin yayım imzaları ile siyah cisim imzası arasında yüksek derecede benzerlik vardır ve Parlaklık-Sıcaklık $T(\lambda)$ imzası da hemen hemen sabit kalmaktadır. Parlaklık-Sıcaklık haritası Planck fonksiyonu ile tanımlanır:

$$T(\lambda, L) = \frac{c_2 \lambda}{\ln\left(\frac{c_1 \lambda^3}{L} + 1\right)} \quad (5)$$

burada; c_1 ve c_2 değerleri ışıma sabitlerini,

λ (cm^{-1}) dalga sayısını, $T(\lambda, L)$ ise L ($\text{mW}/\text{m}^2\text{-sr-cm}^{-1}$) ışıma değerine ait sıcaklık değerini göstermektedir.

İdeal durumda, teorik siyah cismin yayımı 1'e eşit, parlaklık-sıcaklık imzası (siyah cismin sıcaklığı) ise sabittir ve değişmez. Bu nedenle, yüksek ve sabit bir yayım gücüne sahip bir arka plan olması halinde, atmosfer ve gaz çıkışı olan bölgenin spektral imzaları parlaklık-sıcaklık imzasında sabit bir taban üzerinde görünür. Bundan dolayı, doğrudan analiz için parlaklık-sıcaklık imzası ışıma imzasından daha uygundur [7].

3.1.3. Planck eğrisi ve siyah cisim etkisinin telafisi

Yapılan literatür araştırmalarında hedef gazların ışıma imzalarına UDK bantlardaki ısı enerjisinin etki ettiği görülmüştür[9]. Planck eğrisi adı verilen bu etki teorik siyah cisim eğrisinde de gözlenmektedir. Eğri 6 numaralı denklemlerle elde edilmektedir.

$$B(\lambda, T) = \frac{c_1 \lambda^3}{\exp\left(\frac{c_2 \lambda}{T}\right) - 1} \quad (6)$$

$B(\lambda, T)$, T sıcaklığında λ dalga boyunda siyah cisimden yayılan enerjiyi göstermektedir. c_1 ve c_2 değerleri ışıma sabitlerini ifade etmektedir.

[10]'da sunulan çalışmada siyah cisim etkisinin önüne geçebilmek amacıyla 7 numaralı denklem kullanılmıştır.

$$C_i = \frac{BB_{\text{maks}}}{BB_i} + L_i \quad (7)$$

C_i : Telafi denklemi uygulanmış i dalga boyundaki ışıma değeri, BB_{maks} : Teorik siyah cisim eğrisindeki en yüksek ışıma değeri, BB_i : i bandındaki siyah cisim ışıma değeri ve L_i : Hiperspektral algılayıcı tarafından ölçülen i dalga boyundaki ışıma değeridir.

3.1.4. Ayırıştırma yöntemleri ile gaz tespiti ve tanımlanması

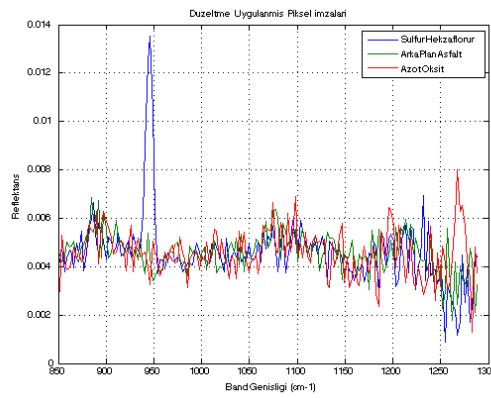
Korelasyon katsayısı hiperspektral görüntülemeye nesne tespiti için sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir [6]. Bu aşamada azot dioksit ve sülfür hekzaflorür gazlarının imza tespiti için Korelasyon Katsayısı yönteminden faydalanılmaktadır.

Literatürde gaz tespit modelleri kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kontrollü yöntemlerde gaz imzasının tespiti için arka plan içeren bölge ve gaz içeren bölge elle algoritmaya verilmekte bu sayede gaz tespiti yapılmakta iken; kontrolsüz yöntemlerde imgenin kendisi algoritmaya verilmekte ve algoritmanın arka plan-gaz ayrımını yapması beklenmektedir. Çalışmamızda iki yöntem de karşılaştırılacaktır.

4. DEĞERLENDİRME

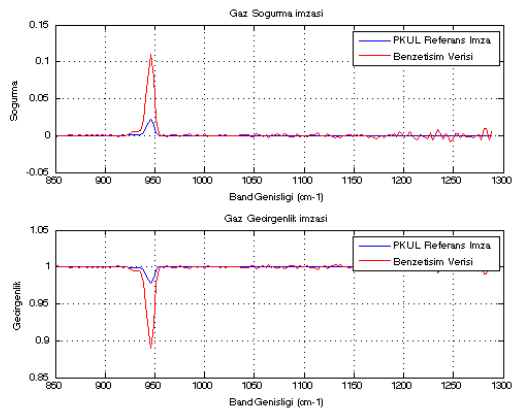
Bu bölümde önerilen yöntemin deneysel sonuçları değerlendirilmektedir.

Sunulan çalışmada öncelikle oluşturulan yapay veri Bölüm 3.1.1 – 3.1.2 ve 3.1.3’de açıklanan yöntemler kullanılarak ön işlemden geçirilmiştir. Doğrulama verisine dayanarak iki farklı gaz ve arka plandan alınan pikseller üzerinde ön işlem uygulanmış imzalar Şekil 8’de sunulmuştur. Ön işlem kapsamında ilk öncelikler ışınma değerleri kullanılarak 5 numaralı denklem ile verinin parlaklık sıcaklık haritası çıkarılmış, ardından 6 ve 7 numaralı denklemler kullanılarak siyah cisim etkisi telafi edilmiştir.

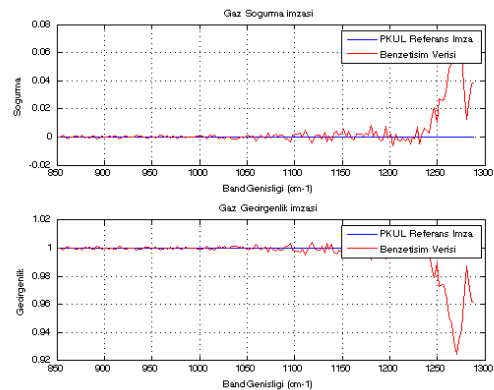


Şekil 8. Ön işlemden sonra piksel imzaları

Bölüm 2.3’te sunulan PKUL gaz imzaları 1 numaralı denklemde verilen fiziksel model kullanılarak benzetişim verisine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm hem soğurma hem de geçirgenlik verisi için uygulanmıştır. Referans imza ve benzetişim verisi arasındaki fark Şekil 9 ve 10’da sırasıyla sülfür hekzaflorür ve azot dioksit gazları için sunulmuştur.



Şekil 9. Sülfür hekzaflorür sonuçları

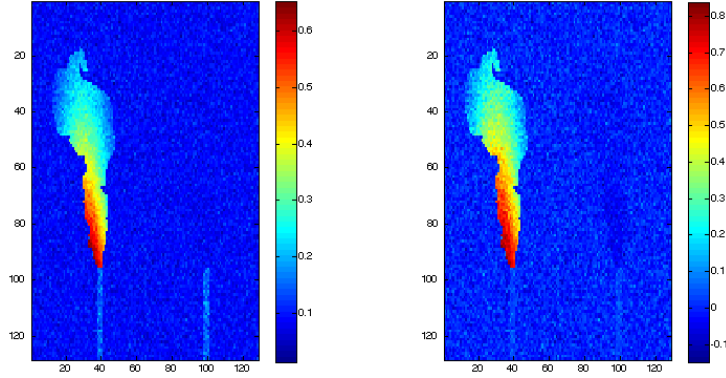


Şekil 10. Azot dioksit sonuçları

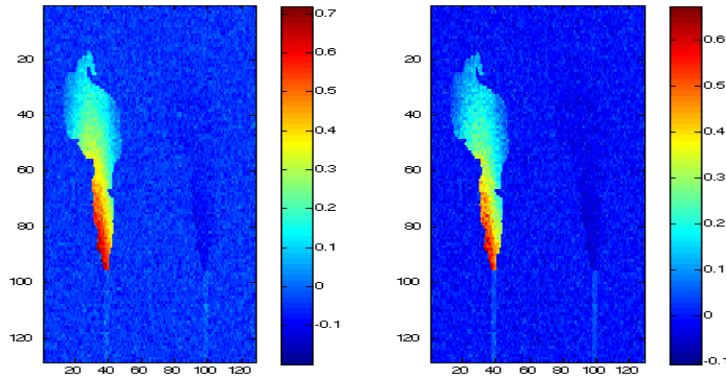
Son olarak Bölüm 3.1.4’te anlatıldığı üzere kontrollü ve kontrolsüz olarak korelasyon katsayısı yöntemiyle hedef gaz imzaları tespit edilmeye çalışılmıştır. Sülfür hekzaflorür

gazına ait tespit sonuçları Şekil 11 ve Şekil 12’de; azot dioksit gazına ait tespit sonuçları Şekil 13 ve Şekil 14’de sunulmuştur. Sonuç imgelerinde sıcak renkler tespit edilen gaz piksellerini içermektedir.

Şekil 11 ve Şekil 12 incelendiğinde sülfür hekzaflorür gazının ön işleme aşamasından ve algoritmanın kontrollü-kontrolsüz uygulanmasından bağımsız olarak benzer sonuçlar verdiği gözlenmektedir.

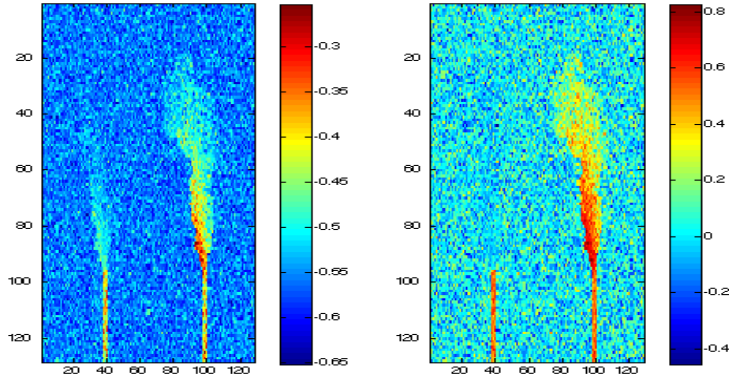


Şekil 11. Sülfür hekzaflorür gazına ait ön işlemsiz sonuç: a. kontrolsüz yöntem b. kontrollü yöntem

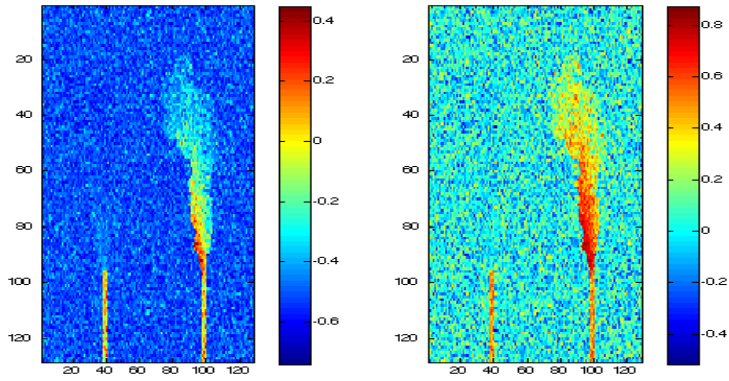


Şekil 12. Sülfür hekzaflorür gazına ait ön işlemlili sonuç: a. kontrolsüz yöntem b. kontrollü yöntem

Şekil 13 ve Şekil 14 incelendiğinde azot dioksit gazının ön işlemlili veya ön işlemsiz olarak benzer sonuçlar verdiği; fakat kontrollü yöntem uygulandığında kontrolsüz yöntemle göre arka plandan daha net bir şekilde ayrıldığı ve tespit başarımının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 13. Azot dioksit gazına ait ön işlemsiz sonuç: a. kontrolsüz yöntem b. kontrollü yöntem



Şekil 14. Azot dioksit gazına ait ön işlemlili sonuç: a. kontrolsüz yöntem b. kontrollü yöntem

5. SONUÇ

Bu çalışmada yapay olarak oluşturulmuş imge içerisinde farklı alanlarda ve çeşitli konsantrasyonlarda dağıtılmış olan sülfür hekzaflorür ve azot dioksit gazlarının tespitine yönelik tecrübeler paylaşılmıştır. Elektromanyetik tayfın $850-1300\text{cm}^{-1}$ aralığında görülen siyah cisim etkisinin telafi edilebilmesi için önerilen yöntemin tespit başarımını arttırdığı tespit edilmiştir.

Gerçek verilerde bulunan atmosferik etkilerin olmaması benzetişim verilerinde dağıtılan gazların tespitinde yüksek oranda başarımlı elde edilmesini sağlamıştır. İleriki çalışmalarda, gerçek hava şartlarındaki atmosferik etkilerin de gaz imzasına eklendiği benzetişim modelleriyle yapay imgeler üretilerek gaz tespiti ve niceliklendirilmesi yapılması planlanmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan veri HAVELSAN A.Ş. tarafından sağlanmıştır.

7. KAYNAKÇA

- [1] Farley, V., et al. "Performance of the FIRST: a long-wave infrared hyperspectral imaging sensor." Optics/Photonics in Security and Defence. International Society for Optics and Photonics, 2006.
- [2] Tremblay, P., et al. "Standoff gas identification and quantification from turbulent stack plumes with an imaging Fourier-transform spectrometer." SPIE Defense, Security, and Sensing. International Society for Optics and Photonics, 2010.
- [3] Kastek, M., T. Piątkowski, and P. Trzaskawka. "Infrared imaging Fourier transform spectrometer as the stand-off gas detection system." Metrology and measurement systems 18.4 (2011): 607-620.
- [4] Telops Inc. "Standoff Midwave Infrared Hyperspectral Imaging of Ship Plumes" Photonics Online, Application Note (August, 5 2015)
- [5] Ömrüzun, F., and Y. Y. Çetin. "Endmember signature based detection of flammable gases in LWIR hyperspectral images." SPIE Sensing Technology+ Applications. International Society for Optics and Photonics, 2015.
- [6] Orfanidis, S.J. Optimum Signal Processing: An Introduction. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 1996.
- [7] Harig, R. and Matz, G. (2001), Toxic cloud imaging by infrared spectrometry: A scanning FTIR system for identification and visualization. Field Analyt. Chem. Technol., 5:75–90. doi:10.1002/fact.1008
- [8] Baskurt, Didem Ozisik, et al. "Gas detection by using transmittance estimation and segmentation approaches." SPIE Remote Sensing. International Society for Optics and Photonics, 2016.
- [9] Planck, M. The theory of heat radiation. Courier Corporation, 1959.
- [10] Ömrüzun, F., and Y. Y. Çetin. "Gas detection in longwave infrared hyperspectral imagery and black body effect compensation." Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 2015 23th. IEEE, 2015.
- [11] Messinger, David W. "Gaseous plume detection in hyperspectral images: a comparison of methods." Defense and Security. International Society for Optics and Photonics, 2004.
- [12] Nascimento, J. MP, and J. M. Bioucas Dias. "Vertex component analysis: A fast algorithm to unmix hyperspectral data." Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on 43.4 (2005): 898-910.

PATLAMA SİMÜLASYONLARI İÇİN KABUK-KATI BAĞLANTI METOTLARININ ARAŞTIRILMASI

Said Bedir ^(a), Atıl Erdik ^(a)

^(a) OTOKAR Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş. Bilgisayar Destekli Mühendislik
Müdürlüğü, 54580, Sakarya, sbedir@t.otokar.com.tr, aerdik@otokar.com.tr

ÖZ

Bu çalışmada, Sonlu Elemanlar Yöntemindeki, kabuk ve katı elemanların birbirlerine bağlandığı problemlerde, bağlantı tipleri, bağlama yöntemleri ve çözüm teknikleri incelenmiştir. Basit bir kiriş geometrisi üzerinde kabuk ve katı elemanları birbirlerine değişik yöntemler ile bağlanarak LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı ile benzetimleri yapılmış, elde edilen sonuçlar analitik hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Başarılı bulunan kabuk-katı bağlantı yöntemi bir plaka üzerinde uygulanarak LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı ile patlama benzetimleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kabuk-Katı bağlantısı, LS-DYNA, Mayın patlaması simülasyonu, Sonlu elemanlar yöntemi

INVESTIGATION OF SHELL TO SOLID CONNECTION METHODS FOR MINE BLAST SIMULATIONS

ABSTRACT

In this study, shell to solid connections types and their solution techniques are investigated in LS-DYNA, a commercial finite element code. Different methods are used to connect shell type of elements to solids on simple beam structure to compare numerical results with analytical calculations. The best approximation to the hand calculation is opted for full-scale mine blast simulation.

Keywords: Shell to Solid, LS-DYNA, Mine blast simulation, Finite element method

1. GİRİŞ

Sonlu elemanlar yönteminin güvenilirliği çözüm için hazırlanan modelin yeterliliği ile doğru orantılıdır. Modelleme esnasında doğru sonuçların elde edilmesinin yanı sıra, analiz çözüm sürelerinin de kısa olması amaçlanır [1]. Bundan dolayı, modelleme aşamasında doğruluktan fazla uzaklaşmadan kısa sürede çözüm sağlayan kabuk ve katı kesit teorilerinden faydalanılmaktadır. Kabuk teorisi katıya göre hızlı çözüm sağlarken yüksek doğruluk gerektiren veya kabuk teorisinin yetersiz kaldığı durumlarda katı kesit teorisi çözüm sunmaktadır. Bazı durumlarda ise her iki kesitin birbirine temas algoritmaları veya çeşitli bağlama yöntemleri ile birlikte kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, bir yapının belli bir bölgesinin davranışı incelenmek istendiğinde, o bölge katı elemanlarla modellenirken, hesaplama sürelerini kısaltmak amacıyla geriye kalan bölgeler kabuk elemanlar ile modellenir. Düğümlerinin serbestlik dereceleri farklı olan katı ve kabuk elemanların direkt olarak birbirine bağlanması durumunda, bağlantı bölgesi menteşe gibi davranır. Böyle bir durumda moment aktarımı gerçekleşmez ve analiz hatalı sonuç verir.

Bu çalışmada, LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı ile basit ankastre kiriş problemi ele alınarak katı-kabuk bağlantı tiplerinin benzetimleri yapılmış ve benzetim sonuçları analitik hesaplar ile mukayese edilmiştir. Kıyaslama neticesinde analitik sonuçlara yakın sonuç veren kabuk-katı bağlantı yöntemi bir plaka üzerinde uygulanarak LS-DYNA sonlu elemanlar yazılımı ile patlama benzetimleri incelenmiştir.

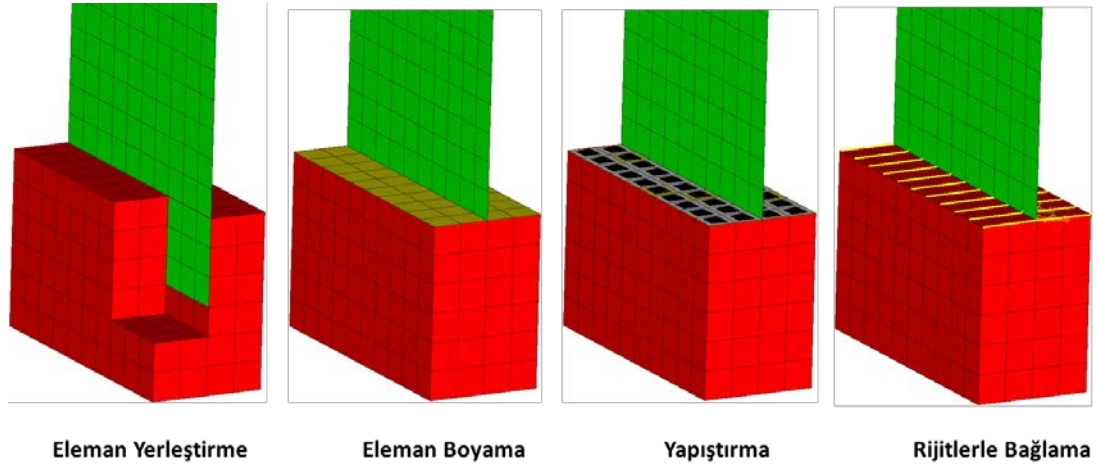
2. SAYISAL BENZETİM YÖNTEMİ

2.1. Katı-kabuk bağlantı yöntemleri

Kabuk elemanların düğüm noktalarında 6 adet serbestlik derecesi (TX, TY, TZ, RX, RY, RZ) bulunurken, katı elemanların düğümlerinde 3 adet serbestlik derecesi (TX, TY, TZ) bulunmaktadır [2]. Serbestlik derecesi farkından dolayı, kabuk elemanlar katı elemanlara bağlandığında, kabuk elemanların dönel serbestlik dereceleri boşta kalmaktadır. Bu durumda, katı-kabuk bağlantısı menteşe gibi davranır ve moment aktarımını gerçekleştirmez. Sonuç olarak sayısal benzetim sonuçlarında ciddi hatalar oluşur.

Literatürde katı elemanların kabuk elemanlara doğru bir şekilde bağlamak için birçok yöntem kullanılmaktadır [3]. Bunlardan bazıları, Sonlu Elemanlar paket programlarının sunmuş olduğu hazır çözümler iken, bazıları da melez yöntemlerdir. Paket programların sunmuş olduğu çözüme örnek olarak Ls-Dyna içerisinde tanımlı bulunan “*CONSTRAINED_SHELL_TO_SOLID” fonksiyonu verilebilir. Melez yöntemlere örnek olarak “Eleman Yerleştirme”, “Eleman Boyama”, “Yapıştırma” ve “Rijitlerle Bağlama” verilebilir.

LS-DYNA içerisindeki “*CONSTRAINED_SHELL_TO_SOLID” fonksiyonu dört düğümlü kabuk elemanları, sekiz düğümlü kabuk veya katı elemanlara bağlamaktadır [4]. Bu çalışmada, çoklu hesaplama noktalı (fully-integrated) eleman tiplerinin kullanılmasından dolayı “*CONSTRAINED_SHELL_TO_SOLID” fonksiyonu kullanılamamıştır. Bundan dolayı, “Eleman Yerleştirme”, “Eleman Boyama”, “Yapıştırma” ve “Rijitlerle Bağlama” yöntemleri üzerinde durulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Katı-kabuk bağlantı yöntemleri

2.1.1. “Eleman Yerleştirme (Element Embedding) Yöntemi”

Bu yöntemde, bir kaç sıra kabuk elemanlar ile katı elemanlar birbirilerine düğüm noktalarından birleştirilir (node-node). Böylece, katı içerisindeki kabuk elemanların dönel serbestlik dereceleri hapsedilerek tutulmuş olur. Yapının katılığını arttırması ve katı ile kabuk düğümlerinin birbirine örtüşmesi zorunluğunun bulunması yöntemin dezavantajlarındandır (Şekil 2.1).

2.1.2. “Eleman Boyama (Element Paint) Yöntemi”

Bu yöntemde, kabuk elemanlar katı elemanlar üzerine kaplanarak düğümlerinden birleştirilir. Daha sonra ana kabuk model katı üzerine giydirilen kabuk elemanlara düğüm noktalarından birleştirilir. Böylece, kabuk elemanların dönel serbestlik dereceleri katı üzerine giydirilen kabuk elemanlar tarafından tutulmuş olur. Yöntemin eksiklikleri, yapın katılığını arttırması ve katı ile kabuk düğümlerinin birbirileriyle örtüşmesi zorunluğunun bulunmasıdır (Şekil 2.1).

2.1.3. “Eleman Yapıştırma (Glue Contact) Yöntemi”

Bu yöntemde, kabuk elemanlar katı elemanlar üzerine yapıştırılır. Daha sonra taşıyıcı kabuk model katı üzerine yapıştırılan kabuk elemanlara düğümlerinden birleştirilir. Böylece, kabuk elemanların dönel serbestlik dereceleri katı üzerine yapıştırılan kabuk elemanlar tarafından tutulmuş olur. Yöntemin zayıf tarafı yapının katılığını arttırmasıdır (Şekil 2.1).

2.1.4. “Rijitlerle Bağlama (RBE2) Yöntemi”

Bu yöntemde, kabuk elemanlar katı yüzeyine düğümlerinden RBE2 rijit elemanlarla birbirine tutturulur. RBE2 rijit elemanlar katı yüzeyindeki ve kabuk kenarındaki düğümleri bağlayarak düğümlerdeki serbestlik derecelerini birbirlerine bağımlı hale getirir. Yöntemin dezavantajları, model hazırlama zorluğu ve rijit elemanların yapıya bir miktar rijitlik katmasıdır (Şekil 2.1).

2.2. Patlama yöntemi

Hedef yapıya dinamik basıncın uygulanması LS-DYNA yazılımında iki temel yaklaşımla yapılabilir. Bunlar Conventional Weapons (CONWEP) ve Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yöntemleridir [2].

CONWEP metodunda, önceden tanımlı basıncın zamana bağlı fonksiyonunun yapının yüzeyine uygulanması esasına dayanmaktadır. Önceden tanımlı basıncın zamana bağlı fonksiyonu ABD ordusunun yaptığı patlama deneylerinden elde edilen deneysel formüllere dayanmaktadır [5].

CONWEP modeli, kısaca, Friedlander denklemi (2.1) olarak bilinen basıncın zamana göre davranışı olarak ifade edilebilir [5].

$$p(t) = (p_{max} - p_{atm}) \left[1 - \frac{t - t_a}{t_d} \right] e^{-\frac{a(t - t_a)}{t_d}} \quad (2.1)$$

burada, p_{atm} , atmosfer basıncı, p_{max} , ortam akışkanda oluşan maksimum basınç, t_a , şok çizgisinin varış zamanı, t_d , pozitif safhanın süresi, a azalma katsayısı, I ise verilen mesafedeki patlama itkisidir. Azalma katsayısı, a , pozitif safhadaki deneysel basınç-zaman eğrisinin doğrusal olmayan eğri ile uydurmalarla hesaplanabilir. Patlama esnasında ortaya çıkan maksimum basıncın yanında oluşan itki (impuls) de önemlidir. Denklem (2.2) 'de verildiği üzere itki, basıncın ve pozitif safha süresinin iterasyonla hesaplanmasıyla elde edilir.

$$I = \int_{t_a}^{t_a + t_d} p(t) dt \quad (2.2)$$

Randers-Pehrson ve Bannister hava ortamında gerçekleşen patlama etkilerini hesaplayacak CONWEP modelini DYNA2D ve DYNA3D yazılımına dâhil etmişlerdir [6].

LS-DYNA yazılımında *LOAD_BLAST kartı ile CONWEP patlama modeli aktive edilebilmektedir [4].

CONWEP yönteminde basınç direkt olarak hedef yüzeyine uygulandığı için ortam akışkanı modellenmemektedir. Bu durum, modelleme süresinin kısalmasına ve ortam akışkandan kaynaklanan karmaşık ve uzun süre alan hesaplama yükünü de

azaltmaktadır. CONWEP yönteminin basit ve hızlı uygulanabilir olmasına karşın bir takım eksiklikleri bulunmaktadır. Hedef yapı ile patlayıcı arasında bulunan objelerin basıncı gölgeleme etkileri ve basıncın yüzeylere çarparak yansıma etkileri CONWEP yöntemiyle benzetilememektedir [7]. Ayrıca, bu yöntem ölçeklendirilmiş mesafenin (scaled distance) $0.147 \text{ m/kg}^{1/3} < Z < 40 \text{ m/kg}^{1/3}$ aralığında geçerlidir [5].

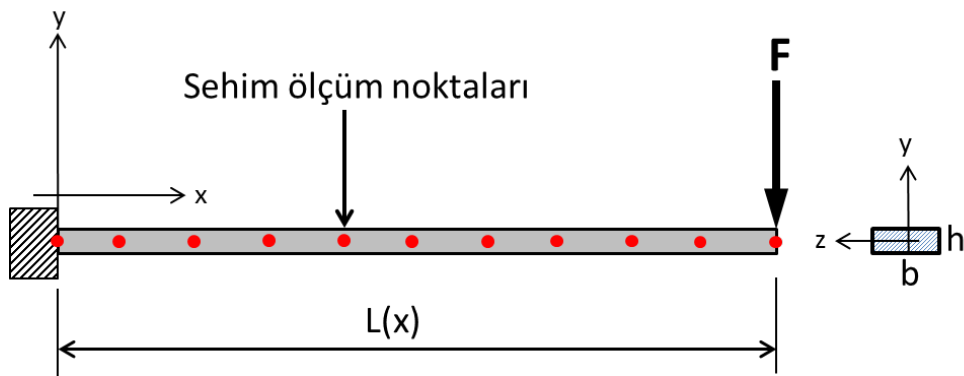
LS-DYNA içerisindeki diğer patlama yaklaşımı Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yaklaşımıdır [2]. Patlayıcı ve patlayıcı ile hedef arasındaki ortam akışkanı Eulerian hacimsel ağ örgüsü ile modellenmektedir. Patlayıcının patlaması esnasında oluşan basınç dalgası ortam akışkanına aktarılır. Ortam akışkanı içerisinde hareket eden basınç dalgası yapının yüzeyine etkir. Hedef yapı Lagrange ağ örgüsüyle modellenmektedir. ALE modelleme yönteminde hedef yapı (Lagrangian) ile ortam akışkanı (Eulerian) ortak düğümleri paylaşmaz. Bu durum, hedef yapının akışkan içerisine istenilen bölgesine rahatlıkla yerleştirilmesini sağlamaktadır [7].

Bu çalışmada, sadece plaka sehimlerinin elde edilmesi için CONWEP patlama yönteminden faydalanılmıştır.

3. ANALİZ SONUÇLARI

3.1. Katı-kabuk bağlantı tiplerini doğrulanması

Şekil 2.1'deki gösterildiği üzere, katı-kabuk bağlama yöntemlerinin doğruluğunun araştırılabilmesi için analitik hesapla doğrulanabilir bir ucu sabitlenmiş diğeri ucuna yük uygulanan kiriş (ankastre kiriş) örneği ele alınmıştır (Şekil 3.2).

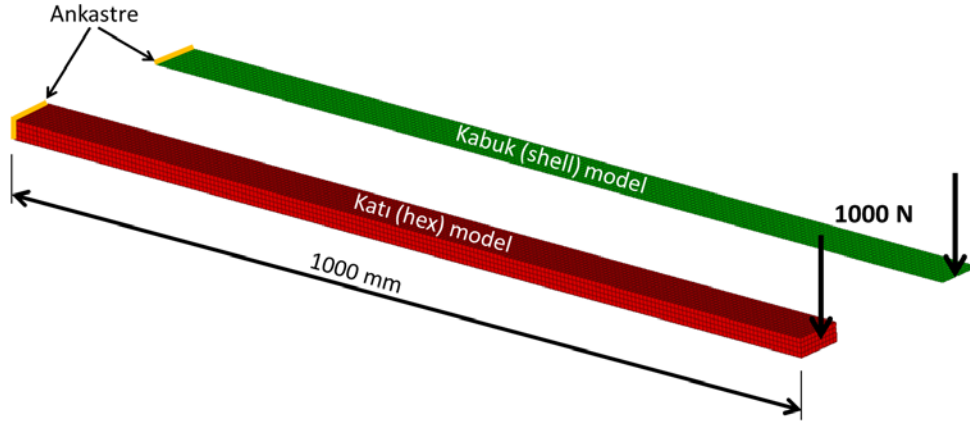


Şekil 3.2 Ankastre kiriş

Ankastre kirişin analitik sehim hesabının elde edilebilmesi için denklem 3.1 kullanılır.

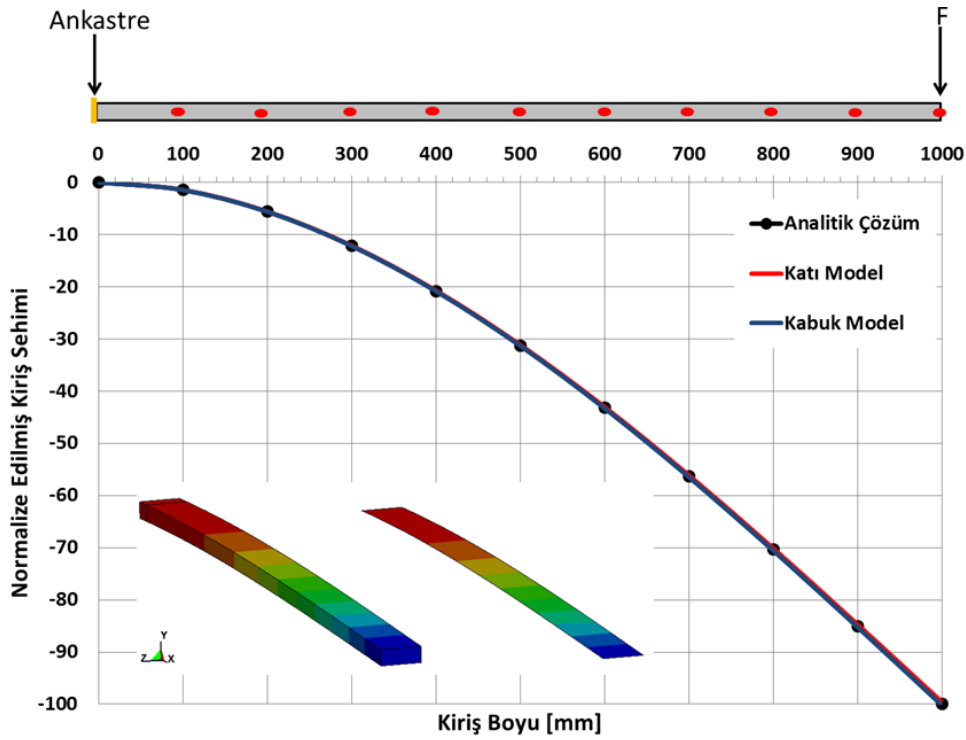
$$W(x) = -\frac{Fx^2(3L - x)}{6EI} \quad (3.1)$$

Öncelikle boyutları Şekil 3.3'te verilen katı ve kabuk elemanlarla ayrı ayrı modellenmiş ankastre kirişe yük uygulanarak sehim değerlerine bakılmış, katı ve kabuk elemanların bu problemde uygunluğu araştırılmıştır.



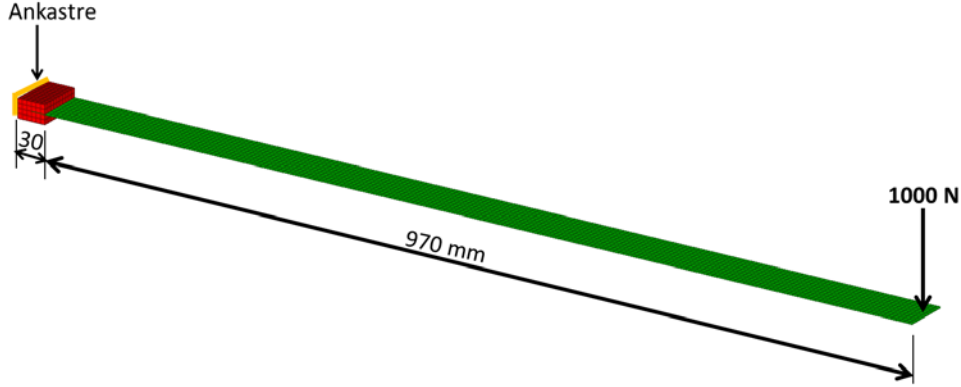
Şekil 3.3 Katı ve kabuk elemanlarla modellenen kirişin geometrik ölçüleri ve sınır koşulları

Yapılan analizlerde elde edilen kiriş sehim değerleri analitik çözümle Şekil 3.4'teki grafikte karşılaştırılmış ve çoklu hesaplama noktalı katı ve kabuk elemanların bu probleme uygun olduğu anlaşılmıştır.



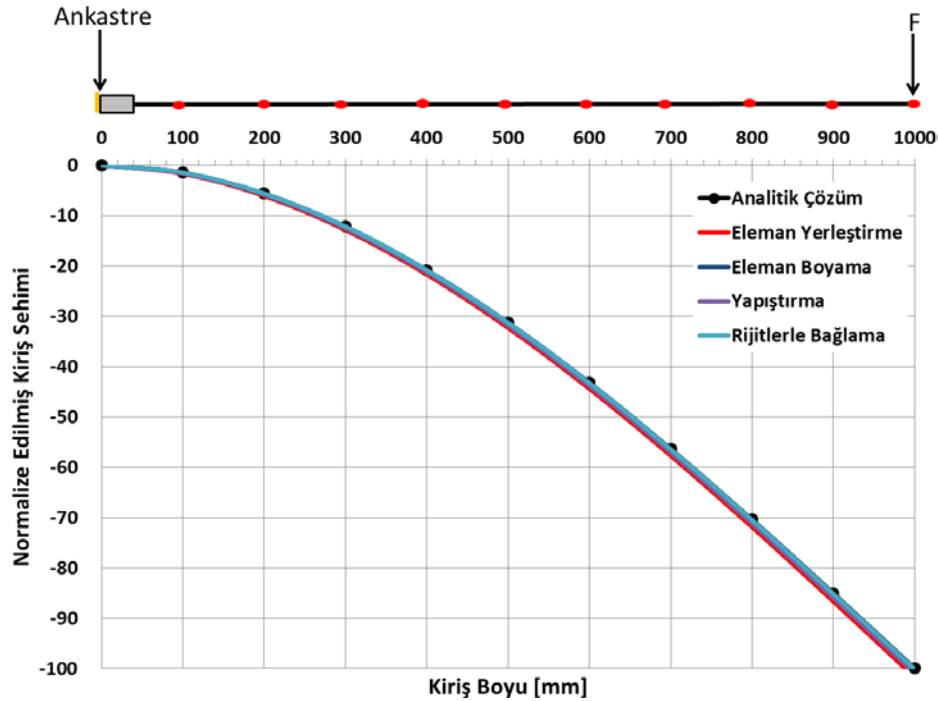
Şekil 3.4 Katı ve kabuk sonlu elemanlar sehim sonuçlarının analitik çözümle karşılaştırılması

Bundan sonraki aşamada kirişin 30 mm'lik kısmı katı diğer kısmı kabuk olacak şekilde modellenerek birbirine Şekil 2.1'deki yöntemlerle bağlanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Birbirine bağlanan katı ve kabuk elemanlarla hazırlanmış kirişin geometrik ölçüleri ve sınır koşulları

Şekil 3.1'deki katı-kabuk bağlama yöntemleri kullanılarak hazırlanan modellerin sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde elde edilen kiriş sehim değerleri analitik çözümle Şekil 3.6'daki grafikte karşılaştırılmıştır. Şekil 3.6'da da görüldüğü üzere tüm yöntemlerle elde edilen sehim değerlerinin birbirlerine çok yakın çıktığı görülmüştür.

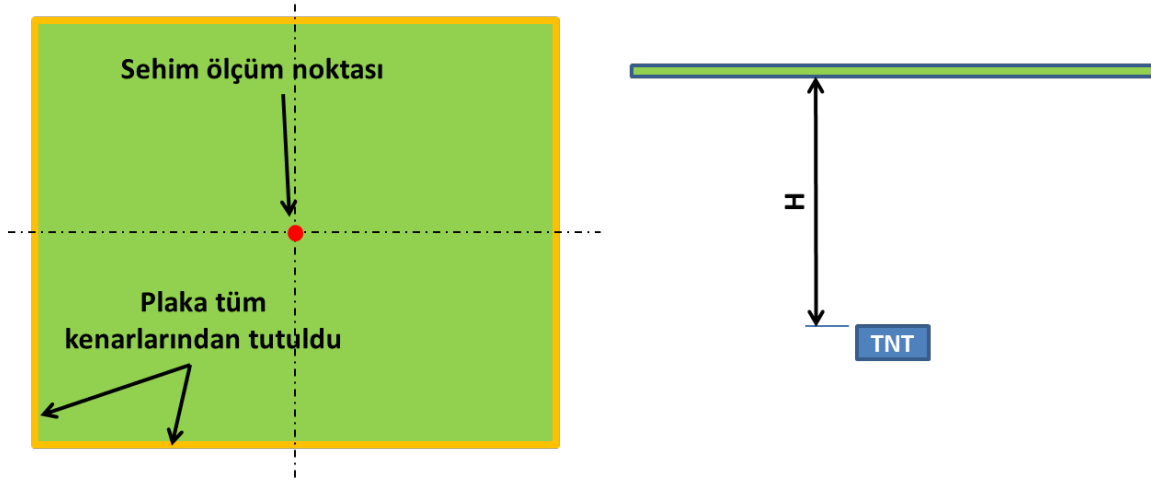


Şekil 3.6 Katı-kabuk bağlantı yöntemleri ile hazırlanan modellerin sehim sonuçlarının analitik çözümle karşılaştırılması

Bu çalışmadaki katı-kabuk bağlantı tipleri birbirlerine yakın sonuçlar vermesine rağmen modelleme süreleri, zorluk dereceleri ve uygulanabilirlikleri farklı çıkmıştır. Eleman yerleştirme ve eleman boyama yöntemlerinde katı ve kabuk düğümlerinin örtüşme zorunluğu bulunmaktadır. Rijitlerle katı düğümleri kabuk düğümlerine bağlama yönteminde ise modelleme süresi ve zorluk derecesi diğer yöntemlerden fazladır. Bununla beraber, yapıştırma yönteminde katı ve kabuk düğümlerinin örtüşme zorunluğunun olmaması ve LS-DYNA içerisindeki hazır fonksiyonların kullanılmasından dolayı diğer yöntemlere göre daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır.

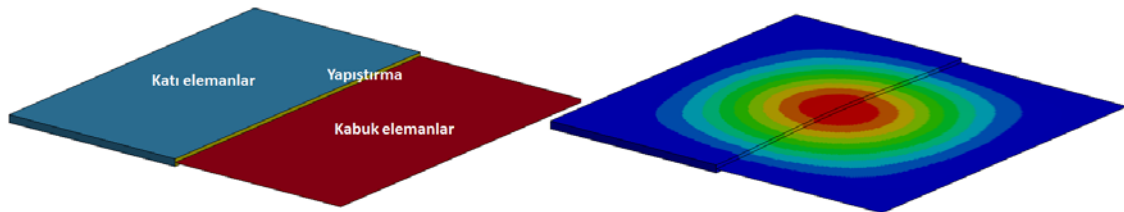
3.2. Bir plaka altında patlama

Bu çalışmada, tüm kenarlarından sabitlenmiş bir plakanın altına mayın konularak patlama senaryosu oluşturulmuştur. Plaka üzerinden zamana bağlı deformasyon ölçümü almak için bir adet deplasmanölçer sensör tanımlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Bir plakanın patlama analizi sınır şartları

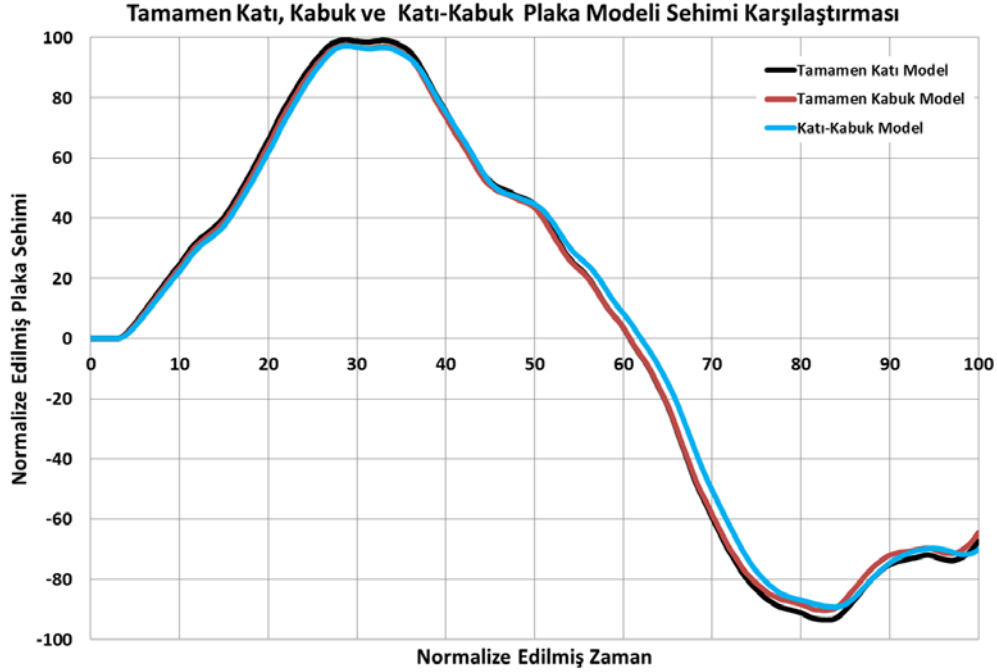
İlk bölümde, çoklu hesaplama noktalı katı elemanlardan ve kabuk elemanlardan oluşan iki plakanın altında iki farklı patlama analizi yapılarak çoklu hesaplama noktalı katı ve kabuk eleman tiplerinin bu problem için uygunluğu araştırılmıştır. Daha sonra, bir plakanın yarısı katı, diğer yarısı ise kabuk elemanlarla modellenmiş ve “Yapıştırma” yöntemi kullanılarak birleştirilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Bir plakanın katı-kabuk modeli ve patlama sonrası oluşan deplasmanlar

Şekil 3.9’da plakanın orta noktasındaki deformasyon miktarının zaman göre değişimi verilmiş, tamamen katı ve tamamen kabuk elemanlarla hazırlanmış plakalardaki sehim

sonuçlarının birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. “Yapıştırma” yöntemi kullanılarak yarı katı ve yarı kabuk elemanlar olacak şekilde modellenen plakanın sehim sonucunun ise kabul edilebilir sonuçlar verdiği anlaşılmıştır.



Şekil 3.9 Katı-kabuk modelin patlama analizi sonucunun tamamen katı ve tamamen kabuk model ile karşılaştırılması

4. SONUÇ

Bu çalışmada, katı ve kabuk elemanların birbirlerine menteşe etkisi oluşturmayacak şekilde bağlanabilmesi için katı-kabuk bağlantı yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. LS-DYNA yazılımı içerisinde hazır bulunan katı-kabuk birleştirme fonksiyonunun çoklu hesaplama noktalı elemanlarını birbirlerine bağlayamamasından dolayı, literatürde kullanılan “Eleman Yerleştirme”, “Eleman Boyama”, “Yapıştırma” ve “Rijitlerle Bağlama” bağlantı tipleri üzerinde çalışılmıştır.

İlk olarak, analitik çözümü yapılabilen basit ankastre kiriş problemi üzerinde çalışılmıştır. Belirli uzunluklardaki katı ve kabuk modeller bir birilerine “Eleman Yerleştirme”, “Eleman Boyama”, “Yapıştırma” ve “Rijitlerle Bağlama” bağlantı yöntemleriyle bağlanarak kiriş modeli oluşturulmuştur. Daha sonra kirişin bir ucu sabitlenerek diğer ucuna yük uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda katı-kabuk birleştirme yöntemleri ile modellenen katı-kabuk kiriş sehimleri analitik çözüme oldukça yakın sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Katı-kabuk birleştirme yöntemlerinin modelleme süreleri, zorlukları ve uygunlukları değerlendirilerek “Yapıştırma” yönteminin en uygun yöntem olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında, tüm kenarlarından sabitlenen bir plakanın altına mayın konularak patlama senaryosu oluşturulmuştur. Referans olması açısından ilk önce, plaka tamamen katı elemanlarla modellenerek patlama analizi yapılmış ve zamana bağlı sehim değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra, plakanın yarısı katı diğer yarısı ise kabuk elemanlarla modellenerek “Yapıştırma” yöntemi ile birleştirilmiştir. Katı - kabuk plaka altında yapılan patlama analizi sonucunda, zamana bağlı sehim miktarlarının tamamen katı elemanlarla modellenen plakadaki sehim değerlerine göre kabul edilebilir doğrulukta yakınsadığı anlaşılmıştır.

5. TEŞEKKÜR

Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayii A.Ş.’ye bu çalışmanın hazırlanma aşamasında verdikleri katkıdan dolayı teşekkürü bir borç biliriz.

6. KAYNAKÇA

- [1] Erdik, A. ve Kılıç, N. (2010), Anti-Tank Mayın Patlamasının Zırhlı Araç Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Analiz ile İncelenmesi , *Savunma Teknolojileri Kongresi Kitapçığı*, Cilt 1, Sayfa 867-874 Ankara, Türkiye
- [2] Hallquist, J.O. (2006), LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation, California, USA.
- [3] Ertürk, E. Elitok. K, (2015), Sonlu Elemanlar Analizlerinde Katı-Kabuk Bağlantılarının Modellenmesi, Bias Kullanıcılar Konferansı, İstanbul
- [4] LSTC, (2012), LS-DYNA Keyword User's Manual, Volume I,
- [5] U.S. Army Manual TM5-855-1, Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons
- [6] Randers-Pehrson, G, Bannister, K. A. (1997), Airblast Loading Model for DYNA2D and DYNA3D, ARL-TR-1310, Army Research Laboratory
- [7] Erdik, A., Kılıç,S., Kılıç, N, Bedir, S. (2015), Numerical Simulation of Armored Vehicles Subjected to Undercarriage Landmine Blasts, An International Journal on Shock Waves, Detonations and Explosions

COĞRAFİ DURUM SERGİLEMEDE HOLOLENS KULLANIMI

İsmail Kılınç

Havelsan A.Ş., Mustafa Kemal Mah. 2120 Cad. No:39 Ankara, ikilinc@havelsan.com.tr

ÖZ

Artırılmış gerçeklik uygulamaları hızla günlük hayatın içerisine girmektedir. Microsoft Hololens cihazı holografik görüntü oluşturmakta, geliştirme ortamı, ergonomi, tek başına çalışabilme gibi yetenekleriyle kullanıcıya ve geliştiricilere artırılmış gerçeklikle ilgili diğer rakiplerinden oldukça üstün bir deneyim yaşatmaktadır. Komuta Kontrol alanında sistem ve yazılım çözümleri üreten HAVELSAN henüz geliştirme sürümü piyasada olan Hololens cihazının komuta kontrol sistemlerindeki kullanım alanlarına yönelik çalışmalar yapmaktadır. Bu bildiride Hololens cihazının eksiklikleri ve iyi yönleri komuta kontrol alanına özel olarak değerlendirilmekte ve bu cihaz için prototip olarak geliştirilen Coğrafi Durum Sergileme uygulaması anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Hololens, Komuta Kontrol, Kullanıcı Etkileşimi, Coğrafi Durum Sergileme, Yazılım Geliştirme Ortamı

HOLOLENS USAGE IN GEOGRAPHICAL SITUATION DISPLAY

ABSTRACT

Augmented reality applications are increasingly entering daily life. Microsoft Hololens creates holographic images and offers a considerably superior experience to the user and the developer than any other competitor in the realm of increased reality with its development environment, ergonomics and ability to work alone. Having produced system and software solutions in the Command Control field, HAVELSAN is currently working on how to use Hololens in its existing command and control systems. In this work, Hololens is evaluated in terms of negative and positive features specific to command and control domain. A geographical situation display prototype application developed for Hololens is also explained.

Keywords: Augmented Reality, Hololens, Command & Control, User Interaction, Geographical Situation Display, Software Development Kit

1. GİRİŞ

Bilgisayarların ve algılayıcı sistemlerinin teknolojik olarak savaş platformlarında kullanılmaya başlanması ile birlikte savaş yönetim sistemleri ortaya çıkmış [1-4] ve coğrafi durum sergileme bu sistemlerde operatör farkındalığını sağlamak için temel görselleştirme ögesi olarak yer almaya başlamıştır [5].



Şekil 1. Savaş Yönetim Sistemi ve Coğrafi Durum Sergileme

Coğrafi durum sergileme (CDS) raster, vektör, yükseklik/derinlik haritalarının gösterilmesini ve şekil çizim/düzenleme işlemlerini sağlayan coğrafi bilgi sistemi altyapısını içermektedir [6]. CDS ile Radar, SONAR gibi algılayıcılardan gelen bilgilerin gösterimi, platformun oluşturduğu veya platform dışından veri link sistemleri ile alınan iz bilgilerinin gösterimi yapılmaktadır. İz yönetimi, planlama, seyir, silah, angajman, karar destek gibi savaş yönetim uygulamaları CDS'nin sağladığı askeri sembolojilere uygun görselleştirme servislerini kullanarak durum farkındalığını ve görev icrasını sağlarlar [7,8].



Şekil 2. Hololens

Hololens Microsoft firmasının 2016 yılında geliştirme sürümünü piyasaya sürmüş olduğu holografik görüntüleri ses ve jestler ile birlikte destekleyen bir artırılmış gerçeklik gözlüğüdür [9]. 2016 yılında geliştirme versiyonu çıkmış olan Hololens için oyun, eğlence, iletişim, eğitim gibi alanlara ek olarak coğrafi durum sergilemede kullanmaya yönelik işlevler de içeren çeşitli uygulamalar bulunmaktadır [10]. Artırılmış gerçeklik gözlüklerinin önümüzdeki yıllarda teknoloji pazarında önemli bir paya ulaşması öngörülmektedir [11]. Görüntüleme teknolojileri ile birlikte gelişimini sürdüren savaş yönetim sistemlerinin de coğrafi durum sergileme kapsamında önümüzdeki yıllarda bu teknolojiyi kullanması muhtemeldir. Bu nedenle görüntüleme

ve girdi çıktı anlayışı standart ekran-fare-klavye kullanımından farklı olan Hololens cihazında mevcut coğrafi durum sergileme fonksiyonlarının nasıl gerçekleştirileceği konusunda çalışmalar yapmak önem arz etmektedir. İlerleyen bölümde Hololens ve Hololens'te yazılım geliştirme ortamı, daha sonraki bölümde ise coğrafi durum sergilemede kullanmaya yönelik işlevleri içeren uygulamalar anlatılmaktadır. Devam eden bölümde HAVELSAN'da geliştirilen bir coğrafi durum sergileme uygulaması prototipi anlatılmakta ve son bölümde bir değerlendirme yapılmaktadır.

2. HOLOLENS VE YAZILIM GELİŞTİRME ORTAMI

Hololens temel olarak bir akıllı gözlük olup kablosuz olarak çalışabilen Windows 10 işletim sistemli bir bilgisayar olarak nitelendirilebilir [12]. Cihaz donanımsal olarak holografik görüntü sağlayan lensler, ivmeölçer, pusula ve jiroskop algılayıcıları, 4 adet kamera (2 MP ve HD video), 4 adet mikrofon, ışık sensörü, bir adet HPU (Holographic Processing Unit), 2 GB RAM, 64 GB depolama, harici hoparlör, 3.5 mm ses çıkışı, Wi-fi 802.11ac, Bluetooth 4.1 LE, Micro-USB 2.0 içermektedir. Aktif kullanımda 2-3 saatlik ve bekleme durumunda 2 haftalık pil ömrü sunmakta, pasif soğutma içermektedir [13].

Gözlük çalışma prensibi olarak gerçek dünyanın üzerine hologramları yerleştirmektedir. Dolayısı ile cihazda herhangi bir şey gösterilmiyorsa dış dünya saydam bir gözlükle bakılıyormuş gibi algılanmaktadır.

Gerçek dünyadaki nesnelere göreceli olarak hologramları yerleştirmek ve kamera hareketleri olması durumunda hologramların bozulmamaları için cihazda yer alan kamera, kızılötesi görüşü, pusula, jiroskop, ve ivmeölçer kullanılmaktadır. Tüm bu algılayıcılar ile gözlüğün bulunduğu ortam içerisinde nerede olduğu ve kafa hareketlerine göre hologramların nerede nasıl konumlandırılacağı hesaplanmaktadır. Hologramları görselleştirmek için HPU (Holographic Processing Unit) işlemcisi vasıtası ile sensör verileri işlenebilir parçalara bölünmekte ve GPU (Graphical Processing Unit) ve CPU (Central Processing Unit) birimlerine aktarılmaktadır. Son olarak ses tanıma ve işleme için ses girdilerinin alınmasına imkan sağlayan mikrofon ve üç boyutlu ses üreten hoparlör vasıtası ile artırılmış gerçeklik üretmeye katkı sağlanmaktadır.

Hololens'te uygulama geliştirmek için bir geliştirme ortamı kurulması gerekmektedir [14]. Derleme ve cihaza yükleme için Visual Studio 2015, cihaz yerine bilgisayarda emülatör çalıştırmak için Hololens Emulator, uygulama tasarlamak için Unity 5.5 ve artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmek için yardımcı olarak Vuforia kütüphanesi kurulması önerilmektedir. Unity farklı platformlar için ortak tasarım sağlayan bir oyun motoru ve tasarım aracı olup içerisinde kamera, sahne, sahne öğeleri, materyaller ve kod kullanılarak hiyerarşik bir yapı içerisinde bir tasarım yapmak mümkündür. Basit uygulamalardan karmaşık uygulamalara doğru geçen çeşitli örnek uygulamalar internette bulunmaktadır [15].

3. DURUM SERGİLEME İLE İLİŞKİLİ HOLOLENS UYGULAMALARI

HoloMaps uygulaması [16], Google Earth[17] benzeri masaüstü üç boyutlu harita uygulamalarının Hololens'te karşılığı olarak değerlendirilebilecek bir uygulamadır. Bu uygulama ile kullanıcı dairesel bir görüş alanını istediği bir yere yerleştirir. Bu görüş alanının büyüklüğü ve konumu göz ışını (gaze), çift parmak (air tap gesture) jesti ve düğmeler vasıtası ile değiştirilebilir. Görüş alanı içerisinde yer alan üç boyutlu bir şehir modeli üzerinde yakınlaştırma, uzaklaştırma ve gezinme işlevleri gerçekleştirilebilir. Yakınlaştırma ve uzaklaştırma için düğmeler, gezinme için çift parmak ve göz ışını kullanılmaktadır.



Şekil 3. HoloMaps, HoloFlight, HoloTerrain

HoloFlight ise [18] prototip bir hava trafik kontrol uygulamasıdır. Bu uygulamada bir kabartma harita üzerinde daha önce rotaları kaydedilmiş uçaklar gösterilmekte ve bu uçakların uçuş bilgilerine göz ışını ve çift parmak jesti ile ulaşılabilir. HoloFlight'da, HoloMaps'ten farklı olarak harita bölgesinde büyütme, küçültme ve kaydırma işlevleri yapılamamaktadır. Bununla birlikte uçakların arkalarında bıraktıkları iz ile birlikte hareketi ve kabartma harita üzerindeki yer kontrol istasyonu modelleri etkileyici bir görüntü oluşturmaktadır. Ayrıca seçili uçağın bilgisini ve bölgedeki uçuşların bilgisini gösteren kullanıcı arayüzlerinin kullanımı kolay ve kullanışlıdır.

HoloTerrain uygulaması [19] üç boyutlu olarak çeşitli coğrafi bölgelerin hologram görüntüsünü oluşturmaktadır. Harita üzerinde düğmeler vasıtası ile yakınlaştırma, büyütme ve küçültme işlemleri gerçekleştirilmektedir. Durum sergilemeye ilişkin HoloTerrain özelliklerine benzer fonksiyonlar içeren HoloGIS [20], Walk the World [21] uygulamaları da mevcut bulunmaktadır.

4. HOLOLENS UYGULAMA GELİŞTİRME DENEYİMİ

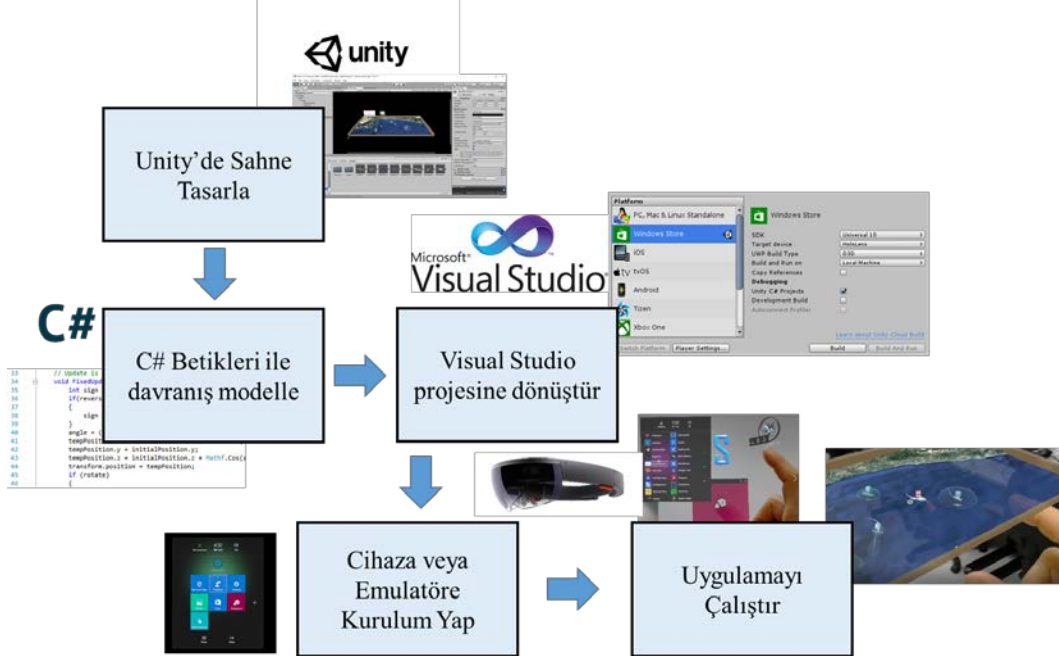
Hololens'i incelemek ve uygulama geliştirme deneyimi kazanmak için prototip olarak kabartma bir harita üzerinde üç boyutlu modellerin bir simülasyonla hareket ettirildiği bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulama geliştirebilmek için Unity 5.5.1 versiyonu ve Visual Studio 2015 versiyonu kurulmuştur. Hololens için geliştirilen uygulamaları cihaz olmadan da Hololens Emulator'de deneme imkanı bulunmaktadır. Hololens'e yükleme yapabilmek için bir USB kablosu veya Wi-Fi ile cihaza bağlantı kurulup yükleme yapmak gerekmektedir.



Şekil 4. Hololens prototip uygulaması

Geliştirilen uygulamada işlevsel olarak uygulamanın başlatıldığı konumdan belirli bir yükseklikte ve uzaklıkta yer alan masa benzeri bir sahne üzerinde Antalya bölgesinin bir kabartma haritası oluşturulmaktadır. Bu kabartma harita sahnesi üzerinde dairesel bir şekilde hareket eden gemi, uçak ve helikopter modelleri ile bu uçak modellerinin askeri sembolleri görüntülenmektedir. Ayrıca bazı modellerde radar görüş alanını modelleyen hacimsel bir şekil gösterilmektedir. Kullanıcı harita altlığını holografik bir düğme kullanıcı arayüzü ile değiştirebilmekte, odaklanarak çift parmak jesti ile bir modeli seçmesi durumunda ise modelin daha büyük gösterilmesi sağlanmaktadır.

Geliştirilen bu uygulama coğrafi durum sergilemede bulunan temel öğelerden harita gösterimi, iz gösterimi, iz seçimi, semboloji gösterimi ve basit bir kullanıcı arayüzü ile harita katmanını değişimi işlevlerini gerçekleştirmektedir.



Şekil 5. Hololens'te uygulama geliştirme süreci

Sahne tasarım aracında çeşitli sahne öğeleri hiyerarşik bir yapıda tanımlanmaktadır. Bu yapı içerisinde kamera, üç boyutlu modeller, arazi, materyaller, ve ışık öğeleri ve programlama kodu yer alır. Öğelerin özellikleri Unity'nin sağladığı kullanıcı arayüzleri

vasıtası ile özelleştirilir ve kullanıcı etkileşimi sonucu istenen davranış kodlamalar vasıtası ile sahneye yansıtılır. Unity’de hazırlanan sahne inşa arayüzü vasıtası ile Hololens’te kurulum yapılmak üzere bir Visual Studio projesine dönüştürülür. Daha sonra Visual Studio üzerinden cihaza kurulum yapılır. Cihazda uygulamayı çalıştırmak için Hololens’in uygulama seçici arayüzü kullanılarak uygulama başlatılır.

Böylesi bir uygulamayı geliştirme sürecinde gerekli geliştirme ortamının kurulması internet bağlantılı bir bilgisayar üzerinde olmak durumundadır. Gerekli yazılım geliştirme ortamı kurulduktan sonra ise kısa bir öğrenme aşamasından sonra Unity’nin sağladığı sahne tasarım aracı ile birlikte basit C# kodu yazılarak 2-3 hafta gibi bir süre içerisinde uygulama geliştirilebilmiştir.

Bu çalışmaya konu olan Hololens prototip uygulaması ile eşzamanlı olarak HAVELSAN bünyesinde çok kullanıcı destekli ve komuta kontrol işlevlerini daha geniş kapsamlı olarak içeren bir coğrafi durum sergileme uygulaması daha geliştirilmiştir. Bu uygulamanın ilk sürümü IDEF 2017 Uluslararası Savunma Sanayi Fuarı katılımcılarının yoğun ilgisini ve beğenisini kazanmıştır. Yeni sürümü geliştirilmeye devam eden bu uygulamanın ayrıntıları bu çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır.

5. SONUÇ

Hololens’in avantajları; yeni bir teknoloji olması, iyi kalitede bir donanım sunması, Windows işletim sistemi veya cep telefonu teknolojisi gibi kısa sürede yaygın bir kullanım alanı bulabilecek olması potansiyeli, holografik görüntü deneyiminin etkileyciliği, harici bir bilgisayar gerektirmeden tek başına çalışabilir olması, gözlüğün kullanımının ergonomik olması ve 2019 yılından sonra çıkacak sürümün [22] daha gelişmiş özelliklere ve daha iyi bir tasarıma sahip olacağı öngörüsü olarak sıralanabilir.

Bununla birlikte cihazın her yeni teknolojiye olduğu gibi popülerliğini kaybetme riski taşıması, fiyatının yüksek olması (3000 \$), GPS bulundurmaması, dış mekan kullanımına uygun olmaması, pil ömrünün kısa olması, görüş açısının küçük olması, jest ile seçim yapmanın çok kolay olmaması, Windows Store’da yer alan uygulamaların kodlarına erişimin mümkün olmaması dezavantajları bulunmaktadır.

Geliştirme ortamının .NET ve işletim sisteminin Windows olması sağlanan geliştirme araçlarının olgunluğu nedeni ile avantaj, Windows dışında geliştirme ve çalışma desteklenmediği için ise dezavantaj olarak değerlendirilebilir.

Hololens ile etkileşim yöntemi göz ışını, çift parmak jesti ve ses’ten oluşmaktadır. Bununla birlikte bir durum sergileme uygulamasında yer alan hareketli modellerin işaretlenmesi göz ışını ve çift parmak jesti ile fare kullanımına göre daha zor olmaktadır. Bu nedenle işaretlemeyi kolaylaştırmak için modellerin seçim alanlarının büyük tasarlanması gerekmektedir. Haritaya yaklaşma ve haritayı kaydırma işlemleri

de oldukça zahmetli olmakta ve yakınlaştırma/kaydırma işlemleri için kullanışlı bir yöntem bulunmamaktadır.

Askeri ve sivil alanda önümüzdeki yıllarda coğrafi durum sergileme Hololens uygulamalarının kullanımına yönelik projeler olacağı öngörülmektedir. Bu kapsamda Hololens'te coğrafi durum uygulama geliştirilmesi için çalışmalar yapmak önem arz etmektedir. Hololens'te harita gösterimi, haritada gezinme işlemleri, iz gösterimi, sensör bilgileri gösterimi, seçim işlemleri, çizim ve düzenleme işlemleri ile kullanıcı arayüzleri için bir altyapı oluşturulması tekrar kullanılabilirlik ve coğrafi durum sergileme işlevleri içeren alan uygulamalarının geliştirme maliyetlerini düşürme açısından gereklidir.

6. KAYNAKÇA

- [1] HAVELSAN, Surface Platforms Combat Systems, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://www.havelsan.com.tr/ENG/Main/urun/990/surface-platforms-combat-systems>
- [2] Thales, TACTICOS, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, https://www.thalesgroup.com/sites/default/files/asset/document/thales_tacticos.pdf
- [3] Lockheed Martin, Combat Management System, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://www.lockheedmartin.ca/ca/what-we-do/aerospace-defence/naval-systems/combat-management-system.html>
- [4] Saab, 9LV CMS Combat Management System, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://saab.com/naval/decision-superiority/combat-management-systems/9LV-CMS/>
- [5] Feibush, E., Gagvani, N., Williams, D., (2001) Visualization for Situational Awareness, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Volume 20; Issue 5, s38-45, California, USA
- [6] Rolf A. de By, Principles of Geographic Information Systems, An Introductory Textbook, *ITC Educational Textbook Series 1*, 2nd Edition, Enschede, Hollanda
- [7] Savunma ve Havacılık Milgem Özel Sayısı, (2011), Monch Türkiye Yayıncılık, Ankara, Türkiye
- [8] NATO, (2008), Joint Symbology APP-6 (B)
- [9] Microsoft, Hololens Tanıtım Sayfası, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [10] Dean, M., (26 Kasım 2016), Here are the best HoloLens apps available in the Windows Store, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://windowsreport.com/microsoft-hololens-apps/>
- [11] Tandulwadikar, A. (2016), Disrupting Reality: Taking Virtual & Augmented Reality to the Enterprise, *Cognizant Reports*, New Jersey, USA
- [12] Singh, R., Singh, P., (2016), Hololens - The Technology Beyond Imagination, *International Journal for Scientific Research & Development* Vol. 3, Issue 12
- [13] Digital Living, Microsoft Hololens, (2016), Not Just Another VR Headset, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://verleih.fhstp.ac.at/upload/58454583727f4.pdf>
- [14] Microsoft, Install the Tools, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/install-the-tools>

- [15] Microsoft, Hologram 100, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, https://developer.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/holograms_100
- [16] Parish, K., (2016), HoloMaps hits Microsoft's HoloLens headset with 3D maps and remote collaboration, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/microsoft-hololens-holomaps-bing-3d-store-edition/>
- [17] Google Earth, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.google.com/intl/tr/earth/>
- [18] Dachis, A., (2016), HoloFlight Turns Flight Data into Cool Mixed Reality Visualizations, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://hololens.reality.news/news/holoflight-turns-flight-data-into-cool-mixed-reality-visualizations-0173138/>
- [19] Microsoft Store, HoloTerrain, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/holoterrain/9mwkd575dqq3>
- [20] Microsoft Store, Holo GIS, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/holo-gis/9phnm1bwb1bd#>
- [21] Microsoft Store, Walt the World, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, <https://www.microsoft.com/en-us/store/p/walk-the-world/9p6svqqcp2sq>
- [22] Ghoshal A., Microsoft is reportedly gearing up to launch HoloLens v3 in 2019, Erişim tarihi 29 Ağustos 2017, https://thenextweb.com/microsoft/2017/02/20/microsoft-is-reportedly-gearing-up-to-launch-hololens-v3-in-2019/#.tnw_HkOmeWSx

SANAL GERÇEKLİK ÇATIŞMA SİMÜLATÖRÜ

Ali Tekin ^(a), Güvenç Şahin ^(b), Başar Kasım ^(a)

^(a) Havelsan A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi 2120 Cd No:39 06510 Çankaya ANKARA,
{atekin, bkasim}@havelsan.com.tr

^(b) Vector Games, Bosna Hersek Cd 35/2 Emek Ankara, guvenc@vector-games.com

ÖZ

Sanal gerçeklik çatışma simülatorü çalışmasında, meskun mahallerde çatışma eğitimi amacıyla geliştirilmiş bulunan VR (İng. Virtual Reality – Sanal Gerçeklik) teknolojisi destekli bir simülator sistemi anlatılmaktadır. Geliştirilen çatışma simülatoründe eğitim alacak personel (1 ya da 1den fazla) 5x5 m2'lik bir alan içerisinde serbest olarak dolaşabilmektedir. Eğitilen kitlenin (ing. training audience) kablo bağımlılığından kaynaklanacak hareket kısıtlarının önüne geçebilmek için sırt çantalı bir bilgisayar çözümü de ortaya konulmuştur. Çalışmada karşılaşılan en büyük zorluklardan biri olan silah kullanımı ve konumunun takibi ise günümüz modern hareket yakalama sistemi (HTC Vive) ile beraber kullanılan kurum içi geliştirilmiş bir tetik algılayıcı donanım sayesinde aşılmıştır. HTV Vive hem kurulum, hem kolay kullanım, hem de maliyet etkin bir çözüm olarak bulunduğu için seçilmiştir. Replika silah modeli üzerine yerleştirilen hareket algılayıcı sayesinde silahın 3 boyutlu uzaydaki hareketlerini takip etmek ve kullanıcıya göre pozisyonunu 2mm [<https://www.vive.com/>] hassasiyetinde eşleştirebilmek mümkün olmuştur. Oyuncu hareketlerinin son derece hassas bir şekilde takip edilip sisteme aktarılabilirdiği, oyuncunun silah ile etkileşiminin son derece yüksek kabiliyet ile sergilenebildiği ve atış hassasiyetinin yüksek seviyede olduğu bir sistem oluşturulmuştur. Bunlara ek olarak, geliştirilen 3 boyutlu oyun sahnesinin yüksek seviyede detaylı olması sayesinde eğitilen kitlenin kendilerini bu sahne içerisinde hissettikleri ve yaşanan deneyimin üst seviyede olduğu dönüşleri alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balistik Simülasyonu, Ciddi Oyun, Çatışma Simülatorü, Meskun Mahal, Sanal Gerçeklik, Simülator, Virtual Reality, VR

VR CONFLICT SIMULATOR

ABSTRACT

In the study of virtual reality conflict simulator, VR (Virtual Reality) technology supported simulator system which is developed for conflict education in residential areas is explained. The personnel (1 or more) who will be trained in the developed conflict simulator can freely circulate within an area of 5x5 m². A backpack computer solution has also been introduced in order to avoid movement constraints caused by cable dependence of the training audience. One of the biggest challenges was the use of the weapon and taking both its position, and the trigger via the in-house developed sensor hardware, and integration of a modern motion capture system (HTC Vive). HTC Vive is selected due to both installation and use simplicity, and cost-effectiveness. Thanks to the motion sensor placed on the replica weapon model, it was possible to follow the movements of the weapon in the 3D space and match the position according to the user with a sensitivity of 2mm [<https://www.vive.com/>]. A system has been established in which the player's movements can be tracked and transferred to the system in a highly precise manner, the trainee's interaction with the weapon can be displayed with extremely high capability and the shot accuracy is at a high level. In addition to this, thanks to the high-level detailing of the developed 3D game scene, the trainees have stated that they felt themselves in this scene and experienced near reality.

Keywords: Ballistic Simulation, Conflict Simulator, Residential District, Serious Game, Simulator, Virtual Reality, VR

1. GİRİŞ

Günümüz teknoloji ve koşullarında gayrinizami harp ve meskun mahallerde çatışma konuları git gide daha da önemli bir hal almaktadır. Özellikle meskun mahallerde gerçekleşen çatışmalarda personel kayıplarının azaltılması, personelin aldığı eğitim ve deneyimi ile orantılı olarak değişim göstermektedir. Meskun mahallerde özellikle çeşitli sivil hedeflerin sık olarak bulunması, tuzaklama ve el yapımı patlayıcı (eyp). gibi çeşitli tehditlerin önüne geçilebilmesi için personelin bu koşulları daha önceden deneyimlemesi ve personelin doğrudan eğitileceği bir simülasyon ortamı sağlanması avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada, günümüzde yaygınlığı giderek artmakta olan VR teknolojisi kullanılarak tasarlanmış olan sanal ortam, eğitilenlerin mümkün olan en serbest koşullar içerisinde eğitime dahil olmasına izin vermektedir.

2. SİSTEM TASARIMI

Simülâtörün sahip olması gereken özellikler ve kullanacağı teknolojik ihtiyaçları karşılamak için bir oyun motoru kullanılmıştır. Bu amaçla, özellikle VR gözlükler ile çalışması konusundaki başarısı, görsellik ve fizik hesaplama kalitesinin yüksek olması, dünya çapında büyük ve kaliteli bir geliştirici kitlesine sahip olması, görsel programlama(İng. Visual Scripting) araçlarının olması gibi özellikleri nedeni ile Unreal Engine 4 [5] seçilmiştir.

Çalışmada oluşturulacak simülâtör için öncelikle Meskun Mahal ortamında karşılaşılabilecek çeşitli engeller ve tehditler belirlenmiştir. Bu engel ve tehditler iki ayrı kapsam altında incelenmelidir.



Şekil 1 Örnek Sahne Tasarımı



Şekil 2 Örnek Sahne Tasarımı

2.1. Sivil Hedefler

Meskun mahallerde yapılan karşılaşmalarda özellikle bu ortamlarda bulunan hedeflerin sivil olup olmadığını belirlemek ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Saldırganlar tarafından zorla tutulan siviller, ortamda bulunan ve bölgede yaşayan siviller, v.b. şekillerde sivil hedeflere zarar vermeden saldırganları etkisiz hale getirmek temel amaçtır. Buna ek olarak sivil gibi davranan saldırganların da tespit edilip etkisiz hale getirilmesi gerekmektedir.

Tüm bu unsurları simülasyon ortamına aktarmak için benzer senaryolarda farklı davranışlar sergileyen AI (yapay zeka) yeteneğine sahip karakterler oluşturulmuştur. Bu sayede sivil hedefler ve sivil gibi davranan saldırganların davranışları ile ilgili farkındalık yaratmak mümkün olmuştur.

2.2. Tuzak ve EYP'ler

Meskun mahallerde yapılan karşılaşmalarda çeşitli tuzaklar ve EYP gibi tehditler personelin farkındalığı ve deneyimi ile engellenebilecek ve hasarı azaltabilecek unsurlardır. Bu konuda geçmişte yaşanan olaylar araştırılmış ve benzer ortamlarda karşılaşılmış durumlar incelenmiştir. Bu incelemeler sonunda elde edilen veriler ışığında çeşitli tuzaklar, EYP tipleri ve tehditler belirlenmiş ve modellenerek simülasyona eklenmiştir.

Engel ve tehditlerin tasarımından sonra AI düşmanların oluşturulması ve sisteme eklenmesi aşamalarına geçilmiştir. Bu kapsamda belirli hedeflere yönelik olarak çalışan bir düşman AI yapısı oluşturulmuştur. Unreal Engine 4'de bulunan davranış ağaçları (İng. behavior tree) aracılığı ile düşmanlara çeşitli davranış seçenekleri verilmiş ve

farklı koşullar için farklı şekillerde davranmaları sağlanmıştır. Bu sayede meskun mahal ortamında bir düşmandan beklenebilecek tüm tehditleri oluşturmak ve sisteme eklemek mümkün olmaktadır.

AI düşmanlar da simülátöre eklendikten sonra eğitim simülátörü için ortam tasarımı mahalle, bina içi, alışveriş merkezi gibi çeşitli genel alanlar oluşturulmuştur. Bu alanlar için birer ön tanımlı senaryo oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan Meskun Mahal sahnesi içerisine belirlenen bu engel ve tehditler çeşitli formasyonlarda yerleştirilmiştir. Bu yerleştirilme belirli kurallar dahilinde rastgele dağılım uygulayacak şekilde belirlenmiştir. Bu sayede eğitim alacak personel her durumda yeniden aynı engellerle karşılaşmak yerine çeşitli varyasyonlar ile daha önceden karşılaşmadığı farklı durumlar ile karşılaşmaktadır. Örnek sahne tasarımı Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

3. VR UYGULAMASI

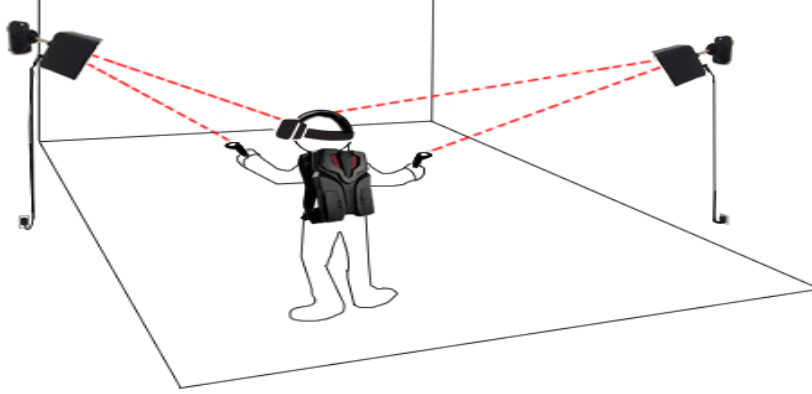
3.1. VR Kullanımı

Çalışmada kullanılmak üzere HTC'nin Vive VR teknolojisi seçilmiştir. Bu donanımın seçilme nedeni yüksek çözünürlüklü görüntü çıktısı vermesi, hareket takibi konusundaki başarısı ve cihaz ile birlikte ön tanımlı olarak gelen hareket denetleyici/yakalıyıcı (İng. motion controller) cihazlarının çalışma hassasiyetidir. Şekil 3’te sistemin ana bileşenleri verilmiştir.



Şekil 3. HTC VIVE Donanım Seti [4]

Unreal Engine 4 oyun motoru, HTC Vive donanımı ile doğrudan çalışabilmektedir. Bu nedenle asıl odaklanılması gereken konu personelin kullandığı silah(tüfek) modelini gerçekçi bir şekilde sanal dünyaya aktarmaktır. Şekil 4'te HTC Vive donanımının kullanımı gösterilmiştir

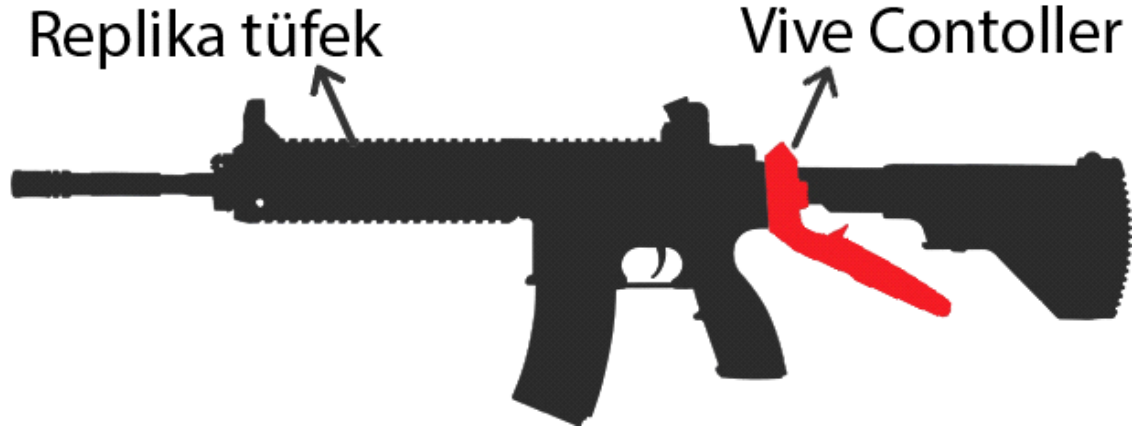


Şekil 4. HTC VIVE Donanım Kullanımı

Bu konuda çalışmada yapılmış olan yaklaşım, HTC Vive ile birlikte gelen motion kontrolör donanımlarının (Şekil 5) takip edilerek Unreal Engine 4 Blueprint™ [5] içerisine aktarılmasıdır. Replika tüfek (Şekil 6) üzerine yerleştirilen motion controller sayesinde simülasyon ortamında bulunan tüfek modeli ile oyuncunun elinde tuttuğu gerçek(replika) tüfek modelinin pozisyon ve açılarının eşleştirilmesi mümkün olmaktadır.



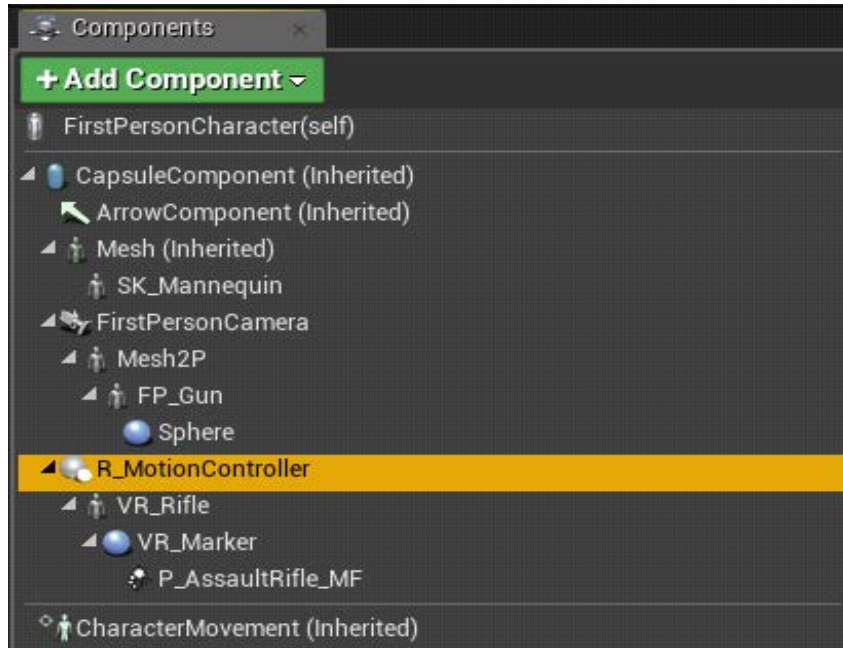
Şekil 5. HTC VIVE Kontrolörleri [4]



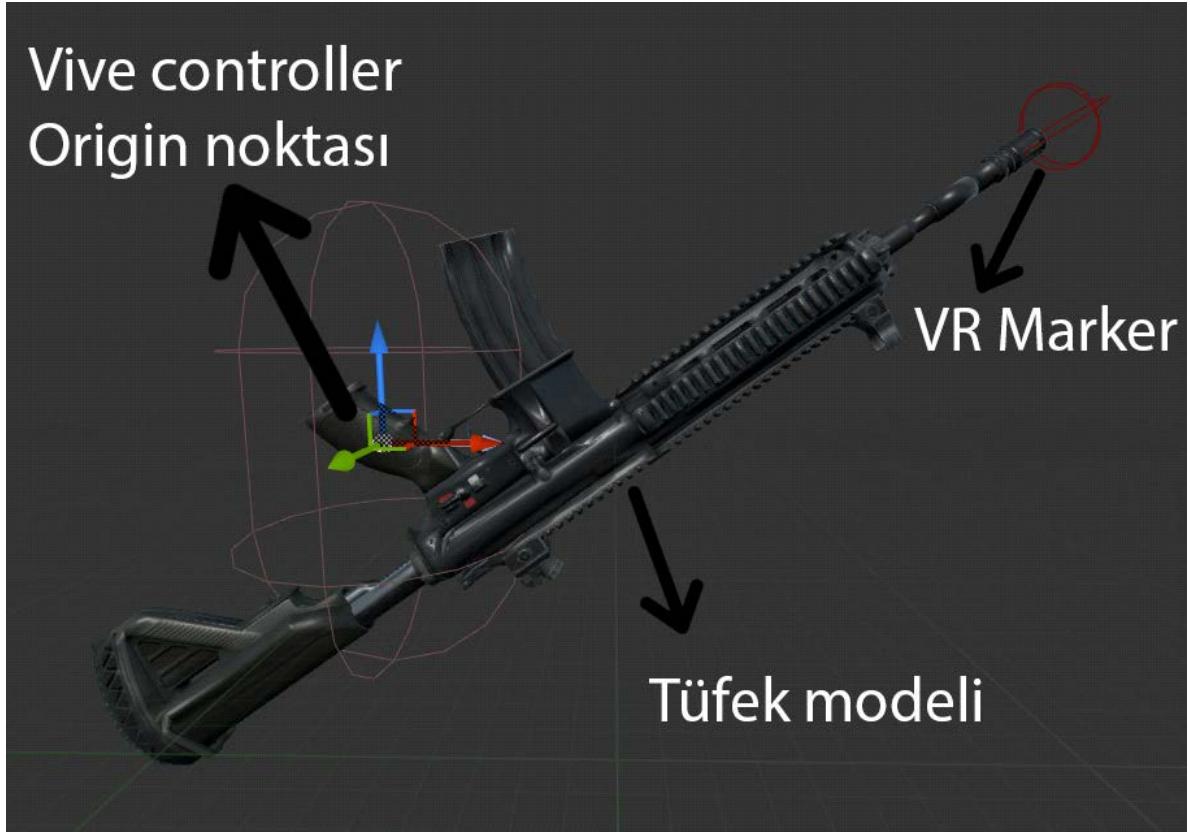
Şekil 6. HTC VIVE Kontrolör ve Replika Tüfek

3.2. Kontrolör Verilerinin Oyun Motoruna Aktarımı

HTC Vive ile birlikte gelen controllerlar Unreal Engine 4 oyun motorunda doğrudan tanımlıdır. Bu nedenle pozisyon ve rotasyon verilerini alarak oyunda kullanılan silah modeli ile ilişkilendirmek amacı ile oluşturulan Character Class'ına bağlı Unreal Blueprint™ [5] içerisinde bağlantı (Şekil 7 ve Şekil 8) yapılmıştır.



Şekil 7. HTC VIVE Kontrolör ve Oyun Motoru Yazılım Entegrasyonu



Şekil 8. HTC VIVE Kontrolör ve Replika Tüfek Fiziksel Entegrasyonu

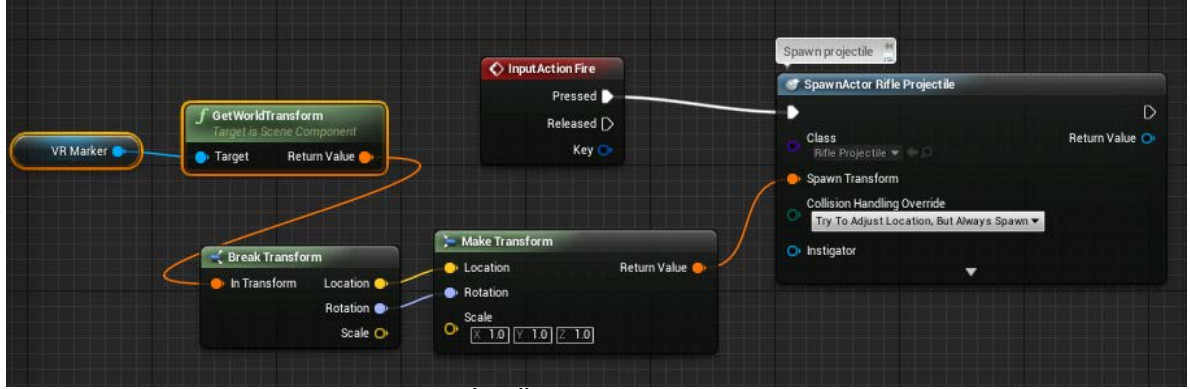
Unreal Blueprint™ Bileşenleri (ing Components) içerisinde Hareket Kontrolörünün (ing Motion Controller) altına yerleştirilen tüfek modeli, Hareket Kontrolörünün hareketlerini izleyecektir. Aynı yapı içerisinde tüfek modelinin namlusunun ucuna gelecek şekilde yerleştirilen VR izcisi (VR_Marker) tüfek modelini izleyecektir.

Bu noktada oyuncunun gerçek hayatta elinde tuttuğu tüfek ile oyun uzayında bulunan tüfek pozisyon ve rotasyon değerleri açısından eşleşmiş durumdadır. Tüfeğin 3 boyutlu uzayda eşlenmesinden sonra tüfek tetiğinden alınacak olan tetik durumunun oyun içerisine aktarılması gerekmektedir. Bu konuda, özel bir donanım üretilerek tetik girdiklerini UDP paketleri halinde Unreal Engine 4 oyun motoruna aktarmak gibi çeşitli yaklaşımlar üretilebilir. Ancak çalışmada hem hızlı prototipleştirme açısından daha kullanışlı olması hem de 3. parti donanım ve yazılımlara ihtiyaç duyulmaması için kablosuz bir fare parçalanarak tüfek içerisinde bulunan tetik mekanizmasına bağlanmıştır. Bu yöntem sayesinde oyun içerisinde atış işlevini gerçekleştirmek için sol fare butonunu dinlemek yeterli olmuştur.

3.3. Mermi İzi Oluşturmak

Hedefleme ve tetik işlemlerinin oluşturulmasından sonra atış için gerekli olan son parça mermi izi üretme işlemine gelinmiştir. Tüfek namlusunu izleyen VR_Marker objesi oluşturulacak olan mermi izi için ortaya çıkma (spawn) noktası olarak kullanılacaktır.

Bu sayede tetikten alınan girdi ile VR_Marker objesinin dönüşüm (ing transform) değerlerinde bir mermi izi (Şekil 9) üretmek mümkün olmaktadır.



Şekil 9. Mermi İzi Üretimi Blueprint™ Şeması

4. BENZER DİĞER SİSTEMLER

Literatürde benzer çalışmalara rastlanılmış olup bir örneği [6, 7] sayfa 270-272’de yer alan NPSNet-IV olup NPS, SRC, The Army Research Lab, The Simulation, Training, and Instrumentation Command (STRICOM), ve Hughes Research ortak yapımıdır. Sistem yürüyüş bandı, arkadan asılı kablolar, çeşitli televizyon sistemleri, çeşitli bilgisayar sistemleri ve enstrümente replika bir silahtan oluşmaktadır. Bizim önerdiğimiz sisteme göre daha az kullanışlı olup (kablo karmaşıklığı, yürüyüş bandı momentumundan kaynaklanan hareket kısıtları v.b.) ve yürü, aynı anda sadece bir kişiyi desteklemektedir.



Şekil 10 NPSNet-IV [7]

Diğer bir sistem ise Motionanalysis [8] firması tarafından geliştirilmiştir. Bu sistemde kullanıcı üzerine işaretleyiciler yerleştirilmekte olup kameralar işaretleri takip ederek iskelet sistemini oluşturmaktadır. Test edilen bu sistemin en büyük zayıflığı kullanıcı üzerinde yer alan işaretlerin 5-10cm dahi olsa üzerinde kaydıgında ya da işaretler başka bir kullanıcıya takıldığında iskelet sistemi kalibrasyonunun bozulması, ve kalibrasyon işleminin uzun sürmesidir. Bir diğer dezavantajı da aynı sahada birden fazla kişi

bulunduğunda işaretlerin kameralar tarafından görülememesi durumunda sonuç üretemememesidir. Bu sistemin avantajı kamera sayısının artırılarak daha büyük alanlarda kullanılabilmesidir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada oluşturulan simülasyon sayesinde personelin meskun mahallerde gerçekleşen çatışmalarda karşılaşılabileceği bir çok engel ve tehdit sanal olarak oluşturulmuş ve eğitim amacı ile uygulanmıştır. Bu sayede personelin farkındalığı, deneyim ve bilgi düzeyi artırılabilir. Sistem aynı odada birden fazla kullanıcıyı desteklemekte ve benzeri başka odalar kullanılarak bunları bir ağ üzerinden birbirleri ile etkileşimine izin vermektedir.

Yapılan çalışma sonucunda oluşturulan raporlama sistemi sayesinde eğitmenler personelin yaptığı hataları inceleme şansına sahip olmaktadır. Aynı zamanda senaryoyu yeniden oynatarak istenilen noktalara odaklanılabilir ve personele yaptığı hatalar ile ilgili uyarılarda bulunulabilir.

Ortaya çıkarılan ürünün canlı simülasyon ilkeleri üzerinde inşa edilen canlı çatışma tatbikat merkezleri'nde eğitilenlerin hareketlerinin ve silahla angajmanlarının izlenmesi amaçlarıyla kullanımı mümkündür.

İleriye dönük olarak sistemin kapsadığı alanın genişletilmesi, insan iskeletinin yakalanması ve sırt bilgisayarı yerine görüntü aktarımın kablosuz olarak aktarılması hedeflenmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Soldiers In Cities: Military Operations On Urban Terrain, Michael C. Desch, 2001
- [2] Combined Arms Operations In Urban Terrain, Headquarters Department Of The Army, 2002
- [3] A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture, Thomas B. Moeslund. Author links open the author workspace.Erik Granum, 2001
- [4] <https://www.vive.com/>
- [5] <https://www.unrealengine.com>
- [6] Developing Virtual Reality Applications: Foundations of Effective Design, Alan B. Craig, William R. Sherman. Jeffrey D. Will
- [7] The Naval Postgraduate School's Moves Curriculum, Michael Zyda, and Rudolp P., 1998, <http://gamepipe.usc.edu/zyda/resources/pubs/IEEECGA98.pdf>
- [8] <https://www.motionanalysis.com>

SANAL GERÇEKLİK VE ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TEKNOLOJİLERİNİN KORKU VE HEYECAN İLE BAŞETMEDE KULLANIMI: LİTERATÜR İNCELEMESİ

Özlem Albayrak ^(a), Duygu Albayrak ^(b)

^(a) MEBİTECH, ODTÜ Teknokent Uzay Çağı Cad. 1308 Sokak No:6 Kat:-2
Yenimahalle ANKARA, ozlem.albayrak@mebitech.com

^(b) Bilkent Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojisi ve Bilişim Sistemleri C212 06800
Bilkent ANKARA, duygu@bilkent.edu.tr

ÖZ

Modelleme ve simülasyon teknolojilerinden sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin çok çeşitli uygulama alanı bulunmaktadır. Bu çalışmada sanal veya artırılmış gerçeklik uygulamalarının korku ve aşırı heyecanla başa çıkma alanında kullanılması hakkında 2012-2017 yılları arasında yayınlanan bilimsel çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalar çeşitli bilgi alanlarına göre derlenmiş ve belirlenen kriterlere göre değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, farklı korkularla başa çıkma ve heyecanları yenme konusunda eğitim için sanal gerçeklik uygulamalarının korku ve kaygıyla başetmede çoklukla etkili ve olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu çalışmada incelenen ve literatürde yer alan geçmiş araştırmaların tümünün detayları aynı seviyede değildir. Bu çalışma incelemesi yapılan araştırmaların sonuçlarını da derleyerek paylaşmaktadır. Çalışmada ayrıca sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının çeşitli korku ve heyecanların yenilmesi ile ilgili olarak gelecekteki olası kullanımları ile ilgili öngörülere de yer verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: artırılmış gerçeklik, korku ile başetme, sanal gerçeklik, sanal gerçeklik maruz kalma terapisi, VRET.

THE USE OF VIRTUAL REALITY AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES TO TREAT FEAR AND ANXIETY: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Being modeling and simulation technologies, virtual reality and augmented reality technologies have a wide range of application areas. In this study, scientific studies

published in between 2012 and 2017 have been examined about the use of virtual and/ or augmented reality applications in the field of fear and anxiety treatment. The studies examined were compiled according to various information fields and evaluated according to the identified criteria. As a result of the examinations made, it has been observed that virtual reality applications for training in dealing with different fears and overcoming anxiety gave effective and positive results in coping with fear and anxiety. The research details of the past investigations examined in this study are not at the same level. This study compiles the the results of previous research. The study also includes estimations on the potential future use of virtual reality and augmented reality practices in relation to various fear and anxiety issues.

Keywords: augmented reality, coping with fear, virtual reality, virtual reality exposure therapy, VRET.

1. GİRİŞ

Dünya çapında korku/ kaygı bozuklukları oldukça yaygındır [33]. Farklı nedenlerle (uçuş, sınav, kapalı alan, toplum önünde konuşma vb.) tetiklenen korku/ kaygı bozuklukları belirli düzeylerin üzerinde olduğunda kişilerin yaşam kaliteleri azalır, kişisel ve profesyonel hayatları olumsuz etkilenir.

Sanal gerçeklik veya artırılmış gerçeklik teknolojileri korku/ kaygı tedavisinde kullanılan çeşitli yöntemler arasındadır. Sanal gerçeklik teknolojisi kullanıcılara bilgisayar ortamında üç boyutlu bir ortamda var olma hissi verir. Artırılmış gerçeklik teknolojileri gerçek ortamı bilgisayarlardan alınan öğelerle zenginleştirir ve kullanıcı kendini gerçekte var olmayan ama varmış gibi görünen bir ortamın içinde deneyimleme fırsatı bulur. Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojileri, teknolojiye ileriye ve yaygınlaşmaya paralel olarak, korku/ kaygı tedavisinde artarak kullanılmaktadır.

Google Scholar (www.scholar.google.com, 3 Eylül 2017) başlıkta “VRET” ve “literature” ile 2012-2017 için kayıt dönmemektedir. Bu çalışmanın temel amacı sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin korku ve heyecanla başetme alanında kullanımı ile ilgili olarak güncel literatürde (2012-2017 yılları arasında, 2012 ve 2017 de dahil olmak üzere) yayınlanmış araştırmaların sistematik olarak incelenmesi, değerlendirilmesi ve derlenen sonuçların sunulmasıdır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde düzenlenmiştir: Yöntem başlıklı 2. bölüm çalışmanın gerçekleştirilmesinde izlenen yöntem, çalışmada yanıtları aranan araştırma soruları, çalışmada kullanılan süreç adımları, araştırma sonucu bulunan çalışmaların taramaya dahil edilme ya da dışarıda bırakılma kriterleri, kalite değerlendirmesi, veri toplama, veri analizi, protokolden sapmalar konularını sunar. Sonuçlar bölümü arama sonuçları ve çalışmalardan derlenen bilgileri içerir. Üçüncü

bölümde sanal ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı tedavisinde kullanımları hakkında çalışmada ulaşılan sonuçlar yer alır. 4. Tartışma bölümünde çalışma limitleri ve tartışma konuları yer almaktadır. 5. Sonuç ve Öneriler bölümü derlenen araştırma sonuçlarını sunar ve ileride yapılacak çalışmalara önerilerde bulunur.

2. YÖNTEM

Bir sistematik literatür taraması olan bu çalışmada izlenen yöntem temel olarak Kitchenham tarafından önerilen esaslara dayalıdır [14]. Çalışmanın organizasyonunda [3] yayınından yararlanılmıştır. Bu bölümün alt başlıklarında çalışmamız ile ilgili önemli parametrelerin açıklamaları sunulmaktadır.

2.1. Araştırma soruları

Çalışmada yanıtları aranan araştırma soruları aşağıda listelenmiştir. Belirtilen sorulara verilen yanıtlar güncel literatürde (2012 yılından bugüne) yayınlanmış çalışmalar içinde aranmıştır.

AS1:.. Sanal gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı tedavisinde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı nedir?

AS2:..Sanal gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı tedavisinde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların türleri nelerdir?

AS3:..Sanal gerçeklik teknolojileri ne tür korku/ kaygıların tedavisinde kullanılmıştır?

AS4:..Sanal gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı korku/ kaygı tedavi çalışmalarının sonuçları nelerdir?

AS5:..Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı tedavisinde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmalar nelerdir?

AS6:..Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı tedavisinde kullanılması ile ilgili yapılan çalışmaların türleri nelerdir?

AS7:..Artırılmış gerçeklik teknolojileri ne tür korku/ kaygıların tedavisinde kullanılmıştır?

AS8:..Artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanıldığı korku/ kaygı tedavi çalışmalarının sonuçları nelerdir?

2.2. Araştırma süreci

Bu çalışma [14] tarafından önerilen ve aşağıda listelenen aşamalar izlenerek gerçekleştirilmiştir:

1. Sistematik literatür taramasının gereğinin belirlenmesi
2. Araştırma sorularının oluşturulması

3. Daha önce yapılan çalışmaların tespit edilmesi için kapsamlı ve tüm bir araştırmanın yapılması
4. Dahil edilen çalışmaların değerlendirilmesi ve kaydedilmesi
5. Araştırma sonuçlarının yanıtlanması için gereken verinin sınıflandırılması ve derlenmesi
6. Dahil edilen her bir çalışmadan verinin çıkarılması
7. Çalışma sonuçlarının sentezlenmesi ve özetlenmesi
8. Sonuçların yorumlanması ve uygulanan bilirlirliklerinin araştırılması
9. Çalışma sonucunun yazılması

2.3. Dahil etme ve çalışma dışı bırakma kriterleri

Bu çalışmada kullanılan dahil etme kriteri “sorgu sonucu dönen yayınların tam metninin erişebilir” ve “kaynaklarda kullanılan dilin İngilizce” olmasıdır. Çalışma dışı bırakma kriteri “arama sonucunda dönüp dahil etme kriterlerine uygun olunmaması”dır. Ayrıca tekrar eden, birden fazla kaynak ve yoldan erişilen özdeş çalışmalardan biri hariç diğerleri çalışma dışı bırakma kriterine uygun olarak analiz kapsamına alınmamıştır.

2.4. Veri tabanları ve arama söz dizisi

Arama yapılan veritabanları: Web of Science SCI, SSCI, SCIE ve SSCIE indeksli dergilerde yayınlanan makale ve seçili konferans bildiri kitapçıklarında yayınlanan çalışmalardır.

Aramalarda kullanılan sorgu söz dizisi: ((“virtual reality” VE “anxiety”) OR (“virtual reality” VE “excitement”) OR (“virtual reality” VE “fear”)) VEYA ((“augmented reality” VE “anxiety”) OR (“augmented reality” VE “excitement”) OR (“augmented reality” VE “fear”)) OR “VRET”. Kapsam dahilinde mümkün olan en fazla kaynağa erişimin sağlanması amacıyla bildirilen sözler eşleştirilmiş ve arama sözcükleri başlıkta ve anahtar kelimelerde yeralan yayınlar için yapılmıştır.

Arama yalnızca 2012-2017 tarihleri arasında (2012 ve 2017 de dahil olmak üzere) yayınlanan çalışmaları kapsayacak şekilde sınırlandırılmıştır.

2.5. Veri toplama

Veri toplama sürecindeki arama önceki bölümlerde anlatılan yöntem, veritabanı, söz dizileri ve kriterler kullanılarak yapılmıştır. Arama sonucu dönen yayınların toplanması sürecinde veriler elle sorgulanmış, sorgu sonuçları sistematik olarak adlandırılan dizinlere kopyalanmıştır. Her iki yazar birbirine yakın ama farklı tarihlerde arama yapıp, daha sonra topladıkları pdf dosyalarını karşılaştırmıştır. Yazarlardan biri topladıkları yayınları Mendeley’de (www.mendeley.com) oluşturduğu dizinlere aktarmıştır.

2.6. Veri analizi

Veri analizi için iki adet araştırmacı (bu çalışmanın yazarları) bağımsız olarak yayın toplama aşamasında toplanan veri setinden birbirlerinin değerlendirmelerini görmeksizin veri toplamışlardır. Kodlaması bağımsız olarak yapılan ve rastgele seçilen 8 yayın pilot küme olarak ele alınmış, bu pilot kümede üzerinde iki araştırmacı ayrı ayrı yaptıkları kodlama ve veri toplama çalışmalarını birlikte değerlendirmiş, problem ve anlaşmazlıkları giderdikten sonra kalan diğer araştırmaları yine bağımsız olarak sürdürmüşlerdir. Kodlanma aşamasında MS Excel ve Libre Office yazılımları ile oluşturulan tablolar kullanılmıştır. Kullanılan tabloda bulunan alanlar: Yazarlar, Yıl, Tür (Literatür taraması, deneysel çalışma, vaka, diğer), Araştırma Yöntemi (nicel, nitel, karışık, Teknoloji (VR, AR, karışık), İncelenen Korku Ögesi (uçuş, kapalı alan, yükseklik, örümcek, vb.), Varsa Örneklem Sayısı, Sonuç-Özet, Kalite Sınıfı, Kodlayan Kişi Yorumu. Ayrıca Mendeley’de bulunan yayınlara ilgili etiketler atanmıştır.

3. SONUÇLAR

3.1. Arama sonuçları

Sistematiik literatür taraması yayın arama çalışmalarımız sonucunda toplam 49 yayın dönmüştür. Bu yayınlar arasında kriterlere uymayanlar ve yinelenenler çıkarılmış, ve toplam 40 adet yayın bu çalışmada incelenmiştir. Kodlama tablolarına erişmek isteyen okuyucular istek amaçlarını içeren bir notu yazarlara e-posta göndererek istekte bulunmaları durumunda, istekte bulunan okuyucuların arama sonrası dönen ve çalışmaya dahil edilen yayın listesine ve veri analizi/ kodlama yapılan tablolara erişimleri sağlanacaktır.

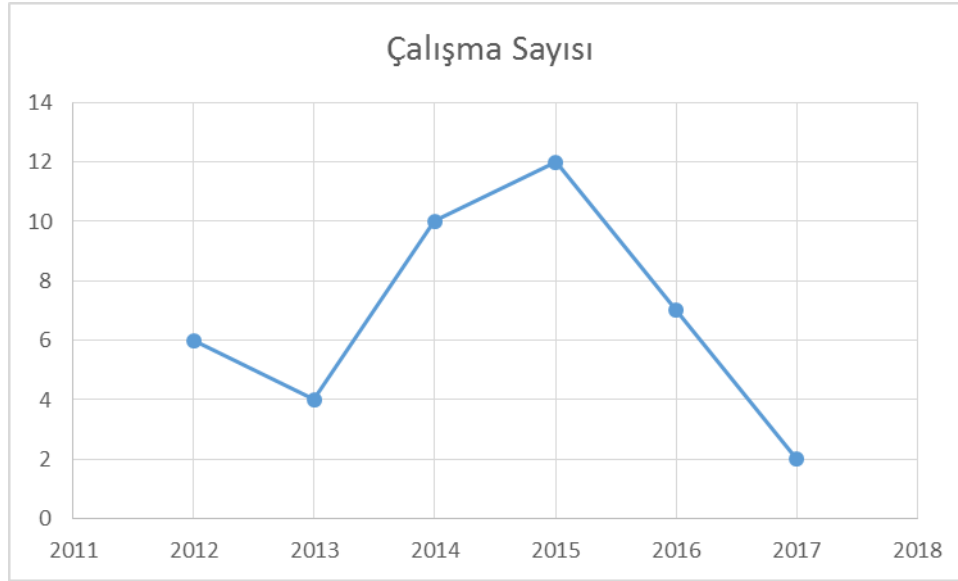
4. TARTIŞMA

Bu bölümde çalışmanın araştırma soruları incelenen kaynaklardan derlenen veriler kullanılarak yanıtlanmaktadır.

AS1:2012-2017 yılları arasında konuyla ilgili en fazla yayın 2015 yılında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 1).

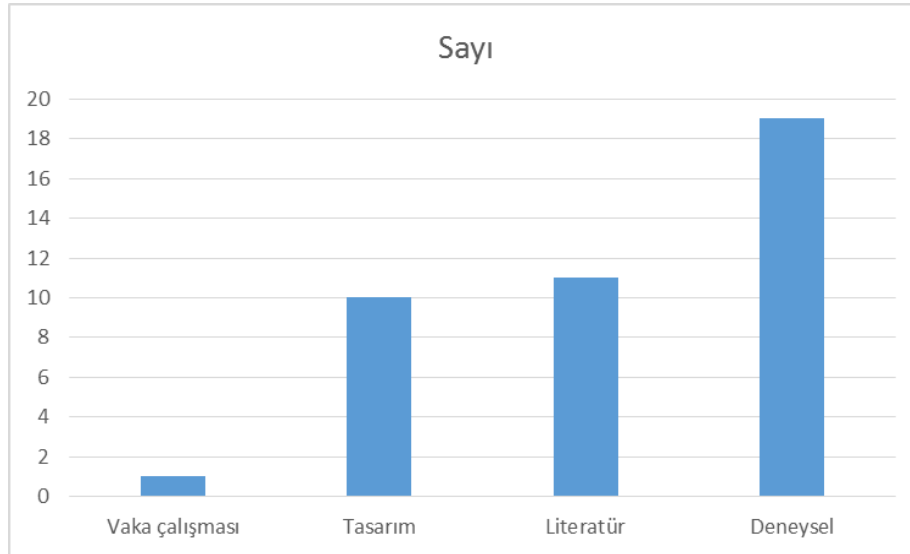
Kabul edilen yayınların Web of Science’da yer alması aylara varan uzunlukta zaman almaktadır. Özellikle 2016 ve 2017 yılları için (ki 2017 yılı henüz tamamlanmamıştır), konuyla ilgili olarak yayınlanan yayın sayısındaki azalmanın nedeni bu durum olabilir. Bu azalmanın gerçek bir azalma mı yoksa gecikmeli kayıttan mı kaynaklandığı ancak ileriki tarihlerde yapılabilecek yeniden sorgulama ile mümkün olabilecektir.

Çizelge 1. Sanal gerçeklik teknolojisi ile tedavi yıl bazında çalışma sayısı



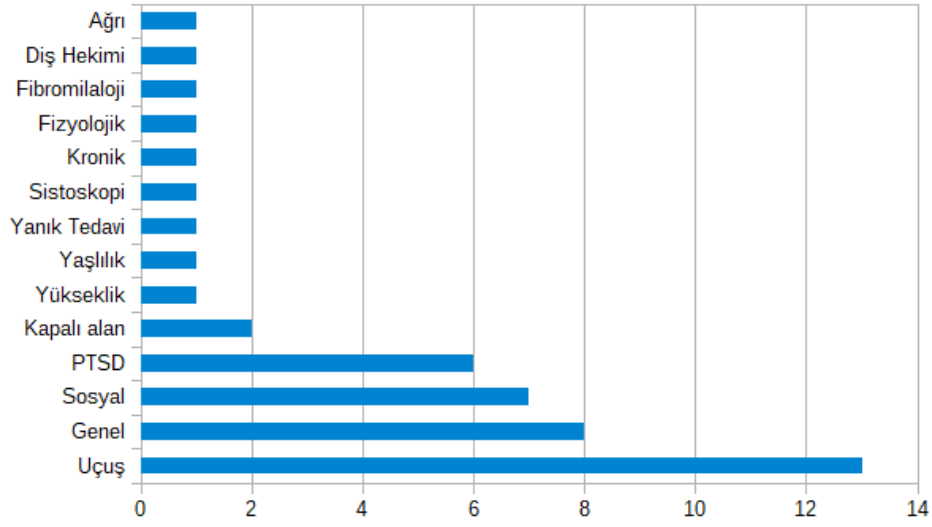
AS2: En fazla deneysel çalışma yapılmış, en az da vaka çalışması gerçekleştirilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sanal gerçeklik teknolojisi ile tedavi: araştırma çalışması türleri



AS3: Çizelge 3, incelenen yayınlarda ele alınan korku kaygı türünü y ekseninde, çalışma sayısını x ekseninde göstermektedir. Sanal gerçeklik teknolojileri kullanılarak yapılan tedavi çalışmaları içerisinde en fazla uçuş korkusu tedavisi ile ilgili araştırma (13 adet) yayınlanmıştır. Uçuş korkusu ile ilgili yapılan çalışmaları sırasıyla sosyal korku, genel kaygı ve genellikle gazilerin maruz kaldığı PTSD (post traumatic stress disorder) kaynaklı korku/ kaygı tedavileri hakkında yapılan çalışmalar izlemektedir.

Çizelge 3. Sanal gerçeklik teknolojisi ile tedavi: korku/kaygı türleri ve çalışma sayıları



Tablo 1. Korku/ kaygı konusuna göre incelenen çalışmaları kaynakçada yeralan numaralarına göre gruplandırılmış olarak sunmaktadır.

Tablo 1. Korku/Kaygı Konularına Göre İncelenen Çalışmalar

Korku Türü	Kaynak No
Uçuş	[4], [5], [7], [9], [16], [12], [20], [22], [30], [37], [38], [40], [41]
Genel	[17], [19], [20], [26], [28], [29], [33], [37]
Sosyal	[2], [6], [20], [21], [23], [24], [30]
PTSD	[1], [10], [13], [19], [27], [36]
Kapalı Alan	[18], [21]
Yükseklik	[16]
Yaşlılık	[34]
Yanık Tedavi	[15]
Sistoskopi	[41]
Kronik	[31]
Fizyolojik	[27]
Fibromiyaloji	[25]
Diş hekimi	[32]
Ağrı	[8]

AS4:..Deneyisel çalışmaların önemli bir kısmında sanal gerçeklik teknolojilerinin korku/ kaygı ile başetme tedavisinde kullanılmasının olumlu sonuçlar verdiğini

gözlemlenmiştir. Bu çalışmalar ileride başka ortam ve örneklerde benzer çalışmaların yinelenmesini önermişlerdir.

AS5:..Çalışma sonuçlarına göre yalnızca bir yayında korku/ kaygı tedavisinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanıldığı belirlenmiştir [42].

AS6:..Artırılmış gerçeklikle ilgili bulunan tek çalışma deneysel bir çalışmadır [42].

AS7:..Artırılmış gerçeklik teknolojisinin korku/ kaygı tedavisi ile ilgili olarak çalışmamıza dahil edilen tek çalışma psikolojik stress ile başatma alanında kullanılmıştır.

Tablo 2, bu çalışmada incelenen yayınlarda ele alınan korku/ kaygılar ile başedilmesinde sanal gerçeklik veya artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanılmasının etkilerini kaynak bazında sunmaktadır. Etkinin olumlu olması, teknoloji kullanılmasının korku/ kaygı yenilmesinde etkinliğinin pozitif yönde etkisi olduğunu göstermektedir. Teknoloji kullanımı ile korku/ kaygı yenilmesi arasındaki ilişkinin açık olarak belirlenmediği çalışmalarda sonuca etki bilinmiyor olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Terapi Sonuca Etkisine Göre İncelenen Çalışmalar

Sonuca etki	Kaynak No
Olumlu	[1], [2], [4], [7], [9], [10], [12], [16], [18], [19], [22], [23], [25], [24], [31], [32], [33], [35], [36], [37], [38], [40], [42]
Etkisiz	[10]
Olumsuz	[21]
Bilinmiyor	[6], [12], [15], [17], [20], [26], [29], [34]

4.1. Limitler

Sistemik literatür çalışmaları çok zaman alan, özenle yapılması gereken çalışmalar olup, genellikle büyük boyutlu araştırma ekipleri tarafından yürütülür. Bu çalışma makale yazarları olan iki kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada en önemli kısıt sayfa sayısından kaynaklanan (en fazla 12 sayfa sınırı) limittir. Bu limit içerisinde tarama sonucu elde edilen kaynakçanın derlenerek sığdırılması mümkün olmamıştır. Makale yazarları bu limiti aşmak için, paylaşmak istedikleri tarama sonucu dönen kayıtlar ve kayıtların kodlanmasında kullanılan excel tablolarının yer aldığı dosyaları internette kontrollü olarak erişilebilir bir alana koyacak ve isteyen araştırmacılarla paylaşacaklardır. Kontrol sağlanması için ilgilenenlerin yazarlara e-posta göndererek istekte bulunmaları yeterli olacaktır.

Çalışma konusu terapi ve tedavi alanlarında sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanılması olmasına karşın, çalışmanın yazarları psikoloji temelli

eğitim almamışlardır. Yazarlar teknoloji alanında tam, teknolojilerin tedavi amaçla kullanılması alanlarında kısmen ama yeterli bilgiye sahiptir. Yazarlar ayrıca sistematik literatür taraması yapılması konusunda deneyimlidir. Bu ve buna benzer çalışmalarda altyapısı (ana araştırma konusu) psikoloji ve veya psikiyatri olan araştırmacıların yer alması çalışmaya olumlu yansıyacaktır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışma şimdiye kadar sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin korku/kaygı ile baş edilmesi/tedavi edilmesi alanlarında kullanılması için yapılmış en güncel çalışma olup, literatürde belirli kriterleri karşılayan (SCI, SCIE endeksli dergilerde yer alan) seçme çalışmalarının incelenmesi ile oluşturulmuş araştırmalarımıza göre en yeni sistematik literatür tarama çalışmasıdır.

Çalışma sonuçları 2012-2017 yılları arasında korku/ kaygı tedavisi ile ilgili olarak sanal gerçeklik kullanımının artırılmış gerçeklik kullanımından çok daha fazla olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bazı korkularla başa çıkmada artırılmış gerçeklik daha etkili bir yöntem olabilir. Ayrıca bir korku/ kaygı tedavisi ile ilgili olarak sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik teknolojilerinin birlikte kullanılmalarına engel olunmayacak senaryolar hazırlanması ve çalışmaların bu yönde gerçekleştirilmesi de mümkündür. İncelenen çalışma bulgularına dayanarak, önümüzdeki yıllarda bu teknolojilerin kullanımlarının etkinliklerinin değerlendirildiği ve karşılaştırıldığı çalışmaların yaygınlaşacağına inanıyoruz.

Bu çalışmaya gelecekte yapılabilecek en önemli katma değer, tarama sonucu dönen çalışmaların kalite değerlendirilmelerinin yapılması ve bu süreçte farklı kriterlerin kullanımı olacaktır.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesini destekleyen MEBİTECH Bilişim A.Ş. yönetimine ve Bilkent Üniversitesi'ne teşekkür ederiz. Görüş bildiren hakemlere ve incelediğimiz araştırmalara katkısı olan tüm kişi ve kuruluşlara da teşekkürler.

7. KAYNAKÇA

- [1] Aiken, M. P., & Berry, M. J. (2015). Posttraumatic stress disorder: possibilities for olfaction and virtual reality exposure therapy. *Virtual Reality*, 19(2), 95–109. <https://doi.org/10.1007/s10055-015-0260-x>
- [2] Anderson, P. L., Price, M., Edwards, S. M., Obasaju, M. A., Schmertz, S. K., Zimand, E., & Calamaras, M. R. (2013). Virtual reality exposure therapy for social anxiety disorder: A

- randomized controlled trial. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 81(5), 751–760. <https://doi.org/10.1037/a0033559>
- [3] Beecham, S., Baddoo, N., Hall, T., Robinson, H., & Sharp, H. (2008). Motivation in Software Engineering: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 50(9–10), 860–878. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.09.004>
- [4] Boyd, D., & Hart, J. (2016). Potential Utility of a Cost-Effective Virtual Reality System for Treatment of Fear of Flying. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(9), 830–2. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4719.2016>
- [5] Czerniak, E., Caspi, A., Litvin, M., Amiaz, R., Bahat, Y., Baransi, H., ... Plotnik, M. (2016). A Novel Treatment of Fear of Flying Using a Large Virtual Reality System. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(4), 411–6. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4485.2016>
- [6] Esteves, F. G., Claudio, A. P., Carmo, M. B., & Gaspar, M. A. (2016). Psychophysiological responses to a Virtual Reality scenario for the treatment of Social Anxiety. *International Journal of Psychophysiology*, 108, 138. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2016.07.403>
- [7] Triscari, M. T., Catalisano, D., D'Angelo, V., & Urso, V. (2015). Effectiveness of cognitive behavioral therapy integrated with systematic desensitization, cognitive behavioral therapy combined with eye movement desensitization and reprocessing therapy, and cognitive behavioral therapy combined with virtual reality exposure therapy methods in the treatment of flight anxiety: a randomized trial. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 2591. <https://doi.org/10.2147/NDT.S93401>
- [8] Fassbender, E., & Jones, C. M. (2014). Virtual, Augmented Reality and Serious Games for Healthcare 1. *Intelligent Systems Reference Library*, 68, 523–546. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-54816-1>
- [9] Ferrand, M., Ruffault, A., Tytelman, X., Flahault, C., & Négovanska, V. (2015). A Cognitive and Virtual Reality Treatment Program for the Fear of Flying. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 86(8), 723–7. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4211.2015>
- [10] Gonçalves, R., Pedrozo, A. L., Coutinho, E. S. F., Figueira, I., & Ventura, P. (2012). Efficacy of Virtual Reality Exposure Therapy in the Treatment of PTSD: A Systematic Review. *PLoS ONE*, 7(12), 1–7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048469>
- [11] Granoff, A. L. (2014). The impact of benzodiazepine management in the randomized, double-blind evaluation of D-cycloserine or alprazolam combined with virtual reality exposure therapy. *American Journal of Psychiatry*, 171(11), 1222. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2014.14070821>
- [12] Hirsch, J. A. (2012). Virtual Reality Exposure Therapy and Hypnosis for Flying Phobia in a Treatment-Resistant Patient: A Case Report. *American Journal of Clinical Hypnosis*, 55(2), 168–173. <https://doi.org/10.1080/00029157.2011.639587>
- [13] Jiandani, N., Nair, S. R., & Shukla, H. (2014). Efficacy of Virtual Reality Exposure Therapy in the Management of Symptoms Associated With Post Traumatic Stress Disorder. *Value in Health*, 17(7), A572. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2014.08.1918>
- [14] Kitchenham, B.A. (2004), Procedures for Undertaking Systematic Reviews, Joint Technical Report, Computer Science Department, Keele University (TR/SE- 0401) and National ICT Australia Ltd. (0400011T.1).
- [15] Le May, S., Paquin, D., Fortin, J.-S., & Khadra, C. (2016). DREAM project: using virtual reality to decrease pain and anxiety of children with burns during treatments. *Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference on - VRIC '16*, (6), 1–4. <https://doi.org/10.1145/2927929.2927934>
- [16] Levy, F., Leboucher, P., Rautureau, G., & Jouvent, R. (2016). E-virtual reality exposure therapy in acrophobia: A pilot study. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 22(4), 215–220. <https://doi.org/10.1177/1357633X15598243>

- [17] Ling, Y., Nefs, H. T., Morina, N., Heynderickx, I., & Brinkman, W. P. (2014). A meta-analysis on the relationship between self-reported presence and anxiety in virtual reality exposure therapy for anxiety disorders. *PLoS ONE*, 9(5), 1–12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096144>
- [18] Malbos, E., Rapee, R. M., & Kavakli, M. (2013). A controlled study of agoraphobia and the independent effect of virtual reality exposure therapy. *Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*, 47(2), 160–168. <https://doi.org/10.1177/0004867412453626>
- [19] Maples-Keller, J. L., Price, M., Rauch, S., Gerardi, M., & Rothbaum, B. O. (2017). Investigating Relationships Between PTSD Symptom Clusters Within Virtual Reality Exposure Therapy for OEF/OIF Veterans. *Behavior Therapy*, 48(2), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2016.02.011>
- [20] McCann, R. A., Armstrong, C. M., Skopp, N. A., Edwards-Stewart, A., Smolenski, D. J., June, J. D., ... Reger, G. M. (2014). Virtual reality exposure therapy for the treatment of anxiety disorders: An evaluation of research quality. *Journal of Anxiety Disorders*, 28(6), 625–631. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2014.05.010>
- [21] Meyerbroeker, K., Morina, N., Kerkhof, G. A., & Emmelkamp, P. M. G. (2013). Virtual reality exposure therapy does not provide any additional value in agoraphobic patients: A randomized controlled trial. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 82(3), 170–176. <https://doi.org/10.1159/000342715>
- [22] Meyerbroeker, K., Powers, M. B., Van Stegeren, A., & Emmelkamp, P. M. G. (2012). Does yohimbine hydrochloride facilitate fear extinction in virtual reality treatment of fear of flying? a randomized placebo-controlled trial. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 81(1), 29–37. <https://doi.org/10.1159/000329454>
- [23] Morina, N., Brinkman, W.-P., Hartanto, D., Kampmann, I. L., & Emmelkamp, P. M. G. (2015). Social interactions in virtual reality exposure therapy: A proof-of-concept pilot study. *Technology and Health Care*, 23(5), 581–589. <https://doi.org/10.3233/THC-151014>
- [24] Morina, N., Ijntema, H., Meyerbroeker, K., & Emmelkamp, P. M. G. (2015). Can virtual reality exposure therapy gains be generalized to real-life? A meta-analysis of studies applying behavioral assessments. *Behaviour Research and Therapy*, 74, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2015.08.010>
- [25] Morris, L. D., Louw, Q. A., Grimmer, K. A., & Meintjes, E. (2015). Targeting pain catastrophization in patients with fibromyalgia using virtual reality exposure therapy: A proof-of-concept study. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(11), 3461–3467. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3461>
- [26] Motraghi, T. E., Seim, R. W., Meyer, E. C., & Morissette, S. B. (2014). Virtual Reality Exposure Therapy for the Treatment of Posttraumatic Stress Disorder: A Methodological Review Using CONSORT Guidelines. *Journal of Clinical Psychology*, 70(3), 197–208. <https://doi.org/10.1002/jclp.22051>
- [27] Norrholm, S. D., Jovanovic, T., Gerardi, M., Breazeale, K. G., Price, M., Davis, M., ... Rothbaum, B. O. (2016). Baseline psychophysiological and cortisol reactivity as a predictor of PTSD treatment outcome in virtual reality exposure therapy. *Behaviour Research and Therapy*, 82, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.05.002>
- [28] Opiş, D., Pinte, S., Garcia-Palacios, A., Botella, C., Szamosközi, Ş., & David, D. (2012). Virtual reality exposure therapy in anxiety disorders: A quantitative meta-analysis. *Depression and Anxiety*, 29(2), 85–93. <https://doi.org/10.1002/da.20910>
- [29] Page, S., & Coxon, M. (2016). Virtual reality exposure therapy for anxiety disorders: Small samples and no controls? *Frontiers in Psychology*, 7(MAR), 1–4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00326>
- [30] Paliokas, I., Tsakiris, A., Vidalis, A., & Tzovaras, D. (n.d.). Sense of presence and metacognition enhancement in virtual reality exposure therapy in the treatment of social phobias and the fear of flying. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial*

- Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*), 8526 LNCS(PART 2), 316–328. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07464-1_30
- [31] Parsons, T. D., & Trost, Z. (n.d.). Virtual reality graded exposure therapy as treatment for pain-related fear and disability in chronic pain. *Intelligent Systems Reference Library*, 68, 523–546. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54816-1_25
 - [32] Raghav, K., Van Wijk, A., Abdullah, F., Islam, M. N., Bernatchez, M., & De Jongh, A. (2016). Efficacy of virtual reality exposure therapy for treatment of dental phobia: a randomized control trial. *BMC Oral Health*, 16(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0186-z>
 - [33] Repetto, C., Gaggioli, A., Pallavicini, F., Cipresso, P., Raspelli, S., & Riva, G. (2013). Virtual reality and mobile phones in the treatment of generalized anxiety disorders: A phase-2 clinical trial. *Personal and Ubiquitous Computing*, 17(2), 253–260. <https://doi.org/10.1007/s00779-011-0467-0>
 - [34] Rioux, M.-È., & Talbot, M. (2014). Using virtual reality to improve the efficacy of cognitive-behavioral therapy (CBT) in the treatment of late-life anxiety: preliminary recommendations for future research. *International Psychogeriatrics / IPA*, (2015), 1–9. <https://doi.org/10.1017/S1041610214002300>
 - [35] Rizzo, A., Hartholt, A., Grimani, M., Leeds, A., & Liewer, M. (2014). C o v e r f e a t u r e, (July), 31–37.
 - [36] Rothbaum, B. O., Garcia-Palacios, A., & Rothbaum, A. O. (2012). Treating anxiety disorders with virtual reality exposure therapy. *Revista de Psiquiatría Y Salud Mental (English Edition)*, 5(2), 67–70. <https://doi.org/10.1016/j.rpsmen.2011.05.003>
 - [37] Rus-Calafell, M., Gutiérrez-Maldonado, J., Botella, C., & Baños, R. M. (2013). Virtual reality exposure and imaginal exposure in the treatment of fear of flying: a pilot study. *Behavior Modification*, 37(4), 568–90. <https://doi.org/10.1177/0145445513482969>
 - [38] Shibani, Y., Diemer, J., Müller, J., Brütting-Schick, J., Pauli, P., & Mühlberger, A. (2017). Diaphragmatic breathing during virtual reality exposure therapy for aviophobia: functional coping strategy or avoidance behavior? a pilot study. *BMC Psychiatry*, 17(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12888-016-1181-2>
 - [39] Šmahaj, J., & Procházka, R. (2014). Virtuální realita jako možnost léčby úzkostných poruch. / Virtual reality as alternative for anxiety disorders treatment. *Ceskoslovenska Psychologie*, 58(6), 571–579.
 - [40] Triscari, M. T., Faraci, P., Catalisano, D., D'Angelo, V., & Urso, V. (2015). Effectiveness of cognitive behavioral therapy integrated with systematic desensitization, cognitive behavioral therapy combined with eye movement desensitization and reprocessing therapy, and cognitive behavioral therapy combined with virtual reality expo. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 11, 2591–2598. <https://doi.org/10.2147/NDT.S93401>
 - [41] Walker, M. R., Kallungal, G. J. S., Musser, J. E., Folen, R., Stetz, M. C., & Clark, J. Y. (2014). Treatment efficacy of virtual reality distraction in the reduction of pain and anxiety during cystoscopy. *Military Medicine*, 179(8), 891–6. <https://doi.org/10.7205/MILMED-D-13-00343>
 - [42] Zhao, X., You, X., Shi, C., & Gan, S. (2015). Hypnosis therapy using augmented reality technology: treatment for psychological stress and anxiety. *Behaviour & Information Technology*, 34(6), 646–653. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2015.1022223>

ARKEOLOJİK IN SITU ALANLAR VE MÜZELERDE ARTIRILMIŞ GERÇEKLIK TEKNOLOJİSİNİN KULLANIMINA YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

S.Vedat Karaarslan

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Üniversiteler Mah. No: 1 Çankaya, ANKARA, 06800
kvedat@metu.edu.tr

ÖZ

Sanat ve bilimsel eserlerin veya sanata ve bilime yarayan nesnelerin toplandığı, belgelendiği, sergilendiği, korunduğu ve toplumsal açıdan bireylerin eğitim, araştırma ve geçmiş/gelecek ile iletişim kurulabildiği müzeler ve tescil edilmiş açık ya da kapalı kazı alanlarındaki in situ buluntular, teknolojinin gelişimine paralel olarak ziyaretçilere yönelik çevrim içi interaktif (etkileşim) teknolojilerin kullanıldığı yerler olarak değişim göstermektedir. Tek yönlü bilgi akışının gerçekleştiği statik müze modelinden etkileşimli müze modeline geçiş ziyaretçilere, merak, seçim, işbirliği, yaratıcılık ve keşif gibi kavramlar ile animasyon olarak yeniden sunulabilir.(Beale,2011) Direkt ya da dolaylı olarak çevremizdeki fiziksel dünyanın bilgisayarlar tarafından oluşturulan içerikler ile "ses ve grafik ile zenginleştirilerek" gerçek hayat objeleri ile birleştirilip bir ekrandan veya sanal gözlük kullanılma yöntemi olan artırılmış gerçeklik (AR, Augmented Reality) ile süreçsel ve algı arkeolojisine yönelik uygulamalar yapılabilir. (Clark&Binford,1982) Uygulanan bu yöntemler ile arkeolojik buluntu görüntülerinin kablosuz erişim ve GPS gibi küresel konumlama uyduları kullanılarak gerçek zamanlı olarak müze ya da öğrenme yeri ziyaretçilerine izlenmek üzere sunulabilir. Bildiride, artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kazı alanlarındaki buluntular ve müze gibi yerlerde kullanılabilmesine yönelik bir iletişim ağı altyapısı ve modeli tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Arkeoloji Kazı Alanı, Sanal Müze, Archeoguide.

A PROPOSAL FOR ESTABLISHING AUGMENTED REALITY SYSTEMS IN MUSEUM AND IN SITU ARCHAEOLOGICAL FIELDS

ABSTRACT

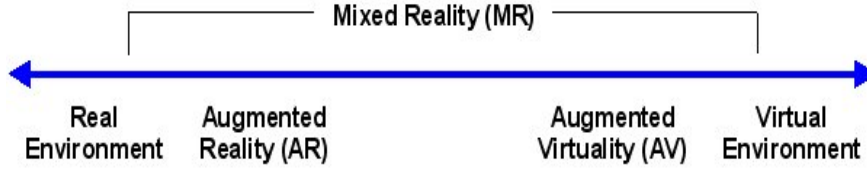
Museums are places in which art and scientific works are collected, documented, exhibited preserved and communication between past and future can be made. In situ findings in registered open or closed excavation areas are developing as areas where the online interactive technologies are used. The transition from a static museum model in which a single stream of information occurs to an interactive museum model can be represented as an animation using concepts like curiosity, choice, cooperation, creativity and exploration. (Beale,2011) Augmented Reality applications can be made using computers combining real objects with artificial visuals. (Clark&Binford,1982) With these methods, archaeological findings can be presented to visitor using GPS and wireless access. In this article, usage of augmented reality technologies in excavation sites and museums will be discussed.

Keywords: Augmented Reality, Archaeological Excavation Field, Virtual Museum, Archeoguide

1. GİRİŞ

Sanal müzeler içerik ve işlevlerine göre sadece internet üzerinden bilgi verebilen ‘katalog sanal müzeler’, müze koleksiyonun ayrıntılı bir şekilde tanımını veren ‘içeriksel sanal müzeler’, müzedeki eserlerden daha çok yoğun bilgi aktarımını sağlayan ‘eğitici müzeler’ ve teşhir edilen eserlerin sunumu ile birlikte dijital koleksiyon veri tabanlarına erişimi sağlayarak detaylı bilgi sunan ‘ sanal müzeler’ olarak dört başlık altında toplanır. (Scweibenz,2004) Sanal müzelerde kültürel arşivin korunması, depolanması ve geleceğe yönelik olarak planlama yapılmasını gerektiren her türlü çalışma ile birlikte in situ durumdaki arkeolojik buluntunun görselleştirilmesi amacıyla ontoloji (varlık bilim) ve semantik (anlamsal) olarak kurulabilecek dijital kaynakların seçimi, korunması, bakım ve arşivleme olarak tanımlanan dijital kürasyon veri tabanları üzerinden bilişim teknolojileri kullanılarak birçok uygulama gerçekleştirilmektedir.[1] Bu teknolojilerin başında gelen sanal ortamların zenginleştirilmesi ve gerçek ortamların zenginleştirilmesi olarak tanımlanan karma gerçeklik [2] gerçek dünya ile sanal dünya arasında süreklilik sağlayan bir kavram olarak tanımlanır. Gerçeğin artırılması ile artırılmış gerçeklik (Augmented Reality), sanal ortamların zenginleştirilmesi (artırılması) ile artırılmış sanallık (Augmented Virtuality) teknolojileri ve ikisinin birleşiminden oluşan Karma Gerçeklik (Mixed Reality, MixR) olarak adlandırılan teknolojilerin bütünü olarak tanımlanan gerçek-sanal sürekliliği (Reality-Virtuality

Continuum) (Şekil 1) sistemlerinin pazar payının ise bütün dünyada 2020 yılından itibaren 162 Milyar \$ değerine ulaşması beklenmektedir. [3]

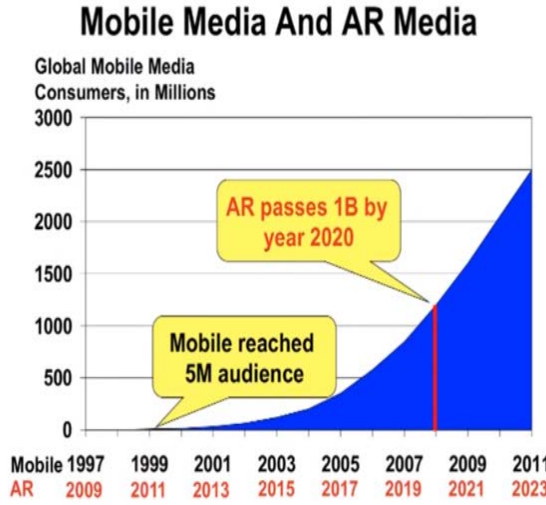


Şekil 1. Reality-Virtuality Continuum

Arkeolojik kazı alanları gerek kazı çalışması yapacak ekipler gerekse eğitim amaçlı olarak önceden bir ekran üzerinde sanal olarak görselleştirilerek bir MixR özellikli kask ile ses, dokunma (touch screen) olarak tahribatsız olarak incelenebilir, in situ alanlar yine aynı cihazlar kullanılarak ziyaretçilere geçmişe dönük olarak görselleştirilerek sunulabilir. Böylece söz konusu teknolojiler ile müzeler, duvarları olmayan bir dijital veri tabanı, müzeler ötesi bir elektronik arşiv haline getirilerek (Foster,2004,126) bilgiler müzeler arası bir veri ağı üzerinden ziyaretçilere daha detaylı sunulabileceği gibi gerek müzelerde gerekse in situ arkeolojik alanlarda eserler ziyaretçilere sunulabilir. Bu çalışmada müzelerde ve arkeoloji kazı alanlarında in situ buluntuların görselleştirilmesinde AR ve türev teknolojilerinin nasıl kullanılabileceğine yönelik olarak altyapının kurulumu ve kullanımı ile ilgili uygulamalar tartışılacaktır.

2. AR TEKNOLOJİSİNİN ARKEOLOJİDE KULLANIM GEREKÇESİ

Bilimsel açıdan arkeolojinin uygulama aşamaları, istatistiksel analiz (1930), analiz ve veri depolama (1930-1965), modelleme, simülasyon ve GIS (1965-1980), yapay zeka (1980-1995) ve günümüzde ulaşılan algı arkeolojisi (cognitive archaeology) alanında görselleştirme ve ağ (web) üzerinden uygulama yazılımlarının kullanıma sunulması olarak tanımlanır. Twitter, facebook, youtube, e –mail gibi medya ortamları ile birlikte algı arkeolojisinin temeli olabilecek günümüzdeki en önemli uygulamalarından bir tanesi de arkeolojinin halka yayılımını ön plana alan ‘sayısal’ kamu arkeolojisi tanımı kapsamında [4] 2020 yılından itibaren hücresel telefonlar üzerinde uygulama yazılımları sayesinde (Şekil 2) dünya genelinde sekizinci medya gücü olarak tanımlanan artırılmış gerçeklik teknolojilerinin kullanılacağına yönelik teknolojik gelişme ile birlikte kullanıcı sayısının artmasına yönelik öngörülerdir. [5]



Şekil 2. Hücrel Mobil telefonlarda AR kullanım istatistiği

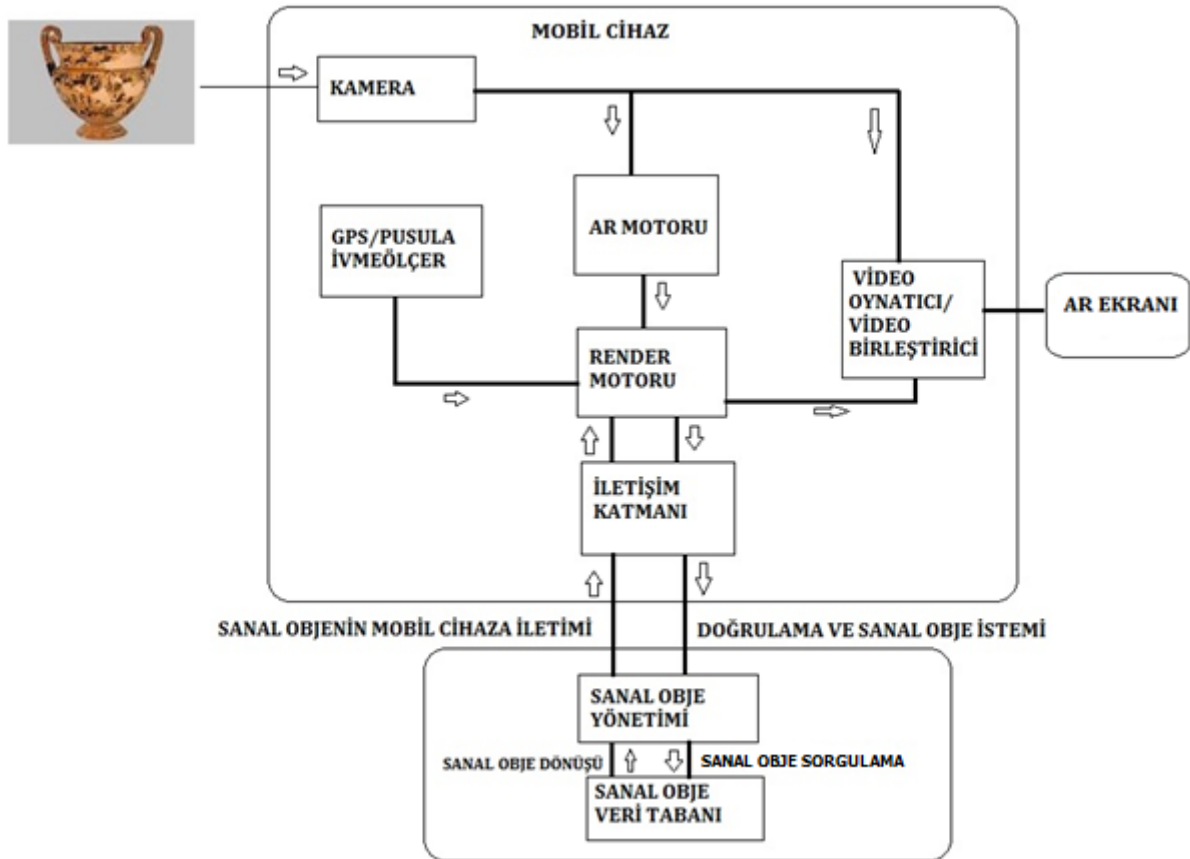
Hücrel mobil telefonların artışı ile birlikte sayısal teknolojiye hızlı yükseliş bulut üzerinden nesnelerin interneti (IoT) ile artırılmış gerçeklik gözlüklerinin daha geniş alanlarda kullanımı ile sağlanabileceği öngörülmektedir. [6] AR teknolojilerinin kullanımı, yerel ağ üzerine konuşlandırılmış sunucular, kameralar, WiFi vericiler ve algılayıcılar kullanılarak hücrel mobil telefonlar veya AR gözlükleri ile ziyaretçilere gözlem sağlayacak bir altyapının kurulması ile gerçekleştirilir.

AR uygulamaları ses, video, grafik, harita gibi bilgilerin GNSS (Global Navigation Satellite System) uyduları üzerinden lokasyon bilgilerinin alınarak gerçek dünya ve sanal dünyanın birleştirilmesi olarak Toyota, Kia ve BMW gibi otomobil şirketleri tarafından otomobil mekaniği bakımı ve robot destekli simülasyonlar üzerinde de kullanılmaktadır. iPhone, Google ve Blackberry şirketleri ise alışveriş merkezlerinin lokasyonlarını, karayolu bilgileri gibi uygulamaları akıllı telefonlar üzerinde AR özellikli olarak pazara sunmaktadır. [7] Google firmasının HMD (Head Mounted Display) adlı projesi ise Project Glass adı altında halen yürütülmektedir. [8]

3. AKILLI MOBİL CİHAZLARDA ARTIRILMIŞ GERÇEK LİK PLATFORM MİMARİSİ

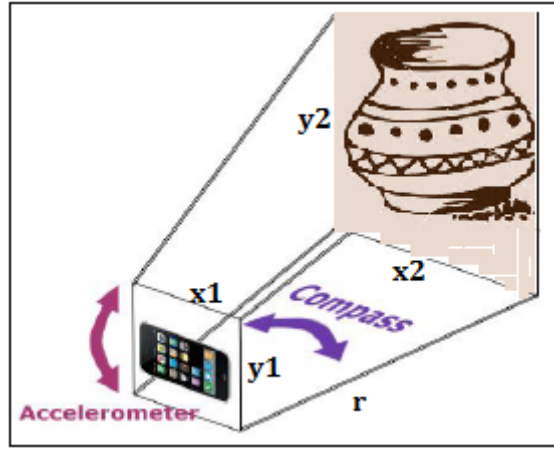
Günümüzde mobil cihazların çoğu GPS, pusula ve ivmeölçer gibi yardımcı donanımlar ve AR yazılımları ile birlikte teçhiz edilmektedirler. Bu cihazlar kullanılarak 3 boyutlu modeller ile güncellenmiş bir Sanal Nesne Sunucusu üzerine yüklenmiş sanal objeler bu sunucu tarafından kendisine mobil cihazdan gelen kullanıcı isteklerine bağlı olarak kimlik doğrulamasına tabi tutularak istem yapılan objeleri gönderebilir. Kullanıcı cihazı üzerindeki yardımcı donanımlar aynı zamanda GPS konum bilgilerini de kapsayacak şekilde kayıt ve görüntü entegrasyonu işlemlerini de yapar. AR motorunun sunucu

katmanından aldığı 3 boyutlu nesnenin iletişim katmanına ulaştırılması ve bu nesneye kameradan gelen gerçek kamera bilgilerinin birleştirilmesi ile kameranın çektiği gerçek görüntü ve sunucu üzerindeki sanal görüntü birleştirilip bir mobil cihaz ya da bir AR gözlüğü/ başa takılabilen bir görüntü cihazı ile (head mounted display, HMD) kullanılarak AR işlemi tamamlanmış olur. (Şekil 3)



Şekil 3. Mobil AR platformu.

Objenin görüntülenmesi geometrik olarak kesik konik (frustum) olarak kullanıcının konumu GPS izleme, yönü pusula ve hareketi ise ivmeölçer tarafından takip edilir ve mobil cihazın objeyi görüntülemesi x_1, y_1 kullanıcının pozisyonu, x_2, y_2 sanal objenin pozisyonu r ise objeye olan uzaklık olmak üzere $(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 < r^2$ olarak verilir. (Şekil 4) [9]



Şekil 4. Sensörler ile objenin ilişkisi

In situ konumdaki arkeolojik buluntular için bir AR platformunun kurulması için en önemli çalışma, buluntunun dış ortamlarda görüntülenecek olması dolayısıyla ışık elde edilebilmesi için güneşin yer düzlemine geliş açılarının kontrol edilmesidir. Bunun için veri tabanında bulunan augmented edilmek istenilen arkeolojik nesne görüntülerinin yüksek çözünürlükte izlenebilmesi için sunucular üzerinde yapay ışıklandırma yönetimi ile görüntünün izleyiciye sunulması gerekir. Gün içinde değişik zamanlarda farklı RGB değerleri elde edileceğinden yapay ışığın objelerin gerçek görüntü renklerini takip edecek şekilde yazılımla kontrol edilmesi için yapay ışıklandırma yapılması gerekir.

Mobil cihazlar ile müze ve in situ konumdaki arkeolojik objelerin görüntülenmesinde en fazla kullanılan AR yazılımları Tablo 1 de gösterilmektedir.

Tablo 1. En çok kullanılan AR yazılımları

AR YAZILIMI	FİRMA	LİSANS	DESTEKLENEN PLATFORMLAR
Vuforia	Qualcomm	Açık Kaynak - Ticari	Android, iOS, Unity
ARToolkit	DAQRI	Açık Kaynak	Android, iOS, Windows, Linux, Mac OSX, SGI
Wikitude	Wikitude GmbH	Ticari	Android, iOS, Google Glass, Epson Moverio, Vuziv M-100, ODG R-7, PhoneGap, Titanium, Xamarin, Unity
LayAR	BlippARGroup	Ticari	iOS, Android, BlackBerry
Kudan	Kudan Limited	Ticari	Android, iOS, Unity
LibreGeoSocial	Universidad Rey Juan Carlos	Açık Kaynak	Android
ArcheoGuide	IntraCom	Açık Kaynak	Android

4. ARCHEOGUIDE VE VERİTABANI

Archeoguide yazılımı kültürel mirasın görüntülenebilmesine yönelik Avrupa Birliği tarafından desteklenen bir proje olarak arkeolojik alanlar için hazırlanmıştır. Veritabanı arkeolojik alanların hava fotoğrafları DEM (Digital Evaluation Model) üzerine GIS kullanılarak işlenmiş ve veri tabanlarına VRL yazılım dili (Virtual Research Language) kullanılarak hazırlanmıştır. Arkeolojik alanda lokasyon doğrulaması DGPS (Differential Global Positioning System) ve pusula, 'Image Tracking' yazılımı ile görselleştirme gerçekleştirilir. Böylece yapıların, objelerin, yıkıntı halindeki arkeolojik eserlerin ve doğal çevrenin 3D ve 'render' edilmiş görüntüleri kullanıcıya aktarılır. İzleme, rendering, kontrol, veri yönetimi ve kullanıcı arayüz programları kullanıcının etkileşimi ve verinin okunması ile birlikte gerçekleştirilir. Burada ARCHEOGUIDE yazılımı 2D resmi bir algoritma ile frekans domeninde analiz ederek kullanıcı tarafından belirlenen resmin tarama hızının optimize edilmesini ve gerçek zamanlı etkileşim yapılmasını sağlar. Kullanıcının objeleri taraması sırasında resimler arasındaki farklılıklar belirli matematiksel yaklaşımlar (Fourier, Dirac...vs) ile değerlendirilerek buna göre işlem yapılır. Yine resmin kullanıcının objeyi taraması sırasında dönmesi (rotate), ölçeklendirilmesi (scaling) halinde veya her ikisinin de yapılması halinde aynı matematiksel hesaplamalar yapılarak multimedya senkronizasyonu program içindeki uygulamalar ile sağlanır.

5. AĞ ALTYAPISI

Teknolojik altyapı için, kullanılacak mobil cihazlara WLAN üzerinden her birine 11 Mbps lık bir erişim hızı kullanılarak, 800 Mhz hızında bir merkezi işlemci birimli (CPU) bir bilgisayar yeterli olurken trafik hesaplamalarına göre Pentium 4 CPU bir bilgisayar ile 1.5 Ghz den daha fazla bir sunucu hızına ulaşılması mümkün görülmektedir. Haberleşme altyapısı olarak kurulan Olympia arkeolojik sit alanındaki deneysel ağ [9] üzerinde (300 X 500 metre) IEEE 802.11b WLAN erişim standardı kullanılmış ve toplam 3 adet AP (access point) kurulmuştur. AP ler üzerinde güneş panelleri ile 12 Volt dan 220 Volt çevrimi yapılmış ve 4.4 metre yüksekliğinde yönlendirmeli anten kullanılmıştır. Sinyallerin doğru lokasyonlara odaklanması için kurulan DGPS ünitesi bir kablosuz erişim olarak 300 Khz bandında RTCM SC-104 standardında çalışır ve 1 metre den daha düşük bir doğrulama sağlayarak 0.5 derecelik bir eğim ile görüntüleme sağlar. Ağ altyapısı 11 Mbps lık erişim hızında aynı anda toplam 50 kullanıcıya hizmet verecek şekilde tasarlanmıştır. Optik izleme gerçek zamanlı olabilmesi için kullanıcının görüş açısının çok iyi takip edilebilmesi ve bunun için kullanıcının elindeki mobil cihaz ile 2D resmin taranması ve sunuculardaki referans görüntü arasındaki ilişki kurularak render edilmiş görüntünün kullanıcıya 'augmented' olarak sunulması gerekir. Bu amaçla algoritmanın güvenilirliği sunucular üzerindeki veri tabanındaki kayıt tekniğinin seçimi için çok önemlidir. Kullanıcı elinde devamlı

değişen görüntüdeki örneğin gölge, bulut ve güneş pozisyonları açısından kayıtların piksel yoğun veya frekans uzayında yapılması seçimini archeoguide programı üzerinden yapılmasını gerekli kılar. (Şekil 5)



Şekil 5. Archeoguide Ağ Altyapısı

Bu çalışmada Fourier temelli yaklaşım, hızlı hesaplama ve kuvvetli izleme sistemi nedeniyle tercih edilmiş 2D ve 3D arasındaki gerçek resim ile zenginleştirilmiş (augmente) edilmiş resmin kullanıcıya gösterilmesi arasındaki pozisyon ve diğer açısal farklılıklar matematiksel hesaplamalar ile giderilmesi hedeflenmiştir.

6. MÜZELER VE İN SITU ALANLARDA AR UYGULAMASI

Archeoguide yazılımı üzerine uygulanacak bir arayüz programı ile akıllı mobil setlerine GUI, lokasyon bilgileri ve iletişim katmanı yüklenerek birçok müze ve in situ alanlar akıllı cihazlar ile AR uygulaması yapılabilir hale gelebilecektir. Olympia'daki denemelerde MPS Controller, Resim İzleyici, AVALON render yazılımı ve GUI yazılımı kullanıcının pozisyonuna bağlı olarak in situ alandaki eserler ile etkileşim (interactivite) sağlanmıştır. Söz konusu arayüz programı ilgili müze ya da arkeolojik in situ alanların sorumlu kuruluşları tarafından erişim kimlikleri (password) verilerek altyapı kurulumuna mali destek sağlanabilmektedir.

CIDOC CRM (Committe International Documentation Conceptual Reference Model) müze ve arkeolojik in situ alanlarda dokümantasyona yönelik envanterlerin standart oluşumunu sağlar.[11] Müzeler ve kültürel mirasa esas olan in situ arkeolojik alanlar bazı ülkelerde sayısal ağlar üzerinden yönetilmekte ve envanter kontrolleri bu

standartlar ile oluşturulan veritabanları üzerinden eserlerin izleyicilere sunumu sağlanabilmektedir. [12] Fonksiyonel olarak günümüzde nesneleri bilgi ile zenginleştirebilen Bilgi Odaklı Nesneye Yönelen müzeler, toplumsal eğitim amaçlı olarak hızlı artış göstermektedir. [13] Bu kapsamda kataloglama, eserin sağlanması, envanterden çıkarma, dizinleme, müzeler arası eser değişimi, sergiler, eser sevkiyatı, eserin durumu, güvenlik, multimedya, telif hakları, ağ üzerinden veri alma, eserin raporlanması gibi eser üzerindeki işlem veriler kullanılarak müzeler ve in situ alanlarda AR teknolojileri kullanılmaktadır. Altyapı modeli üzerinde veritabanlarının oluşumunu teminen müzelerde CIDOC CRM standartlarının uygulanarak sayısallaştırılacak eserlerin 3 boyutlu olarak müze ziyaretçilerine sunulması bu makale kapsamında önerilmektedir.

7. SONUÇ

Bu makalede Archeoguide programının arkeolojik in situ alan veya müzelerde kullanılabilmesine yönelik akıllı mobil cihazlarda GUI, lokasyon ve iletişim katmanı yazılımı temelli bir arayüz programı kullanılarak bir altyapı kurularak uygulanabilmesine yönelik altyapının nasıl olabileceği tartışılmıştır. Altyapının bütün müze ve in situ arkeolojik alanlarda kurularak bu alanları ziyaret etmek isteyenlerin bir arayüz programını ücret karşılığında akıllı mobil cihazlarına yükleyerek ziyaret etmeleri sağlanabilir. AR uygulamalarının bu cihazlar üzerinde kullanımının artışı, söz konusu pazarın geleceğe yönelik büyük bir ekonomik değer oluşturması beklenmektedir.

8. KAYNAKÇA

- [1] <http://www.dcc.ac.uk/digital-curation>
- [2] Mixed Reality, Paul Milgram, Kishinson (1994)
- [3] http://www.idc.com/tracker/showproductinfo.jsp?prod_id=1381
- [4] <http://www.pia-journal.co.uk/articles/10.5334/pia.431/>
- [5] <https://www.slideshare.net/zisiang/augmented-reality-and-virtual-reality-research-advances-in-creative-industry>
- [6] <file:///C:/Users/Admin/Downloads/the-mobile-future-of-augmented-reality.pdf>
- [7] <http://www.junaio.com>; <http://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/des-exemples-dutilisation-de-la-realite-augmentee/>; <http://www.augmentedrealitytrends.com/>.
- [8] <http://www.googleglassproject.org/>

- [9] A Hybrid Registration Method for Outdoor Augmented Reality, proceeding ISAR '01 Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'01)
- [10] Vassilios Vlahakis, Nikolaos Ioannidis, John Karigiannis, Manolis Tsotros, and Michael Gounaris Intracom S.A., Greece Didier Stricker Fraunhofer Institute IGD, Germany Tim Gleue and Patrick Daehne Center for Computer Graphics (ZGDV), Germany Luís Almeida Center for Computer Graphics (CCG), Portugal, Archeoguide: An Augmented Reality Guide for Archaeological Sites, Computer Graphics in Art History and Archaeology, IEEE, September/October 2002
- [11] <http://www.cidoc-crm.org/>
- [12] <http://canada.pch.gc.ca/eng/1454520330387>
- [13] <http://dergiler.ankara.edu.tr/dergiler/26/2105/21783.pdf>
- [14] Marques, L. F. Tenedório, J. A., Burns, M., Romão, T., Birra, F., Marques, J., & Pires, A. (2017). Cultural Heritage 3D Modelling and visualisation within an Augmented Reality Environment, based on Geographic Information Technologies and mobile platforms.
- [15] Ghouaiel, N, Garbaya, S., Cieutat, J. M., & Jessel, J. P. (2017). Mobile Augmented Reality in Museums: Towards Enhancing Visitor's Learning Experience. International Journal of Virtual Reality, 17(1).
- [16] Yoon, S. A. Elinich, K., Wang, J., Steinmeier, C., & Tucker, S. (2012). Using augmented reality and knowledge-building scaffolds to improve learning in a science museum. International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning, 7(4), 519-541.

DENİZ PLATFORMLARINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK KULLANIMI

Aylin Kalebek ^(a), Nevra Yıldız ^(a)

^(a) STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Tic. A.Ş., Mustafa Kemal
Mahallesi 2151.Cadde No:3/A 06530, Çankaya ANKARA,
{akalebek, nyaldiz}@stm.com.tr

ÖZ

Gerçek dünyadaki çevreye, görüntü, ses, grafik gibi sanal veriler ekleyerek zenginleştirilmiş yarı sanal bir görünüm elde etmeyi sağlayan Artırılmış Gerçeklik (AG) teknolojisi, kullanıcının çevredeki öğeler ile etkileşimini artırarak, gerçek zamanlı bilgi ve deneyim kazanmayı kolaylaştırmaktadır. Askeri alandaki kullanımı gün geçtikçe artmakta olan AG teknolojisi, özellikle platformlarda kullanıcılara gerçekçi bir deneyim yaşatırken, öğrenme aşamasını hızlandıran ve hata yapma olasılığını azaltan bir unsur olarak vazgeçilmez bir konuma sahiptir. Bu makalede Deniz Platformlarında AG teknolojisinin kullanımı hakkında bilgi verilecek, mevcut kullanımlar incelenip, olası kullanım alanları önerilecektir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Platformu Simülörleri, Deniz Harp Simülasyonları, Artırılmış Gerçeklik, Simülasyon, Sanal Bakım Eğitici

USING AUGMENTED REALITY IN NAVAL SIMULATION SYSTEMS

ABSTRACT

Augmented Reality (AR) which provides an indirect view of a real-world environment whose elements are augmented by computer-generated data such as image, sound, graphics helps user to get real time information and experience by enhancing the interaction with environment.

As usage of AR in military is increasing day by day, especially in platforms provide users a realistic experience. They also provide a rapid learning curve and reduce the error rate.

In this paper, usage of AR in Naval Systems are studied and described. Also a usage concept is proposed.

Keywords: Naval Simulator, Naval Warfare Simulation, Augmented Reality, Simulation, Virtual Maintenance Trainer

1. GİRİŞ

Artırılmış Gerçeklik (AG), gerçek dünyadaki çevrenin ve içindekilerin bilgisayar tarafından üretilen ses, görüntü, grafik ve GPS verileriyle zenginleştirilerek meydana getirilen canlı, doğrudan veya dolaylı fiziksel görünümüdür.[1] AG gözlüğü ya da ekranı olan her hangi bir akıllı cihaza yüklenen yazılım sayesinde, mevcut fiziksel ortamın üzerine sanal objeler eklenebilmekte ve yeni bir ortam oluşturularak kişiye zenginleştirilmiş bir gerçek ortam deneyimi sağlanmaktadır. Kişi bu objeleri gözlemleyip, bu sanal objeler ile etkileşime girebilmektedir.

İnsanları gerçeklikten kopararak bambaşka bir dünyaya götüren Sanal Gerçeklik uygulamaları karşısında, sanal olanı gerçek dünyaya taşıyan AG uygulamaları kısa sürede yaygınlaşmış ve birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. AG uygulamaları gerçek dünya hakkında çok çabuk bilgi edinilmesini ve gerçek dünyadan kopmadan farklı deneyimler yaşanılmasını sağlamaktadır.

AG her ne kadar son 10 yıldır sıkça duyduğumuz ve deneyimlediğimiz bir teknoloji gibi görünse de ilk adımları 1960’larda atılmıştır. Sanal gerçeklik kavramı, ilk kez 1962 yılında Morton Heilig tarafından görme, işitme, koklama ve dokunma duyularına hitap eden Sensorama adlı bir proje ile ortaya çıkmıştır. [2] Daha sonra Harvard Üniversitesi'nden Ivan Sutherland ilk Head Up Display (HUD)’i geliştirmiştir. “Artırılmış Gerçeklik” terimi ise ilk kez uçakların kablolama talimatlarını gerçek ortamın üzerine sanal grafikler ekleyerek yeni bir yöntem geliştiren Boeing araştırmacısı Tom Caudell tarafından 1990 yılında kullanılmıştır. [3] Yıllar içinde farklı araçlar ve giyilebilen teknolojiler ile daha sık kullanılan AG teknolojisi, dünyaya her ne kadar Google Glass ile tanıtılmış olsa da artık özel bir donanım veya platform gerektirmemektedir. Bu teknoloji için yeterli donanım yani akıllı telefonlar bugün dünyada 2.3 milyar kişinin elinde bulunmaktadır. [4]

Günümüzde, AG uygulamaları askeri alanlarda hava/kara/deniz platformlarında ve gerçek operasyonlar sırasında kullanılmaktadır.



Şekil 1. “Artırılmış Gerçeklik” teriminin sahibi Tom Caudell [5]

2. DENİZ PLATFORMU SİMÜLASYONLARI

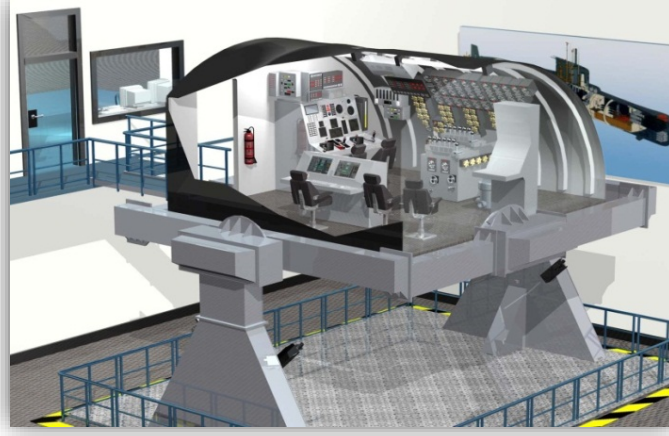
Eğitim amaçlı geliştirilen simülatörler, eğitim sürelerini, risklerini, maliyetlerini ciddi ölçüde azaltırken, askerlerin eğitimden aldığı verimi de büyük ölçüde artırmaktadır.

Diğer askeri alanlarda olduğu gibi denizcilik alanında da simülasyonlar etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Deniz Kuvvetlerinin su üstü, denizaltı ve hava platformları ile kara tesislerinde görev yapan personelin ilgili platformlardaki eğitim ve gelişim ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla bir çok simülatör ve simülasyon ortamı geliştirilmektedir.

2.1. Denizaltı Simülatörleri

Denizaltıların sualtında dalış ve satıh, su üstünde sevk, idare ve kontrollerine yönelik eğitimlerin verilmesi için kullanılan simülatörlerdir. Hareket sistemine sahip bir dalış kabininden oluşmaktadır, kabin denizaltının sahip olduğu tüm panel ve göstergelere sahiptir. Eğitim sırasında ve sonrasında destek olması amacıyla eğitimden konsolu, veri kayıt ve debriefing sistemini de içermektedir.

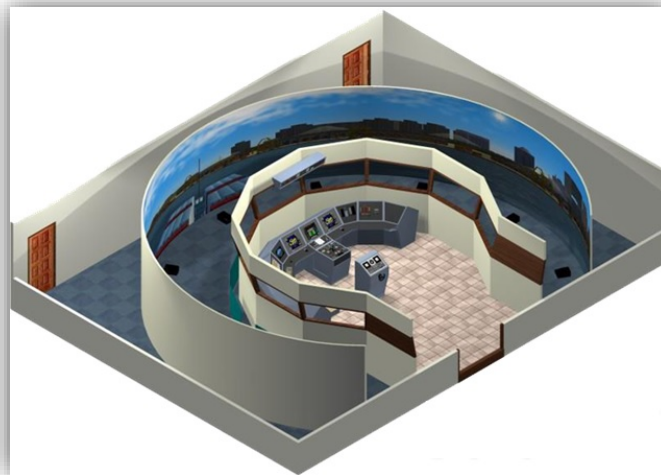
Denizaltı simülatörleri ile, denizaltı manevra dairesinde görevli personelin panel ve ekipmanlarının kullanımına ilişkin eğitimleri alması hedeflenmektedir. Ayrıca bu simülatörler yardımıyla askeri personele denizaltı dinamiklerine yetkinlik kazandırılmakta, normal ve emercensi durumdaki eğitimler de verilebilmektedir.



Şekil 2. Denizaltı Dalış Simülatörü [6]

2.2. Köprüüstü Simülatörleri

Köprüüstü simülatörleri, gemi personelinin seyir, manevra, liman giriş/çıkış, demirleme, cihazların kullanımı ve kumanda yeteneklerine yönelik eğitim verilmesi için kullanılmaktadır. Bu simülatörlerde, köprüüstünde bulunan tüm panel ve göstergeler simüle edilmekte, görsel sistem aracılığıyla köprüüstünü simüle eden bir ortam yaratılmaktadır. Personel gemi kumanda konsolu, Radar, ARPA ve ECDIS (Electronic Chart Display & Information System) ünitelerini kullanarak gemiyi senaryoya uygun bir şekilde yönlendirmektedir. Simülatörler senaryo yaratma ve değiştirme, istenilen tipte gemi modeli oluşturma, seyir noktası ve çevresel faktörler ekleme gibi yeteneklere sahiptirler.



Şekil 3. Köprüüstü Simülatörü [7]

2.3. Amfibi Harekât Simülatörleri

Amfibi harekât simülatörleri, gemi ve çıkarma araçlarının deniz geçiş safhasında emniyetli seyri, amfibi harekâtı, kapak atma/ geri çekilme ve yükleme/ bindirme faaliyetlerine yönelik eğitim verilmesi için kullanılmaktadır. Köprüüstü, Kırlangıç, SHM (Savaş Harekât Merkezi) gibi bölümleri bulunmaktadır. Köprüüstü simülatöründe olduğu gibi görüntüleme sistemi ile perdeye yansıtılan görüntü ve kontrol cihazları yardımıyla personelin amfibi hareket, savaş dışı askeri harekât, lojistik nakliyat gibi harekâtların eğitimini alması sağlanmaktadır.

2.4. Taktik Harekât Simülatörleri

Çok tehditli muharebe ortamında gerçek deniz ve muharebe şartlarına uygun bir şekilde benzetilmiş platform ve silah sistemlerini kullanarak yüzer, uçar ve dalar birlik personelinin plan görevlerine ve deniz taktiklerine olan ünsiyetlerini pekiştirmek ve harbe hazırlık seviyelerini en üst düzeye çıkarabilmek amacıyla kullanılan simülatörlerdir. Suüstü harbi, hava savunma harbi, denizaltı savunma harbi, çıkarma harekâtı gibi eğitimler bu simülatörler yardımıyla verilmektedir.



Şekil 4. Taktik Harekat Simulatörü [8]

2.5. Deniz Harp Oyunları

Deniz harp oyunu, deniz harp ortamı ile birlikte hava ve kara unsurlarını da içeren, birden fazla tarafın karşılıklı etkileşimde olduğu yapısal bir simülasyondur. Strateji ve konsept geliştirme, harekatı planlama, planlanan harekatı uygulama ve harekat sonrası analiz safhalarından oluşmaktadır. Küçük filo personeli ve komutan/kumandan seviyesi kullanıcılar için konsept geliştirme/değerlendirme ve operasyon hazırlığı/provası yapılmasını sağlamaktadır.

3. ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK KULLANIMI

3.1. Köprüüstü Görüntüsüne Seyrüsefer ve Taktik Veri Entegrasyonu

Deniz seyrüseferinde operatör birçok farklı monitörden görüntülenene çok fazla bilgiye maruz kalmaktadır. Bu bilgilerin hepsini takip edebilmek için, sık sık dikkatini köprüüstünden ayırması gerekmektedir. Bu soruna AG ile zenginleştirilmiş görüntüyü AG gözlüğü kullanılarak ya da direk pencereye yansıtılarak verimli bir çözüm bulunmuştur.



Şekil 5. AG ile Zenginleştirilmiş Köprüüstü Görüntüsü ^[10]

AG teknolojisi kullanılarak köprüüstü görüntüsünün bilgisayarla üretilen seyrüsefer ve taktik verilerinin entegre edilmesi ile zenginleştirilmesi hedeflenmiştir. Böylece köprüüstündeki personelin görüş alanında görüntülenene ve anlık değişen bilgiler ile durumsal farkındalığını ve buna bağlı olarak güvenliğini artırmak amaçlanmıştır.

Köprüüstü görüntüsünde AG kullanımı ile veri entegre edilmesi sonucunda operatör performansının %342 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir. AG verimliliğini etkileyen en önemli faktörler ise görüntüleme formatı ve kullanıcının sistemi öğrenmesi olarak belirtilmiştir. ^[9]

3.2. Gemi Sanal Bakım Eğiticileri

Gemi bakım personelinin, bakımı riskli sistemlerin bakımını yapabilmesi, gemi sistemlerini tanıması ve parça sökme/takma işlemlerini öğrenebilmesi için bir bakım eğitimi programı uygulanmaktadır. Bireysel ve öğretmen eşliğinde eğitime imkân veren bu yazılım ve donanım sisteminde şematikler, resimler, animasyonlar ve videolar ile desteklenmiş benzetimler ve kursiyerin arıza senaryolarına müdahale etmesine olanak sağlayan gerçek arıza müdahale işlemleri yer almaktadır.



Şekil 6. Sanal Bakım Eğitici [11]

AG teknolojisinin Sanal Bakım Eğiticilerinde kullanımı, gerçek ortam görüntüsünün üzerine AG gözlüğü ya da tablet kullanılarak zenginleştirilmiş görüntü eklenmesiyle sağlanmaktadır.

Kullanıcı arıza müdahale ve bakım için ilgili gerçek ortamda gözlüğü takarak, görüntüye eklenen aletleri ilgili bölgelere gerektiği şekilde uygulayarak talimatlar doğrultusunda ilerlemektedir. Kursiyer, adım adım bakımı gerçekleştirmek için, ilgili aletleri doğru yerde ve doğru şekilde kullanarak eğitimi tamamlamaktadır.

Sanal Bakım Eğiticilerinde AG kullanımı bir yandan eğitimin süresini kısaltırken diğer taraftan gerçeğe yakın bir deneyim sağlamaktadır, böylece eğitimin verimliliğini ciddi ölçüde artırmaktadır.

4. GELİŞTİRİLMESİ GEREKEN ALANLAR

AG teknolojisinin deniz platformlarında kullanımı ile ilgili literatür araştırması yapıldığında, köprüüstü görüntüsünü zenginleştirme ve Sanal Bakım Eğitici dışında farklı bir çalışmaya rastlanmamıştır. AG teknolojisinin ve getirdiği avantajların köprüüstü simülörlerinde ve harp oyunlarında kullanılması konusunda çalışmalar yapılmasının, ilgili simülasyon sistemlerinde eğitim sürelerini, risklerini, maliyetlerini ciddi ölçüde azaltacağı, askerlerin eğitimden aldığı verimi de büyük ölçüde artıracığı değerlendirilmektedir.

Köprüüstü simülörlerinde de tıpkı gerçek gemilerdeki köprüüstü görüntüsünde olduğu gibi AG ile zenginleştirilmiş görüntü elde edilebilir. Böylece personel gemi kontrol konusunda eğitilirken verilere erişimi kolaylaşır ve daha verimli eğitimler

gerçekleştirilebilir. Aynı simülatör ekranında farklı verilerle eğitimin kapsamı genişletilebilir. Kursiyere ve eğiticiye farklı gözlükler ve gözlüklere özel farklı verilerle eğitim kişiye özel hale getirilebilir.

Bunun dışında birden fazla askeri birliğin sanal bir ortamda savaşmasını simüle eden harp oyunlarında da AG kullanımı ile simülasyon ortamının zenginleştirilebileceği değerlendirilmektedir. Bu uygulama ile; harp oyunu sırasında takip edilen harp görüntüsünün yer aldığı büyük ekranda, farklı yetkinlik seviyesindeki kullanıcılar yetkinlik seviyelerine göre farklı verilere erişebilmektedir.

5. SONUÇ

Simülasyon ortamları ve simülatörler askeri personelin eğitiminde büyük rol oynamaktadır. Son yıllarda hızla gelişen ve her alanda faydalı örneklerine rastladığımız AG teknolojisi ile bu eğitimlerin verimliliği artırılabilir ve çeşitlendirilebilir.

Bu makalede AG teknolojisinin deniz platformlarında fayda sağlayan kullanımlarından bahsedilmiş, bu kullanımlar örneklerle açıklanmıştır. AG ile sağlanan verinin deniz projelerinde başka alanlarda da kullanımı için adımlar atılmasının, sadece gerçek platformlarda değil, simülasyon ortamlarında da kişiye özel eğitim ya da eğitimin kalitesini artırma amaçlı kullanımlar gerçekleştirilmesinin, etkin eğitimler verilmesi açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

6. KAYNAKÇA

- [1] Artırılmış Gerçeklik. (2015). Wikipedi:
https://tr.wikipedia.org/wiki/Art%C4%B1r%C4%B1lm%C4%B1%C5%9F_ger%C3%A7eklik
- [2] <http://www.mortonheilig.com/>
- [3] Augmented Reality – Linking Real and Virtual Worlds ,University of Southern California
- [4] Recent Advances in Augmented Reality, Ronald Azuma HRL Laboratories,Yohan Baillot,NRL Virtual Reality Lab/ITT Advanced Engineering and friends. 0272-1716/01/\$10.00 © 2001 IEEE
- [5] <http://thearea.org/augmented-reality-in-the-aerospace-industry/>
- [6] <http://www.havelsan.com.tr/RZiWi/Main/urun/881/denizalti-dalis-simulatorleri>
- [7] <http://www.gemisim.com/Kopruustu-simulator.asp>
- [8] <https://www.electronica-submarina.com/simulation-and-training/naval-tactical-simulator/?lang=en>
- [9] Chuck Benton, Dr. Jefferson Koonce, Augmented Reality: A New Tool to Increase Safety in Maritime Navigation
- [10] Augmented reality used in navigation, Netherlands Maritime University
- [11] <http://havelsan2.utopyagrafik.com/tr/egitim-ve-simulator-teknolojileri-egitim-yardimcilari-sanal-bakim-egitim-sistemleri>

ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK İLE ELEKTRİK DEVRE DENEYLERİNİN SİMÜLASYONU

Nihat DALDAL ^(a), Berat UZUN ^(b)

^(a) Abant İzzet Baysal Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Gölköy/BOLU,
nihatdaldal@ibu.edu.tr

^(b) Mimar İzzet Baysal Anadolu Teknik Lisesi, BOLU, uzunberat@gmail.com

ÖZ

Eğitmciler, mesleki eğitimde uygulama olanağının zor veya ekipman maliyetinin yüksek olduğu konularda bireylerin mesleki becerilerinin arttırılması amacıyla AR(Augmented Reality) teknolojisini kullanmayı, yenilikçi bir çözüm yolu olarak görmektedir.

AR teknolojisinin mesleki eğitimde uygulamalarda yer alması, öğrencinin öğrenme faaliyetini daha etkin ve kapsamlı olarak yapabilmesine olanak sağlayacaktır. Kullanılan teknoloji sayesinde birçok duyu organının (görme, duyma, dokunma) kullanılması öğrenci üzerindeki gerçeklik hissini arttıracaktır. Bu çalışma ile, elektrik-elektronik devre elemanlarının çalıştırılması ve deneysel devre düzeneklerinin kurulması, arttırılmış gerçeklik üzerine geliştirilen mobil uygulama ile gerçekleştirilmiştir.

Akıllı telefondaki uygulamanın çalıştırılması ile kitapta bulunan elektronik devrenin telefona gösterilmesi ile arka planda görsel hazırlanmış devre çalışması gerçekleşmekte, kullanıcı uygulama üzerinde dokunma ile istediği kontrolü gerçekleştirerek devre çalışmasını kontrol edebilmektedir. Kullanıcı, simülasyona dokunması ile müdahalede bulunarak devre üzerindeki gerilimi veya eleman değerlerini ayarlaması veya yeni eleman eklemesi ile anında simülasyon değişikliğini izleyebilmektedir.

Bu geliştirilen mobil yazılımlar AR teknolojisi ile deney düzeneğini simüle ederek ve dışardan simülasyona müdahalede bulundurarak daha etkin öğrenmeyi sağlamak hedeflenmiştir. Kurulum maliyeti çok yüksek deneysel düzeneklerin AR teknolojisi ile gerçekleştirilmesi, ekonomik veya malzeme temini bulunmayan eğitim kurumlarında vazgeçilmez bir teknoloji olarak kendisini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Arttırılmış gerçeklik, simülasyon, devre simülasyon ,aravet , sanal eğitim, sanal gerçeklik

SIMULATOIN OF ELECTRICAL CIRCUIT EXPERIMENTS WITH AUGMENTED REALITY

ABSTRACT

Using AR (Augmented Reality) technology to increase the vocational skills of individuals in situations where it is difficult or costly to implement in vocational training as trainers can be seen as an innovative solution.

Applications for AR technology to be included in vocational education, the learning activities will provide the learner to enable them to make more effective and comprehensive. The technology used thanks to the many senses (sight, hearing, touch) on the student will increase the use of your sense of reality. In this study, the experimental operation of the electrical circuit elements and circuit mechanisms for the establishment of augmented reality with the mobile application developed on was carried out.

By running the application on the smart phone, the electronic circuit in the book is displayed on the phone and the backplane is visually prepared circuit operation, and the user can control the circuit operation by performing the desired control by touching the application. The user can interfere with the touch of the simulation to adjust the voltage or element values on the circuit, or instantaneously watch the simulation change by adding new elements.

These developed mobile software are aimed to learn more effectively by simulating the experimental setup with AR technology and by intervening in the simulation from the outside. The realization of the experimental setup with AR technology which has a very high cost of installation shows itself as an indispensable technology in educational institutions that do not have economic or material resources.

Keywords: Augmented reality, simulation, circuit simulation, aravet, virtual education, virtual reality

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiler ve bununla birlikte internetin yaygınlaşması ile yeni nesil eğitim sistemi oldukça gelişmiştir. Görev başında olan çoğu eğitimciler, teknoloji çağı öncesindeki geleneksel eğitim sistemleri ile yetiştirilmiştir. Gelişmiş teknolojiler ile dijital eğitim çağı da başlamış ve bu dönemde yetişen çocuklara hitap edebilmek için onların dilinde konuşabilecek bir eğitim modelinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu da geleneksel eğitim teknolojileri ve materyallerinin artık yetersiz kalmaya başlaması anlamına gelmektedir [1]. Günümüzde bireylerin teknolojiye ulaşmaları oldukça kolaylaşmış ve teknoloji okur-yazarlığı neredeyse toplumun geneline yayılmıştır. Buna rağmen, eğitimcilerin çoğu derslerinde halen klasik eğitim-öğretim metodları ve materyallerini kullanmaktadır. Bu durum birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Kısaca sıralamak gerekirse; Televizyon ve internet ile yetişen bireylerin görsel algıları önceki nesillere göre daha gelişmiş durumdadır. Sözel anlatım ile işlenen bir ders,

öğrencilerin ilgisini toplayamamakta ve kısa bir sürede dersten uzaklaşmasına sebep olmaktadır [2]. Uygulamalı eğitim yapılmak istendiğinde ise her eğitim kurumu aynı şartlara sahip olamamaktadır. Uygulamalı eğitimi sağlayacak fiziksel ortamların kurulumu; yüksek maliyet, yeterli fiziksel ortam ve personel gücü gerektirmektedir. Bu nedenle de eğitimde eşitlik sağlanamamaktadır. Bu şartlar sağlanmış olsa dahi hiçbir tecrübesi bulunmayan öğrenciler tehlike oluşturan uygulamalarda, örneğin yüksek gerilim deneyleri, hareketli ve kesici malzemelerin bulunduğu laboratuvar deneylerinde çok ciddi tehlikelerle karşı karşıya gelebilmektedirler. Teknolojinin çok hızlı gelişim göstermesiyle kurulan bir atölye bir iki yıl içerisinde teknolojinin gerisinde kalmaktadır. Laboratuvarların modernizasyonu istendiğinde ise kurumlara yeni mali yükler getirmektedir ve malzeme israfına sebep olmaktadır. Modern toplumlarda zamanın en önemli ihtiyaç olduğu aşikârdır. Bireyler bilgiye istedikleri yer ve zamanda erişebilme ihtiyacını hissetmektedirler. Okullara kurulan akıllı tahta vb. yeni teknolojik ürünler, öğretmenler tarafından yeterli düzeyde kullanılamamaktadır. Bunun başlıca sebeplerinden biri ise dijital ortamdaki materyal eksikliğidir [3].

Öğrenciler örgün eğitim sürecinde okul imkânlarıyla her türlü bilgi ve materyale ulaşabilir. Hayat boyu öğrenmeyi kendine felsefe edinmiş bir birey ise mezun olduktan sonra bile bu imkânlarla sahip olmayı isteyecektir. Bunun yanı sıra işletmeler kendi personellerine ve bayilerine yeni ürünler hakkında bilgi verme ihtiyacı duymaktadırlar. Bunun için bir eğitim ortamı oluşturulup bireyleri bir araya toplamak gerekmektedir. Bu da ciddi maliyet ve zaman israfına sebep olmaktadır. Bu sorunlar, iki ana başlıkta toplanabilir. Bunlar; mesleki eğitimde etkin öğrenmenin gerçekleştirilememesi ve hayat boyu öğrenmenin örgün eğitim sonunda devam ettirilememesidir. Bunların yanı sıra, hâlihazırdaki yükseköğrenim sınav sisteminden dolayı mesleki eğitime yönelen öğrencilerin akademik başarı düzeylerinin düşük olmasıdır [3-4].

Belirlenen sorunların çözüm noktası olarak bilgi ve iletişim teknolojilerinde kullanılan modelleme ve simülasyon teknolojilerinin eğitim-öğretim alanına dahil edilmesi gerektiği görülmektedir. Bu sayede görsel ve işitsel sanal materyaller, zamandan ve mekândan bağımsız olarak kullanılabilir. AR (augmented reality) veya VR (virtual reality) teknolojileri ile gerçekleştirilecek tüm uygulamaların sanal ortamlarda paylaşılması, herhangi bir bireyin istediği her anda herhangi bir konuyu öğrenebilmesini sağlayacaktır [5-6-7]. Ülkemizde Fatih projesi olarak adlandırılan ve okullarda akıllı sınıfların oluşturulmasını hedefleyen bir proje yürütülmektedir. Bu projeyi destekleyecek daha fazla dijital eğitim-öğretim materyallerine ihtiyaç duyulacaktır. Teknolojik sınıflarda Elektrik elektronik teknolojisi alanında oluşan ihtiyaçtan dolayı elektriksel devre deneylerinin simülasyonlarının hazırlanması planlanmıştır.

2. ARTTIRILMIŞ GERÇEKLİK

Gerçeklik üzerine yapılan uygulamalar da teknolojiye göre optik temelli teknolojiler ve video temelli teknolojiler olarak iki grupta değerlendirilebilir [8]. Bu iki teknoloji arasındaki temel farklılık gerçek ve sanal dünyanın bütünleştirilmesiyle oluşan sahnenin görüldüğü yerdir. Optik sistemlerde bütünleştirilmiş sahne gözlük aracılığıyla gerçek dünyada görülürken, video temelli sistemlerde bütünleştirilmiş sahne

bilgisayar/tablet/mobil cihaz üzerinde görülmektedir [9]. Arttırılmış gerçeklik uygulamalarının askeri olarak kullanıldığı alanlar oldukça fazladır [10]. Burada pilotların kaskına yerleştirilen ve göz hizası seviyesinde kullanılan saydam özellikli ekranlar tasarlanmıştır. Bu ekranlar pilotların görmesi gereken uçuş verilerini anlık olarak göstermektedir. Donanımın saydam yapısı sayesinde pilotların gerçek görüntü ile veri ekran görüntüsünü aynı anda görmesi amaçlanmıştır. Savaş pilotlarındaki uygulama alanıyla başlayan bu teknoloji, günümüzde birçok alanda kendisini göstermektedir [11]. Arttırılmış gerçeklik eğitim, mimari, doğal afetlerden korunma, sanat, reklam, pazarlama, eğlence, sağlık, turizm, mühendislik ve askeri alanlarda çok farklı uygulamalar ile kullanılabilir. Augmented Reality konusunda çalışmalar yapan birçok yazılım firması oluşturduğu SDK dosyalarını ücretli veya ücretsiz olarak internetten paylaşmaktadır.

3. UYGULAMADA KULLANILAN PROGRAM VE EKLENTİLER

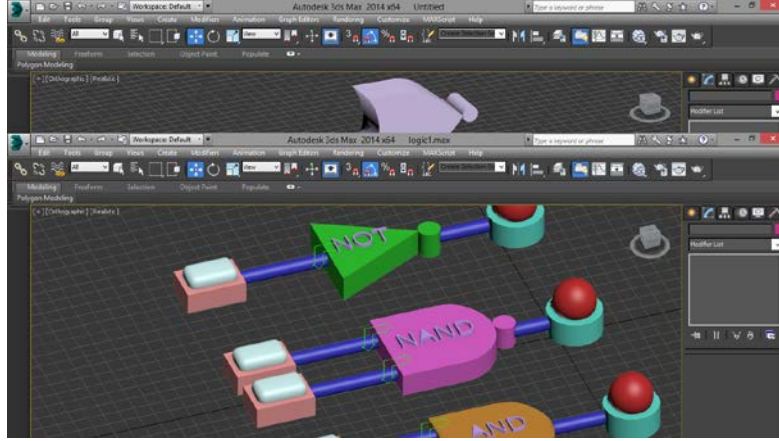
3Ds Max, Autodesk firması tarafından geliştirilen (ve hala geliştirilmekte olan) dünyanın en popüler ve en çok kullanılan 3D modelleme ve animasyon programıdır. **Unity3D**, **Unity** Technologies şirketi tarafından geliştirilmiş ücretli bir oyun motorudur. İçerisinde programlama dilleri kullanılarak tanımlanan fonksiyonlar sayesinde 3 boyutlu manipülasyon ve simülasyon sağlanmaktadır. **Unity 3D**, 2 farklı betik dil yapısını (Java Script ve C#) desteklemektedir. **Vuforia SDK** Qualcomm firmasını sahip olduğu Augment Reality alanında dünyanın en yaygın kullanılan eklentisidir. Kolay kullanımı ve unity 3d ve diğer oyun motorları ile sorunsuz çalışması sayesinde ilginç çalışmalar ortaya çıkmaktadır. **Playmaker** Unity 3d üzerine kurulan görsel programlamaya izin veren eklentidir. Programlama konusunda tecrübesi olmayanların bile profesyonel işler çıkarması için kullanabileceği bir eklentidir [12].

4. UYGULAMA ARAYÜZÜNÜN GELİŞTİRİLMESİ

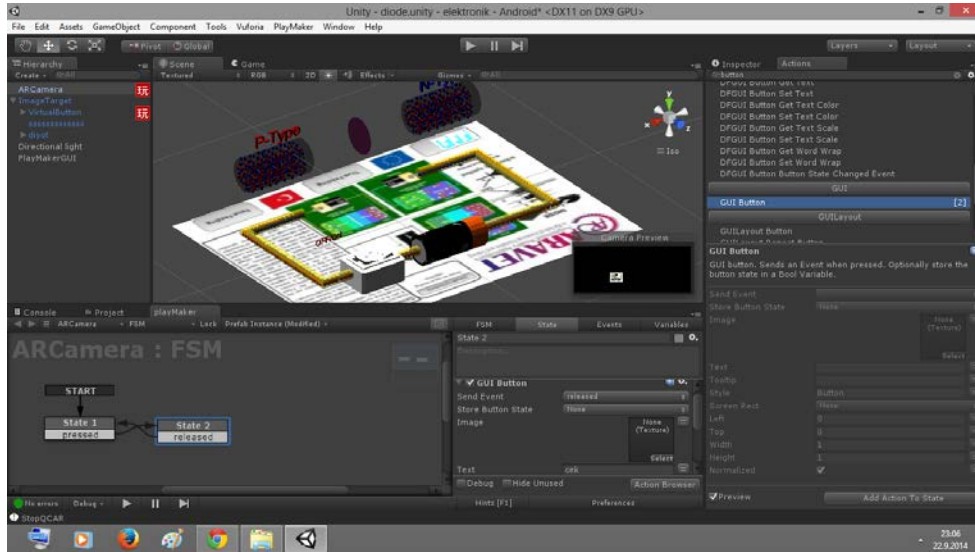
Üç boyutlu obje ve animasyonlar 3DS Max programında tasarlanmıştır. Oluşturulan nesneler üç boyutlu tasarım programları arasında geçiş sağlanması amacıyla fbx formatına dönüştürülmüş ve unity 3D oyun motoru programına aktarılmıştır. Oyun motoru programına ücretsiz olarak sunulan vuforia AR sdk dosyası yüklenmiştir.

Vuforia programının web sitesi üzerinde, uygulamalarımızın tabanını teşkil eden temsili resimler yüklenerek gerekli kodlar oluşturulmuştur. Oluşturulan kodlar sdk dosyasına eklenerek unity 3d entegrasyonu sağlanmıştır. Örnek uygulamalar içerisindeki Animasyonu ve 3D objeleri manipüle etmek için playmaker plugin dosyası unity 3D programına yüklenmiştir. Buton hareketleri, lambaların yakılması ve diğer etkiler için playmaker görsel programlama yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan AR sahneleri birleştirilerek apk olarak export edilerek android yazılımı haline dönüştürülmüştür. Oluşturulan yazılım Google play store'a yüklenerek kullanıcıların hizmetine

sunulmuştur. 3DS Max ile tasarım Şekil 1’de , Unity 3D ve playmaker eklentisi ise Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 1. 3 DS Max ile üç boyutlu objelerin oluşturulması

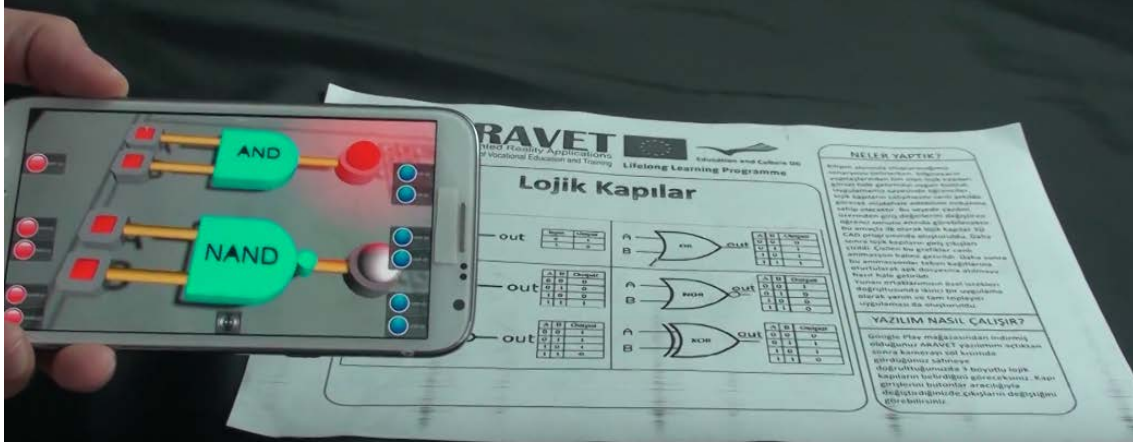


Şekil 2. Unity 3D ve playmaker eklentisi ile dışardan kontrol sağlama

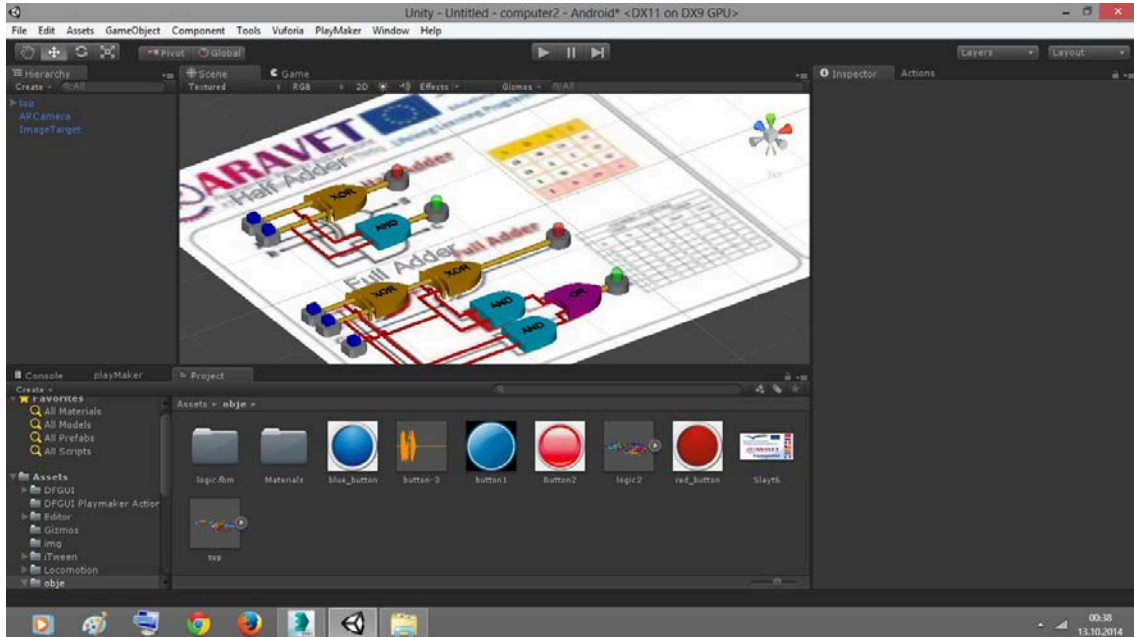
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bildiride mesleki eğitimin elektrik-elektronik alanında bazı devrelerin simülasyonu artırılmış gerçeklik ile tasarlanarak, daha görsel ve anlaşılabilir bir materyal hazırlanmıştır. Yapılan ilk çalışmada sayısal elektronik ders içeriği konularından lojik kapıların çalışma prensibi simülasyon olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3’ te görülen lojik kapı simülasyon çalışmasında kullanıcı telefondan geliştirilen uygulamayı

çalıştırdığında ekranı sayfa üzerine tuttuğu anda lojik kapıların üç boyutlu çizimi açılır. Kullanıcı çizim üzerinde oluşan anahtar ve lojik kapı girişlerine ekran ile dokunarak devrenin çalışmasını gözlemlemektedir. Ayrıca ek olarak Şekil 4'te yarım ve tam toplayıcı devresinin AR tasarımı görülmektedir. Toplayıcı girişlerine butonlar sayesinde 0 ve 1 değerleri verilerek sonuçlar gözlenebilmektedir.



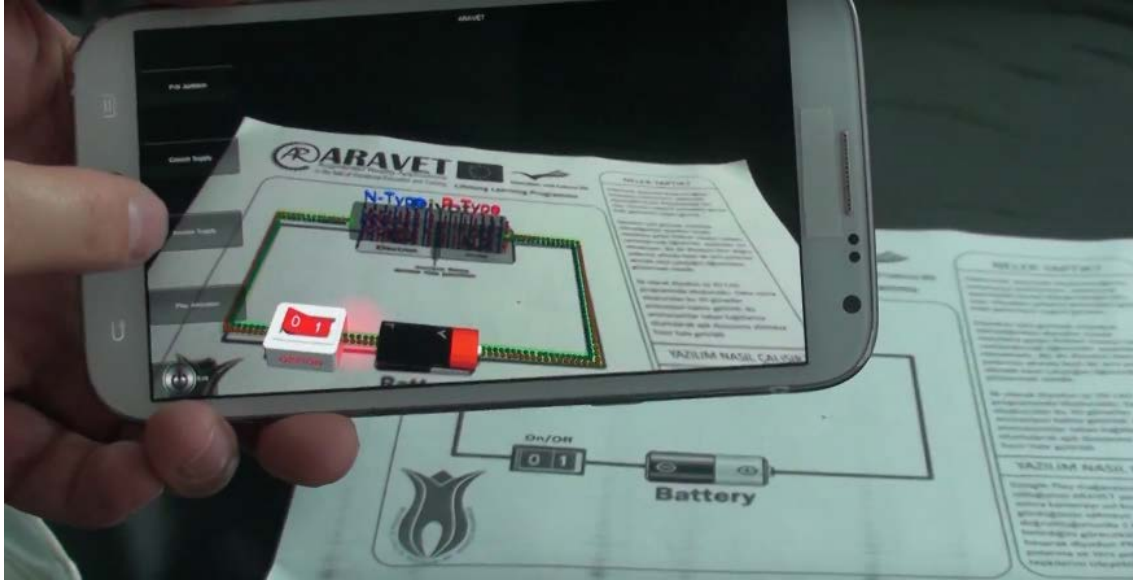
Şekil 3. Lojik kapı deneyinin uygulanması



Şekil 4. Yarım ve Tam toplayıcı devresinin AR tasarımının yapılması

Şekil 5'te gösterilen bir uygulamada ise bir diyotun çalışma prensibi ve devre üzerinde ileri yön, ters yön polarmalandırılması deneyi görsel olarak gerçekleştirilmiştir. Telefon üzerinden uygulama çalıştırılıp kitap üzerindeki diyotlu devreye gösterildiği anda

devrenin üç boyutlu simülasyon şeması telefon ekranında gözükmemektedir. Bu durumda kullanıcı uygulama üzerinde beliren butonlara basarak diyotu ileri yön ve ters yön polarmalandırma ile elektron akış yönlerini ve ters yön yüzey birleşim bölgesini simülasyonda görmektedir. Kullanıcı sayfa üzerinde bir noktaya dokunduğunda ise simülasyona müdahale edebilmektedir. Bu uygulamada kullanıcının elini yaklaştırması ile diyotun kılıf yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5. Diyot deneyinin uygulanması

6. SONUÇLAR

Bu çalışma İtalya, Yunanistan, Romanya ve Türkiye’de meslek eğitimi veren kurumlarda aynı seviye iki ayrı sınıflarda sınıfın birinde klasik yöntemle anlatılmış, diğerinde ise geliştirilen bu uygulama üzerinden anlatılmıştır. Ders sonunda sınıflara test uygulanmış ve başarı durumları karşılaştırılmıştır. Uygulanan testlerde toplam 20 soru sorulmuş ve AR destekli eğitim verilen sınıfta %90 başarı sağlanmışken, klasik eğitim verilen sınıflarda ortalama %60 başarı sağlanmıştır. Ülkelerdeki değerlendirmeler birbirine yakın çıkmıştır.

Öğrenciler ile yapılan ankette;

%85 AR destekli uygulamaları ilgi çekici bulmuştur.

%80 diğer dersler içinde AR destekli uygulama istediğini belirtmiştir.

Bu sonuçlar yapılan çalışmanın öğrenme üzerine etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca Uygulama yapılan Okullardaki eğitimcilerden pozitif yorumlar alınmıştır.

Projenin 2. Fazı olarak Avrupa çapında AR konusunda uygulama örneği hazırlayan eğitimcilerin uygulamalarını yükleyebileceği bir veritabanı hazırlanmaktadır. Android Programın üst versiyonunda online çalışma sağlanarak veritabanındaki tüm uygulamaların herkesin kullanımına olanak vermesi sağlanacaktır. Projenin 3. Fazında VR (virtual reality) laboratuvar yapımı hayata geçirilecektir.

7. TEŞEKKÜR

Yapılan çalışma Avrupa Birliği tarafından desteklenip ARAVET ismi ile 7 ülke ortaklığı ile 2014-2015 yıllarında uygulanmıştır. 3d tasarım ve programlama Koordinatör kurum olarak Türkiye'deki Meslek Okulumuz tarafından yapılmıştır. Yazılım konusunda İspanya, Slovenya ve Çekya'da faaliyet gösteren bilişim firmalarından teknik destek alınmıştır. Deney konularının tespiti ve deneylerin uygulanması konusunda İtalya, Yunanistan, Romanya'daki mesleki okullar destek vermiştir.

(www.aravet-project.eu)

8. KAYNAKÇA

- [1] Akkoyunlu, B. (2002). Educational technology in Turkey: Past, present and future. *Educational Media International*, 39(2), 165-174.
- [2] Abdüsselam, M. S. & Karal, H. (2012). Fizik öğretiminde artırılmış gerçeklik ortamlarının öğrenci akademik başarısı üzerine etkisi: 11. Sınıf manyetizma konusu örneği. *Eğitim ve Öğretim Araştırmaları Dergisi*, 1(4), 170-181.
- [3] Kalkınma Ajansı Projesi 2013, (www.aravet-project.eu)
- [4] Yuen, S., Yaoyuneyong, G., ve Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1), 119-14.
- [5] Kerawalla, L., Luckin, R., Selijefot, S., ve Woolard, A. (2006). Making it real: Exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual Reality*, 10(3-4), 163-174.
- [6] Shelton, B. E., ve Hedley, N. R. (2002). Using augmented reality for teaching earth- sun relationship to undergraduate geography students. *The First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop* (pp. 1-8). Darmstadt, Germany: IEEE.
- [7] Klopfer, E., ve Yoon, S. (2004). Developing games and simulations for today and tomorrow's tech savvy youth. *TechTrends*, 49(3), 41-49.
- [8] R.T.Azuma, "A Survey of Augmented Reality", *Teleoperators and Virtual Environments*, 355-385, 6, 4 August 1997.
- [9] S.Somyürük, "Öğrenme sürecinde Z Kuşağının Dikkatini Çekmek: Artırılmış Gerçeklik", *Eğitim Teknolojisi*, 4(1), 63-80, 2014.

- [10] M. A. Livingston, L. J. Rosenblum, D. G. Brown, G. S. Schmidt, S. Julier, Y. Baillot, J. E. Swan II, Z. Ai, ve P. Maassel, “User interface design for military ar applications.”, Virtual Reality (UK), 2011.
- [11] Icten, T. BAL G., “Artırılmış Gerçeklik Üzerine Son Gelişmelerin ve Uygulamaların İncelenmesi”, Gazi Üniv. Fen Bilimleri Dergisi, Part C, TasarımTecnoloji 5(2).- 2017
- [12] Zhou, F., Duh, H. B. L., & Billinghurst, M. (2008, September). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In Proceedings of the 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (pp. 193-202). IEEE Computer Society.

HAVA HEDEFLERİNİN GELECEK ZAMANDAKİ DURUM TAHMİNİ ÇALIŞMASI

Fırat Yılmaz Cevher ^(a), M. Kemal Leblebicioğlu ^(b)

^(a) Roketsan AŞ, Ankara-Samsun Karayolu 40. Km 06780 Elmadağ, ANKARA,

firat.cevher@roketan.com.tr

^(b) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,

kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada hava hedeflerinin gelecek zamandaki olası durumlarına ait bir tahmin algoritması geliştirilmiştir. Algoritma, manevrasız ve manevra yapan hedeflerin takibinde oldukça güçlü ve yetenekli olan Etkileşimli Çoklu Model (IMM) süzgeci üzerine kurulmuştur. IMM süzgeci, hedef takibinde birden fazla süzgecin etkin bir şekilde yönetilmesini sağlayarak kestirim sonucunun performansını artıran bir yapıdır. IMM süzgeci içerisindeki her bir süzgecin kendine ait hareket modelleri ve süzgeç parametreleri vardır. IMM süzgeci, takibini yaptığı hedefin davranışı ile bünyesindeki süzgeçlerin kestirim değerlerini istatistiksel olarak ilişkilendirerek, hedef pozisyon kestirimini süzgeçlerin kestirim değerlerinin ağırlıklı toplamı olarak elde eder. Bu çalışma kapsamında geliştirilen algoritma ise IMM süzgeci kapsamındaki tüm hareket modellerine ait kestirim değerlerini, hata kovaryans değerlerini ve hareket modelleri arasındaki olasılık değerlerini kullanarak, hedefin bulunduğu zamana ve pozisyona göre gelecekte bulunabileceği pozisyonları ve bu pozisyonlara ait olasılıkları hesaplar. Algoritma hesaplama yaparken IMM süzgeci bünyesindeki süzgeçleri kullanır. Hareket modelleri arasındaki olasılık değerleri, süzgecin en yüksek olasılığa sahip olan hareket modeli, bir hareket modeli içerisindeki aralıksız kalma süresi gibi parametreler kullanılarak güncellenir. Bu çalışma kapsamında 5 adet farklı hareket modellerine ve filtre parametresine sahip IMM süzgeci kullanılarak, 2 boyutlu ekseninde benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu algoritma hava hedeflerine karşı kullanılabilecek sistemlerde hedefin etkisiz hale getirilmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gelecek zamandaki hedef durum tahmini, hareket modelleri, hedef takibi, IMM (Etkileşimli Çoklu Model) süzgeci.

A STUDY FOR FUTURE STATE PREDICTION OF AIR TARGETS

ABSTRACT

In this study, an algorithm is developed in order to predict future state of air targets. The algorithm is based on an Interacting Multiple Model (IMM) filter that is one of the most powerful and talented tracking filters for maneuvering and non-maneuvering targets. IMM filter provides a structure to efficiently manage multiple filter models to get a better state estimation of targets. Filters used in an IMM filter have individual motion models and filter parameters. IMM filter correlates the behavior of target of interest and state estimate of each filter models, position estimation of target are combined as a weighted estimate state of each model and correlation result. This algorithm uses most features of IMM filter such that motion models, estimated state and covariance of each filter models and mode probabilities, in order to predict future target states with their corresponding probabilities with respect to its current state. Mode probabilities used for prediction are updated by using motion model which has the highest mode probability and sojourn time of the motion model. 2D simulation study of the algorithm is done by using an IMM filter which has 5 filters with varying motion models and filter parameters. This algorithm is developed to be used in air defense systems.

Keywords: Future target state prediction, motion models, target tracking, IMM filter.

1. GİRİŞ

Balistik füzeler, seyir füzeleri, insansız hava araçları, savaş ve bombardıman uçaklarının kapsamına dâhil olduğu hava tehditleri günümüzün en büyük kitle imha yöntemlerinden birisidir. Bu konu ile ilgili olarak birçok ülke hava savunma sistemlerine ciddi yatırımlar yapmakta ve bu sistemlerin sürekli gelişimine önem vermektedir [1]. Hava savunma sistemlerinin en önemli noktalarının başında hedef takibi ve hedefin tehdit ettiği alanın tahmini gelmektedir. Özellikle yüksek manevra kabiliyetine sahip olan hava tehditlerinin takibi ve tehdit ettiği alanın tayini oldukça zordur [2], [3].

Hedef takibi temelde durum kestirimi algoritmalarının gerçek ortamda kullanılması olarak düşünülebilir. Kalman süzgeci (KF) oldukça popüler bir yinelemeli kestiricidir. Doğrusal ve normal gürültü dağılımına sahip sistemlerde kullanılan KF, sistem modelini ve ölçümleri kullanarak bir önceki durum kestirimi değerinden şimdiki durum kestirimini yapar [4].

Yüksek manevra kabiliyeti, hareket dinamiğinin sürekli olarak değişmesi anlamına gelmektedir [3]. Hareket dinamiği daha az değişen sistemlerin takibinde kullanılan ve oldukça yüksek başarıya sahip olan Kalman Süzgeci (KF), hareket dinamiğinin değiştiği sistemlerde her zaman başarılı olamamaktadır. Çünkü hedef manevra yapmaya başladığında sistem modeli ile süzgeç modeli arasında uyumsuzluk belirecektir.

Sistem dinamiği değişken olan sistemlerin takibi için literatürde Etkileşimli Çoklu Model (IMM) süzgeci önerilmiştir. IMM süzgeci çoklu süzgeç modellerinin değişen sistem dinamiği ile uyumuna bakan ve bu uyuma bağlı olarak durum kestirimi yapan bir algoritmadır. IMM süzgeci içerisindeki modellerin değişen sistem dinamiği ile uyum içerisinde olması gerekmektedir. IMM süzgeci içerisindeki model yönetimi Markov zinciri temelinde yapılmaktadır. Markov zinciri modeller arasındaki geçişi kontrol eder. Böylelikle IMM süzgeci kendi içerisinde sistem dinamiği ile hareket modeli uyumunu elde eder ve durum kestirimini bu uyum doğrultusunda yapar [5], [6].

Yukarıda da sıklıkla belirtildiği üzere gerek KF gerekse de IMM süzgeci için takibi yapılan dinamik sistemin modeline ihtiyaç duyulmaktadır; doğru ve hatasız bir dinamik model, hedef takibi sırasında erişilebilir değildir. Bu yüzden literatürde [7] hedef takibi için kullanılmak üzere çeşitli matematiksel modeller bulunmaktadır. Bu matematiksel modeller manevra yapan ve yapmayan sistemlerin dinamiğini benzetmek amacıyla kullanılmaktadır.

İşbirlikçi güdüm yaklaşımının hava savunma sistemlerinde kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. İşbirlikçi güdüm yaklaşımındaki kritik noktalardan biri hedefin gelecek zamandaki durum tahminidir [8], [9], [10]. Bu çalışmanın temel amacı hava savunma sistemlerinin işbirlikçi güdüm algoritmalarında kullanılmak üzere bir zaman-konum-olasılık haritasının çıkarılmasıdır. Geliştirilen algoritma hatasız bir dinamik modeli olmayan hava hedeflerinin gelecek durumlarına ait tahmini üzerine kurulmuştur. Tahminin sonucu sisteme ait dinamik modelin doğruluğu ile doğru orantılıdır. Hava alanlarında kullanılan hava trafiği kontrolü (ATC) tahmin yöntemlerinde uçaklara ait hız, manevra kabiliyeti, ağırlık, ortamın dinamik basıncı vb. gibi parametreler, uçakların hatası oldukça az olan dinamik modelleri ile birlikte kullanılmaktadır [11]. Ancak hava hedeflerinde hatasız ve doğru bir sistem dinamiği modeli olmadığı için ve hedeflerin manevra kabiliyetleri net olarak bilinmediği için bu tarz hedeflerin gelecek durum tahmini zordur. Algoritma tahminini yaparken IMM süzgeci tarafından hedef takibi sırasında elde edilmiş olan mod olasılıklarını kullanarak hedefin hangi hareket modunda olduğunu, böylelikle de hangi dinamik modele yakınsadığını kullanır. Ek olarak hedefin manevra yapma ihtimalini de göz önünde bulundurarak, geçerli kriterler sağlandığı durumda hedefin manevra yapması ihtimaline ait tahminlerde de bulunur.

Çalışmanın kalan kısmı şu şekilde planlanmıştır. 2. Bölümde IMM süzgeci hesaplama adımları verilmiştir. IMM süzgeci bünyesindeki süzgeç modelleri doğrusal ve normal gürültü dağılıma sahiptir. Bu yüzden IMM süzgeci içerisindeki süzgeçler KF olarak kullanılmıştır. 3. Bölüm’de bu çalışmada geliştirilmiş olan algoritmanın detayları verilmiştir. Algoritma manevra yapma ihtimali olan ve olmayan her iki durum için de ele alınmıştır. 4. Bölüm’de ise benzetim çalışması sonuçları paylaşılmış olup 5.Bölüm’de sonuç kısmı ile bitirilmiştir.

2. IMM SÜZGEÇİ İLE HEDEF TAKİBİ

Manevra hedef takibi için model uyumsuzluğu probleminde sebep olmaktadır. Manevra yapan hedeflerin durum kestiriminde çoklu süzgeç modelleri kullanılır. Çoklu süzgeç modellerinin etkin yönetimi başarılı bir durum kestirimi için oldukça önemlidir. Bu gereksinim Etkileşimli Çoklu Model (IMM) süzgeci tarafından yerine getirilmektedir. IMM süzgeci çoklu süzgeç modellerinin değişen sistem dinamiği ile uyumuna bakan ve bu uyuma bağlı olarak durum kestirimi yapan bir algoritmadır. Bu çalışmada IMM süzgeci bir amaç değil araç olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden IMM süzgeci ile ilgili detaylı teorik bilgilere [5] ve [12] verilmiştir ve bu çalışma kapsamı dışındadır.

Kesikli zaman doğrusal Gauss sistemi aşağıdaki şekilde ifade edilir [12].

$$x_{k+1} = A_k x_k + w_k, \quad w_k \sim N(w_k; 0; Q) \quad (1)$$

$$z_k = C_k x_k + v_k, \quad v_k \sim N(v_k; 0; R) \quad (2)$$

Burada A_k durum geçiş matrisini C_k ise ölçüm matrisini gösterir. w_k ve v_k sırasıyla süreç ve ölçüm gürültülerini modeller ve sıfır ortalamalı sırasıyla Q ve R hata kovaryans değerlerine sahip normal dağılımlı rastsal değişkenlerdir. Farz edilsin ki IMM süzgeci bünyesinde N_r adet süzgeç modeli (toplam mod durum sayısı) var. $k - 1$ anında her bir filtre modeline ait durum kestirimi ve hata kovaryans değeri sırasıyla $\{\hat{x}_{k-1|k-1}^j\}_{j=1}^{N_r}$ ve $\{P_{k-1|k-1}^j\}_{j=1}^{N_r}$ olarak, mod durumları arasındaki olasılığın (mod olasılığı) ise $\{\mu_{k-1}^j\}_{j=1}^{N_r}$ olarak ifade edilsin. Ek olarak farklı mod durumları (r_k) arasındaki geçiş olasılığı matrisi şu şekilde ifade edilsin; $\Pi = [\pi_{ji} \cong P(r_k = j | r_{k-1} = i)]$. Bu varsayımlar altında IMM süzgecinin k anındaki durum kestirimi, hata kovaryansı ve mod olasılıkları, $\{\hat{x}_{k|k}^j, P_{k|k}^j, \mu_k^j\}_{j=1}^{N_r}$ aşağıdaki şekilde hesaplanır.

İlk olarak $k - 1$ anındaki geçiş olasılığı matrisi ve mod olasılıkları kullanılarak (3) ile gösterilen karışım olasılığı hesaplanır. Bu değere bağlı olarak her bir modele ait kestirim ve kovaryans değerleri sırasıyla (4) ve (5) ile gösterilen şekilde yeniden hesaplanır.

$$\mu_{k-1|k-1}^{ji} = \frac{\pi_{ji} \mu_{k-1}^j}{\sum_{l=1}^{N_r} \pi_{li} \mu_{k-1}^l} \quad (3)$$

$$\hat{x}_{k-1|k-1}^{0i} = \sum_{j=1}^{N_r} \mu_{k-1|k-1}^{ji} \hat{x}_{k-1|k-1}^j \quad (4)$$

$$P_{k-1|k-1}^{0i} = \sum_{j=1}^{N_r} \mu_{k-1|k-1}^{ji} \left[P_{k-1|k-1}^j + (\hat{x}_{k-1|k-1}^j - \hat{x}_{k-1|k-1}^{0i}) (\hat{x}_{k-1|k-1}^j - \hat{x}_{k-1|k-1}^{0i})^T \right] \quad (5)$$

(4) ve (5) ile elde edilen her bir modele ait kestirim ve kovaryans değerleri kullanılarak yine her bir model için tahmin değerleri hesaplanır. Bu adım KF'nin model güncelleme adımı ile aynıdır. İşlem adımları (6) ve (7) ile gösterilmiştir.

$$\hat{x}_{k|k-1}^i = A(i)\hat{x}_{k-1|k-1}^{0i} \quad (6)$$

$$P_{k|k-1}^i = A(i)P_{k-1|k-1}^{0i}A^T(i) + Q(i) \quad (7)$$

Ölçüm hesaplama adımları ise yine her bir model için ayrı ayrı yapılır. Bu adımda Kalman kazancı, K_k , hesabı alınan ölçüm ve ölçüm varyansına bağlı olarak hesaplanır. Güncelleme adımı hesaplanan tahmini kovaryans ve durum değerleri bu adımda güncellenerek, her bir model için durum kestirimi ve kovaryans değeri hesaplanır. i 'nci model için ilgili işlem adımları (8)-(13) ile gösterilmiştir.

$$\hat{z}_{k|k-1}^i = C(i)\hat{x}_{k|k-1}^i \quad (8)$$

$$\tilde{y}_{k|k-1}^i = z_k - \hat{z}_{k|k-1}^i \quad (9)$$

$$S_{k|k-1}^i = C(i)P_{k|k-1}^i C^T(i) + R(i) \quad (10)$$

$$K_k^i = P_{k|k-1}^i C^T(i)(S_{k|k-1}^i)^{-1} \quad (11)$$

$$\hat{x}_{k|k}^i = \hat{x}_{k|k-1}^i + K_k^i \tilde{y}_{k|k-1}^i \quad (12)$$

$$P_{k|k}^i = P_{k|k-1}^i - K_k^i S_{k|k-1}^i K_k^{iT} \quad (13)$$

(8) ve (10) ile belirtilen denklemler kullanılarak, alınan ölçüm ile bu değerler arasındaki benzerlik hesaplanır. Bu adım (14) ile sağlanır. Buradaki amaç alınan ölçümün ile süzgeç modelleri arasındaki benzerliğini nicelik olarak ortaya çıkarmaktır.

$$\Lambda_k^i = N(z_k; \hat{z}_{k|k-1}^i, S_{k|k-1}^i) \quad (14)$$

(15) ile de (14) kullanılarak mod olasılığı hesabı yapılır.

$$\mu_k^i = \frac{\Lambda_k^i \sum_{j=1}^{Nr} \pi_{ji} \mu_{k-1}^j}{\sum_{l=1}^{Nr} \Lambda_k^l \sum_{j=1}^{Nr} \pi_{jl} \mu_{k-1}^j} \quad (15)$$

IMM süzgeci durum kestirimi ve kovaryans hesabını (12), (13) ve (15) kullanarak (16) ve (17) ile ifade edildiği gibi yapar.

$$\hat{x}_{k|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \mu_k^i \hat{x}_{k|k}^i \quad (16)$$

$$P_{k|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \mu_k^i \left[P_{k|k}^i + (\hat{x}_{k|k}^i - \hat{x}_{k|k})(\hat{x}_{k|k}^i - \hat{x}_{k|k})^T \right] \quad (17)$$

3. HEDEF DURUM TAHMİNİ ALGORİTMASI

Doğru durum tahmini yapabilmek için temel olarak hatasız bir dinamik sistem modeline ve bu modelin girdilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Balistik füzeler, seyir füzeleri ve

insansız hava araçları gibi yüksek hızlı olan ve yüksek manevra kabiliyetine sahip olan hava hedeflerine ait hatasız bir dinamik model mevcut değildir. Hedefin dinamik sistemi çeşitli hareket modelleri ile ifade edilmektedir. Bu algoritma, hedef takibinin IMM süzgeci ile yapıldığı bir senaryoda hedefin gelecekteki durum tahminini, IMM süzgeci bünyesindeki hareket modelleri ve mod olasılıklarını kullanarak yapar. Algoritma aşağıda sıralanan varsayımlar doğrultusunda geliştirilmiştir.

- Hedef en az bir kere manevra yapar.
- Hedefin manevra limiti vardır.
- Hedefin $k - 1$ anındaki durum vektörü IMM süzgeci ile hesaplanır.
- IMM süzgeci sabit hız (CV) ve açısal hızı farklı olan koordineli dönüş (CT) hareket modellerinden oluşmaktadır. Açısal hız değerleri pozitif ve negatif yönlere dönüşü benzecek şekilde seçilir.
- Mod olasılığı en yüksek olan hareket modeli hedefin o andaki hareket modelini yansıtır. Olasılık değerlerinin eşit olması durumunda hedefin hareket modeli sabit hızlı modeldir.
- Her hareket modeli için, ilgili modelin hedefin hareketini ardışık olarak ifade etme süresi hesaplanır. Bu hesap hedef modelinin i -nci modelde kalma süresi, $\{\tau_{st_k}^i, i = 1, \dots, N_r\}$ olarak da ifade edilir. Bu değer IMM süzgeci durum kestirimi adımı hesaplandıktan sonra hesaplanır. Herhangi bir k anında sadece tek bir model için $\tau_{st_k}^i > 0$ ifadesi geçerlidir. Hedef modeli bir modelden diğer bir modele geçtiğinde, modelde kalma süreleri 0 olur. Nihai model için bu değer 1'dir.
- Modelde kalma süresinin eşik değeri vardır ve τ_{th} ile gösterilir.
- Algoritma tahmin adımları boyunca $\Pi = I$ 'dir.

Not olarak, eğer $\Pi = I$ ise (3) ile ifade edilen değerler birim matris oluşturur. Buna bağlı olarak, (4) ve (5) eşitlikleri aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir.

$$\hat{x}_{k-1|k-1}^{0i} = \sum_{j=1}^{N_r} \mu_{k-1|k-1}^{ji} \hat{x}_{k-1|k-1}^j = \hat{x}_{k-1|k-1}^i \quad (18)$$

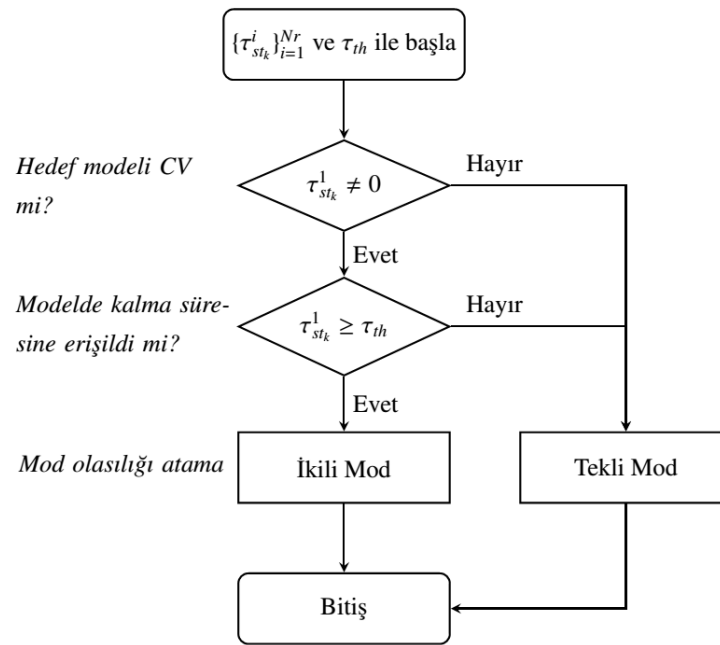
$$P_{k-1|k-1}^{0i} = \sum_{j=1}^{N_r} \mu_{k-1|k-1}^{ji} \left[P_{k-1|k-1}^j + (\hat{x}_{k-1|k-1}^j - \hat{x}_{k-1|k-1}^{0i})(\hat{x}_{k-1|k-1}^j - \hat{x}_{k-1|k-1}^{0i})^T \right] = P_{k-1|k-1}^i \quad (19)$$

Tahmin algoritması içerisinde ölçüm olmadığı için KF'nin ölçüme bağlı olan adımları atlanmıştır. Sonuç olarak durum tahmini ve kovaryansı şu şekilde hesaplanır.

$$\hat{x}_{k|k}^i = \hat{x}_{k|k-1}^i = A(i)\hat{x}_{k-1|k-1}^i \quad (20)$$

$$P_{k|k}^i = P_{k|k-1}^i = A(i)P_{k-1|k-1}^i A^T(i) + Q(i) \quad (21)$$

Tahmin algoritması kapsamında tahmin adımlarında kullanılacak olan mod olasılıkları, μ_{k+1}^i , hedef hareket modeli ve modelde kalma süresine bağlı olarak tekli ve ikili olmak üzere iki farklı modda hesaplanmaktadır. Mod olasılığı hesabının tekli moda göre yapılabilmesi için, hedefin ya koordineli dönüş modelinde olması ya da sabit hızlı modelde olup modelde kalma süresinin eşik değerinden az olması gerekmektedir. İkili moda göre mod olasılığı hesabı ise sadece hedefin sabit hızlı modelde olması ve modelde kalma süresinin eşik değerine erişmiş olması gerekir. Bu mod atama işlemi Şekil 1 ile gösterilen akış diyagramı ile özetlenmiştir (Sabit hızlı hareket modelinin $i = 1$ ile eşleştiği varsayılmıştır).



Şekil 1. Mod olasılığı atama akışı

Tekli modun atandığı durumda hedefin bu modda bulunduğu andaki hareket modelini ve mod olasılıklarını kullanarak gelecek durum tahmini yapılır. Bu yüzden tekli modda IMM süzgeci adımında elde edilen mod olasılığı değeri tahmin adımlarında olduğu gibi kullanılır. İkili modun atandığı durum ise hedefin CV modelinde yeteri kadar zaman geçirdiği ve artık manevra yapma ihtimalinin olduğu durumu ifade eder. Bu yüzden de tahmin adımlarında kullanılan mod olasılıkları hem pozitif hem de negatif yönde dönüşü kapsayacak şekilde seçilmesi gerekmektedir. Durum tahmini ve kovaryans hesabı hem pozitif hem de negatif yön için ayrı ayrı yapılır. Olasılık haritası elde edileceği zaman her iki yön için de elde edilmiş olan durum tahmini ve kovaryansları eşit ağırlıkta kullanılır.

IMM süzgeci adımları anlatılırken $k - 1$ anındaki istatistiksel veriler ile k anında gelen ölçümün kullanılması ile k anına ait durum kestirimi ve kovaryans hesabı yapılmıştır.

Algoritma ise her bir IMM adımından sonra çalışabileceği için k anına ait istatistiksel verileri kullanarak $k + 1$ anına ait durum tahmini ve kovaryans hesabı yapar. Buna bağlı olarak k anındaki her bir modele ait durum kestrimi ve kovaryans değerleri kullanılarak, her bir modele ait durum tahmini ve kovaryans hesabı (22) ve (23) ile gösterildiği şekilde yapılır.

$$\hat{x}_{k+1|k}^i = A(i)\hat{x}_{k|k}^i \quad (22)$$

$$P_{k+1|k}^i = A(i)P_{k|k}^i A^T(i) + Q(i) \quad (23)$$

Varsayalım ki $i = 1$ sabit hız modelini, $i = 2, \dots, m$ ye kadar olan modeller pozitif yönde olan koordineli dönüşü, $\omega > 0$, ve $i = m + 1, \dots, N_r$ ye kadar olan modeller ise negatif yönde olan koordineli dönüşü, $\omega < 0$, ifade etsin. Burada m tasarım parametresi olup $m \geq 2$ değerini alır. Bu durumda tahmin adımlarında kullanılacak olan mod olasılıkları tekli mod için (24) ile hesaplanır.

$$\check{\mu}_{k+1}^i = \mu_k^i \quad (24)$$

İkili mod $\omega > 0$ için (25) ve (26) ile hesaplanır. Burada t_p tahmin adımını belirtir.

$$\check{\mu}_{k,\omega>0}^i = \begin{cases} a, & i = 1 \\ 1 - \exp(-t_p), & i = 2, \dots, m \\ \exp(-t_p), & i = m + 1, \dots, N_r \end{cases} \quad (25)$$

$$\check{\mu}_{k+1,\omega>0}^i = \frac{\check{\mu}_{k,\omega>0}^i}{\sum_{j=1}^{N_r} \check{\mu}_{k,\omega>0}^j} \quad (26)$$

İkili mod $\omega < 0$ için (27) ve (28) ile hesaplanır.

$$\check{\mu}_{k,\omega<0}^i = \begin{cases} a, & i = 1 \\ \exp(-t_p), & i = 2, \dots, m \\ 1 - \exp(-t_p), & i = m + 1, \dots, N_r \end{cases} \quad (27)$$

$$\check{\mu}_{k+1,\omega<0}^i = \frac{\check{\mu}_{k,\omega<0}^i}{\sum_{j=1}^{N_r} \check{\mu}_{k,\omega<0}^j} \quad (28)$$

(25) ve (27)'deki a tasarım parametresi olup, ikili modda tahmin yapılırken, tahmin sabit hızlı modelin tahmin adımlarındaki ağırlığını ifade eder ve $a \geq 0$ ifadesini sağlar. Tekli mod durum tahmini ve kovaryansı (29) ve (30) ile hesaplanır.

$$\check{x}_{k+1|k} = \sum_{i=1}^{N_r} \check{\mu}_{k+1}^i \hat{x}_{k+1|k}^i \quad (29)$$

$$\check{P}_{k+1|k} = \sum_{i=1}^{N_r} \check{\mu}_{k+1}^i \left[\check{P}_{k+1|k}^i + (\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1|k})(\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1|k})^T \right] \quad (30)$$

İkili mod $\omega > 0$ için (31) ve (32) ile hesaplanır.

$$\check{x}_{k+1,\omega>0|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \check{\mu}_{k+1,\omega>0}^i \hat{x}_{k+1|k}^i \quad (31)$$

$$\check{P}_{k+1,\omega>0|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \check{\mu}_{k+1,\omega>0}^i \left[\check{P}_{k+1|k}^i + (\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1,\omega>0|k})(\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1,\omega>0|k})^T \right] \quad (32)$$

İkili mod $\omega < 0$ için (33) ve (34) ile hesaplanır.

$$\check{x}_{k+1,\omega<0|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \check{\mu}_{k+1,\omega<0}^i \hat{x}_{k+1|k}^i \quad (33)$$

$$\check{P}_{k+1,\omega<0|k} = \sum_{i=1}^{Nr} \check{\mu}_{k+1,\omega<0}^i \left[\check{P}_{k+1|k}^i + (\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1,\omega<0|k})(\hat{x}_{k+1|k}^i - \check{x}_{k+1,\omega<0|k})^T \right] \quad (34)$$

4. BENZETİM ÇALIŞMASI

Benzetim çalışmasında hedef birinci derece manevra dinamiğine sahip olarak kabul edilmiştir. Hedefin zaman sabiti 1, toplam benzetim süresi, t , ise 40 s olarak kabul edilmiştir. Hedef hareketine (0,0) noktasından x eksenini ile 0 derece açı yapacak şekilde başlar. Hedefin sürati 500 m/s dir ve manevra boyunca sürati sabit kabul edilmiştir. Hedef manevrayı hız vektörüne paralel olan ivme ile yapar. Hedefe $t = [6 \ 9]$ s anlarında 6g, $t = [22 \ 26]$ s -3g ivme uygulanarak manevra yapması sağlanmıştır. Hedef takibinde kullanılan IMM süzgecinde 1 adet sabit hız 4 adet de farklı açısal hız değerlerine sahip koordineli dönüş hareket modeli kullanılmıştır. Hareket modellerine ait detaylar şu şekildedir.

4.1. Sabit Hız Hareket Modeli (CV)

Bu model aynı zamanda kesikli zaman beyaz gürültülü ivmelenme modelidir [7]. Durum vektörü pozisyon ve hız değişkenlerinden oluşur ve ikinci derecedendir. $x_k = [x \ \dot{x} \ y \ \dot{y}]^T$ için kesikli zaman durum uzay denklemi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$x_k = F x_{k-1} + G w_{k-1} = \text{diag}[F_{cv}, F_{cv}] x_{k-1} + \text{diag}[G_{cv}, G_{cv}] w_{k-1} \quad (35)$$

$$F_{cv} = \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, G_{cv} = \begin{bmatrix} 0.5T_s^2 \\ T_s \end{bmatrix} \quad (36)$$

Burada T_s örnekleme periyodudur. $w_{k-1} = [w_x, w_y]^T$ kesikli zaman beyaz gürültü dizisidir ve gürültülü ivmeyi tanımlar. Buna bağlı olarak (35) ile belirtilen ifadedeki gürültünün kovaryansı aşağıdaki şekilde yazılır.

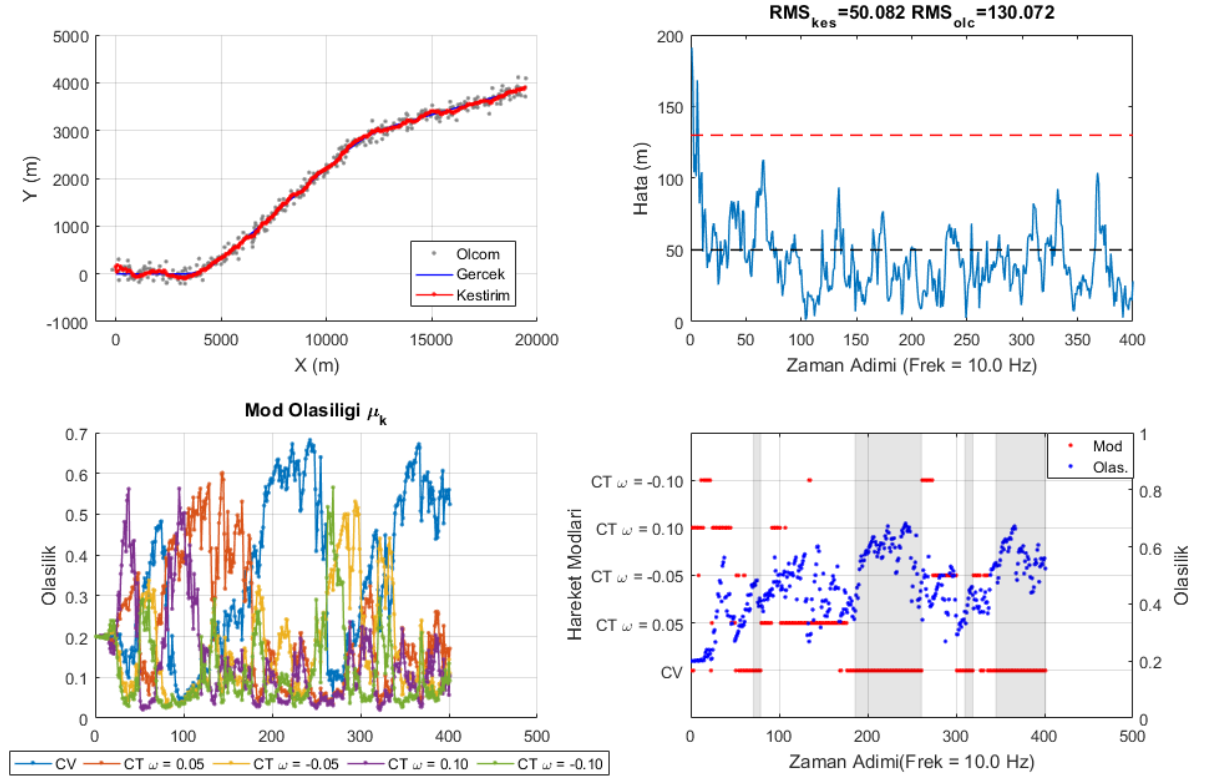
$$\text{cov}(G w_{k-1}) = \text{diag}[\text{var}(w_x)Q_{cv}, \text{var}(w_y)Q_{cv}], \quad Q_{cv} = \begin{bmatrix} T_s^4/4 & T_s^3/2 \\ T_s^3/2 & T_s^2 \end{bmatrix} \quad (37)$$

4.2. Koordineli Dönüş Hareket Modeli (CT)

Koordineli dönüş hareketi için bir cismin sabit bir sürat ve sabit bir açısal hızda hareket ettiği varsayımı üzerine kurulmuştur [7]. Bu modelde açısal hız, ω , bilinen ve sabit olduğu kabul edilmiştir. $x_k = [x \dot{x} y \dot{y}]^T$ için kesikli zaman durum uzay denklemi aşağıdaki şekilde yazılır. Gürültünün kovaryans değeri sabit hız modeli ile aynıdır.

$$x_k = Fx_{k-1} + w_{k-1} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin \omega T_s}{\omega} & 0 & -\frac{1 - \cos \omega T_s}{\omega} \\ 0 & \cos \omega T_s & 0 & -\sin \omega T_s \\ 0 & \frac{1 - \cos \omega T_s}{\omega} & 1 & \frac{\sin \omega T_s}{\omega} \\ 0 & \sin \omega T_s & 0 & \cos \omega T_s \end{bmatrix} x_{k-1} + w_{k-1} \quad (38)$$

Hedeften alınan ölçüm sadece hedefin x-y düzlemindeki koordinatlarıdır. Ölçüm her bir ekseninde 100m standart sapmaya sahiptir. Süzgeçlerde kullanılan hareket modellerine ait süreç gürültüsü standart sapması 40m'dir. Koordineli dönüş modellerinde açısal hız değerleri $\pm 0.05 \text{ rad/s}$ ve $\pm 0.10 \text{ rad/s}$ olarak alınmıştır. Böylelikle IMM süzgecinin pozitif ve negatif dönüşleri kapsamayı sağlanmıştır. IMM süzgecindeki geçiş olasılığı matrisinin çapraz değerleri 0.992, kalan değerler ise 0.002 olarak alınmıştır. Benzetim boyunca her model için örnekleme frekansı 10 Hz'dir.

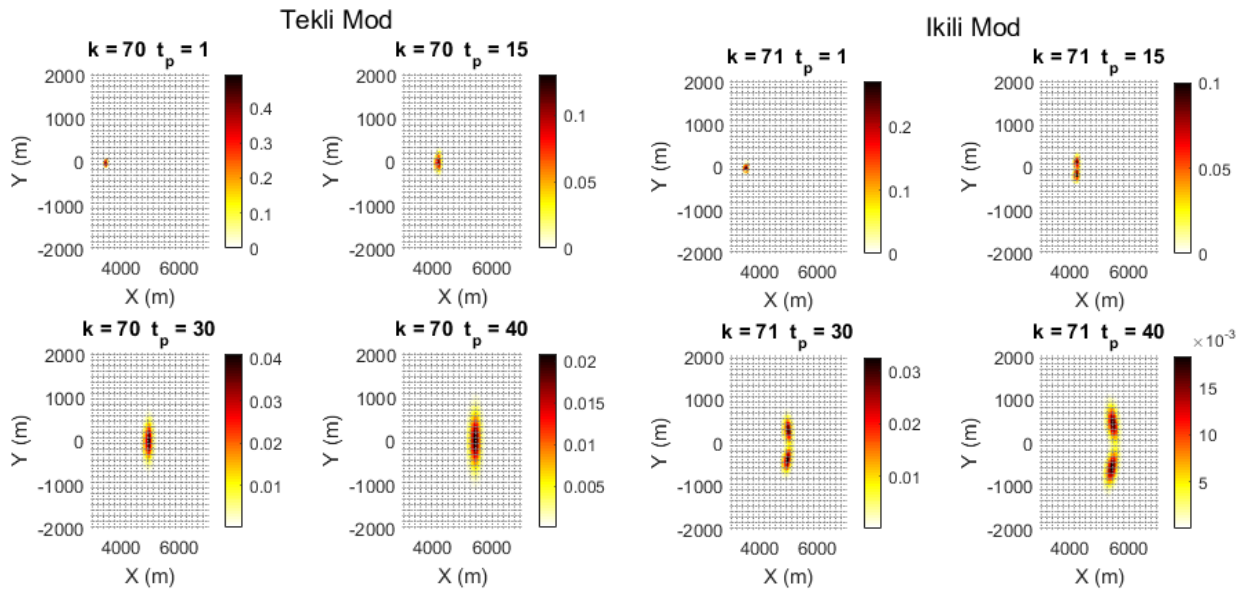


Şekil 2 IMM süzgeci benzetim sonucu

Algoritma IMM süzgeci benzetim sonuçları Şekil 2 ile gösterilmiştir. Sonuçlara göre IMM süzgecinin hedefi başarılı bir şekilde takip ettiği ortadadır. 20. zaman adımından sonra rms hatası ortalama değerine yaklaşmıştır ve hedefin bir sonraki manevrasında

hata değeri değişmemiştir. Şekil 2'nin alt sırasında IMM süzgecinin her bir zaman adımında IMM bünyesindeki modellere ait olasılık değerleri verilmiştir. Hedefin pozitif yönde dönüş yaptığı zamanlarda $\omega > 0$ olan mod olasılıkları, negatif yönde dönüş yaptığı zamanlarda ise $\omega < 0$ olan mod olasılıkları yüksektir. Hedef manevra yapmadığı zamanlarda ise sabit hız modeline ait olasılık değerleri yüksektir.

Yukarıda belirtildiği üzere tahmin algoritması için hedefin bulunduğu hareket modeli en yüksek mod olasılığına sahip olan modeldir. Şekil 2 sağ alttaki grafikte gri alanlar, $\tau_{th} = 10$ olduğu durumda modelde kalma süresinin eşik değerine eriştiği zaman adımlarını göstermektedir. Başka bir deyişle tahmin adımları için mod olasılıkları atamasının ikili moda göre yapılacağını gösterir. Şekil 3 sol kısımda $k = 70$ anında tahmin algoritmasının farklı tahmin adımlarındaki durum tahmini ve kovaryans değerleri gösterilmiştir. $k = 70$ anında $\tau_{st}^1 = 9$ 'dur ve bu değer τ_{th} den küçük olduğu için tahminler tekli moda göre yapılmıştır. Beklendiği üzere tahmin adımları arttıkça tahmin edilen pozisyona bağlı şüpheler artmakta olup, olasılık değerleri azalmaktadır. Ek olarak, algoritma detaylarında bahsedildiği gibi hedef konumuna bağlı tahmin tek bir bölgeye odaklanmıştır.



Şekil 3 Tekli ve ikili mod algoritma sonucu

Şekil 3 sağ kısımda $k = 71$ anında tahmin algoritmasının farklı tahmin adımlarındaki durum tahmini ve kovaryans değerleri gösterilmiştir. $k = 71$ anında $\tau_{st}^1 = 10$ 'dur ve bu değer τ_{th} 'ye eşit olduğu için tahminler ikili moda göre yapılmıştır. Algoritma detaylarına bağlı olarak beklendiği gibi tahmin adımı arttıkça hedefin bulunabileceği yerler ve olasılıklar iki farklı bölgeye odaklanmıştır. Sonuçlar bazı t_p değerleri için verilmiş olsa da her bir t_p için bu zaman-konum-olasılık haritası oluşturulmuştur.

5. SONUÇ

Herhangi bir dinamik sistemin gelecek durumuna ait tahminin başarısı dinamik sistem modelinin ve sistem girdilerinin doğruluğuna bağlıdır. Hava hedefleri için doğru ve hatasız bir sistem modeli olmadığı için gelecek durum tahmininin güvenilirliği düşüktür. Bu çalışmada ise hedef takip algoritmasında IMM süzgeci kullanılması durumunda, süzgeç bünyesindeki hareket modelleri ve modeller arasındaki mod olasılıkları kullanılarak hedefin gelecek durumuna ait bir tahmin çalışması yapılmıştır. Bu algoritmanın temel amacı hava savunma sistemlerinin işbirlikçi güdüm algoritmalarında kullanılmak üzere bir zaman-konum-olasılık haritasının çıkarılmasıdır. Bu çalışma sonucunda hedefin manevra yaptığı durumda manevra modeline uygun olarak bir tahmin çalışması yapılması sağlanmış, hedefin bir süre manevra yapmama durumunda ise zaman-konum-olasılık haritasına manevra yapma ihtimalinin de hesaba katıldığı bir yaklaşım ortaya konmuştur.

6. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 2211-C kodlu TÜBİTAK Yurtiçi Öncelikli Alanlar Doktora Burs Programı kapsamında desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK’a teşekkürlerimizi arz ederiz.

7. KAYNAKÇA

- [1] Agency, M. D. (2017), The Ballistic Missile Defense, <https://www.mda.mil>
- [2] Zarchan, P. (2012), Tactical and Strategic Missile Guidance, Sixth Edition, AIAA, ABD.
- [3] Zhu, L., & Cheng, X. (2015). High manoeuvre target tracking in coordinated turns. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 9(8), 1078-1087
- [4] Welch, G. ve Bishop, G. (1995), An Introduction to Kalman Filtering.
- [5] Bar-Shalom, Y., Challa, S., ve Blom. H.A. (2005), IMM Estimator versus Optimal Estimator for Hybrid Systems, *Aerospace and electronic Systems, IEEE Transactions on*, 41(3):986-991
- [6] Blom, HAP.ve Bar-Shalom, Y. (1988),The Interacting Multiple Model Algorithm for systems with Markovian switching coefficients, *IEEE transactions on Automatic Control* 33(8) 780-783.
- [7] Li, X.R., ve Jilkon, P. (2003), Survey of maneuvering target tracking, Part I: Dynamic models, *Aerospace and electronic Systems, IEEE Transactions on*, 39(4):1333-1364
- [8] Piet-Lahanier, H., Kahn, A., & Marzat, J. (2013). Cooperative guidance laws for maneuvering target interceptions. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(19), 301-306.
- [9] Su, W., Li, K., & Chen, L. (2017). Coverage-based cooperative guidance strategy against high maneuvering target. *Aerospace Science and Technology*.
- [10] Yang, B., Liu, H. H., & Yao, Y. (2014). Cooperative interception guidance for multiple vehicles: A receding horizon optimization approach. *In GNCCC, 2014 IEEE Chinese* (pp. 827-831)
- [11] Li, X. R., & Bar-Shalom, Y. (1993). Design of an Interacting Multiple Model Algorithm for Air Traffic Control Tracking. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1(3), 186-194.
- [12] Bar-Shalom, Y. Li, R., ve Kirubarajan, T. (2004), Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory Algorithms and Software, John Wiley & Sons

ARTTIRILMIŞ ÇOK MAKSATLI KULLANIM İÇİN ÇOK-MODLU BİR İNSANSIZ HAVA ARACI

Ferit Çakıcı ^(a), M. Kemal Leblebicioğlu ^(a)

^(a) Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Müh. Böl. Çankaya/Ankara,
feritcakici@yahoo.com.tr, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, dikey kalkış ve iniş kabiliyetine (Vertical Takeoff and Landing-VTOL) sahip sabit kanatlı (Fixed Wing-FW) bir platform olan VTOL-FW adındaki VTOL, FW ve hibrit modlara sahip bir insansız hava aracının (İHA) kontrol ve güdüm problemine, çok maksatlı kullanımın klasik platform tiplerine göre arttırılması için bir çözüm yaklaşımı sunulmaktadır. FW İHA platformları uzun mesafe ve yüksek uçuş süresi sağlayabilmelerine karşı, düşük hız limitlerinden dolayı havada asılı kalma ve VTOL kabiliyetlerine sahip değildir. VTOL İHA platformları ise VTOL yapabilmelerine ve havada asılı kalabilmelerine rağmen, yüksek güç ihtiyacı uçuş sürelerini ve mesafelerini kısaltmaktadır. Bu kısıtlamalar, yeni İHA tiplerine ihtiyacı ortaya koymaktadır. Ne zaman ve nasıl mod değiştirileceğinin belirlenmesi, verimli uçuşla uzun uçuş süresine ulaşılması ve dış etkilere karşı gürbüzlüğün sağlanması için en fazla kontrol otoritesinin elde edilmesi söz konusu problemin alt başlıklarıdır. Bu çerçevede, VTOL-FW İHA platformu uçak ve çok rotorlu kontrol elemanlarına sahip olacak şekilde tasarlanmış, aerodinamik prensiplere göre matematiksel olarak modellenmiş ve simülasyonlarla uçuş karakteristiği analiz edilmiştir. Hava aracının arttırılmış kabiliyetlerinin ortaya konulabilmesi için, operasyonel modlar arasında etkin geçiş sağlayan kontrol ve güdüm algoritması tasarlanmıştır. Sonuç olarak, simülasyonlarda ve gerçek dünyada gerçekleştirilen uçuş testleri, önerilen algoritmaların ve VTOL-FW platformunun uygulanabilirliğini ortaya koyarak, çok-modlu işletimin çok maksatlı kullanımı arttırdığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çok-Modlu İHA, Güdüm, İHA, Kontrol, Optimizasyon.

MULTI-MODE UNMANNED AERIAL VEHICLE FOR INCREASED VERSATILITY

ABSTRACT

This work is an approach about producing a solution to control and guidance problem of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform, named as VTOL-FW, having vertical takeoff/landing (VTOL), fixed-wing (FW) and hybrid modes for increasing versatility of conventional types by enabling extended mission capabilities. FW UAVs provide long range with high endurance, but minimum flight speed limitation does not allow hover and VTOL. Although VTOL UAVs can hover and takeoff/land vertically, high power requirement limits flight time and distance. Thus, the physical limitations of these conventional platforms necessitate a search for new platform types. A hybrid platform possessing general characteristics of both types of aircrafts present new challenges from control and guidance aspects. Determination of how to switch between modes, obtaining high endurance through efficient flight and allowing maximum control authority in order to provide robustness constitute the basic challenges in this study. Thus, VTOL-FW UAV is physically designed by incorporating both airplane and multirotor control elements, mathematically modeled based on aerodynamical principles and analyzed in terms of stability, power requirements and flight characteristics. A hybrid control and guidance algorithm is designed to allow mode-switching and management of multi-modes. Finally, flight tests in the real world and simulation environments proved the feasibility of the asserted algorithms and VTOL-FW platform, which enables increased versatility through utilization of multi-modes.

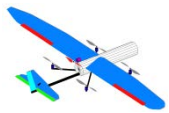
Keywords: Control, Guidance, Multi-Mode UAV, Optimization, UAV.

1. GİRİŞ

Görev gereksinimlerine göre İHA'lerden dikey kalkış-iniş, havada asılı kalma, düz uçuş, uçuş modları arasında geçiş, uzun süre havada kalma, uzak mesafelere ulaşabilme gibi kabiliyetler beklenebilmektedir. Görevde VTOL ve havada asılı kalma kabiliyetleri hedeflendiğinde çok-rotorlu, helikopter gibi döner-kanatlı hava aracı platformları en iyi seçenekler olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan uzak mesafelere uçuş yapabilme ve havada uzun süre kalma özellikleri istendiğinde ise uçak tipindeki sabit kanatlı hava araçları verimli uçuş karakteristiklerinden dolayı ön plana gelmektedir. Söz konusu kabiliyetlerin hepsinin tek bir platform ile sağlanması amaçlandığında ise döner kanatlı ve sabit kanatlı platformların birleşimi olan VTOL-FW platformuna ihtiyaç bulunmaktadır. VTOL kabiliyeti pist ve kalkış/inış ekipmanına olan ihtiyacı ortadan kaldırmasıyla arazi şartlarında kullanıma imkân sağlamakta, verimli düz uçuş kabiliyeti ise uçuş süresini ve mesafesini arttırmaktadır.

Literatürde, VTOL-FW İHA kategorisinde kuyruk üzerine oturan, dönen-rotorlu ve dönen-kanatlı platformlara yönelik çeşitli çalışmalar [1-10] mevcuttur. Bu platformlar havada asılı kalma ve düz uçuş kabiliyetlerine sahip olmalarının yanında, uçuş modları arasında geçiş yaparken kullanılan yöntem (Tablo 1) itibarıyla ayrılmaktadırlar. Mod geçişi sırasında hava aracının denge durumlarının dışında bulunması, bozucu dış etkilere karşı zafiyet yaratmakta ve geçiş manevrasını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, modlar arasında yumuşak geçiş yapılabilmesi maksadıyla, arttırılmış uçuş zarfındaki denge noktalarında uçuşu sağlayacak hibrit VTOL-FW platformu ele alınmaktadır.

Tablo 1. VTOL-FW İHA platformlarının mod değiştirme yöntemleri

Fotoğraf	Tip	Mod Değiştirme Yöntemi
	Kuyruk Üzerine Oturan	Kontrol yüzeyleri vasıtasıyla kanatlar kaldırma sağlamadan gövdenin döndürülmesi.
	Döner-Rotorlu	Rotorların döndürülmesi vasıtasıyla kanatlar kaldırma sağlamadan gövdenin döndürülmesi.
	Döner-Kanatlı	Gövde yere paralel kalırken yere dik konumda kaldırma sağlamayan kanatların döndürülmesi.
	VTOL-FW	Gövde yere paralel kalırken, kanatlar kaldırma sağlayacak şekilde aktif kontrol elemanlarının VTOL ve FW arasında değiştirilmesi.

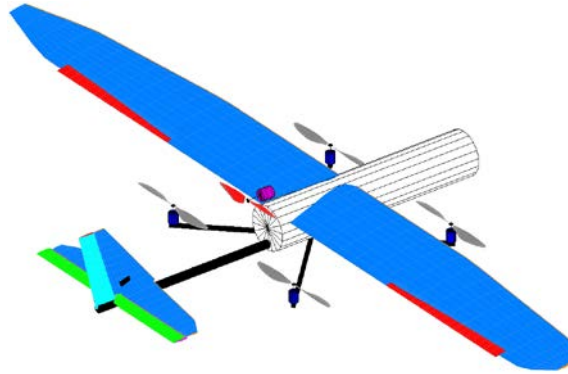
Havada asılı kalma ve düz uçuş modları arasında geçiş manevrası, düz uçuş kabiliyetine sahip VTOL hava araçları için en önemli manevradır. Bu alandaki öncü çalışmalar arasında iki adet tersine dönen pervanelere sahip T-wing adındaki kuyruk üzerine oturan İHA platformu çalışmasında, Stone [11] tarafından alt ve orta seviye güdüm kontrolcülerini tasarlanmış ve daha sonra uçuş testleri [3] ile doğrulanmıştır. Diğer bir çalışmada Kubo [12], kuyruk üzerine oturan İHA platformunun düz uçuş ve havada asılı kalma modları arasında geçişini optimum kontrolcü tasarımıyla gerçekleştirmiştir. Tek itki sistemine ve onun hava akımı altına monte edilmiş kontrol yüzeyleriyle geçiş manevrası Hogge [13] tarafından araştırılmıştır. Hava aracının burnunun dikilerek kanatlar kaldırma sağlamayacak şekilde modlar arasında geçiş yapılması ise dinamik tersleme (dynamic inversion) metodları kullanılarak Green [6], Ananthkrishnan [14] ve Jung [15] tarafından incelenmiştir. Diğer taraftan Osborne [16] havada asılı kalma, düz uçuş, havada asılı kalmadan düz uçuşa geçiş ve düz uçuştan havada asılı kalmaya geçiş olarak durumların tanımlandığı bir durum makinası (state machine) tasarlamıştır. Geri adımlamalı kontrol (back stepping control) tekniği [4], koaksiyel rotorlu kuyruk üzerine oturan bir İHA

platformu için geçiş manevralarının gerçekleştirilmesi maksadıyla kullanılmıştır. Cory [17] ve Johnson [18] ise sabit kanatlı bir havacının geçiş manevralarını, geniş kontrol yüzeyleri kullanarak gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak, literatürdeki mevcut çalışmalarda mod geçiş manevraları farklı tipteki İHA platformları için incelenmesine rağmen, bu çalışmada olduğu gibi fiziksel olarak ayrılmış çok-rotorlu ve konvansiyonel uçak kontrol yüzeylerine sahip bir hava aracı üzerinde bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, dikey kalkış ve iniş kabiliyetine sahip sabit kanatlı bir İHA platformunun kontrol sisteminin tasarlanması, modellenmesi, simülasyonu, analizi ve uygulaması incelenmiştir. Söz konusu hava aracı, çok rotorlu ve konvansiyonel sahip kanatlı hava araçlarının kontrol elemanlarına sahip olmasından dolayı VTOL-FW olarak adlandırılmıştır. Tasarlanan kontrol yönteminde, çok rotorlu ve sabit kanatlı kontrolcüler arasında verimli bir şekilde mod geçişini sağlamak esas alınmıştır. Bu çerçevede VTOL-FW İHA platformunun, genişletilmiş bir uçuş zarfına sahip olarak uçuş yapması, yedekliliğin sağlanması ve çok maksatlı kullanımın artırılması hedeflenmiştir.

2. İHA PLATFORMU

VTOL-FW İHA platformu sabit kanatlı konvansiyonel kontrol yüzeylerine sahip bir model uçak üzerine 4 adet çok-rotorlu pervanesi monte edilerek (Şekil 1) oluşturulmuştur. Müteakiben hava aracına uçuş kontrol sistemi, GPS, sayısal pusula, ivme ölçerler, dönü ölçerler ve hava hız ölçer entegre edilerek [19] otonom uçuş kabiliyeti kazandırılmıştır. Söz konusu hava aracının fiziksel özellikleri Tablo 2’de sunulmuştur.



Şekil 1. VTOL-FW İHA platformu

Tablo 2. VTOL-FW İHA platformunun fiziksel özellikleri

Özellik	Değer	Birim
Kanat Açıklığı	2,05	m
Kütle	2,25	kg

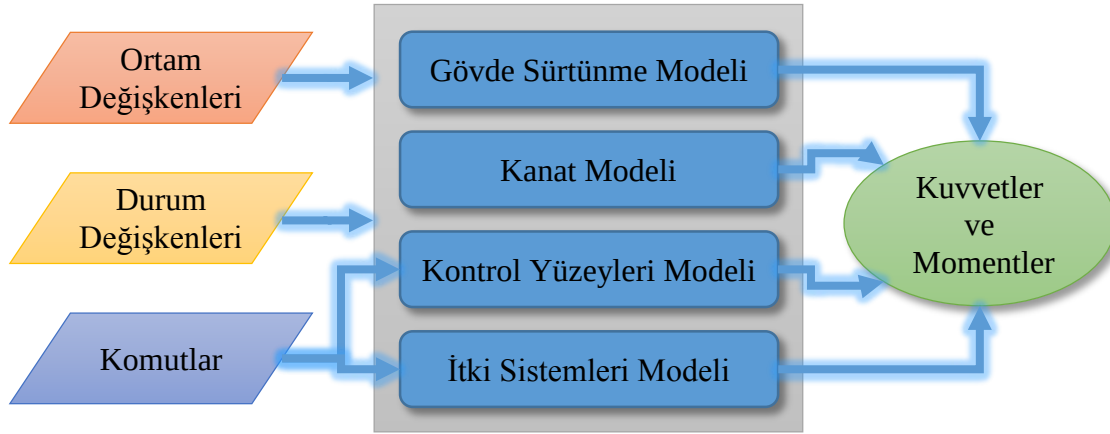
Eylemsizlik Momenti

$$\begin{bmatrix} 0,14 & 0 & 0 \\ 0 & 0,04 & 0 \\ 0 & 0 & 0,17 \end{bmatrix}$$

kg m²

3. MODELLEME VE ANALİZ

Hava aracının modellenmesi MATLAB ortamında tasarım, analiz, kontrol sistem tasarımı, görev planlama ve uçuş simülasyonları maksadıyla geliştirilen bir arayüz vasıtasıyla gerçek fiziksel parametreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle gövde, kanatlar, kontrol yüzeyleri ve pervaneler gibi hava aracının temel bileşenleri aerodinamik prensipler kullanılarak [20-22] ve kanat kaldırma kaybının olduğu durumları da hesaba katılarak [23] modellenmiştir. İtki sistemleri, kanatlar ve gövde sürtünme modelleri (Şekil 2) oluşturularak, kontrol komutlarına göre oluşan kuvvet ve momentler hesaplanmıştır.



Şekil 2. VTOL-FW İHA modeli

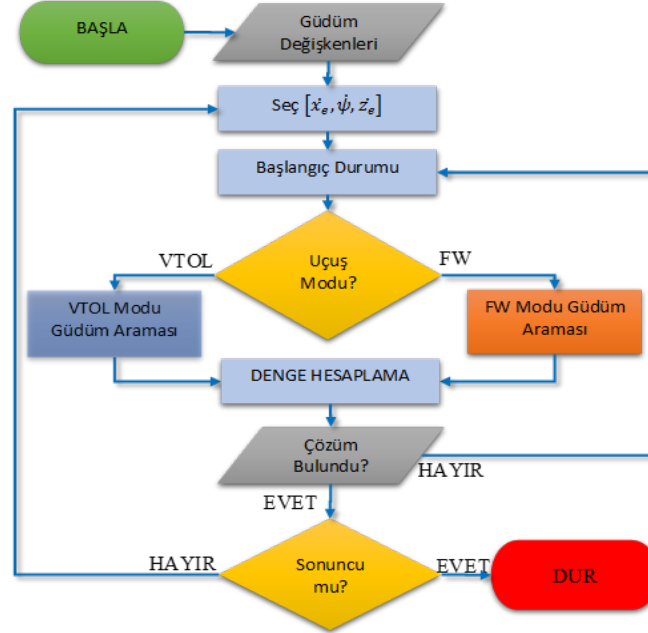
Simülasyon modellemesi için, durum değişkenleri tarafından belirlenen uçuş durumuna ve kontrol komutlarına göre oluşan kuvvetler (${}^B F$) ve momentler (${}^B M$) hava aracının geometrisinde birleştirilerek Newton [24] ile Euler'in [25] kanunları kullanılarak hareket denklemleri (1) oluşturulmuştur.

$$\dot{x} = f(x, u, t) = f({}^B F(x, u), {}^B M(x, u), t) \quad (1)$$

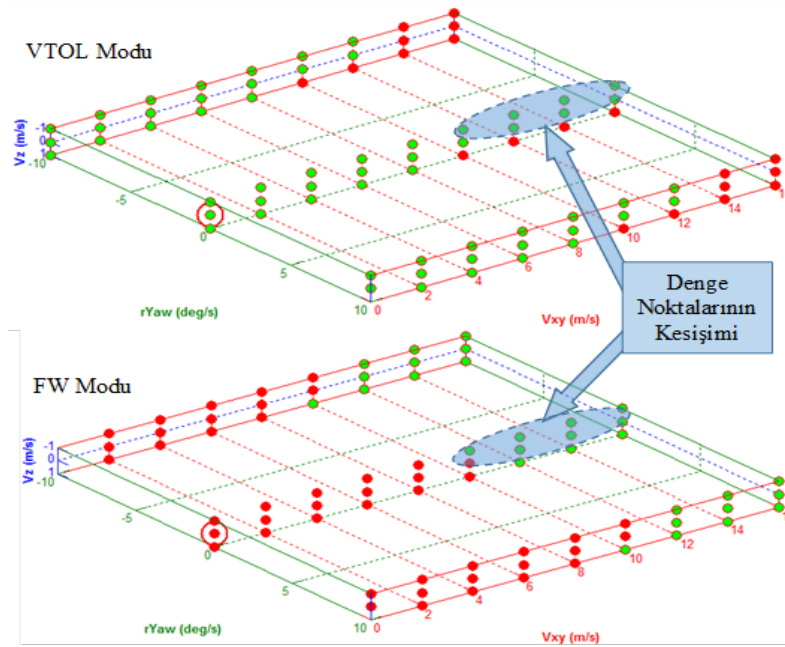
Denge durumu bütün kuvvetlerin ve momentlerin dengede olduğu ve aerodinamik durum değişkenlerinin değişiminin sıfır olduğu durum olarak tanımlanmaktadır. Önceden tanımlanmış güdüm değişkenleri $[\dot{\psi}, \dot{x}_e, \dot{y}_e, \dot{z}_e]$ için denge durumunun belirlenmesi maksadıyla aerodinamik durum değişkenlerinin $[u, v, w, p, q, r, \phi, \theta]$ ve kontrol komutlarının $[u_{rol}, u_{pit}, u_{yaw}, u_{thr}]$ belirlenmesine ihtiyaç vardır. Denge durumu problemi sınırlandırılmış bir optimizasyon problemi [26] olarak ele alınarak, Şekil 3'te sunulan algoritma kullanılarak hesaplanmıştır.

Güdüm durumları kümesi için yapılan denge durumu hesaplamaları neticesinde VTOL modu için yüksek hızlarda, FW modu için ise düşük hızlarda denge durumunun elde

edilemediği (Şekil 4) gözlemlenmektedir. Ancak 12 ile 16 m/s'lik yatay hızlar arasında bulunan denge durumlarının her iki uçuş modunda da elde edilebildiği görülerek, bu alanın modlar arasında geçiş manevraları için kullanılabileceği değerlendirilmiştir.



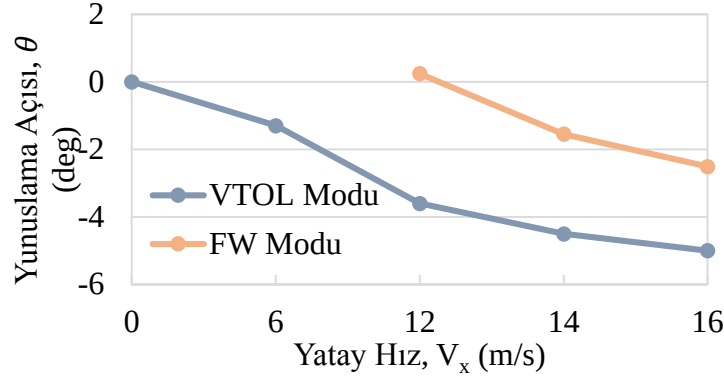
Şekil 3. Denge durumu hesaplama algoritması



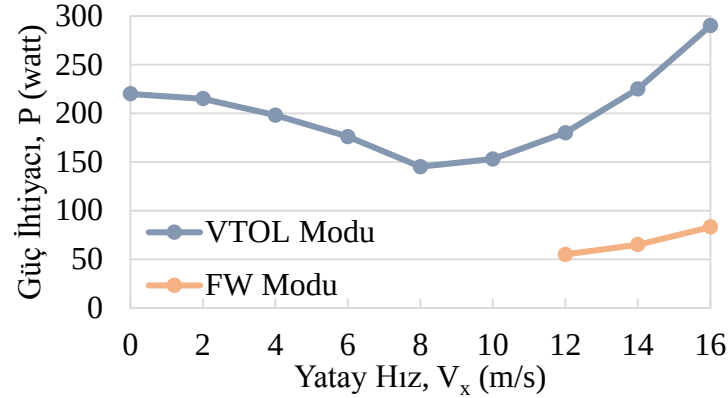
Şekil 4. Uçuş modlarına göre denge durumları ve kesişim alanı

Farklı uçuş modlarında durum değişkenlerinin aldığı değerler incelendiğinde, özellikle yunuslama açısının (Şekil 5) kesişim alanında birbirine yakın olduğu ve küçük bir

değişimle geçişin sağlanabileceği değerlendirilmiştir. Diğer taraftan güç ihtiyaçlarına bakıldığında (Şekil 6), VTOL modundaki yüksek güç ihtiyacının artan hızla birlikte kanatların sağladığı kaldırma kuvvetinden dolayı azaldığı ve hızın daha da arttırıldığında ise kanat momentinin dengelenmesi maksadıyla arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, mod değiştirme manevrasının ilave bir özellik olmasının yanında, bu tip bir hava aracı için gereksinim olduğunu işaret etmektedir.



Şekil 5. Uçuş modlarına göre yunuslama açısının değişimi



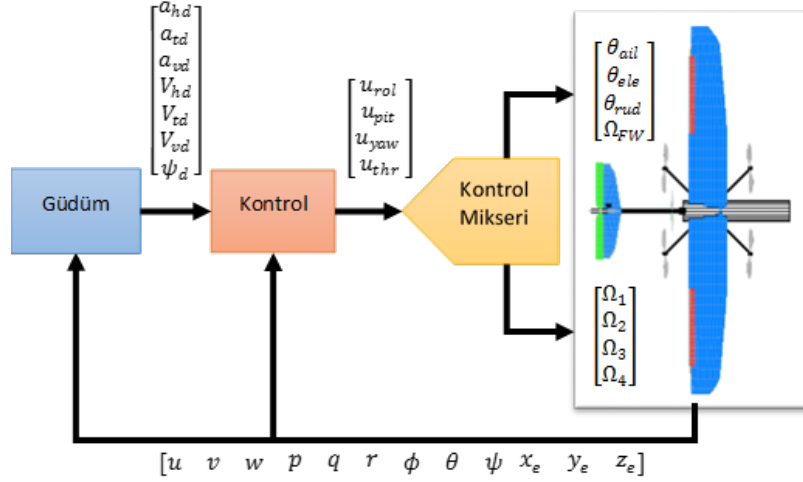
Şekil 6. Uçuş modlarına göre güç ihtiyacının değişimi

Hava aracının doğrusal olmayan modeli denge noktaları Taylor serileri açılımı ile doğrusallaştırılarak incelendiğinde; hiçbir noktanın kararlı olmadığı, ancak kontrol edilebilir olduğu olduğu tespit edilmiştir. Bu çerçevede uygun kontrol sistemi tasarımı ile hava aracının kontrol edilebileceği değerlendirilmiştir.

4. KONTROL VE GÜDÜM

Çok-rotorlu hava araçlarında kullanılan kontrol ve güdüm yöntemleri düşük hızlarda uçuş için, uçak tipindeki hava araçlarında kullanılan yöntemler ise yüksek hızlarda uçuş için tasarlanmıştır. Bu nedenle her iki hava aracı tipi için de aynı yöntemlerin kullanılması mümkün olmamaktadır. Bu çerçevede, her iki özelliğe sahip VTOL-FW İHA platformu

için mevcut yöntemlerden esinlenerek, kontrol mikseri ile hibrit kontrol ve güdüm yapıları (Şekil 7) oluşturulmuştur.



Şekil 7. Kontrol ve güdüm yapısı

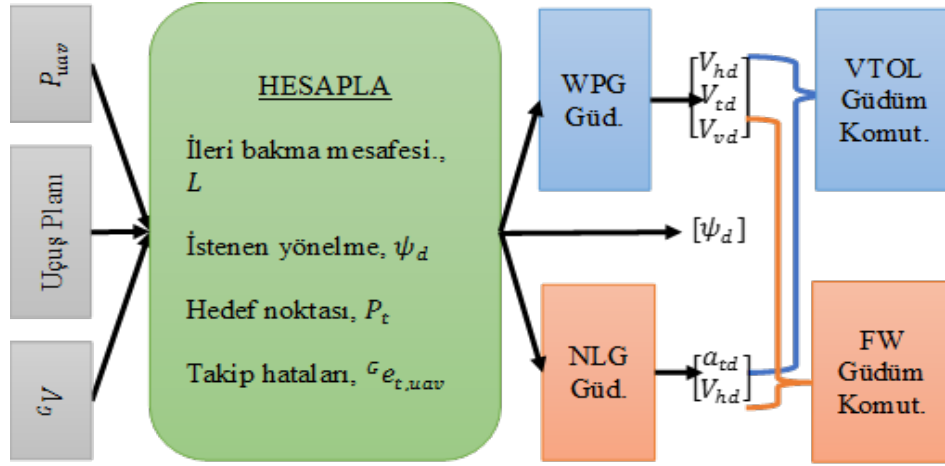
Kontrol sistemi ivme, hız ve yönelme komutlarını güdüm sisteminden almakta, birbirini takip eden döngü kapama yöntemiyle oluşturulmuş PID (proportional-integral-derivative) bloklarıyla açısal hızların, açısal pozisyonun, doğrusal hızların ve doğrusal ivmelerin kontrolü yapılmaktadır. PID parametreleri zamana bağlı biriken hatanın performans kriteri olarak alındığı bir optimizasyon algoritmasıyla en iyileştirilmiştir. Kontrolcü içinde takip edilmesi istenen açılar ve itki komutları, uçuş moduna bağlı olarak oluşturulmaktadır. VTOL modundayken istenilen yunuslama açısı istenilen yatay ivmeye ve itki komutu dikey ivmeye göre hesaplanırken (2), FW modunda istenilen yunuslama açısı dikey ivmeye ve itki komutu ise yatay ivmeye göre (3) hesaplanmaktadır.

$$\theta_d = \theta_{trim} - \text{atan}(a_{hd}, g), u_{thr} = -a_{vd} \quad (2)$$

$$\theta_d = \theta_{trim} - \text{atan}(a_{vd}, g), u_{thr} = a_{hd} \quad (3)$$

Kontrol sistemi tarafından her iki uçuş modu için de geçerli olan genelleştirilmiş komutlar $[u_{rol}, u_{pit}, u_{yaw}, u_{thr}]$ üretilmektedir. Bu komutlar, kontrol mikserince hava aracının durum değişkenlerine ve uçuş moduna göre kontrol yüzeylerine dağıtılmaktadır.

Güdüm sisteminde (Şekil 8) hava aracının pozisyonu, hızı ve uçuş planlaması göz önünde bulundurularak, yol hattı üzerinde bir hedef noktası belirlenmekte ve mevcut hatalara göre VTOL modu için yol noktası güdümü, FW modu için ise doğrusal olmayan güdüm yöntemi kullanılarak hava aracının güdüm komutları oluşturulmaktadır. Bu sayede mod değişikliği durumunda hedef noktası aynı olduğundan, güdüm komutlarında süreklilik sağlanmıştır.



Şekil 8. Hibrit güdüm algoritması

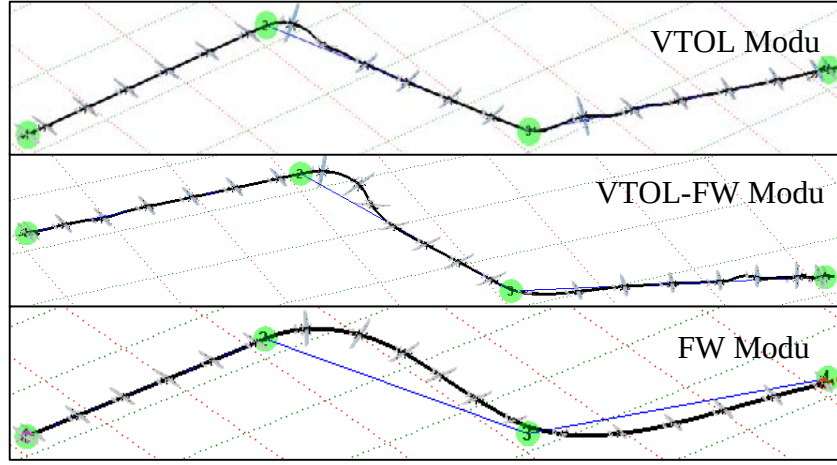
Uçuş modu değiştirme; hava aracının anlık durum değişkenleri, durum hedefleri ve yol planlamasına göre mevcut konumu dikkate alınarak oluşturulan buluşsal bir yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Bu sayede düşük hızlarda VTOL modu, yüksek hızlarda FW modu, uçuş zarfında kesişen ara hızlarda ise denge noktaları arasında mod geçişi uygulanmaktadır. Ayrıca hava aracı bir modda iken, diğer modun kontrol elemanlarının, yapılacak manevraya uygun olarak aktifleştirilmesiyle çok-modlu kullanım elde edilmiştir. Örnek olarak FW itki sistemi yardımlı VTOL modu sayesinde, hava aracının havada asılı kalmadan düz uçuşa geçmesi diğer modlara göre daha kısa zamanda sağlanabilmektedir.

5. UÇUŞLAR

Bu çalışmada tasarlanan hava aracının, oluşturulan kontrol yapısının ve güdüm algoritmasının test edilmesi amacıyla, simülasyon ortamında ve gerçek dünyada uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ortamında belirlenen yol noktaları için farklı modlarda yapılan uçuşlarda (Şekil 9), mod geçişlerinin gerçekleştiği VTOL-FW modunda harcanan toplam enerjinin yalnızca VTOL ve yalnızca FW modlarına göre ortada olduğu, ancak geçiş manevrası sırasında anlık güç tüketiminin diğer modlara göre daha yüksek olduğu (Tablo 3) tespit edilmiştir.

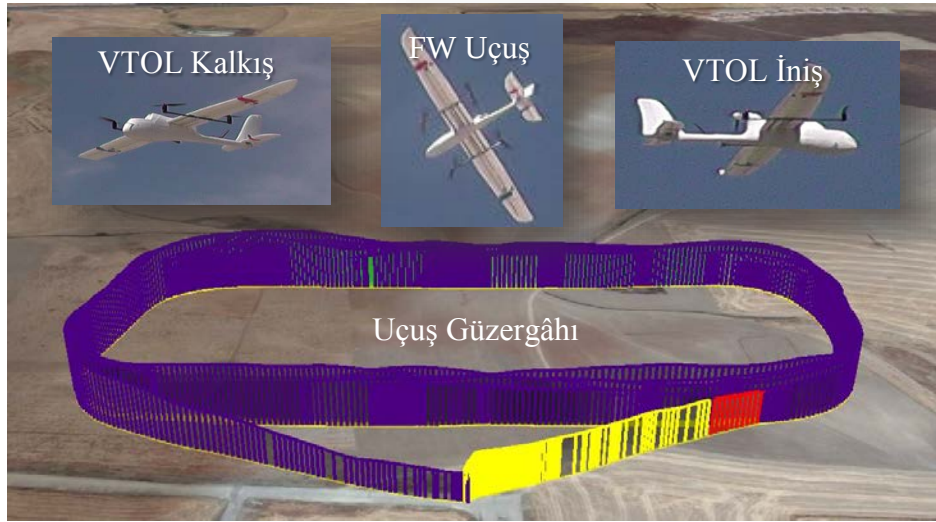
Tablo 3. Farklı uçuş modlarında yapılan uçuşların performans karşılaştırması

Uçuş Modu	Maks. Güç (W)	Toplam Enerji (Wh)
VTOL	440	1,87
VTOL-FW	740	0,72
FW	88	0,49



Şekil 9. Simülasyon uçuş testleri

Gerçek dünyadaki uçuş testlerinde (Şekil 10), hava aracının otonom olarak VTOL modunda dikey kalkış yapması, 20 m irtifada havada asılı durumdayken FW moduna geçmesi, FW modundayken dikdörtgen şeklindeki 4 adet uçuş noktası üzerinde uçuşu, 10 tekrar sonunda kalkış noktasına geri dönmesi, iniş noktasına yaklaştığında VTOL moduna geçmesi ve dikey iniş gerçekleştirmesi planlanarak başarıyla uygulandığı gözlemlenmiştir. Hava aracı 4S'lik LiPo batarya ile VTOL modunda yaklaşık 24A akım çekerken, FW moduna geçtiğinde bu değer 8A seviyesine düşmüştür. Sonuç olarak mod değişimi ile hava aracının güç tüketimi azaltılarak havada kalma süresi artırılmıştır.



Şekil 10. Gerçek dünya uçuş testleri

6. SONUÇ

Bu çalışmada dikey kalkış-iniş, havada asılı kalma, düz uçuş ve mod değiştirme kabiliyetlerine sahip bir İHA'nın tasarımı, modellemesi, analizi, simülasyonu ve gerçek

dünyada uçuş testleri gerçekleştirilmiştir. Hava aracı üzerinde çok-rotorlu ve uçak kontrol elemanlarının bulunmasından dolayı, her iki tipteki hava aracının uçuş karakteristiklerinin yanında çok-modlu uçuşu mümkün kılan özellikler incelenmiştir. Her iki uçuş modunu ve bu modlar arasında geçişi sağlamak amacıyla kontrolcü ve güdüm tasarımı yapılmıştır. Simülasyon ortamında ve gerçek dünyada yapılan uçuş testlerinde uygulanan yöntemlerin başarılı sonuç verdiği görülmüştür.

Denge durumlarındaki yunuslama açısının küçük olmasından ve gövdenin yere yaklaşık paralel olarak konumlanmasından dolayı hava aracının mod geçiş manevraları, durum değişkenlerinde en az salınımla gerçekleştirilmiştir. Bu sayede hava aracının farklı modlarda uçuş yapabilmesine imkân sağlanmış, geçiş manevrasında olumsuz çevre etkilerine karşı gürbüzlük elde edilmiş ve operasyonel uçuş zarfının genişletilmesiyle görev amaçlı çok maksatlı kullanılabilirliği artırılmıştır.

Sonuç olarak modellemesi, simülasyonu ve gerçek dünya uygulaması ile ortaya konulan hava aracı yapısının, kontrol ve güdüm yöntemlerinin; çok-rotorlu sistemlere göre daha fazla havada kalma süresi ve daha uzak mesafelere ulaşılmasını, kalkışı ve inişi riskli olan sabit kanatlı İHA platformlara göre arazide etkin kullanımı ve havada asılı kalma kabiliyetini gerektiren görevlerde etkin olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya TÜBİTAK tarafından 114E149 ve 110E192 kodlu projeler kapsamında verilen destekten dolayı teşekkür ederiz.

8. KAYNAKÇA

- [1] Yu, S. ve Kwon, Y. (2017), Development of VTOL drone for stable flight, *Journal of Computer and Communications*, 5, 36-43.
- [2] Tyan, M., Nguyen N.V., Lee, J. ve Kim, S. (2016), A hybrid VTOL-fixed wing electric UAV sizing methodology development, *Proceedings of the KSAS 2016 Fall Conference*, 358-362.
- [3] Stone, R.H., Anderson, P. ve Hutchison, C. (2008), Flight testing of the t-wing tailsitter unmanned air vehicle, *AIAA Journal of Aircraft*, 45(2), 673-685.
- [4] Wang, X. ve Lin, H. (2011), Design and control for rotor-fixed wing hybrid aircraft, *Journal of Aerospace Engineering*, 225(7), 831-847.
- [5] Yüksek, B., Vuruşkan, A., Özdemir, U., Yükselen, M.A. ve İnalhan, G. (2016), Transition flight modeling of a fixed-wing VTOL UAV, *Journal of Intelligent Robotic Systems*, 84(1-4), 83-105.
- [6] Green, W.E. ve Oh, P.Y. (2005), A MAV That flies like an airplane and hovers like a helicopter, *Proceedings of the 2005 IEEE/ASME International Conference*, 693-698.

- [7] Verling, S., Weibel, B., Boosfeld, M., Alexis, K., Burri, M. ve Siegwart, R. (2016), Full attitude control of a VTOL tailsitter UAV, *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 389-397.
- [8] Önen, A.S. (2015), Modeling and controller design of a VTOL air vehicle, Master tezi, Havacılık ve Uzay Müh.Böl., ODTÜ, Ankara, Turkey.
- [9] Hochstenbach, M. ve Notteboom, C. (2014), Design and control of an unmanned aerial vehicle for autonomous parcel delivery with transition from vertical takeoff to forward flight, Master tezi, KU Leuven Univ., Leuven, Belgium.
- [10] Çakıcı, F. ve Leblebicioğlu, M.K. (2011), Modelling and simulation of a small-sized tiltrotor UAV, *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 9(4), 335-345.
- [11] Stone, R.H. (2004), The t-wing tailsitter unmanned air vehicle from design concept to research flight vehicle, *Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 218(6), 417-433.
- [12] Kubo, D. (2006), Study on design and transitional flight of tail sitting VTOL UAV, *25th International Congress of the Aeronautical Sciences*, 108-117.
- [13] Hogge, J.V. (2008), Development of a miniature VTOL tailsitter UAV, Master tezi, Makine Müh.Böl., Brigham Young Univ., Utah, ABD.
- [14] Anathkrishnan, N. ve Shim, H.C. (2008), Controlled near-hover to cruise transition using a dynamic inversion law, Idea Research and Development Ltd., Pune, India.
- [15] Jung, Y. ve Shim, D.H. (2011), Development and application of controller for transition flight of tailsitter UAV, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 65(1-4), 137-152.
- [16] Osborne, S.R. (2007), Transitions between hover and level flight for a tailsitter UAV, M.S. thesis, Dept. of Electrical and Computer Engineering, Brigham Young Univ., Utah, USA.
- [17] Cory, R. ve Tedrake, R. (2008), Experiments in fixed-wing UAV perching, *Proceedings of AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*, 1128-1133.
- [18] Johnson, E. ve Turbe, M. (2006), Flight test results of autonomous fixed-wing UAV transitions to and from stationary hover, *Proceedings of AIAA Guidance, Navigation and Control*, 792-805.
- [19] Çakıcı, F., Ergezer, H., Irmak, U. ve Leblebicioğlu, M.K. (2015), Coordinated guidance for multiple UAVs, *Transactions of the Institute of Measurement and Control*.
- [20] McRuer, D.T., Graham, D., ve Ashkenas, I. (1990), Aircraft Dynamics and Automatic Control, Princeton University Press, New Jersey, ABD.
- [21] Leishman, G. (2006), Principles of Helicopter Aerodynamics, Cambridge University Press, London, İngiltere.
- [22] Allerton, D. (2009), Principles of Flight Simulation, John Wiley and Sons Ltd., ABD.
- [23] Çakıcı, F. (2009), Modeling, stability analysis and control system design of a small-sized tiltrotor UAV, M.S. thesis, Dept. of Electrical and Electronics Engineering, ODTÜ, Ankara, Türkiye.
- [24] Craig, J.J. (1989), Introduction to Robotics, Addison-Wesley Pub. Co., ABD.
- [25] Etkin, B. (1972), Dynamics of Atmospheric Flight, John Wiley and Sons Inc., Toronto, Canada.
- [26] Nocedal, J. (2006), Numerical Optimization, Springer Pub., Illinois, ABD.

HELİKOPTER PLATFORMLARI İÇİN MÜHENDİSLİK SİMÜLATÖRÜ GELİŞTİRİLMESİ

Volkan Çoşgun ^(a), Mehmet Murat Aygün^(a), Kıvanç Kürten ^(a)

^(a) HAVELSAN, Mustafa Kemal Mahallesi 2120 Cad. No:39

P.K.: 06510 Çankaya- ANKARA,

{vcosgun, maygun, kkurten}@havelsan.com.tr

ÖZ

Simülasyon teknolojileri, günümüzde bir yandan eğitim kalitesini arttırırken bir yandan da tasarım ve araştırma ve geliştirme faaliyetlerinde kullanılmak üzere gelişmektedir. Bu kapsamda yüksek sadakat seviyesinde gerçek zamanlı çalışabilen modellerin oluşturulması ile mühendislik simülasyonlarının kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Her biri tek başına çalışabilen ve şirket öz kaynaklarıyla geliştirilmiş olan yüksek sadakatli helikopter uçuş dinamiği modeli, kumanda yükleme sistemi ve görüntü üreticinin bütünleşik bir ürün olarak ortaya koymaya yönelik çalışmalarımız bulunmaktadır.

Rotor aerodinamiği, motor, otomatik uçuş kontrol sistemi, ağırlık ve denge, yer etkileşimi temel alt sistemlerini yüksek sadakat seviyesinde modelleyen, gerçek zamanda koşabilen bir uyarlanabilir helikopter modeli (HELIX) geliştirilmiştir. Dört kanallı, gerçek zamanlı çalışan, yüksek sadakatli, uluslararası simülasyon standartları ile uyumlu ve farklı helikopter platformlarına uyarlanabilen bir kumanda yükleme sistemi geliştirilmiştir. Dış dünya modelinin görselleştirilmesi amacıyla bir görüntü üretici yazılımı (Mantis) kullanılmıştır. Bu çalışmada, bu sistemlerin modelleme prensipleri tanıtılarak, tümünün entegre bir şekilde çalışacağı mühendislik simülasyonu sistem mimarisi detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Bu çalışmalar sırasında karşılaşılan mühendislik problemleri ve bunlara yönelik çözüm yaklaşımları hakkında bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü Üretici, Kumanda Yükleme Sistemi, Mühendislik Simülasyonu, Simülasyon Tasarımı, Uçuş Dinamiği ve Kontrol

DEVELOPMENT OF ENGINEERING SIMULATOR FOR HELICOPTER PLATFORMS

ABSTRACT

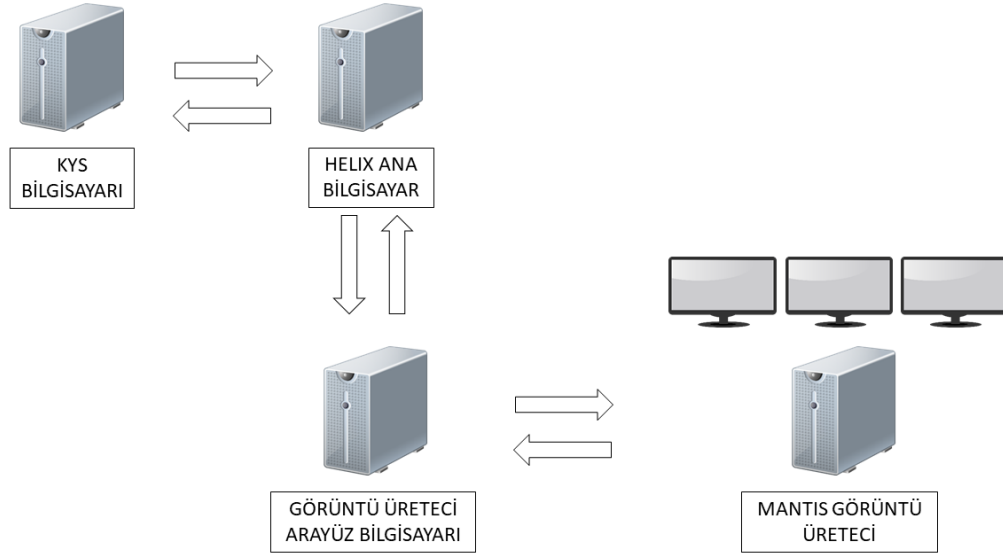
The simulator technologies, while improving the quality of education, the other hand it is used for design, research and development activities. In this context, the use of real-time, high-fidelity models in engineering simulators is gaining importance on these days. With the given efforts; each of which can be operated on its own and developed by the company's own resources; the high-fidelity helicopter flight dynamics model, the control loading system and image generator are used as an integrated product.

The rotor aerodynamics, engine, automatic flight control system, weight and balance, which model the basic interactions take place at the high fidelity system level, an adaptive model helicopter that can run in real time (HELIX) is developed. A four-channel, real-time, high-fidelity, control loading system compatible with international simulator standards and adapted to different helicopter platforms is developed. An image generator software (Mantis) is used to visualize the outer world model. In this study, the principles of modeling of these systems will be introduced, the system architecture of an integrated engineering simulator will be discussed in detail. Encountered engineering problems and solutions for these problems will be given.

Keywords: Control Loading System, Engineering Simulator, Flight Dynamics and Control, Image Generator, Simulator Design

1. GİRİŞ

Mühendislik simülatörleri, hava aracı tasarımlarında kullanıldığı gibi modelleme çalışmalarında da model doğrulamaya yönelik kullanılmaktadır. Bu sebeple şirket bünyesinde gerçekleştirmekte olduğumuz modelleme çalışmalarında da bir mühendislik simülatörüne ihtiyaç duyuldu. Bu ihtiyaç, şirket öz kaynakları ile karşılanarak bir mühendislik simülatörü geliştirilmiştir. Geliştirmiş olduğumuz bu mühendislik simülatörü ürünümüz uçuş dinamiği modeli, kumanda yükleme sistemi (KYS) ve görüntü üretici yazılımından oluşmaktadır. Bu sistemler arasında olan haberleşme altyapısı Şekil 1’de görselleştirilmiştir.



Şekil 1. Genel Haberleşme Mimarisi

Uçuş dinamiği modeli, helikopterin uçuş dinamiğinde etkisi bulunan sistemlerin modellendiği birimdir. Bu model Matlab/Simulink ve C++ kullanılarak modellenmiştir. Kumanda yükleme sisteminden ve belirlenen başlangıç koşullarından aldığı girdiler ile helikopterin davranışları hesaplanır. Oluşan çıktılar hem bir zaman dilimi sonraki hesaplamada kullanılmak üzere modele geri besleme yapılır hem de görüntü üreticinin ihtiyaç duyduğu bilgileri sağlamak üzere görüntü üretici yazılımına iletilir. Bununla birlikte görüntü üreticinde de gereken arazi yüksek bilgisi ve arazi çarpışma durumu alınır. Kullanılan alt yapılar ile sistemin çıktıları hızlı bir şekilde grafikleştirilerek yorumlamaya hazır hale gelmektedir.

Helikopter KYS'lerinde yuvarlanma, yunuslama, pedal ve kolektif olmak üzere dört eksen bulunur ve bu eksenlere bağlı motorlar sayesinde pilota kuvvet geri beslemesi sağlanır. KYS'nin her bir eksen, iç içe iki çevrimden oluşan kademeli bir kontrol sistemi ile kontrol edilir. Temel olarak dış çevrim pilot tarafından hissedilmesi gereken kuvveti hesaplar, iç çevrim ise bu kuvveti oluşturmak için gereken referansı motora gönderir. Pilotun dokunsal algısının doğruluğu KYS'de en önemli kriterdir [1].

Kokpit kumandaları, hava aracının ve kontrol yüzeylerinin durumuna göre pilotlara kuvvet tepkileri uygulayarak uçuşun dokunsal algı yoluyla hissedilmesini sağlar. Kuvvet tepkileri, aerodinamik etkilerin yanında hava aracının içindeki mekanik ve hidrolik bağlantıların atalet, sönümlenme ve sürtünme özelliklerinden de etkilenir. Hava araçlarının kumanda sistemleri tersinir (reversible) ve tersinmez (irreversible) olmak üzere ikiye ayrılır. Tersinmez sistemlerde, yerdeki ve uçuş esnasında kumanda uzuvlarında hissedilen kuvvetler aynıdır. Bu kuvvetler, tersinir sistemlerin aksine, uçuş

koşullarına göre değişmemektedir. Uçuş simülatörlerinin alt sistemlerinden biri olan KYS, kumanda tepkilerini model tabanlı üreterek gerçekçi simülasyon ortamı oluşmasına katkıda bulunur.

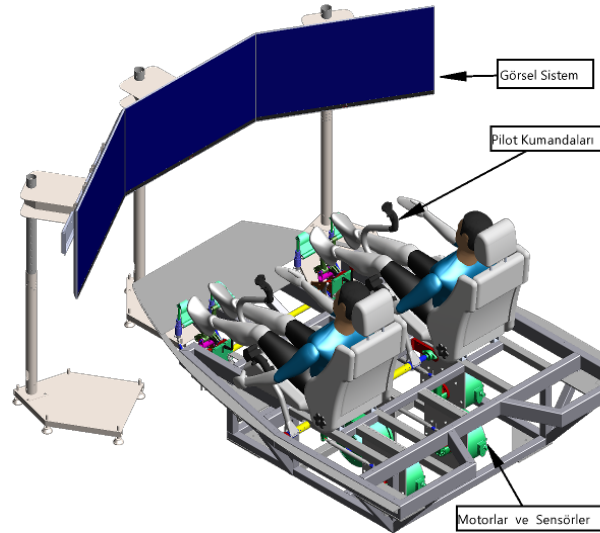
Dış çevrimde hesaplanan kuvvetin eyleyiciler tarafından gerçekleştirilmesi için iç çevrimde kuvvet, hız ve konum kontrolü yöntemleri kullanılmıştır.

Kumanda yükleme sistemindeki en önemli unsur kumanda uzvunda hissedilecek kuvveti yüksek doğrulukta simüle etmektir. Yükleme görece eski sistemlerde hidrolik eyleyicilerle, modern sistemlerde ise düşük hızlarda yüksek tork üretebilen elektrik motorlarıyla yapılmaktadır.

KYS’de her bir kanala ait kuvvetler dış çevrim bilgisayarında çalışan matematiksel model tarafından hesaplanır [2]. Dış çevrim bilgisayarı, ana bilgisayardan uçuş parametrelerini girdi olarak almaktadır. Eyleyicilerin üreteceği kuvvet, dış çevrimdeki matematiksel modelin çıktısıdır.

2. MÜHENDİSLİK UÇUŞ SİMÜLATORÜ TASARIMI

Simülatör platformu iki pilot koltuğunun yan yana olması durumuna göre tasarlanmıştır. Dış dünya görseli için kullanılan üç adet 47” LCD ekran platformun önüne yerleştirilmiştir. Kumanda yükleme sisteminin mekanik aksamı ise platformun altına yerleştirilmiştir (Şekil 2).

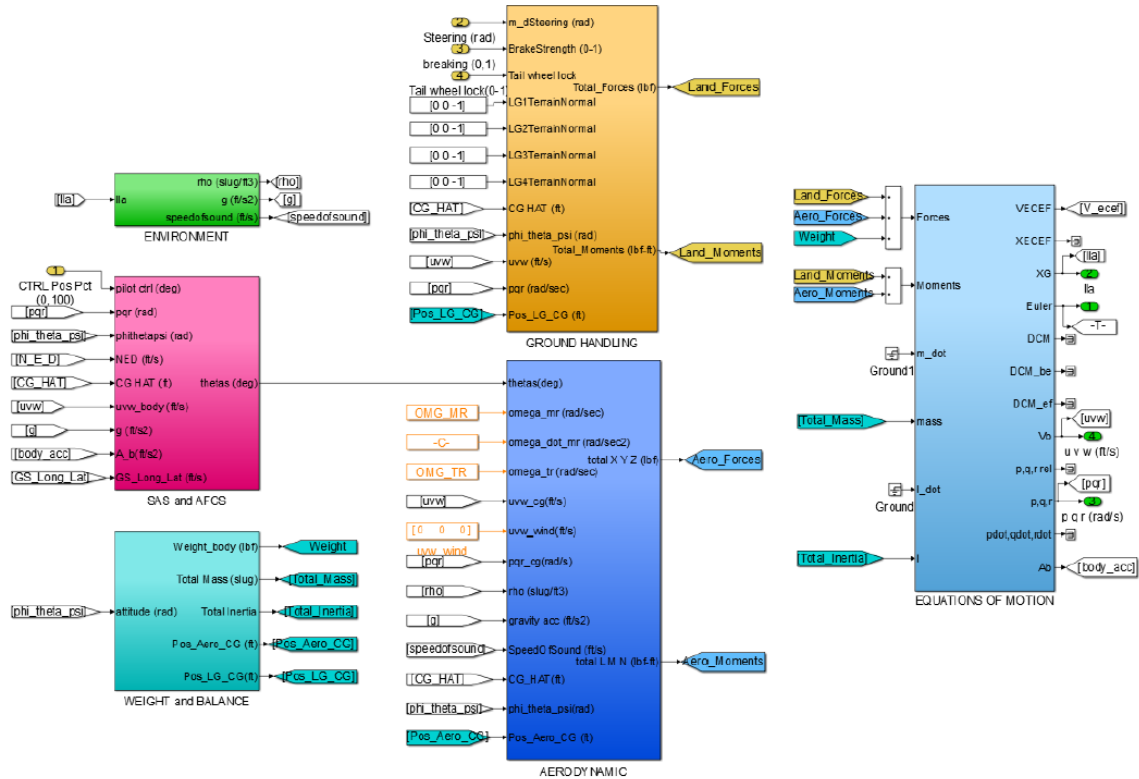


Şekil 2. Helikopter Simülatörü Üç Boyutlu Görseli

2.1. Helikopter Uçuş Dinamiği Modeli

HELIX yüksek sadakat seviyesinde ve gerçek zamanlı bir jenerik helikopter benzetim modelidir [3]. HELIX bünyesinde, jenerik helikopterin uçuş dinamiğinin yüksek

sadakat seviyesinde benzetimi için kritik olan ana rotor, kuyruk rotoru, gövde, otopilot gibi birimlerin matematiksel olarak benzetimleri bulunmaktadır. Farklı tipteki helikopterlerin uçuş simülasyonları HELIX vasıtası ile rahatlıkla yapılabilmektedir. Barındırdığı birimler ve kullandığı yazılım altyapıları bu özelliği destekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle modelleme sırasında belirlenen helikoptere özgü veri paketleri girdi olarak alınıp, simülasyon modeli koşturulmakta ve hava aracından toplanan uçuş test verilerine uygun simülasyon sonuçları elde edilebilmektedir.



Şekil 3. HELIX Ana Birimleri

Şekil 3'te sunulduğu üzere, HELIX helikopter modeli altı ana birimden oluşmaktadır.

- Aerodinamik Birimi
- Otomatik Uçuş Kontrol Sistemi & Uçuş Kontrol Sistemi Birimi
- Yer Etkileşimi Birimi
- Çevre Birimi
- Ağırlık ve Denge Birimi
- Hareket Denklemleri Birimi

Aerodinamik birimi, ana rotor, kuyruk rotoru ve gövde olmak üzere 3 alt birimden oluşmaktadır. Bu birimlerde hareket denklemleri biriminden elde edilen hızlar, açışal hızlar, ivmeler; otomatik uçuş kontrol sistemi ve uçuş kontrol sistemi biriminden elde edilen pal açıları; çevre biriminden elde edilen sıcaklık, basınç; ağırlık ve denge biriminden elde edilen ağırlık merkezi bilgisi kullanılarak platformun uçuş sırasında ürettiği kuvvetler ve momentler elde edilmektedir. Aerodinamik birimi modellenirken GENHEL modeli referans alınmıştır [4].

Otomatik uçuş kontrol sistemi ve uçuş kontrol sistemi birimi benzetimi yapılacak helikopter tipine göre değişkenlik göstermektedir. Her hava aracı için farklı şekilde tasarlanmaktadır. Uçuş kontrol sistemi, kontrol kanallarının birbirleri üzerindeki uygun etkileşimi temin etmek için mantıksal modeli içermektedir. Otomatik uçuş kontrol sistemi, otopilot temel modlarının ve üst modlarının mantıksal modelini içermektedir. Gerçek helikopterin mevcut otomatik uçuş kontrol sisteminin davranışı modellenerek, kumanda yükleme sisteminden gelen pilot girdileri hesaba katılarak aerodinamik birimi için pal açıları hesaplanmaktadır.

Yer etkileşimi birimi helikopter platformunun yer ile temasında sırasında oluşan kuvvet ve momentleri hesaplamaktadır. Bunun için ağırlık ve denge birimi ile birlikte aerodinamik biriminin çıktılarını kullanmaktadır.

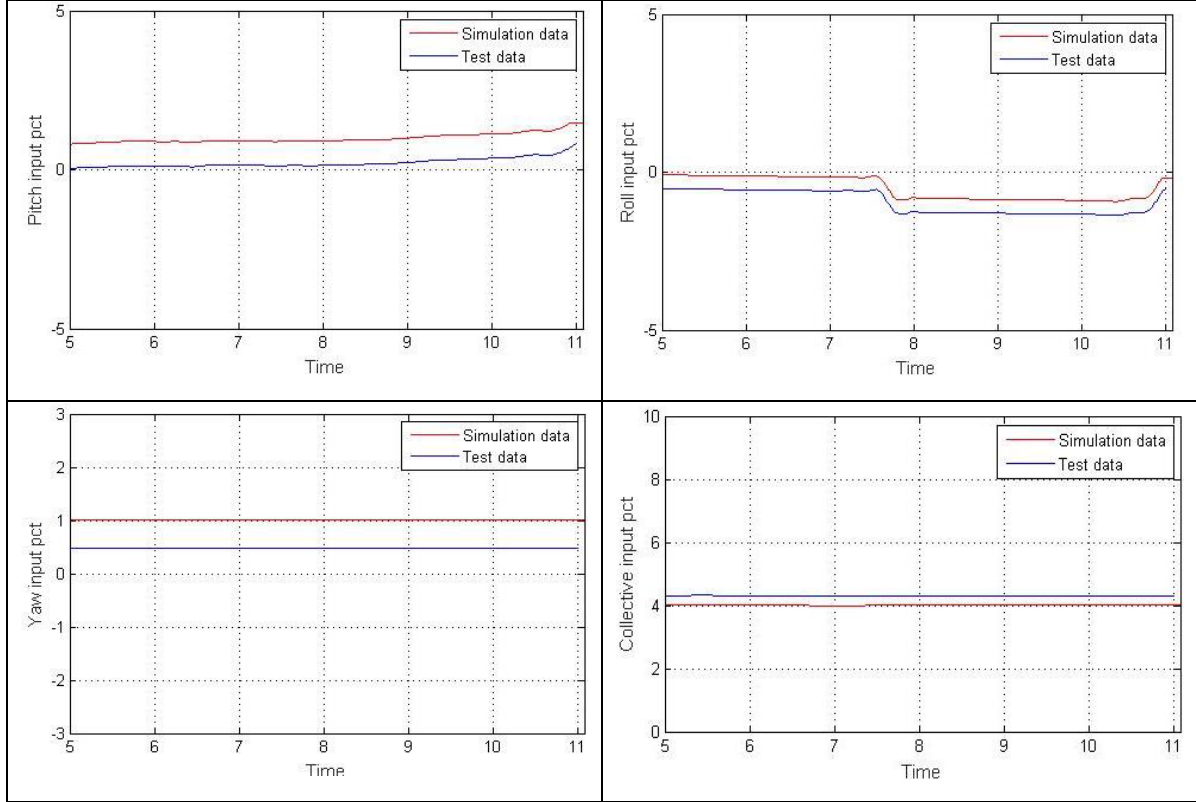
Çevre birimi, belirlenen uçuş koşullarında geçerli olan hava basıncı ve hava sıcaklığı değerini girdi olarak hava yoğunluğunu hesaplamaktadır. Elde edilen değer aerodinamik birimine girdi olarak sağlanmaktadır.

Ağırlık ve denge birimi, belirlenen uçuş koşullarında platformun boş ağırlığı ve mevcut faydalı yüklerin ağırlığını başlangıç koşulu olarak faydalı yüklerin konumlarını ve yakıtın harcanmasını göz önünde bulundurularak ağırlık merkezinin yerini hesaplar. Bu hesaplamayı sürekli güncelleyerek aerodinamik birimine gerçek zamanlı ağırlık değeri ve ağırlık merkezi bilgisini sağlamış olur. Ayrıca, durum açılarını kullanarak toplam ağırlığın etkisini 3 ekseninde dağıtarak bir kuvvet vektörü elde eder. Bu kuvvet vektörü de hareket denklemleri birimine girdi olarak sağlanır.

Hareket denklemleri birimi, aerodinamik ve yer etkileşimi birimlerinden elde edilen kuvvetler ve momentler ile ağırlık ve denge biriminden elde edilen kuvvet vektörü kullanılarak hız, ivme, konum, açışal hız, açışal ivme ve durum açıları elde edilir.

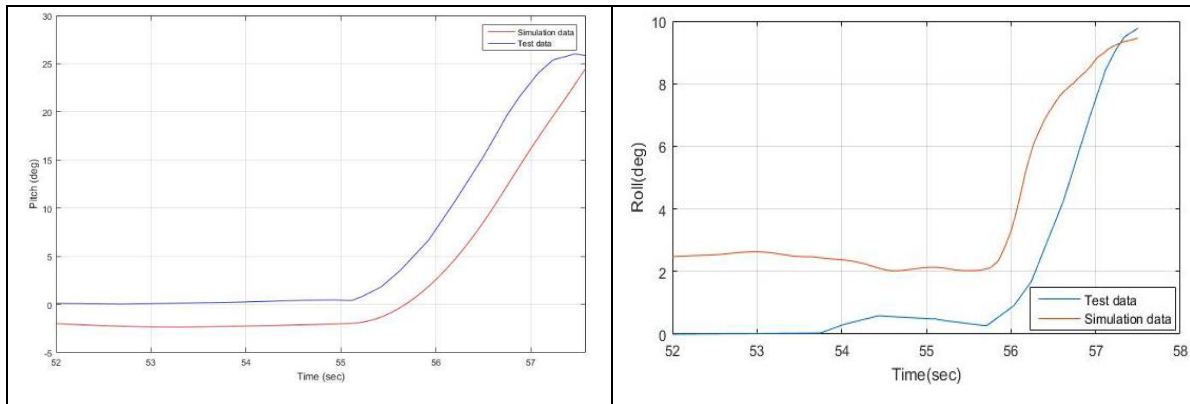
Mevcut HELIX modeli bağımsız uçuş yapılabileceği gibi ilgili hava aracının test verilerini kullanarak testleri tekrar edebilmek de mümkündür. Uçuş koşulunun ön şartları ve uçuş testlerinde elde edilen kontrol girdileri modele girdi olarak sağlanıp, uçuş testlerinin sonuçlarına benzer karakterde sonuçlar elde edilmektedir. Bu sonuçlar, halen hazırda birden fazla hava aracı uçuş test verisi ile elde edilmiştir. Uçuş modeli, Ballin tarafından hazırlanan “*Validation of a Real-Time Engineering Simulation of the*

“UH-60A Helicopter” [5] dokümanında yer alan D6 uçuş testi girdileri (Şekil 4) ile beslendiğinde, Şekil 5’teki sonuçlar elde edilmiştir.



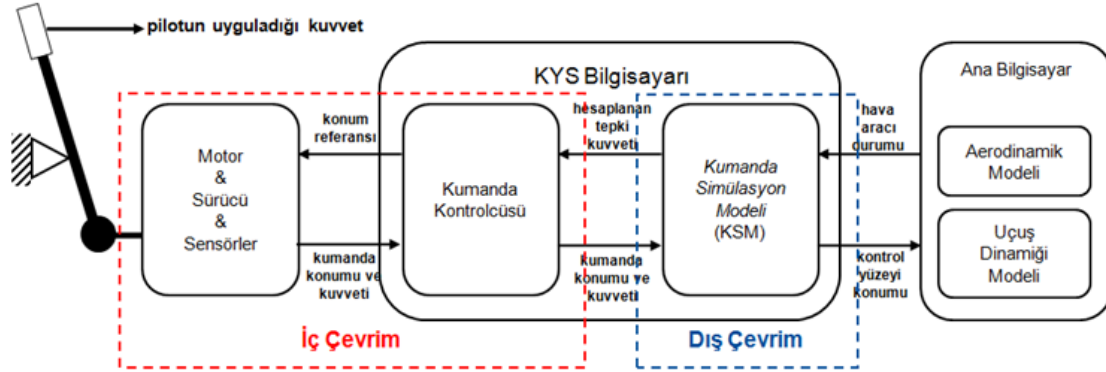
Şekil 4. Örnek Uçuş Test Verisi Girdileri

Şekil 4’te gösterilen grafiklerde girdiler arasında bulunan fark HELIX modelinin hava aracının ön koşullarını (yükseklik, hız vb.) gerçek girdilerden yaklaşık %1’lik bir sapma ile tatbik etmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 5’te elde edilen sonuçlarda görüldüğü üzere HELIX modelinin çıktıları ile test çıktılarının karakteristik olarak benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Örnek Uçuş Test Verisi Çıktıları

2.2. Kumanda Yükleme Sistemi Tasarımı



Şekil 6. Kumanda Yükleme Sistemi Şeması

KYS bir adet dış çevrim ve kumanda eksenini adedi kadar iç çevrimden oluşan iki aşamalı bir kontrol yapısıdır [2] (Şekil 6). Dış çevrimde; kumanda tepki kuvvetlerine etki eden destekleyici ve engelleyici bileşenler ile hava aracının içindeki mekanik ve hidrolik bağlantıların dinamik modellerinden oluşan Kumanda Simülasyon Modeli (KSM) bulunur. Her bir iç çevrim, kumanda uzvuna pilot tarafından uygulanan anlık kuvvet ile dış çevrimde hesaplanan anlık tepki kuvvetinin farkı doğrultusunda çalışan servo çevrimidir.

KYS mekanik aksamı eyleyiciler ile pilot kumandaları (saykılık, pedal ve kolektif) arasındaki bağlantıları içerir. Eyleyici tarafından üretilen kuvveti pilota ileten mekanik aksam, eyleyicinin üretebildiği en yüksek kuvvete dayanmalı, atalet ve sürtünme kuvvetleri minimum olacak şekilde tasarlanmalıdır.

KYS'nin mekanik aksamının tasarımında kütle, atalet, sürtünme, mekanik boşluk (free play) değerleri, simüle edilecek olan helikopterden düşük olmalıdır. Ayrıca, KYS iç çevrim modelinde bu parametreler ayarlanabilmektedir.

KYS'de eyleyiciler ve kuvvet ölçüm sensörleri platformun arkasına yerleştirilmiştir. Eyleyici olarak 98 Nm devamlı tork üretebilen ve 0.001° derece hassasiyette pozisyon sensörü olan Parker 300 ST "direct drive servo motor" kullanılmıştır. Net kuvvetin ölçümü için de eksenel yönde 1100 N basma ve çekme kuvvetini, 0.01 N hassasiyetli ölçebilen FUTEK LCM 200 kullanılmıştır.

İç çevrim ve dış çevrim den oluşan KYS'de, dış çevrimin çıktısı olan her kanala ait anlık oluşturulması gereken kuvvet bilgisini hesaplandığı Kumanda Simülasyon Modelinde (KSM), kuvvetlerin hesaplanmasında teorik ve deneysel yöntemler kullanılabilir. KSM'nin teorik olarak hesaplanabilmesi için tüm kumanda sisteminin atalet, sürtünme, sönümlenme, aktarma oranı gibi parametrelerine ihtiyaç vardır. Deneysel yöntemde ise helikopter kumandaları üzerinden kuvvet ölçümleri alınabilir.

Bu kuvvetler temel olarak mekanik bağlantı aparatları, trim eyleyicileri ve hidrolik sistemlerin kuvvetlerinden oluşmaktadır. Her bir kanaldan hareket limitleri ve konuma karşılık kuvvet bilgileri alınır. KSM ölçümleri temel olarak statik (konuma karşı kuvvet) ve dinamik (zamana karşı konum) olarak ikiye ayrılır. Çeşitli sistem durumları için statik ve dinamik kuvvet konum ölçümleri alınır. Helikopterden alınan bu ölçümlerden bulunan gürültünün giderilerek doğrusallaştırılması gerekir. Binde beşten küçük konum değişimlerine ait kuvvet ve pozisyon verileri filtrelenir. Konuma karşı kuvvet grafiklerinin tümü doğrusallaştırılarak KSM oluşturulur. KSM kuvvet çıktılarından pilot uzuvlarından oluşturabilmek için motorun oluşturması gereken kuvvet hesaplanır.

Verilen görevin istenilen süre içerisinde yapılmasını gerçek zamanlı işletim sistemleri garanti eder. Pilotun dokunsal algısının gerçekçi olması için iç çevrim hızının asgari 2 kHz olması gerekmektedir. KYS de yapılan matematiksel işlemlerin yüksek doğrulukta hesaplanabilmesi için 2 kHz veya daha yüksek frekanslarda çalışması gerekmektedir [6]. Bu frekanslara ulaşmak için gerçek zamanlı işletim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Kumanda yükleme bilgisayarında ise gerçek zamanlı kernel bulunmaktadır ve KYS iç ve dış çevrimi bu bilgisayarda çalışmaktadır. Bu bilgisayardan ana bilgisayara TCP/IP üzerinden pilot kumandalarının konum bilgileri aktarılır. Ana bilgisayar ve kumanda yükleme bilgisayarı arasında TCP/IP üzerinden, kumanda yükleme bilgisayarı ve motor sürücüler arasında ise EtherCAT protokolü ile ağ kurulmuştur.

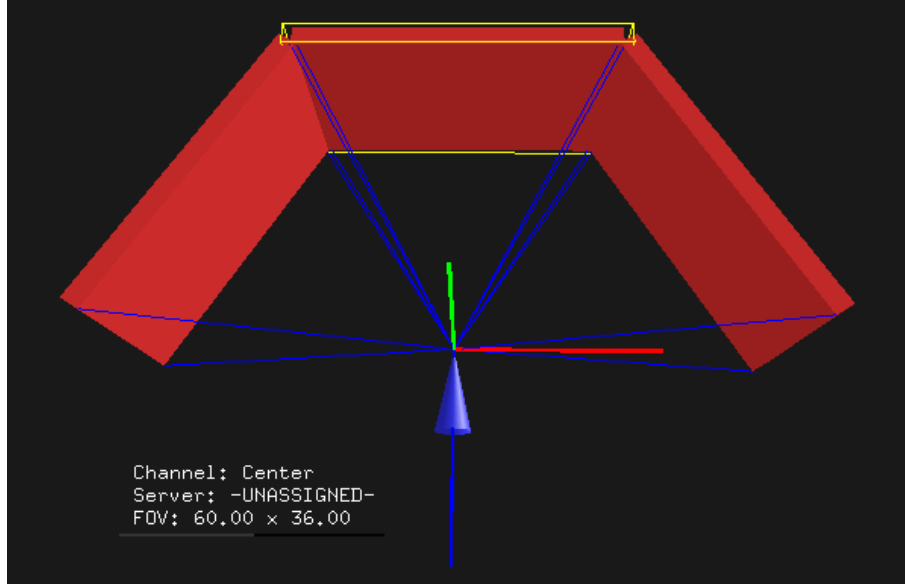
KYS'nin başka helikopter modellerine uyarlanabilirliği için KSM modelini istenilen helikoptere bilgilerine göre değiştirilmesi gerekmektedir. Başka bir helikoptere uyarlamak için helikopterden belirli durumlarda pozisyon/kuvvet grafiklerinin alınması ve KSM'nin oluşturulması gerekmektedir. Helikopterden alınan bu pozisyon/kuvvet grafikleri ile istenilen helikopterin kumanda yükleme sistemi yapılabilir.

Kuvvet hissiyatını pilotların arzusuna göre değiştirebilmek veya ince ayar için model parametreleri değiştirilebilir. Bu şekilde pilotun hissetmesi gereken kuvvetler ayarlanabilir.

2.3. Dış Dünya Görselleştirilmesi

Uçuş simülatörlerinde gerçeklik hissiyatının sağlanması açısından dış dünya görselleştirmesi dolayısı ile de görüntü üreteçleri geçmişte de bugün olduğu gibi ön planda olmuştur [7] [8]. Geliştirilen bu mühendislik simülatöründe öncelik yüksek sadakatli uçuş dinamiği ve kumanda yükleme sisteminde olsa da dış dünya görselleştirilmesi hem gerçekçilik hissiyatının sağlanması hem de bütünleşik bir sistem ortaya çıkarmak açısından önemlidir. Bu nedenle saniye en az altmış kare görüntü üretme (frame per second) kabiliyeti olan yüksek görüntü kalitesine ve çözünürlüğe sahip yüksek sadakat seviyesinde bir görüntü üretecine (image generator) ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyacın karşılanması amacıyla şirket iştiraki ürünü olan Mantis

görüntü üretici tüm bu gereksinimleri de karşıladığı için dış dünya görselleştirilmesi için seçilmiştir [9].



Şekil 7. Kanalların Yerleşimi

Pilotun görüş kabiliyetini arttırmak için üç kanallı; yatayda her kanalda 60° toplamda 180° ; dikeyde ise 36° görüş alanına (field of view) sahip bir görüntü üretici yapılandırılması kullanılmıştır. Oluşturulan bu görüntüler üç adet 42 inç LCD ekrana verilerek kokpit etrafında Şekil 7’de gösterildiği gibi konumlandırılmıştır.



Şekil 8. Görüntü Üretici (Mantis) Örnek Dış Dünya Görüntüsü

Gerçek uçuş hissiyatını sağlamak için görüntü üreticinde yüksek çözünürlüklü üç boyutlu modeller ve görsel arazi veri tabanı kullanılmış Şekil 8’deki gibi bir görüntü elde edilmiştir.

Üretilen uçuş dinamiği modeli ile görüntü üretici arasında haberleşmeyi sağlayacak bir arayüz yazılımına gerek duyulmuştur. Bu yazılım, uçuş dinamiği modelinin ürettiği helikopter konum ve yönelim bilgisini ağ üzerinden UDP protokolü ile alıp görüntü üreticisine CIGI 3.0 [10] standardına uygun olarak gönderir. Ayrıca görüntü üretici üzerinden, helikoptere göreceli olarak önceden tanımlanmış üç adet teker noktasına ait arazi yükseklik verisini her karede (frame) alıp, modelin yer ile etkileşime geçebilmesi amacıyla uçuş dinamiği modeline gönderir.

Bununla birlikte yine helikoptere göreceli olarak tanımlanmış ve helikopter boyutlarına göre ayarlanmış olan kırım noktalarından herhangi birinin arazi ya da üç boyutlu modeller ile çarpışması durumunda ise bu bilgiyi yine uçuş dinamiği modeline göndererek uçuş modelinin gerçekçiliğini artırır.

3. SONUÇ

Birbirinden bağımsız olarak kendi başına çalışabilen üç ayrı sistem ihtiyaçlar doğrultusunda entegre edilerek beraber çalışabilir hale getirilmiştir. Bu mühendislik simülatorü (Şekil 9) ile mevcut durumda modellenmiş olan ve ileride modellenmesi planlanan helikopter platformlarına geliştirme altyapısı sağlanmıştır. Bu sayede daha sonraki modellemelerde zaman ve maliyet açısından kazanç sağlanması amaçlanmaktadır. Ayrıca geliştirmeler kapsamında kullanılabilecek bir test ortamı da oluşturulmuştur.



Şekil 9. Mühendislik Simülatorünün Genel Görüntüsü

Dört kanallı helikopter simülatorleri için uyarlanabilir yapıda KYS geliştirilmiştir. Test sonuçlarına göre en üst standart olan “EASA CS-FSTD sınıf D” belirtilen ilgili şartları yerine getirmektedir. Böylece geliştirilen KYS “Seviye D” sertifikalı uçuş

simülatörlerinde kullanılabilecektir. KYS'nin çalışacağı katı gerçek zamanlı kernel ve 1, 2 ve 4 kHz'te çalıştırılmıştır. 2 ve 4 kHz arasında dokunsal algıya etki edecek herhangi bir unsur tespit edilmemiştir.

Mekanik akşamlardaki boşluklar kuvvet hissiyatına çok büyük ölçüde etki etmektedir. Bu boşlukları gidermek için boşluksuz yataklar kullanılmalı ve bağlantı elemanlarının üretimi ve montajı esnasında kalite kontrolü yapılmalıdır.

HELIX geliştirme süresi boyunca yüksek sadakat seviyesinde modelleme yapma ve gerçek zamanlı çalışma performansına ulaşma hususları hep birlikte düşünülmüştür. İhtiyaç duyulan optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sadece HELIX ile sınırlı kalmamış; bununla birlikte görüntü üretici yazılımı ve KYS ile olan veri aktarım arayüzlerinin yönetilmesini de kapsamıştır.

4. TEŞEKKÜR

Destekleri münasebetiyle HAVELSAN A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

5. KAYNAKÇA

- [1] White M.D. , Perfect P. , Padfield G. D. , Gubbels A. W. , Berryman, A. C. (2012), Acceptance testing and commissioning of a flight simulator for rotorcraft simulation fidelity research, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, pp: 1–24
- [2] Gerretsen, A. , Mulder, M. , Paassen, M.M. , Comparison of Position-Loop, Velocity-Loop And Force-Loop Based Control Loading Architectures (2005), *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, San Francisco, California*, pp. 1-15
- [3] Demirel, A. , Aycı, O. , Okan, A. , Turhan, S. , Tabak, E. K. (2016), Optimization of Fidelity and Performance for HELIX Rotor Model Simulation, *The Interservice/ Industry Training, Simulation and Education Conference (IITSEC'2016)*, 16166.
- [4] J. J. Howlett (1981), UH-60A Black Hawk Engineering Simulation Program. Volume 1: Mathematical Model Final Report (Sikorsky Aircraft, Stratford, Conn.).
- [5] Ballin, M. G., & Ames Research Center. (1987). Validation of a real-time engineering simulation of the UH-60A helicopter. Moffett Field, Calif: National Aeronautics and Space Administration, Ames Research Center.
- [6] Shutao, Z., Qitao, H., Dacheng, C., Junwei, H. (2007), Experiment And Study of Control Loading System In Flight Simulator Based On RCP, *IEEE International Conference on Integration Technology, Shenzhen, China*, pp. 208-21
- [7] B. J. Schachter, "Computer Image Generation for Flight Simulation," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 1, no. 4, pp. 29–68, 1981.
- [8] VT MAK, "Virtual Simulation.," www.mak.com/products/visualize
- [9] Quantum3D®, "MANTIS® Image Generation Software Datasheet," www.quantum3d.com/
- [10] "CIGI Class Library (CCL)," [Online]. Available: <http://cigi.sourceforge.net/index.php>.

İNSANSIZ SUALTI ARACININ ROS KULLANILARAK GAZEBO SİMÜLATÖRÜNDE KONTROLÜ

Seyit Yiğit Sızlayan ^(a), Mustafa Mert Ankaralı^(a), Emre Ege^(b)

^(a) Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Üniversiteler Mah., Dumlupınar Bl. No:1
06800 Çankaya Ankara/TÜRKİYE, {e18768, mertan}@metu.edu.tr

^(b) Desistek Robotik Ltd. Şti, Üniversiteler Mah. Odtü Teknokent Silikon Blok No:
BK8, 06800 Çankaya Ankara/TÜRKİYE, emre.ege@desistek.com.tr

ÖZ

Bu çalışmada, robot işletim sistemi(ROS), Gazebo robot simülatörü ve UUV su altı simülasyon paketi vasıtasıyla hazırlanmış bir sualtı aracı simülasyon modelinin, yine robot işletim sistemi vasıtasıyla derinlik kontrolü yapılmıştır. Robot işletim sistemi, simülasyon ve su altı paketi hakkında bilgi verilmiş ve nasıl çalıştıkları açıklanmıştır. Kontrolcünün farklı kazançlar ile verdiği tepkiler analiz edilmiş, simülasyonun gerçek hayata uyarlanabilmesi tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Robot işletim sistemi, ROS, Gazebo robot simülatörü, UUV su altı simülasyon paketi, insansız su altı aracı, PID kontrolcüsü

CONTROL OF AN UNMANNED UNDERWATER VEHICLE USING ROS ON GAZEBO SIMULATOR

ABSTRACT

In this study, control of an underwater simulation model, prepared using Robot operating system(ROS), Gazebo robot simulator and UUV underwater simulation package, is implemented. The information about Robot operating system, simulation and underwater is given and their working principles are explained. The response of a controller is tested using different gains and its implementation in real world is discussed.

Keywords: Robot operating system, ROS, Gazebo robot simulator, UUV underwater simulation package, unmanned underwater vehicle, PID controller

1. GİRİŞ

Robotik camiası içerisinde, kazandırdığı kullanım kolaylıkları sebebiyle şu sıralar oldukça popüler olan Robot işletim sistemi, bu aracı kullanarak analiz yapılmasına olanak sağlayan bir simülasyon olan Gazebo ile beraber, robot araştırmacıları için genel olarak yüksek olan araştırma maliyetlerini düşürmektedir.

Özellikle araştırma maliyetlerinin, çalışmanın doğası gereği oldukça yüksek olduğu su altı araştırmalarında, ROS ve Gazebo iş birliği, düzenlenen ek paketler yardımı ile de araştırma-geliştirme maliyetlerini oldukça düşürebilir. Bu sebeplerle başlanılan bu çalışmada, UUV simülasyonu paketi dahilinde bulunan, hali hazırda yerli olarak üretilen ve Türkiye içerisinde temin edilebilen SAGA insansız su altı aracının, simülasyon üzerinde ayrı PID kontrolcüsüyle derinlik kontrolü yapılmıştır. Çalışma esnasında karşılaşılan problemler, olası sorular ve her bir elemanın çalışma prensipleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Sonrasındaysa hazırlanan bu kontrolcünün farklı değerler için verdiği tepkiler analiz edilip, bunlar hakkında yorumlar yapılmıştır.

Olanakların kısıtlı olduğu bu ortamda simülasyon araçlarının önemi ve sağladığı kolaylıklar çalışma boyunca farklı yerlerde göze çarpabilir.

2. KULLANILAN ARAÇLAR

2.1. Robot Operating System (ROS)

Çalışmalarımız esnasında en aktif kullandığımız eleman olan Robot İşletim Sistemi (ROS), Açık Kaynak Robotik Vakfı (Open Source Robotics Foundation) tarafından, BSD lisansı ile, robot elemanlarının PC tarafından rahatça kontrol edilebilmesi amacıyla geliştirilmiş; yayıncı/abone ilişkisi içerisinde düğümlü ağ yapısı üzerinden kontrolü sağlanan bir işletim sistemidir. Temel bir işletim sisteminin içerdiği gibi, içerisinde farklı işlemlerin beraber ve aynı anda çalışmasına olanak sağlamak, işlemlerin birbirleri ile haberleşmesini sağlamak, işlemlerin zamanlamalarını ayarlamak, temel dosya sistemine sahip olmak vb. tüm özellikleri sağlamaktadır. ROS mimarisi bütün bunların yanında dağıtılmış sistem mimarisine sahiptir. Yani, işletim sistemi tarafından kontrol edilen ya da işletim sisteminin çalıştığı PC'ler ya da mikro kontrolcülerin aynı mimariye sahip olması gerekmez. Bunların yanında haberleşmeler temel ağ TCP/IP ağ altyapısı tarafından sağlandığı için farklı işlemleri çalıştıran PC veya mikro kontrolcülerin fiziksel olarak aynı ortamda bulunması gibi bir zorunluluk yoktur. ROS mimarisi 3 temel alt kısımdan oluşmaktadır [1]:

- Dosya sistemi
- Hesaplama grafiği
- Topluluk

İlk kısım olan dosya sistemi, ROS'un bilgisayar veya mikro kontrolcü içerisindeki yerleşimini ifade eder. ROS'un çalışması için gerekli olan dosyalar ve kodlar bu belirli dosya sistemi içerisinde ROS'un en kısa sürede erişebileceği şekilde konumlandırılırlar. Bu konumlandırma işlemi ROS tarafından halledilmekle beraber kurulum sırasında ROS'un üzerinde çalıştığı bilgisayar içerisinde gerekli klasörlemenin yapılmış olması gereklidir.

İkinci kısım olan hesaplama grafiği, işlemlerle sistemlerin haberleştiği noktadır. ROS'un birden fazla sistem üzerinde bağımsız bir şekilde çalışmasına olanak sağlayan bu kısımdır.

Üçüncü kısım olan topluluk, sistemlerden bağımsız olarak ROS platformuna hayat veren geliştirici grubunu ifade eder. Bu kısım oldukça önemlidir çünkü platform ancak onu geliştiren kişilerin açık kaynak ile bilgilerini paylaşmasıyla büyüyebilir.

ROS platformu günümüzde robotik camiasının oldukça ihtiyaç duyduğu ortak zemini sağlaması sebebiyle oldukça popülerdir. Sistemlerin birbirinden bağımsız şekilde çalışan yapısı ROS vasıtasıyla bir araya getirilebilmekte bu sayede daha büyük ölçekli projeler ROS etrafında şekillenebilmektedir.

Yukarda bahsedilen sebeplerden ötürü yaptığımız araştırma ve çalışmalarda, bizler de mümkün olduğunda oluşturduğumuz sistemlerin ROS ile uyumlu olmasına dikkat ediyoruz.

ROS üzerinde geliştirme yapabilmek adına alternatifler oldukça çok olmakla beraber geliştiriciler tarafından en çok tercih edilen diller Python (ROS'un da ilk hazırlandığı dildir), C++ ve MATLAB'dır. İlk ikisinin aksine MATLAB, platform olarak ROS'a destek vermektedir. MATLAB ile beraber kurulan "Robotic System Toolbox" ile ROS, üzerinde kurulu olduğu işletim sisteminden de bağımsız bir şekilde, MATLAB üzerinde çalışabilmektedir. Yaptığımız araştırma esnasında biz ROS 'un doğal dili olan Python'u tercih ettik.



Şekil 1: Saga İnsansız Sualtı
Gözlem Aracı [3]

2.2. Gazebo

Çalışmalarımız esnasında kullandığımız ikinci en önemli araç olan GAZEBO simülatörü, ROS ile aynı geliştirici tarafından geliştirilmektedir. Simülatörün kendisi doğal bir ROS düğümü içerir ve ROS tarafından açılması durumunda üzerine ROS tarafından yerleştirilmiş birimlerin simülasyon bilgilerine (pozisyon, durum, hız, rotasyon matrisleri vb.) erişebilmeye olanak tanır. Ayrıca açık kaynak olarak sistemde pek çok model bulunmaktadır. Bu modellerin her biri geliştiricilerin ortak olması sebebiyle, ROS vasıtasıyla kontrol edilmektedir. GAZEBO simülatörü, dinamik simülasyon, 3D görüntü modelleme, sensör ve gürültü modelleme işlerini yapabilmekte, dışarıdan TCP/IP protokolüyle simülatöre uzaktan bağlanılabilmekte, bu vasıtayla gerekli durumlarda bulut sistemleri üzerinde büyük boyutlu simülasyonların daha hızlı yapılabilmesini sağlamaktadır.

2.3. UUV Simülatör Paketi:

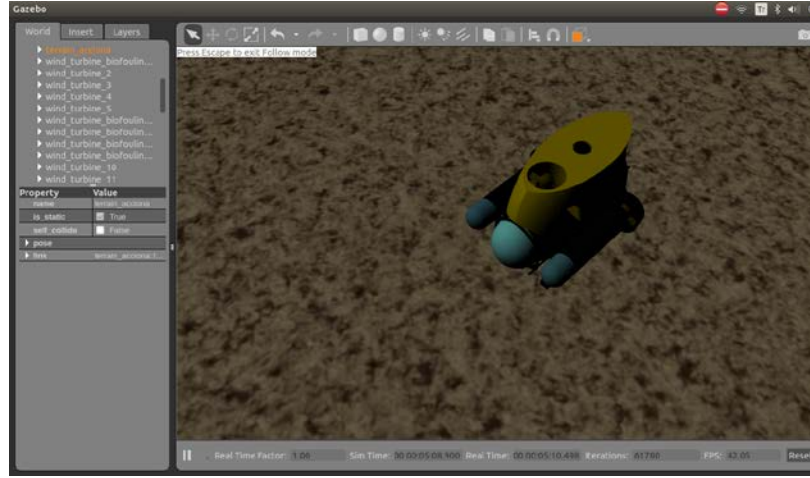
GAZEBO simülatörü üzerindeyse, doğası gereği araştırma maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu su altı ve su üstü araştırmalarının daha kolay ve zahmetsiz yapılabilmesi amacı ile BOSCH tarafından hazırlanmış olan UUV (Unmanned Underwater Vehicle) paketi araştırmalarımıza uygunluğu sebebiyle kullanılmıştır [2]. Bu paket de BSD lisansı gereği, geliştirici tarafından açık kaynak olarak sunulmuş ve diğer geliştiricilerin de fayda sağlayabilmesi maksadıyla Github sayfasında kodları yayınlanmıştır.

2.4. SAGA

Çalışmamız dahilinde, aşağıdaki resimde gözüken, yerli olarak Desistek Robotik LTD. tarafından üretilmekte olan ve SWARMS projesi [1] kapsamında UUV simülatör paketine dahil edilmiş, SAGA insansız su altı gözlem aracı kullanılmaktadır.

3. GAZEBO SİMÜLASYON ORTAMINDA SAGA İNSANSIZ SUALTI ARACININ KULLANICI KONTROLÜ

Saga insansız su altı aracı, yukarıda da belirtildiği gibi SWARMS projesi dahilinde UUV simülatör paketine dahil edilmiştir. Aşağıdaki figürden söz konusu aracın simülasyon ortamındaki görüntüsü görülebilir.



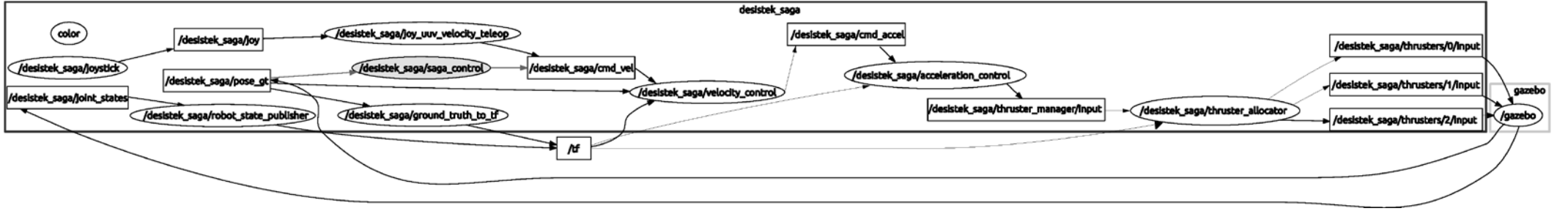
Şekil 2: Saga'nın Gazebo simülatöründeki görüntüsü

Simülasyon içerisinde, proje içerisinde yer alan araçların birbirleri ile uyumlu olabilmelerini sağlamak amacıyla ROS tarafından diğer projelerde de aynı amaçlarla kullanılan mesaj tipleri tercih edilmiştir.

Gazebo simülatörü UUV paketi ile ilk açıldığında, Gazebo içerisinde deniz içerisinde çalışmakta olan rüzgâr türbinlerinin olduğu bir harita açmaktadır. Harita yüklenip Gazebo tepki verebilir hale geldikten sonra ise, Saga simülasyon içerisine çağırılmaktadır.

Simülasyon içerisinde, pakete dahil edilmiş diğer su altı araçları gibi Saga'nın da simülasyon kullanıcıları tarafından kontrol edilebilmesi için joystick kullanılmaktadır. Kullanıcı tarafından joystickin analog tuşları vasıtasıyla verilen komutlar öncelikle ROS'un paketine entegre olan "Joystick" kütüphanesiyle yazılımsal olarak "joystick" düğümünde okunmakta, sonrasında "joy" isimli sanal bir sinyal oluşturularak diğer ROS düğümlerine yayınlanmaktadır. Joystick okumalarını (Her bir tuş farklı bir anlam içerebilmekte, örneğin analog tuşları ± 3 aralığında noktalı bir sayı döndürür.) yorumlamak ve sonrasında buradan gelen sinyalleri diğer ROS düğümlerinin anlayabileceği hız, pozisyon, durum vb. sinyallere çevirmek amacıyla, yine ROS paketine entegre olan "TeleOp" kütüphanesiyle oluşturulmuş "teleop" düğümü "joy" sinyaline kütüphanesiyle oluşturulmuş "teleop" düğümü "joy" sinyaline abone olarak, bu sinyali SAGA için istenen hız sinyallerine çevirir, bu sinyal ROS paketi dahilinde olan "geometry_msgs/Twist" tipindedir ve altı elemanı bulunmaktadır. Bu elemanlar x, y, z eksenlerinin her birindeki doğrusal ve açısal hızları ifade ederler. Yayınlanmış bu sinyale daha sonrasında, iticilerine gönderilecek hız değerlerinin hesaplanması amacıyla Bosch tarafından hazırlanan UUV paketine dahil edilmiş "velocity_control" düğümü abone olarak basit bir yüksek kazançlı hız kontrolcüsü çalıştırır. Bu sayede kullanıcı komutları öncelikle dijital sinyallere çevrilmekte (joy düğümü), sonrasında yorumlanmakta (teleop düğümü) ve istenen hızlar belirlendikten sonraysa bir hız

kontrolcüsüne aktarılmaktadır. Hız kontrolcüsü sonrasında gerekli ivmeleri hesaplamakta, bu ivmeleri dinamik modele koyarak gerekli itici hızlarını belirleyip Gazebo 'ya yollamaktadır. İticilerin yarattığı kuvvet ve bu kuvvete bağlı pozisyon değişikliği ise Gazebo tarafından hesaplanır. Bu noktaya kadar simülasyondan gelen tek geri bildirim oluşturulan itki sonucu cihazın pozisyonudur ve bu pozisyon cihazın hız kontrolcüsünde hızın hesaplanmasında, eğer ihtiyaç duyulursa diye hazırda beklemesi maksadıyla ROS tarafından hesaplanan dönüşüm matrislerinin hesaplanmasında ve cihazın pozisyonunun istenirse kullanıcıya görüntülenmesinde kullanılmaktadır. Dönüşüm matrislerine “tf” düğümü vasıtasıyla ulaşılabilir, matrisler daha az yer kaplamaları için dördey gruplar halinde hafızada saklanırlar. Sinyallerin akış düzeni aşağıdaki sinyal grafiğinden de görülebilir.



Şekil 3: Saga insansız su altı aracı için ROS araçlarıyla oluşturulmuş sinyal grafiği, içi gri boyalı olan elips gerçekleştirilen kontrolcüye aittir.

Bu grafik yine ROS içerisinde gelen “rqt_graph” kütüphanesiyle elde edilmiştir. Figürde, elips çerçeveler içerisinde ROS düğümlerini; onlardan çıkan oklar yayınladıkları sinyalleri, onlara giren oklara abone oldukları sinyalleri gösterirken; dikdörtgen çerçeve içerisindekiyse bu sinyallerin isimlerini belirtmektedir. Bu sinyallerin eş zamanlaması, tüm ROS düğümlerini kontrol eden ve adreslerini saklayan “ROS_Master” isimli düğüm tarafından yapılmaktadır. Sağdaki grafikten de anlaşılacağı üzere yalnızca pozisyon datalarının yayımlandığı “pose_gt” sinyaline ve dönüşüm matrislerinin hesaplandığı “robot_state_publisher” düğümüne yayın yapmaktadır. Bütün bu sinyallerin iletimi ve gerekli hesapların yapılması işleminden sonraysa simülasyon pozisyonu ve geçen süreyi hesaplayarak bunu grafikletirmekte ve kullanıcı Saga’yı simülasyon üzerinde joystick vasıtasıyla kontrol edebilmektedir.

4. GAZEBO SİMÜLASYON ORTAMINDA SAGA İNSANSIZ SUALTI ARACININ DERİNLİK KONTROLÜNÜN PID KONTRÖLCÜSÜYLE YAPILMASI

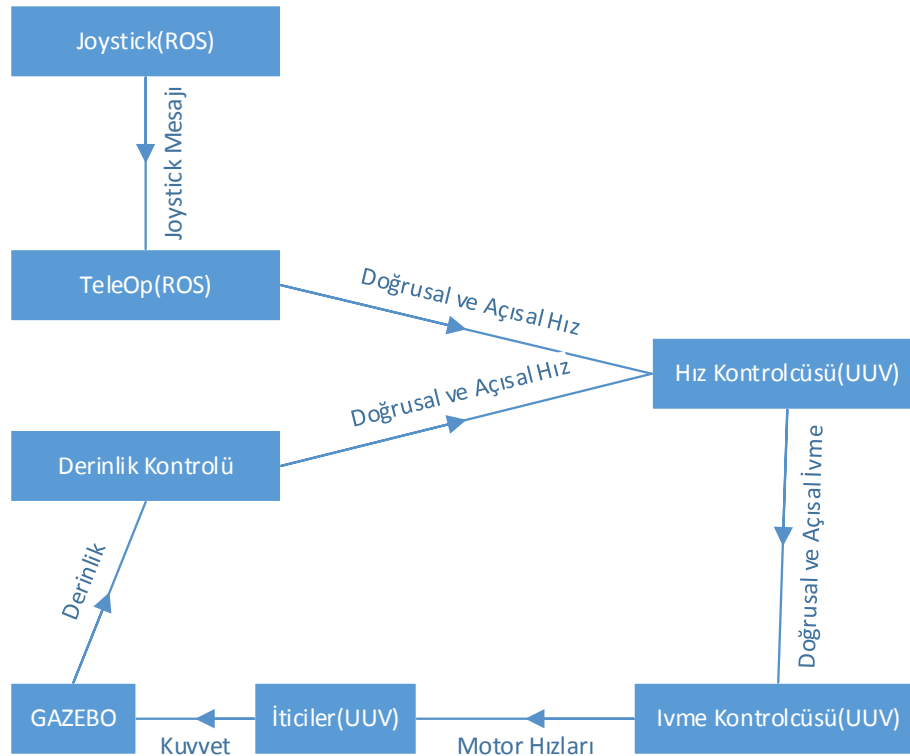
Grafikte yere alan “velocity_control” (Hız kontrolcüsü) düğümü basit bir yüksek kazançlı hız kontrolcüsüdür ve sinyal yalnızca joystick üzerinden gönderilebildiği için simülasyondaki cihaz şu an için otonom değil. Simülasyonda, istenen derinlik kontrolünün yapılabilmesi maksadıylaysa, biz “teleop” düğümünden çıkan “geometry_msgs/Twist” (Doğrusal ve açısal hızları içeren mesaj tipi) yalnızca kullanıcıdan gelen gerekli hız komutlarını alır ve bu mesajının bir kopyasını oluşturup bunu “velocity_control” düğümüne ileterek başladık. Bu sayede elimizde aynı tipte sinyal ile, pozisyon kontrolünün yapılabilmesi maksadıyla gerekli olan hızları cihazdan isteyebilecektik. Bunun için öncelikle “saga_z_control” isminde boş bir ROS düğümü oluşturuldu. Sonrasında bu düğümü Gazebo üzerinden döndürülen ve robotun o anki pozisyonunu, bulunduğu dünyaya göre veren “pose_gt” isimli mesaja abone yaptık. Bu sayede her yayınlanışında cihazın nerde olduğunu bilebilecektik. Bu noktada bu bilginin gerçek dünyada eşleniği olup olmadığı sorusu akıllara gelebilir. Saga cihazının özelliklerine baktığımızda cihazın üzerinde anlık su basıncını, bu yolla da bulunulan derinliği veren bir sensör olduğu bilgisini edindik. Simülasyon sonrasında eğer bu projenin gerçek hayata taşınması istenirse kullanılacak bilgi bu sensörden okunan derinlik bilgisi olurdu.

Simülasyondan alınan pozisyon bilgisinin yalnızca “z” aksisi bileşeni ihtiyacımız olan su yüzeyinden derinlik bilgisini metre cinsinden vermektedir, su altı olduğundan tüm pozisyonlar negatiftir. Simülasyonla ROS’un haberleştiği düğüm, bu pozisyon sinyalini her yayınladığında otomatik olarak bir fonksiyon çağrılmakta ve bu fonksiyonun içerisindeyse kontrolcü gerçekleştirilmekte.

Kontrol amacıyla, öncelikle “pose_gt” mesajından okunan “z” aksisi bilgisi ile programın başında kullanıcıdan girdi olarak alınan hedef bilgisinin farkı kontrolcüye yollanan hata olarak tanımlanıyor. Bu hatanın eski değerleri her tekrarlanma döngüsünde toplanarak ayrık tümley (discrete integral) ve bir önceki tekrarlanma

döngüsünde saklanmış olan değerle olan farkı alınarak ayırık türev (discrete derivative) değerleri hesaplanıyor. Simülasyonda her bir tekrarlanma döngüsü eşit sürede hesaplandığından ayırık türev bilgisini örnekleme zamanına bölme gerekliliği duymadık, fakat gerçek uygulamada tekrarlanma döngüsü süresi ölçülerek ayırık türev değeri bu süreye bölünmeli. Daha sonrasında hata, ayırık integral ve ayırık türev değerleri K_p , K_i ve K_d değerleri ile çarpılarak hız kontrolcüsüne iletilecek olan hız değerleri bulunmakta. Bulunan bu hız değerleri, ROS'un joystickten alarak yorumladığı mesajla aynı tip olan "geometry_msgs/Twist" tipinde ve aynı isim olan "desistek_saga/cmd_vel" isminde yayınlanıyor. Mesajın tipi ve ismi aynı olduğundan, bu mesaj tipindeki belirli bir isimli sinyale abone olan hız kontrolcüsü fark gözetmeksizin, derinlik kontrolcüsünden yayınlanan hız değerlerini simülasyona göndererek uygulamaya başlıyor. İstenilen hız değerleri, sistemin fiziksel limitleri sebebiyle belirli bir noktada doygunluğa ulaşsa da istenilen doğrultuda hareket sağlandığı için en sonunda belirtilen hedefe cihazın ulaşması sağlanabiliyor.

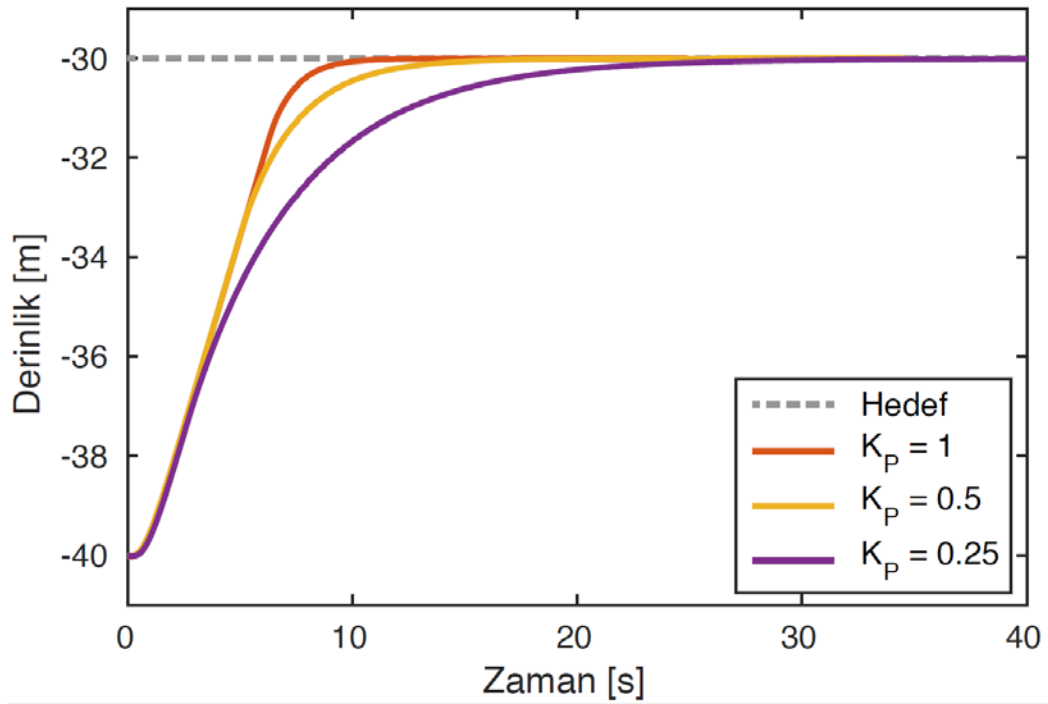
Hazırlanan sistemin, sinyal akış grafiği aşağıda gösterildiği gibidir.



Şekil 4: Derinlik kontrolü entegre edilmiş sistemin sinyal akış şeması

5. KONTROLCÜNÜN TEST SONUÇLARI

Testler esnasında kontrolcü içerisinde var olsa da katsayılarını sıfır yaparak tümlev ve türev değerlerinin katkısını ihmal ettik çünkü su içerisinde olunması sebebiyle etkileri aradaki fark çok hissedilmeyecek şekilde düşüktü. Yukarıda belirtilen şekilde oluşturulan kontrolcüyü, Gazebo simülatöründe ROS ile, Saga insansız su altı cihazında farklı kazanç değerleri için test ettiğimizde elde ettiğimiz sonuçlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 5: Farklı kazanç değerleri için kontrolcünün tepki karakterleri

Figürde de rahatlıkla görülebileceği üzere, 1 ve 0.5 kazanç değerleri için sistem $t=1s$ ve $t=7s$ arasında maksimum hıza ulaşarak doğrusal bir değişim gösterirken, 0.25 değerinde sistem maksimum hıza ulaşamayarak eksil sönümlü bir karaktere sahip olmuştur. Her üç durumda da tümlev değerinin sıfır olmasına rağmen, durağan durum hatasına ve sistemde türev değeri sıfır olmasına rağmen hedef aşımaya rastlanmamıştır. Bu durum su altında çalışmanın kolaylıklarından biri olarak nitelenebilir.

6. SONUÇ

ROS ve onun beraberinde gelen birçok aracın kullanıldığı bu çalışmada, bu elemanların nasıl çalıştığı anlaşılacak, hali hazırda otonom olmayan bir sistemi otonomlaştıracak bir kontrolcü tasarlanmıştır. Simülasyonun doğruluğu, kullanılan cihazın yerli üretim ve erişilebilir olması sebebiyle gerçek dünya koşullarında test edilerek hayata geçirilebilir. Çalışmanın devamında, şu an için yalnızca derinlik için hazırlanmış olan kontrolcü, cihazın su altındaki yeri ve pozisyonunun kontrolü amacıyla genişletilecektir.

7. KAYNAKÇA

- [1] S. Karadeniz Kartal, K. Leblebicioğlu and E. Ege, "Bir İnsansız Su Altı Gözlem Aracının Görüntü Temelli Yer Tespiti ve Tanımlaması," in *25. SİNYAL İŞLEME ve İLETİŞİM UYGULAMALARI KURULTAYI*, Ankara, 2015.
- [2] A. Martinez and E. Fernandez, "The ROS Architecture with Examples," in *Learning ROS for Robotics Programming*, Birmingham, Packt Publishing, 2013, pp. 25-26.
- [3] M. M. M. Manhães, S. Scherer, M. Voss, L. R. Douat and T. Rauschenbach, "UUV Simulator: A Gazebo-based package for underwater intervention and multi-robot simulation," in *OCEANS 2016 MTS/IEEE*, Monterey, 2016.
- [4] Swarms Project, Ecsel Project Number: 662107, "Publications," January 2017. [Online]. Available: http://swarms.eu/PDFs/News/SMARTS_Newsletter2_January2017.pdf. [Accessed 18 October 2017].

KOŞUT VE DAĞITIK MONTE CARLO KOŞTURUCUSU

Özlem Demirtaş ^(a), Bilge Kaan Görür ^(a)

^(a) ROKETSAN A.Ş., PK 30, Elmadağ, 06780, Ankara, {ozlem.demirtas, kaan.gorur}@roketsan.com.tr

ÖZ

Monte Carlo koşumları, benzetimlerin farklı başlangıç koşullarıyla çok sayıda çalıştırılarak daha doğru sonuçlar elde edilmesini amaçlar. Koşum sayısının çok olması, bu sürecin uzamasına ve bazı projelerde yeterince benzetim koşturulamamasına neden olmaktadır. Bu sorunu aşmak için Monte Carlo koşumlarının birden çok çekirdeğe, işlemciye veya bilgisayara dağıtılarak koşut (paralel) bir şekilde çalıştırılması ve hızlı sonuçlar alınması mümkündür. Bu bildiride, Monte Carlo koşumlarını koşut ve dağıtık olarak çalıştırmak amacıyla geliştirilen Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu yazılımı anlatılmıştır. Bu yazılım, benzetimleri ağ üzerinden önceden veya dağıtım sırasında belirlenen bilgisayarlara dağıtmakta ve koşumlar tamamlandığında çıkan sonuçları toplayarak kullanıcılara sunmaktadır. Geliştirilen yazılım, mühendislik dünyasında yaygın olarak kullanılan gelişmiş benzetim araçlarıyla hazırlanan Monte Carlo koşumlarını, modelden bağımsız bir şekilde koşutlaştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma ile önerilen, Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu, örnek bir çoklu benzetim çalışmasında denenmiş ve toplam koşum süresinin dikkate değer oranda kısaldığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Koşut ve Dağıtık Benzetim, Monte Carlo Benzetim, Mühendislik Benzetimleri.

PARALLEL AND DISTRIBUTED MONTE CARLO RUNNER

ABSTRACT

Monte Carlo simulation aims to get more accurate results by running simulations multiple times with different initial conditions. Too many number of runs makes the process longer than usual. As well, sufficient number of runs cannot be achieved in some projects because of the tight project deadlines. In order to overcome this problem, it is possible to achieve results in a faster way by sharing Monte Carlo runs among multiple cores, processors or computers. In this paper, we introduced Parallel and Distributed Monte Carlo Runner software that executes Monte Carlo runs in a parallel

and distributed way. This software distributes the simulation job to the computers, which are determined before or during the runtime, over the network. After the nodes complete their jobs, the results are gathered, merged and presented to the developers. The software aims to parallelize Monte Carlo simulations that have been developed via commonly used simulation tools, as model-independently. We have tested Parallel and Distributed Monte Carlo Runner for two case studies and observed total execution time gets shorter significantly.

Keywords: Engineering Simulation, Monte Carlo Simulation, Parallel and Distributed Simulation.

1. GİRİŞ

Günümüzde problemlerin içeriği, teknolojinin gelişimiyle birlikte daha karmaşık bir hale gelmekte ve birbiriyle bağlantılı sistemlerin sayısı artmaktadır. Benzer gelişim modelleme ve benzetim (MODSİM) teknolojilerinde de görülmekte olup, modellerin sadakat seviyeleri ve buna bağlı olarak da işlem yükleri artmaktadır. Bu durum hızlı sonuçlar alabilmek adına araştırmacıları koştur ve dağıtık benzetim teknolojilerinden yararlanmaya itmektedir [1].

Koştur ve dağıtık benzetim, benzetim uygulamalarının paralel bilgisayar platformlarında veya bir ağ yoluyla birbirlerine gevşek veya sıkı bağlı makine platformlarında çalıştırılması olarak tanımlanmaktadır [1]. Yüksek hesaplama gücü gerektirmesi ve büyük miktarda verilerle çalışması, koştur ve dağıtık benzetimlerin işlem gücü yüksek bilgisayarlara ya da bir ağ aracılığıyla birbirine bağlı bilgisayarların paralel olarak kullanımına yönelik ihtiyacı artırmaktadır [2]. Koştur ve dağıtık benzetim teknolojileri sayesinde analitik olarak çözülmesi çok zor ve karmaşık problemlerin daha kabul edilebilir sürelerde çözülmesi araştırmacılar için önemli bir getiri sağlamaktadır. Ayrıca dağıtık işlem teknolojileri sayesinde benzetimin koşturulduğu ortamdaki dağıtık kaynaklardan (işlemci, bellek, disk, vb.) daha etkin bir şekilde yararlanmak söz konusudur. Bu sayede hem atıl durumda bekleyen işlemci gücünden yararlanılması, hem de daha yüksek bellek/disk alanı elde edilerek kaynak yetersizliği sorunlarının önüne geçilmesi mümkündür [3, 4, 5].

Monte Carlo benzetimleri, belli bir hesaplama işinin farklı başlangıç koşullarıyla çok sayıda tekrar edilerek sonuçlar elde edilmesini amaçlar [6]. Ayrıca bazı durumlarda daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için modelin milyonlarca farklı başlangıç koşuluyla çalıştırılması gerekebilmektedir. Bu tür durumlarda proje takvimlerindeki sıkışıklık yeterince koşturmanın çalıştırılamamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla istenilen ve doğru sonuçlara ulaşılamamaktadır [7]. Monte Carlo benzetimleri gibi uzun sürede sonuçlanan uygulamalarda iki temel yöntem kullanılabilir. Bunlardan birincisi, çok işlemcili bir bilgisayar platformunun kullanılması, ikincisi ise, uygulamanın birden

çok bilgisayara dağıtılarak koşturulması olarak tanımlanabilir. Bu teknik, ağ çözümü/hesaplaması (*İng. grid computing*) olarak da adlandırılmakta olup internet veya düşük hızlı ağlar yardımıyla gevşek bağlı bilgisayarlarda bağımsız görevlerin yürütülmesini sağlamaktadır [4]. Özellikle Monte Carlo koşumları arasında bağımlılığın olmadığı durumlarda, bu yöntemlerin kullanılarak koşum sonuçlarının çok daha kısa sürede ve doğru bir şekilde elde edilmesi mümkündür.

MODSİM uygulamalarında yaşanan önemli sıkıntılardan bir tanesi de, bu alanda çalışan kişilerin havacılık ve uzay, elektrik ve elektronik, makina gibi pek çok farklı mühendislik disiplinlerinden gelmesidir. Bu mühendisler farklı alanlarda çalışmakta olup; daha çok modelleme çalışmalarına odaklanırlar. Dolayısıyla benzetimi koşut ve dağıtık çalıştırmak geliştiriciler için ikincil bir iştir ve bu işe tam anlamıyla zaman ayıramazlar. Ancak benzetimden hızlı sonuçlar alınması ve daha çok durum çalışması denenebilmesi açısından koşut ve dağıtık benzetim büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada tanıtılan Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu; aralarında bağımlılık bulunmayan Monte Carlo koşumlarını çok işlemcili birden çok bilgisayar üzerinde koşturarak, sonuçların daha hızlı alınmasını sağlamaktadır. Bu sayede sonuçların dikkate değer oranda daha hızlı alınabildiği iki farklı durum çalışmasıyla gösterilmiştir. Geliştirilen yazılım ile Matlab [8] ve Scilab [9] gibi yaygın olarak kullanılan araçlarda geliştirilen Monte Carlo benzetimleri koşutlaştırılabilmektedir. Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu sayesinde, farklı disiplinlerden gelen araştırmacılar ihmal edilebilecek kadar küçük bir çaba karşılığında Monte Carlo benzetimlerini koşut veya dağıtık çalışmaya uygun hale getirebilmektedir.

2. BENZER ÇALIŞMALAR

Monte Carlo benzetimlerinin koşut veya dağıtık çalıştırılması uzun yıllardan beri çalışılmakta olan bir konudur. Bu konudaki bilinen en eski çalışmalar [10] ve [11] numaralı kaynaklarda bulunabilir. Bu çalışmalarda Monte Carlo benzetimlerinin koşut çalışan bilgisayarların işlem gücünden yararlanarak hızlı bir şekilde tamamlanabileceği tartışılmış ve örnek çalışmalar sunulmuştur. Hali hazırda son kullanıcıya yönelik de bazı çalışmalar bulunmaktadır. En bilinenlerinden bir tanesi Matlab yazılım ortamında, kullanıcıların koşut hesaplama yapabilmeleri için geliştirilmiş olan “*Parallel Computing Toolbox*” isimli araç kutusudur. Bu araç kutusunu kullanarak, çok çekirdekli işlemcilerle, grafik işlemci birimleriyle (GPU) ve bilgisayar kümeleriyle koşut işlem yapmak mümkündür. Bu araç kutusunun sağladığı yüksek seviyeli yapılar olan paralel-for (parfor) döngüleri, özel dizi tipleri ve koşutlaştırılmış sayısal algoritmaları kullanarak CUDA veya MPI programlamaya gerek duymadan koşut hesaplama uygulamaları geliştirilebilmektedir [12].

Monte Carlo benzetimleri mühendislik, finans ve sağlık gibi pek çok alanda kullanılmakta olup, koştut ve dağıtık çalışmaya uygun bir doğaya sahiptir. Bu nedenle literatürde Monte Carlo koştutlarını koştutlaştıran birçok çalışma bulmak mümkündür. Bommagani'nin çalışmasında [13], Monte Carlo benzetimleri için uygun olan ve mevcut dağıtık bilgi işlem kaynaklarını kullanan bir iş zamanlama (*Ing. job scheduling*) algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada, zamanlayıcının davranışı üç parametre ile kontrol edilmektedir. Uygun parametre değerleri seçilerek kullanıcıların işlerine göre farklı öncelikler atanmakta ve sunulan analitik modele göre, bu parametrelerin sistem davranışı üzerindeki rolü araştırılmaktadır. Analitik modelden elde edilen bilgiler kullanılarak, dağıtık Monte Carlo sistemi bir durum çalışması olarak sunulmaktadır. Camarasu-Pop vd.'nin (ve diğer birlikte çalışanlar) çalışmasında [14] da, dağıtık ortamlarda çalışan dinamik Monte Carlo benzetimleri için bir yük dengeleme stratejisi önerilmiştir. Çalışma, üretimde kullanılan heterojen, güvenilir olmayan dağıtık sistemler için tasarlanmıştır Bilgi işlem kaynaklarının özellikleri üzerine herhangi bir varsayım yapılmamıştır ve tasarımdan ziyade mevcut altyapıların kullanımının iyileştirilmesine odaklanılmıştır. Monte Carlo benzetimlerinin koştutlaştırılmasında kullanılan farklı bir teknik de Maigne vd.'nin çalışmasında bulunabilir [15]. İlgili çalışmada medikal fizik alanında kullanılan Monte Carlo benzetimleri için, rastgele sayı üreticilerinin koştutlaştırılmasına dayalı bir yöntem sunulmuştur Monte Carlo benzetimlerin koştut ve dağıtık ortamda kullanım ihtiyacına yönelik finans, medikal görüntüleme, sağlık durumu tahminleri gibi çeşitli alanlarda yapılan çalışmalar da mevcuttur [16, 17, 18].

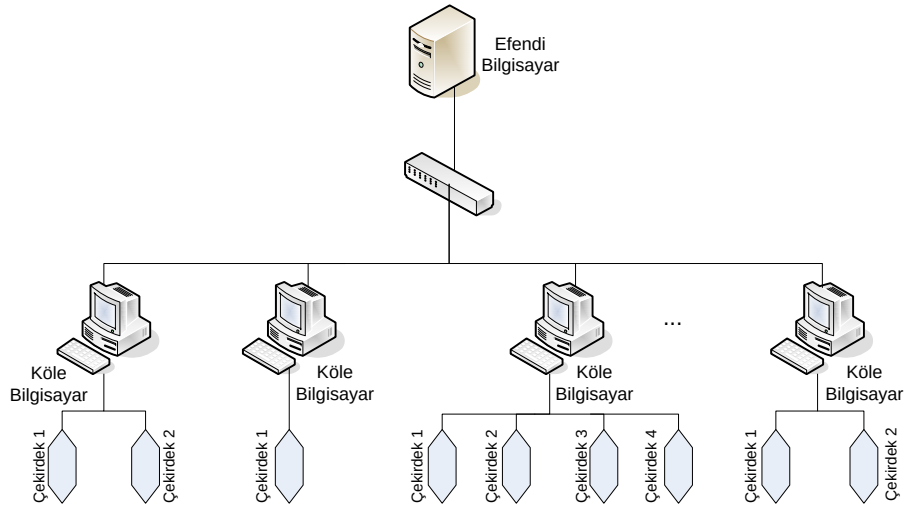
Bu çalışmada tanıtılan yazılım ise mühendislik benzetimlerini hedef alan ve yaygın olarak kullanılan çeşitli yazılımlarla geliştirilmiş Monte Carlo benzetimlerini koştutlaştırmaktadır.. Bulabildiğimiz benzer çalışmaların sadece bir araca, genellikle Matlab, özgü çözümler sunduğu ve farklı araçlarla hazırlanan Monte Carlo benzetimleri için genişletilemediği görülmüştür. Literatürde pek çok çalışma bulunmasına rağmen henüz genel geçer bir uygulama olmadığı ve mevcut çalışmaların tek bir araç veya probleme özgü olduğu görülmüştür. Bu çalışmada önerilen yazılım ise farklı araç ve programlama dilleriyle geliştirilen Monte Carlo benzetimlerinin koştutlaştırılmasını hedeflemektedir. İlk aşamada Matlab ve açık kaynak kodlu bir Matlab alternatifi olan Scilab ile geliştirilen benzetimlerin koştutlaştırılması sağlanmış; diğer araç ve programlama dilleri için de yazılımın kolay bir şekilde genişletilebilmesine yönelik programlama arayüzleri sunulmuştur.

3. KOŞTUT VE DAĞITIK MONTE CARLO KOŞTURUCUSU

Geliştirilen Koştut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu tek bir bilgisayarda çalıştırılmak üzere hazırlanmış Monte Carlo koştutlarını, çok sayıdaki işlemciye veya bilgisayara dağıtarak sonuçların daha hızlı alınmasını sağlamaktadır.

Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu yazılımı Java programlama dili [19] ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu yazılım, mühendislik benzetimleri için yaygın olarak kullanılan Matlab ve Scilab yazılımları ile geliştirilmiş Monte Carlo benzetimlerini koşut veya dağıtık olarak çalıştırabilmektedir. Bir ağ üzerinden birbirine bağlı birçok bilgisayar bir araya gelerek işleri paylaşmakta; ardından her bir bilgisayar üzerine aldığı işleri çekirdek seviyesinde koşut olarak çalıştırabilmektedir. Böylece, koşuma katılan bilgisayarlardan ve işlemcilerden mümkün olan en verimli şekilde faydalanmak amaçlanmıştır.

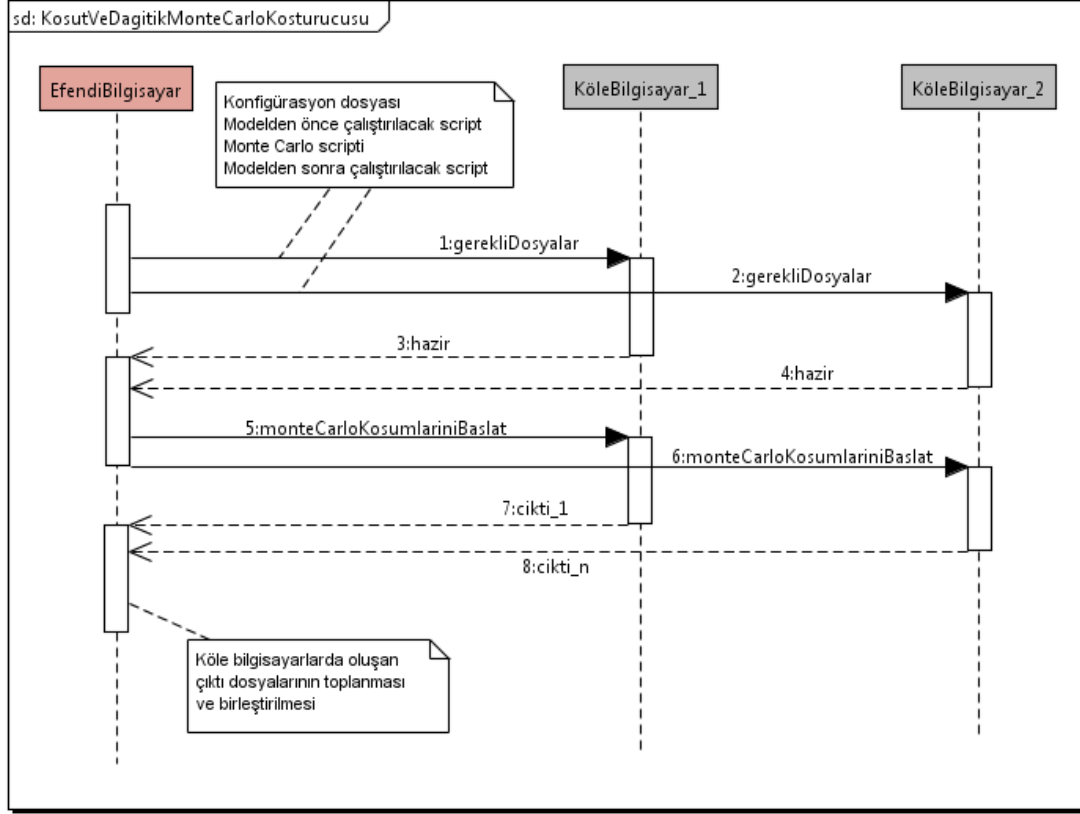
Geliştirilen yazılım Şekil 1’de görüldüğü gibi efendi-köle topolojisinde gerçekleştirilmiştir. Köle bilgisayarlar, kendilerine tanımlanan işleri tamamladıktan sonra, işlemci çekirdeklerinin oluşturduğu çıktıları birleştirir ve bu çıktıları efendi bilgisayara gönderirler. Efendi bilgisayar, köle bilgisayarlardan gelen çıktıları birleştirerek kullanıcıya tek bir sonuç (.mat, vb.) dosyası halinde sunar. Efendi ve köle bilgisayarlar arasında geçen tüm iletişim TCP/IP protokolü kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu protokol, uygulamanın sağlıklı bir şekilde işleyişine devam edebilmesi için bilgisayarlar arasındaki dosya ve komut aktarımlarının güvenilir bir şekilde yapılması gerektiği için seçilmiştir. Bilgisayarlar arası iletişim, yalnızca uygulama başlarken işlerin dağıtılması ve uygulama sonunda elde edilen verilerin birleştirilmesi sırasında gerçekleştiği için iletişim protokolünün seçiminden dolayı kayda değer bir performans değişikliği yaşanmamaktadır. Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu’nun çalışmasına yönelik iş akış çizelgesi Şekil 2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 1. Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu Üst Düzey Görünümü

Yazılımın doğru çalışabilmesi için Monte Carlo koşumları arasında bağımlılık olmaması gerekmektedir. Başka bir deyişle, koşumlardan birinin ürettiği çıktılar başka

bir koşumu etkilememelidir. Bir diğer gereksinim ise kullanıcının Monte Carlo modelini döngülerden arındırarak, sanki tek bir koşum çalıştıracakmış gibi hazırlamasıdır.



Şekil 2. Monte Carlo Koşumlarının Koşutlaştırılması Süreci

3.1. Benzetimlerin Koşutlaştırılması

Monte Carlo koşumlarının koşut ve dağıtık çalıştırılabilmesi için geliştiricilerin mevcut kodlarında küçük değişiklikler yapması ve kodlarını Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşuturucusu için uygun hale getirmeleri gerekmektedir. Bunun için yapılacak adımlar şöyle sıralanabilir:

- Benzetim öncesi yapılacak ön işlemlerin ayıklanması,
- Benzetim sonrası yapılacak son işlemlerin ayıklanması,
- Monte Carlo döngülerinin kaldırılması (ilgili döngüler kullanıcı tarafından Şekil 3'te verilen "Koşum Parametreleri" göz önünde bulundurularak köle bilgisayarlarda kullanıcıdan gizli bir şekilde oluşturulmaktadır),
- Döngü değişkenlerinin Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşuturucusu'nun anlayabileceği değişkenler haline getirilmesi.

Şekil 3. Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu Kullanıcı Arayüzü

Bu işlemlerden sonra kullanıcı, Şekil 3’te verilen grafik arayüzü yardımıyla Monte Carlo benzetimini yapacak modeli efendi bilgisayara tanımlar. Bu arayüz yardımı ile ayrıca, aşağıdaki bilgiler de kullanıcı tarafından tanımlanmaktadır.

- Geliştirilen modelin hangi yazılımla hazırlandığı (Matlab, Scilab, vb.),
- Monte Carlo koşumlarından önce ve sonra çalışması istenen yazılım/kodlar.
- Benzetim sonunda kaydedilmesi istenen çıktılar.
- Monte Carlo koşum parametreleri.
- Koşum yapacak bilgisayarlar ve koşum sayısı.

Geliştirilen arayüz sayesinde kullanıcı, platformdan bağımsız bir şekilde Monte Carlo benzetimini koşutlaştırabilmektedir. Böylece, koşut ve dağıtık işlem konusunda bilgi sahibi olmayan kullanıcıların da yazılımı kolay bir şekilde kullanması hedeflenmiştir.

4. DURUM ÇALIŞMASI

Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu kullanılarak mevcut benzetimlerin ne kadar hızlanma sağladığı ve eldeki işlemci gücünden ne kadarlık bir verimlilikle

yararlanıldığını görmek üzere iki farklı durum çalışması Matlab ve Scilab yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler farklı işlemci sayıları ve farklı koşum sayıları kullanılarak yapılmış; bu sayede yazılımın farklı iş gücü gerektiren benzetimler için davranışı gözlenmiştir.

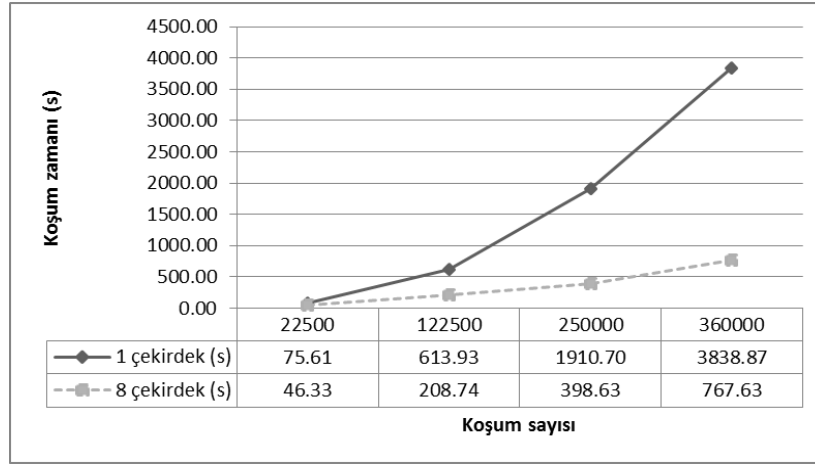
4.1. Etmen Tabanlı Bir Monte Carlo Benzetiminin Matlab ile Koşutlaştırılması

İlk durum çalışmasında, Matlab yazılımı kullanılarak etmen tabanlı basit bir yapay yaşam benzetimi oluşturulmuştur. Benzetim, iki boyutlu bir matris (*İng. grid*) üzerinde gerçekleşmekte ve iki tip etmenden (*İng. agent*) oluşmaktadır. Bunlar hedef ve savunan etmen olarak tanımlanmıştır. Tüm etmenler aynı zaman adımı içerisinde sadece bir birim yer değiştirmekte veya yerinde sabit kalmaktadırlar. Hedef etmen, hareketini rastgele gerçekleştirirken, savunan etmen komşuluk sınırlarını kontrol etmekte, bu alan içerisinde hedef varsa onu oyundan çıkartmaktadır. Benzetimdeki amaç, farklı savunma pozisyonları için, benzetim sonunda yaşayan hedef etmen sayısının tespit edilmesini sağlamaktır. Bu şekilde, farklı pozisyon girdileri denenerek, farklı çıktıların olasılık değerleri hesaplanabilmektedir. Yapılan çalışmada her biri dört çekirdekli olan iki bilgisayar kullanılmıştır. Ölçümler özdeş olmayan iki bilgisayar (dört çekirdekli 2.60 GHz işlemcili bir bilgisayar ve dört çekirdekli 2.40 GHz işlemcili bir bilgisayar) arasında yapılmış ve iş yükü bilgisayarların işlemci kapasiteleri göz önünde bulundurularak paylaştırılmıştır. Benzetimlerin ortalama tamamlanma süreleri ve elde edilen hızlanma değerleri Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir. Kullanılan bilgisayarların özdeş olmamasından dolayı hızlanma değeri benzetimi önce bitiren bilgisayara göre hesaplanmıştır.

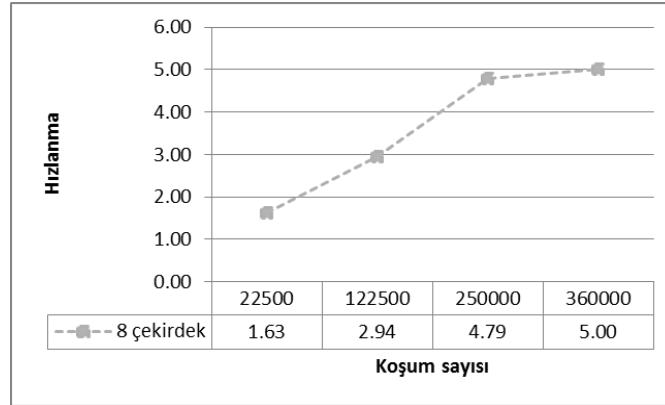
4.2. Bir Aerodinamik Veri Tabanı Oluşturma Çalışmasının Scilab ile Koşutlaştırılması

Bir diğer durum çalışmasında Scilab yazılımı kullanılarak bir aerodinamik veri tabanı oluşturma çalışması yapılmıştır. Bu yönüyle, ele aldığımız durum çalışması aslında bir Monte Carlo benzetimi olmamasına rağmen; veri tabanı oluşturma yazılımının farklı parametrelerle birden çok kez çalıştırılmasından dolayı Monte Carlo benzetimleriyle aynı doğaya sahiptir. Deneyler bir, iki ve dört adet bilgisayar kullanılarak yapılmış olup her bilgisayarın işlemcisinin yalnızca bir çekirdeği çalışmaya katılmıştır. Kullanılan bilgisayarların özellikleri (2.80 GHz 4 çekirdekli işlemci ve 16 GB bellek) özdeş olup, iş yükünün eşit bir biçimde dağıtılması sağlanmıştır. Benzetimlerin ortalama tamamlanma süreleri ve elde edilen hızlanma değerleri Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir.

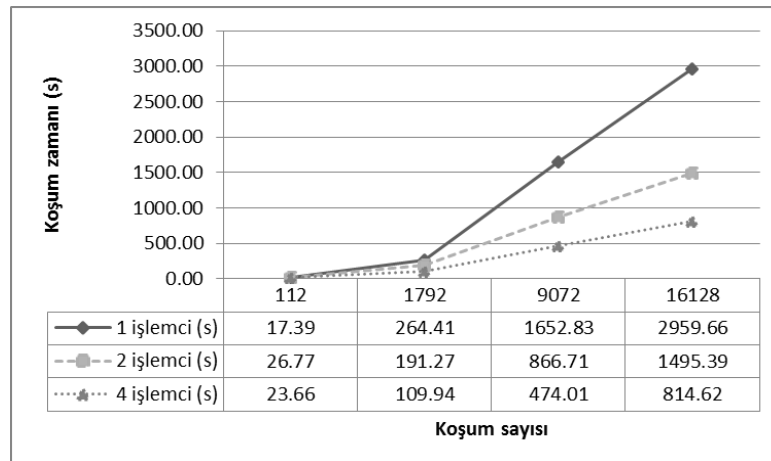
Scilab yazılımına Java'dan erişim sağlayan JavaSci2 kütüphanesi çoklu oturum desteği sağlamadığı için, yapılan deneyler farklı bilgisayarların bir araya getirilmesiyle gerçekleştirilmiş; çekirdek/işlemci seviyesinde koşutlaştırma yapılamamıştır. Bir başka deyişle her bilgisayarda yalnız bir Scilab oturumu eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır.



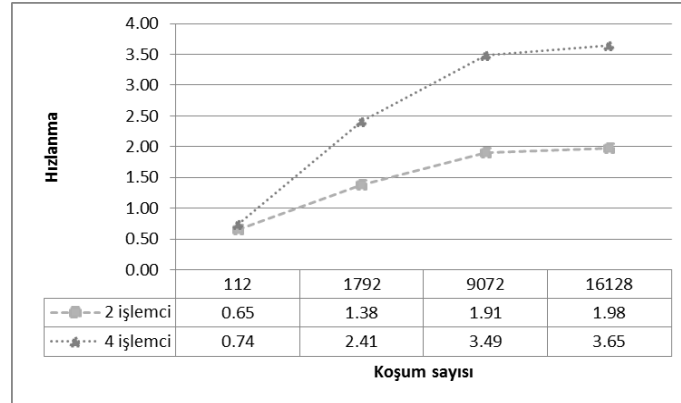
Şekil 4. Matlab ile gerçekleştirilen durum çalışmasında koşum sayısı ve işlemci sayısına göre benzetimlerin tamamlanma süresi



Şekil 5. Matlab ile gerçekleştirilen durum çalışmasında koşum sayısı ve işlemci sayısına göre elde edilen hızlanma değerleri (*İng. speedup*)



Şekil 6. Scilab ile gerçekleştirilen durum çalışmasında koşum sayısı ve işlemci sayısına göre benzetimlerin tamamlanma süresi



Şekil 7. Scilab ile gerçekleştirilen durum çalışmasında koşum sayısı ve işlemci sayısına göre elde edilen hızlanma değerleri (*İng. speedup*)

4.3. Değerlendirme

Hem Matlab hem de Scilab ile gerçekleştirilen durum çalışmalarından elde edilen sonuçlara bakıldığında;

- Az sayıda koşum içeren Monte Carlo benzetimlerinin koşutlaştırılması istenen sonuçları vermemekte, hatta benzetimlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bunun nedeni, koşutlaştırmayla birlikte gelen ağ işlemlerinin, veri bölme ve birleştirme işlemlerinin getirdiği ek iş yüküdür. Bu ek iş yükü benzetimin iş yükünden baskın geldiği için benzetimlerin tamamlanma süreleri seri çalıştırmanın da gerisine düşmektedir.
- Özellikle koşum sayısı arttıkça hızlanma değerlerinin de arttığı görülmektedir. Çünkü bu durumlarda benzetimin iş yükünün ağ işlemleri, veri bölme ve birleştirme işlemlerine baskın geldiği ve bu ek iş yükünün ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmektedir.
- Matlab ile yapılan denemelerde 4 çekirdekli 2 işlemci kullanılarak 5,00'lık bir hızlanma elde edilebildiği ve mevcut işlemci gücünün %62,5'lik bir verimlilikle kullanılabildiği görülmektedir.
- Scilab ile yapılan denemelerde 1 çekirdekli 4 işlemci kullanılarak 3,65'lik bir hızlanma elde edilebildiği ve mevcut işlemci gücünün %91'lik bir verimlilikle kullanılabildiği görülmektedir.
- Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu sadece benzetimin dağıtılması ve verilerin efendi bilgisayarda toplanması sırasında işlemcilerin iletişime geçmesine neden olmaktadır. Koşumlar çalıştığı sırada herhangi bir iletişim gerçekleşmemektedir. Bu nedenle farklı sadakat seviyelerinde veya farklı sayıda etmenle çalışan benzetimlerin koşutlaştırılmasında da benzer hızlanma eğilimlerinin görüleceği değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ

Bu bildiride, Monte Carlo benzetimlerini hızlı bir şekilde sonuçlandırabilmek için birbirinden bağımsız koşumların farklı çekirdeklerde, işlemcilerde ve bilgisayarlarda çalıştırılmasını sağlayan Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu yazılımı anlatılmıştır. Yapılan durum çalışmalarında önemli hızlanmaların elde edildiği ve Monte Carlo benzetimlerinden seri çalıştırmaya göre çok daha hızlı sonuçlar alınabildiği görülmüştür.

Özellikle mühendislik benzetimlerinde yaygın bir şekilde kullanılan Monte Carlo benzetimlerinin çok uzun sürelerde sonuçlanması kaçınılmazdır. Proje takvimlerinin bu uzun sürelere müsaade etmemesi ve yeterli sayıda koşturulamayan benzetimlerden istenilen sonuçların elde edilememesi gibi nedenler Monte Carlo benzetimlerinden hızlı bir şekilde sonuçlar alınmasını ihtiyaç haline getirmektedir. Benzetim geliştiricilerin ise genellikle koşut ve dağıtık işlem konularına uzak olması ve benzetimleri koşutlaştırmanın ekstra bir iş yükü olarak görmesinden dolayı bu benzetimleri kullanıcıların hızlı bir şekilde çalıştırabileceği bir yazılımın sağlanması, Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu yazılımını değerli hale getirmektedir.

İlerleyen çalışmalarda Koşut ve Dağıtık Monte Carlo Koşturucusu'nun aşağıdaki özellikler kazandırılarak daha da geliştirilmesi planlanmaktadır.

- Benzetime hangi bilgisayarların kaç çekirdekle katılacağını otomatik olarak tespit edilmesi ve bu bilgisayarları kullanıcının tanımlamasına gerek kalmaması.
- Bir çekirdeğin/işlemcinin/bilgisayarın herhangi bir nedenle işine devam edemediği durumda efendi bilgisayarın bunu algılayarak ilgili işi başka bir köle bilgisayara aktarması.
- Geliştirilen yazılımın model tabanlı görsel tasarım ve geliştirme uygulamaları (Simulink, Xcos, vb.) gibi model tabanlı tasarım ve geliştirme yöntemleriyle gerçekleştirilmiş benzetimler için de çalıştırılabilmesi.
- Kullanıcının tek bir bilgisayarda çalıştırmak üzere hazırladığı Monte Carlo benzetim kodunun, kullanıcıya hiçbir iş bırakmadan otomatik olarak koşutlaştırılması.

6. KAYNAKÇA

- [1] Fujimoto, R. M. (2015), Parallel and Distributed Simulation, *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference*, 45-59.
- [2] Fujimoto, R. M. (2016), "Research Challenges in Parallel and Distributed Simulation". *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation* vol. 26, pp. 22:1 – 22:29.

- [3] A. D. Kshemkalyani and M. Singhal. Distributed Computing: Principles, Algorithms, and Systems. Cambridge University Press, New York, USA, 2008.
- [4] F. Berman, G. Fox, A. Hey (editors), Grid Computing: Making the Global Infrastructure a Reality, Wiley Press, New York, USA, 2003.
- [5] M. Parashar ve C. Lee (editors), Proceedings of the IEEE: Special Issue on Grid Computing, Volume 93, Issue 3, IEEE Press, New York, USA, March 2005.
- [6] Raychaudhuri, S. (2008), Introduction To Monte Carlo Simulation, *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference*, 91-100.
- [7] Kalos, M. H., ve P. A. Whitlock. 2008. *Monte Carlo Methods*, Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [8] Matlab. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>. Son görülme tarihi: 30.05.2017
- [9] Scilab. <http://www.scilab.org>. Son görülme tarihi: 30.05.2017.
- [10] Pawley, G. S., Bowler, K. C., Kenway, R. D., Wallace, D. J. (1985), “Concurrency and Parallelism in MC and MD Simulations in Physics”. *Computer Physics Communications* vol 37(1-3): 251-260.
- [11] Moatti, A., Goldberg, J., Memmi, G. (1987), “Parallel Monte Carlo Calculations with Many Microcomputers”. *Computer Physics Communications* vol 45(1-3), 355-359.
- [12] Matlab Parallel Computing Toolbox User’s Guide R2012a, Mathworks Inc.
- [13] A. S. Bommagani. (2011), “Distributed Monte Carlo Simulation”. Yüksek Lisans Tezi, Lane Department of Computer Science and Electrical Engineering in College of Engineering and Mineral Resources at West Wirginia University
- [14] S. Camarasu-Pop, T. Glatard, R. F. Da Silva, P. Gueth, D. Sarrut, H. Benoit-Cattin. (2013). Monte Carlo simulation on heterogeneous distributed systems: A computing framework with parallel merging and checkpointing strategies. *Future Generation Computer Systems* 29(3), 728-738.
- [15] L. Maigne, D. Hill, P. Calvat, V. Breton, R. Reuillon, D. Lazaro, Y. Legre, D. Donnarieix. (2004). Parallelization of Monte Carlo simulations and submission to a grid environment. *Parallel Processing Letters* 14(2), 177-196.
- [16] I. Stokes-Ress, F. Baude, V-D. Doan, M. Bossy. (2009), Managing Parallel and Distributed Monte Carlo Simulations for Computational Finance in a Grid Environment. *Grid Computing: International Symposium on Grid Computing (ISGC 2007)*. Springer US. 183-204.
- [17] A. J. Page, S. Coyle, T. M. Keane, T. J. Naughton, C. Markham, T. Ward. (2006), Distributed Monte Carlo simulation of light transportation in tissue. *20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2006)*.
- [18] K. Forman. (2016), Special Session: Massive Simulations in SPARK: Distributed Monte Carlo for global health forecasts. *Spark Summit 2016*.
- [19] Java 1.8.0. <https://www.oracle.com/java/index.html>. Son görülme tarihi: 06.06.2017.

KOKPİT TASARIMINDA GÖSTERGE VE KONTROLLERİN AKIŞ KONTROLÜ BAZLI YERLEŞİMİ

Kıvanç Kürten ^(a), Engin Demir ^(b)

^(a) HAVELSAN A.Ş., Mustafa Kemal Mahallesi 2120 Cad. No:39 06510 Çankaya / ANKARA, kkurten@havelsan.com.tr

^(b) Çankaya Üniversitesi, Eskişehir yolu 29. km, Yukarıyurtçu Mahallesi, Mimar Sinan Caddesi No:4 06790 Etimesgut / ANKARA, engindemir@cankaya.edu.tr

ÖZ

Bir hava aracında pilotun araç üzerinde kontrol sağladığı, geri besleme aldığı ve gerekli bilgi akışını takip ettiği arabirim kokpittir. Kokpitte enstrüman sayısı arttıkça, yerleşimde karmaşıklık düzeyi de artmaktadır. Kokpit yerleşiminde yapılacak olan yanırlar, insan makina etkileşiminde eksikliklere ve gecikmelere neden olabilecektir. Bu çalışmada; kokpit gösterge ve kontrollerinin birbirleri ile olan ilişkileri kontrol listeleri (checklist) üzerinden hesaplanarak yerleşim için iki farklı model önerilmiştir. İlk model olarak her bir enstrüman birer düğmeye (node) karşılık gelecek şekilde bir çizge (graph) oluşturulup sıralanması ve Hilbert Eğrisi (Hilbert Curve) kullanılarak enstrümanların konumlandırılması ele alınmıştır. Diğer bir modelde ise oluşturulan bu çizge ve enstrümanların alanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralaması kullanılarak İki Boyutlu Kutulama (2D Bin Packing) algoritması ile konumlandırılması incelenmiştir. Farklı modelleme yöntemleri ile tasarlanan kokpit yerleşimleri, kokpit yerleşim alanı ve enstrümanların birbirleriyle olan mesafelerinin kontrol listelerindeki kullanım sıralarına göre katedilen toplam mesafe değeri açısından değerlendirmiştir. Bu sayede, fiziksel olarak daha az yer kaplayıp, kullanım sırasına göre enstrümanlar arası daha kısa mesafeye sahip olan yerleşimin bulunması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Boşluk Doldurma Eğrileri, Hilbert Eğrisi, İki Boyutlu Kutulama, İnsan Makina Etkileşimi, Kokpit Tasarımı, Kokpit Yerleşimi, Kontrol Listesi

CHECKLIST BASED PLACEMENT OF INDICATORS AND CONTROLS IN THE COCKPIT DESIGN

ABSTRACT

Cockpit is the interface where a pilot controls the aircraft, receives feedback and follows the necessary information flow. As the number of cockpit instruments increases, the

level of complexity in the placement also increases. Errors in the cockpit placement can cause imperfection and delay in human machine interaction. In this study; two different placement models is proposed by calculating the relationship between cockpit indicators and controls with the help of checklists. As the first model, a graph is created and sorted in which cockpit instruments are represented as a node, and these instruments are placed using Hilbert Curve. In the other model, cockpit instruments are placed with 2D Bin Packing using the graph and decreasing size order of these instruments. The cockpit layouts designed with different modeling algorithms are evaluated according to two criterions: distance between instruments relative to each other according to the order of use in the checklists and cockpit placement area. It is aimed to find the placement that occupies less physical area and has shorter distances between instruments according to usage.

Keywords: 2D Bin Packing, Checklist, Cockpit Design, Cockpit Placement, Hilbert Curve, Human Machine Interaction, Space Filling Curves

1. GİRİŞ

Bir hava taşıtında kokpit tasarımı, ilgili aracın tipine ve kullanım amacına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yıllar içinde gerçekleşen teknolojik gelişmeler ve üreticilerin bunlara bağlı olarak öncelik verdiği kriterlerin farklılığı, bir çeşit insan makine arayüzü olan bu tasarımlarda çeşitliliğin artmasına neden olmuştur [1]. İdeal bir kokpit tasarımıyla temelde hedeflenen planlanan görevin başarıyla tamamlanması ve insan makine etkileşiminde pilotaj kaynaklı hataların sifra indirilmesidir.

Kokpit tasarımıyla ilgili olarak yakın dönemde yapılan çalışmalar incelendiğinde ergonomi ön planda yer almaktadır. Bu çalışmalarda kokpitte pilotun fiziksel pozisyonunun, operasyon sırasındaki duruşunun, göz noktasının konumun, görüş alanı ve panellerin görünürlüğü gibi kriterlerin operasyon sonucuna etkisi üzerine durulmuş ve hem kokpit ve hem hava aracı güvertesi (aircraft deck) yerleşim değerlendirme kriterleri üzerine çalışılmıştır [2] [3]. Kokpit enstrümanlarının konumlandırılması ise öznel yaklaşımlar ile en iyi tasarımın belirlenmesine yöneliktir [4].

Pilotun ihtiyaç duyacağı gösterge ve kontrollerin konumlandırılması hem durum farkındalığının sağlanması hem de hızlı tepki verme ihtiyacından dolayı önem arz etmektedir. Havacılıkta ister sivil ister askeri olsun, uçuş öncesinde, sırasında ve sonrasında ilgili hava taşıtına ait kontrol listelerinin kullanılması zorunluluk olarak görülür [5]. Bu aşamada kontrol listeleri uçuş protokollerinin temelini oluşturur ve uygulanmaması pilotaj hatası olarak kabul edilir [6]. Dolayısı ile pilotun kokpit üzerindeki gösterge, kontrol ve panelleri, kontrol listeleri ile çizilen bir çerçevede kullanacağını varsaymak mümkündür. Bu listelerin kullanılmasındaki amaç insan

dikkati ve hafızasının potansiyel limitlerinden dolayı oluşabilecek hataların azaltılmasıdır.

Dolayısı ile gösterge, kontrol ve panellerin kokpit tasarımı esnasında nasıl konumlandırılması gerektiği bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada kokpit yerleşiminde mevcut sezgisel ve zamanla gelişmiş tasarımlar yerine nesnel yaklaşımlar kullanarak önerilen tasarımların belirli kriterler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kokpit enstrümanlarının (gösterge ve kontrollerinin) yerleşimi için İki Boyutlu Kutulama algoritması ve Hilbert Eğrisi algoritması kullanılarak geliştirilen iki farklı model incelenmiştir. Bu modellere göre tasarlanan kokpitler boş alanların toplam kokpit yerleşim alanına oranı ve temel işlemler için kontrol listelerine göre kokpit üzerinde katedilen toplam mesafe değerleri açısından değerlendirilmiştir. Örnek olarak dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçağına ait kokpit tasarımı ve buna bağlı kontrol listeleri kullanılmıştır. Bu aşamada panellerin ve enstrümanların fiziksel yapılarından dolayı mevcut olan kısıtlar göz ardı edilecektir.

2. YERLEŞİM MODELLERİ

Kokpit enstrümanlarının yerleşiminin kullanıcı yorumlarından bağımsız nesnel bir yaklaşım ile bir model çerçevesinde konumlandırılması amaçlanmıştır. İlişkili olan gösterge ve kontrollerin birbirine yakın yerleşimi ile insan makine etkileşimde kaybedilen toplam sürenin azaltılabilmesi hedeflenmiştir. Bilginin işlenip tepki gösterilmesi için geçen süre pilotlar için ortalama 3 saniye civarındadır [7]. Böylece pilotlarda panel konumlandırılmasından kaynaklı dikkat kaybının ve tepki gecikmelerin minimuma indirilebileceği ve bunun da uçuş güvenliğine olumlu yönde yansıtacağı düşünülmektedir.

Bu amaçla önce kontrol listelerine yer verilecek, ardından kullanılan modeller sırayla incelenecek ve son olarak değerlendirme kriterlerinden bahsedilecektir.

2.1. Kontrol Listeleri

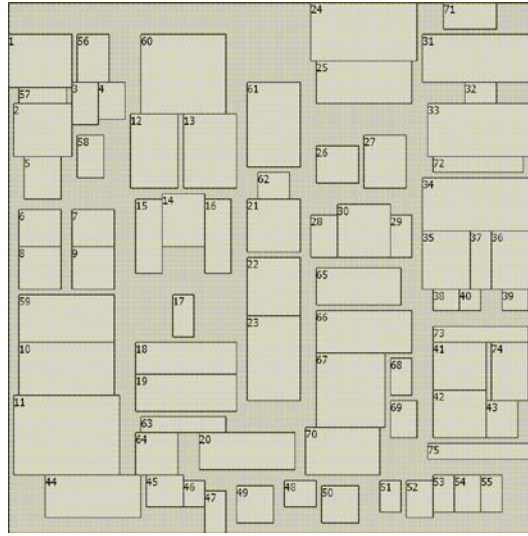
Havacılıkta ister sivil ister askeri olsun, uçuş öncesinde, sırasında ve sonrasında ilgili hava taşıtına ait kontrol listelerinin kullanılması zorunluluk olarak görülür [5]. Kokpitte kontrol listelerinin başlıca işlevi, uçuş ekibinin herhangi bir uçuş bölümüne uygun olarak uçağın ayarlanmasını sağlamak ve prosedürler açısından standardizasyonun temelini oluşturmaktadır [8].

Kontrol listeleri süreç boyunca var olan iniş, kalkış, yaklaşma, alçalma, motor çalıştırma gibi faaliyetlerin de çoğunu kapsar. Kontrol listeleri bu normal durumların dışında; fırlatma prosedürleri, acil iniş, acil kalkış, yakıt sistemi arızaları ve sayısız diğer acil durumda da kullanılmaktadır [9]. Uçuş ile ilgili tüm bu aşamalarda kontrol edilmesi

beklenen kokpit enstrümanların birbirinden alakasız şekilde konumlandırılmasının dikkat ve süre kaybına yol açması beklenebilecek bir durumdur.

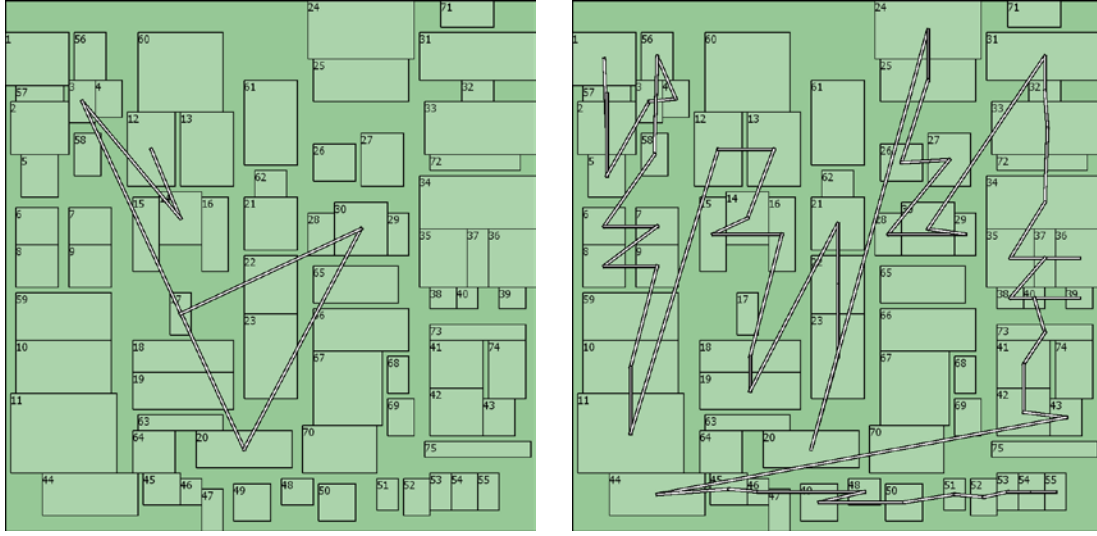
Dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçaklarında kullanılan kontrol listeleri genel olarak uçuş öncesi, sırası ve sonrasında güç verme (electrical power up), kokpit hazırlama (cockpit preparation), motor çalıştırma (engine start), taksi (taxi), kalkış (takeoff), alçalma (descent), yaklaşma (approach), iniş (landing), kapatma (shutdown), sonlandırma (terminating) gibi akışlardan oluşmaktadır [10]. Çalışmada tüm bu akışların ağırlığı eşit kabul edilmiş ve sadece yerleşimi yapılacak olan kokpit enstrümanları ile ilgisi olan kontrol listesi aşamaları kullanılmıştır. Ayrıca bir acil durum oluştuğunda ilgili durumun ortadan kaldırması için kullanılması gereken kontrol listeleri de bu çalışmanın dışında tutulmuştur.

Dar gövdeli tek koridorlu yolcu uçağı kokpit yerleşiminden bir panel örnek olarak alınmış, bu panel iki boyutlu düzleme aktarılırken yatayda ve dikeyde eşit 100 parçaya ayrılmıştır. Enstrüman tanımlamaları, yerleşimleri ve ilgili tüm hesaplamalar ve değerlendirmeler bu çözünürlüğe uygun olarak yapılacaktır.



Şekil 1. Mevcut kokpit yerleşimi

Bu panelde yer alan, toplamda 75 adet olan gösterge ve kontroller Şekil 1’deki gibi daha önce belirtilmiş olan çözünürlüğe uygun olarak iki boyutlu birer kutu olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan her enstrümanın dikeyde ve yataydaki orta noktası kullanım yeri olarak varsayılmıştır. Yerleştirilecek olan tüm bu kokpit gösterge ve kontrollerin boyut ve yönelimleri değiştirilmeyecek, üst üste konumlandırmaları engellenecektir. Kokpit gösterge ve kontrollerinin kullanım sırası kontrol listelerine göre belirlenmiş olup tanımlanmış olan kokpit enstrümanlarının kontrol akışında bu sıra kullanılacaktır.



Şekil 2. Mevcut yerleşim kullanım akışı örneği (a) güç verme (b) kokpit hazırlama

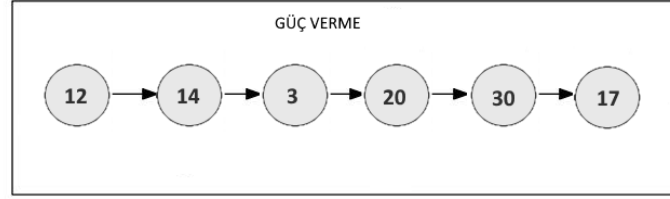
Örnek olarak Şekil 2’de güç verme ve kokpit hazırlama sırasında kullanılacak olan enstrümanların takip sırası görselleştirilmiştir. Bu görselde mevcut kokpit yerleşiminde ilgili akışa göre kullanım esnasında atlamalar görülebilir.

Çalışmada kullanılacak olan panelde yer alan enstrümanları içeren kontrol listesi akışları ve bu akışlarda yer alan adım sayısı Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kontrol listeleri enstrüman adım sayısı

Akış	Enstrüman Adım Sayısı
Kokpit Hazırlama	58
Güç Verme	6
APU Başlatma	4
Motor Çalıştırma	13
Çalıştırma Sonrası	15
Kalkış Öncesi	6
Kalkış Sonrası	5
Alçalma	10
Yaklaşma	3
İniş Sonrası	8
Kapatma	15
Sonlandırma	6

Kokpit gösterge ve kontrollerinin kullanım akışlarını ifade edebilmek, birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlayabilmek için yönlendirilmiş çizge (directed graph) kullanılacaktır. Kokpit enstrümanları birer düğüm (node), kontrol listelerindeki sırası da kenar (edge) olarak ifade edilerek, yönlendirilmiş çizge şeklinde kümeler tanımlanacaktır.



Şekil 3. Güç verme akışı yönlendirilmiş çizge örneği

Örnek olarak Şekil 3’de güç verme akışı esnasında kontrol listelerine göre kokpit enstrümanlarının kullanım sırası ve birbirleriyle olan ilişkileri çizge ile gösterilmiştir. Bu şekilde enstrümanlar tanımlanma esnasındaki sıra numaralarıyla ifade edilmiştir.

Kontrol listelerinde listelenen farklı akışlarda ortak enstrümanların bulunması ya da aynı kontrol listesi akışında bir enstrümana birden fazla kez erişilecek olunması beklenen bir durumdur. Tüm kokpit enstrümanlarının, kontrol listelerinin kullanımı sırasında birbiriyle olan sıralı ilişkilerini ve ortak kullanımları daha net görebilmek, tüm aşamalar için oluşturulacak olan yönlendirilmiş çizgeler birleştirilerek tek bir çizge oluşturulacaktır. Oluşturan bu yönlendirilmiş çizge, topolojik sıralama (topological sorting) algoritması ile sıralanacak, böylece neredeyse tüm kokpit enstrümanlarını içeren bir ilişki bağımlılık sırası oluşturulmuş olacaktır. Oluşturulan bu tek boyutlu, tüm kokpit enstrümanlarını içeren kullanım sırası önerilen modellerde kullanılacaktır.

2.2. İki Boyutlu Kutulama

İlk olarak bu problemi alan odaklı çözmeye yönelik bir model üzerinde çalışılmış ve belirli sayıdaki kutuyu bir alana yerleştirmek için kullanılabilecek en ideal yöntemlerden biri olduğu için İki Boyutlu Kutulama algoritması kullanılmıştır [11]. Kokpit enstrümanları İki Boyutlu Kutulama ile yerleştirilirken kontrol listelerine göre yapılan kullanım sıralamasının yanında bu gösterge ve kontrollerin her birinin toplam alanına göre büyükten küçüğe doğru yapılan sıralama da dikkate alınmıştır. Bu iki sıralama sonucu kendi içlerinde 0.0 – 100.0 arası değerlere normalleştirilmiş (1), ardından iki sıralamanın ağırlıkları değiştirilerek yerleşim sonuçları gözlemlenmiştir.

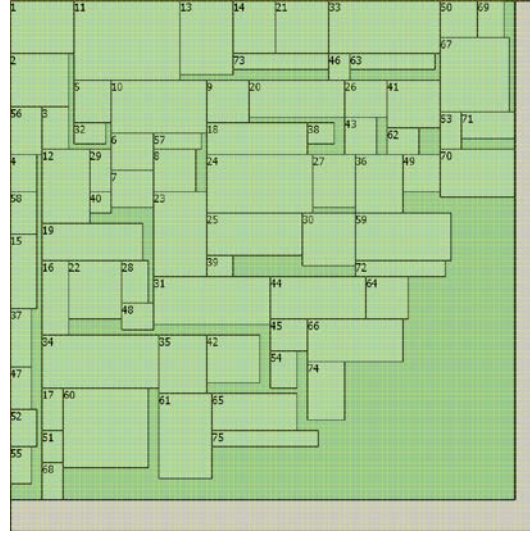
$$f(x) = (o_x / T_e) * 100.0 \quad (1)$$

$f(x)$: normalleştirilmiş sıra; o_x : enstrüman sırası; T_e : toplam enstrüman sayısı;

Bu gözlemler çerçevesinde kullanım sıralamasının ağırlığı arttırılarak; %80 ağırlıklı kontrol listesi normalleştirilmiş kullanım sıralaması ve %20 ağırlıklı kutuların normalleştirilmiş boyut sıralamasına göre oluşturulan yeni sıralama sonuç değeri kullanılarak hazırlanan yerleşim modeli değerlendirilmiştir (2).

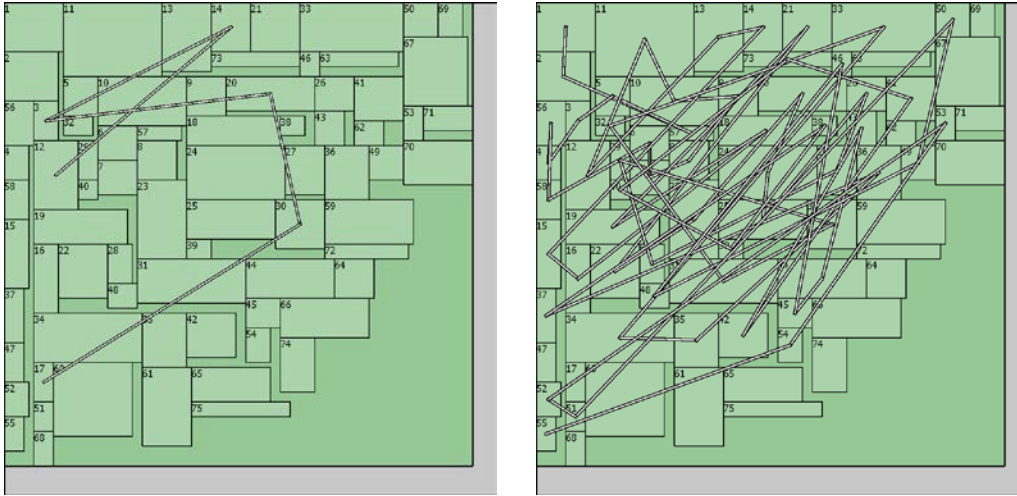
$$y(x) = x_1 * 80.0 + x_2 * 20.0 \quad (2)$$

$y(x)$: ağırlıklı sıralama değeri; x_1 : kullanım sıralaması değeri; x_2 : boyut sıralaması değeri;



Şekil 4. İki Boyutlu Kutulama modeli yerleşimi

Oluşturulan yeni sıralama sonucu kullanılarak hazırlanan İki Boyutlu Kutulama modeli yerleşim sonucu Şekil 4’de gösterilmiştir.



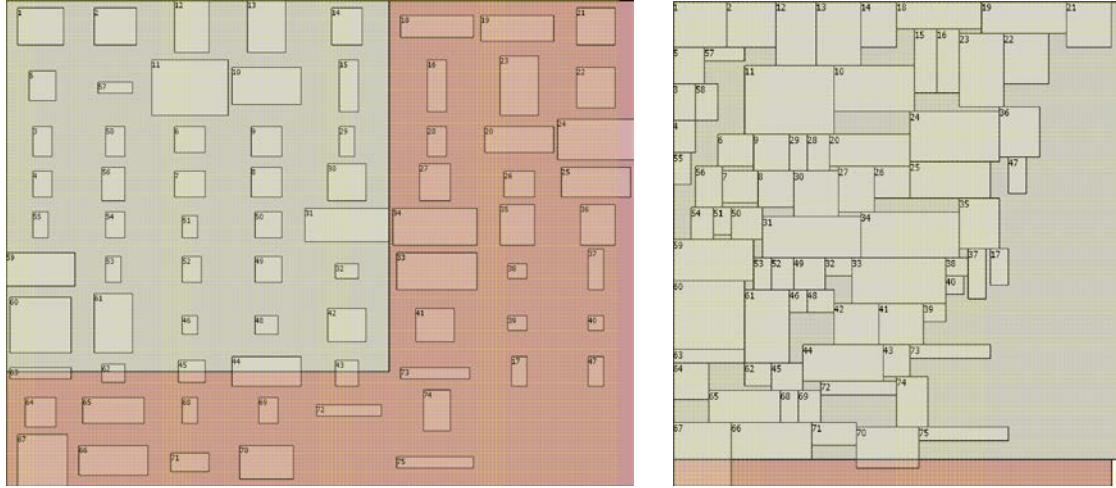
Şekil 5. İki Boyutlu Kutulama kullanım akışı örneği (a) güç verme (b) kokpit hazırlama

Alan odaklı bir yaklaşım olan İki Boyutlu Kutulama algoritması ile yerleşim, her ne kadar kokpit enstrümanlarının yerleşimini boyut bakımından verimli bir şekilde sağlasa da; yerleşim esnasında sıradaki kutunun en ideal yere yerleşimini esas aldığı için kontrol listeleri kullanım sırasını tam olarak gözetmemekte ve ilişkili gösterge ve kontrollerin birbirine yakın olarak konumlandırmasını sağlamamaktadır (Şekil 5).

2.3. Boşluk Doldurma Eğrileri

İkinci modelde ise kontrol listeleri aracılığı ile oluşturulmuş kokpit enstrümanları kullanım sırası kullanılarak Boşluk Doldurma Eğrileri yardımıyla kokpit gösterge ve panellerinin yerleştirilmesi üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla özellikle Z Eğrisi ve

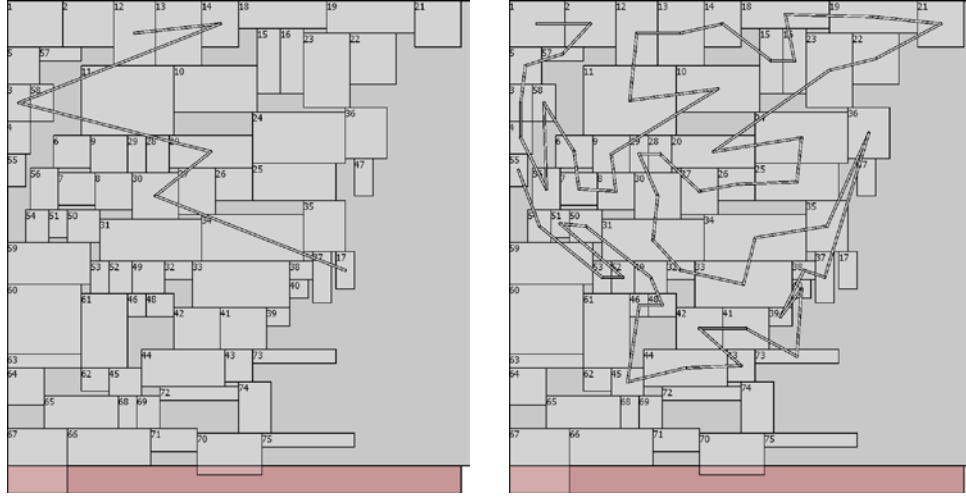
Hilbert Eğrisi ile yerleşim denenmiş, Z Eğrisi'nde bir satırın son sütununa yerleştirilmiş bir enstrümandan sonra gelen ilk enstrümanın alt satırın ilk sütununa yerleştirilmesi toplam katedilen mesafeyi artırdığından tercih edilmemiştir. Sıradaki enstrümanın bir önceki enstrümana göre komşu bir konuma yerleşimine olanak sağlayan Hilbert Eğrisi kullanılmıştır [12]. Panel satır ve sütunlara bölünmüş ve Hilbert Eğrisi ile kullanım sırasına göre enstrümanların yerleştireceği satır ve sütunların tespiti sağlanmıştır.



Şekil 6. Hilbert Eğrisi Modeli (a) İlk Yerleşim (b) Sıkıştırılmış Yerleşim

Kullanım sırasına göre enstrümanlar Hilbert Eğrisi ile tanımlanan yerlerine yerleştirilmiştir. Bu esnada bir satıra ait olan kokpit enstrümanlarının en yükseği o satırın boyunu, bir sütuna ait olan kokpit enstrümanlarının da en geniş o sütunun enini belirlemekte kullanılmıştır (Şekil 6). Ancak bu yerleşim modeli ile toplam panel alanı artmış, yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır. Buna bağlı olarak da panel kullanım oranı yarı yarıya azalmıştır. Bu sonucun en büyük nedeni enstrüman boyutlarındaki farklılık olup kullanım sırasında bu farklılıklarının yöntemin doğası gereği dikkate alınamamasıdır.

Yerleştirilen bir enstrüman bulunduğu sütundaki diğer enstrümanlara göre göreceli olarak daha dar bir enine sahip olmasına rağmen en geniş enstrüman kadar panelde yer işgal ediyor durumuna düşmüştür. Aynı şekilde bulunduğu satırın yüksekliğine bağlı olarak enstrümanın işgal ettiği alan etkilenmektedir. Bu durumun etkisini azaltmak için bu enstrümanlar arasında oluşan bu boşluğun azaltılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla her satırdaki gösterge ve kontroller, aralarında yatayda boşluk kalmayacak şekilde sola doğru tek bir döngü ile taşınmıştır. Daha sonra aynı işlem dikeyde uygulanmış, her kokpit enstrümanı yukarı yönde boşluk kalmayacak şekilde taşınmıştır (Şekil 6).



Şekil 7. Hilbert Eğrisi kullanım akışı örneği (a) güç verme (b) kokpit hazırlama

Modelde kullanım sırası gözetildiğinden birbiri ile ilişkisi olan enstrümanların yakın yerleşimi sağlanmış, kontrol listeleri adımlarına göre katedilen toplam mesafe azalmıştır. Ancak yerleşim sırasında enstrümanların boyutları dikkate alınmadığından kullanılan panel boyutu mevcut tasarıma göre biraz büyümüştür (Şekil 7).

2.4. Değerlendirme Kriterleri

Önerilen modeller ve mevcut yerleşim iki kriter üzerinden değerlendirilmiştir. İlk kriter toplam panel alanı odaklı olup yeni yerleşim modelinin mevcut tasarıma göre boyut ve kullanım verimliliğini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, önerilen modeller ile yerleştirilmiş yeni panel alanının mevcut panel alanına bölünmesi ile hesaplanan boyut oranı (3) ve enstrümanların toplam alanın panelin alanına bölünmesi ile hesaplanan kullanım oranı (4) değerleri kullanılacaktır.

$$f(x) = (w_n * h_n) / (w_o * h_o) \quad (3)$$

$f(x)$: panel boyut oranı; w_n : yeni panel eni; h_n : yeni panel boyu; w_o : panel eni; h_o : panel boyu;

$$y(x) = \sum(w_i * h_i) / (w * h) \quad (4)$$

$y(x)$: panel kullanım oranı; w_i : enstrüman eni; h_i : enstrüman boyu; w : panel eni h : panel boyu;

Yerleşim modellerine göre hesaplanan bu oran değerleri Tablo 2’de yer almaktadır. Bu değerlerdeki azalış verimlilik artışı olarak varsayılmıştır.

Tablo 2. Boyut oran karşılaştırması

Yerleşim Modeli	Panel Boyut Oranı*	Panel Kullanım Oranı**
Mevcut Yerleşim	1.00	0.64
İki Boyutlu Kutulama	0.89	0.72
Hilbert Eğrisi	1.03	0.62

Not. * *Toplam panel boyutunun mevcut modele oranıdır (3).*

** *Paneldeki enstrüman toplam alanının toplam panel alanına oranıdır (4).*

İkinci değerlendirme kriteri ise kontrol listelerine göre kullanım akışı takip edildiğinde katedilen mesafedeki değişimi ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla kontrol listesine göre akışta kullanılan enstrümanlar arasında katedilen mesafe kullanım sırasına göre toplanıp, akıştaki adım sayına bölünerek enstrüman başına katedilen ortalama mesafe değeri (5) ve mevcut kokpit yerleşimine oranla yüzdesel olarak değişimi (6) hesaplanmıştır.

$$f(x) = \sum \Delta x / \sum T_e \quad (5)$$

$f(x)$: katedilen mesafe değeri; Δx : sıralı iki enstrüman arası mesafe; T_e : akıştaki adım sayısı;

$$y(x) = (f(x_n) / f(x_o)) * 100.0 \quad (6)$$

$y(x)$: mesafe oranı; $f(x_n)$: yeni model mesafe değeri; $f(x_o)$: mevcut model mesafe değeri;

Yerleşim modellerine göre hesaplanan adım başına düşen mesafe değeri ve bu değer mevcut yerleşime yüzdesel olarak oranına Tablo 3’de detaylı olarak yer verilmiştir.

Tablo 3. Katedilen mesafe karşılaştırması

Akış	Mevcut Yerleşim*	İki Boyutlu Kutulama*	Mesafe Oranı (%)**	Hilbert Eğrisi	Mesafe Oranı (%)***
Kokpit Hazırlama	148	341	230	120	81
Güç Verme	332	370	111	279	84
APU Başlatma	277	266	96	371	134
Motor Çalıştırma	224	353	158	174	78
Çalıştırma Sonrası	323	356	110	317	98
Kalkış Öncesi	180	265	147	108	60
Kalkış Sonrası	280	335	119	369	132
Alçalma	169	382	226	160	95
Yaklaşma	145	255	176	255	175
İniş Sonrası	272	353	130	197	72
Kapatma	263	372	141	203	77
Sonlandırma	323	255	79	303	94

Not. * *Kontrol listelerindeki akışa göre katedilen toplam mesafe değerinin enstrüman sayısına bölünmesi ile hesaplanan katedilen ortalama mesafe değeridir (5).*

** *Kontrol listelerindeki akışa göre katedilen mesafe değerinin İki Boyutlu Kutulama modeli yerleşimi ile mevcut yerleşim oranının yüzdesel değeridir (6).*

*** *Kontrol listelerindeki akışa göre katedilen mesafe değerinin Hilbert Eğrisi modeli yerleşimi ile mevcut yerleşim oranının yüzdesel değeridir (6).*

Her akış için ayrı ayrı hesaplanan mesafe değerleri ve değişim miktarının ortalamaları alınarak karşılaştırılmak için Tablo 4’de özet olarak sunulmuştur. Mesafe oranındaki yüzdesel olarak azalma olumlu olarak değerlendirilecektir.

Tablo 4. Katedilen ortalama mesafe karşılaştırması

Yerleşim Modeli	Ortalama Mesafe*	Mesafe Oranı (%)**
Mevcut Yerleşim	215	-
İki Boyutlu Kutulama	341	158
Hilbert Eğrisi	191	89

Not. * *Tüm akışlardaki adım sayısına göre katedilen ortalama mesafe değeridir.*

** *Katedilen ortalama mesafe değerinin mevcut modele oranının yüzdesel değeridir.*

3. SONUÇ

Bu çalışmada bir hava taşıtına ait mevcut kokpit yerleşimi ile kontrol listesi odaklı nesnel yaklaşımlar yardımıyla modellenen iki farklı yerleşim önerilip, karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sırasında modellerin tanımlanan kriterlere göre performansları değerlendirilmiştir. İnsan makina etkileşimi açısından bir kriter tanımlanmamış olup bu yaklaşımı da içeren değerlendirmeler sonraki çalışmalarda yürütülecektir.

Panel boyutlarındaki değişim ve panel kullanım oranlarına göre Hilbert Eğrisi modeli ile yapılan yerleşim mevcut kokpit yerleşimine yakın sonuçlar vermiş ve olumlu herhangi bir etkisi olmamıştır. Ancak İki Boyutlu Kutulama modeli ile yapılan yerleşimde kullanılan panel alanında ve dolayısı ile panel kullanım oranında yaklaşık %11’lik kazanç elde edilmiştir (Tablo 2).

Kontrol listelerine göre katedilen ortalama mesafe değerine göre İki Boyutlu Kutulama modeli ile yapılan kokpit yerleşiminde bu değer yaklaşık %58 artmış ve kullanımı neredeyse imkansız hale getirmiştir. Diğer taraftan Hilbert Eğrisi modeli ile yapılan yerleşim sonucunda bu kriterde %11’lik bir kazanç söz konusudur (Tablo 4). Bu kazanım, kokpit yerleşiminde kontrol listeleri odaklı bir model ile mevcut yerleşimlerde akıştaki ortalama katedilen mesafe değeri kriterine göre iyileşme olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Yeni nesil kokpit tasarımlarında mekanik gösterge ve kontrollerden sanal cam kokpit (glass cockpit) odaklı dijital tasarımlara geçilme eğiliminde olunması [13] enstrümanların yerleşiminde esnekliğe ve dinamik bir kokpit tasarımı yapılmasına olanak sağlayacaktır. Dijital bir cam kokpit tasarımında kontrol ve göstergelerin yerleşiminin mekanik alternatiflere göre çok daha hızlı bir şekilde, sadece bir yazılım güncellemesi ile yapılabilmesi de mümkün olacaktır.

Ayrıca bu çalışmada yer verilmeyen arıza durumunda kullanılması gereken kontrol listeleri de sonraki çalışmalara dahil edilerek sonuçlara etkisi değerlendirilebilir. Eşit etkiye sahip olduğu varsayılan her bir akışa farklı ağırlıklar verilmesi de mümkün olup sonraki çalışmalara dahil edilecektir.

4. KAYNAKÇA

- [1] L. F. E. Coombs, *Control in the sky : the evolution and history of the aircraft cockpit*. 2005.
- [2] S. Rune, X. Hongjun, and S. Bifeng, "Ergonomic assessment method for cockpit layout of civil aircraft x based on virtual design," *ICAS Int. Counc. Aeronaut. Sci.*, pp. 1–8, 2008.
- [3] Y. Zhang, Y. Sun, and Y. Chen, "A framework for ergonomics design of transport category airplane cockpit," *Procedia Eng.*, vol. 80, p. 573, 2014.
- [4] M. B. Senol, M. Dagdeviren, and M. Kurt, "Hava araci kokpit arayuz degerlendirmesi icin cok kriterli bir yaklasim," vol. 28, no. 4, pp. 685–693, 2013.
- [5] B. M. Hales and P. J. Pronovost, "The checklist-a tool for error management and performance improvement," *J. Crit. Care*, vol. 21, no. 3, pp. 231–235, 2006.
- [6] R. L. Helmreich, "On error management: lessons from aviation.," *BMJ*, vol. 320, no. 7237, pp. 781–785, 2000.
- [7] W. Barkhuizen, J. Schepers, and J. Coetzee, "Rate of information processing and reaction time of aircraft pilots and non-pilots," *SA J. Ind. Psychol.*, vol. 28, no. 2, pp. 67–76, 2002.
- [8] A. Degani and E. L. Wiener, "Cockpit Checklists: Concepts, Design, and Use," *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.*, vol. 35, no. 2, pp. 345–359, 1993.
- [9] D. J. Boorman, "Today's electronic checklists reduce likelihood of crew errors and help prevent mishaps.," *ICAO J.*, vol. 1, pp. 17–22, 2001.
- [10] Aussie Star Flight Simulation, "Boeing 737-800 Checklist." [Online]. Available: www.aussiestarhops.com. [Accessed: 20-May-2016].
- [11] A. Lodi, "Algorithms for two-dimensional bin packing and assignment problems," *Doktorarbeit, DEIS, Univ. di Bol.*, 1999.
- [12] G. Breinholt and C. Schierz, "A Recursive Algorithm for the Generation of Space-Filling Curves," no. November 1946, 2012.
- [13] A. Batey, "How to design the fighter cockpit of tomorrow," *BBC*, 2015. [Online]. Available: <http://www.bbc.com/future/story/20150106-the-jet-cockpits-of-tomorrow>. [Accessed: 12-Jun-2017].

ELEKTROMEKANİK SİSTEMLERİN NEDENSEL OLMAYAN MODELLEME TEKNİKLERİ İLE MODELLENMESİ

Kürşad Kılınç ^(a), Reşat Hakan Avcı ^(a)

^(a) ANDAR Elektromekanik Sistemler, ODTÜ Teknokent İkizler Binası ZK2,
{kursad.kilinc, hakan.avci}@andar.com.tr

ÖZ

Günümüzde kullanılan modelleme teknikleri arasında blok diyagram tabanlı modelleme kullanımı oldukça yaygındır. Nedensel (causal) modelleme olarak adlandırılan bu teknikte fiziksel olgular giriş ve çıkış sinyalleri arasında bir bağıntı olarak ifade edilmektedir. Nedensel olmayan (acausal) modelleme yöntemlerinde ise, fiziksel olgular fiziksel değerlerin dönüşümsel eşitliğini içeren diferansiyel denklemler olarak ifade edilmektedir. Bu sayede, farklı disiplinlerden elemanlar içeren karmaşık sistemler nesne tabanlı olarak daha kolay ve gerçeğe yakın modellenebilmektedir.

Bu çalışmada nedensel olmayan modelleme yöntemine dayalı bir programlama dili olan Modelica ile karmaşık bir elektromekanik sistemin modellenmesi ve elde edilen modelin gerçek sistemle doğrulanması anlatılarak, nedensel olmayan modelleme tekniklerinin sağladığı kolaylıklar ve sunduğu imkanlar gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: elektromekanik, nedensel olmayan modelleme, Modelica, Systemmodeler, simülasyon, doğrulama

MODELING ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH ACASUAL MODELING TECHNIQUES

ABSTRACT

Block diagram based modeling is a popular technique amongst other modeling methods that are being used in different applications. This modeling method is usually based on causal modeling in which physical relations are expressed as functions between input and output signals. In acausal modeling, physical relations are directly expressed with differential equations that define the nature of the physical phenomenon. This allows

easier and accurate modeling of complex systems that include elements from different disciplines.

In this paper, benefits of acausal modeling is illustrated by modeling and validating a complex electromechanical system using an acausal modeling language called Modelica.

Keywords: acausal modeling, electromechanical, Modelica, simulation, Systemmodeler, validation

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında modelleme araçlarının kullanımı, incelenmek istenilen sistemlerin davranışlarının ve olası problemlerinin önceden belirlenmesi açısından oldukça yaygındır. Bu sistemlerin gün geçtikçe daha karmaşık hale gelmesi, modellerin de karmaşılaşmasına sebep olmuştur. Bu karmaşıklığın bir sebebi, kullanılan modelleme yöntemlerinde fiziksel olguların modellerinin toplama, çarpma, türev alma gibi basit matematiksel bloklar ile oluşturulmasıdır [1]. Nedensel olmayan modelleme yöntemleri ve nesne tabanlı modelleme dili kullanımı bu zorlukların aşılmasında atılan önemli bir adımdır.

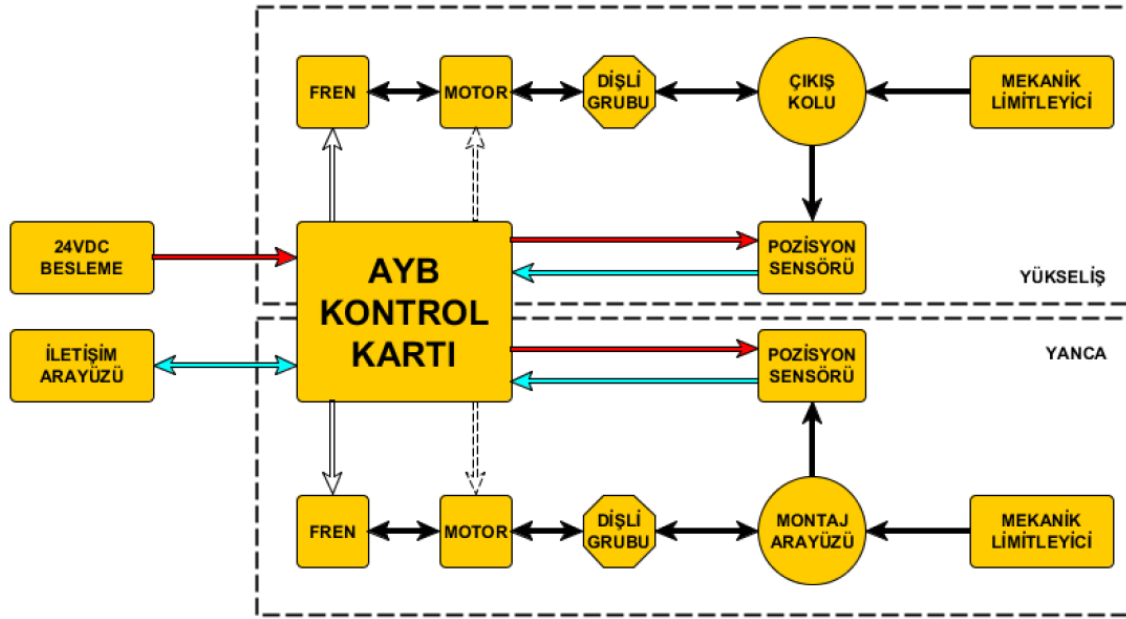
Bir Simulink kütüphanesi olan Simscape, bu modelleme yöntemine dayalı modelleme araçlarına bir örnektir. Bu kütüphaneye ait bloklar, ait oldukları disiplinlere göre farklı giriş-çıkış konektörlerine sahiplerdir. Bu konektörler, tek yönlü bir sinyal akışından farklı olarak “across” ve “through” değişken olarak adlandırılan sinyalleri aktarırlar. Bu değişkenlere örnek olarak Voltaj-Akım ya da Açı-Tork ikilileri verilebilir [2].

Nedensel olmayan modelleme yöntemine dayalı diğer bir modelleme aracı ise Modelica dilidir. Bu dil, nesne tabanlı ve matematiksel denklemlere dayalı açık kaynaklı bir programlama dili olarak inşa edilmiştir [3]. Bu dili temel alan, blok diyagram tabanlı modelleme araçları daha sonra ortaya çıkmaya başlamıştır. Dassault Systemes – Dymola ve Wolfram – SystemModeler programları bu dil üzerine kurulmuş modelleme araçlarına örnek olarak verilebilir.

Birden fazla disiplinden komponentler içeren elektromekanik bir sistemin modellenmesi bu çalışmada Modelica dilinin kullanımına bir örnek olarak verilmiştir. Modelleme aracı olarak Wolfram SystemModeler programı kullanılmıştır.

2. MODELLENEN SİSTEM

Modeli oluşturulan sistem, yüksek açısız yükler altında çalışabilen, iki farklı eksende hareket kabiliyetine sahip olan bir anten yönlendirme birimidir. Birim, ortak bir elektronik kontrol kartı; her iki eksen için farklı DC motor, fren mekanizması ve dişli grupları komponentlerinden oluşmaktadır.

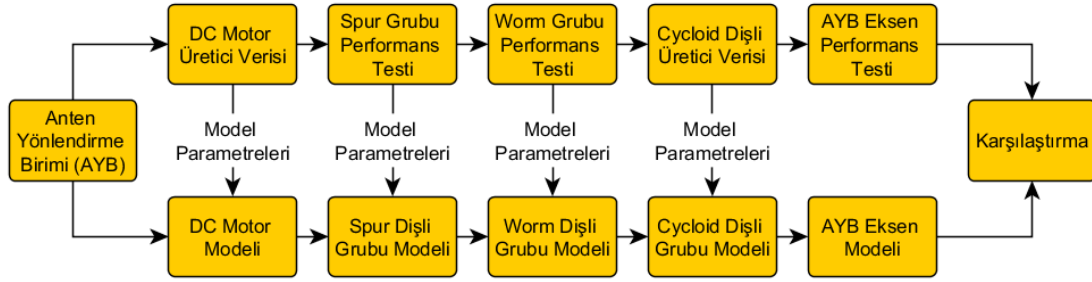


Şekil 1. Sistem komponentleri ve bağlantıları

Sistem üzerinde bulunan bazı komponentler modele dahil edilmemiştir. Ayrıca, birimin yanca ve yükseliş eksenleri komponent seviyesinde çok benzer oldukları için, tek bir eksen eylemleyici modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model parametrik bir model olduğu için farklı parametreler ile her iki eksen için kullanılabilir haldedir.

3. MODELLEME PROSEDÜRÜ

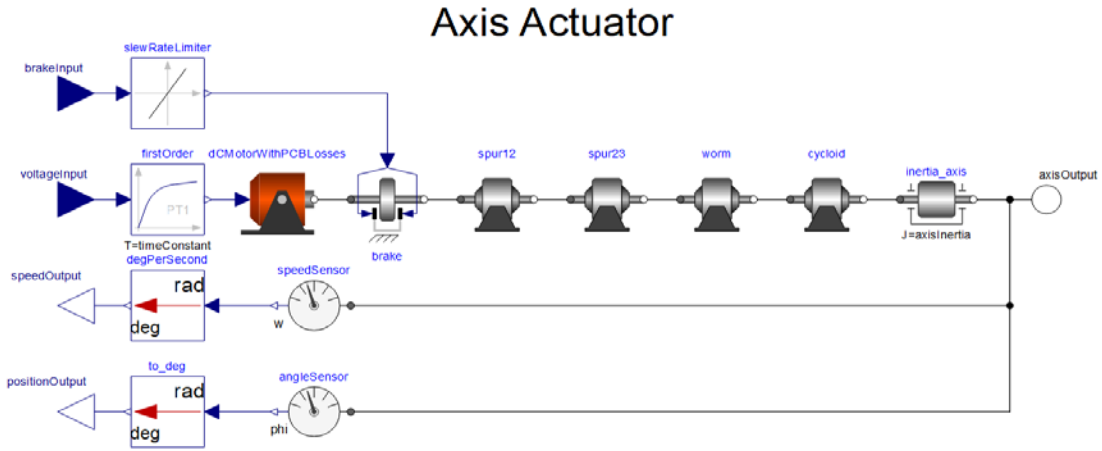
Modelleme sürecinde, sistem ilk olarak alt sistemlerine bölünmüştür. Bu alt sistemlerin bazıları farklı deney düzeneklerinde test edilip modelde kullanılmak üzere parametreleri çıkarılmıştır. Diğer alt sistemler ise üretici verilerinden alınan parametreler kullanılarak modellenmiştir. Son olarak tüm sistemi içeren bir test düzenlenip, test sonuçları model çıktılarıyla karşılaştırılmıştır. Takip edilen prosedür Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Modelleme prosedürü

4. SİSTEM MODELİ

Oluşturulan sistem modeli Şekil 3'teki gibidir. Sistemin fren ve motor sinyali olmak üzere iki girişi, hız ve pozisyon bilgilerini içeren iki çıkışı ve bir dönel konnektörü vardır. Modelin ana iki bileşeni DC motor ve dişli kutusu modelleridir. Bu modeller ilkeri bölümlerde daha ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



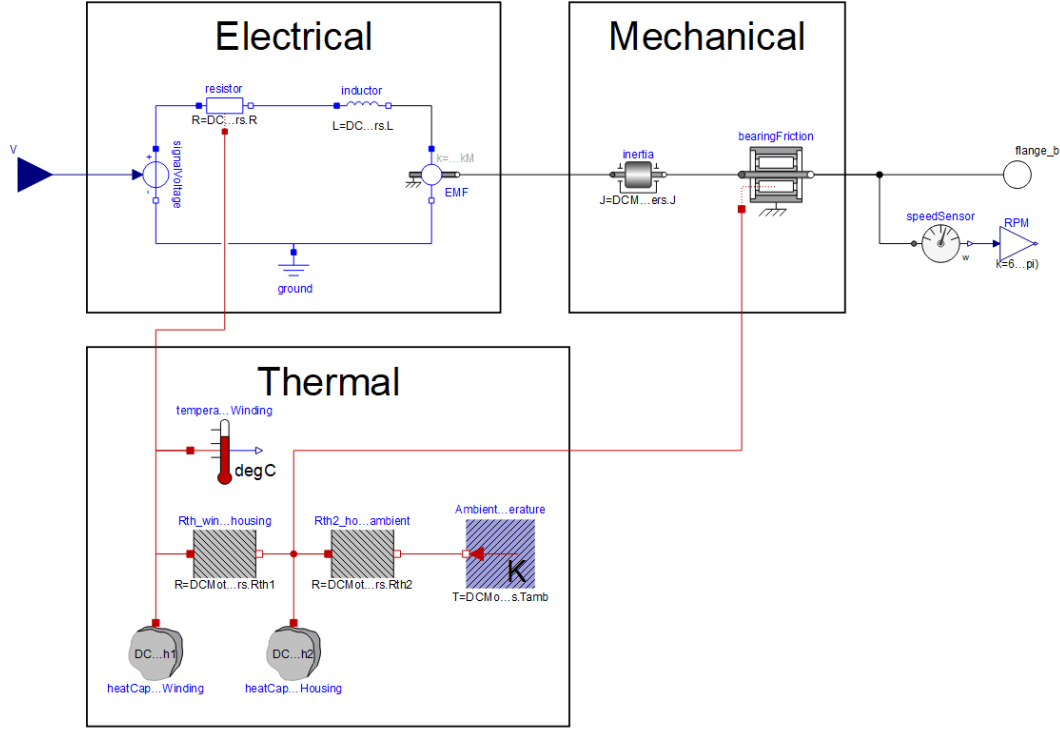
Şekil 3. Anten Yönlendirme Birimi eksen eylemleyici modeli

5. ALT SİSTEM MODELLERİ

5.1. DC Motor Modeli

Birimin her eksenini birer adet fırçasız DC motor barındırmaktadır. DC motor modeli her iki eksene ve başka projelere uyarlanabilir olabilmesi bakımından genel bir model olarak oluşturulmuştur. Üreticiler tarafından sağlanan parametreler ile birlikte bu model, bir çok farklı motor için kullanılabilir bir model halindedir.

Motor modeli, elektrik, mekanik ve termal olmak üzere 3 farklı disiplinden komponentler içermektedir.



Şekil 4. DC motor modeli

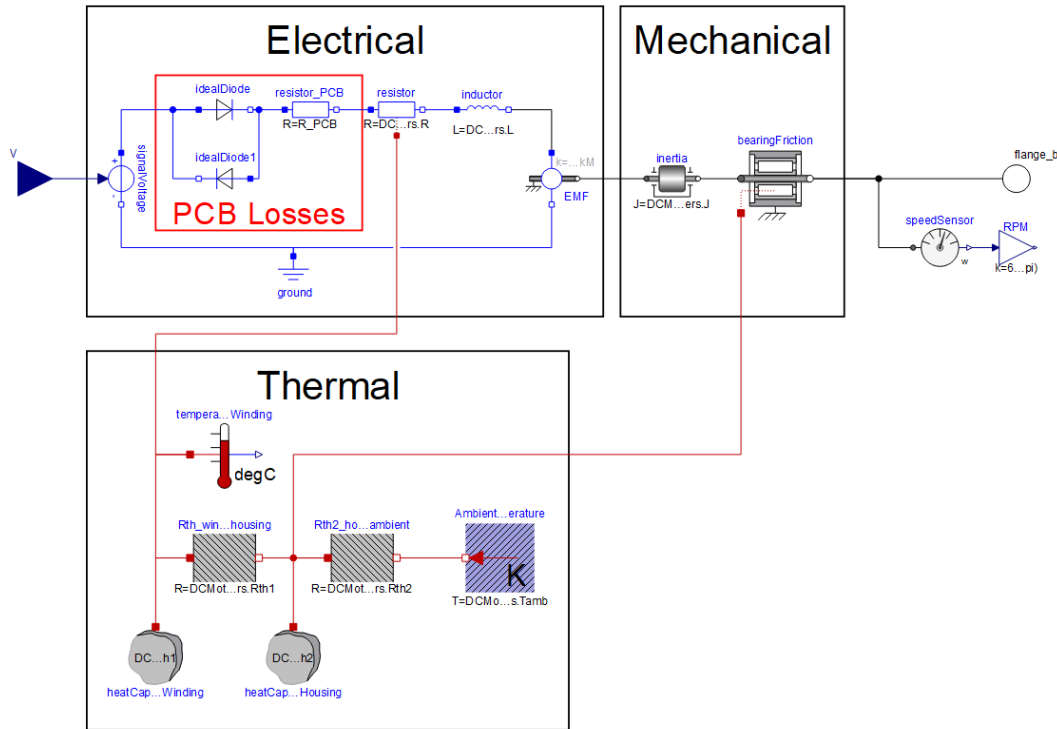
Model, Modelica Standard Library içerisinde bulunan komponentler ile oluşturulmuştur. Giriş sinyali, bir voltaj kaynağı ile voltaja çevrilip, direnç, indüktör ve ters emf blokları üzerinden bir tork kaynağı elde edilmiştir. Bu tork, ters emf bloğunun dönel konnektörü ile rotor ataleti ve rulman sürtünmesi bloklarına aktarılmıştır. Direnç ve sürtünme bloklarında oluşan ısı, bloklarda bulunan termal konektörler aracılığıyla motorun termal davranışını temsil eden ısıl sığalardan ve dirençlerden oluşan ağa yönlendirilmiştir. Modelica dilinin sağladığı konektörler, hem akı, hem de potansiyel değişkenlerine sahip oldukları için, bağlantılar ile fiziksel olguların konektörler arasında eşitliği sağlanır. Bu sayede, direnç üzerinde üretilen ısı, ısıyın aktığı yol üzerindeki komponentlere bağlı olarak direncin sıcaklığının artmasını sağlar. Benzer şekilde, motor çıkış konnektörüne uygulanan tork, ters emf bloğu üzerindeki akımın değişmesine sebep olur. Bu yapı, fiziksel olguların gerçeğe yakın bağlantılar ile daha okunaklı bir şekilde modellenmesine olanak sağlar.

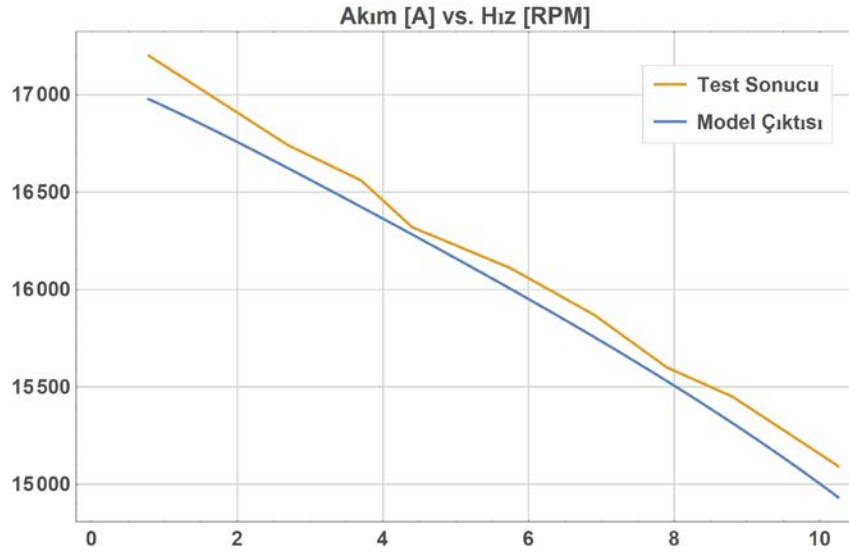
Oluşturulan motor modeli, üreticiden alınan motor parametreleri kullanıldığında ve yüksüz hız, yüksüz akım, nominal yükteki hız, nominal yükteki akım değerleri karşılaştırıldığında model çıktıları ve üretici spesifikasyonları oldukça yakın çıkmıştır.

Tablo 1. Motor modeli çıktıları ve üretici spesifikasyonları

Maxon EC-4pole 30 305013	Yüksüz Hız [RPM]	Nominal Yükteki Hız [RPM]	Yüksüz Akım [A]	Nominal Yükteki Akım [A]	Zaman Sabit [ms]
Üretici Verisi	16700	16100	0.728	7.58	1.82
Model Çıktısı	16800	16300	0.730	7.67	1.84

Bu motor ile daha sonra yapılan testler sonucunda ise modelin gerçeği çok yansıtmadığı ortaya çıkmıştır. Bu duruma sürücü kartında bulunan kayıpların sebep olduğu tespit edilmiştir. Bu kayıplar, devre kartı üzerindeki koruma ve filtre devrelerinden kaynaklanan sabit bir voltaj düşüşü ve kablo, konnektör ve devre kartı üzerindeki bakır yolların sahip olduğu dirençlerden kaynaklı akıma lineer bir voltaj düşüşü olarak gözlemlenmiştir. Bir sonraki iterasyonda, motor modeli içerisine bu kayıpları simüle eden bloklar eklenmiştir. Motor modelinin son hali, model çıktıları ve test sonuçları karşılaştırması ile Şekil 5 ve 6'da verilmiştir.

**Şekil 5.** PCB kayıplarını içeren DC motor modeli

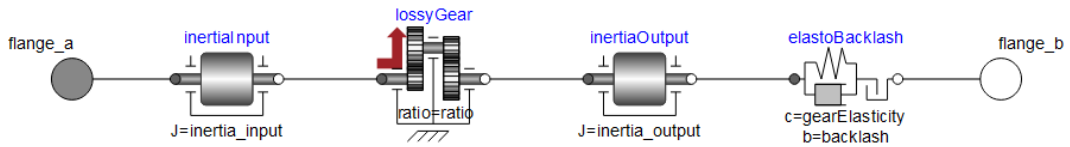


Şekil 6. DC motor model çıktısı ve test sonuçları

5.2. Dişli Kutusu Modeli

Sistemin motor şaftı çıkışından sonraki kısımlarını farklı redüksiyonlarda dişli grupları oluşturmaktadır. Bu dişli grupları spur, worm (solucan) ve cycloid tipi dişli setlerinden oluşmaktadır. Modelleme kolaylığı açısından bu dişli gruplarının her birinin yerine kullanılabilecek genel geçer bir dişli kutusu modeli oluşturulmuştur. Modelin oluşturulmasında Modelica Standard Library içerisinde bulunan komponentler yeterli olmuştur.

Gearbox



Şekil 7. Dişli kutusu modeli

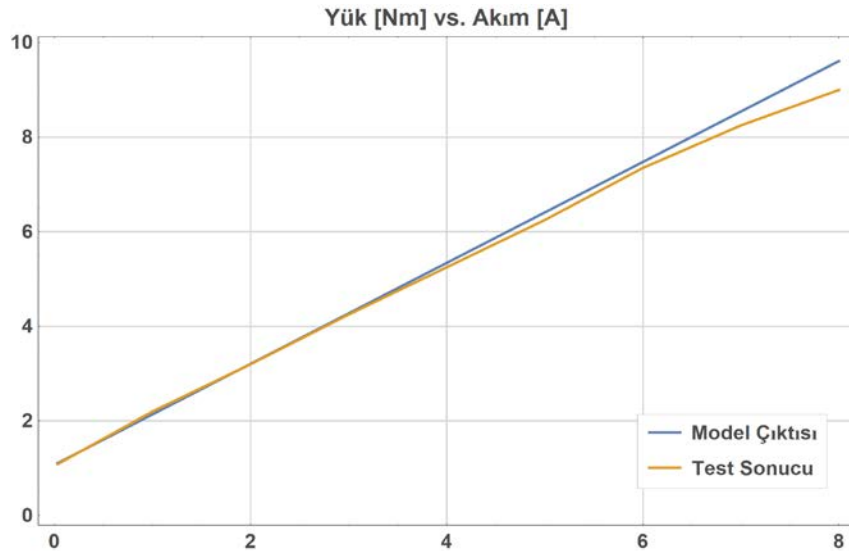
Dişli kutusu modelinin temelini oluşturan en önemli komponent LossyGear adlı dişli modelidir. Bu modelde, dişli grubunu süren tarafa göre değişebilen bir verim tanımlanabilmektedir. Bu özellik, solucan dişli gibi ters yönde çok düşük verimlerle çalışan dişlilerin modellenmesinde büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Model ayrıca giriş

ve çıkış şaftları için farklı olarak tanımlanabilen sürtünme parametreleri içermektedir. Tüm bu verim ve sürtünme parametreleri, giriş dişlisi hızına bağlı bir tablo halinde modele girilebilir haldedir. Bu sayede dişli kutusunun davranışı lineer olmayan bir şekilde modellenebilmektedir [4].

Dişli kutusu modelinin çıkışında bulunan ElastoBacklash modeli, dişlinin yük altındaki esnekliğinin, bu esneme sırasındaki enerji sönümünün ve dişli boşluğunun modellenmesine olanak sağlar. Büyük yük altında bulunan sistemlerde dişli kutularının bu özelliklerinin modellenebilmesi büyük önem taşır.

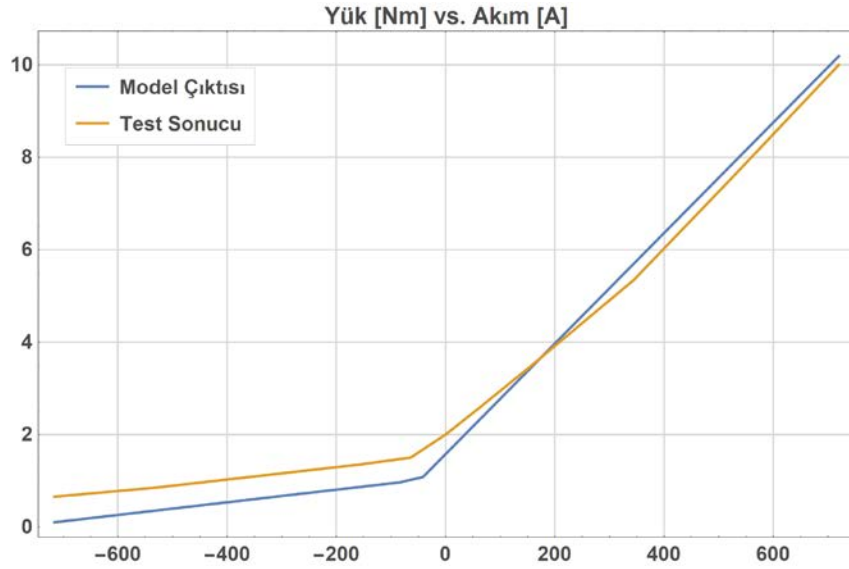
Dişli kutularının model parametrelerinin belirlenmesi için spur ve solucan dişli gruplarını içeren iki farklı test yapılmıştır. Bu testlerde, dişli grupları, asıl sistemdeki motor ve mekanik bağlantılar ile birlikte bir yük düzeneğine bağlanmıştır. Bu düzeneğe ile dişli gruplarına farklı yükler uygulanıp, uygulanan yüklerin motora fazladan ne kadar akım çekti oldukleri not edilmiştir. Dişli grubuna uygulanan yük, motorun tork katsayısı, not edilen akım değerleri ve ideal dişli durumunda motorun fazladan çekmesi gereken akım değerleri kullanılarak dişli gruplarının farklı hızlardaki verimleri hesaplanmıştır. Dişli gruplarının yük olmadan çalıştırıldığında motora fazladan çekti oldukleri akım değerleri ile dişli gruplarının farklı hızlardaki sürtünme momentleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler daha sonra spur ve solucan dişli kutularının model parametreleri olarak kullanılmıştır.

Bu parametreler ile sistemin cycloid dişliye kadar olan kısmının yük altındaki model çıktısı ve test sonuçları şekildeki gibidir.

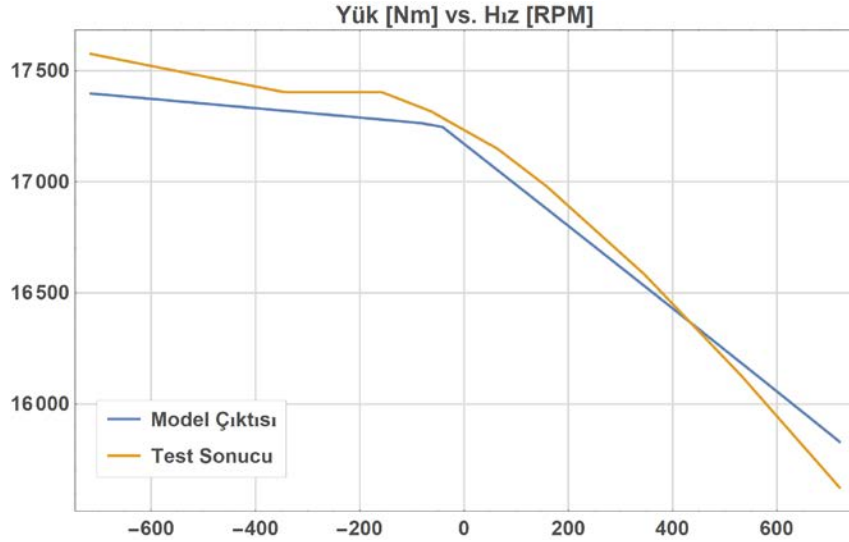


Şekil 8. Spur ve solucan dişli grupları yük testi sonucu ve model çıktısı

Son dişli grubu olan cycloid dişli kutusunun parametreleri üretici tarafından sağlanan veriler kullanılarak belirlenmiştir. Bu parametreler belirlendikten sonra tüm sistem farklı yükler altında test edilip, model çıktıları test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. Anten Yönlendirme Birimi eksenli yük-akım ilişkisi model çıktısı ve test sonucu



Şekil 10. Anten Yönlendirme Birimi eksenli yük-hız ilişkisi model çıktısı ve test sonucu

6. SONUÇ

Bu çalışmada, Modelica dilinin üzerine kurulmuş modelleme ve simülasyon araçlarından Wolfram SystemModeler programı kullanılarak Modelica dilinin modelleme sürecinde kullanıcıya sağladığı avantajlardan bahsedilmiştir. Bu süreç içerisinde elektromekanik bir sistemin modeli oluşturulup, model çıktıları gerçek sistemin çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Modelin oluşturulma sürecinde, oluşturulan alt modeller yapılan testler ile doğrulanmıştır ve model üzerindeki hatalar çok geç olmadan fark edilmiştir. Süreç sonunda oluşan modeller, farklı projelerde kullanılmak üzere bir Modelica paketi haline getirilmiştir.

7. KAYNAKÇA

- [1] Kofránek J., Mateják M., Privitzer P., Tribula M., (2008), Causal or acausal modelling: labour for humans or labour for machines, Proceedings of Technical Computing Prague 2008
- [2] Egel T. (2009). Real time simulation using non-causal physical models. SAE Technical Paper Series. 10.4271/2009-01-1021
- [3] Elmqvist H., Mattsson S.E., Otter M., (1998), Modelica – the new object oriented modeling language, Proceedings of 12th European Simulation Multiconference, 1998
- [4] Pelchen C., Schweiger C., Otter M., (2002), Modeling and simulating the efficiency of gearboxes and of planetary gearboxes, Proceedings of 2nd International Modelica Conference, 2002

MODERN TOPÇUNUN MEVZİ DEĞİŞTİRME ALGORİTMASININ VE BEKA SİSTEMİNİN İNCELENMESİ: TOPÇU BEKA MODELİ¹

Yusuf Ziya Temiz

Türk Silahlı Kuvvetleri, Tekirdağ, yusufziyatemiz@hotmail.com

ÖZ

Bu çalışma, topçunun manevra doktrinini değerlendirmek maksadıyla modern simülasyon tekniklerinin kullanımını incelemektedir. Geliştirilen konsepti kanıtlama adına Topçu Beka Modeli adlı simülasyon geliştirilmiştir. Simülasyon, konu hakkında uzmanlarla yapılan küçük çaplı ankete de dayanan, topçunun bekasıyla alakalı en dikkat çekici özellikleri kapsamaktadır. Çalışma bu alanda; arazi analizi, gelişmiş yol planlamaları ve dost topçu kuvvetlerinin hareketlerini tahmin etmeye çalışan düşmanı temsilen kullanılan ekran kartı temelli parçacık filtreleri gibi özgün yapay zeka teknolojileri barındıran 3 boyutlu etmen tabanlı bir simülasyondan oluşmaktadır.

Simülasyon, popüler oyun motoru Unity 3D ile yapılmıştır ve iki farklı çalışma modu vardır. Bunlardan ilki, üç boyutlu görüntü derlenmeden (render edilmeden) komuta satırından çalıştırılan ve ikinci moda göre 50 kata kadar hızlı çalışan deney modudur. Bu sebeple, deney yapmak için simülasyonun çok kez çalıştırılmasına müsait bir platformdur. Deney modu aynı zamanda kullanıcılara CSV uzantılı dosyayı değiştirerek kendi deney tasarımlarını oluşturabilmeyi sağlamaktadır. İkincisi, topçu bataryasının kısıtlı muharebe alanında beka manevralarının görselleştirildiği üç boyutlu sanal ortamını derleyen gerçek zamanlı moddur. Bu mod simülasyonun detaylı olarak görselleştirilmesini sağlamakta ve simülasyonun bir eğitim aracı olarak gelecekteki deneysel kullanımına olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Analiz ve Karar Destek Amaçlı MODSİM, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Eğitim ve Öğretim Amaçlı Simülasyonlar, Etmen tabanlı MODSİM, Paralel Programlama, Oyun Teknolojileri, Savunma, Topçu, Yapay Zeka

¹Bu bildiri, Naval Postgraduate School (A.B.D.)’da , Modeling and Simulation yüksek lisans programı kapsamında tamamlanan “Artillery Survivability Model” başlıklı tezin bir ürünüdür.

ARTILLERY SURVIVABILITY MODEL

ABSTRACT

This work investigates the use of modern simulation techniques for evaluating artillery movement doctrine. A simulation called the Artillery Survivability Model was created as a proof of principle. The simulation incorporates the most salient features relating to artillery survivability according to our small-scale survey of expert opinion on this subject. It consists of a 3D agent-based simulation that incorporates AI technology that is novel to this domain, including terrain analysis, advanced movement planning, and GPU-based particle filters to represent enemy anticipation of friendly artillery behavior.

The simulation has been created with the popular game engine Unity 3D, and has two different modes. The first is the experiment mode, which is executed from command line without rendering any image, and runs up to 50 times faster than the real-time simulation. Therefore, it is a suitable platform to perform multiple runs for experimenting. The experiment mode also enables users to set their own design of experiment by manipulating an editable CSV file. The second one is a real-time mode that renders a 3D virtual environment of a restricted battlefield where the survivability movements of an artillery company are visualized. This mode provides detailed visualization of the simulation and enables future experimental uses of the simulation as a training tool.

Keywords: Survivability, Artillery, GPGPU, AI, Agent-based, Simulation, 3D, Unity, Experiment, Fast-forward

1. GİRİŞ

Topçu silah sistemleri, 12. yüzyılda Çin’de atılan ilk top mermisinden bu yana muharebe meydanlarının vazgeçilmez faktörlerinden biri olmuştur. Defalarca modernize edilerek günümüzün kundağı motorlu obüslerine kadar evrilen topçu silahları, gelişen teknolojinin bir sonucu olarak, uzun süre işgal ettiği mevziden atış yapmasında sakınca olan, sürekli hareket eden ve mevzi değiştirmek zorunda kalan çevik yapısına kavuşmuştur. Mevzideki yaşam süresi de kısalarak altı dakikanın altına kadar inmiştir. Sürekli ve devamlı ateş desteği sağlama vazifesi olan topçunun bu durumda görevini ifa edecek seviyede hayatta kalabilme çabası, vazifesini yerine getirebilmesi adına yürüteceği en önemli görevlerden birisi olmuştur. Zira esasen düşmanın görmeyerek atışlarına maruz kalacak topçu, düşman topçu atışlarına karşılık etkin bir şekilde cevap verebilmek için işgal ettiği mevziden ancak bir veya iki atış yapabilecek süreye sahip olacaktır. Verilen atış görevini icra eden obüsler, bir sonraki atış görevlerini yerine getirmeye müsait olan değiştirme ve yedek mevzilerine intikal edecektir.

Modern atış sistemleri ile donatılmış günümüz obüsleri; Fırtına ve Paladin gibi, kısa sürede mevzi işgal edip atışa hazır olma ve etkili ve hızlı atışlar yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu silah sistemlerine sahip takım ve bataryalar, eski konseptten farklı olarak kendilerine planlanan ve tahsis edilen mevzi değiştirme alanları içerisinde (bu bir Fırtına takımı için takriben 1.5-3 km'dir) daha serbest ve hızlı bir şekilde uygun mevziler seçerek, atış görevi icra edip, yine aynı alan içinde önceki mevzi yerinin düşman tarafından tespit edildiği kabul edilerek uygun emniyet mesafesi intikalinden sonra yeni mevzisinde atış yapmaya hazır olmaktadır. Mevzi değiştirme alanı kullanılamaz hale geldiğinde başka bir mevzi değiştirme alanına intikal öngörülmektedir.

Harekat öncesinde ayrıntılı arazi ve harita keşfi gerektiren bu sürekli mevzi değiştirme zorunluluğu topçunun belirli bir süre sonra aynı, tekrarlanan paternlerde hareketine ve dolayısıyla düşman tarafından tahmin edilebilir bir hareket döngüsünün kullanılmasına dönüşebilir. Ayrıca gelişmeyen bir taarruz hareketini destekleyen topçunun aynı mevzi bölgesine sıkışıp kalmasına ve daha ileride planlanmış bir sonraki mevzi değiştirme alanının halen manevra birliklerimiz tarafından işgal edilmiş halde bulunmasından dolayı bir sonraki mevzi bölgesine intikal etmesine engel olabilir. Bu durumda daha önce atış görevi icra edilen mevzilerin tekrar kullanılması gerekebilir. Mevcut konseptimizde, modern muharebe alanında sürekli ateş desteği sağlayacak şekilde durmadan mevzi bölgeleri tespit ederek mevzi değiştirmesini öngören ve kolaylaştıran bir yöntemin bulunmadığı değerlendirilmektedir.

2. MEVCUT SİSTEMLER

Daha önceki çalışmalar değerlendirildiğinde, çalışmamızla tamamen uyuşan herhangi bir çalışmanın daha önce yapılmadığı görülmüştür. Araziyi analiz ederek uygun mevziler bulmak fikrimizle uyuşan, ancak top ve mevzi obüslerinin değil de düşman topçu tespit radarları için geliştirilmiş “Firefinder Positioning Analysis System” [1] adlı çalışma, bizim sistemimiz gibi yapay zeka barındıran ve etmen tabanlı çalışan bir simülasyon değildir. Ryan R. Heisinger'in “Optimization of a Marine Corps Artillery Battalion Supply Distribution Network” [2] adlı çalışması topçu bataryaları ile ikmal noktası arasındaki yolların dağılması ve analizi ile ilgili olup, en kısa yol hesaplamaları için Dijkstra algoritmaları kullanmaktadır. Yine üç boyutlu bir simülasyon tercih edilmemiş ve Microsoft Excel arayüzü kullanılmıştır. Konumuza yakın, 1988'de Dennis M. Guzik tarafından yazılan tez [3] ise topçu ateş desteğinin etkinliğini, oluşturduğu Markov modeliyle incelemiştir. Aynı zamanda basit bir mevzi değiştirme algoritması da sunan model, topçunun mevziyi terketmesi için gerekli tetikleyici olayı, sabit olasılık değerlerine bağlı topçunun düşman tarafından tespitine bağlamıştır.

Topçu Beka Modeli adlı simülasyon, bu eksikliği doldurmak adına geliştirilmiştir. Gelişmiş oyun motoru Unity 3D kullanılarak oluşturulan sistem, bir topçu bataryasının mevzi değiştirme alanı içerisinde verilen atış görevlerini kesintisiz icra etme amacıyla, etmen tabanlı ve yapay zeka algoritmaları ile hareket eden obüsler ile beka süresini arttırmayı amaçlayan tahmin edilmesi güç mevzi değiştirme konsepti sunmaktadır.

3. UYGULAMA VE YÖNTEM

3.1. Model dizaynı

Muharebe sahasında işgal edilecek olan mevzi değiştirme alanına ait bölge, Bing harita servisinden (Microsoft ücretsiz harita veritabanı) alınan yüksek çözünürlüklü uydu haritalarının simülasyona aktararak üç boyutlu arazinin oluşturulması ile sağlanmaktadır. Bu işlem Unity 3D'nin çevrim içi mağazasında sunulan Nathaniel Doldersum adlı geliştiriciye ait “World Composer” ve “Terrain Jkod kütüphaneleri sayesinde uzay fotoğrafları analiz edilerek bölgedeki ağaç sayısı tespit edilerek üç boyutlu arazi üzerine gerçek şartlardaki ağaç sayısına yakın sayıda ağaç eklenebilmektedir.

Senaryomuzda manevra birliklerine ateş desteği sağlayacak obüs bataryası için uygun bir arazi parçası sanal ortamda üç boyutlu olarak oluşturulduktan sonra, arazi incelenerek üzerinde belirlenen bölgeler farklı özellikte toprak parçaları olarak işaretlenmektedir: sert zemin, kayalık, kum, çamur, yumuşak zemin ve hareket edilemez zemin. Binalar gibi suni engeller, ormanlık bölgeler ve obüslerin hareketine müsait olmayan toprak parçaları, hareket edilemez zemin örneklerindendir. Ağaçların yoğun olduğu bölgeler topçu hareketinde düşman hava taarruzlarına karşı doğal gizleme sağladığından, bitki örtüsü ve ağaç sayısı simülasyon için önemli bir faktör oluşturmaktadır.

Üçer obüsten oluşan obüs takımlarında orta sıradaki obüsler lider obüs olarak belirlenmiştir. Obüsler, tayin edilen hedefe mevzi değiştirme alanını kapsayan grid şebeke üzerinde hesaplanan A* algoritmasını kullanarak gitmektedir. Simülasyonda yol bulma yöntemi olarak yine bir Unity eklentisi olan Aron Granberg'e ait “A* Pathfinding Project Pro” adlı kod kütüphanesi kullanılmaktadır.

3.2. Model tasarımı

3.2.1. A* algoritmasının kullanım şekli

Grid şebeke oluşturulurken arazinin belirli mesafeler üzerinden yeryüzüne dik ışınlar uygulanmıştır. Bu ışınların araziye kestiği noktalara düğümler (node) konumlandırılmıştır. Ana ve arayönlerde toplam sekizer komşudan oluşan düğümlerden, eğimi belli bir yüzdenin üzerinde olan arazide yer alanlar hareket edilemez arazi olarak işaretlenmiştir.

Grid şebeke yönteminin tercih edilme sebebi, arazi üzerinde yeterli ve düzenli şekilde dağılım sağlayan yaklaşık 10.000 düğüm üzerine bazı gerekli verilerin kaydedilme isteğidir. Arazi analizi yapılırken her düğüme bulunduğu toprak özellikleri ve yakın çevresinde ne kadar ağaç olduğuyula ile ilgili veri ilişkilendirilmektedir.

3.2.2. Ateş mevzileri

1,5-3 km'lik mevzi değiştirme alanında arazi analizi yapıldıktan ve A* algoritması için gerekli grid şebeke tesis edildikten sonra, obüs takımlarının atış görevlerini icra edecekleri ateş mevzileri seçilmiş ve belirlenmiştir. Sistemde iki çeşit ateş mevzii bulunmaktadır: büyük ve küçük. Büyük mevzilerin küçüklere göre üzerinde daha çok dağılma imkanı sağlaması, topçunun hayatta kalabilmesini kolaylaştırmaktadır.

Mevzi bölgeleri belirlendikten sonra, konunun uzmanları ile yapılan röportaj sonuçlarını da dikkate alarak belirli faktörlere puanlar atanmış ve lineer bir fonksiyon ile mevzi bölgeleri Şekil 1'deki gibi skorlandırılmıştır. Faktörler:

Mevzideki ağaç sayısı,

Ortalama eğim,

Merkez düğümden hesaplanan en küçük yükseliş,

Mevzideki zemin yapısıdır.

Bölgedeki ağaç sayısı, birliklerimizi düşman gözünden koruyan esas yardımcıları olduklarından, belirli bir eşik sayısına kadar skoru arttırmaktadır. Ancak belirlenen eşik aştıklarında skora pozitif veya negatif bir etki yapmamaktadırlar. Obüslerin hareket etmesine müsaade etmeyecek sayıdaki ağaç sayısı ve yoğunluğu orman kategorisine alınarak arazi analizi sırasında zaten hareket edilemez arazi olarak belirlenmiştir. Eğimsiz araziye maksimum puan atanmış, obüsün atış yapamayağı eğimler zaten dikkate alınmamıştır. En küçük yükseliş değerlendirilirken, topçunun önündeki küçük tepecikler belirli yüksekliğe kadar düşman gözetlemesinden gizleme sağladığından pozitif olarak düşünülmüş, ancak belirli bir açıdan sonra artan yükselişin atılan mermi uçuş süresini arttırması ve bunun düşman radarlarında yerimizin tespitini oldukça kolaylaştırması sebebiyle negatif puan uygulanmıştır. Ateş mevzisinin ziyaret sayısı skora oldukça negatif bir etki yapmaktadır, ancak mevzi bölgesinin yeri ve özellikleri dikkate alındığında çok iyi diyeceğimiz bir puana sahip olması ve mevzi değiştirme alanının uzun süre kullanılması sonucunda aynı mevzilerin tekrar işgal edilebilmesi faktörlerinden dolayı mevzi puanı sıfırlanmamaktadır.



Şekil 1. Skorlandırılmış ateş mevzileri

Mevzinin zemin yapısı, mevzi bölgesine intikal hızını ve mevziden yapılacak atışların sıhhatini etkileyeceğinden puanlama sisteminde dikkate alınmıştır.

3.2.3. Sonlu durum makinası

Obüslerin yapay zeka davranışları sonlu durum makinesi yöntemi ile oluşturulmuştur. Yapay zeka algoritması obüs takımı içinde lider (esas) obüsün durum ve hareketlerine etki etmektedir. Kanatlardaki obüsler ise esas obüsü takip mesafesinde emredilen hareket düzeninde konumlarını almaktadır. Obüs takımının ilk hareketini tetikleyen olay, eldeki güncel ateş emri listesidir. Sisteme CSV dosyası ile aktarılan ateş emirlerinde, atılacak merminin cinsi, atılacak grup sayısı, hedef mesafesi ve görev zamanı belirtilmektedir. Görev zamanı yakın olan ateş görevlerine öncelik atanmakta ve öncelik sırasına konan emirler sırasıyla obüs takımlarına atanmaktadır.

Atış görevi verilen obüs takım lideri, görevi zamanında icra edebileceği ilk mevziyi, ateş mevzi skorlarını da dikkate alarak seçmektedir. Uygun ateş mevzii seçildikten sonra esas obüs ateş mevzisinin ortasına A* algoritması ile yollar arayarak intikale başlamaktadır. Mevziye varıp her obüs hedef istikametine tevcih edildikten sonra aktif atış görevine uygun mermi ile atış yapılmaktadır.

Obüs takımını mevzi değiştirmeye itebilecek üç olay bulunmaktadır: aynı mevziden atılan grup sayısı, mevzide halihazırda geçirilmiş süre ve mevzi bölgesinin tespit edilip yakınına düşman mermilerinin isabet etmesi. Lider obüs bu üç şarttan birinin oluşması halinde tekrar mevzi değiştirmeye karar verecektir. Bu durumda eğer elde halen yeterli miktarda mühimmat mevcutsa; belirli mesafeden yakın ve belirli mesafen uzak olmayacak bir yay içerisinde en yüksek puanlı ateş mevzii seçilerek oraya en güvenli yoldan intikal edilmektedir. Mermi miktarlarında azalma söz konusu olduğunda mühimmat ikmal noktasına gidilerek mermi ikmali yapılmaktadır.

Obüsler hareket kabiliyetini kaybedecek şekilde zarar görseler dahi sabit oldukları konumdan, obüs takımının kalan unsurlarıyla eş zamanlı olarak atış görevlerini, ateş edemez şekilde tahrip olana kadar, sürdürmektedir. Lider obüs hareket kabiliyetini yitirdiğinde veya tamamen tahrip olduğunda, takım içersinde diğer bir obüs liderlik görevini devralmaktadır. Bütün atış takımı tahrip olduğunda ve ya tüm atış görevleri icra edildikten sonra süre kaydedilip, simülasyon kendini tekrar başlatmaktadır.

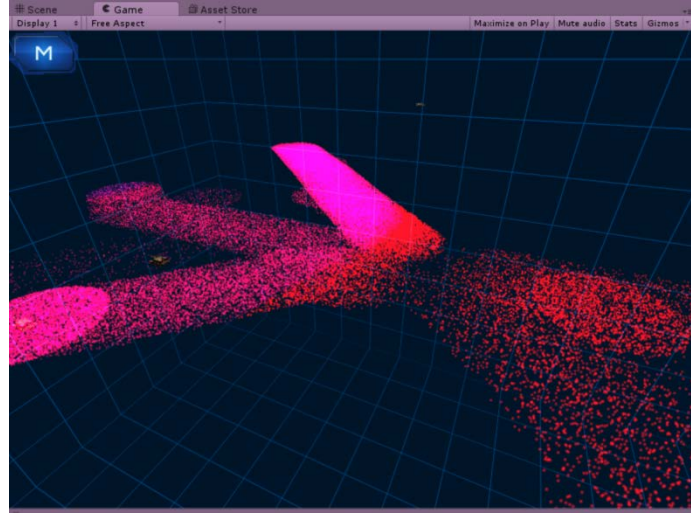
3.2.4. Düşman yapay zekası

Simülasyonda düşman yapay zeka algoritmaları önemli yer oynamaktadır. Geliştirilen bu algoritmanın esas amacı, dost topçu unsurlarının pozisyonu düşman radarlarına düştükten ve yerleri tespit edildikten sonra; tahminlerde bulunarak başarılı karşı ateşler açmaktır.

Dost kuvvetlerin hareketlerini modellemek için 100.000 parçacık kullanılmıştır. Bu parçacıklar, dost kuvvetler atış görevi icra ettikten belli bir süre sonra düşman radarlarının tespit ettiği koordinatlarda muhtemel dost kuvvetinin kaplayacağı alanı kapsayacak büyüklükte bir dairenin içinde eşit şekilde dağıtılmaktadır. Her parçacık hız, hız vektörü, renk, konum, yol numarası ve dost kuvvetlerin o parçacıkta bulunma ihtimali gibi verilere sahiptir. Hız verisi parçacıklar arasında dost kuvvetlerin en düşük ve yüksek hız aralığında normal dağıtılmıştır. İhtimal verisi başlangıçta her parçacık için eşittir (1). Parçacıkların renk kodu ise sahip olduğu ihtimal verisine bağlı olarak başlangıçta açık kırmızı iken, ihtimal arttıkça koyu kırmızıya dönüşürken, ihtimal azaltıkça mavi renge dönüşmektedir.

$$1/\text{Parçacık Sayısı} = 1/100.000 \quad (1)$$

Bu noktadan sonra düşman yapay zekası, belirli ihtimal oranları atayarak belirlediği sayı kadar parçacığı yine kendi tespit ettiği dost kuvvetlerin ilerlemesi muhtemel yollar üzerinde sahip oldukları hız verisine göre Şekil 2’de gösterildiği gibi hareket ettirmektedir. Düşman radarına düşen koordinat, dost kuvvetlerin mermiyi attıktan sonra yerinin tespit edilene kadar geçen süre kadar geçmişteki pozisyonudur. Dolayısıyla dost kuvvetler atışı yaptıktan sonra başka bir grup atış yapmak için doldurmuş yapabileceği gibi, atışı yapar yapmaz mevziyi terketmiş de olabilir. Bunun için bir kısım parçacık daha sonra hareket etmek üzere belirli bir süre atışın yapıldığı tespit edilen mevzide bekletilmektedir.



Şekil 2. Parçacıkların dağılımı

Simülasyon başlatılmadan evvel dost kuvvetlerin kullanması için ayrıntılı analiz edilen toprak yapısı, uygun mevzi bölgelerinin yerleri, ağaç yapısı gibi arazi bilgileri hesaplanırken, düşman kuvvetleri için de daha az hassas bir arazi analizi yapılmaktadır. Düşmanın dost kuvvet arazisine ayak basmadığı ve dost kuvvetler kadar hassas bir arazi incelemesi yapamayacağı değerlendirildiğinden, düşmanın elindeki dost kuvvetlerin işgal etmesi muhtemel mevzi bölgeleri hatalar içermektedir. Örneğin düşman kuvvetlerinin yaptığı harita incelemesi, uydu ve hava fotoğrafları sonucundan işgal edilebilir olarak düşündüğü bölge, dost kuvvetler tarafından yerinde araziye ayak basılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda toprak yapısının mevzi işgaline uygun olmadığı şeklinde değerlendirebilir. Dolayısıyla dost ve düşmanın elindeki mevzi ağ haritası tamamen uyuşmamaktadır.

Düşman aynı zamanda keşif ve gözetleme faaliyetlerine devam etmektedir. Simülasyonda düşman insansız hava araçları ve keşif uçaklarını temsilen dost mevzi bölgesi belirli aralıklarla taranmaktadır. Taranan bölgede tespit edilen dost kuvvetleri üzerine atış yapılırken, dost unsuru tespit edilemeyen bölgelerde hareket halindeki parçacıkların ihtimalleri çok küçük olasılık değerlerine düşürülmektedir. Tüm parçacıkların ihtimal verileri toplamı bir olduğu düşünüldüğünde, gözetlenemeyen bölgelerdeki parçacık ihtimal verileri de arttırılmaktadır. Gözetlenen bölgelerdeki ihtimalin tamamen sıfırlanmamasının nedeni, arazide iyi şekilde dağılıp bitki örtüsünü de kullanarak gizlenebilmiş dost unsurların olma ihtimalidir.

Düşman yapay zekası, kendi mevzi ağ haritası üzerinde tespit edilen dost kuvvetlerin koordinatında başlattığı parçacıkları hareket ettirmeye başlamaktadır. Düşman topçuları karşı ateş için hazırlıklarını tamamladıktan sonra arazi üzerinde dağılan parçacıkların bölge bölge ihtimallerini toplayarak dost kuvvetlerin bulunması en muhtemel

birbirinden en az 200 metre uzaklıkta üç bölgeyi tespit ettikten sonra, birine rastgele atış yapmaktadır.

Algoritmanın kabul edilebilir resim karesi hızında (frame rate) çalışabilmesi için hesaplamaların ana işlemci üzerinde yapılması yerine ekran kartı temelli paralel programlama teknikleri kullanılmıştır.

4. DENEY

Simülasyon iki moddan oluşmaktadır. Simülasyon, topçu subaylarının muharebe sahasını canlandırması amacıyla üç boyutlu sanal ortamda derlenebildiği gibi, deney amaçlı olarak üç boyutlu ortamda derlenmeden simülasyonu hızlı bir şekilde çalıştırma olanağı da sağlamaktadır. Unity 3D oyun motoru yürütülebilir dosyayı derledikten sonra yazılan programı komuta satırından üç boyutlu simülasyonu derlemeden arka planda çalıştırma imkanı sunmaktadır. Normalde 60 resim karesi hızında derlenen üç boyutlu simülasyon, üç boyutlu görüntünün derlenmediği durumda 10000 resim karesi hızına ulaşabilmektedir. Biz, bir çok optimizasyon çalışmasından sonra komuta satırından çalıştırılıp arka planda işleyen simülasyonu yaklaşık 100 kat daha fazla hızda çalışabilir hale getirebildik. Böylelikle simülasyonu hızlandırarak bir çok kez çalıştırarak deney yapma imkanına sahip olduk. Aynı zamanda kullanıcı için geliştirilen CSV dosyasında kullanıcının farklı faktörleri değiştirerek bunların topçunun beka süresine etkisini inceleyebileceği bir deney aracı ortaya çıkarmış olduk. Bu çalışma için hazırlanan örnek deneyde tepki değişkeni olarak obüs takımında her obüsün hareket kabiliyetini kaybettiği veya tamamen tahrip olduğu süre alınmış ve aşağıdaki faktörler incelenmiştir.

- A - Obüslerin hareket hızı
- B – Obüs mürettebatının eğitim seviyesi
- C – Düşman radar imkan ve kabiliyetleri
- D – Düşman top mermisi tahrip etkisi
- E – Obüslerin zırh kalınlığı

İki kademeli kesirli çok etkenli deney tasarımı kullanılmış olup, 16 dizayn noktası için 30’ar tekrar yapılmıştır.. Simülasyon 480 (16 dizayn noktası x 30’ar tekrar) kere çalıştırıldıktan sonra sonuçlar JMP Pro 11 programında analiz edilmiştir.

4.1. Çıktıların analizi

Ana değişkenlerin ve ikili değişkenlerin ilişkilerinin incelendiği ilk model çalıştırıldığında bağımlı değişken ile bu bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin % 73’ü tanımlanabilmektedir. Ayrıca regresyon analizi sonucu 19 artık tespit edilmiştir.

İkinci aşamada adım adım seçme metodu kullanılmış ve model yeniden dizayn edilmiştir. Bu metodla etkisi önemsiz görülen değişken, ikili değişken ilişkileri ve 19 artık modelden çıkarılmıştır. Yeni modelin analizinde R kare % 81'e çıkmış, düzeltilmiş R kare ise çok az değişmiştir. Bu bize nerdeyse her bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde etkisi olduğunu göstermektedir.

JMP programının varyans analizi rapor sonucu elde edilen küçük p değeri bize modelde en azından bir bağımsız değişkenin anlamlı derecede farklılık yarattığını göstermektedir.

Azaltılmış modelimize dahil ettiğimiz her bağımsız değişkenin anlamlı derecede farklılık yaratacak seviyede önemli olduğu tespit edilmiş ve değişkenlerin p değerlerinin 0.05 anlamlılık düzeyinin altında çıktığı gözlemlenmiştir. Deneyimiz sonunda topçunun beka süresine en anlamlı seviyede etki eden faktörün, obüslerin zırh kalitesi olduğu ortaya çıkmıştır. İkinci seviyede ise obüs mürettebat eğitiminin etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca geliştirdiğimiz simülasyonda düşman topçu mermisin etkisinin yedinci sırada yer alması dikkate değerdir.

Bildiride yer kısıtlamasından dolayı detaylı analize yer verilememiştir. Detaylı bilgi, bildiriye esas kaynak teşkil eden yüksek lisans tezinden elde edilebilir.

5. SONUÇ

Topçu beka modelini oluşturmadaki esas amacımız, topçu birliklerine muharebe sahasında beka sürelerini arttırabilecekleri, işlevsel bir mevzi değiştirme algoritması önerebilmektir. Bunu, mevzi değiştirme hareketini üç boyutlu sanal ortamda modelleyerek ve kısıtlı muharebe sahasını simüle ederek gerçekleştirdik. Model, mevzi değiştirme alanı içerisinde uygun ateş mevzilerini analiz edip puanladıktan sonra, uygun mesafedeki birini seçerek o mevziye örtülü arazi üzerinden yol planlaması yapabilmektedir.

Aynı zamanda, ekran kartı temelli paralel programlama teknikleri kullanılarak yeni geliştirilen 100.000 akıllı parçacığın hareketine dayanan düşman topçusu yerini tahmin etme algoritması geliştirilmiştir. Bu, bize düşman topçusu tehdit haritalarını oluşturmada ve yeri tespit edilen düşman topçusunun muhtemel intikal güzergahlarını tahmin etmede fayda sağlayabilir.

Simülasyon ayrıca kullanıcılara deneyler tasarlama ve bunları çok defa tekrar ederek analiz edilebilecek veriler elde etme imkanı vermektedir. Biz bu çalışmamızda topçunun beka süresini etkileyen faktörleri ele aldık ve önceki bölümde bu deneyin analizini aktardık.

(Bu bildiri hiç bir şekilde TSK'nin görüşlerini yansıtmamaktadır. Yapılan araştırma ve yorumlar tamamen yazarın çalışmasının bir parçası ve görüşüdür.)

6. KAYNAKÇA

- [1] Fish, C. B., & Murray, M. V. (2008, May-June). The improved firefinder position analysis system. *Fires*, 30–33.
- [2] Heisinger, R. R. (2007). Optimization of Marine Corps Artillery Battalion supply distribution network (Master's thesis).
- [3] Guzik, D. M. (1988). A Markov model for measuring artillery fire support effectiveness (Master's thesis).

YAZAR DİZİNİ

ABDÜLHAMİTBİLAL, Erkan	227
ACAR, Yahya Ayhan	260
AKGÜL, Hilal	148
AKIN, Hasan Umut	181
AKİFOĞLU, Selin	141
AKSOY, Mehmet Emin	269
AKTÜRK, Kaan	193
ALAKUŞ, Cansu	141
ALBAYRAK, Duygu	398
ALBAYRAK, Özlem	398
ANKARALI, Mustafa Mert	473
ASAN, Uğur	13
ATAMAN, Ertan	308
AVCI, Reşat Hakan	508
AYDIN, Mehmet Emre	37
AYDIN, Tekin	83
AYGÜN, Mehmet Murat	461
BABADAĞI, Övünç	48
BAKIR, Serdar	148
BAL, Güngör	13
BALABAN, Muzaffer	158
BAYINDIR, Zeynep Pelin	141
BEDİR, Said	370
BİÇEN, Ufuk	2
BOLAT, Mustafa Zafer	2
CAN, Abdülkadir	48
CANBERİ, Haluk	60, 129
CEVHER, Fırat Yılmaz	437
ÇAKICI, Ferit	449
ÇAKMAK, Bilgehan	285
ÇALI, Adem Metin	296
ÇALIŞAN, S. Engin	72
ÇAPLI, Levent Berke	248
ÇETİN, Yasemin Yardımcı	333, 357
ÇINAR, Orhan	260
ÇILDEN, Erkin	60, 285
ÇOĞUMLU, Gürhan	83
ÇOŞGUN, Volkan	461
DALDAL, Nihat	428
DALGIÇ, Ceylan	72
DEMİR, Engin	496
DEMİRTAŞ, Özlem	484
DENGİZ, Berna	158
DİNÇ, Mustafa	193, 203
DOĞAN, Ömer	141
DOĞRU, Ali Hikmet	72

EGE, Emre	473
EKEN, İsa Cem	333
ERDİK, Atıl	370
ERDOĞAN, Hüseyin	260
ERDOĞAN, Mustafa Ertuğrul	321
ERDOĞAN, Önder	227
GENÇ, İbrahim	24
GÖRÜR, Bilge Kaan	484
GÜLTEKİN, Emre	129
GÜNAL, Mustafa Murat	321
GÜNSEL, Emrah	141
GÜR, Yusuf	357
GÜVEN, Feray	269
HATİPOĞLU, Nurullah	37
HOCANOĞLU, Mehmet Fatih	308
İŞİK, Firdevs	296
İÇTEN, Tarık	13
İŞLER, Veysi	148
KALEBEK, Aylin	420
KANDEMİR, İlyas	308
KARAARSLAN, S. Vedat	410
KARAGÖZ, Pınar	260
KARAPINAR, Hakan	240
KASIM, Başar	83, 345, 388
KAVAK, Çağlar	117
KAVAK, Engin	83
KAVAKOĞLU, Caner	47
KAYA, Muhammed Çağrı	60
KAZAN, Umut	148
KILINÇ, İsmail	94, 380
KILINÇ, Kürşad	508
KILLI, Gökçe Dilek	203
KIRCA, Ömer	141
KİTAPÇIOĞLU, Dilek	269
KOZAN, Mehmet	239
KÜRTEN, Kıvanç	461, 496
LEBLEBİCİOĞLU, M. Kemal	437, 449
NİKBAY, Melike	215
OĞUZTÜZÜN, Halit	60
OKAN, Aycan	239, 345
OPÇİN, Ali Ercüment	321
ÖMRÜUZUN, Fatih	357
ÖZDEMİR, Mustafa	169
ÖZİŞİK, Didem	357
ÖZKAN, Gökçe	129
ÖZKAYMAK, Serkan	48

ÖZKİL, Altan	248
ÖZKÖK, Ahmet	148
ÖZTÜRK, Özgün Törezen	141
PYNADATH, David	25
SAYALI, Mehmet Erhan	269
SEZER, Ahmet	285
SIZLAYAN, Seyit Yiğit	473
SÜRER, Elif	104, 260
ŞAHİN, Güvenç	388
ŞENER, Cevat	148
TABAK, Ertuğrul Kartal	239
TEKİN, Ali	388
TELLİ, Ali	345
TEMİZ, Yusuf Ziya	518
TEMİZEL, Alptekin	104
TESTİK, Murat Caner	296
TOLA, Ceyhun	215
TULUMOĞLU, Şafak	181
TUNCEL, Merve	277
TURAL, Mustafa Kemal	129
TURHAN, Serhat	239
TÜFEKÇİ, Seçil Savaşaneril	141
ULUSOY, Ziya	94
USANMAZ, Öznur	169
UYAN, Ufuk	117
UZUN, Berat	428
YALÇIN, Barış	239
YALDIZ, Nevra	420
YEŞİLKAYA, Muhammed	117
YILDIRIM, Yakup	72
YILDIZ, Ali Emrah	248
YILMAZ, Gökhan	104
ZORBA, Hürkan Orkun	48