USMOS 2015

ALTINCI

ULUSAL SAVUNMA UYGULAMALARI MODELLEME VE SİMÜLASYON KONFERANSI

BİLDİRİ KİTABI

11-12 Kasım 2015

ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi

Ankara

EDİTÖRLER:

Veysi İŞLER

Halit OĞUZTÜZÜN

Yasemin YARDIMCI ÇETİN

Ali DOĞRU

Selim TEMİZER

Vedat KARAARSLAN

Ceylan DALGIÇ

Esma İPEKOĞLU

ISBN: 978-975-429-349-4

ÖNSÖZ

İlk kez 2005 yılında düzenlenen USMOS Konferansı bu yıl altıncı kez gerçekleştirilecektir. Konferans kapsamında ülkemizde Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) alanında yürütülen uygulamalar ve araştırmalar akademik uzmanlar ve endüstri uzmanlarınca paylaşılacaktır. İlk yıllarda konferansta konferans paylaşımlarını savunma uygulamaları ve araştırmaları oluşturmaktaydı. Ancak son iki konferansta sivil uygulama ve araştırmaların da paylaşılması için önemli bir çaba gösterilmiştir. Bu yıl konferansta belirli sayıda sivil uygulamaları ve araştırmaları izleme imkânı bulacağız. Öte yandan ülkemizde savunma teknolojilerindeki ciddi ilerlemelerin modelleme ve simülasyon alanına etkisinin konferans bildiri ve sunumlarına yansıdığını hep birlikte gözlemleyeceğiz.

Bu yıl konferansa gönderilen 101 adet bildiriden, 49 bildiri 79 hakem tarafından yapılan değerlendirme sonucunda kabul edildi. Bu bildiriler 22 oturumda sunulacak, hakem ve Akademik Kurul değerlendirmeleri sonucunda seçilen bildirinin yazarlarına "USMOS 2015 En İyi Bildiri Ödülü" verilecektir. Ayrıca 9 sponsor firma toplamda 14 sunum yapacaktır. Bu yıl 14 firma sergi alanında ürünlerini ve kabiliyetlerini sergileyecektir. Prof. Dr. Erdal Çayırcı "Simülasyonun Tedarik ve Planlama Maksatlı Deneylerde Kullanılması" konulu iki oturumluk eğitim verecektir. Diğer yandan, konferansta iki seçkin ana davetli konuşmacı engin bilgi birikimini ve deneyimlerini bizimle paylaşacaktır: Prof. Dr. Erdal Çayırcı ve Wim Huiskamp. Sayın Erdal Çayırcı, hâlen NATO Müşterek Harp Merkezi'nde Bilgisayar Destekli Tatbikat Destek Şube Müdürü, aynı zamanda Stavanger Üniversitesi Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nde profesör olarak çalışmaktadır. Sayın Wim Huiskamp NATO Modelleme ve Simülasyon Grubu'nun başkanı ve Hollanda'da TNO (Defence, Security and Safety) kurumunda baş bilimsel araştırmacı olarak görev yapmaktadır.

Bu konferans birçok kurum, kuruluş ve kişinin desteği ile düzenlenmiştir. Bu bağlamda Milli Savunma Bakanlığı'na, Savunma Sanayii Müsteşarlığı'na, ODTÜ Rektörlüğü'ne, Savunma Sanayii İmalatçılar Derneği'ne ve üyelerine şükranlarımızı sunuyoruz. Konferansın Koordinasyon ve Yürütme Kurulları'nın değerli üyeleri ve makaleleri değerlendiren hakemler özverileri ile etkinliği mümkün kılmışlardır. Kendilerine teşekkür ederiz. Ana davetli konuşmacılarımız Prof. Dr. Erdal Çayırcı, Wim Huiskamp ve ikinci gün düzenlenecek paneldeki konuşmacılarımız konferansa önemli bir değer katmışlardır. Onlara da şükran borçluyuz. Konferansa bildiri gönderen yazarlar ve endüstriden konuşmacılar olmasaydı bu konferans gerçekleşmezdi. Kendilerine çok teşekkür ederiz. Ayrıca oturumları yöneten oturum başkanlarına, tüm katılımcılara, sergi alanında yer alan kurumlara, sponsor olan sanayi kuruluşlarına ve konferansa gönüllü katkı veren Orta Doğu Teknik Üniversitesi MODSİM Öğrenci Topluluğu'na teşekkür ederiz.

Prof. Dr. Veysi İŞLER

USMOS 2015 Konferans Başkanı

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR

ODTÜ-TSK MODSİMMER

ODTÜ

Genelkurmay Başkanlığı

Milli Savunma Bakanlığı

Savunma Sanayii Müsteşarlığı

SASAD

KURULLAR

Koordinasyon Kurulu

Ata ŞENLİKÇİ (SSM)

Hayri ÖZDEN (MSB)

Hüseyin BAYSAK (SASAD)

Mustafa DİNÇ (Genelkurmay Başkanlığı)

Veysi İŞLER (KONF. BŞK., ODTÜ)

Yürütme Kurulu

Ahmet KARA (TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN)

Akay ÇAĞLAYAN (Deniz Kuvvetleri Komutanlığı)

B. Kaan GÖRÜR (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Ceylan DALGIÇ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Deniz ÇETİNKAYA (Atılım Üniversitesi)

Esma İPEKOĞLU (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)

Murat KARACA (MSB ArGe Daire Başkanlığı)

Mustafa DİNÇ (Genelkurmay Başkanlığı)

Salim ÇOPUROĞLU (Genelkurmay Başkanlığı)

S. Engin ÇALIŞAN (Genelkurmay Başkanlığı)

S. Vedat KARAARSLAN (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Ufuk YILDIRIM (Genelkurmay Başkanlığı)

Yılmaz KÜÇÜKSEYHAN (SASAD)

Akademik Kurul

Ali DOĞRU (Kurul Bşk., ODTÜ)

Altan ÖZKİL (Atılım Ü.)

Aysu Betin CAN (ODTÜ)

Deniz ÇETİNKAYA (Atılım Ü.)

Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)

Kayhan İMRE (Hacettepe Ü.)

Murat Paşa UYSAL (Ufuk Ü.)

Mustafa DİNÇ (GNKUR. BŞK.)

Müslim BOZYİĞİT (ODTÜ)

Selçuk Kürşat İŞLEYEN (Gazi Ü.)

Selim TEMİZER (ODTÜ)

Veysi İŞLER (ODTÜ)

Yasemin YARDIMCI ÇETİN (ODTÜ)

Sanayi Danışma Kurulu

Alp SÜRMELİ (TUSAŞ)

Andaç GÜZEL (GATE ELEKTRONİK)

Başar KASIM (HAVELSAN)

Çağatay ÜNDEĞER (SimBT)

Emin BANK (NETCAD)

Erol EVRAN (C2TECH)

Gökçe ÖZYURT (ASELSAN)

Gökçe Yıldırım KALKAN (SİMSOFT)

Gökhan BİRCAN (ROKETSAN)

Halit ERGEZER (MİKES)

H. Orkun ZORBA (METEKSAN)

Itır Güngör BONCUKÇU (METAVERSE YAZILIM)

İbrahim DİNÇER (BİTES)

İrfan KARAGÖZ (SAVRONİK)

Mert TUĞCU (STM)

Osman Sadi DERELİ (TUSAŞ)

Özlem GÜR (ASELSAN)

Serkan ÖZKAYMAK (METEKSAN)

Tuğba TOKEL (METAVERSE YAZILIM)

Uğur ÇELİKKAN (C2TECH)

Zeki MERT (GLOBAL TEKNİK)

Program Kurulu

Ahmet PAKFİLİZ (Atılım Ü.)
Ali DOĞRU (ODTÜ)
Ali YAZICI (Atılım Ü.)
Altan ÖZKİL (Atılım Ü.)
Aydın OKUTANOĞLU (SİMSOFT)
Aykut ERDEM (Hacettepe Ü.)
Aysu Betin CAN (ODTÜ)
B. Mehmet ADAK (ASELSAN)
Berna DENGİZ (Başkent Ü.)
Celal Zaim ÇİL (Çankaya Ü.)
Cevat ŞENER (ODTÜ)
Çağatay ÜNDEĞER (ODTÜ)
Deniz ÇETİNKAYA (Atılım Ü.)
Ece Güran SCHMIDT (ODTÜ)
Emre KIYAK (Anadolu Ü.)
Ertan ONUR (ODTÜ)
Faruk POLAT (ODTÜ)
Fatih Erdoğan SEVİLGEN (GYTE)
Fatih HOCAOĞLU (İstanbul Medeniyet Ü.)
Fatoş Yarman VURAL (ODTÜ)
Funda KURTULUŞ (ODTÜ)
Gökmen MAHMUTYAZICIOĞLU (ROKETSAN)
Hakan MARAŞ (Çankaya Ü.)
Hakan TÜZÜN (Hacettepe Ü.)
Halit OĞUZTÜZÜN (ODTÜ)
Haluk AYGÜNEŞ (Çankaya Ü.)
Harun ARTUNER (Hacettepe Ü.)
Hüseyin HACIHABİBOĞLU (ODTÜ)
İ. Hakkı TOROSLU (ODTÜ)
Kadir SARIKAYA (GNKUR. BŞK.)
Kayhan İMRE (Hacettepe Ü.)
Kemal LEBLEBİCİOĞLU (ODTÜ)
Kemal ÖZGÖREN (ODTÜ)
Kürşat ÇAĞILTAY (ODTÜ)
Levent KANDİLLER (Çankaya Ü.)
M. Caner TESTİK (Hacettepe Ü.)
Mehmet KABAK (KHO)
Murat GÜNAL (DHO)
Murat KARAKAYA (KHO)
Murat Paşa UYSAL (Ufuk Ü.)
Murat YILMAZ (Çankaya Ü.)
Mustafa DİNÇ (GNKUR. BŞK.)
Müslim BOZYİĞİT (ODTÜ)
Nergiz ÇAĞILTAY (Atılım Ü.)
Nurdan SARAN (Çankaya Ü.)
Okan TOPÇU (DHO)
Orhan KARASAKAL (Dz. Kuv. K.lığı)
Orhan YILDIRIM (ODTÜ)
Orkun ZORBA (METEKSAN Savunma)
Pınar KARAGÖZ (ODTÜ)
S. Saffet BALCISOY (Sabancı Ü.)
Selçuk İŞLEYEN (Gazi Ü.)
Selim BALCISOY (Sabancı Ü.)
Selim TEMİZER (ODTÜ)
Semih BİLGEN (ODTÜ)
Şebnem DÜZGÜN (ODTÜ)
Şeref SAĞIROĞLU (Gazi Ü.)
Taner ALTUNOK (Çankaya Ü.)
Tansel DÖKEROĞLU (ODTÜ)
Tolga CAN (ODTÜ)
Tuğba TOKEL (ODTÜ)
Turgay ÇELİK (MİLSOFT)
Uğur GÜDÜKBAY (Bilkent Ü.)
Uğur ZENGİN (TAI)
Umut DURAK (DLR)
Ümit Sami SAKALLI (KHO)
Vahid GAROUSI (ODTÜ)
Veysi İŞLER (ODTÜ)
Yakup ÖZKAZANÇ (Hacettepe Ü.)
Yasemin YARDIMCI (ODTÜ)
Zafer YILMAZ (KHO)
Ziya AKTAŞ (Başkent Ü.)

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Resmi Sponsorlar

Oturum Sponsorları

Basın Sponsoru

EMEĞİ GEÇENLERE TEŞEKKÜR

ODTÜ-TSK MODSİMMER çalışanları

Nurcan ÖZER

Elmas BAYBÖRÜ

Hülya YASAK

Mustafa DEDE

Ömer KARAPOLAT

Tuncel ÇAKIR

Şener KILIÇ

Konferansın organizasyonunda gösterdiğiniz özverili çalışmalarınız için teşekkür ederim.

Prof. Dr. Veysi İŞLER

USMOS 2015 Konferans Başkanı

İÇİNDEKİLER

Ezilme Tüplerinin Enerji Sönümleme Kapasitelerinin Arttırılması Üzerine Nümerik Çalışmalar **1**

Veri Çiftçiliği ve NATO Modelleme Simülasyon Grubu (NMSG)'nun "Veri Çiftçiliği ile NATO'ya Karar Desteği Sağlama" Faaliyetleri **13**

Simülasyon Sistemleri İçin Birlikte Çalışabilirlik Standartları ve Bu Alanda Ülkemizde Yapılan Bazı Çalışmalar **25**

TUSAŞ Sistem Entegrasyon Laboratuvarı Doğrulama Yazılımları Altyapısı (SDYA): Geliştirme, Doğrulama ve Geçerli Kılma Deneyimleri **37**

İnsansız Bir Hava Aracı Modelinin Üç Boyutlu Tasarımı, Analizi ve Simülasyonu **49**

Sistem Mühendisliği Eğitimi ve Öğretimi Kapsamında Ciddi Oyun Kullanımı **61**

Hedef Vuruş Olasılığını Artırmak İçin Gerçekleştirilen Terminal Manevra Çalışmaları **73**

Akışkan ve Durağan Verilerin Aynı Anda İşlenebildiği Bir Büyük Veri İşleme Platformu Geliştirilmesi **85**

Bir Bankanın İş Sürecine Benzetim Tabanlı Eniyilemenin Uygulanışı **97**

Pnömatik Fırlatma Sistemi Parametrelerinin İncelenmesi için Model Çalışması **108**

Bir İnsansız Sualtı Gözlem Aracının (SAGA) Akustik ve Görüntüleme-Temelli Yer Tespiti ve Sistem Tanılaması **120**

3 Boyutlu Harita Üzerinde Askeri Operasyon Planı Eğitim Uygulaması **132**

TAKSİM Operasyonel Görev Eğitimi için Senaryo Tabanlı Bir Savaş Oyunu Altyapısı **144**

Araca Monteli İleri Bakan Yere Nüfuz Eden Radar Sistemlerinin ZUSF Yöntemi ile Modellenmesi **156**

Oyun Teknolojilerinin Askeri Simülasyon Endüstrisine Yıkıcı Yenilik Etkisi **168**

Savaş Uçağı Pilotu Eğitiminde Gömülü Eğitim ve Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) Eğitim Konseptleri **179**

Simülasyon Deneyleri Tasarımı: Bir Simülasyon Modeli Üzerinde Karşılaştırmalı Çalışmalar **188**

MVVM Tasarım Deseni Temelli Hiyerarşik Kullanıcı Arayüzü Geçerleme Altyapısı **200**

Entegre Simülasyon Geliştirme ve Modelleme Altyapısı: E-Sigma **210**

Bina Enerji Sistemlerinde Modelleme ve Simülasyon Yaklaşımları **218**

Kızılötesi Arazi Modellemesi ve Ölçüm Sonuçları ile Karşılaştırılarak Doğrulanması **230**

SiGe:C Üretim Süreçlerinin Benzetimi ve RF Performans Optimizasyonu **238**

Gemi Yalpa Kontrol Algoritmalarının Benzetim Ortamında İncelenmesi **250**

Konumsal Verilerin Fiziksel Görselleştirmeler ile İncelenmesi **262**

Orman Yangını Simülasyonunda Yangın Yayılımının Modellenmesi **274**

Ağırlıklı Bileşenlerden Oluşan Sistemlerin Muharebe Modellemede Kullanımı **285**

Çok Kullanıcılı Harp Oyunu Benzetim Sistemlerinde Kabul Test Ortamı Oluşturulması : "Kontrollü Rassallık" **292**

Meydan Kontrol Kule Eğitiminde Üç Boyutlu Simülasyon Kullanımı **304**

Yer Gözlem Uydusu Güç Sistemi için Uydu Uçuş Verileri ile TUGES Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırması **316**

Yüksek Düzeyli Mimari Bazlı Simülasyonlar Üzerinde Dinamik Yük Dengeleme **325**

Hava-Hava Füzesi Etkili Menzil Hesaplamaları için İstatistiksel Model Geliştirmesi **337**

Hastane Randevu, Muayene ve Tahlil Süreçlerinin Modellenmesi ve Simülasyonu **349**

Bir Bilgi Sistemi Modeli ve Hitit Çiviyazısı İşaretlerinin Okunması **361**

Simülasyon Destekli Tatbikat Sistemleri **373**

21’inci Yüzyılda Yapısal Bir Deniz Harp Oyunu Benzetim Sistemi: Yenilenen Tanım ve Seviye **383**

Askeri Uygulamalarda İnsan Davranışlarının Modellenmesi **395**

ETSIS Tabanlı Simülasyon Kavramsal Modeli ve Senaryolarının Doğrulaması **405**

İşletim Zamanlı Koşum Analizi **417**

Etmen Tabanlı Simülasyon Ontolojisi **427**

Etmen Tabanlı Dağıtık Etkileşimli Simülasyon **438**

Patlama Simülasyonlarında Gölgeleme Etkilerinin Araştırılması **449**

Çoklu Sensör İz Füzyonu Yöntemlerinin Simülasyon Yoluyla Değerlendirilmesi **458**

Bir Öncül Fly-By-Wire Sistem Simülasyonu Tasarımı **470**

Modelleme ve Simülasyon Kavramının Teknolojik ve Sosyolojik Etkisinin İrdelenmesi **482**

Sabit Karasal Noktadan-Noktaya Haberleşme Sistemlerinin Analizi **494**

Savunma Planlama ve Askerî Projelerin Tedarik Süreçlerinde Modelleme ve Simülasyonun Kullanımına Yönelik Değerlendirmeler (Simülasyon Tabanlı Tedarik) **506**

Veri Modellemede Yeni Bir Boyut: Büyük-Veri Geliştirme Stratejisi ve Bir Uygulama **518**

İnsansız Hava Aracında Isıl Analiz Sonuçlarının Uçuş Testleri ile Doğrulanması **530**

Sonlu Elemanlar Modeli Kullanarak, Yapısal Yay Tipli İniş Takımları için Düşürme Test Simülasyonu Yapılması **539**

Yazar Dizini **548**

EZİLME TÜPLERİNİN ENERJİ SÖNÜMLEME KAPASİTELERİNİN ARTTIRILMASI ÜZERİNE NÜMERİK ÇALIŞMALAR

Cenk Kılıçaslan

Adnan Menderes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
cenk.kilicaslan@adu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, çarpışma sırasında araç güvenliğini arttırmak amacı ile kullanılan 1045 çeliğinden yapılan ezilme tüpünün eksenel yöndeki ezilme davranışı nümerik olarak incelenmiştir. Çalışmanın ilk kısmında nümerik modeller, literatürdeki deneysel sonuçlar ile simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması ile doğrulanmıştır. Daha sonra dairesel, kare-konik ve kare kesitli tüplerin ezilme davranışları karşılaştırılmıştır. Son olarak enerji sönümleme kapasitesinin arttırılması amacı ile tüp içerisinde alüminyum köpük kullanımının etkisi araştırılmıştır. Ezilme tüpleri tamamen ya da kısmi olarak köpük ile doldurulmuştur. Çarpışma/ezilme olayının tam geometrik modeli LS-DYNA programı kullanılarak oluşturulmuştur. Çarpışma hızı 60 km/saat ve çarpışma enerjisi yaklaşık 84 kJ olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda en yüksek enerji sönümleme kapasitesine dairesel tüplerin sahip olduğu, alüminyum köpük kullanımının her bir tüpte enerji sönümleme kapasitesini artırdığı ancak kütle başına düşen enerji sönümleme değerini konik tüpler hariç azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv, çarpışma, LS-DYNA, ezilme, tüp, alüminyum köpük.

NUMERICAL STUDIES ON INCREASING ENERGY ABSORBTION CAPACITY OF CRASH TUBES

ABSTRACT

In this study, the axial crushing behavior of 1045 steel crash tubes was investigated numerically. In the initial part of the study, numerical models were validated by comparing the numerical results to experiments available in the literature. After that, crushing behaviors of tubes with circular, conical-square and square cross-sections were compared. Finally, the effects of aluminum foam-filling on the energy absorption

capacity were determined. Crash tubes were fully or partially filled with aluminum foam. The full geometrical models of crashing/crushing were implemented using LS-DYNA software. The impact velocity and impact energy were chosen as 60 km/h and 84 kJ, respectively. The results showed that circular tubes have the highest energy absorption capacity. Aluminum foam-filling was seen to increase energy absorption capacity of each tube; however, energy absorption per unit mass was seen to decrease with foam-filling except conical-square tubes.

Keywords: Automotive, crash, LS-DYNA, crush, tube, aluminum foam.

1. GİRİŞ

Enerji sönümleyen yapıların çarpışma sırasındaki dayanımlarının belirlenmesi ve arttırılması yıllardır birçok araştırmacı için önemli konuların başında gelmektedir. Enerji sönümleyici yapıların çarpışma kuvvetlerine maruz kaldıklarında ani deformasyona uğramamaları ve çarpışma enerjisini düzenli bir şekilde plastik deformasyona uğrayarak sönümlemesi istenir [1]. Enerji sönümleyici olarak sık kullanılan yapılardan bir tanesi ince cidarlı tüplerdir. Bu tüpler ezilme kutuları olarak da adlandırılmaktadır ve özellikle otomotiv endüstrisinde araç güvenliği için kullanılmaktadır. Ezilme kutularının popüler olmasının ana nedeni çarpışma sırasında düzenli ve kontrol edilebilir bir şekilde plastik deformasyona uğraması ve çarpışma enerjisini yüksek oranlarda sönümleme kapasitesine sahip olmasıdır.

Tüplerin eksenel yönde ezilme davranışları üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu konuda yapılan ilk çalışmalardan biri Alexander [2] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada dairesel tüplerin ezilme deneyleri yapılmış ve yaklaşık olarak deneysel ortalama kuvveti belirleyecek analitik bir denklem sunulmuştur. Andrews ve diğerleri [3] yarı-statik yükleme hızlarında dairesel kesitli alüminyum tüplerin ezilme davranışlarını incelemiş ve tüplerin concertina, diamond, karışık ve Euler tiplerinde farklı olarak deformasyona uğradıklarını göstermişlerdir. Tüplerin concertina tipi deformasyonda simetrik, diamond tipinde ise asimetrik olarak deforme olduğu görülmüştür. Simetrik olarak deforme olan tüplerde deformasyon adımlı ve tekrarlı bir şekilde gerçekleşmekte, bu nedenle concertina tipinde deforme olan tüpler daha fazla enerji sönümleyebilmektedirler. Nia ve Hamedani [4] daire, kare, dikdörtgen, altıgen, üçgen, piramit ve konik kesitli tüplerin yarı-statik yükleme hızındaki enerji sönümleme kapasitelerini deneysel ve nümerik olarak karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda daire kesitli tüplerin en fazla enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Çarpışma olaylarında olduğu gibi maksimum kuvvet önem arz ediyorsa, piramit ve konik şeklindeki tüplerin kullanılması tavsiye edilmiştir. Literatürde alüminyum köpük doldurulmuş tüplerin ezilme davranışlarını

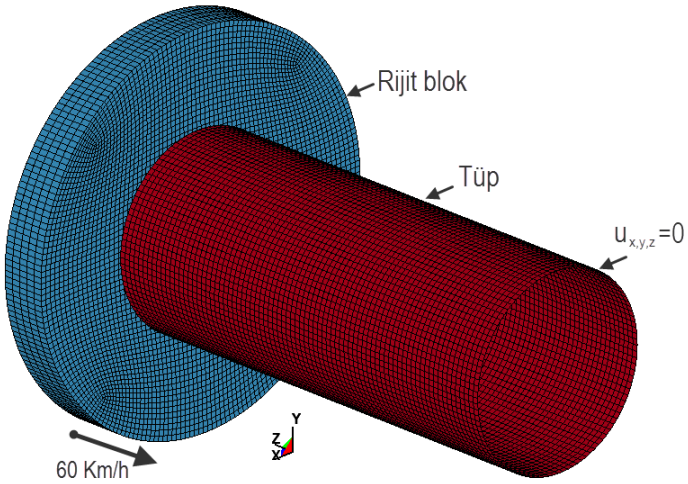
inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır [5-11]. Genel bir sonuç olarak, köpük kullanımının tüplerin ezilme davranışını doğrudan etkilediği ve enerji sönümleme kapasitesini yükselttiği görülmüştür.

Bu çalışmada tüp geometrisinin ve alüminyum köpük doldurma işleminin ezilme davranışı ve enerji sönümleme kapasiteleri üzerinde meydana getirdiği etkiler incelenmiştir. Çalışma geniş kapsamlı olarak gerçekleştirilecek AR-GE faaliyetlerine yönelik bir ön çalışmadır ve tamamen nümerik simülasyonlar üzerine kuruludur.

2. NÜMERİK MODELLER

Nümerik çalışmaya başlamadan önce, LS-DYNA ile oluşturulan modellerin doğrulanması gerekmektedir. Bu amaçla Ghamarian ve Zarei [12]'nin dairesel ve konik tüpler üzerinde gerçekleştirdiği ezilme deneylerinin sonuçları kullanılmıştır. Ghamarian ve Zarei'nin çalışması ile aynı geometrik ölçülere sahip tıpalı dairesel ve konik tüpler modellenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında kullanılan üç boyutlu nümerik model Şekil 1'de gösterilmiştir. Tüm simülasyonlarda çarpışma hızı ve enerjisi 60 km/saat hızında ve 84 kJ çarpışma enerjisinde meydana gelecek şekilde seçilmiştir. Modellerde tüpe çarpan blok, rijit olarak modellenmiştir ve 600 kg ağırlığa sahiptir. Ezilme tüplerinin çarpışmadan uzak olan kısmı tüm birincil ve rotasyon eksenlerinde sabitlenmiştir. Ezilme tüpleri 1045 çelik malzemesindendir ve anlık akma gerilme değerleri Johnson-Cook (JC) akış modeli ile modellenmiştir. Çelik malzemenin JC model katsayıları A=105,84 MPa, B=198,61 MPa, n=0,331 ve C=0,085 olarak alınmıştır.



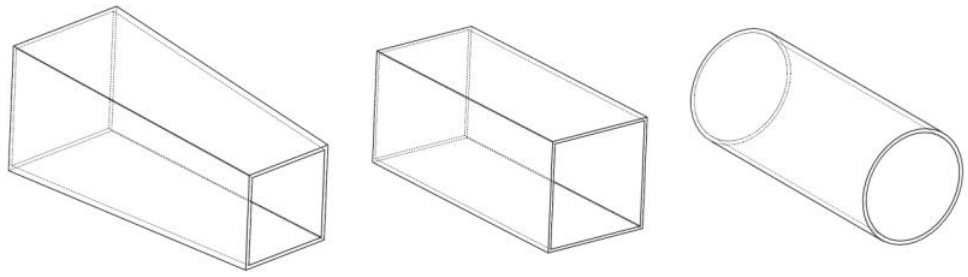
Şekil 1. Ezilme tüpünün LS-DYNA modeli.

Simülasyonlardan ezilme sırasında oluşan kuvvet ve deplasman değerleri alınmıştır. Bu değerler kullanılarak, F_m (ortalama kuvvet), E (enerji), SEA (spesifik enerji sönümleme) ve CFE (ezilme kuvvet verimliliği) değerleri hesaplanmıştır. Ezilme enerjisi aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır;

$$E = \int_0^{\delta_{max}} F d\delta \tag{1}$$

Burada δ deplasmandır. Yüksek enerji sönümleme kapasitesi ve koruma verimliliği elde etmek için yapıya etki eden maksimum kuvvet (F_{max}) minimize edilirken, F_m kuvveti maksimize edilmelidir [13]. Bu verimlilik değerini göstermek amacı ile CFE değişkeni tanımlanmıştır. Ayrıca enerji absorbe eden ve hafif olması istenilen bir yapının SEA değerinin de yüksek olması beklenmektedir. Bu değerler; $F_m=E/\delta_{max}$, $SEA=E/m$ ve $CFE=F_m/F_{max}$ formülleri ile hesaplanmaktadır. Burada m, tüpün kütlesidir.

Farklı tüp geometrilerinin enerji sönümleme kapasitesine olan etkisini belirlemek amacıyla üç farklı kesit geometrisinde tüpler oluşturulmuştur (Şekil 2(a)-(c)); i) kare-konik, ii) kare ve iii) dairesel. Tüplerin geometrik değişkenleri ve ağırlıkları Tablo 1'de verilmiştir. Tüp ağırlıkları, et kalınlığı değiştirilerek sabit tutulmuştur.



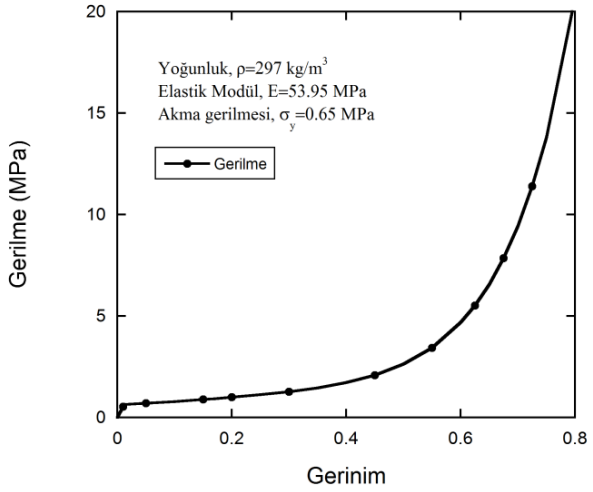
(a) (b) (c)

Şekil 2. Tüp geometrileri: (a) kare-konik, (b) kare ve (c) dairesel kesitli tüpler.

Tablo 1. Tüplerin geometrik değişkenleri

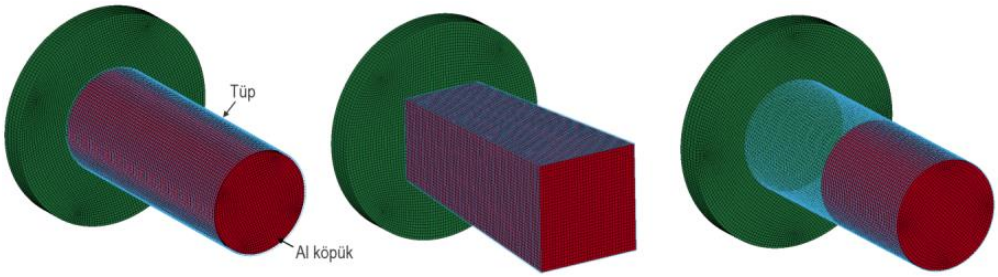
Tüp	L (mm)	D veya a(mm)	t (mm)
Kare-konik	200	64, 84	2.5
Kare	200	84	2.2
Dairesel	200	84	2.8

Şekil 3'de simülasyonlarda kullanılan Al köpük malzemesinin basma gerilme-gerinim eğrisi gösterilmektedir. Kullanılan Al köpük 0,11 bağıl yoğunluğa sahiptir. Akma gerilmesi ve elastik modülü 0,65 ve 53,95 MPa'dır. Modellerde Al köpük MAT26-HONEYCOMB malzeme modeli ile katı olarak modellenmiştir. Bu malzeme modelinde Şekil 3'de verilen gerilme-gerinim eğrisi, elastiste modülü ve akma gerilmesi değeri malzeme modeline tanımlanmıştır.



Şekil 3. Al köpüğün basma gerilme-gerinim eğrisi.

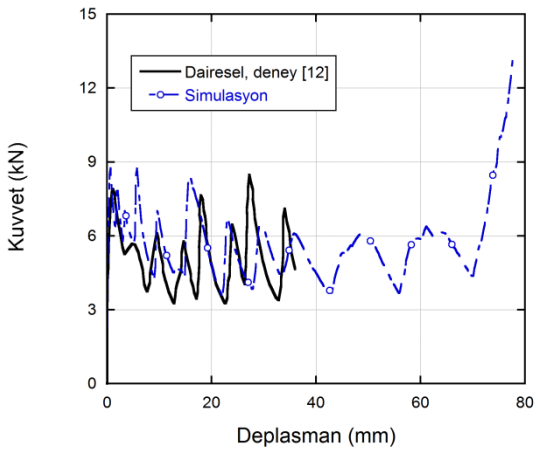
Şekil 4(a) ve (b)'de tamamı Al köpük doldurulmuş dairesel ve kare-konik tüp ile Şekil 4(c)'de kısmen Al köpük doldurulmuş dairesel tüplerin modelleri gösterilmektedir. Al köpük doldurma dairesel ve kare-konik tüpün kütlesini %16, kısmi doldurulan dairesel tüpün ise %10 oranında arttırmıştır. Modelde köpük ile tüp arasında herhangi bir yapıştırma tanımı yapılmamıştır.



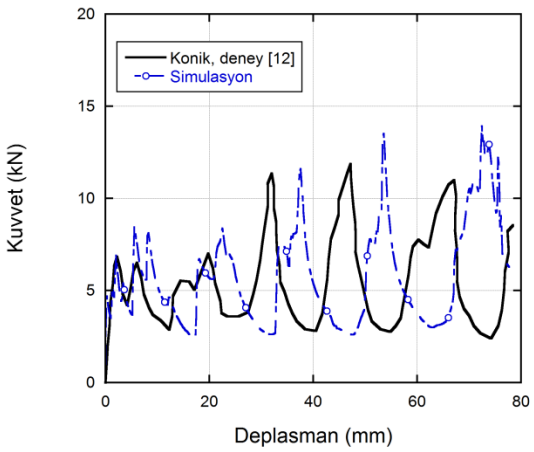
Şekil 4. Tamamı Al köpük doldurulmuş (a) dairesel, (b)kare-konik tüpler ve (c) kısmen Al köpük doldurulmuş dairesel tüp.

3. NÜMERİK SONUÇLAR

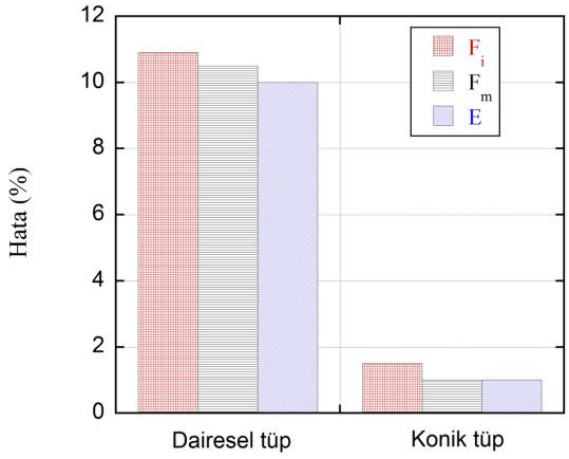
Modellerin doğrulanması için gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Şekil 5(a)-(c)'de verilmiştir. Şekil 5(a) görüldüğü üzere, dairesel tüpün basılması ile kuvvet değeri maksimum noktaya ulaşmakta daha sonra burkulmanın meydana gelmesi ile düşmektedir. Tüpün progresif ezilmesinden dolayı kuvvet eğrisinde pikler oluşmuştur. Konik tüpün ezilmesi sırasında oluşan kuvvet değerleri 20 mm deplasmandan sonra maksimum değerlere ulaşmıştır (Şekil 5(b)). Bunun nedeni tüpün alt kısmındaki daire çapının üst çapa göre büyük olmasıdır. Simülasyon bu davranışı doğru olarak yakalamıştır. Ancak maksimum pik değerlerinin simülasyon ve deneysel eğrilerde farklı deplasman değerlerinde oluştuğu görülmüştür. Bunun nedeni olarak deney numunesinde bulunan herhangi bir hata ya da numunenin deney sırasında plakalar arasında kayması gösterilebilir. Şekil 5(c)'de dairesel ve konik tüplerin deney ve simülasyon değerleri arasındaki %hata oranları verilmiştir. Burada F_i, F_m ve E sırası ile ilk pik kuvveti, ortalama kuvvet ve enerjidir. Her bir değişken için dairesel tüplerdeki hata oranı ortalama %10, konik tüplerde ise %1'dir. Bu hata yüzdeleri kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.



(a)



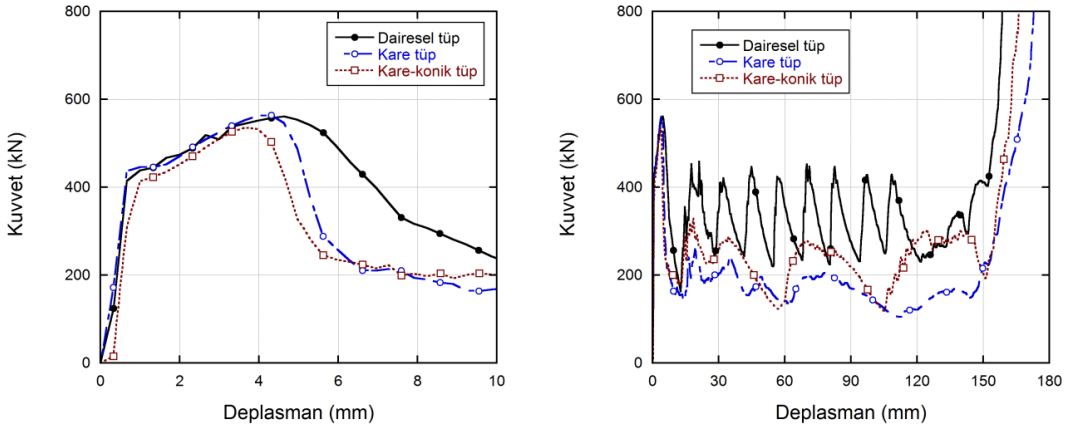
(b)



(c)

Şekil 5. Kuvvet-deplasman eğrileri; (a) dairesel tüp, (b) konik tüp ve (c) %hata değerleri.

Şekil 6(a) ve (b)'de dairesel, kare ve kare-konik tüplere ait kuvvet-deplasman eğrileri gösterilmektedir. Şekil 6(a) incelendiğinde başlangıçta her üç tüpün de maksimum kuvvet noktasına ulaştığı, ilk burkulmanın oluşması ile bu değerin düştüğü görülmektedir. Maksimum kuvvetin, F_{max}, en büyük değere kare tüpte, en az değere ise kare-konik tüpte ulaştığı görülmüştür (Şekil 6(a)). Dairesel tüpün kuvvet eğrisinde diğerlerine kıyasla fazla dalgalanma meydana gelmiştir (Şekil 6(b)). Tüm tüplerin ezilme değişkenleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo incelendiğinde en yüksek CFE değerinin dairesel tüpte oluştuğu görülmüştür. Ayrıca dairesel tüpler diğer tüplere kıyasla yaklaşık 20 mm daha az deforme olmasına karşın, bu sürede daha fazla enerji absorbe etmiştir.



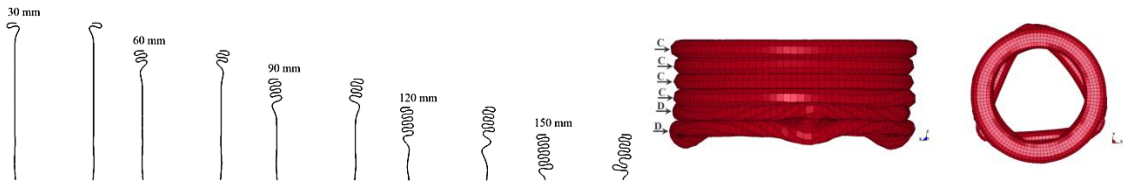
(a) (b)

Şekil 6. Farklı geometriye sahip tüplerin kuvvet-deplasman eğrileri; (a) 10 mm ve (b) 180 mm deplasmana kadar.

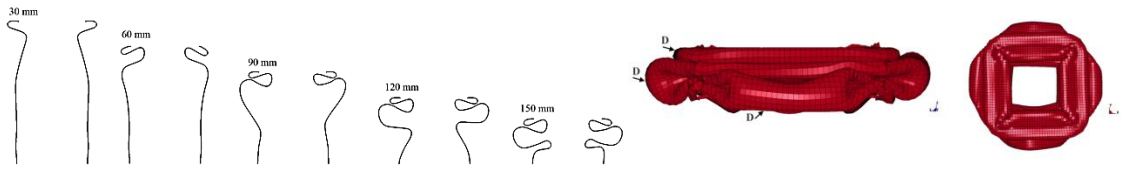
Tablo 2. Farklı geometriye sahip tüplerin ezilme değişkenleri.

Geometri	F_{max} (kN)	E (kJ)	SEA (kJ/kg)	F_m (kN)	Ezilme (mm)	CFE
Dairesel	561.1	54.5	47	337	159.5	0.6
Kare	563.6	39.1	33.85	202.1	175	0.359
Kare-konik	534.8	46.3	39.1	245.4	170	0.459

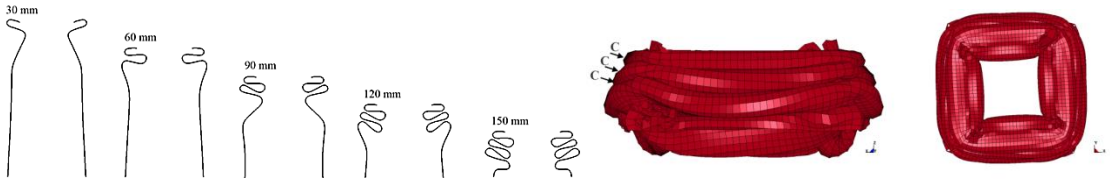
Dairesel, kare ve kare-konik tüplerin deformasyon adımları ve son halleri Şekil 7(a), (b) ve (c)'de verilmiştir. Şekillerdeki *C* concertina, *D* ise diamond tipi deformasyonu göstermektedir. Dairesel tüplerin dış kısmında 6 adet katlanma meydana gelmiştir. Bu katlanmalardan 4 tanesi concertina, 2 tanesi ise diamond tipidir. Dairesel tüpler düzenli/adımlı ezilme davranışı göstermektedir ve katlanma boyutu yaklaşık 4,5-6,5 mm arasındadır. Dairesel tüpün kuvvet eğrisinde diğerlerine kıyasla fazla dalgalanma meydana gelmesinin ana nedeni olarak adımlı ezilme davranışı ve kısa katlanma boyutu gösterilebilir. Kare ve kare-konik tüplerin dış kısımlarında sırası ile 3 ve 2 adet katlanma görülmüştür. Kare tüplerin katlanma uzunluğu 18-20 mm, kare-konik tüplerin ise 6-8 mm civarındadır. Kare tüplerde sadece diamond tip ezilme görülürken (Şekil 7(b)), kare-konik tüplerde sadece concertina tipi ezilme görülmüştür (Şekil 7(c)). En yüksek ve en düşük enerji sönümleme değerleri sırası ile dairesel ve kare tüplerde görülmüştür. Dairesel tüplerin enerji absorbe etme kapasitesinin daha yüksek olması meydana gelen katlanma sayısının diğerlerine kıyasla daha fazla olmasına ve katlanma boyunun düşük olmasına bağlanabilir. Ayrıca concertina tipi deformasyon diamond deformasyon tipine göre daha fazla enerji sönümlenmesine sebep olmaktadır.



(a)



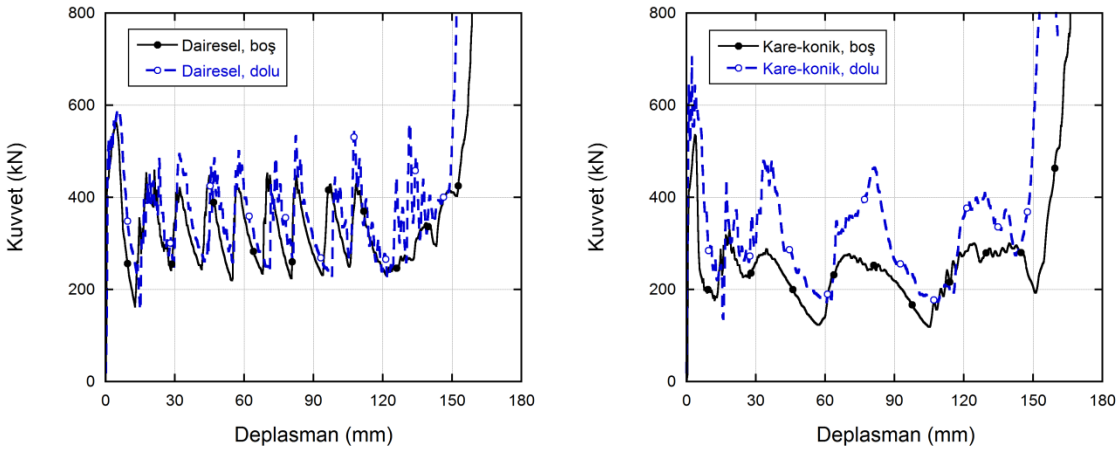
(b)



(c)

Şekil 7. Tüplerin deformasyon adımları ve son halleri; (a) dairesel, (b) kare ve (c) kare-konik tüpler.

Şekil 8(a) ve (b)'de tamamen Al köpük doldurulmuş dairesel ve kare-konik tüplerin kuvvet-deplasman eğrileri gösterilmektedir. Dolu dairesel tüpün kuvvet-deplasman değerleri boş tüpün değerlerine çok yakındır, ancak pik değerlerinin boş tüpe kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolu tüpün maksimum deplasman değerine boş tüpten daha önce ulaştığı görülmektedir. Bunu nedeni Al köpüğün tamamen sıkışarak ezilmeye izin vermemesidir. Al köpük kare-konik tüplerin de pik noktalarının yükselmesine sebep olmuştur (Şekil 8 (b)).



(a) (b)

Şekil 8. Kuvvet-deplasman eğrileri; (a) dairesel ve (b) kare-konik tüpler.

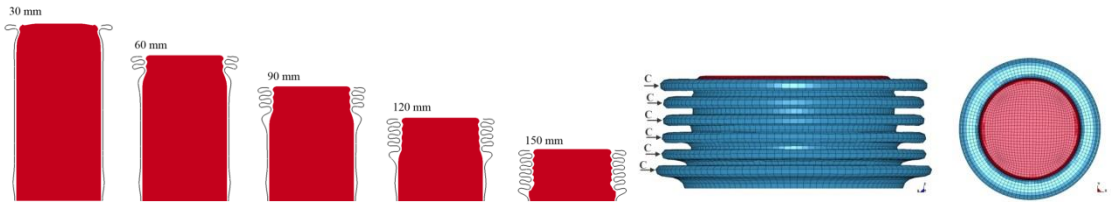
Tablo 3'de tüplere köpük doldurulmasının ezilme değişkenlerinde meydana getirdiği % değişim miktarları verilmiştir. Maksimum kuvvet değerindeki artış %31,8 ile en fazla kare-konik tüplerde görülmüştür. Her bir tüpte köpük kullanımının enerji absorbe etme kapasitesini ve CFE değerlerini arttırdığı görülmüştür. Tamamı dolu tüplerde ilk darbeyi karşılayan malzeme alanın artması, başlangıçta meydana gelen maksimum kuvvetin artışına sebebiyet vermiştir. Köpük kullanımı tüplerin toplam ezilme miktarlarını azaltmıştır. Al köpük tamamen ezildiğinde hücre boşlukları

kapanmakta ve sıkıştırılamaz hale gelmektedir. Bu da tüpün tamamen ezilmesini engellemektedir. Enerji sönümleme değerindeki en fazla artış %22 ile kare-konik tüplerde meydana gelirken, en az artış ise %0,92 ile kısmi olarak doldurulmuş dairesel tüplerde meydana gelmiştir.

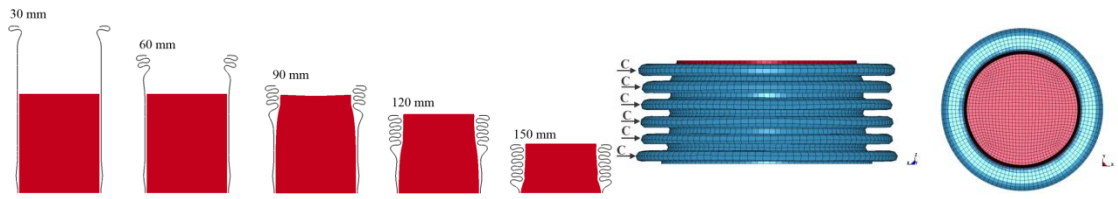
Tablo 3. Al köpük kullanımı ile ezilme değerlerindeki % değişim.

Geometri	$\%\Delta F_{max}$	$\%\Delta E$	$\%\Delta SEA$	$\%\Delta F_m$	$\%\Delta Ezilme$	$\%\Delta CFE$
Dairesel, dolu	4.97	10	-13.6	8.6	-4.4	3.3
Dairesel, kısmi dolu	-0.55	0.92	-10.64	3.1	-2.2	3.3
Kare-konik, dolu	31.8	22	-2.8	34.5	-7.65	2.4

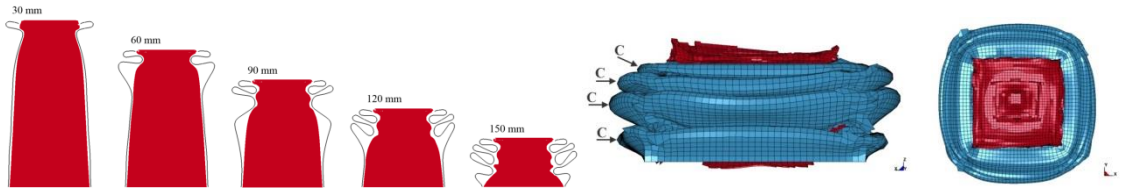
Şekil 9'de dolu dairesel, kısmi dolu dairesel ve dolu kare-konik tüplerin deformasyon adımları ve deforme olmuş son şekilleri gösterilmektedir. Dolu ve kısmi dolu dairesel tüplerde toplam 6 adet katlanma meydana gelmiştir. Tüp içerisinde Al köpük kullanımı dairesel tüpün deformasyon şeklini etkileyerek değişmiştir. Boş dairesel tüplerde concertina ve diamond tipi ezilme görülürken, dolu ve kısmi dolu tüpte sadece concertina tipi ezilme gözlemlenmiştir. Köpük ile doldurulan dairesel tüplerin enerji sönümleme kapasitesinin artmasındaki önemli sebeplerden biri budur. Bir diğer neden ise köpüğün tüp ile etkileşiminden dolayı meydana gelen sürtünme kuvvetidir. Bu kuvvet yapının deformasyon direncine katkıda bulunmaktadır. Tüm şekiller incelendiğinde köpüklerin tüp katmanları arasına girmediği görülmüştür. Bunun ana nedeni köpük ve tüp yüzeylerinin birbirine yapıştırılmamasıdır. Eğer iki yüzey arasında yapıştırma sağlanırsa yapıların deformasyon direnci artacaktır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 9. Tüplerin deformasyon adımları ve son halleri; (a) dolu dairesel, (b) kısmi dolu dairesel ve (c) dolu kare-konik tüpler.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, 1045 çeliğinden yapılan tüplerin eksenel yöndeki ezilme davranışı ve enerji sönümleme kapasitesi nümerik olarak incelenmiştir. Çalışmada tüp geometrisinin ve alüminyum köpük doldurma işleminin tüpün ezilme davranışı ve enerji sönümleme kapasitesine olan etkileri belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonunda dairesel tüpün kare-konik ve kare tüplere kıyasla ortalama %28 oranında daha fazla enerji absorbe ettiği görülmüştür. Ayrıca dairesel tüpün CFE değeri diğer iki tüpe kıyasla ortalama %47 oranında daha yüksek bulunmuştur. Tüpün tamamen Al köpük doldurulması yapı kütlesini %16, kısmi doldurulması ise %10 oranında arttırmıştır. Tüm tüplerde köpük kullanımı enerji sönümleme kabiliyetini ve CFE değerini arttırmıştır. En yüksek artış kare-konik tüplerde meydana gelmiştir. Dairesel tüpler için kütle başına düşen enerji absorbe değerinin köpük kullanımı ile azaldığı, kare-konik tüplerde ise arttığı görülmüştür. Yapılan karşılaştırmada dairesel kısmi dolu tüpün SEA değeri boş tüpe kıyasla %9,4, tam dolu tüpün SEA değeri ise %13,7 oranında azalmıştır. Kare-konik tüplerde ise Al köpük kullanımı SEA değerini %4,2 oranında arttırmıştır.

5. KAYNAKÇA

[1] S. A. Meguid, M. S. Attia, and A. Monfort, "On the crush behaviour of ultralight foam-filled structures," *Materials & Design*, vol. 25, pp. 183-189, 5// 2004.

[2] J. M. Alexander, "An Approximate Analysis of the Collapse of Thin Cylindrical Shells Under Axial Loading," *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, vol. 13, pp. 10-15, January 1, 1960.

[3] K. R. F. Andrews, G. L. England, and E. Ghani, "Classification of the axial collapse of cylindrical tubes under quasi-static loading," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 25, pp. 687-696, // 1983.

[4] A. Alavi Nia and J. Haddad Hamedani, "Comparative analysis of energy absorption and deformations of thin walled tubes with various section geometries," *Thin-Walled Structures,* vol. 48, pp. 946-954, 12// 2010.

[5] L. Aktay, B. H. Kröplin, A. K. Toksoy, and M. Güden, "Finite element and coupled finite element/smooth particle hydrodynamics modeling of the quasi-static crushing of empty and foam-filled single, bitubular and constraint hexagonal- and square-packed aluminum tubes," *Materials & Design,* vol. 29, pp. 952-962, 2008.

[6] M. D. Goel, "Deformation, energy absorption and crushing behavior of single-, double- and multi-wall foam filled square and circular tubes," *Thin-Walled Structures,* vol. 90, pp. 1-11, 5// 2015.

[7] Z. Li, J. Yu, and L. Guo, "Deformation and energy absorption of aluminum foam-filled tubes subjected to oblique loading," *International Journal of Mechanical Sciences,* vol. 54, pp. 48-56, 2012.

[8] C. Qi and S. Yang, "Crashworthiness and lightweight optimisation of thin-walled conical tubes subjectedto an oblique impact," *International Journal of Crashworthiness,* vol. 19, pp. 334-351, 2014.

[9] S. P. Santosa, T. Wierzbicki, A. G. Hanssen, and M. Langseth, "Experimental and numerical studies of foam-filled sections," *International Journal of Impact Engineering,* vol. 24, pp. 509-534, 5// 2000.

[10] A. K. Toksoy and M. Güden, "Partial Al foam filling of commercial 1050H14 Al crash boxes: The effect of box column thickness and foam relative density on energy absorption," *Thin-Walled Structures,* vol. 48, pp. 482-494, 7// 2010.

[11] H. Yin, G. Wen, Z. Liu, and Q. Qing, "Crashworthiness optimization design for foam-filled multi-cell thin-walled structures," *Thin-Walled Structures,* vol. 75, pp. 8-17, 2014.

[12] A. Ghamarian and H. Zarei, "Crashworthiness investigation of conical and cylindrical end-capped tubes under quasi-static crash loading," *International Journal of Crashworthiness,* vol. 17, pp. 19-28, 2012.

[13] A. Tasdemirci, S. Sahin, A. Kara, and K. Turan, "Crushing and energy absorption characteristics of combined geometry shells at quasi-static and dynamic strain rates: Experimental and numerical study," *Thin-Walled Structures,* vol. 86, pp. 83-93, 2015.

VERİ ÇİFTÇİLİĞİ VE NATO MODELLEME SİMÜLASYON GRUBU (NMSG)'NUN "VERİ ÇİFTÇİLİĞİ İLE NATO'YA KARAR DESTEĞİ SAĞLAMA" FAALİYETLERİ

Uğur Ziya Yıldırım [(a)]

Burhan Ürek [(b)]

[(a)] NATO Land Command, İzmir, ziyayildirim@gmail.com
[(b)] Harp Akademileri Çok Uluslu Müşterek Harp Merkezi Komutanlığı, 4.Levent, Beşiktaş 34330 İstanbul, burek@harpak.edu.tr

ÖZ

Bilgisayar yardımı ile deneme yapılması modern bilimsel araştırma, ulusal savunma ve kamu yararına politikalar geliştirmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu maksatla oluşturulan simülasyon modelleri, binlerce değişken (faktör) ve belirsizlik kaynağı içermektedir. Veri Çiftçiliği, bilgisayar yardımıyla hesaplamalı deneyler yaparak veri üretilmesi (yetiştirilmesi) ve sonrasında bu verinin uygun istatistiksel yöntemler ve görüntüleme teknikleriyle analiz (hasat) edilerek karmaşık bir sistemin işleyişine dair öngörülere ulaşma sürecini içeren disiplinler arası bir yaklaşımı ifade etmede kullanılan bir terimdir. Veri Çiftçiliği ile "büyük resmin" ve alternatif hareket tarzlarının neticelerinin görülmesine olanak sağlayan yeni fırsatlar doğmuştur. Veri Çiftçiliği 6 alt bilimsel alanın imkânlarından istifade etmektedir. Bunlar; simülasyon modeli geliştirme, hızlı prototip senaryo geliştirme, deneysel tasarım, yüksek başarımlı hesaplama, çok sayıda simülasyon çıktı verisinin analizi ve görselleştirilmesi ile işbirliği süreçleridir. Bu çalışmada, NATO Modelleme Simülasyon Grubunun "MSG-088 NATO Desteğinde Veri Çiftçiliği" ve "MSG-124 Veri Çiftçiliği ile NATO İçin Uygulanabilir Karar Desteği Sağlamak" konulu alt çalışma gruplarınca çalışmaları tamamlanmış ve halen devam eden Veri Çiftçiliği uygulamaları ile Veri Çiftçiliğinin 6 alt bilimsel çalışma alanına dair detaylı bilgiler verilmektedir. Bu sayede, 1999 yılından itibaren Veri Çiftçiliği alanında oluşmaya başlayan bir uluslararası topluluk, kullanılan yöntem ve araçlar ile uygulama alanları hakkında fikir verilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Deneysel Tasarım, Hızlı Prototip Senaryo Geliştirme, Karar Desteği, Modelleme ve Simülasyon, NATO, Veri Çiftçiliği, Yüksek Başarımlı Hesaplama

DATA FARMING AND NATO MODELING AND SIMULATION GROUP'S ACTIVITIES FOR PROVIDING DECISION MAKING SUPPORT TO NATO WITH DATA FARMING

ABSTRACT

Experimentation using computers is an integral part of modern scientific research, national defense, and policy development for the benefit of the public. Simulation models developed for experimentation purposes are inherently complex and involve thousands of factors and uncertainties. Data Farming is a term used for an interdisciplinary approach that involves conducting computational experiments using computers to create (grow) data and analyzing (harvesting) this data using appropriate statistical techniques and visualization methods in order to reach at insights regarding the inner workings of a complex system. Data Farming promises novel possibilities to capture the "big picture" and to see the results of alternative courses of action. Data Farming utilizes the methods offered by 6 sub scientific disciplines. These are simulation model development, rapid prototyping of scenarios, experimental design, high performance computing, visualization of simulation output data, and collaborative processes. In this work, information about completed and ongoing studies of "MSG-088 Data Farming in Support of NATO" and "MSG-124 Providing Actionable Data Farming Support for NATO" task groups, which are sub study groups under NATO's Modeling and Simulation Group, and detailed information on the 6 sub scientific disciplines utilized by Data Farming is provided. The main goal is to make the reader aware of an international community that came about since 1999, and the tools, processes, and application areas of data farming.

Keywords: Data Farming, Decision Support, Experimental Design, High Performance Computing, NATO, Modeling and Simulation, Rapid Prototyping of Scenarios

1. GİRİŞ

Veri Çiftçiliği, geleneksel modelleme ve simülasyon süreçleriyle daha önceden değinilmemiş/sorulmamış/cevap aranmamış araştırma sorularına cevaplar bulmak konusunda karar vericilere karar desteği sağlamak maksadıyla geliştirilmiş bir süreçtir (Horne and Meyer, 2004). Veri Çiftçiliği çok sayıda olası sonuçlara sahip olan veya bu sonuçların günümüzün hesaplama imkanlarıyla çözülmesi milyonlarca yıl alacak problemlerin çözümüne olanak sağlayan bir yöntemdir. Yüksek kapasiteli bilgisayarlarla simülasyon modelinin çok sayıda parametre ve değer kullanarak binlerce bazen milyonlarca kez çalıştırılması neticesinde "büyük resmin" görülmesine,

beklenmedik alternatif hareket tarzlarının elde edilmesine ve incelenmesine olanak sağlayan yeni bir çalışma alanıdır.

Veri Çiftçiliği altı alt çalışma alanı olan; modelleme ve simülasyon, hızlı prototip senaryo geliştirme, deneysel tasarım, yüksek başarımlı hesaplama, istatistik analiz ve veri görselleştirmesi ile bunları birleştiren işbirliği süreçlerini kullanan disiplinler arası bir yaklaşımdır.

Veri Çiftçiliğinin altı alt çalışma alanı 1997 yılından 2002 yılına kadar Veri Çiftçiliği metodolojisine dâhil edilmiştir. İlk Veri Çiftçiliği çalışmaları 1997-1998 yılları arasında iki alt çalışma alanının birlikte kullanılması üzerine dayanmaktaydı. Bu alt çalışma alanlarından ilki model geliştirmeydi (NATO MSG-088 Final Report, 2013). Bu modeller, o zamanlar saf (basit) modeller olarak anılmaktaydı, gerçeğine çok benzer detayları içermeyen ancak eldeki araştırma sorusuna yeterli cevap verecek şekilde geliştirilmiş küçük modellerdi (Horne, 1999). İkincisi ise yüksek başarımlı hesaplama idi. Geliştirilen bu modeller, Maui Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezindeki bilgisayarlar kullanılarak farklı girdi parametreleriyle çok fazla sayıda çalıştırılıyordu.

Yüksek Başarımlı Hesaplama, imkânları ne kadar iyi olursa olsun bazı problemlerin çözümünde yetersiz kalmaktadır. 2012 yılında hesaplamada dünya lideri olan IBM'in "Sequoia" isimli bilgisayarı saniyede 16 petaflop (petaflop:saniyede çeyrek trilyon işlem) hesaplama yapabilmekteydi. Simülasyonumuzda sadece 100 girdi değişkeni (faktör) olduğunu ve bunların her birinin azami 2 değer (en küçük ve en büyük) alabileceğini farz edersek, 2^{100} kombinasyonun tamamı için simülasyonun sadece birer defa çalıştırılması 2,5 milyon yıl sürecektir (Sanchez, 2014). Kaldı ki, böyle bir tasarımda örneklem uzayının sadece belli bölgelerine bakılmakta, aradaki değerler göz ardı edilmektedir. Bu eksiklik, 2000'li yılların başında Monterey, Kaliforniya'da bulunan ABD Deniz Kuvvetleri Yüksek Lisans Okulu araştırmacılarının deneysel tasarım konusundaki uzmanlıkları ile Veri Çiftçiliği çalışmalarına dâhil olmasıyla giderilmiştir (NATO MSG-088 Final Report, 2013).

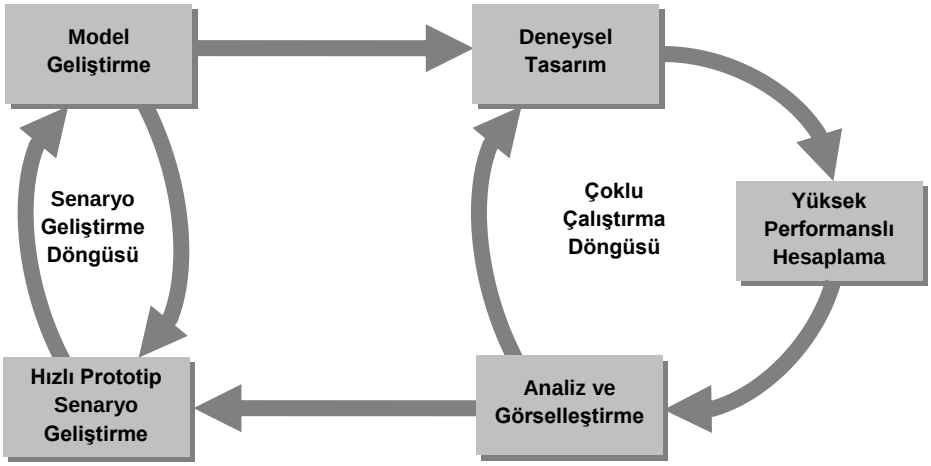
Kullanılan modeller daha çok etmen tabanlıydı. Veri çiftçiliğinde kullanılan modellerin etmen tabanlı olması gerekmez. Ancak, etmen tabanlı modeller farklı girdi verilerine sahip senaryo prototiplerinin kolaylıkla geliştirilebilmesi nedeniyle tercih edilmişti. Geliştirilen çok sayıdaki senaryo prototiplerinin yüksek kapasiteli bilgisayarlarla defalarca çalıştırılması sonucu elde edilen çok büyük hacimli çıktı verilerinin analizi ve görselleştirilmesi ayrı bir problem olarak ortaya çıktı (NATO MSG-088 Final Report, 2013). Böylece 1999-2000 yılları arasında, hızlı prototip senaryo geliştirme ile çıktı verilerinin analizi ve görselleştirilmesi Veri Çiftçiliği çalışmalarında önem kazandı ve alt çalışma alanları olarak metodolojiye dâhil oldu.

Son olarak, bu beş alanın birbirleriyle etkileşimli ve etkin bir şekilde çalışabilmesi için her seviyede işbirlikçi bir sürece ihtiyaç vardır. İşbirlikçi süreç, diğer beş alt çalışma

alanının disiplinler arası bir çalışma yoluyla entegrasyonunu sağlar. İşbirlikçi süreç aynı zamanda modelleme ve simülasyon uzmanlarının, analizcilerin, konu ile ilgili uzmanların ve karar vericilerin etkin ortaklığı ve bu personelin gayretlerinin bütünleştirilmesi sürecidir. 2002 yılından sonra Veri Çiftçiliği süreci olgunlaşmış ve odak noktasını uygulamalara yöneltmiştir.

2. VERİ ÇİFTÇİLİĞİ ALT ÇALIŞMA ALANLARI

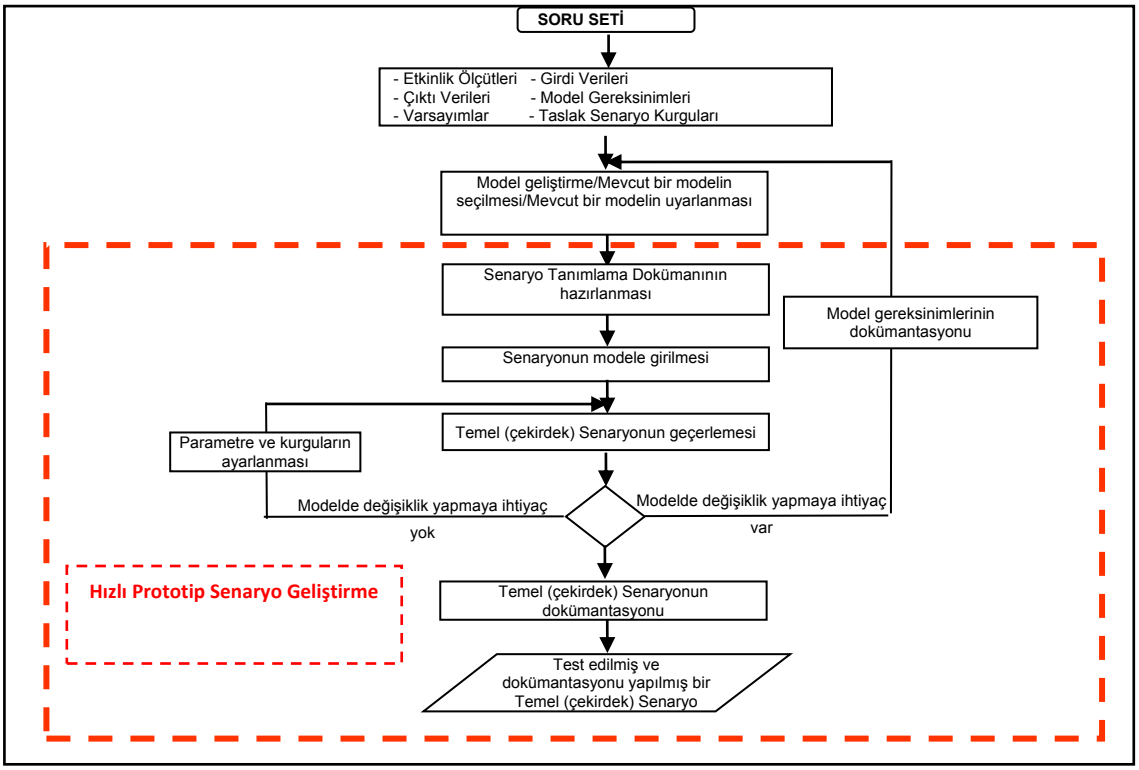
Veri Çiftçiliği, altı alt çalışma alanını bir dizi gömülü döngüler döngüsü (Şekil 1) ile birleştiren yinelemeli bir süreçtir (Horne ve Meyer, 2004). Veri çitçiliği metodolojisi, karmaşık sistemleri analiz etmek için simülasyon tabanlı, bütüncül ve yinelemeli bir yaklaşım kullanır.



Şekil 1. Veri çiftçiliği döngüler döngüsü

2.1. Hızlı prototip senaryo geliştirme

Hızlı prototip senaryo geliştirme simülasyon modellerinin oluşturulması esnasında kullanılan, bazen günler bazense aylar süren model geliştirme sürecini hızlı prototip temel senaryoların geliştirilmesi açısından hızlandıran ve sistematik bir şekilde icra edilmesini sağlayan bir modelleme sürecidir.



Şekil 2. Hızlı prototip senaryo geliştirme süreci

Analizde kullanılacak temel senaryonun Şekil 2'de gösterildiği gibi sistematik bir tarzda yapılmasını sağlayan ve müteakip alternatif senaryolar/modeller üretilmesini kolaylaştıran bir süreçtir (NATO MSG-088 Final Report, 2013).

2.2. Model geliştirme

Model geliştirme, karar vericilerin ortaya koydukları gerçek dünya problemlerine yönelik gereksinim ve önceliklerini bir modele dönüştürme sürecidir. Hızlı prototip senaryo geliştirmede belirlenen temel senaryonun bilgisayar modeline aktarılması ve ondan alternatif senaryolar üretilmesidir. Burada, simülasyon senaryo modelinin .xml formatında olması, deneysel tasarım ile belirlenen değişik faktör seviyelerinin (değerlerinin) kolayca değiştirilerek alternatif senaryolar üretilmesini ve sonrasında da bunların yüksek başarımlı hesaplama imkânlarıyla çalıştırılmasını kolaylaştırmaktadır. MSG-088 çalışma grubuna katkı sağlayan ülkelerde bulunan Veri Çiftçiliğine uygun simülasyon modelleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Etmen tabanlı yazılımlardan REPAST ve NetLogo da Veri Çiftçiliği Çalıştaylarındaki uygulamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 1. MSG-088 katılımcılarınca kullanılan veri çiftçiliği simülasyon modelleri

Kısa Adı	Modelin Adı	Ülke	Üretici Firma	Sürüm	İhraç Yetkisi
ABSNEC	Agent Based Simulation for Network enabled Capabilities	Kanada	Defense R&D Canada	1	Hayır (Görüşülüyor)
C2WS	Command and Control Warfare Demonstrator	İsveç	FOI	6	Hayır
ITSimBw	ITSimBw	Almanya	Fraunhofer IAIS	-	Hayır
MANA	Map Aware Non-Uniform Automat	Yeni Zelanda	DTA New Zealand	5.00.19	Evet
PAXSEM	PAXSEM	Almanya	Cassidian	1.6	Hayır
Pythagoras	Pythagoras	ABD	Northrop Grumman	2.1	Evet
RSEBP	Simulation-based Decision Support for Effects-based Planning	İsveç	FOI	1	Hayır
SANDIS	SANDIS v1	Finlandiya	PVTT	1.0	Evet
SANDIS	SANDIS v2	Finlandiya	Sandis Solutions	2.0	Evet

2.3. Deneysel tasarım

Özellikle savunma sektöründe kullanılan simülasyon modelleri çok fazla sayıda girdi parametresi (faktör) içermektedir. Bunların dikkatli bir şekilde değiştirilmesi ile alternatif modeller üretilmekte ve değerlendirilmektedir. Faktörlerin birer birer değiştirilmesi ile çıktı performans kriterinin artması veya azalması gözlemlenebilse de, bu değişikliğin neden olduğu veya birden fazla faktör aynı anda değiştiğinde gözlemlenebilecek etkileşimler göz ardı edilmektedir. Ayrıca, çok fazla faktör olduğunda (giriş bölümünde bahsedilen 2^{100} gibi), bunların sadece yüksek başarımlı hesaplama kullanılarak değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Burada deneysel tasarım, sonraki analizi kolaylaştıracak şekilde deney tasarlama imkânı sunmaktadır. Veri Çiftçiliğinde kullanılması önerilen ve simülasyon modelinize uygun olan nasıl seçeceğinize dair genel prensipler (Sanchez ve Wan, 2012)'de sunulmuştur ve yer darlığından burada detaylı olarak anlatılamamaktadır.

2.4. Yüksek başarımlı hesaplama

Veri Çiftçiliği kapsamında yüksek başarımlı hesaplama yapabilmek için "çiftçilik yapılabilir" bir modele, bir temel (çekirdek) senaryoya (tercihen xml formatında), iyi tanımlanmış bir deneysel tasarım ile bunu ve temel senaryoyu kullanarak yaratılabilecek alternatif senaryolara, yüksek başarımlı hesaplama donanım ve yazılımına ihtiyaç vardır. İşletim sistemi olarak Windows, Linux veya Mac kullanılabilir. Bu maksatlarla en çok kullanılan bazı yazılımlar XStudy, OldMcData ve Condor'dur. Bunlardan ilk ikisi harvest.nps.edu adresinden indirilebilir. XStudy smülasyon denemesini yapmak

için gereken bilgileri (tekrar sayısı, rassal sayı çekirdeği, incelenecek değişkenler ve simülasyon modeli vb) içeren bir xml dosyasıdır. OldMcData XStudy ile üretilen xml dosyasının ve deneysel tasarım matrisindeki tasarım noktalarının değerlerini kullanarak yeni senaryolar üretmeye yarar. Açık kaynak bir yazılım olan Condor http://www.cs.wisc.edu/condor/ adresinden indirilip kullanılabilir. Condor, simülasyon modelinin dağıtık bir hesaplama ortamında çalıştırılmasına imkân verir. Daha detaylı bilgi için (NATO MSG-088 Final Report, 2013)' a bakınız.

2.5. Analiz ve görselleştirme

Analiz, Veri Çiftçiliği ile üretilmiş verilerin, yararlı bilgileri ortaya çıkarmak, çıkarımlarda bulunmak ve karar desteği sağlamak maksadıyla, istatistiksel, özetleme ve sunum teknikleriyle inceleme sürecidir. Görselleştirme ise veri araştırma, karşılıklı anlayış oluşturma ve Veri Çiftçiliği süreçlerinin sunumunu hızlandıran ve optimize etmek için kullanılan görsel ve grafik analiz teknikleridir.

Veri Çiftçiliği metodolojisinde ilk dört alt çalışma alanında icra edilen çalışmaların sonunda elde edilen milyonlarca sayıda ve karmaşık simülasyon çıktı verilerinin paydaşlar (Veri Çiftçiliği için bu paydaşlar modellemeciler, analizciler ve karar vericilerdir) için anlamlı, yorumlanabilir ve üzerine karar verilebilir hale getirilmesi için çok etkili analiz ve veri görselleştirme tekniklerinin kullanılması gerekir.

Veri Çiftçiliği icra edilen modelin ve modelden elde edilen çıktı verilerinin türüne göre çok sayıda ve farklı istatistiksel analiz teknikleri (güven aralığı tespiti, hipotez testleri, zaman serisi analizleri, ağ analiz teknikleri ve veri madenciliği teknikleri vs.) kullanılabilir.

Verilerin görselleştirilmesi, veri seti hakkında bilgi sahibi olmanın en optimal yollarından biridir. Veri görselleştirme konseptleri olan "odaklama ve birleştirme" özellikle interaktif olarak uygulandığında çok boyutlu verilerin istatistiksel olarak yapılamayan keşfine yardımcı olur. Odaklama; görünüm, projeksiyon veya görselleştirme perspektifini değiştirebilme yeteneğini ifade eder. Birleştirme ise, parametreler arasındaki ilişkileri araştırmak için çoklu perspektiflerin/görsellerin aynı anda inceleyebilme yeteneğidir (NATO MSG-088 Final Report, 2013).

2.6. İşbirliği süreçleri

İşbirliği süreçleri, hem yukarıdaki maddelerde bahsedilen beş alt çalışma alanının etkin bir şekilde entegrasyonu hem de modelleme ve simülasyon uzmanlarının, analizcilerin, konu ile ilgili uzmanların ve karar vericilerin etkin ortaklığı ve bu personelin gayretlerinin bütünleştirilmesi sürecidir. Bunlara ilave olarak, Veri Çiftçiliğinde kullanılan işbirlikçi süreç araçlarından bazıları; NATO MSG-124 Paylaşım Sayfası, Web Tabanlı Araçlar: Veri Çiftçiliği Web Sitesi **www.datafarming.org**, Uluslararası Veri Çiftçiliği Topluluğu Bülteni: Scythe, Veri Çiftçiliği için SEED Centre internet sitesi, harvest.nps.edu'dir.

3. NATO MODELLEME VE SİMÜLASYON GRUBUNUN VERİ ÇİFTÇİLİĞİ İLE NATO'YA KARAR DESTEĞİ SAĞLAMA FAALİYETLERİ

3.1. "MSG-088 NATO Desteğinde Veri Çiftçiliği" konulu çalışma grubu faaliyetleri

Veri Çiftçiliği fikri etrafında toplanan uluslararası bir topluluk on beş yılı aşkın bir süredir bu konudaki ortak çalışmalarına devam etmektedir. Veri Çiftçiliği alanındaki gelişmeleri ve yeni bilgileri paylaşmak ve Veri Çiftçiliği metodolojisini askeri problemlere uygulamak maksadıyla, 1999 yılından itibaren yaklaşık olarak yılda iki kez Veri Çiftçiliği Çalıştayları düzenlenmektedir. 2010 yılında NATO Araştırma ve Teknoloji Kuruluşu (yeni ismiyle NATO Bilim ve Teknoloji Kuruluşu), NATO için karar desteği sağlamak maksadıyla "MSG-088 NATO Desteğinde Veri Çiftçiliği" konulu uluslararası bir çalışma grubu kurmuştur. "MSG-088 NATO Desteğinde Veri Çiftçiliği" konulu çalışma grubu katılımcı ülkelerin ilgi alanları ve ihtiyaçları doğrultusunda "İnsani Yardım" ve "Kuvvet Bekası" alt çalışma grupları oluşturularak bu konularda Veri Çiftçiliği uygulamaları icra etmiştir. Yer darlığından, aşağıda bu uygulamalardan sadece "Kuvvet Bekası" alt çalışma grubunun sonuçlarının bir kısmına yer verilecektir. Bu konu ve "İnsani Yardım" çalışma grubunun Veri Çiftçiliği uygulamasına dair detaylı bilgi (NATO MSG-088 Final Report, 2013)'da mevcuttur veya yazarlar aracılığıyla temin edilebilir.

"MSG-088 NATO Desteğinde Veri Çiftçiliği" konulu çalışma grubu, 2010-2013 yılları arasında toplam 4 Uluslararası Veri Çalıştayı ve 10 adet Veri Çiftçiliği Çalışma Grubu Toplantısı icra etmiştir. Çalışma sonunda hazırlanan rapor, NATO Bilim ve Teknoloji Kuruluşu tarafından "2014 Yılı NATO Bilimsel Başarı Ödülü"ne layık bulunmuştur.

3.2 Kuvvet bekası uygulaması

Kuvvet bekası (Force Protection) konusundaki çıkış noktası **"Terörist/isyancı grupların farklı tehditlerine karşı bir üs bölgesi/karakolun korunması için en etkin silah/teçhizat ve taktik kombinasyonu nedir?"** araştırma sorusuna cevaplar bulmaktır. Bunun için, bir Afgan köyü yakınlarında konuşlu, çeşitli sensör ve silah sistemleriyle teçhiz edilmiş NATO'ya ait bir üs bölgesinin (ÜB) modellenmesi kararlaştırılmıştır. Hazırlanan senaryoya uygun olarak, Mavi (dost) unsurlara ait ÜB'nde kullanılan silah, araç, teçhizat ile uygulanan taktikler (karar değişkenleri), çeşitli ölçeklerde (kesikli, kategorik ve sürekli) ve değişik parametrelerle çalıştırılacak şekilde modellenmiştir. Kırmızı'nın (terörist/isyancı grup) uygulayabileceği saldırı taktikleri ve bu saldırılarda kullanacağı terörist ve makineli tüfek sayısı ile ağır silah kullanma oranı, yine çeşitli ölçeklerde (kesikli ve sürekli) ve değişik parametre değerleriyle çalışacak şekilde modellenmiştir. Hazırlanan senaryoya ait karar değişkenleri ve aldıkları parametre değerlerinin bir kısmı Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kuvvet bekası deneysel tasarım tablosu

Karar Faktörleri (Mavi)	Parametre Değerleri	Veri Tipi
Piyade Tüfeği Sayısı (5.56 mm)	[0;49]	kesikli
Hassas Güdümlü Roket	[0;9]	kesikli
Zırhlı Araç	[0;8]	kesikli
Keşif Maksatlı İHA	[0;2]	kesikli
Gözetleme Kulesi (ÜB içi)	[0;1]	kesikli
Ateş Desteği	Yok / sabit kanat / helikopter / topçu	kategorik
Asker	[17;88]	kesikli
Nişancıların Yeterlilikleri	Zayıf / Orta / İyi	kategorik
Terörist/İsyancı Grupların Taktikleri	Uzun Mesafeli Saldırı / Yakın Mesafe Saldırı (Büyük Grup) / Yakın Mesafe Saldırı (Küçük Gruplar)	kategorik
Uzun Mesafeli Saldırı Terörist Sayısı	[1;5]	kesikli
Uzun Mesafeli Saldırı RPG Oranı	[%0;100]	sürekli
Yakın Mesafe Saldırı Küçük Grup Sayısı	[3;5]	kesikli
Yakın Mesafe Saldırı Küçük Gruplardaki Terörist Sayısı	[5;10]	kesikli
Yakın Mesafe Saldırı Büyük Gruptaki Terörist Sayısı	[50;100]	kesikli
Yakın Mesafe Saldırı Grup İçindeki Havan Oranı	[%0;10]	sürekli

Simülasyon modeli Alman Cassidian Şirketine ait PAXSEM yazılımı ile geliştirilmiştir. PAXSEM, akıllı nesneleri kullanarak simülasyon modellerinin geliştirildiği etmen tabanlı bir simülasyon yazılımıdır.

Performans kriteri olarak Mavi'nin zayiatı seçilmiş ve Mavi ve Kırmızı'ya ait toplam 33 faktörün değişik parametre değerleriyle çalıştırılması ve "büyük resmin" ortaya konması için 12.096 farklı kombinasyon (deneysel tasarım noktası) oluşturulmuştur. Deneysel tasarım olarak ABD Deniz Lisansüstü Okulu'nda geliştirilen "Neredeyse Dengeli, Neredeyse Birbirine Dik, Karışık Tasarım" (Nearly Balanced, Nearly Orthogonal Mixed Design) (Vieira Jr. *et al.*, 2011) seçilmiştir. Her bir kombinasyon 20 kez çalıştırılmış ve simülasyon modeli toplam 241.920 kez çalıştırılmıştır. Simülasyon modelinin tüm kombinasyonları (2341.920), Alman Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezinde 512 çekirdek kullanılarak toplam 20 saatte çalıştırılmıştır.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde mavi zayiatının, ortalamasının 2.2 personel ve standart sapmasının 3.4 olduğu tespit edilmiştir. Simülasyon sonuçları regresyon ağacı analizi ile incelendiğinde ise, en önemli faktörlerin sırasıyla;

- Üs Bölgesindeki asker sayısının (≥40)

- Hassas güdümlü roket sayısının (≥3) ve

- Askerlerin nişancılık yeterlilikleri olduğu tespit edilmiştir.

241.920 simülasyon sonucu detaylı incelendiğinde, 109.974 simülasyon sonucunda "0" zayiat verildiği görülmüştür. "0" zayiatlı kombinasyonlardan ise sadece 28.197'sinde 40'dan az sayıda asker olduğu tespit edilmiştir. En tehlikeli saldırı taktiğinin büyük grupla yakın mesafeli saldırı olduğu (ortalama 6,4 zayiat) tespit edilmiştir. Bu kapsamda, en etkin iki ÜB konfigürasyonu tespit edilmiştir.

1. 40 veya daha fazla "iyi" nişancı yeterliliğinde asker ve 3'den fazla hassas güdümlü rokete sahip büyük bir ÜB (bu konfigürasyonda ilave ateş desteğine ihtiyaç yoktur),

2. Orta büyüklükte (25-40 arası "iyi" nişancı yeterliliğinde asker);

- ÜB dışında 1 gözetleme kulesi,
- 1 Taktik veya 2 Mini İHA,
- 1 ÜB içinde, 1 ÜB dışında 2 havan,
- 1 Ani Müdahale Mangası,
- 18 dakikadan daha az gecikmeli topçu ateşi desteği,
- 2-3 hassas güdümlü rokete sahip bir üs bölgesi olduğu tespit edilmiştir.

Müteakiben en tehlikeli senaryo olan "Büyük Grupla Yakın Mesafeli Saldırı" karşısında en etkin ÜB kongfigürasyonu sonuçları detaylı olarak incelenmiş ve en tehlikeli senaryo karşısında en etkin ÜB konfigürasyonunun ortalama zayiatı 6,4'den 3,3'e (%48 azalma) indirdiği tespit edilmiştir.

3.3 "MSG-124 Veri Çiftçiliği İle NATO İçin Uygulanabilir Karar Desteği Sağlamak" konulu çalışma grubu faaliyetleri

MSG-088 çalışma grubu faaliyetini tamamladıktan ve küçümsenmeyecek bir başarı elde ettikten sonra çalışmalarını devam ettirme kararı almış ve 2013 yılında "MSG-124 Veri Çiftçiliği ile NATO İçin Uygulanabilir Karar Desteği Sağlamak" konulu çalışma grubu olarak faaliyetine devam etmektedir. Söz konusu çalışma grubu yine katılımcı ülkelerin ihtiyaç ve ilgi alanlarına göre "Siber Savunma" ve "Harekat Planlama" konularında iki alt çalışma grubu şeklinde halen çalışmalarına devam etmektedir. Gruba daha sonradan İtalya ve Norveç de dahil olmuştur. Şimdiye kadar toplam 4 Uluslararası Veri Çalıştayı ve 6 Veri Çiftçiliği Çalışma Grubu Toplantısı icra edilmiş olup, çalışma grubu faaliyetini 2016 yılı sonunda tamamlayacaktır.

3.4 Siber savunma

NATO Müttefik Dönüşüm Komutanlığı tarafından belirlenen "NATO ağlarına yapılacak siber saldırılara karşı alınabilecek önlemlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi" temel problemi ile çalışmalara başlanmış, müteakiben katılımcı ülkelerin ihtiyaçlarına göre probleme son şekli verilmiştir. NetLogo yazılımı ile etmen tabanlı bir simülasyon modeli geliştirilmiş, ağda meydana gelen hassasiyetlerin harekât etkinliğine olan etkisini ölçmek için çok kriterli bir karar matrisi geliştirilmiş ve

simülasyon modeli ile matris entegre edilmiştir. Performans kriteri olarak ağdaki verilerin gizlilik (confidentiality), bütünlük (integrity) ve erişilebilirlik (availability) oranları ile ağa yapılan siber saldırılar neticesinde ağda oluşan hassasiyetlerin harekât alanındaki birliklerin harekat etkinliğine olan etkisi seçilmiştir. Müteakip aşamada anılan simülasyon modeli oluşturulacak deneysel tasarım matrisine göre yeteri sayıda koşturulacak simülasyon sonuçlarının analizi yapılacaktır.

3.5 Harekât planlama

Harekât Planlama alt çalışma grubunun amacı, "Herhangi bir NATO ülkesine yapılabilecek bir taarruzda elimizdeki imkan ve kabiliyetleri savunma için en iyi nasıl kullanılırız" araştırma sorusuna cevap vermek için analiz yapmak ve karar vericilere karar desteği sağlamaktır. Harekât planlama senaryosu olarak NATO tarafından kullanılan jenerik bir senaryo seçilmiştir. Senaryoya göre Kırmızı (mütecaviz) taarruzu hava harekâtı safhası, güç kaydırma safhası ve kara harekâtı safhası olmak üzere üç safhada modellenmiştir. İlk iki safha taktik seviyede çözünürlüğü yüksek, platform tabanlı ve 3 boyutlu PAXSEM yazılımı ile kara harekâtı safhası ise çözünürlüğü operasyonel seviyede, yetenek tabanlı zayiat modeline sahip ITSimBw yazılımı ile modellenmiştir. Her iki yazılımda Almanya'ya aittir. En son yapılan çalışma grubu toplantısında oluşturulan "Neredeyse Dengeli, Neredeyse Birbirine Dik, Karışık Tasarım" deneysel tasarımına göre Mavi (dost) unsurlara ait 512 parametre kombinasyonu, Kırmızı'ya ait 32 parametre kombinasyonu ve 20 taktik kombinasyon toplam 5'er kez koşturulacak ve simülasyon modeli toplamda 1,6 milyon kez koşturulacaktır. Müteakiben sonuçların analize geçilecektir.

4. SONUÇ

Veri Çiftçiliği alanında bugüne kadar toplam 29 Uluslararası Çalıştay, 17 Çalışma Grubu toplantısı, bu çalıştaylar ve toplantılarda 200'den fazla Veri Çiftçiliği uygulaması icra edilmiştir. Yine Veri Çiftçiliği ile müşterek harekât, komuta-kontrol harekâtı, ağ odaklı harekât, meskun mahalde muharebe, muharebe destek analizi:İnsansız Hava Aracı Sistemleri, barışı destekleme harekâtı, iç güvenlik, insani/afet yardım konularında 170'den fazla tez yazılmış ve 190'dan fazla uygulama icra edilmiştir.

Türkiye 2010 yılından itibaren Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) personeli, ASELSAN, ve Yüksek Başarımlı Hesaplama Merkezi (YBHM) temsilcileri ile Veri Çiftçiliği topluluğuna katılmıştır. Bugüne kadar her iki NMSG çalışması kapsamında, Harp Akademileri Komutanlığı Atatürk Harp Oyunu ve Kültür Merkezi'nde bir uluslararası çalıştaya ve iki çalışma grubu toplantısına ev sahipliği yapılmıştır. Bu çalışmalardan öğrenilen yöntemlerden TSK müşterek konseptlerinin simülasyon ortamında denenmesi faaliyetlerinde faydalanılmaktadır.

Özellikle veri bulmakta hayli sıkıntı çekilen harekat modelleme gibi konularda hesaplamalı deneyler ile veri üretilmesi, müteakiben üretilen milyonlarca verinin analiz edilerek en iyi çözüm alternatiflerinin bulunması ve karar vericilere hayati öneme sahip ve maliyeti çok yüksek ancak karar vermek için yeterli bilgiye sahip olunmayan konularda harekete geçmeden karar desteği sağlanması büyük öneme sahiptir. Günümüzde birbirinden bağımsız olarak belki de bu çalışmada geçen isimlerinden farklı isimlerle icra edilen beş farklı çalışma alanını işbirlikçi bir çerçeve içerisinde entegre eden Veri Çiftçiliği metodolojisi yeni imkanlar sunmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Horne, G. and Meyer, T. (2004). Data Farming: Discovering Surprise, in: R. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, (eds.), Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 171–180. Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[2] NATO MSG-088 Final Report, Data Farming in Support of NATO, 25 January 2013,

[3] Horne, G. (1999). Maneuver Warfare Distillations: Essence Not Verisimilitude, in: A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, (eds.), Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 1147–1151. Phoenix, AZ.

[4] Sanchez, Susan M (2014). Simulation Experiments: Better Data, Not Just Big Data, in: A.Tolk, S.D. Diallo, I.O. Ryzhov, L. Yılmaz, S.Buckley, and J.A.Miller (eds.), Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference, Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[5] Sanchez, Susan M and Wan, H (2012). Work smarter, not harder: A tutorial on designing and constructing simulation experiments, in: C. Laroque, J. Himmelspach, R. Pasupathy, O. Rose, and A.M. Urmacher (eds.), Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[6] Kleijnen JP, Sanchez SM, Lucas TW, Cioppa TM (2005). A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. *INFORMS Journal on Computing*. ;17(3):263-289.

[7] Vieira Jr., H., Sanchez, S. M., Kienitz, K. H. and Belderrain, M. C. N. (2011). Improved efficient, nearly orthogonal, nearly balanced mixed designs, in: S. Jain, R. R. Creasey, J. Himmelspach, K. P. White, and M. Fu., (eds.), Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

SİMÜLASYON SİSTEMLERİ İÇİN BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK STANDARTLARI VE BU ALANDA ÜLKEMİZDE YAPILAN BAZI ÇALIŞMALAR

Orkun Zorba [(a)], Abdülkadir Can [(b)], Serkan Özkaymak [(c)], Övünç Babadağı [(d)], Caner Kavakoğlu [(e)]

[(a), (b), (c), (d), (e)] Meteksan Savunma, Beytepe Köyü Yolu No.3 Bilkent 06800 Çankaya Ankara, {ozorba, acan, sozkaymak, obabadagi, ckavakoglu}@meteksan.com

ÖZ

Simülasyon sistemleri birlikte çalışabilirliği için dünyada DIS, HLA, TENA gibi farklı standartlar geliştirilmiştir. Özellikle IEEE tarafından oluşturulan, NATO ve SISO gibi kuruluşlar tarafından kabul gören HLA standardı bu alanda kullanılan en önemli standarttır. Son zamanlarda LVC gibi uygulamalar bu alandaki teknolojilerin yeniden değerlendirilmesine neden olmuştur. Ülkemizde ise dünyadaki gelişmelerin takip edildiği, HLA benzeri standartlara yabancı kaynaklı altyapı ve yazılım çözümleri ile uyulmaya çalışıldığı örnekler mevcuttur. HLA uyumlu geliştirilen SimBA RTI ürünü bu konudaki nadir milli örneklerden birisidir. Bu örnek bu alanda geliştirilecek ürün ve altyapıların standartlarla uyumlu, 3. parti ürünlere bağımlılığın olmadığı, çapraz platformu destekleyen, dinamik link uyumu gibi esnek yapıları barındıran özelliklere sahip olması gerektiğini göstermiştir. Yine DEHOS-JTLS birlikte çalışabilirlik uygulaması ile kazanılan birikim ise, bu tarz bir çalışmada geçit kapısı kullanımının detay anlamda ihtiyacı karşılamayabileceği, birlikte çalışabilirlik için ortak kapsam belirlenmesi gerektiği ve sistemlerin güncellemesine kadar gidebilecek bazı uyumlandırma çalışmalarını içerebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Birlikte çalışabilirlik, koşum zaman altyapısı, simülasyon sistemleri, standart, yüksek seviye mimari.

INTEROPERABILITY STANDARDS FOR SIMULATION SYSTEMS AND SOME EXAMPLES IN THIS AREA IN TURKEY

ABSTRACT

Various standards such as DIS, HLA and TENA were developed for the interoperability of simulation systems. HLA standard which was developed by IEEE and accepted by the organizations like NATO and SISO is the most important standard in this field.

Recently, applications like LVC led to re-evaluation of technologies in this field. In Turkey, there are some examples in which the developments in the world are followed, software solutions and infrastructures like HLA standard are applied. SimBA RTI is one the rare national examples developed compatible with HLA standard. This example shows that similar products and infrastructures should be developed compatible with the standards, independent from third party products, supporting the cross platforms and having the flexible structures like dynamic link compatibility, etc. On the other hand the knowledge owned from the DEHOS-JTLS interoperability example showed that the use of a gateway in these type of works cannot meet the requirement in detail, a common scope should be defined for interoperability and some adaptations may be required even causing some updates of the related simulations.

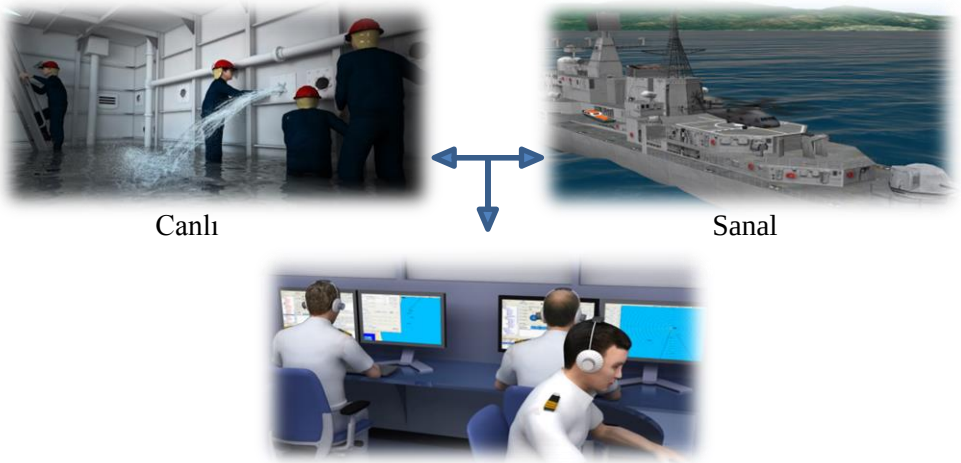
Keywords: High level architecture, interoperability, run-time infrastructure, simulation systems, standard.

1. GİRİŞ

Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) sistemleri için birlikte çalışabilirlik (interoperability), birden fazla benzer sistemin fiziksel olarak birbirine bağlı olması, birbirlerine mesaj, veri veya hizmet sunması ve sunulan bu mesaj, veri ve hizmetlerin sistemlerin bir arada çalışmaları için etkin bir biçimde kullanılması olarak tanımlanabilir. Böylece farklı simülasyon çözümlerinin güçlü yanları birleştirilerek, bu alanda kullanıcı ihtiyaçlarının daha iyi karşılanması hedeflenmektedir. Birlikte çalışabilirlik için sadece veri değişimi değil, simülasyonlar arası senkronizasyon da önem taşır. Bu amaçla IEEE'nin (Institute of Electrical and Electronics Engineers) tanımladığı DIS (Distributed Interactive Simulation) ve HLA (High Level Architecture), US DoD'nin (United States Department of Defence) tanımladığı TENA (Test and Training Enabling Architecture) gibi çok sayıda uluslararası standart tanımlanmıştır [1], [2], [3].

Son yıllarda canlı, sanal ve yapısal simülasyonların bir arada kullanıldığı ve LVC (Live, Virtual, Constructive) olarak adlandırılan uygulamalar giderek popüler olmaya başlamıştır (Şekil 1). ABD'de bu alanda bir mimari yol haritası oluşturulmaya başlanmıştır. Yol haritası, belirli bir standardın kullanımını zorunlu kılmak ya da tamamen yeni bir standart yaratmak yerine, mevcut standartları yavaş yavaş birleştirmek gibi bir yönü işaret etmektedir. Bu amaç doğrultusundaki ilk faaliyetler "ortak veri değişim modelleri" ve "federasyonlar anlaşma şablonları" geliştirilmesidir. Bu konudaki gelişmeler NATO tarafından da takip edilmekte ve NATO Modelleme ve Simülasyon Grubu üyeleri bu çalışmalara katılım konusunda teşvik edilmektedir. Ayrıca MODSİM dünyasında kavramsal birlikte çalışabilirlik modeli konusunda da çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [4].

Ülkemizde son yıllarda geliştirilmekte olan MODSİM projelerinin bir çoğunda birlikte çalışabilirlik ana isterlerden birisi olarak gündeme gelmektedir. Bu amaçla projelerde farklı içeriklerde çalışmalar yapılmakta ve uluslararası standartlara uyulmaya çalışılmaktadır, ancak henüz birlikte çalışabilirlik konusunda istenilen seviyelerde sonuçlara ulaşılamamıştır. Bu bildiride bu alandaki temel standartlar anlatılmakta, bu standartlardan en çok tercih edilen HLA ile ilgili ayrıntılı bilgiler bir uygulama örneği ile birlikte sunulmakta, örnek bir birlikte çalışabilirlik çalışmasından bahsedilmekte ve bir gelecek öngörüsü verilmektedir.



Şekil 1. Canlı, sanal, yapısal simülasyonların birlikte çalışabilirliği

2. BİRLİKTE ÇALIŞABİLİRLİK STANDARTLARI

Birlikte çalışabilirlik alanında çoğu zaman birbirini tekrar eden çok sayıda standart mevcuttur. Bu konuda MODSİM Platformu tarafından savunma sanayiinde MODSİM standartlarının kullanılmasına yönelik bazı öneriler yayınlanmıştır [5]. Bu önerilerin bir özeti aşağıda verilmektedir.

Hiçbir standart, akla gelen tüm MODSİM konularını adreslemeye çalışmaz. Farklı ihtiyaçlar için farklı standartlar tanımlanmış ve o ihtiyaçlara özel çözümler sunulmuştur. Bir standart bazı kritik gereksinimleri ayrıntılı, bazılarını yüzeysel olarak adresleyebilir, bazılarını ise hiç adreslemeyebilir. Örneğin HLA, standart federe-RTI arayüzünü detaylı, federasyon tasarımını genel ifadelerle tanımlar, sistemlerin nasıl modelleneceğine ise hiç karışmaz. Bu nedenle, HLA standardı birlikte çalışabilirliği sağlamak için kendi başına yeterli değildir, ilâve anlaşmalar ve veri model tanımlamaları da gerekebilir.

Mevcut birlikte çalışabilirlik standartları, simülasyonlar arasındaki veri değişimi ve zaman senkronizasyonu konularıyla ilgilenen “teknik” birlikte çalışabilirliği

adreslemektedir. Tüm simülasyon verilerinin uyumlu ve doğru biçimde paylaşılması ile ilgilenen "semantik" birlikte çalışabilirlikle ilgili ise herhangi bir detay verilmemektedir. Semantik birlikte çalışabilirlik, modellerin özel bir amaç için geliştirildiği zamanlarda geçerlidir. Bununla beraber, geliştiricilerin iki veya daha fazla modelin birlikte çalışabilirliğini belirlemesini sağlayacak dokümantasyon standardı bulunmamaktadır.

Spesifikasyonlar modellenen varlıklar (örneğin özel bir gemi, tipik bir organizasyon, bir kişi, kimyasal bir süreç, vb.), kabul edilebilir girdi değerleri, çıktı değerleri aralığı, çıktıların girdilere bağlı olduğu model davranışları, model geliştirme ve kullanma esnasında yapılan varsayımlar gibi bilgileri tanımlamak amacıyla kullanılmalıdır. Ayrıca birlikte çalışabilirliğin sağlanması için iyi tanımlanmış bir kavramsal modelleme standardına da ihtiyaç vardır.

Bir NATO standardizasyon anlaşması olarak onaylanan tek birlikte çalışabilirlik standardı STANAG 4603'teki HLA standardıdır [6]. Bununla birlikte, birlikte çalışabilirlik için DIS benzeri diğer standartlar da halen kullanılmaya devam etmektedir.

Gerekli efor ve maliyetler dikkate alındığında, iki sistemin birlikte çalışabilirliği için bir MODSİM standardı kullanılarak geliştirilen bir sistemin bir başkasına dönüştürülmesi yerine, çeşitli geçit kapıları da kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın bazı önemli kısıtlamaları olup, MODSİM toplulukları tarafından aranılan birlikte çalışabilirlik seviyesi henüz sağlanamamaktadır.

Yukarıdaki gözlemler çok sayıda MODSİM birlikte çalışabilirlik standardı olduğunu göstermekle birlikte, ancak bunların bir bütün olarak MODSİM birlikte çalışabilirliği ve yeniden kullanılabilirliğini sağlamada yeterli olduğunu söylemek güçtür. Bu alanda tek bir standardın varlığı tercih edilen bir çözüm olmasına rağmen, özellikle mevcut sistemlerin yeni MODSİM sistemlerinde kullanılması durumu için farklı standartların birlikte ele alınması daha mâkul görünmektedir.

Birlikte çalışabilirlik standartları içinde bir diğer boşluk askeri MODSİM alanında yaygın olarak kullanılan olay-güdümlü (event-driven) simülasyonlarla ilgilidir. Bu konuyla ilgili olarak şu tespitleri yapmak mümkündür: Kavramlar bazı akademik çalışmalarla ve SISO faaliyetleri ile standartlaştırılmakta, sadece NATO veya üyelerinin ilgi alanlarını değil bu alandaki genel uygulamaları adreslemektedir. Geliştirilmesi devam eden standartlara örnek olarak DEVS, SRML ve Açık MODSİM Mimarisi verilebilir [7]. Çok sayıda RAHAT (COTS) ürün birlikte çalışabilir değildir. Bu boşluk SISO COTS Ayrık Olay Simülasyon Paketi Birlikte Çalışabilirliği standardı (COTS Discrete Event Simulation Package Interoperability, CSPI) tarafından ele alınmaktadır [8]. HLA olay-güdümlü simülasyonlar ve gerçek-zamanlı uygulamalar arasındaki birlikte çalışabilirliği adreslemekte olup, bu konuda çeşitli gelişmeler olasıdır.

Ayrık olay simülasyonları ile ilgili uygun standartlar için çalışılmaktadır. Bununla birlikte, standartlardaki boşluklar birkaç yıl daha devam edecek gibidir, çünkü standartların geliştirilmesi ortalama beş yılda tamamlanmaktadır.

3. YÜKSEK SEVİYE MİMARİ

MODSİM sistemlerinin birlikte çalışabilirliği için oluşturulan standartların en bilinenleri IEEE DIS ve HLA, US DoD TENA ve OMG CORBA'dır [1], [2], [3]. Bunlar içinde uygulamada en fazla karşımıza çıkanı IEEE 1516 HLA (High Level Architecture; Yüksek Seviye Mimari) standardıdır. Günümüzde geliştirilmekte olan birçok MODSİM sisteminde bu standarda uyumluluk tavsiye edilmekte, hatta bazı ihalelerde standardın kullanımı zorunlu kılınmaktadır. Standarda uyumluluk, birlikte çalışabilirlik için önemli bir altyapı sağlamakta, ancak gerçek anlamda iki sistemin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması için ilgili sistem geliştiricilerinin ortak çalışması gerekebilmektedir. Standart bir IEEE standardı olmasına rağmen, NATO ve SISO gibi kuruluşlar tarafından da tavsiye edilmektedir. Öyle ki, NATO tarafından tanımlanan STANAG 4603'te IEEE 1516 standardına yönlendirilmektedir.

Yüksek Seviye Mimari, simülasyonlar için ortak bir mimari altyapısı sağlamak amacıyla geliştirilmiş entegre bir yaklaşımdır. Bu konudaki ilk IEEE standardı 2000 yılında yayınlanmıştır. HLA olgun bir standart olarak kabul edilmekte ve çok sayıda ülkede kullanılmaktadır. Güncel sürüm (2010'da yayınlanan HLA Evolved) NATO tarafından kullanılmaya başlanmıştır (örnek proje: Kar Leoparı Projesi - Snow Leopard Project). Standart, 3 teknik dokümandan oluşmaktadır: IEEE 1516-2010 (Çerçeve ve Kurallar), IEEE 1516.1-2010 (Federasyon Arayüz Özellikleri) ve IEEE 1516.2-2010 (Nesne Modeli Şablonu) [1]. Bu mimari içindeki standartlar birbirleriyle ilişkilidir ve bir ürün seti olarak değerlendirilmelidir; bir dokümandaki değişiklik diğer dokümanları da etkileyebilmektedir.

Çerçeve ve Kurallar dokümanı tüm ilgili HLA standart dokümanları için bir ön yazı niteliğindedir. Doküman HLA'i, bileşenlerini ve tutarlı bir gerçekleştirim için HLA federelerinin ve federasyonlarının sorumluluklarını belirleyen kuralları tanımlamaktadır. Federasyon Arayüz Özellikleri dokümanı HLA Koşum Zaman Altyapısı (RTI, Run-Time Infrastructure) için standart hizmetleri ve arayüzleri tanımlamaktadır. Bu hizmetler dağıtık bir federasyonda yer alan simülasyonlar tarafından koordineli bir veri alışverişi gerçekleştirmek üzere kullanılmaktadır. Nesne Modeli Şablonu dokümanı, bir simülasyon uygulaması tarafından üretilen ya da ihtiyaç duyulan bilgiyi tanımlayan nesne modellerini ve karşılıklı operasyonlar için gerekli ortak veri modellerini tanımlamak için kullanılmaktadır.

Yüksek Seviye Mimari simülasyon sistemlerinin ve varlıklarının yeniden kullanılabilirliklerini ve birlikte çalışabilirliklerini kolaylaştırmak için geliştirilmiş teknik bir mimari çözümdür. HLA geliştiricilere, simülasyon sistemlerini ve varlıklarını tanımlamak ve diğer simülasyon sistemleri ve varlıkları ile iletişim kurmak için genel bir çerçeve sağlamaktadır. Gerçekleştirimi öncelikle RTI geliştiricilerce yapılmaktadır. NATO ve PfP ülkelerinde yaygın olarak standarda uygun RTI gerçekleştirimi yapılmıştır. NATO federasyonları tarafından kullanımı kısıtlıdır. Ticari, açık kaynak kodlu ve devlet destekli bir çok destek araçları bulunmaktadır ve bunların bir çoğu standartın güncel sürümünü desteklemektedir.

HLA "tak-çalıştır" (plug and play) bir ürün tanımlamamaktadır. Standardın bazı kısımları RTI geliştiricilerinin inisiyatiflerine bırakılmıştır. Bu yüzden farklı RTI ürünlerinin birbirleri ile birlikte çalışmaları garanti edilmemektedir. Ancak HLA'in güncel sürümü ile bu durumda iyileşmeler sağlanmaktadır [9].

Ülkemizde geliştirilmekte olan MODSİM sistemlerinin birlikte çalışabilirliğinin sağlanması için IEEE 1516 HLA standardının kullanılması önerilebilir. Bu aynı zamanda milli geliştirilen sistemlerin uluslararası arenada benzer sistemlerle birlikte çalışabilirliğinin kurulabilmesi için de avantaj teşkil edecektir. Bu standart teknik olgunluğu, kullanım yaygınlığı, güncelliği ve uygulanabilirliği açısından benzer diğer standartlara göre oldukça öne çıkmaktadır. Bu standarda uyumlu geliştirilmiş koşum-zaman altyapı yazılımları, standarda uyumlulukta kullanılan en önemli araçlardır. Ülkemizde de bu konuda gerek özel sektörde, gerekse üniversitelerde bazı çalışmalar yapıldığı bilinmektedir.

4. SimBA RTI

SimBA RTI, IEEE HLA standardına uyumlu ve savunma sanayimizin temel hedefi olan milli ürün esaslarına göre, Meteksan Savunma tarafından TÜBİTAK TEYDEB desteği ile geliştirilen bir Koşum-Zaman Altyapı yazılımıdır [10]. SimBA RTI, Linux platformunda, açık kaynak araç ve kütüphanelerden faydalanılarak geliştirilmiş, üçüncü parti ticari bağımlılıklardan kaçınılmıştır. Bununla beraber, geliştirme sürecinde “cross-platform” ilkeleri benimsenmiş olup, son üründe herhangi bir platform bağımlılığı bulunmamaktadır.

SimBA RTI ürünü 3 ana bileşenden oluşmaktadır.

- *Utilities Library (LibUtil)*: İçerisinde çeşitli tanımların olduğu cross-platform kütüphane
- *Message Distribution Core (MDCore)*: Mesajlaşmayı sağlayan temel bileşen
- *RTI (HLA 1516)*: HLA 1516 ile ilgili kısımları barındıran bileşen

LibUtil, C++ standardında tanımlı olmayan thread, socket, dosya yapıları okuma, log alma, zaman yönetimi ve veri yapıları faliyetlerinde ileri seviyede yazılım geliştirmede kullanılabilecek yazılım birimlerine sahip bir C++ kütüphanesidir. SimBA RTI geliştirme faaliyetleri kapsamında, işletim sistemine bağlı olarak değişen tanımlar ile, projelerde kullanılan ortak veri yapıları ve fonksiyonların biraraya getirilmesiyle oluşturulmuştur. Kütüphane geliştirilirken göz önünde bulundurulan yaklaşım, kütüphanenin birden çok işletim sisteminde kullanımına olanak vermesini sağlamaktır. Kullanıcıdan kütüphane detaylarını bir soyutlama katmanı ile saklayan ve kütüphaneye sadece C++ arayüzleri ile erişime olanak veren bir tasarım yaklaşımı kullanılmıştr. Bu yaklaşım, sade bir arayüz ile sarmallanan nesnelerin ve işlevlerin kullanımını basitleştirmiştir. LibUtil kütüphanesi Windows, Linux, Solaris, Mac OS gibi farklı işletim sitemlerinin 32-bit ve 64-bit dağıtımlarında kullanılabilmektedir.

MDCore, standart DDS (Data Distribution Services) sistemlerine benzer şekilde konu (topic) tabanlı mesaj alım ve gönderim yapan ana kısımdır. MDCore hem “Reliable” hem de “Unreliable” mesajlaşmayı desteklemektedir. “Reliable” mesajlaşma TCP/IP protokolü ile sunucu ve istemci kanalları oluşturularak gerçekleştirilmektedir. “Unreliable” mesajlaşmada ise UDP protokolü kullanılmaktadır.

SimBA RTI’ın 3. ana bileşeni olan RTI kısmı için, temel olarak iki birimden söz etmek mümkündür: LRC ve RTI. Bu birimler tarafından alınan ve gönderilen her veri mesaj olarak adlandırılmıştır. IEEE 1516 standardı dökümanında tanımlı olan her servis için bir mesaj tanımlıdır. RTI ve LRC birimlerine verilmek üzere gelen mesajlar ve RTI ve LRC birimlerinin gönderdikleri mesajlar, katmanlarda farklı yapılar olarak ele alınarak bileşenler arası soyutlanma gerçekleştirilmiştir. RTI bileşeninden uzak LRC bileşenine gönderilecek olan bir mesaj öncelikle Message Sender katmanına aktarılır. Message Sender, gönderilen mesajı serialize edip ilgili “Topic” yapısına dönüştürerek MDCore katmanına iletir. MDCore katmanı gelen “Topic” yapısını bir “Byte Array” haline dönüştürüp LibUtil kütüphanesi aracılığıyla Operating System Network Infrastructure ve nihayetinde “Network Switch”e aktarır. Kullanılan protokole uygun olarak gönderilen mesaj alıcı tarafa (LRC) ulaşır. “Network Switch”ten alınan bilgi Operating System Network Infrastructure aracılığıyla MDCore katmanına “Byte Array” halinde ulaşır. Burada, gelen “Byte Array”, “Topic” haline dönüştürülerek Message Receiver katmanına aktarılır. Message Receiver, Topic halinde gelen bilgiyi deserialize edip karşılık gelen mesajı yaratır ve mesaj bilgisini bir üst katmana işlenmesi için iletir.

SimBA RTI, DLC (Dynamic Link Compatibility) için ilgili SISO DLC HLA API standardını da desteklemektedir [11]. Bu sayede, IEEE 1516 DLC C++ API uyumlu bir RTI kullanan simülasyon sistemi için RTI değişikliği sadece ilgili DLL’lerin değiştirilmesinden ibaret olmaktadır. Projelerde kullanılan DLC C++ API uyumlu

RTI'ların değiştirilebilmesi için, SimBA RTI'ın ilgili bilgisayara kurulumu ve DLL olarak SimBA RTI DLL'lerinin windows yol (path) değişkenine eklenmesi yeterlidir. DLC sayesinde simülasyon sisteminin tekrar derlenmesine gerek yoktur. DLC C++ API desteği olmayan RTI'ların değiştirilmesi için ise projenin SimBA RTI kütüphaneleri ve DLC C++ API uyumlu header dosyaları ile derlenmesi yeterli olacaktır. Ancak bazı durumlarda projenin HLA arayüzlerinde de bazı düzenlemeler yapmak gerekebilmektedir.

SimBA RTI, Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) projesinde denenmiş ve mevcut RTI yazılımlarına eşdeğer performans göstermiştir.

5. DEHOS-JTLS ENTEGRASYON DENEMESİ

JTLS (Joint Theatre Level Simulation), bilgisayar destekli, çok taraflı, çok kullanıcılı ve stratejik seviye bir simülasyon sistemidir [12]. 1983'den bu yana geliştirilmekte ve idame ettirilmekte olan JTLS, NATO ve ABD dâhil birçok farklı birim ve ülkede aktif olarak kullanılmaktadır. Müşterek harekâtı destekleyen sistem, kara, hava, deniz unsurlarını ve bu unsurların lojistik, istihbarat, muharebe ve intikallerini modellemektedir. Ayrıca operasyonel planların hazırlanmasını ve analizini sağlamaktadır. Simülasyon, altıgenlerden oluşan bir harita alt yapısı ile çalışır. JTLS sistemi, kara, hava unsurları ve bu unsurların gerçekleştirebileceği operasyonlar bakımından zengin olmasına karşılık deniz unsurları ve operasyonları bakımından kuvvetli değildir.

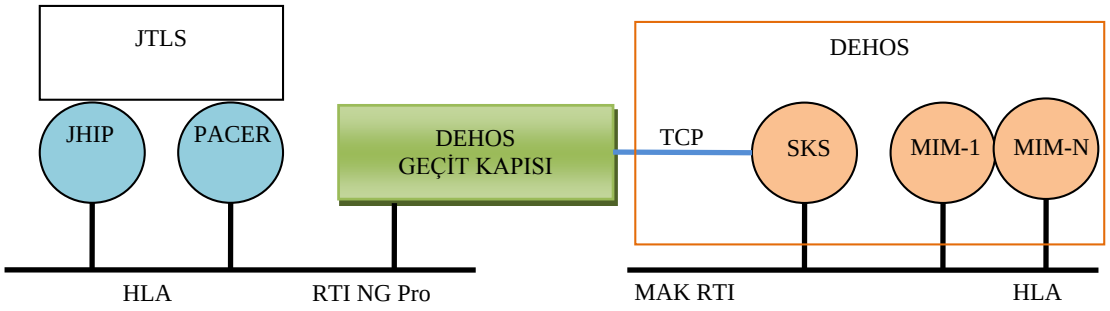
JTLS'in birçok farklı sistemle entegrasyonu denenmiştir. Bunlardan en yaygın olanları JCATS (Joint Conflict and Tactical Level Simulation) ve PIOVRA (Poly-Functional Intelligent Agents For Computer Generated Forces) ile yapılan entegrasyonlardır. Ayrıca NATO bünyesinde bir süredir JTLS-JCAT-VBS3 entegrasyonları denenmekte ve çeşitli platformlarda bu entegrasyona ait gösterimler yapılmaktadır.

DEHOS ise Meteksan Savunma tarafından milli imkânlarla geliştirilmiş yazılım ağırlıklı bir simülasyon çözümüdür [13]. Suüstü, denizaltı, hava savunmanın da dâhil olduğu 10 farklı harp nevini bünyesinde barındırmaktadır. DEHOS'un ana hedefleri küçük filo personeli ve komutan/kumandan seviyesi kullanıcılar için konsept geliştirme/değerlendirme ve operasyon hazırlığı/provası yapılmasına olanak sağlamaktır. Sistem planlama, koşturma, analiz ve raporlama olmak üzere harp oyunu yönünden bütün fonksiyonaliteye sahiptir. Yaklaşık 40 farklı tip simülasyon modeli 5 farklı kategori altında toplanmıştır: Platformlar, Silahlar, Sensörler, Karşı Tedbirler ve Muhabere Cihazları.

DEHOS-JTLS birlikte çalışabilirlik faaliyetleri, DEHOS projesi kapsamında, DEHOS'un diğer simülasyon sistemleri ile HLA üzerinden birlikte çalışabilirliğinin

denenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş faaliyetlerdir. Bu faaliyetler bir ön entegrasyon olarak denenmiş olup, ilerki dönemlerde daha detay bir entegrasyon ve birlikte çalışabilirlik hususları öngörülmektedir. Öte yandan bu ön entegrasyon faaliyeti yapısal simülasyonlar alanında ülkemizde yurt dışı kaynaklı bir sistemle milli bir sistemin entegre edilmeye çalışıldığı ilk uygulamalardan birisidir.

Ön entegrasyon sürecinde alınan en önemli karar JTLS üzerinde DEHOS entegrasyonuna yönelik bir gerçekleştirim yapılmayacağı sebebi ile mevcut JTLS ve JCATS entegrasyonu altyapısının, yani JMRM federasyonunun bu entegrasyonda kullanılması kararıdır. Bu amaçla Şekil 2'deki aşağıdaki entegrasyon şemasına uygun olarak, JMRM federasyonundaki JCATS Bridge yerine DEHOS Geçit Kapısının (DGK) geliştirilmesine karar verilmiş ve bu yapı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. JTLS-DEHOS Birlikte Çalışabilirliği

DEHOS projesinin ilk aşamalarında geliştirilen DGK, HLA 1.3 standartı ile kendisini JCATS olarak tanıtarak JMRM federasyonuna ve TCP üzerinden DEHOS Simülasyon Koşturma Servisi'ne (SKS) bağlanarak iki simülasyon arasında bir köprü kurmuştur. Bu köprü ile JTLS'in HLA'ye yayınladığı suüstü unsurları ve mevki güncellemeleri DEHOS tarafına aktarılmış ve bu unsurların DEHOS unsurları tarafından tespit edilmeleri ve harita üzerinde görüntülenmeleri sağlanmıştır. Bir sonraki aşamada ise sualtı, hava, sabit ve birlik aktarımı gerçekleştirilmiştir.

DEHOS Geçit Kapısının her iki federasyona bağlanması ile ilgili karşılaşılan problemler nedeni ile DGK ile SKS arasında yeni bir protokol üzerine bir TCP arayüz kurulmuştur. Ancak bu problemlerin aşılması ile daha sonraki gerçekleştirimlerde sistem tasarımı DEHOS Geçit Kapısının her iki federayona da bağlanması ve tam anlamı ile bir HLA geçit kapısı şeklinde davranması üzerine kurgulanmıştır.

Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi simülasyonlar arasında kurulan birlikte çalışabilirlik, simülasyonların güçlü yanlarını birleştirerek, kullanıcıların ihtiyaçlarına

daha iyi hizmet etmek için gerçekleştirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda iki simülasyon sistemi arasında gerçekleştirilecek bir entegrasyon için bir kapsam belirlenmelidir. Bir gemi ve sonar simülasyonunun entegrasyonunda kapsam basitçe tanımlanabilir. Ancak birbirleri ile örtüşen, farklı sadakat seviyelerinde fonksiyonlara sahip iki büyük simülasyon sisteminin entegrasyonunda kapsamı belirlemek oldukça zorlu bir iştir.

JTLS-JCATS entegrasyonu için de bir kapsam belirlenmiş ve entegrasyona yönelik gerçekleştirilen faaliyetler bu kapsama göre şekillenmiştir. JTLS tarafında JCATS entegrasyonuna yönelik olarak JHIP, Pacer ve ELS birimleri geliştirilmiştir. Özellikle ELS bu entegrasyon için geliştirilen özel bir birimdir. JTLS stratejik bir simülasyon olduğu için unsur seviyesinde basit modellere sahip olduğu gibi tümleşik seviyede modeller de barındırmaktadır. Örnek olarak bir uçak filosu veya bir tümen tek bir modelle tanımlanabilmektedir. JCATS'de ise er seviyesinde modelleme mevcuttur. ELS birimi JTLS'deki tümleşik seviye modellerin parçalanmasını ve bunların JCATS'de karşılık geldikleri unsur seviyesindeki modeller ile senkronizasyonunu yürüten birimdir. JTLS-JCATS entegrasyonu kapsamında, JTLS üzerinde yürütülen geniş bir stratejik harekât içerisinde, belli bir alandaki kara harekâtının detaylı bir şekilde JCATS ile gerçekleştirilmesi öngörülmüştür

Daha detaylı bir DEHOS-JTLS birlikte çalışabilirliği düşünülürse, öncelikle bir kapsam belirlenmesi gerekir. Ancak bu kapsam, DEHOS entegrasyonuna yönelik JTLS'de herhangi bir geliştirme yapılmadığı sürece DEHOS JCATS'i taklit edeceğinden, JMRM federasyonu için belirlenen kapsam ve gerçekleştirimlerin üzerine çıkamayacaktır. Örnek bir birlikte çalışabilirlik senaryosunda JTLS ile geniş kapsamlı, müşterek, stratejik bir oyun oynanır iken, belli bir bölgedeki deniz harekâtının; suüstü, sualtı, mayın harekâtları ve deniz unsurlarını destekleyici lojistik harekâtların DEHOS ile oynanması amaçlanabilir. Bu durumda kara, hava ve bunları destekleyici lojistik harekâtların tamamı JTLS'de, suüstü ve sualtı unsurları ise DEHOS tarafında oynanmalıdır. Hava unsurları JTLS tarafında oynanabilir, ancak deniz harekâtlarını destekleyici şekilde DEHOS tarafında da hava unsurları olabilir.

Hangi unsurların ne şekilde JTLS ve DEHOS tarafları arasında aktarılacağını belirlemek için öncelikle JMRM FOM yapısına, obje aktarım ve sahiplik devretme kurallarına bakılması ve sonra DEHOS-JTLS entegrasyonu için obje eşleştirmesinin yapılarak, obje aktarım ve sahiplik devretme kurallarının tanımlanması gerekmektedir.

Tüm bunların ötesinde bu tarz detay bir entegrasyon için hem JTLS, hem de DEHOS tarafından çalışmalar yapılması, ortak FOM, SOM yapılarının belirlenmesi ve iki birim tarafından kullanılan teknoloji ve standartların da bu kapsamda uyumlandırılması gerekmektedir. Entegre oynanacak oyun kapsamında kullanılacak unsurlar kapsamında birbirine paralel JTLS senaryosu ve DEHOS envanteri manuel olarak hazırlanmalı,

JTLS senaryosundan kaba DEHOS senaryosu otomatik üretilerek güncellenebilmeli ve hazırlanan entegre oyun senaryosu JTLS ve DEHOS sistemlerine yüklenerek koşturulmalıdır. Kara ve hava harekâtları JTLS üzerinde, deniz harekâtları DEHOS üzerinde oynanmalı, deniz, hava ve kısmen birlik ve sabit unsurlar her iki sistem üzerinde de izlenebilmelidir. Hava unsurları ve deniz unsurlarından yapılacak angajmanlar iki sistem arası entegre edilmeli, deniz lojistik destek harekâtı, mayın harekâtları ve amfibi harekâtı tamamen DEHOS üzerinde oynanmalı ve kısmen JTLS üzerinden izlenebilmelidir.

JTLS entegrasyonu dışında DEHOS'un Amerika'da geliştirilmiş OneSAF sistemi ile de bir entegrasyon denemesi gerçekleştirmesi planlanmış ancak çalışma OneSAF tarafından yeterli destek alınamadığı için daha ileri götürülememiştir [14]. Benzer şekilde, bundan sonraki JLTS birlikte çalışabilirliği için de ilgili üreticinin de doğrudan işin içinde olduğu bir planlama yapılmalıdır.

6. SONUÇ

Simülasyon sistemleri birlikte çalışabilirliği konusunda son yıllarda DIS, HLA, TENA benzeri standartların dışında LVC benzeri uygulamalar da giderek önem kazanmaya başlamıştır. ABD ve NATO'nun öncülük ettiği bu çalışmalar birçok ülke tarafından takip edilmekte ve bunlar çeşitli ulusal çözümlerde de denenmektedir. Ülkemizde ise bir süredir simülasyon projelerinde standartlara uyumluluk konusuna önem verilmekte, bu amaçla geliştirilen sistem ve projelerin uluslararası standartlara uyumluluk kapsamında bazı hazır çözüm yazılım ve altyapılar kullandıkları görülmektedir. Son dönemde hazır çözümler dışında bazı özel çözümler de geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlardan birisi SimBA RTI olup, yüksek seviye mimari uyumluluğu konusunda benzer koşum zaman altyapı yazılımlarının performanslarına yakın sonuçlar göstermiştir.

Birlikte çalışabilirlik uygulamalarına bakınca, farklı simülasyon sistemleri arasındaki birlikte çalışabilirlik için özel altyapı yazılımları kullanılmasından daha fazlasına ihtiyaç olduğu değerlendirilmektedir. Bu amaçla verilen DEHOS-JTLS birlikte çalışabilirlik denemesinde gelinen nokta itibarı ile, birlikte çalışabilirliğin daha sağlıklı kurulabilmesi için ortak senaryolar oluşturulması, senaryo kapsamında gerçekleştirilecek görevler için ilgili görev alanında uzmanlaşmış sistemin öne çıkması, ortak FOM ve SOM hazırlanması ve gerektiği anlarda entegrasyon için sistemlerin bazı özelliklerinin güncellenebilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Artık ülkemizde de birlikte çalışabilirlik konusu sadece mevcut standartlara uyum olarak algılanmamalı, LVC gibi yeni uygulamalar dikkate alınmalı, sistemlere özel altyapı ve çözümler geliştirilmeli ve geliştirilen sistemlerin mimarileri bu tür genişlemelere uygun olarak tasarlanmalıdır. Yüksek seviye mimari, bu alanda uyulacak

en olgun standart olup, hazır altyapılar yerine çapraz platform desteği olan, 3. parti ürünlere bağımlılığı olmayan, dinamik link uyumlu özel geliştirilmiş yazılımlar tercih edilebilir. Önümüzdeki yıllarda bu alanda daha sağlıklı yapılar oluşturulması için mevcut standartlar içinde kendini kanıtlamış, olgun uluslararası standartlara uyumluluk sağlanmalı, gerektiği durumlarda ulusal standartlar geliştirilmeli ve sistemler birlikte çalışabilirlik koşullarına uygun şekilde tasarlanmalıdır.

7. KAYNAKÇA

[1] IEEE (2010), Standard for Modeling and Simulation High Level Architecture (HLA) – IEEE 1516.

[2] IEEE (2012), Standard for Distributed Interactive Simulation (DIS) – IEEE 1278-1.

[3] US DoD, The US Army Test and Training Enabling Architecture (TENA).

[4] Wang, W., et.al. (2009), The Levels of Conceptual Interoperability Model: Applying Systems Engineering Principles to M&S, *SpringSim'09 Proceedings*, San Diego-USA.

[5] MODSİM Platformu (2014), Savunma Sanayiinde MODSİM Standartlarının Kullanılmasına Yönelik Öneriler.

[6] NATO (2008), Modeling And Simulation Architecture Standards For Technical Interoperability: High Level Architecture – STANAG 4603.

[7] SISO (2013), Simulation Reference Markup Language User Guide.

[8] SISO (2010), Standard for Commercial-off-the-shelf Simulation Package Interoperability Reference Models – SISO-STD-006-2010.

[9] Möller, B. (2008), HLA Evolved – A Summary of Major Technical Improvements.

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

[11] SISO (2014), Standard for Dynamic Link Compatible HLA API Standard for the HLA Interface Specification (IEEE 1516.1 Version) – SISO-STD-004.1-2004.

[12] Rolands and Associates (2013), Joint Theatre Level Simulation (JTLS) Executive Overview.

[13] Zorba, O., Atun, M., Can, A. (2013), Deniz Harp Oyunu Sistemi ve Kazanımlar, *USMOS 2013* ODTÜ, Ankara.

[14] Altan, E.Z., Zorba, H.O. (2013), Harp Oyunu Simülasyonlarının Entegrasyonu İçin Birlikte Çalışabilirlik Uygulamaları, *USMOS 2013* ODTÜ, Ankara.

TUSAŞ Sistem Entegrasyon Laboratuvarı Doğrulama Yazılımları Altyapısı (SDYA): Geliştirme, Doğrulama ve Geçerli Kılma Deneyimleri

Abdullah Samet Nargül [(a)], Kadriye Güçlü [(b)],

Halil İbrahim Ülgen [(c)], Aylin Kalebek [(d)],

Necdet Engin Öztuna [(e)], Uğur Melih Sürme [(f)], Uğur Çakır [(g)]

[(a) (b),(c),(d),(e),(f),(g)] TUSAŞ Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı

TUSAŞ - Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. 06980, Kazan, Ankara

[(a)]snargul@tai.com.tr, [(b)]kguclu@tai.com.tr, [(c)]hulgen@tai.com.tr,
[(d)]akostekli@tai.com.tr, [(e)]eoztuna@tai.com.tr, [(f)]msurme@tai.com.tr,
[(g)]ucakir@tai.com.tr

ÖZ

TUSAŞ bünyesinde geliştirilen Özgün SEL Doğrulama Yazılımları Altyapısı (SDYA), emniyet kritik/güvenilir yazılımların entegrasyon ve test aşamalarında sistem entegrasyon laboratuvarında kullanılan bir altyapıdır. SDYA, CMMI (Capability Maturity Model Integration) Seviye 3 uyumlu TUSAŞ Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı (USGB) süreçleri, RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics) kılavuzlarından DO-178B, ECSS (European Cooperation for Space Standardization) standartlarından ECSS-E-ST-40C Software, ECSS-Q-ST-80C Software Product Assurance ve ECSS-E-TM-40-07 Simulation Modelling Platform (SMP-2) rehber alınarak geliştirilmiştir. Çapraz platform desteği, dağıtık mimari, gerçek zamanlılık, grafiksel kullanıcı arayüzleri, aviyonik veriyolları arayüzleri (MIL-STD-1553, Ethernet, Seri, vb.), mühendislik-ham veri dönüşümleri ve performans kabiliyetleri öne çıkan özellikleri arasındadır. Bu makalede, SDYA'nın, uygulanan süreçler ve referans alınan standartlar doğrultusunda geliştirilmesi, geçerli kılınması ve doğrulanması ile ilgili deneyimler anlatılmaktadır. Bu kapsamda, kullanılan teknolojiler ve teknikler, geliştirilen test altyapısı, gerçekleştirilen test, analiz ve gözden geçirme aktiviteleri, elde edilen sonuçlar ve metrikler sunulmaktadır. Ayrıca, elde edilen deneyim ve geliştirilen alt yapıyı havacılık/uzay alanındaki projelerde potansiyel entegrasyon ve test ortamlarına uyarlama senaryoları ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Araç kalifikasyonu, Aviyonik veri yolları, CMMI, Çapraz platform, Dağıtık mimari, DO-178B, ECSS, Gerçek zamanlı, SEL, Simülasyon, Sistem Entegrasyon Laboratuvarı, SMP-2, Yazılım Doğrulama ve Geçerli Kılma

TAI INDIGENOUS SYSTEM INTEGRATION LABORATORY VERIFICATION SOFTWARE INFRASTRUCTURE (SDYA): DEVELOPMENT, VERIFICATION AND VALIDATION EXPERIENCE

ABSTRACT

The Indigenous System Integration Laboratory (SIL) Verification Software Infrastructure (SDYA), which is developed by Turkish Aerospace Industries (TAI), is an infrastructure allowing the development of the verification software used in system integration laboratory for the integration and testing of safety critical / reliable software. SDYA is developed in accordance with CMMI (Capability Maturity Model Integration) Level 3 compliant TAI Space Systems processes, DO-178B guideline of RTCA (Radio Technical Commission for Aeronautics), ECSS-E-ST-40C Software, ECSS-Q-ST-80C Software Product Assurance and ECSS-E-TM-40-07 Simulation Modelling Platform (SMP-2) standards of ECSS (European Cooperation for Space Standardization). Cross platform support, distributed architecture, real-time operation support, graphical user interfaces, avionics bus interfaces (MIL-STD-1553, Ethernet, Serial, etc.), engineering-raw data conversions and performance capabilities are amongst its features coming into prominence. In this article, activities related to the development, validation and verification of SDYA according to the applied processes and reference standards are explained. In this scope, technologies and techniques used, test infrastructure developed, test, analysis and review activities performed, results and metrics obtained are introduced. Also, adaptation scenarios of the experience gained and the infrastructure developed to the potential integration and test environments in aviation / satellite projects are discussed.

Keywords: Avionic data buses, CMMI, Cross platform, Distributed architecture, DO-178B, ECSS, Real time, SIL, Simulation, SMP-2, System Integration Laboratory, Software Validation and Verification, Tool Qualification

1. GİRİŞ

Sistem Entegrasyon Laboratuvarı (SEL), projelerin erken aşamalarında aviyonik sistemlere yönelik hataların tespit edilmesi ve giderilmesi, dolayısıyla teknik risklerin azaltılması, maliyetin düşürülmesi ve geliştirme süresinin kısaltılmasına olanak sağlamaktadır.

Bu nedenle, TUSAŞ'ın insanlı/insansız hava araçları ve uydu sistemleri gibi emniyet kritik/güvenilir yazılım geliştirme ve entegrasyon sorumluluğu üstlendiği projelerde, SEL ortamından yararlanılmaktadır.

SEL Doğrulama Yazılımları Altyapısı (SDYA), entegrasyon ve test aşamalarında SEL'de kullanılan doğrulama yazılımlarının geliştirilmesine olanak sağlayan, TUSAŞ Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı (USGB) Yazılım Ekibi tarafından geliştirilmiş bir altyapıdır.

Bu makalede, SDYA mimarisi, kullanılan teknolojiler, yazılım bileşenleri ve doğrulama ve geçerli kılma deneyimleri anlatılmaktadır. Ayrıca, elde edilen deneyimlerin ve geliştirilen alt yapının havacılık/uzay alanındaki projelerde mevcut ve potansiyel entegrasyon ve test ortamlarına uyarlama senaryoları ele alınmaktadır.

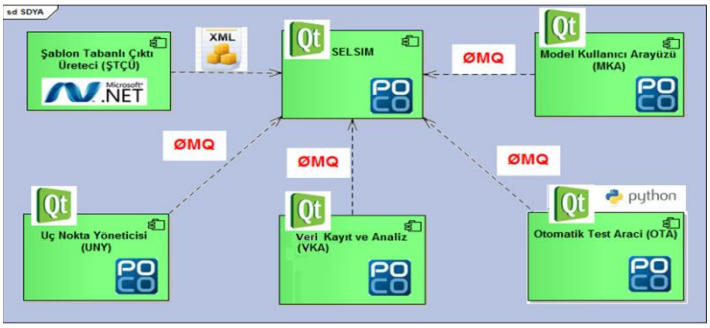
2. SDYA'YA GENEL BAKIŞ

SDYA, laboratuvar ortamında gerçek ekipmanların fonksiyonel davranışlarını taklit edebilen ve gerçek aviyonik arayüzler üzerinden merkezi işlemci birimleri ve diğer ekipmanlarla haberleşebilen, doğrulama yazılımlarının geliştirilebilmesi için oluşturulmuş bir altyapıdır [5]. SDYA, geliştirilen emniyet kritik/güvenilir yazılımların, yazılım ve donanım arayüzlerinin test edilmesi, aviyonik sistem entegrasyonu, gerçek ekipmanlar yerine simülasyon modellerinin kullanılması, kabul testlerinin yapılması, ekipman arıza tespiti, operatör eğitimi ve test otomasyonu gibi ihtiyaçlara cevap vermektedir.

SDYA, CMMI Seviye 3 uyumlu TUSAŞ USGB süreçlerine, RTCA DO-178B [1], ESA ECSS-E-ST-40C Software [2], ECSS-Q-ST-80C Software Product Assurance [3] ve ECSS-E-TM-40-07 Simulation Modelling Platform (SMP-2) [4] standartlarına uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu rehber ve standartların "Araç Kalifikasyonu" gereksinimleri temel alınarak, bağımsız bir ekip tarafından doğrulama ve geçerli kılma faaliyeti yürütülmüştür. Üretilen ve gerektiğinde ürünün sertifikasyonuna da hizmet eden çıktılar ve geliştirilen test altyapısı SDYA teknik veri paketi içine dahil edilmiştir.

3. BİLEŞEN TABANLI SDYA MİMARİSİ VE TEKNOLOJİ SEÇİMLERİ

SDYA geliştirme sürecindeki kritik teknolojilerin seçimi CMMI Karar Analiz ve Çözüm (KAÇ) süreciyle gerçekleştirilmiştir. SDYA bileşen tabanlı mimarisi [6] ve seçilen teknolojiler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. SDYA Seçilen Teknolojiler ve Bileşen Tabanlı Mimari

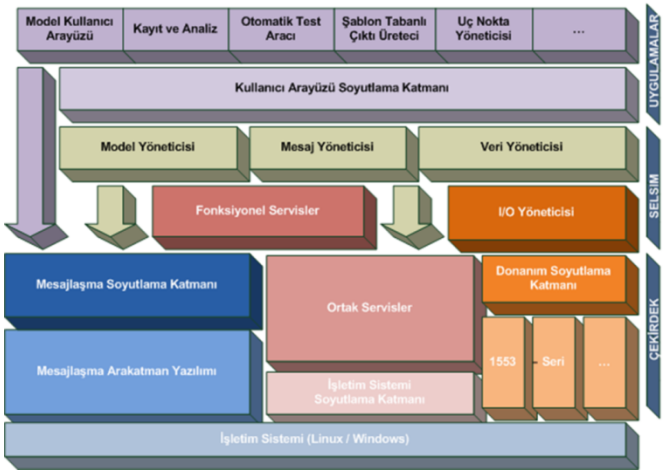
SDYA geliştirme sürecinde dağıtık mimari gereksinimlerinin karşılanması ve yazılım modülleri arasındaki veri iletişiminin sağlanması için ZeroMQ [7] arakatman yazılımının kullanılmasına karar verilmiştir.

Kullanıcı arayüzü geliştirme aracı olarak, dil desteği, çapraz platform yazılımları desteği, performans kriterleri, öğrenim ve kullanım kolaylığı gibi kriterler göz önünde bulundurularak Qt [8] seçilmiştir. Qt yazılımının "signal-slot" yapısı, kullanıcı arayüzü bileşenlerinin model ile olan iletişimini kod karmaşıklığı olmadan, kolay anlaşılabilir bir şekilde ve kısa sürede gerçekleştirilmeye olanak sağlamaktadır.

SDYA'nın "RT_preempt Linux" [9] gibi gerçek zamanlı bir işletim sistemi üzerinde çalışabilmesi için Qt Framework ve "POCO" [10] gibi çapraz platform yazılım kütüphaneleri kullanılarak ayrık bir bileşen mimarisi ve modüler bir tasarım oluşturulmuştur. Gerçek zamanlı Linux işletim sistemi ile ZeroMQ arakatman kütüphanesinin entegrasyonu yüksek performanslı bir ürün ortaya çıkarmıştır.

4. SDYA MİMARİSİ

SDYA Mimarisi oluşturulurken SMP-2 standardı göz önünde bulundurmuş, yaklaşım olarak Katmalı Mimari yapısı seçilmiştir. SDYA Katmanlı Mimarisi Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. SDYA Katmanlı Mimarisi

SMP-2, bileşen tabanlı tasarım ve Model Driven Architecture (MDA) yapıları ile UML ve XML standartlarını temel alarak, simülasyon modelinin platforma özgü ve platform bağımsız özelliklerinin ayrı ayrı değerlendirilmesi prensibini desteklemektedir.

SDYA mimarisinde katmanlı bir mimari yaklaşımı uygulanmıştır [6]. Bu mimariyi üç başlıkta inceleyebiliriz:

1. Çekirdek katmanı, mimarinin ana bileşenidir. Ortak Servisler, İşletim Sistemi Soyutlama Katmanı, Mesajlaşma Soyutlama Katmanı ve Donanım Soyutlama Katmanını (DSK) içermektedir.
2. SELSIM katmanında Model Yöneticisi, Mesaj Yöneticisi, Veri Yöneticisi, Fonksiyonel Servisler ve I/O Yöneticisi bulunmaktadır.
3. Uygulama katmanında, Kullanıcı Arayüzü Soyutlama katmanı, Model Kullanıcı Arayüzü, Veri Kayıt ve Analiz Aracı, Otomatik Test Aracı, Uç Nokta Yöneticisi ve Şablon Tabanlı Çıktı Üreteci uygulamaları bulunmaktadır. Projeye özgü olarak geliştirilen simülasyon modelleri de bu katmanın içinde yer almakta ve SELSIM Katmanıyla arayüzleri bulunmaktadır.

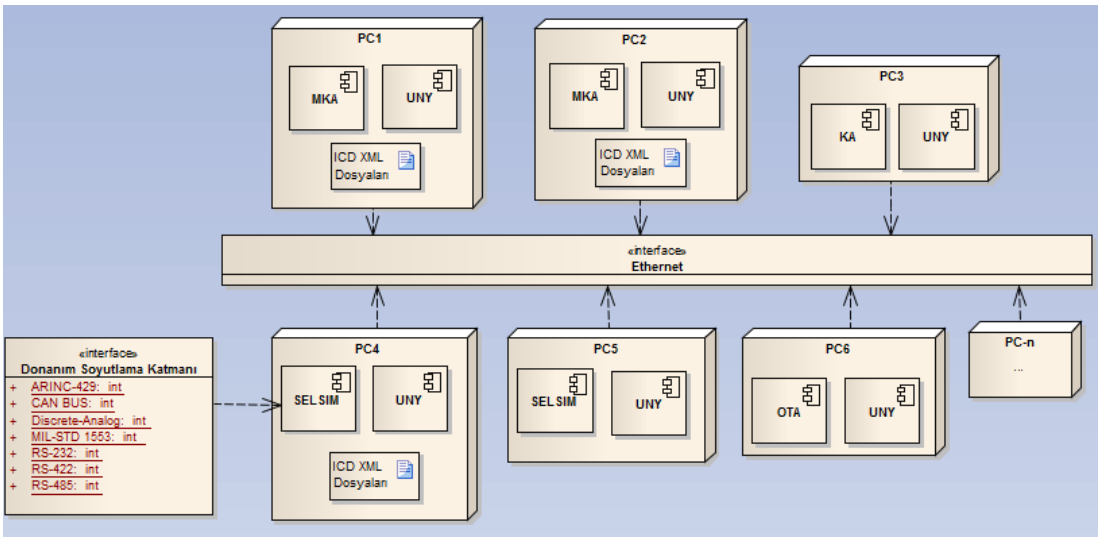
Dağıtık mimari ve arakatman yazılımı sayesinde simülasyon modelleri birden fazla bilgisayarda çalıştırılabilmektedir. Bu sayede yoğun işlem gerektiren simülasyon modellerinin, performansı etkilemeden çalıştırılması sağlanmaktadır. Uç Nokta yöneticisi kullanılarak sistemdeki bilgisayarlar üzerindeki sağlık bilgileri ve uygulama çalıştırma/kapatma işlemleri gerçekleştirilebilmektedir.

5. SDYA YAZILIM MODÜLLERİ

SDYA aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

- SELSIM: Durum/mod yönetimi, zaman ve çerçeve yönetimi, aviyonik cihazlara ait fonksiyonel modellerin yönetimi, I/O arayüzlerinin yönetimi, veri yönetimi (ham - mühendislik veri dönüşümleri), dağıtık/paylaşımlı ağ üzerinden veri alış verişi ve hata raporlama işlevlerini gerçekleştirir.
- Model Kullanıcı Arayüzü (MKA): Metin Tabanlı Panel ve Görsel Panel bileşenlerinden oluşur. Modellere ait mesaj alanlarına veri girişi yapmak ve verileri monitör etmek üzere grafik kullanıcı arayüzleri oluşturulmasını sağlar.
- Veri Kayıt ve Analiz Aracı (KA): Dağıtık/paylaşımlı ağ üzerinden gelen bütün simülasyon verilerinin kaydının ve bu kayıtların analizinin yapılmasını sağlar.
- Otomatik Test Aracı (OTA): Elemana değer atama ve okuma, simülasyon durumunu değiştirme gibi işlemlerin betik dili ve uygulama programlama arayüzü (Python, C++ ve C# desteği) aracılığıyla yapılmasını sağlar.
- Uç Nokta Yöneticisi (UNY): Ağda dağıtık olarak çalışmakta olan bütün SDYA bileşenlerinin çalışma durumlarını ve işlemci/bellek kullanımını gösterir ve kullanıcıya bunları yönetme imkanı sağlar.
- Şablon Tabanlı Çıktı Üreteci (ŞTÇÜ): Simülasyon altyapısında kullanılacak veri yapılarını içeren ortak kod ve yapılandırma dosyalarının veritabanından üretilmesini sağlar.

Birden fazla bilgisayar ile oluşturulmuş örnek bir kurulum Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. SDYA Örnek Kurulum Gösterimi

6. DOĞRULAMA VE GEÇERLİ KILMA YAKLAŞIMI

Gerçekleştirilen doğrulama ve geçerli kılma faaliyetlerinde, SDYA'nın, uygulanan süreçlerde ve referans alınan standartlarda yer alan yazılım doğrulama aracı kalifikasyon kriterlerine uygunluğu esas alınmıştır. Bu kapsamda;

- Yazılım Test Planı hazırlanmıştır.
- Yazılım Geliştirme ile Doğrulama ve Geçerli Kılma sürecindeki tüm çıktılar (planlar, gereksinimler, kaynak kod, testler) gözden geçirilmiş ve konfigürasyon kontrolü altına alınmıştır. Gözden geçirme faaliyetlerinde bağımsızlık kriterine (yazar ve gözden geçiren farklı kişiler olması) uyulmuştur.
- Gereksinim kapsama analizi yapılmış, yapısal kapsama analizi ise yazılım doğrulama aracı kalifikasyon kriterleri arasında olmadığı için yapılmamıştır.
- Süreç boyunca planlı kalite denetimleri gerçekleştirilmiş, resmi test koşuları kalite ve/veya müşteri gözetiminde yapılmıştır.

6.1. Test Altyapısı, Test Mimarisi ve Kullanılan Teknolojiler

SDYA geliştirme sürecinde izlenen arttırımsal yazılım geliştirme modeli çerçevesinde geliştirme faaliyetlerine paralel olarak Yazılım Konfigürasyon Parçası (YKP) seviyesinde test faaliyetleri de gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, geliştirme ortamından bağımsız bir test ortamı hazırlanmış ve YKP bazında gereksinim temelli kara kutu testleri geliştirilmiştir. Test girdi değerlerinin belirlenmesinde, sınır değer ve denklik sınıfı yaklaşımları uygulanmıştır. Bileşen seviyesindeki bu testler, YKP-YKP entegrasyon testleriyle ve testin uygulanabilir bir yöntem olmadığı durumlarda, kod inceleme gibi yöntemlerle de desteklenmiştir.

Test faaliyetlerinde; verimlilik ve tekrarlanabilirlik ihtiyaçlarını karşılayabilmek için azami ölçüde otomasyon sağlanması hedeflenmiştir. Fakat tüm testler için otomasyon yapmaya çalışmak her durumda etkin bir yöntem olmamaktadır. Bu nedenle, otomasyon kararı almadan önce, proje takvimi, bütçe, mevcut altyapı, personelin deneyimi, projenin büyüklüğü ve olgunluk seviyesi gibi hususlar dikkate alınmıştır [11].

Geliştirilen yazılımlar genel olarak Grafiksel Kullanıcı Arayüzüne (GKA) sahip yazılımlar olduğu için testlerde de odak noktası GKA testleri olmuştur. Manuel yapılan kara kutu GKA testleri zaman alıcı ve zorlu [12] olacağından Froglogic firmasının Squish [13] isimli GKA test otomasyon aracının kullanımına karar verilmiştir.

GKA otomasyon çözümü sunan araç ya da altyapılarda karşılaşılan en büyük zorluk GKA nesnelerinin tanınması ve ayırt edilmesidir [14]. Squish'in bu konuda sunduğu "Object Map" ile nesnelerin gerçek veya sembolik isimlerini kullanabilme gibi yetkinlikleri sayesinde testlerin idamesinde kolaylık sağlanmıştır.

Testlerin yazımında aracın desteklediği betik dillerinden Python seçilmiştir.

Test sonuçlarının otomatik olarak oluşturulması ve raporlanması için yine Python betik dilinde test ekibi tarafından yazılan kod paketi Squish'e entegre edilerek kullanılmıştır.

6.2. Test Aktiviteleri ve Teknikler

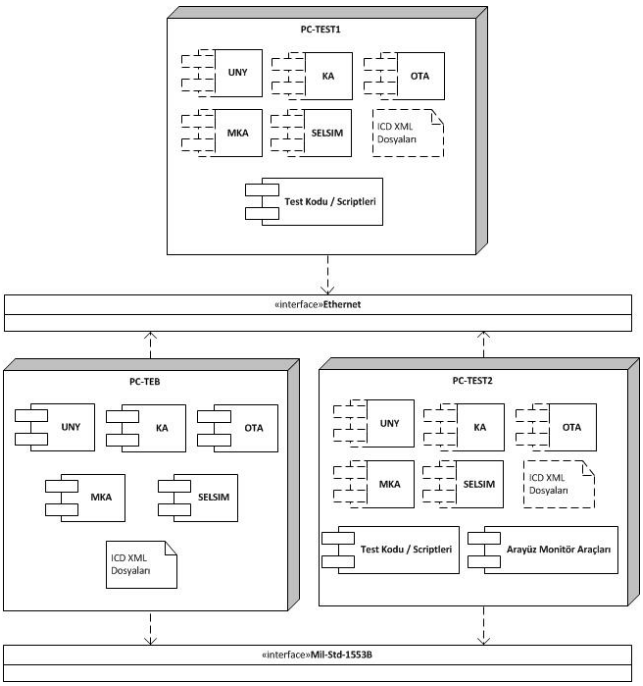
6.2.1. Çapraz Platform Odaklı Test Faaliyetleri

Çapraz platform gereksinimi test sürecini de doğrudan etkilemiştir. Çapraz platform, geliştirilen uygulamaların birden fazla platformda koşturulabilmesi anlamına gelmektedir. SDYA'da bu gereksinim, geliştirilen yazılımların hem Windows hem de Linux için derlenmesi ve çalıştırılabilir kaynak kodun üretilmesi ile sağlanmıştır.

Squish aracının ve Python betik dilinin seçiminde çapraz platform gereksinimi de bir kriter olmuştur. Squish ve Python hem Windows hem de Linux işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Bu sayede geliştirilen testler değişiklik yapılmasına gerek olmadan platform bağımsız olarak çalışabilir olmuştur. İşletim sistemine göre değişiklik gösteren (örneğin dosya dizin yapıları gibi) durumlarda test kodu çalıştığı işletim sistemini anlayarak gerekli seçimi yapacak şekilde düzenlenmiştir.

6.2.2. Dağıtık Mimariye Yönelik İsterlerin Test Edilmesi

SDYA dağıtık mimaride çalışabilecek şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Tüm yazılım bileşenleri tek bir bilgisayarda çalıştırılabileceği gibi birden fazla bilgisayara da dağıtılarak kolaylıkla yapılandırılabilmektedir. Dağıtık mimariye yönelik gereksinimlerin testlerinde 1, 2 ve 3 bilgisayar kullanımlı senaryolar denenmiş, bu amaçla Şekil 5'teki PC-TEST1, PC-TEST2 ve PC-TEB birlikte kullanılmıştır.



Şekil 5. Test Edilen Birim - Test Ortamı Blok Diyagramı

6.2.3. Aviyonik Veri Arayüzlerine Yönelik Test Faaliyetleri

SDYA bileşenlerinden SELSIM'in; Mil-Std-1553B, Discrete, Analog, Seri ve Ethernet arayüzleri üzerinden veri okuma/yazma kabiliyeti bulunmaktadır. İlgili testler için; gerekli cihaz ve arayüz kartlarının bulunduğu bir test ortamı oluşturulmuştur.

Test ortamı ve Test Edilen Birim (TEB) arasındaki arayüzler ise Şekil 5'te gösterilmiştir. PC-TEB'de test edilmek istenen YKP ya da YKP'ler çalıştırılmıştır. PC-TEST1 ve PC-TEST2 olarak adlandırılan bilgisayarlarda ise test ihtiyacına göre test kodu ya da betikleri ve/veya arayüz izleme (monitoring) araçları kullanılmıştır. PC-TEB ile PC-TEST2 arasındaki haberleşme ethernet ve/veya aviyonik veri yolları vasıtasıyla, PC-TEB ile PC-TEST1 arasındaki haberleşme ise ethernet vasıtasıyla gerçekleşmiştir.

Ethernet (TCP ve UDP) haberleşmesinin izlenmesinde Docklight Scripting [15] ve Wireshark [16] isimli yazılımlar kullanılmıştır. Docklight Scripting, aynı veya farklı bilgisayarlar arasında zaman etiketli veri gönderip almak, Wireshark ise istenilen porta ait mesaj trafiğini (mesaj frekansları, çerçeve sayısı ve zaman gibi bilgileri) analiz edebilmek için kullanılmıştır.

6.2.4. Entegrasyon Testleri ve Performans Analizleri

Yazılım Entegrasyon Testleri aşamasında tüm SDYA bileşenleri, arayüz ve etkileşimlerindeki hataları açığa çıkarmak amacıyla bir arada test edilmiştir. SDYA'nın kara kutu olarak uçtan uca test edildiği senaryo çerçevesinde;

- Altyapının ilk kullanıldığı platform olan ANKA İnsansız Hava Aracının veritabanında bulunan tüm paket, mesaj ve eleman yapılarını ve özelliklerini içeren ortak kod ve yapılandırma dosyaları, diğer bileşenler tarafından kullanılmak üzere Şablon Tabanlı Çıktı Üreteci (ŞTÇÜ) kullanılarak üretilmiş,
- Ağda bulunan test bilgisayarları üzerinde koşan tüm uygulamaların mod ve çalışma durumları Uç Nokta Yöneticisi (UNY) kullanılarak yönetilmiş ve izlenmiş,
- Tüm simülasyon durum ve mod geçişleri, zaman ve çerçeve yönetimi, model yönetimi, veri yönetimi ve I/O yönetimi SELSIM kullanılarak sağlanmış,
- Model Kullanıcı Arayüzü (MKA) kullanılarak oluşturulan tablo ve görsel tabanlı grafik kullanıcı arayüzleri aracılığıyla, sınır değer ve denklik sınıfı test yaklaşımları uygulanarak her tipte veri girişi ve gözlemi yapılmış,
- Bu sırada dağıtık/paylaşımlı ağ üzerinden gelen bütün bilgiler Veri Kayıt ve Analiz Aracı (KA) kullanılarak kaydedilmiş ve sonra yeniden oynatılarak analiz edilmiştir.

Uygulamaların ağda bulunan birden fazla test bilgisayarı üzerinde koşması ile dağıtık mimari özelliği, Windows/Linux platformlarının bir arada kullanılması ile çapraz platform özelliği senaryoya dahil edilmiştir. Bu senaryonun uygulanması aşamasında, GUI test aracı kullanılarak kayıt yapılmış ve testler otomatik olarak koşturulmuştur.

ANKA İnsansız Hava Aracı SEL Entegrasyonu aşamasında, SDYA, daha önce kullanılan altyapının yerini başarıyla almış, yapılan gösterim kapsamında hem gerçek ekipmanlarla, hem de onların simülasyonları ile modellenmiş hava aracı başarı ile uçurulmuştur. Ayrıca, ANKA İnsansız Hava Aracı için geliştirilen yazılım testleri SDYA'nın Otomatik Test Aracı (OTA) ile otomatik olarak koşturulabilmektedir.

Hem SDYA bileşenlerinin entegrasyonu, hem de SDYA'nın ANKA entegrasyonu aşamasında uygulamalarda tespit edilen arızalar, veri hataları, hız ve performans sorunları raporlanmış ve çözümleri doğrulanmıştır.

Sistemin performansını değerlendirmeye yönelik olarak;

- Simülasyon ana yazılımının açılma ve başlama sürelerini,
- Sistem bir bütün olarak hedef ortamda çalıştırıldığında, üzerinde çalıştığı bilgisayar(lar)daki bellek ve işlemci kaynaklarının kullanımını,
- Sistemin, entegre edileceği projenin ICD (Interface Control Document) veri kümesi içinden seçilen yüklü veri setiyle hedef ortamda uzun süre çalışmaya dayanıklılığını

hedef alan otomatik testler ve analizler yapılmış, performans kriterlerinin sağlandığı ve bu sırada sistemde bir fonksiyon kaybı olmadığı doğrulanmıştır.

7. FAALİYET SONUÇLARI VE METRİKLER

Yazılım doğrulama ve geçerli kılma faaliyetleri kapsamında birim, bileşen ve entegrasyon seviyesinde testler gerçekleştirilmiştir. Bileşen seviyesindeki testlerde, her bir SDYA modülü, kara kutu test yaklaşımıyla, yazılım gereksinimlerine dayalı geliştirilen fonksiyonel testlere tabi tutulmuştur. Testlerde, girdi değerlerinin belirlenmesinde denklik sınıfı ve sınır değer teknikleri uygulanmıştır [17]. Grafiksel kullanıcı arayüzü testlerinde bir kaydet/oynat aracı kullanılarak toplam test adım sayısının %86'sına karşılık gelen otomatik ve %8'ine karşılık gelen yarı otomatik testler geliştirilmiştir. Otomatik test geliştirmeye harcanacak efora karşılık beklenen kazanımın sağlanamayacağı öngörülen daha az sayıdaki durumlar ise manuel olarak test edilmiştir. Yazılımdaki güncellemelerin ardından gerekli görülen regresyon testleri yapılmış, otomatik ve yarı otomatik testlerin çoğunlukta olması bu aşamada verimliliği arttırmıştır. Günlük Otomatik Regresyon Testlerinde sağlanan verimlilik, koşulacak testlere ve test aracının kabiliyetlerine bağlı olarak kısıtlanabilmektedir [18]. Squish, kısa süre içinde tüm test koşularını tekrarlamaya ve her türlü kullanıcı etkileşimiyle ilgili kodu çalıştırmaya imkan sağladığı için hata tespitinde verimlilik yüksek olmuştur.

Bileşen seviyesindeki testlerle 457 adet yazılım gereksiniminin tümü kapsanmıştır. Entegrasyon ve performans testleri kapsamında ise, tüm SDYA bileşenlerinin bir arada çalıştığı, dağıtık mimari, çapraz platform ve performansa ilişkin durumları da kapsayan bir senaryo geliştirilmiş ve otomatik olarak koşturulmuştur. 108,390 satır kaynak koda

karşılık toplam 14,734 satır birim testi ve 77,613 satır fonksiyonel test geliştirilmiştir. Bu değer, kaynak kodun yaklaşık %70'i oranında fonksiyonel test kodu yazıldığını göstermektedir. Otomatik test aracı kullanımı bu açıdan doğru bir seçim olmuştur. Hata bildirimi için toplam 437 adet değişiklik isteği açılmıştır. Bu değişiklik istekleri testlerin etkinliğini ortaya koyar niteliktedir.

Yazılım gereksinimleri, kaynak kod satırı (SLOC), test adımı ve değişiklik isteği sayılarının SDYA bileşenlerine göre dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. SDYA bileşenlerine göre metrik dağılım tablosu

Bileşen	Gereksinim	SLOC	Test Adımı	Değişiklik İsteği
Kayıt ve Analiz Aracı	78	5.063	945	19
Model Kullanıcı Arayüzü	254	14.931	5366	123
Otomatik Test Aracı	20	4.672	280	18
SELSIM	53	30.719	795	202
Uç Nokta Yöneticisi	23	2.660	278	15
Şablon Temelli Çıktı Üreteci	29	13.011	52	60
Sim. Model (Proje Özgü)	-	24.206	7825	-
Ortak	-	13.128	-	-
TOPLAM	457	108.390	15541	437

Kalite sorumlusu ve son kullanıcının katılımıyla yapılan Teste Hazırlık Gözden Geçirme Toplantısının ardından resmi test koşuları yapılmış, yine kalite sorumlusu ve son kullanıcının katılımıyla hedef SEL'de gerçekleştirilen kabul testleri ile doğrulama ve geçerli kılma faaliyetleri tamamlanmıştır.

8. POTANSİYEL UYGULAMA ALANLARI

Uydu projelerinde, entegrasyon, test, arıza tespiti ve operatör eğitimi aşamalarında SDYA'nın SEL'de kullanılması, uydu bileşenleri için yapılan spesifik model geliştirme çalışmaları ile mümkün olacaktır.

Bu aşamada, geliştirilecek modeller ANKA modellerinin testlerine benzer şekilde test edilecektir. Uydu komuta/kontrol sistemlerinin grafiksel kullanıcı arayüzlerine yönelik geliştirilecek otomatik GUI testleri, uydu ile yer kesimi arasındaki telekomut/telemetri alışverişine ve uydudaki ekipmanların aviyonik veriyolları üzerinden haberleşmesine yönelik geliştirilecek kara kutu testleri de ANKA için geliştirilen testler ile benzer bir içeriğe sahiptir. Bu bağlamda, bu proje kapsamında uygulanan yaklaşım, geliştirilen test altyapısı, kullanılan metot ve araçlar hedef uydu projelerine uyarlanabilecek niteliktedir.

9. SONUÇ

Bu makale, SDYA mimarisini, kullanılan teknolojileri ve altyapının temel öğelerini, uygulanan süreçler ve referans alınan standartlar doğrultusunda gerçekleştirilen doğrulama ve geçerli kılma faaliyetlerini anlatmakta; bu tür altyapıların SEL ortamındaki entegrasyon ve test faaliyetleri için önemini ortaya koymaktadır.

Uydu alanındaki gereksinimleri karşılamak, özellikle gerçek ortam ya da cihazların olmadığı/sağlanamadığı durumlarda karmaşık sistemlerin entegrasyon ve testlerini destekleyebilmek için SDYA gibi alt yapıların kullanımı ve sürekli idamesi daha da kritik bir hale gelmiştir. SDYA'nın mevcut kabiliyetleri ve esnek mimarisiyle uydu entegrasyon ve test aktivitelerinin büyük bir kısmını destekleyebileceği öngörülmüştür. SDYA, sistem, yazılım geliştirme ve test ekiplerine, geliştirme ve doğrulama sürecinin risklerini azaltan ve verimliliği arttıran güçlü ve esnek bir yapı sunmaktadır.

Personel, süreç ve teknolojik altyapı olarak elde edilen kazanımlar gelecek dönemde özellikle uzay alanındaki potansiyel projelerde değerlendirilecektir.

10. KAYNAKÇA

[1] RTCA/DO-178B, Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification, 1 December 1992

[2] ECSS-E-ST-40C Space Engineering: Software, ESA-ESTEC, 6 March 2009

[3] ECSS-Q-ST-80C Space Product Assurance: Software Product Assurance, ESA-ESTEC, 2009

[4] ECSS-E-TM-40-07 Space Engineering: Simulation Modelling Platform, ESA-ESTEC, 2011

[5] Sürme, U.M., Öztuna, E., Uğurlu, O., Çakır, U., Nargül, A.S., Güçlü, K., "SDYA: A Real Time and Distributed Software Verification Infrastructure for Validating Flight Software (On-Board Software) at System Integration Laboratory.", ESA Simulation for European Space Programmers (SESP) 2015

[6] Öztürk, A., Sürme, U.M., Köstekli, A., Avcı, Ç., Çakır, U., "Uzay ve Hava Platformları için Gerçek Zamanlı Doğrulama Simülatörlerinde Dağıtık Sistem Mimarisi", Ulusal Yazılım Mimarisi Konferansı (UYMK), 2012

[7] http://www.zeromq.org

[8] www.qt.io

[9] https://rt.wiki.kernel.org

[10] http://www.pocoproject.org

[11] Implementing Automated Software Testing, Addision Wesley, 2009, sayfa 101-146

[12] Creating GUI Testing Tools Using Accessibility Technologies, Grechanik, M., Xie, Q., and Fu, C., IEEE Int. Conference on Software Testing Verification and Validation Workshops, 2009

[13] www.froglogic.com

[14] A Test Automation Solution on GUI Functional Test, ZHU Xiaochun, ZHOU Bo, LI Juefeng, GAO Qiu, Industrial Informatics, 2008. INDIN 2008. 6th IEEE International Conference, 2008

[15] www.docklight.de

[16] https://www.wireshark.org

[17] SWEBOK v3.0 Guide to the Software Engineering Body of Knowledge-IEEE Computer Society

[18] Studying the Fault-Detection Effectiveness of GUI Test Cases for Rapidly Evolving Software, Memon, A.M., Xie, Q., IEEE Transactions on Software Engineering, No.10, October 2005

İNSANSIZ BİR HAVA ARACI MODELİNİN ÜÇ BOYUTLU TASARIMI, ANALİZİ VE SİMÜLASYONU

İsmet Çuhadar [(a)], Mahir Dursun [(b)], Ahmet Aksöz [(c)]

[(a)] Kara Kuvvetleri Komutanlığı, 06100 Yücetepe Ankara ismetcuhadar@yandex.com

[(b)] Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500 Teknikokullar Ankara, mdursun@gazi.edu.tr

[(c)] Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500 Teknikokullar Ankara ahmetaksoz@gazi.edu.tr

ÖZ

Hava araçlarını kullananlar için uçuş süreci, makine veya insan hataları gibi kaynağı ne olursa olsun hata kabul etmemektedir. Uçuşun riskli bir faaliyet olması nedeniyle bu araçların doğru ve güvenilir çalışması şarttır. Yapılan pek çok çalışma ve tasarımlarla birlikte teknolojik gelişmelere rağmen düşme veya arızalanma riski olmayan bir hava aracı tasarlamak mümkün olmamıştır. İnsan hayatının önemli ve pilot eğitim masraflarının yüksek olması nedeniyle hava araçlarını kullanan insanların güvenliğinin sağlandığı en az riskli taşıtlar İnsansız Hava Araçları (İHA)'dır. Bu nedenle askeri amaçlı keşif, gözetleme ve saldırı ile sınır kontrolü, yangın gözetleme vb. birçok sivil amaçlı faaliyette kullanılan vazgeçilmez araçlar haline gelmişlerdir. İHA sistemleri, günümüzde birçok firma tarafından üretilmektedir. Yapılan tasarım ve araştırmalara rağmen henüz istenilen performansları göstermemektedirler. Bu performansı etkileyen faktörlerden bir tanesi de gövde tasarımlarının yapısal analizlerinde yeterince tecrübe oluşmamış olmasıdır. Bu çalışmada üç boyutlu tasarlanan bir taktik İHA modelinin akış analizleri yapılarak benzetim sonuçları verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Akış Analizi, Model, Tasarım, Simülasyon.

3D DESIGN, ANALYSIS AND SIMULATION OF AN UNMANNED AIR VEHICLE

ABSTRACT

Despite the technological advances made with a lot of work and design, it is not possible to design an aircraft without the risk of falling or malfunction yet. Due to the high cost of pilot training and human life importance, the least risky vehicles that ensure people's

safety using air tools are Unmanned Air Vehicles (UAV). Therefore UAVs have become indispensable tools used in many activities like military reconnaissance, surveillance, attack, border control, fire monitoring and so on. One of the factors affecting the performance is that the structural analysis of the body design is not enough experience yet. In this study, flow analysis of the 3D tactical UAV model have been done in a simulation and results are given.

Keywords: Unmanned Air Vehicle, Flow Analysis, Model, Design, Simulation.

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Çalışmanın birinci bölümü; halen devam etmekte olan "İHA'larda Veri Linki ve Veri Linki Kaynaklı Kazalarda Risk Analizi" konulu doktora tezi için hazırlanmış ve veri linki analizinde kullanılmak üzere tasarlanmış olan bir İHA modelinin **6. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon (USMOS) Konferansı** kapsamında anlatılmasını içermektedir.

İkinci bölüm ise; tasarlanan modelden nasıl istifade edilebileceğini göstermek üzere seçilen analiz konu ve metodunun uygulanmasını kapsamaktadır.

Çalışmanın maksadı optimum İHA tasarımını bulmak değil, modelleme ve simülasyon açısından bir modelin adım adım nasıl oluşturulduğunu ve bahse konu modelden istifade ile belirlenen konuda analiz için nasıl kullanıldığını göstermektir.

Bu nedenle mevcut olan herhangi bir modelle kıyaslama ya da tasarımın artı yönlerini ortaya koyma yoluna gidilmemiştir. Aynı nedenlerden dolayı tasarım ve analiz için kullanılan program ve araçlara da değinilmesine gerek görülmemiştir.

Bu bilgiler ışığında; çalışmanın özgünlüğü/yeniliği, potansiyel etkisi, literatürdeki yeri ve çalışma sonucu elde edilen detaylara yer verilmesi hususları bu makale dışında tutularak doktora tezi kapsamında kullanılması öngörülmüştür.

Yapılan literatür taramasında önemli bulunan kaynakçaya yönelik tespitler aşağıda sunulmuştur.

M. Ismail, Cao Yihua, Abu Bakar and Zhenlong Wu çalışmalarında yağmur damlalarının uçuşa etkilerini sadece uçağın kanatları üzerinden incelemişlerdir [1].

Manish Sharma, T. Ratna Reddy, Ch. Indira Priyadarsini bir F-16'nın akış analizini çalışmamıza benzer şekilde gerçekleştirmişlerdir [2].

Pınar Arslan, Uğur Kalkan, Yosheph Yang, Serkan Özgen, Melin Şahin, Ercan Gürses, Yavuz Yaman bir AB projesi kapsamında kanat incelemesi yapmış ve çalışma sırasında farklı kabuk kalınlıkları değerlendirmeye tabi tutulmuştur [3].

Erdoğan Tolga İnsuyu tez çalışmasında öncelik kanatlarda olmak üzere gövde ve kuyruk tasarımı araştırmıştır [4].

Yusuf BERKTAŞ bitirme projesinde fiziksel bir kanadı yine fiziksel bir rüzgâr tünelinde test etmiş sonuçlarını model üzerinden bilgisayar ortamında yaptığı analiz ile karşılaştırmıştır [5].

Reg Austin, tasarımın aşamalarında bahsetmiş, İHA çeşitleri ve tasarım inceliklerine değinmiştir [6].

1.2. İHA'NIN Tarihçesi, Yaygınlaşması ve Önemi

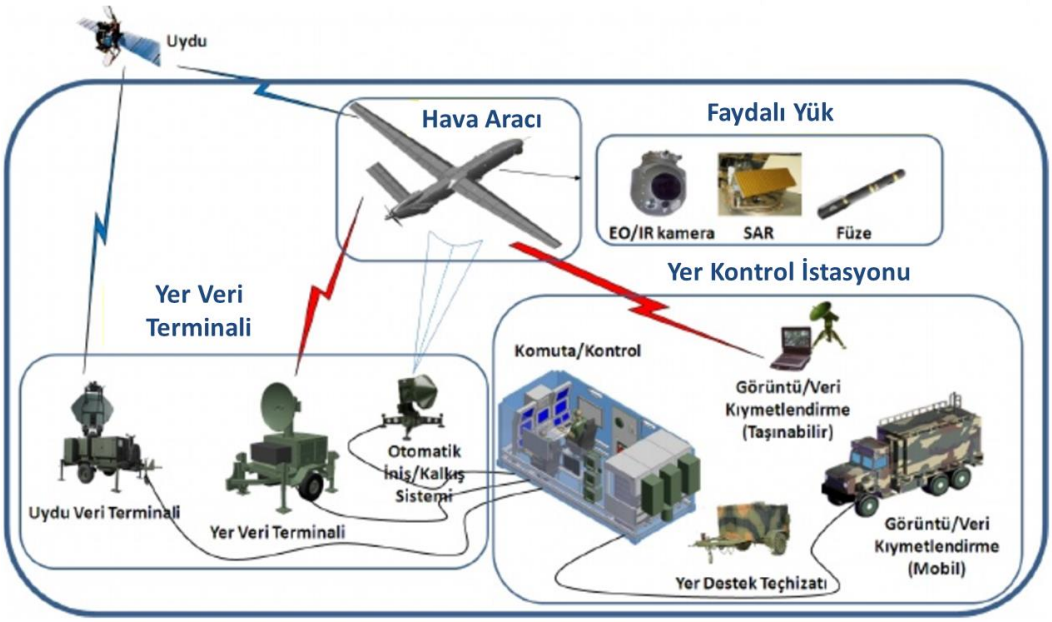
İlk İHA'lar A.M. LOW tarafından 1916 yılında geliştirilmiştir. 1935 yılında ise model uçak tasarımcısı Reginald DENNY ilk ölçekli RPV (Remote Piloted Vehicle) modelini geliştirmiştir. Jet motoru bulunan ilk model 1951 yılında Teledyne Ryan firması tarafından geliştirilen Firebee'dir. 1955 yılında ise başka bir firma Beechcraft ABD Deniz Kuvvetleri için Model 1001 modelini üretmiştir. 1980li ve 1990lı yıllarda olgunlaşan ve küçültülen bu araçlar özellikle ABD'li askeri çevrelerin ilgisini çekmeye başlamıştır. Bunun en önemli nedeni İHA'ların uçaklara nazaran çok daha ucuz olması ayrıca riskli görevlerde sırasında yetişmiş mürettebat kaybını sıfıra indirmesidir. Genel olarak keşif ve gözetleme amacıyla kullanılan bu araçlar günümüzde silahlandırılmaktadır [7].

İHA'ların bugün kullanıldığı gibi askeri amaçlar dışında atmosfer gözlemleme, hava tahmini ya da bilimsel araştırma, boru hatları takibi, yol kontrolü, arama ve kurtarma çalışmaları, hava fotoğrafçılığı, petrol, gaz ve mineral araştırmaları gibi sivil sahalarda kullanılmaya başlanması ile birlikte büyük bir ticari potansiyelin ortaya çıkabileceği öngörülmektedir.

Tüm bu hususlar kapsamında projenin önemi; Türkiye'de gelişmekte olan bir sektörde, İHA sistem tasarım ve geliştirme sürecine girdi sağlanacak olmasından kaynaklanmaktadır [8].

1.3. İHA Sistemi (İHAS)'ın Unsurları

İHA sistemi dört temel unsurdan oluşmaktadır; İHA, Yer Kontrol İstasyonu (YKİ), Yer Veri Terminali (YVT) ve Faydalı Yük (Payload). Jeneratör, alet takımları ve yakalama kablosu gibi alt unsurlardan oluşan Yer Destek Teçhizatına da Yer Kontrol İstasyonu içerisinde yer verilmiştir. Bahse konu unsurlar Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. İHAS'ın unsurları [9]

İHAS, YKİ'den verilen komutların YVT vasıtasıyla İHA'ya gönderilmesi; İHA'dan alınan telemetre (uçuş verileri) ile faydalı yükten alınan video bilgilerinin de ters istikamette yine YVT üzerinden YKİ'ye gönderilmesi mantığıyla çalışan bir sistemdir.

1.3.1. YKİ

İHA'nın ve faydalı yükün gerçek zamanlı kontrollerini sağlayan, raporlarını alan sabit/mobil ünitedir. İçerisinde pilot ve faydalı yük operatörünün sistemleri kontrol ettikleri bölümler bulunmaktadır.

1.3.2. YVT

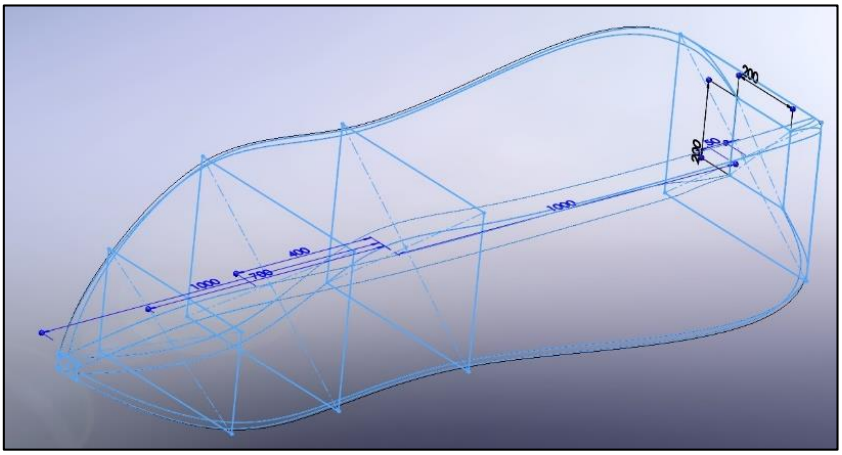
İHA ile YKİ arasındaki kablosuz veri iletişimini (Q, C, S, UHF bantları vb. üzerinden) sağlayan mobil/sabit entegre anten ve elektronik sistem ünitesidir.

1.3.3. Faydalı yük

Bir platform olan İHA'nın taşıdığı ve farklı amaçlara hizmet edebilecek, farklı görevleri yerine getirebilecek eklentilere faydalı yük denilmektedir. Bu bazen silah olabileceği gibi bir kamera (gece/gündüz), bir röle, bir radar veya mayın tespit cihazı olabilir. Faydalı yükün çeşidi İHA'nın kaldırma kapasitesi ile uyumlu olmak zorundadır.

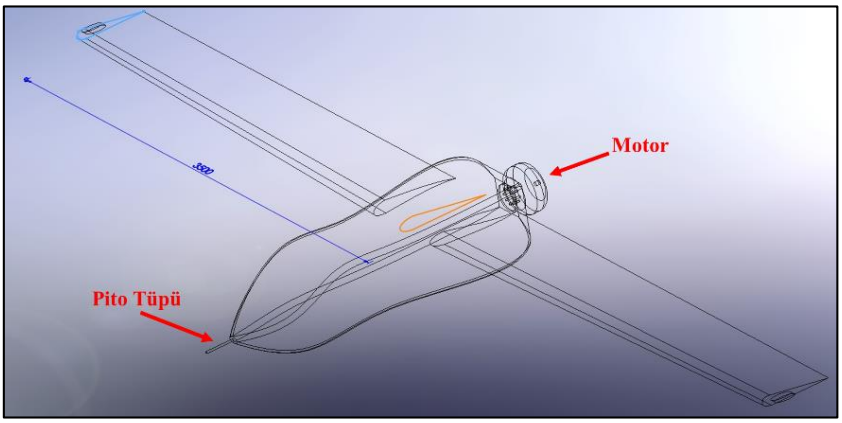
2. ÜÇ BOYUTLU İHA MODELİNİN OLUŞTURULMASI VE İHA'NIN BÖLÜMLERİ

Üç boyutlu İHA tasarımına öncelikle gövdeden başlanmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi 6 farklı ölçüde dikdörtgenin birleştirilmesi neticesinde uzunluğu 2 m, genişliği 0,6 m, yüksekliği 0,45 m olan gövde tasarımı elde edilmiştir.



Şekil 2. Gövde

Şekil 3'de modele bir motor ve pito tüpü (Toplam başın ölçümü için kullanılan boru şeklindeki aparat)'nün ardından ortadan dışa uzunluğu 3,5 m. olmak üzere uçtan uca toplam 7 m.lik kanat ilave edilmiştir

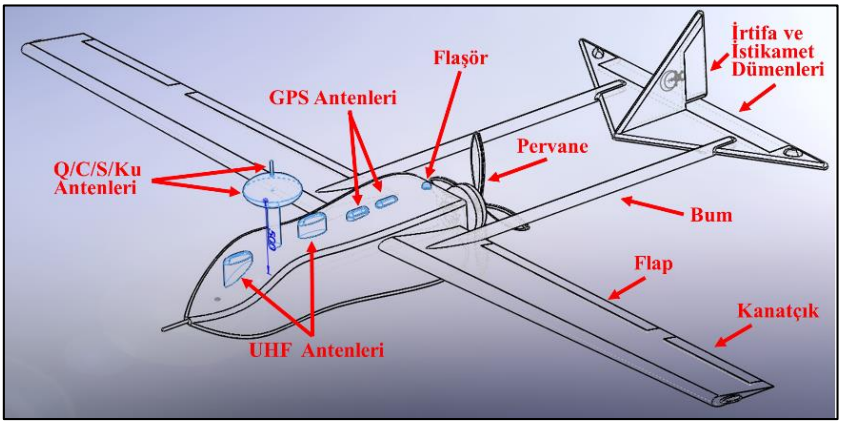


Şekil 3. Pito tüpü, motor ve kanatlar

Müteakip safhada motor miline entegre temsili bir ahşap pervane oluşturulmuştur. Kanatlara bağlanan iki adet bum ile kuyruk bölümünde bulunan irtifa ve istikamet dümenleri gövdeye bağlanmıştır. Bumlar ayrıca kuyruktaki aydınlatma ve elektronik sistemlere güç ve veri sağlayan kabloların içerisinden geçirilmesi amacına da hizmet etmektedir.

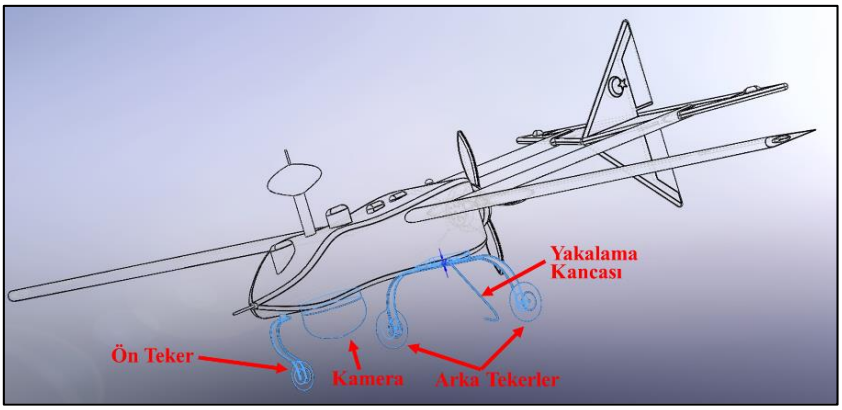
Kanatlarda, irtifa alama/verme maksadıyla kullanılan iki adet flap ile havada dönüşleri sağlayan iki adet kanatçık oluşturulmuştur.

Gövde üstünde; Q/C/S/Ku bantları için iki, UHF bandı için iki olmak üzere veri linki sistemine dâhil olan toplam dört adet anten yerleştirilmiştir. Bunlara ilave olarak yer belirleme sistemi olan GPS için yine biri yedek olmak üzere iki adet anten ile flaşör de gövde üzerinde konumlandırılmıştır. Bahsedilen bu unsurlar Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Kanat/Kuyruk bölümü ve antenler

Son safhada dönebilen bir ön teker, iki sabit arka teker ve yakalama kancasından oluşan iniş takımı ile bir faydalı yük olan kamera modele ilave edilmiştir. İniş takımları katlanamaz şekilde dizayn edilmiş ve fren tertibatı yerine uçağı durdurmak üzere yakalama kancası tercih edilmiştir. İniş takımı ve kamera Şekil 5'de görülmektedir.

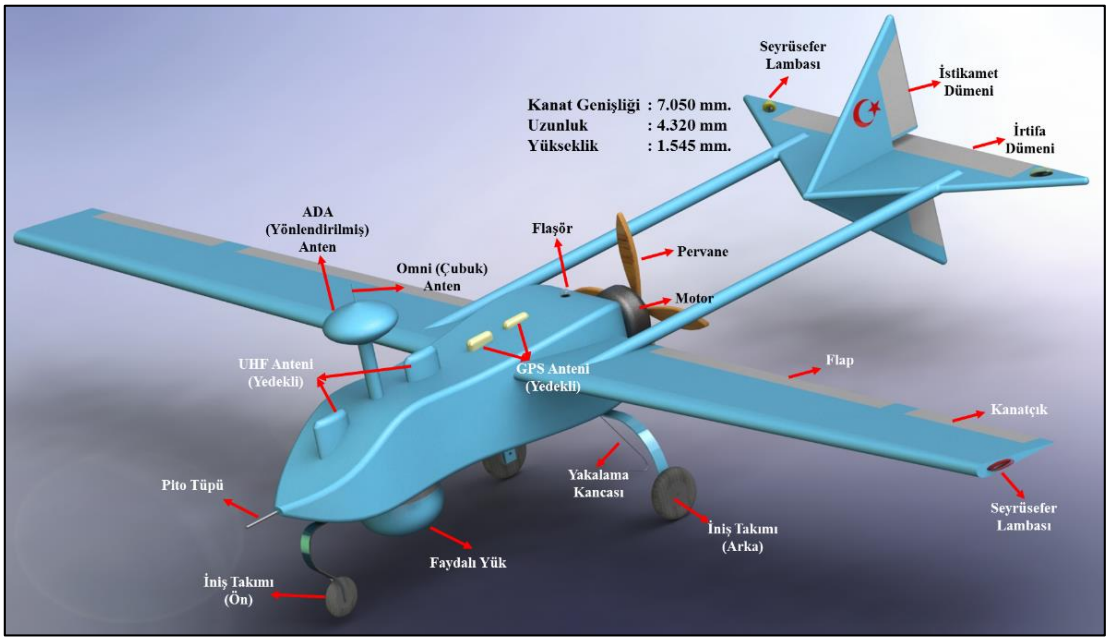


Şekil 5. İniş takımı ve kamera

İHA modelinin bir bütün olarak tasarlanmasının ardından iniş takımlarının ilgili bölümleri için metal ve lastik, seyr-ü sefer ışıkları için şeffaf plastik ve gövdenin tamamı için ahşap malzeme seçilmiştir.

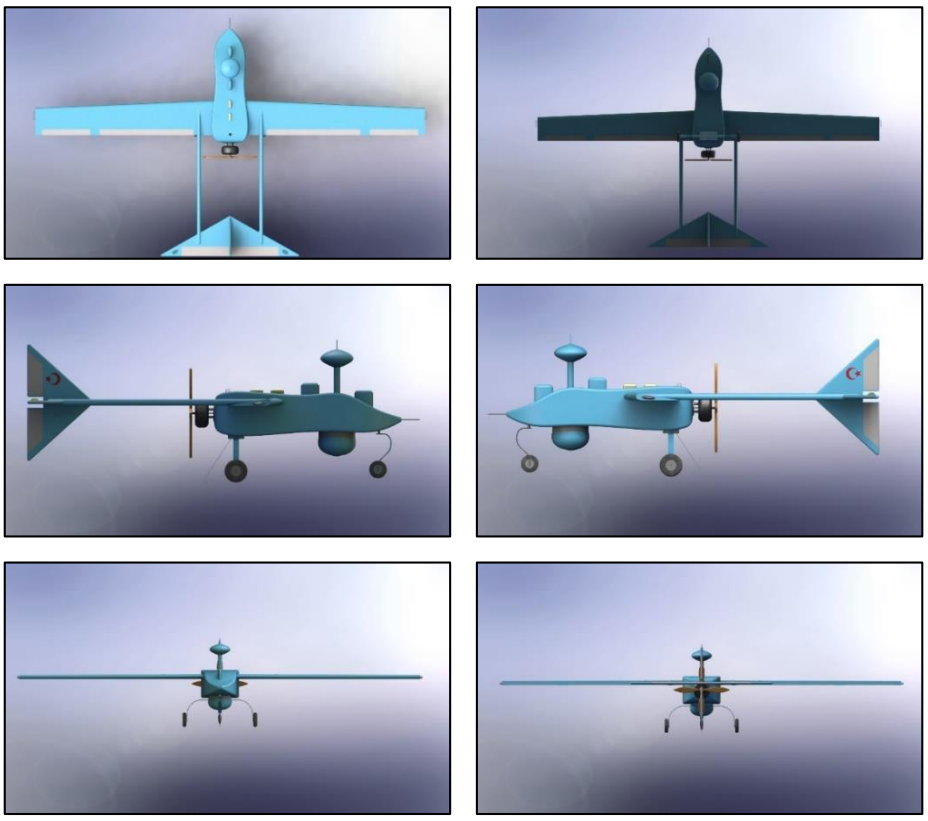
Modelin tasarlanması esnasında, var olan herhangi bir İHA'nın ölçülerinden faydalanılmamış, değerler tamamen tecrübi olarak belirlenmiştir. Özellikle kuyruk bölümünün "+" şeklindeki görünümü, tek parçalı irtifa dümeni ve iki parçalı istikamet dümeni ile yenilikçi bir tasarım tercih edilmiştir.

Tamamlanmış 3B İHA modelinin boyutları ve ana parçaları Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 6. Tamamlanmış 3B İHA modeli

Modelin üstten, alttan, yanlardan, önden ve arkadan görünüşü Şekil 7'de sunulmuştur.



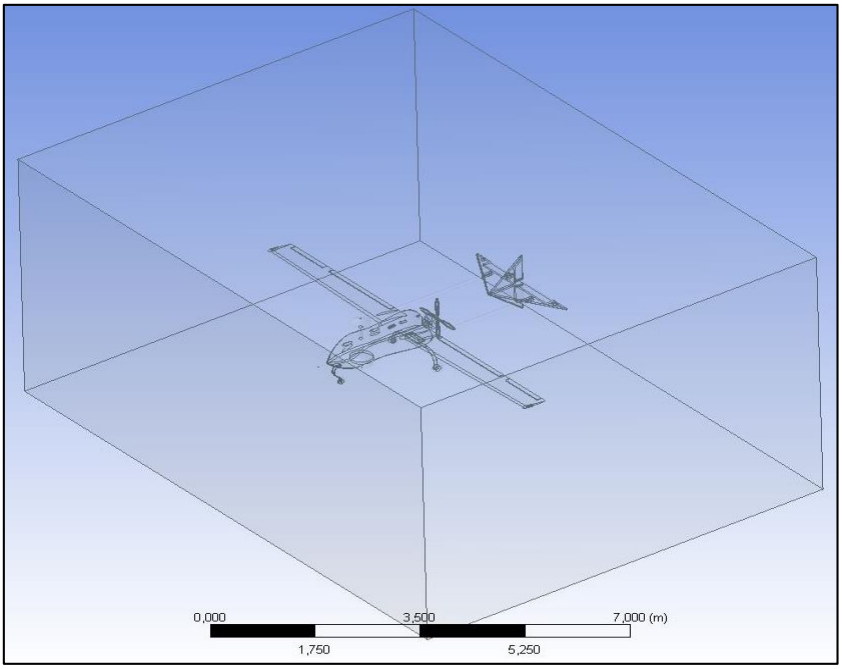
Şekil 7. 3B İHA modeli görünümleri

3. SONLU ELEMANLAR METODUYLA AKIŞ ANALİZİ

Sonlu elemanlar metoduyla akış analizini yapabilmek için öncelikle tasarladığımız 3B İHA modeli sisteme eklenir ve gerçek şartlara uygun hava akışı simüle edilebilmesi maksadıyla bir hava kütlesi tasarlanır. Belirlenen hava kütlesinin İHA'yı içine alacak boyutlarda tasarlanması önem arz etmektedir [10].

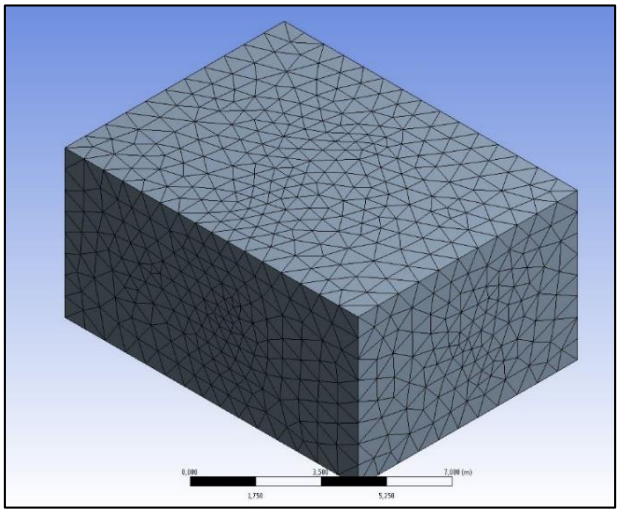
Kütlenin hava giriş yüzeyi, hava çıkış yüzeyi, diğer yüzeyler ve hava içerisindeki uçağın yüzeyleri belirlenerek hava akışının nereden ve nasıl etki edeceği tanımlanmıştır. Şekil 8'de uçak ve hava kütlesinde oluşturduğu alan gösterilmektedir.

Hava kütlesinin dış yüzeyi ile uçak yüzeyi arasındaki tolerans alan oldukça fazla bırakılarak uçağın etrafında oluşacak türbülans ve vorteks etkilerinin de analiz edilmesine imkan sağlanmıştır. Aradaki hava alanının fazla olmasının sonuca olumsuz bir etkisi bulunmayıp sadece işlem süresini artırmakta, bununla beraber grafikteki geçiş bölgeleri daha net görülebilmektedir.



Şekil 8. Hava Kütlesi İçerisindeki Uçak Hacmi

Sonlu elemanlar metoduyla analiz yapılabilmesi için model hacmi çıkartılarak oluşturulan hava kütlesi Şekil 9'daki gibi bir ağ yapısına dönüştürülmüştür.



Şekil 9. İlk Mesh İşlemi Sonucu Hava Kütlesi

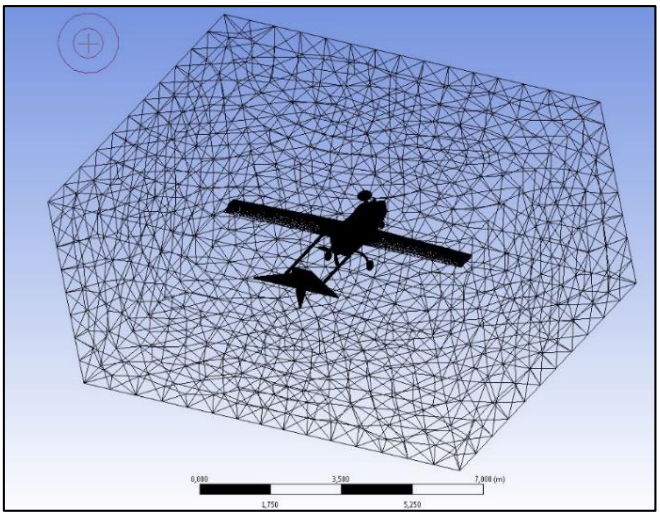
Analiz hassasiyetinin yüksek tutulabilmesi ağ yapısına ilişkin parametrelerin (merkez nokta, sıkışıklık, ortagonallik vb.) doğru belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle analiz için yeterli kalite sağlanana kadar yeniden parametrelerin yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan parametreler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kullanılan Parametreler

Parametreler	Başlangıç Değerleri	Son Değerler
Advance size Function	Curvature	Curvature
Relevance Centre	Coarse	Fine
Initial Size Seed	Active assembly	Full assembly
Smoothing	Medium	High
Transition	Fast	Slow
Span Angle Centre	Coarse	Fine
Curvature Normal Angle	Default (18.0)	Default (18.0)
Min Size	Default(7,4337e-0003m)	6,0e-003m
Max face Size	Default (0,743370m)	Default (0,743370m)
Max Size	Default (1,4867m)	Default (1,4867m)
Growth Rate	Default (1.20)	Default (1.20)
Minimum Edge Length	4,5205e-007m	4,5205e-007m

"Başlangıç Değerleri" kullanılan ilk denememizde çarpıklıkların oranı çok fazla olmasına karşın, düğüm ve eleman sayıları oldukça az olduğundan istenilen analiz sonuçlarına

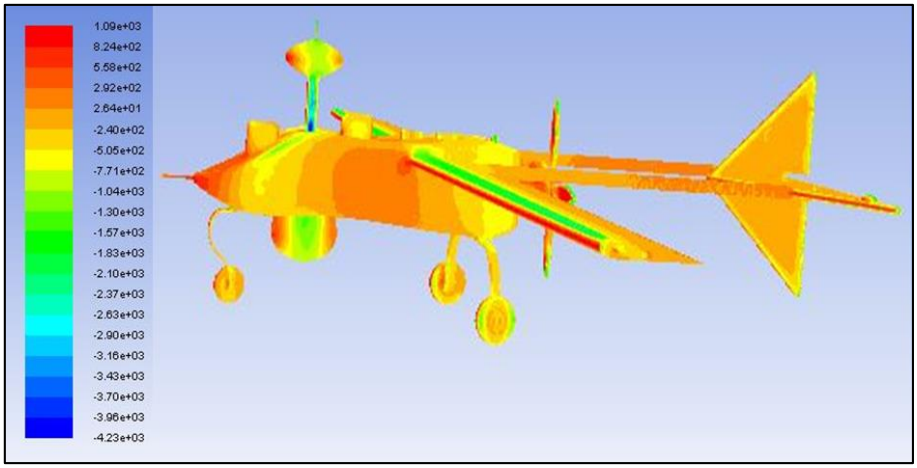
ulaşılamamıştır. Tablo 1'deki "Son Değerler" ile işlem tekrarlanmış hassasiyet istenen düzeye çıkarılmıştır. Boyut fonksiyonu vasıtasıyla eğriliklere bağlı hücre bölünmesi yapılmıştır. Yine aynı şekilde boyutlandırma, düzgünleştirme, hücreler arası geçişler ve hücreler arası açılar analizin hassasiyetini artıracak şekilde ayarlanmıştır. Ağ yapısı/kafes yapısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Son Meshin Tel Kafes Görüntüsü

Önceden oluşturulan "isimlendirmeler" üzerinden hava girişi 140 m/s (insansız hava araçlarına ait ortalama hava hızı), hava çıkışı 76 cm-Hg, uçak yüzeyi ve hava kütle çevresi duvar olarak belirlenmiştir. Müteakiben 100 tekrar (iterasyon) için analiz gerçekleştirilmiştir. Verilen analiz parametre değerleri sonucu x, y ve z yönündeki hızlar ve sürekli (birleşik) hız birlikte türetilmiştir.

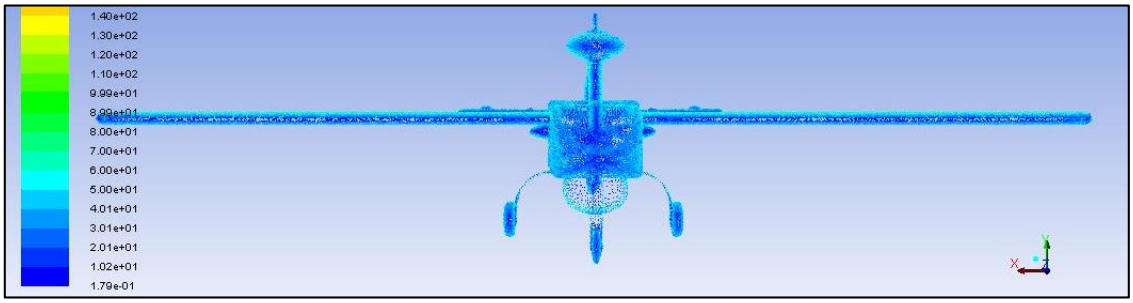
İterasyonlar sonucu elde edilen değerler kapsamında insansız hava aracı yüzeyinde oluşan statik basınçlar ve hız vektörleri elde edilir. Bahse konu statik basınçlar ve hız vektörleri Şekil 11, 12 ve 13'de sunulmuştur.



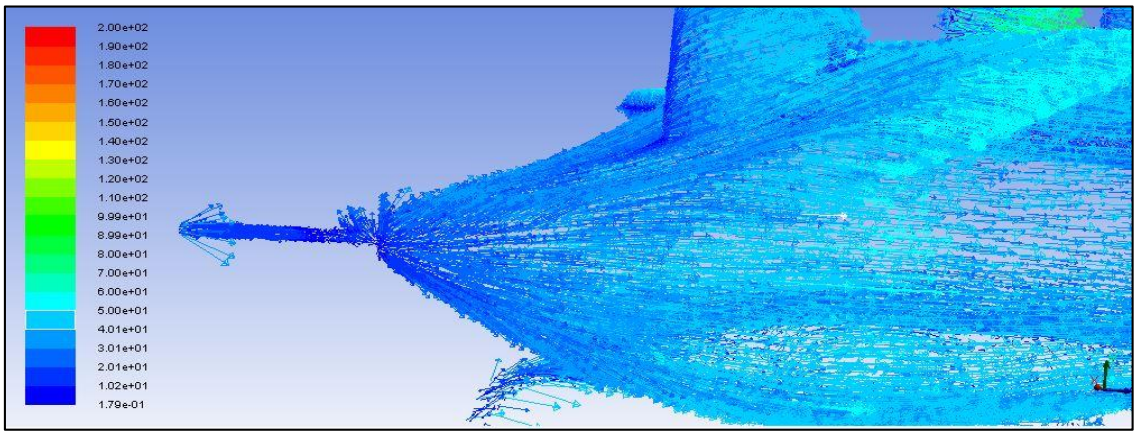
Şekil 11. Statik basınç dış hatları

Şekil 11'de uçak üzerine farklı değerlerde basınçlar etki etmekte olduğu açıkça görülmektedir. Uçağın burun kısmı, kanat ön kısımları, kamera ve vericinin ön kısmı ile özellikle pervane kırmızı renkli alanlarla gösterilmiştir. Bu alanların 1.090 pascal değerinde olduğu şekilden görülmektedir. Sırasıyla turuncu, yeşil, turkuaz ve mavi renkler negatif basınçlardır. Verilen sıralamayla basınç azalmıştır. Yani bu renklerin olduğu bölgelere havadaki hareketinden ötürü negatif basınçlar etki etmiştir.

Şekil 12 ve 13'te hız vektörleri gösterilmiştir. Bu analizlerde standart hava şartlarında insansız hava aracına etki eden hava kuvvetleri ve hava akış yönleri tespit edilmiştir. Yine kırmızı ile mavi renkler arasında değişen bu hız vektörleri, havanın akışının hızlı olduğu yerlerden (kırmızı) havanın yavaş olduğu (mavi) hatta türbülans yaşanan bölgelere kadar hava hızlarını göstermektedir. Şekil 13, Şekil 12'deki uçağın ön kısmının yakından gösterilmiş halidir.



Şekil 12. Renklendirilmiş hız vektörleri-1



Şekil 13. Renklendirilmiş hız vektörleri-2

4. SONUÇ

Genel olarak uçak analizi çalışmalarında karşılaşılan temel problem, uçağın seyir hızından yüksek hız vektörleri oluşması ve buna bağlı olarak özellikle kanat arka kısımlarında türbülans oluşmasıdır. Bu türbülanslar da uçağın kaldırma kuvvetini azalttığı ve dengesini bozarak meydana getirdiği olumsuz etki sonucu uçak ve uçuş güvenliğini ve emniyetini riske edecek hatta uçağın düşmesine neden olabilecektir.

Sonlu elemanlar metoduyla yapılan akış analizi neticesinde insansız hava aracının 140 m/s gibi yavaş bir hızla uçmasına rağmen uçağın kırmızı renkle gösterilen bölgelerinde 1.090 pascala kadar statik basınçlar görülmüştür. Bu durumda, İHA'nın kat edeceği öngörülen hıza uygun oluşacak yüksek basınç değerlerine göre üretimde önlemler alınmasını gerekmektedir.

Diğer yandan, oluşan hız vektörlerinin 17 m/s ile 130 m/s arasında gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda uçak etrafında türbülans da gözükmemektedir. Bu tasarıma bağlı uçuş hızının uygun olduğunu göstermekte ve insansız hava aracının daha yüksek hızlarda da uçabileceğine işaret etmektedir.

Özetle bu çalışma sonucunda, tasarlanmış olan 3B modelin yüksek basınçlara maruz kaldığı, malzeme seçiminde bu hususun göz önünde bulundurulması gerektiği, bununla birlikte uçağın yapısının aerodinamik açıdan başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; bu çalışmada görülmüştür ki yüksek statik basınç noktaları için önlemler alındığı takdirde tasarlanan insansız hava aracımız güvenli ve uygun aerodinamik yapıya sahiptir.

5. KAYNAKÇA

[1] M. Ismail, Cao Yihua, Abu Bakar and Zhenlong Wu, "Aerodynamic Efficiency Study of 2D Airfoils and 3D Rectangular Wing in Heavy Rain Via Two-Phase Flow Approach", Journal of Aerospace Engineering, March 2013.

[2] Manish Sharma, T. Ratna Reddy, Ch. Indira Priyadarsini, "Flow Analysis over an F-16 Aircraft Using Computational Fluid Dynamics", Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, May 2013.

[3] Pınar Arslan, Uğur Kalkan, Yosheph Yang, Serkan Özgen, Melin Şahin, Ercan Gürses, Yavuz Yaman, "Büyük Oranda Şekil Değiştirebilen Kanat Yüzeylerinin Aerodinamik Yükler Altındaki Davranışları", Combined Morphing Assesment Software Using Flight Envelope Data and Mission Based Morphing Prototype Wing Development Project / CHANGE, 2012.

[4] Erdoğan Tolga İnsuyu, "Aero-Structural Design and Analysis of an Unmanned Aerial Vehicle and Its Mission Adaptive Wing", Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Şubat 2010.

[5] Yusuf Berktaş, "Bir Sesaltı Rüzgar Tüneli İçerisine Yerleştirilmiş NACA0012 Kanadının Sayısal Analizi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi, Haziran 2012.

[6] Reg Austin, "Unmanned Aircraft Systems Uavs Design, Development and Deployment", Aerospace Serious, Wiley, 2010.

[7] http://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0nsans%C4%B1z_hava_arac%C4%B1 (30 Ocak 2015)

[8] http://www.aktuel.com.tr/dunya/2013/03/02/iha-pilotlari-boyle-egitiliyor (30 Ocak 2015)

[9] SSM İHA Sistemleri Yol Haritası (2011-2030)

[10] Mahir Dursun, Ahmet Aksöz, Ali Saygın, "A Comparative Study By PID and Fuzzy Control Methods For Flight Parameters", Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science, May 20-23, 2015, Jeju Island, Korea

SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ EĞİTİMİ VE ÖĞRETİMİ KAPSAMINDA CİDDİ OYUN KULLANIMI

Altan Özkil[(a)], Levent Berke Çaplı[(b)]

[(a)] Atılım Universitesi, Kızılcaşar Mh., İncek, 06836 Ankara, altan.ozkil@atilim.edu.tr

[(b)] 4S Bilgi Teknolojileri**,** 1314. Cad., 06460 Öveçler, Ankara, berke.capli@4s.com.tr

ÖZ

Sistem Mühendisliği (SM) karmaşık sistemlerin geliştirme sürecinde farklı mühendislik dallarından bilgi toplar ve teknik geliştirme planı oluşturur. Sistem geliştirenlerin çoğu SM süreçlerini uygulamalarına rağmen, sistemi istenen şekilde oluşturamamaktadırlar. Bu sorunun iki ana temeli vardır. Birinci neden, paydaşlar tarafından belirtilen ihtiyaçların açık olmaması ve/veya makul olmamasıdır. İkinci neden ise SM eğitimi ve öğretimi süreçleridir. SM eğitimleri bütüncül düşünme ve karmaşık sistemler boyutunda düşünebilme yeteneklerini öğretmeyi hedeflemelidir. Bu kapsamda sunduğumuz eğitim çözümü sadece sistem tabanlı bütüncül düşünce yeteneğini kazandırmayı hedeflemekle kalmayıp geleceğin paydaşlarının ve mühendislerin buluşabileceği bir platform olacaktır. Bu önerilen çözümün oyun tabanlı eğitim ve ciddi oyunlarda yattığını öne sürülmektedir. Bu fikir halihazırda mevcut olan Robocraft yaratıcı oyunu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analiz, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Yönetimi Bölümü öğrencilerinin Sistem Mühendisliği Uygulamaları dersi kapsamında uygulanan testler ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizin sonuçları ve potansiyel gelecek çalışmalar bu çalışma kapsamında sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sistem Mühendisliği, Oyun Tabanlı Öğrenim, Ciddi Oyun, Sistem Mühendisliği Kapsamında Eğitim ve Öğretim, Robocraft, Yaratıcı Oyun

SERIOUS GAMES IN SYSTEM ENGINEERING EDUCATION AND TRAINING

ABSTRACT

System Engineering (SE) encompasses information from different engineering to provide technical developments for planning and developing complex systems. Although many system developers apply SE stages by the book, sometimes they fail to provide the required system. This lack of achievement resides in two problems. First problem is the requirements set by the stakeholders usually are not clear or

unreasonable. Second problem is the current education and training of SE. There is a need for training the stakeholders about how to set clear and reasonable requirements. SE education should focus in teaching the holistic approach and ability to think in complex systems. We have come up with a training solution that will not only help SE students gain the system oriented and holistic approach, but also will be a platform where future stakeholders and engineers alike will come together in training. We believe that, the solution lies with game based learning and serious games. This idea was analyzed with using currently available creative game Robocraft. This analysis was realized by applying tests to the groups consisting of students from Application of System Engineering Applications Class in the Technology Management Department of Turkish Military Academy Defense Sciences Institute. The results of analysis and further planned studies will be presented in this paper.

Keywords: System Engineering, Game Based Learning, Serious Game, Training and Education in System Engineering System Engineering Applications, Robocraft, Creative Game

1. GİRİŞ

Süreçleri uygulama ile pekiştirildiğinde çok daha kolay öğrenilebilecek bir alan olan Sistem Mühendisliği'nin eğitim sürecinde ciddi oyun kullanılması ve bu oyunun özelliklerinin neler olması gerektiği bu makalenin konusunu oluşturmaktadır. Bu yaklaşımın nedenlerinin ve sonuçlarının neler olabileceğinin daha net bir şekilde ortaya konabilmesi için makalede ilk olarak, Ciddi Oyun Konsepti ve Sistem Mühendisliği Alanı hakkında özet bilgi sunulmuştur.

2. CİDDİ OYUN

Ciddi oyunun tam bir tanımı yoktur, ancak genel olarak simülasyon ve eğitim amacı taşıyan oyunlar olarak tanımlanmaktadır[1]. Ciddi oyunlar, oyunların yarattığı dünya ve atmosfer ile oyuncuların ilgisini çekme onları oyuna dahil etmek özelliklerini, oyun endüstrisinin bilgi ve teknolojilerini [2] belirli bir amaç için yeni bilgi yaratma amacıyla kullanırlar[1]. Oyun teknolojileri ise 3D oyun motorları, grafik kullanıcı ara yüzü, fiziksel modeller, yapay zeka, iletişim ağı teknolojileri olarak tanımlanmaktadır [3]. Teknolojik imkânların yanı sıra oyunların taşıdığı hikaye, tema, müzik, görevler ve seviye kazanımı gibi unsurlar eğitimin didaktik bir yapından interaktif bir yapıya çevrilmesinde kullanılmaktadır. Birçok çalışma ciddi oyunlar sayesinde öğrencilerin akademik başarılarında iyileşme yaşandığını göstermektedir [3]. Gerçek hayatta maliyet, zaman ve güvenlik kısıtlamalarının olan eğitim konularının kolaylaştırması amacıyla ciddi oyunlar kullanılmaktadır [3]. Ciddi oyun, klasik sınıf eğitimlerinden farklı olarak analitik, sorgulayıcı ve stratejik düşünce yetisini, öz kontrol, problem tanıma ve çözme, kısa ve uzun zamanlı hafızayı, görsel işlem yetisini ve psikomotor kabiliyetleri gelişmesinde yardımcı olmaktadır [3].

Ciddi oyunların kökeni, milattan önce 2000 yılına dayanmaktadır. Başlangıcının savaş planlama ve stratejisinin öğretim amacıyla oynanan oyunlar olduğu düşünülmektedir [4]. Oyun tahtası tabanlı ciddi oyunlar uzun bir süre hâkimiyetini sürdürmüştür. Bilgisayar sistemlerin gelişimi ile bilgisayar destekli ciddi oyunlar ortaya çıkmıştır. 1955 yılında *HUTSPIEL* adındaki bilgisayar destekli tiyatro seviyesi savaş oyununun bu türün ilk örneği olduğu düşünülmektedir [5]. *HUTSPIEL* Soğuk savaş döneminde karşılaşılması olası bir savaş senaryosunun canlandırılması ve nükleer savaş unsurlarının öğretilmesi için iki kişilik bilgisayar destekli bir eğitim sistemidir [6]. 1958 yılında *HUTSPIEL, NEWS (Naval Electronic Warfare Simulator)* ise *HUTSPIEL* oyunun ikinci versiyonunu oluşturulmuştur [6]. 1961 yılında T.E.M.P.E.R. ile subayların uluslararası seviyede Soğuk Savaş çatışmalarını öğrenmelerini amaçlayan eğitim sistemi oluşturulmuştur [7]. Bu tür ciddi oyunların oluşturulması 60'lı yıllarda Müşterek Savaş Oyunları Birimi *(Joint War Games Agency)* tarafından devam ettirilmiştir [6]. İlerleyen yıllarda grafiksel imkânların artmasıyla günümüzde bildiğimiz anlamıyla dijital tabanlı ciddi oyunlar ortaya çıkmaya başlamıştır. SGI Flight 1983, bu alanın ve sektörün öncüsü olan uçak simülatörlerinin ilk modern versiyonu olarak kabul edilmektedir [8]. Ardından Harpoon 1989, çok oyunculu deniz savaşı simülatörü, grafik ara yüzlerin tiyatro seviyesi simülatöre girişini temsil etmektedir [8]. 1998 Spearhead ile 3B tank taktikleri eğitim simülatör ortaya çıkmıştır [9]. Ciddi oyunlar yalnızca eğitim amaçlı olarak değil tanıtım ve propaganda amaçlı olarak da kullanılmıştır, Americas Army 2002, ordu okullarının tanıtımı ve katılımın artırılması amacıyla geliştirilmiştir [10]. Gelişen teknoloji ile sanal gerçeklik başlıkları için görev seviyesi simülasyonlar ortaya çıkmaya başlamıştır. DARWARS AMBUSH 2003, bu simülasyonlara verilebilecek başarılı örneklerden birisidir. AMBUSH konvoy endeksli eğitim verirken, DARWARS Tactical Iraqi 2003, versiyonu piyade birimlerine operasyonsel eğitim vermektedir [8]. Ciddi oyunlar belirli uzmanlık alanlarına yönelmekle kalmamış görevlerin ve bölgelerin özelliğine göre de versiyonlar oluşturmuşlardır. Tactical Iraqi, BiLAT 2006, gibi Irak savaş alanına spesifik ciddi oyunlar bu değişimin bir göstergesidir. Motor hareketleri geliştirmeye yönelik simülatörlerin artışı ile bilişimsel yeteneklerin ve kültürel uyumun sağlamasını kolaylaştırmayı amaçlı yeni nesil simülatörler geliştirilmeye başlamıştır. BiLAT 2006, bilişimsel bir eğitim simülatörüdür ve müzakere stratejisi, kültürel farkındalık, güven yaratma stratejisi eğitimini en etkili şekilde vermeyi hedeflemiştir. Bu nedenle amaçlar ve belirlenmiş olan bir kültüre göre tasarlanmıştır [11].

Ciddi oyunları sınıflandırılması oyun türü, amacı, kapsamı (Gameplay/Purpose/ Scope-G/P/S) metoduna göre yapılır [12]. Bu kapsamda ciddi oyunların; sağlık, reklam, eğitim, öğretim, bilim ve araştırma ve üretim amaçlı olarak altı ana başlık altında toplanması mümkündür [13]. Kamu, savunma, sağlık, pazarlama ve iletişim, eğitim, şirketler ve endüstri ise ciddi oyunun ana kullanım alanları olarak görülmektedir [13].

3. SİSTEM MÜHENDİSLİĞİ

Bir amacı yerine getirmek veya bir hedefe ulaşmak amacı ile farklı fonksiyonlara sahip ve birbirleri ile ilişkili bileşenlerin bir araya getirilmesi ile oluşan yapılar "sistemler" olarak adlandırılmaktadır [14]. Sistem tanımındaki üç unsur; bir amaca veya hedefe

yönelme, sistem elemanları olarak farklı fonksiyonlara sahip olma ve sistem bileşenlerinin bir araya getirilmesidir. Bugün yaşadığımız ortamlar, bizleri sadece sistemler ile değil sistemlerin sistemleri ile baş başa bırakmaktadır.

Sistem mühendisliği, başarılı sistemlerin gerçekleştirilebilmesine yönelik araç ve gereçleri bünyesinde toplayan disiplinlerarası bir yaklaşımdır [15]. Sistem mühendisliği, toplum tarafından kabul edilebilir, müşterinin ihtiyaçlarını ve beklentilerini karşılayan ömür devri boyunca dengeli bir şekilde çalışabilecek sistemlerin elde edilmesi, geliştirilmesi ve doğrulanması için disiplinlerarası işbirliğini esas alan bir yaklaşımdır [16]. Diğer bir ifade ile sistem mühendisliği, operasyonel ihtiyaçlar ve gereksinimlerin operasyonel ortamda uyumlu bir şekilde çalışabilecek sistemler bloğuna dönüştürülebilmesine yönelik bir yaklaşımdır [17]. İhtiyacın belirlenmesinden, ihtiyaç duyulan sistemin geliştirip ömür devri boyunca etkin ve verimli bir şekilde kullanılarak kullanım dışına çıkarılmasına kadar bir sistemin ömür devrini kapsayan sistem mühendisliği süreci; kavramsal tasarım, başlangıç tasarımı veya ön tasarım, ayrıntılı tasarım ve geliştirme, sistem test ve değerlendirme, üretim, operasyonel sistem ve destek ile sistemin kullanımdan çıkarılması safhalarından meydana gelmektedir [18].

Yaşadığımız ortamlar ve bu ortamlardaki sistemler göz önüne alındığında, sistemlerin sistemini dikkate almak zorunda olduğumuz görülecektir. Sistem bazında anlaşılması ve algılaması zor olan sistem ömür devri sistemlerin sistemi ile daha karmaşık hale gelmiştir. Bu maksatla günümüzde sistemlerin sisteminde ömür devri kavramının iyi anlaşılması amacı ile Sistemler ve Yazılım Mühendisliği Ömür Devri Standartları [26] kapsamındaki süreçler esas alınarak modeller geliştirilmiştir [27]. Sistemlerin oluşturduğu sistemin performans yetersizlikleri ve eksikliklerinin tespitine ilişkin araştırmalar sonucunda insanın önemli bir faktör olduğu, öncelikle sistemin çalıştırılması sürecindeki personelin içinde bulunduğu organizasyonun genel davranış şeklinin önemli olduğu belirlenmiştir [28].

Sistemlerin sistemi mühendisliğinde hem geliştirme ve uygulama hem de aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya yaklaşımları kullanılmaktadır [29]. Sistemlerin sisteminin geliştirilmesi sürecinde kuruluş yapısı ve teknoloji geliştirme konusundaki davranış biçimlerin önemli rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda işbirliğinin sistem mühendisliğinin tüm safhalarında önemli olduğu ortaya çıkmıştır [30]. Sistem mühendisliğinin karmaşıklığı farklı gruplar tarafından farklı yaklaşımlar kullanılarak giderilmeye çalışılmaktadır. Bu kapsamda tasarım, gereksinim mühendisliği ve model tabanlı sistem mühendisliği uygulamaları ön plana çıkmaktadır [31]. Sistemlerin sistemindeki iyi uygulamalar kapsamında ortaya çıkan önemli hususlar arasında; ortak anlayışın sağlanması, farklı sistemlerin farklı uygulamalara sahip olabileceği, etkili bilgi paylaşımının çok önemli olduğu tespit edilmiştir [32].

Sistem mühendisliği konusunda eğitim ve öğretim programlarına ülkemizdeki ve dünyadaki üniversitelerde rastlamak mümkündür. Sistem mühendisliği ile ilgili ayrıntılı çalışmaların yapıldığı mühendislik fakültelerindeki eğitim öğretim programları haricinde, yine üniversitelerin enstitülerinde yürütülmekte olan lisansüstü öğrenim programlarında, özellikle farklı disiplinlerin bir araya getirildiği mühendislik

sistemlerinin yönetimi, teknoloji yönetimi gibi programlarda “Sistem Mühendisliği”, “Sistem Mühendisliği Uygulamaları”, “Sistem Analizi ve Tasarımı” gibi dersleri görmek mümkündür. Bu derslere ilişkin uygulama sonuçlarının, derse katılan öğrenciler tarafından kolayca görülebilmesi, geliştirilen sistemlerin fikir aşamasından itibaren kullanımdan çıkarılmasına kadar geçen süresinin ortalama 20 yıl kadar olması nedeni ile çok mümkün ve kolay olmamaktadır. Bu nedenle öğrencilerin, eğitim ve öğretim sürecinde, sistem mühendisliği alt süreçleri ve bu süreçler arasındaki ilişkileri, ağırlıklı olarak örnek olay uygulamalarında öğrenilen derslerden görmesi ve algılaması beklenmektedir. Ayrıca tasarım gibi soyut ve yaratıcı düşüncenin önemli olduğu konuların, eğitim ve öğretim sürecinde de öğrencilerin algılamasını kolaylaştırıcı hale getirilmesi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Sistem mühendisliğinin önemli konularından birisi de sistem ihtiyaçlarının doğru bir şekilde tasarıma aktarılabilmesidir. Yapılan tasarımların özellikle test edilmesi ve değerlendirilmesi, test sonuçlarının olumsuz olması halinde bu safhaya kadar geçen tüm zamanın kaybolmasına neden olmakta, tasarım ve geliştirme faaliyetlerinin yeniden yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, bu makalede, ciddi oyun olarak geliştirilmiş ROBOCRAFT oyununun, eğitim ve öğretim amaçlı olarak sistem mühendisliğinde kullanılabilme durumu incelenmiştir.

4. Sistem Mühendisliği Eğitiminde Ciddi Oyun

4.1. Robocraft Oyunu

Robocraft oyunu *"Freejam"* adında Birleşik Krallık kökenli bir oyun firması tarafından geliştirilmiştir [18]. *Freejam* oyun sektöründe uzun süreli deneyimi olan beş oyun geliştirme uzmanının bir araya geldiği bir firmadır [19]. Robocraft oyunu "indie"[20] yani *independent* veya bağımsız olarak tanımlanan limitli imkanlar ve kısıtlı kadro ile geliştirilen oyun sınıfına aittir. Oyun türü ise "creative game" yani *minecraft* oyunu tarafından oluşturulan yaratıcı inşa oyunudur. Oynanma şekli, Robocraft'ın satış platformu olan *Steam*'de *"MMO (massively multiplayer online)"*, çok oyunculu, *"PVP (player vs player)"*, karşılıklı, *"early access"*, erken erişim, robot ve oynaması ücretsiz olarak tanımlanmıştır [21]. Oyunun yapımcıları oyunu *Minecraft* ve *World of Tanks* oyunlarının birleşimi bir oyun olarak tanımlamaktadır [14]. Beş kişilik [23] *Freejam* kadrosu kurulmalarından üç ay sonra Robocraft oyunun ilk prototipini çıkarmışladır.[14] Gördükleri yoğun ilgi sonucunda Robocraft'ın ilk halinin üretimini tamamladıktan sonra *Steam green ligth* sürecine başvurmuşlardır [21]. Bu oylama sürecinin sonunda, oyunculardan yeterince destek almışlar ve *Steam* platfromu üzerinden Robocraft kullanıcılara sunulmuştur. Freejam firmasının kurulumundan 12 ay sonra ilk oyunları olan Robocraft 400.000 kullanıcıya ulaşmıştır [21]. Ancak Robocraft hala *Alpha* aşamasındadır[22].

Robocraft oyununun amacı *Steam*'de şu şekilde açıklanmıştır; *Akıl almaz, kara, amfibik ve uçan savaş robotları inşa edin. Gelecekten gelen silah sistemlerini ekleyin, pilot koltuğuna oturun ve robotunuzu savaş alanına sürün* [22]. Robocraft oyununda 100'den fazla temel inşa küpü, teknoloji ve parça mevcuttur; bu milyonlarca değişik kombinasyonda tasarım anlamına gelmektedir [22]. Sistem mühendisliğinin ciddi oyun ile öğretiminin etkinliğinin ölçülmesi amacıyla Robocraft üzerinden bir pilot çalışma

gerçekleştirilmiştir. Yukarıda belirtildiği üzere Robocraft'ın öz oyun dinamiğinde ihtiyaç ve sistem tasarımı yatmaktadır. Oyunun ana sloganlarından bir tanesi "Savaşın yarısı atölyede kazanılmaktadır, bunu unutmayın"[24]. Kullanıcı sınırlı bütçe, materyal ve teknik performans ile kafasında oluşturduğu bir ihtiyaca denk gelecek tasarımlar yapmaktadır. Yaptıkları bir açıklamada Robocraft oyununun yapımcıları oyununun içindeki fizik motorunu olabildiğince etkin tutmaya çalıştıklarını, bu sayede kullanıcıların yaptıkları tasarımların ancak temek fizik bilgisine sahip olduklarında mümkün olacağını belirtmişlerdir [22]. Oyuncular tasarımlarını ihtiyaçları, iç ve dış limitleri göz önünde bulundurarak oyun içindeki test ortamında ve savaş ortamında öteki kullanıcılar tarafından oluşturulan sistem tasarımlarına karşı denemektedir. Çıkan sonuçlar doğrultusunda kullanıcı yeni ihtiyaçlar oluşturmakta ve bu ihtiyaçları yeni tasarımlara yansıtarak, sistem yaşam sürecini anımsatan bir döngü oluşturmaktadır.

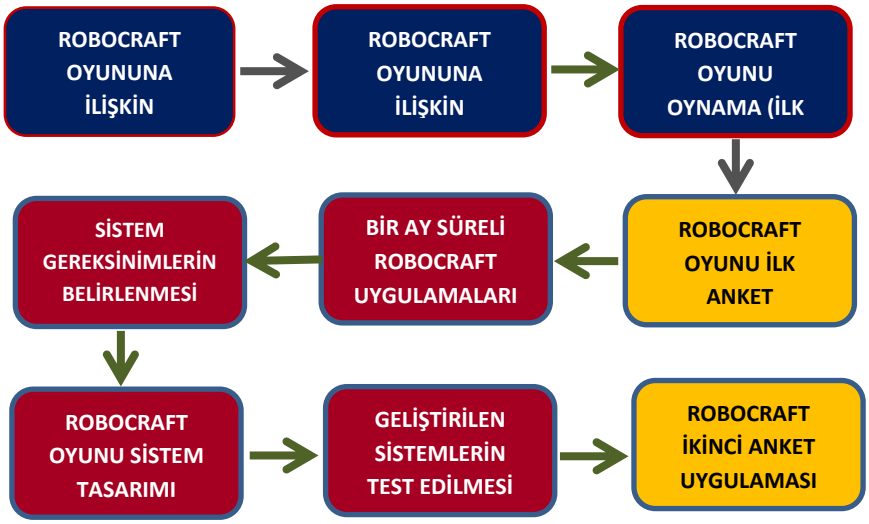
Bir kullanıcı Robocraft deneyimini şu şekilde açıklamaktadır; Robocraft uzay mühendisliği ve savaş stratejisini birleştirmektedir... Mevcut parçalar yapısal (şasi, gövde, zırh), hareket (tekerlekler, iticiler, rotorlar), donanım (silahlar, silahlar ve silahlar)'dır. Bu parçaların kullanımı seviyenize bağlı olan CPU gücünüzle sınırlandırılmaktadır. Oyuna çok fazla küple başlamıyorsunuz, ancak savaşta kazandığınız puanlarınızı harcayarak küp satın alabiliyorsunuz... Daha sonra ilk aracınızı parçalar için kanabilize ediyor ve yeni tasarımlar oluşturuyorsunuz [25]. Bu paylaşım bir kullanıcının Robocraft oynarken geçtiği süreci iyi şekilde yansıtmaktadır.

4.2. Sistem Mühendisliği Eğitim Aracı Olarak ROBOCRAFT Uygulaması

Sistem mühendisliği sürecinin çeşitli safhalarında yer alan faaliyetlerden bir bölümünün, ciddi oyun olarak geliştirilmiş olan ROBOCRAFT oyunu kapsamında, öğrenciler tarafından, uygulamalı olarak oyun şeklinde öğrenilip öğrenilemeyeceği konusunun değerlendirilmesi ve ciddi oyunların eğitim ve öğretim süreçlerine sağlayabileceği muhtemel katkılarının neler olabileceğinin ortaya konması amacı ile bir uygulama yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji Yönetimi Ana Bilim Dalında yüksek lisans ve doktora öğrenimini sürdürmekte olan öğrencileri kapsayan bir uygulama yapılmıştır. Uygulamaya katılan öğrencilerin % 95'lik bir kısmı güz döneminde Sistem Mühendisliği ve Konfigürasyon Yönetimi dersini, tamamı ise ilkbahar döneminde Sistem Mühendisliği Uygulamaları dersini alan öğrencilerden oluşmuştur. Katılan öğrencilerin % 82'si daha önce ciddi oyunlarla tanışmıştır ancak öğrencilerden hiçbiri ROBOCRAFT ciddi oyununu oynamamıştır. Uygulamaya katılan öğrencilerin yaş ortalaması 33'dür. Sürecin başında ve sonunda katılımcı öğrencilere anketler uygulanmış, anket uygulamasına paralel mülakatlarla kapalı kalmış olan noktaların aydınlatılmasına çalışılmıştır.

4.2.1. Uygulama Metodolojisi

Sistem mühendisliği uygulamaları kapsamında ROBOCRAFT uygulaması iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Uygulama metodolojisi Şekil-1'de sunulmuştur.



Şekil - 1 Uygulama Metodolojisi

4.2.2. İlk (Tanıma) Uygulama Sonuçları

Lisansüstü öğrencilerin ROBOCRAFT'la tanışması ve oyuna olan aşinalığının arttırılmasının hedeflendiği oyunun ilk uygulamasına toplam 11 öğrenci katılım sağlamıştır. Katılan öğrenci sayısının azlığının genelleme yapmak için az olduğu bilincinden hareketle elde edilen sonuçların konuya yönelik eğilimin görülmesi açısından önemli olduğunu değerlendirmiştir. İlk uygulama kapsamında anketi dolduran personelin tanımlanmasına yönelik yaş, meslek grubu, öncesinde bilgisayar oyunları ve Robocraft oynayıp oynamadığına ilişkin tanımlayıcı sorular sorulmuştur. Anket toplam 13 açık uçlu sorudan oluşmuştur. Anketin ikinci bölümünde, tamamen uygulamaya katılan öğrencilerin herhangi bir sınırlamaya tabi olmadan geliştirmiş oldukları sistemler ilgili, neden o sistemi geliştirdikleri, akabinde neden bu sistemde değişiklik yapmak zorunda kaldıklarına ilişkin açık uçlu sorular sorulmuştur.

İlk uygulamaya katılım sağlayan öğrencilerin uygulama sonrasında neler hissettiklerine ilişkin soruya verdikleri cevaplar arasında ağırlıklı olarak; öğrencilerin oyunla birlikte kendilerini enerjik hissettiklerinin, tasarım yapma ve yapılan tasarımı daha ileriye götürme konularında yeteneklerini geliştirebileceklerini hissettiklerinin, daha önce düşünmemiş olmalarına rağmen ciddi oyunların eğitim ve öğretim sürecine önemli katkılar sağlayacaklarını düşünmeye başladıklarının, ancak bu pozitif izlenimin yanında oyun bağımlılığına da dikkat edilmesi gerektiğinin altını çizmişlerdir.

4.2.3. ROBOCRAFT Uygulamasının SM Açısından Değerlendirilmesi

Uygulamaya katılan öğrencilerinden, ROBOCRAFT oyununa alışma sürelerini müteakip, kendi sistemlerini geliştirmeleri ve geliştirdikleri sistemlere yönelik test ve değerlendirme süreçlerini uygulamaları talep edilmiştir. Bu süreçte öğrencilere herhangi bir gereksinim verilmemiş, her katılımcının kendi gereksinimini kendilerinin

tanımlaması talep edilmiştir. Bu süreçte öğrencilerin, oyunu öğrenmelerine paralel olarak basitten karmaşığa doğru sistemler tasarlayarak inşa ettikleri görülmüştür. Öğrencilerin başlangıçta yaptıkları tasarımlarla uygulama sürecin sonunda geliştirdikleri tasarımlara ilişkin görüntüler temin edilmiş, yapılan anket uygulamasında her gruba Şekil-2'de bir örneği sunulan kendi tasarımları ile ilgili olarak "İlk tasarımınızı neden o şekilde yaptığınızı açıklayınız?" ve "Neden tasarım değişikliğine gittiğinizi açıklayınız?" soruları sorulmuştur.

Şekil - 2 Tanıma Uygulaması İlk ve Son Tasarım (Örnek)

Katılımcıların tümü son tasarımlarının ilk tasarımlarına göre daha iyi olduğunu ifade etmişlerdir. Katılımcıların bir bölümü daha güvenilir bir ortamda, yani yapılan sistem tasarımının sonuçlarının maliyet, zaman ve insan gücü zayiatı olmaksızın denenebilmesinin öğrenmeyi ve anlamayı kolaylaştırdığını dile getirmişlerdir. Sistem mühendisliği sürecinde, katılımcıların tümü, özellikle kullanıcılar tarafından ortaya konulmuş olan gereksinmelerin, özellikle de sayılarla ifade edilebilen teknik performans özellikleri dahil olmak üzere tüm etkinlik ölçütlerinin ciddi oyun ortamlarında değerlendirilebileceği hususlarını ifade etmiştir.

4.2.4. İkinci (Tasarım) Uygulama Sonuçları

Lisansüstü öğrenciler, ROBOCRAFT'la ilk uygulamalarını gerçekleştirdikten sonra yaklaşık bir aylık bir süre ara verilmiş, bu süre içerisinde öğrencilerden boş zamanlarda ROBOCRAFT oynamak suretiyle oyun oynama yetkinliklerini artırmaları talep edilmiştir. İkinci uygulamada ilk uygulamanın yapıldığı ortamda 12 öğrencinin katılımı ile gerçekleşmiştir. İkinci uygulamada, ilk uygulamadan farklı olarak, öğrencilere, geliştirilmesi istenen sisteme ilişkin sistem gereksinimleri ve bu gereksinimleri sağlamak için gerekli olan kaynaklar sınırlı bir şekilde verilmiştir. Bu süreçte, öğrencilere sınırlı bir zaman dilimi verilmiş, bu zaman dilimi içinde, gereksinimleri karşılayacak sistemler geliştirilmeleri talep edilmiştir. İkinci anket uygulamasında yönlendirilmiş 9 açık uçlu soru katılımcılara sorulmuştur. İkinci anketin ikinci bölümünde de yine katılımcıların yaptıkları tasarıma yönelik sorular sorulmuştur.

a. ROBOCRAFT-2 Sistem Gereksinimleri olarak; sürücünün önün görebilmesi, sürücünün muhafaza edilmiş olması, 360 derece ateş kabiliyeti sağlamalı, test ortamında azami hızda ilk tepeyi tırmandığında devrilmemeli, sistemin sadece tekerlek sistemleri koruma altına alınmalı, sistem maksimum 10 saniye içinde 360 derece dönüşü sağlayabilmelidir.

b. ROBOCRAFT-2 Sistem Geliştirilmesi Sürecinde Kullanılacak Kaynaklar; minimum 50 maksimum 100 hafif küp, minimum 10 maksimum 30 hafif yatay küp, minimum 20 maksimum 60 ağır küp, minimum 10 maksimum 20 ağır yatay küp, minimum 6 maksimum 8 tekerler, minimum 1 maksimum 8 tier1 silah kullanılması öngörülmüştür.

c. ROBOCRAFT-2 Uygulaması

Öncelikle öğrencilerden sistem gereksinimleri verilerek, sınırlı kaynaklarla, kısıt koşullar altında sistem geliştirilmelerinin talep edilmesinin tasarım sürecine olan etkisi analiz edilmiştir. Bu analizde ankete katılan iki öğrenci haricindeki 11 öğrenci, oyundaki tasarım sürecinin bir önceki gereksinimlerden yoksun tanıma uygulamasına göre zor olduğunu ifade etmiştir. Bu kapsamda; sınırlı kaynaklarla tasarımın gerçekleştirilebileceği alanın daraldığı, tasarımda sürekli gereksinimlerin kontrol edilmesi zorunluluğunun hissedildiği, tasarım süresinin uzadığı, kaynakların sınırız olmadığı kavramının daha kolay algılandığı öğrenilmiştir. Tasarımın kolaylaştığını ifade eden iki öğrenci, verilen gereksinmelerin tasarım uzayını sınırlaması ve tasarımı yönlendirmesi nedenleriyle, sınırlanmış uzayda tasarım yapabilmenin daha kolay olduğunu ifade etmiştir.

Uygulamaya katılan tüm öğrenciler, sistem için öngörülen gereksinmeler ile geliştirme için sağlanan kaynakların birbirleri ile uyum içinde olduğunu belirtmiştir. Verilen süre içinde tasarımların tamamlanabilmesi de bu uyumun bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Sistem gereksinimleri ve kısıtların ROBOCRAFT-2 uygulamasında kullanılmasının, oyun sürecinde öğrencilerin oyun oynamadan duymakta olduğu eğlence düzeyine olan etkisi incelendiğinde, 11 öğrenciden 7 öğrenci işin içerisine rekabetin girmesi nedeniyle daha çok çaba ve dikkat sarf edilmesinin gerektiği, bununda eğlenme düzeyini artırdığını beyan etmiştir. Ortaya çıkan rekabetten olumsuz etkilenmesi nedeni ile bir önceki uygulamaya göre 2 öğrencinin eğlenme düzeylerinde düşüş olduğu, 2 öğrencinin ise bu durumdan etkilenmediği tespit edilmiştir.

Gerçekleştirilen ROBOCRAFT-2 uygulaması ile yaşanan sürecin, sistem mühendisliği uygulama süreçleri ile daha çok benzerlik gösterdiği konusunda tüm katılımcılar hem fikir olmuşlardır. Katılan öğrencilerden biri tarafından da, ikinci uygulamaya göre gereksinmelerin biraz daha sıkılaştığı ROBOCRAFT-2 uygulaması ile sistem mühendisliği sürecinin çok daha iyi pekiştirilebileceği ifade edilmiştir. Bu kapsamda, oyundan elde edilen farkındalığın, gerçek hayatta sistem mühendisliği uygulamalarında bulunacak personele büyük katkı sağlayacağı tüm öğrenciler tarafından ifade edilmiştir. Yaşanan süreçte teknik performans ölçütleri ile gereksinmeler arasındaki ilişkiler

kolaylıkla anlaşılmış, bu süreçte ödünleşim analizlerinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

Yarışma ve rekabet ortamının eğlence seviyesi ve motivasyona büyük katkı sağladığı konusunda, tüm katılımcılar hem fikri olmuştur. Gereksinimlerin verilmiş olduğu ROBOCRAFT-2 sistem mühendisliği uygulama süreci ile ilgili olarak, kaynakların gereksinimlere paylaştırılması, tasarım, doğrulama, test ve değerlendirme süreçleri ön plana çıkmıştır..

5. SONUÇ

Halen ciddi oyun piyasasında mevcut olan oyunlardan, sistem mühendisliğine uygun bir ciddi oyun kullanılarak Sistem Mühendisliği öğrenim sürecinin etkinliğin artırılıp artırılamayacağı sorusunun cevaplanabilmesi amacıyla ROBOCRAFT oyunu eğitim öğretim sürecinde kullanılmıştır. Oyun, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Yönetimi'nde lisansüstü öğrenim göre Sistem Mühendisliği Uygulamaları dersi öğrencilerine oynatışmış ve elde edilen anket sonuçlarından hareketle araştırma gerçekleştirilmiştir. Farklı bir amaç için geliştirilmiş olmasına rağmen, sınırlı da olsa sağlamış olduğu ciddi oyun ortamı ile ROBOCRAFT, sistem mühendisliği süreçlerinin analiz edilmesine olumlu katkılar sağlamıştır. İlki tanıma maksatlı, ikincisi tamamen gereksinimden tasarıma süreç uygulaması olmak üzere 2 uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk uygulamaya aynı zamanda dersin öğrencileri olan 11, ikinci uygulamaya ise 12 öğrenci katılım sağlamıştır. Her uygulama sonrası yapılan anketlerde ROBOCRAFT uygulamasının Sistem Mühendisliği eğitim ve öğretimine sağlayacağı faydalar belirlenmiştir.

Gerçekleştirdiğimiz uygulamalar sonucunda ROBOCRAFT oyunun sistem mühendisliği ciddi oyunu olarak yetersiz kaldığı yerlerin olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıdaki bölümde bu eksiklikler ve olası bir sistem mühendisliği ciddi oyunun içermesi gereken fonksiyonlar belirtilmiştir. Robocraft oyunun en büyük eksikliklerinden bir tanesi bu makale yazıldığı tarih de yerel ağ oyun imkânının olmamasıdır. Bu durum kullanıcıların istedikleri takımları oluşturamamasına ve sürekli internet bağlantısı ihtiyacına neden olmaktadır. Buna ek olarak sistem mühendisliği kavramsal tasarım, başlangıç tasarım, kullanma ve idame altında arza, lojistik ve bakım, elden çıkarma süreçlerini kapsamamaktadır. Robocraft oyunu, oyunculara yönelik olarak tasarlanmasından dolayı doğrudan oyuna başlamaktadır. Bu nedenle oyunun anlaşılmadan tasarım aşaması bazı kullanıcılara sıkıcı gelmektedir ve ihtiyaçları analiz etmelerini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle oyuna hızlı başlama ve eğitim aşaması özellikleri olmalıdır. Robocraft'ın teknoloji ağcı geniş olmakla ilgi çekicidir yalnız oyun başından tüm teknolojilere ulaşılmamaktadır. Bu bazı sistem platformlarının erken oyunda yapılmasına engel teşkil etmektedir. Ciddi oyunda platform imkânı temsil eden teknolojiler (örn, uçuş takımları, paletler, vb.) oyunun başından erişebilir olmalı, bu tür teknolojilerde teknik performans artışı üzerinden seviyeleri oluşturulmalıdır.

Sistem Mühendisliği ciddi oyunu değişik coğrafi oyun haritalardan ve görevlerden oluşmalıdır. Bu ve karşı kuvvetlerin varlığı sistem ihtiyaçlarının belirlenmesi konusunda önemli bir rol oynayacaktır. Ek olarak Robocraft oyununda kullanıcı sistemi

yok edildiğinde, oyuncu maç bitene kadar tekrar canlanamamaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi değişik görevler kapsamında, oyun içinde yok edilen sistemlerin yeniden doğma özelliği olmalıdır. Bu durum eğilence dengesinin korunması için önemli bir husustur. Yeniden doğma özelliği aynı zamanda güvenilirlik ve kullanılabilirlik süreçleri içinde temel oluşturma potansiyeline sahiptir.

Robocraft oyununda sistem mühendisliği idame süreci için önemli, yedek parça ve bakım süreçleri de bulunmamaktadır. Oyun içersinde tamir fonksiyonu bulunmaktadır ancak yavaş ve kullanılması zordur. Sistem mühendisliği ciddi oyunu bu süreçleri de kapsaması gerekmektedir. Robocraft sistem modifikasyonu üzerine kurulu bir oyundur. Bu nedenle sistem yaşam döngüsünü tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle olası bir ciddi oyun modifikasyon imkânı sunmamalıdır. Yeni tasarım ancak elden çıkarma süreci sonucunda tanımlanacak yeni ihtiyaçları kapsamında, süreçlere yeniden başlama suretiyle yapılmalıdır.

6. KAYNAKÇA

[1] Tawadrous, Mina. Kevan , Sherrene D. Kapralos, Bill. ve Hogue, Andrew, A Serious Game for Incidence Response Education and Training, The Technology Collection, 178
[2] Zavcer, Gregor. Mayr, Simon and Petta, Paolo. (2014) Design Pattern Canvas: An Introduction to Unified Serious Game Design Patterns, 282
[3] Smith, Roger. (2009), A History of Serious Games, I/ITSEC 2009 Tutorial, 58
[4] Raybourn, Elaine. Smith, Peter. (1961) Global Force Serious Gaming: History, Theory, Pedagogy, and Military Application, 7
[5] Raybourn, Elaine. Smith, Peter. (1961) Global Force Serious Gaming: History, Theory, Pedagogy, and Military Application, 8
[6] Djaouti, Damien. Alvarez, Julian. Jessel, Jean-Pierre. Rampnoux, Olivier. (2011) Origins of Serious Games, 2
[7] Djaouti, Damien. Alvarez, Julian. Jessel, Jean-Pierre. Rampnoux, Olivier. (2011) Origins of Serious Games, 6
[8] Raybourn, Elaine. Smith, Peter. (1961) Global Force Serious Gaming: History, Theory, Pedagogy, and Military Application, 11
[9] Raybourn, Elaine. Smith, Peter. (1961) Global Force Serious Gaming: History, Theory, Pedagogy, and Military Application, 12
[10] Smith, Roger. (2009), A History of Serious Games, I/ITSEC 2009 Tutorial, 69
[11] Smith, Roger. (2009), A History of Serious Games, I/ITSEC 2009 Tutorial, 73
[12] Zavcer, Gregor. Mayr, Simon and Petta, Paolo. (2014) Design Pattern Canvas: An Introduction to Unified Serious Game Design Patterns, 283
[13] Raybourn, Elaine. Smith, Peter. (1961) Global Force Serious Gaming: History, Theory, Pedagogy, and Military Application, 6
[14] Simmons, Mark. (2014) New UK indie Freejam Games Unveil Robocraft at Insomnia 51 , http://www.gamasutra.com/view/pressreleases/215216/New_UK_indie_Freejam_Games_Unveil_Robocraft_at_Insomnia51.php
[15] B.S.Blanchard, W.J.Fabrycky. (2011) Systems Engineering and Analysis, 5. Baskı, Prentice Hall, 17.
[16] H.Bode (1967) Report to Committee on Science and Astronautics, U.S. House of Representatives, Washinghton DC

[17] Defense Systems Management College (DSMC), Systems Engineering Management Guide, DSMC, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washinghton DC, 1990
[18] Enclosure 12 on Systems Engineering in DOD Instruction 5000.02, Operation of Defense Acquisition System, 08 December 2008
[19] B.S.Blanchard, W.J.Fabrycky. (2011) Systems Engineering and Analysis, 5. Baskı, Prentice Hall, sayfa 48.
[20] Freejam, http://robocraftgame.com/about/
[21] Chapple, Craig. (2014) Has the indie bubble burst on PC? http://www.develop-online.net/analysis/has-the-indie-bubble-burst-on-pc/0193441
[22] Steam. (2014) Robocraft. http://store.steampowered.com/app/301520/
[23] (2014) Robocraft Exclusive Interview. http://www.freemmostation.com/features/robocraft-exclusive-interview/
[24] Robocraft Wiki (2015) http://robocraft.gamepedia.com/Quick_start
[25] Livingston, Christopher (2014) The Lighthouse Customer: Robocraft.
http://www.rockppershotgun.com/2014/07/21/robocraft-alpha-review/
[26] 5 ISO/IEC. 2008. Systems and Software Engineering -- System Life Cycle Processes. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation / International Electrotechnical Commissions. ISO/IEC/IEEE 15288:2008.
[27] Eveleens, René L.C. (2015) Integrated Modular Avionics Development Guidance and Certification Considerations", Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617, www.sto.nato.int
[28] Henshaw, Michael. (2015) A Socio-Technical Perspective on SoSE, ", Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617, www.sto.nato.int
[29] Dahmann, Judith S. (2015) Systems of Systems Considerations for the Engineering of Systems, Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617, www.sto.nato.int
[30] Dashwood, Peter Brook. (2015) Enterprise and the Technology Environment, Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617 www.sto.nato.int
[31] Scheithauer, Dieter.(2015) Architecting of Systems for Participation in System-of-Systems; Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617, www.sto.nato.int
[32] Henshaw, Michael. (2015) Good Practice in Systems of Systems Engineering (SoSE), Systems of Systems Engineering for NATO Defence Applications 2015, AC/323 (SCI-276)TP/617, www.sto.nato.int

HEDEF VURUŞ OLASILIĞINI ARTIRMAK İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN TERMİNAL MANEVRA ÇALIŞMALARI

İbrahim Kaya [(a)], Mert Hasanoğlu [(b)]

[(a)] Roketsan AŞ, Ankara-Samsun Karayolu 40. Km 06780 Elmadağ, ANKARA, ikaya@roketsan.com.tr

[(b)] Roketsan AŞ, Ankara-Samsun Karayolu 40. Km 06780 Elmadağ, ANKARA, mhasanoglu@roketsan.com.tr

ÖZ

SADM (Ship Air Defence Model), BAE Systems firması tarafından deniz Sistemlerine yönelik olarak geliştirilmiş ve içerisinde gemi, uçak, anti-gemi füzesi, balistik füze, sensörler (radarlar, ESM, IRST, vb.), komuta kontrol ve silah kontrol sistemleri, dış ortam (atmosfer, deniz, vb.), alt sistemler arası ilişkiler ve angajman ortamı modellerini içeren bir simülasyon aracıdır [1].

Terminal manevra, herhangi bir füzenin hedefini vuruş olasılığını artırmak amacıyla gerçekleştirdiği yön değiştirme hareketidir.

Bu çalışmada, jenerik bir anti-gemi füzesinin hedef gemiyi vurma olasılığını artırmak amacıyla, SADM içerisinde verilmiş olan terminal manevra parametrelerinin değiştirilerek, en iyi parametre setinin elde edilmesi anlatılmaktadır.

Çalışmada, yüksek sayıdaki simülasyon sayısının azaltılması, parametrelerin birbirlerine bağımlılığının ve vuruş etkinliğine olan etkisinin belirlenmesi ve en iyi parametre setinin bulunabilmesi için Deney Tasarımı (DT), Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Genetik Algoritma (GA) yöntemleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SADM, Terminal Manevra, Vuruş Olasılığı, Deney Tasarımı, Yapay Sinir Ağı, Genetik Algoritma

OPTIMIZATION STUDIES ON TERMINAL MANEUVERING TO INCREASE THE PROBABILITY OF HIT

ABSTRACT

SADM (Ship Air Defence Model), developed by BAE Systems, is a software simulation tool to model Maritime Defence problems against air and surface threats (ships, aircraft, ASMs, ballistic missiles, SAMS, etc.) and includes detailed models of platforms (ships, aircraft, etc.,), sensors (radars, IRST, ESM, etc.,), trackers, Command and Control

systems, weapons, Anti-Ship missiles (seekers, etc.,), environment (atmosphere, terrain), etc [1].

Terminal Maneuver is a “changing direction” motion to increase the “probability of hitting the target” of a missile.

In this study, to increase the probability of hit for a generic anti-ship missile (ASM), parameters of terminal maneuvering of the ASM given in SADM were changed to obtain the optimum parameter set.

Design of Experiment (DOE), Artificial Neural Network (ANN) and Genetic Algorithm (GA) methods were used to decrease the huge number of simulation for the given parameter set, to see the dependency of the parameters to eachother, as well as to discover the effects of the parameters to the probability of hit and to find the optimum values of those parameters.

Keywords: SADM, Terminal Maneuvering, Probability of Hit, DOE, ANN, GA

1. GİRİŞ

Anti-gemi füzelerinin en öncelikli başarım amacı, hedef geminin vuruş yüzdesinin mümkün olduğunca yüksek tutulmasıdır. Hedef gemi kendisini çeşitli savunma sistemleri (Gemi savunma füzesi, Top, CIWS silahı, saman, aldatıcı, vb.) sistemler ile savunmaktadır. Bu sistemlere karşı, anti-gemi füzesinin vuruş olasılığını (Ph) artırmak için, terminal safhada manevra hareketi gerçekleştirilir. Manevra hareketi, füzenin yön, hız veya ivme değiştirme hareketidir.

Bu çalışmada, Roketsan AŞ bünyesinde, deniz sistemlerine yönelik olarak geliştirilmiş ticari bir simülasyon yazılımı olan SADM (Ship Air Defence Model) programı kullanılarak, vuruş olasılığını en yüksek seviyeye çekmek için yapılmış olan eniyileme çalışması ve sonuçları anlatılmıştır. Çalışmada, Deney Tasarımı (DT), Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Genetik Algoritma (GA) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Çalışmada, problemi simüle edebilecek matematiksel bir model elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen model, eniyileme çalışmasında kullanılmıştır.

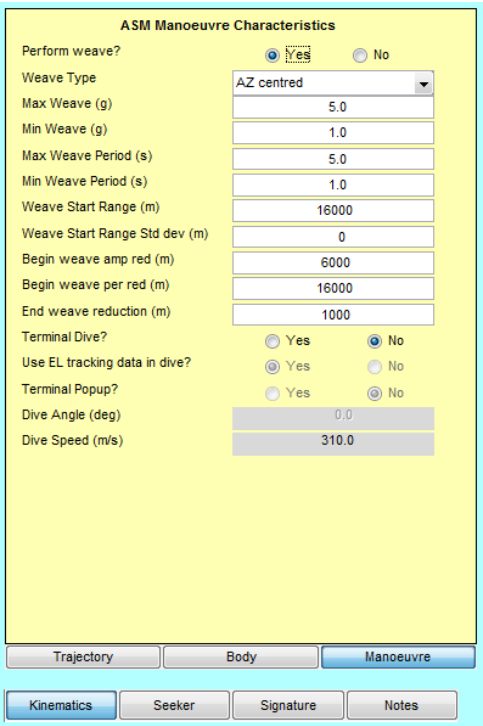
2. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada, kendisini CIWS (Closed-In Weapon System) silah sistemi ile savunan bir gemiye karşı, anti-gemi füzesinin vuruş olasılığını (Ph) en üst seviyeye çıkarmak (maksimize etmek) için, en iyi (optimum) terminal manevra parametrelerinin bulunması hedeflenmiştir. Bu durumda SADM içerisinde verilmiş ve eniyilenmesi yapılacak olan manevra parametreleri (**Şekil 1**) girdiyi, anti-gemi füzesinin gemiyi vuruş olasılığı ise

çıktıyı oluşturacaktır. Çalışmada, girdiyi oluşturan parametre sayısı 8'dir ve çıktı üzerindeki etkileri bilinmemektedir. Bunlar:

- Max Weave (En yüksek manevra ivmesi, g)
- Min Weave (En düşük manevra ivmesi, g)
- Max Weave Period (En yüksek manevra periyodu, s)
- Min Weave Period (En düşük manevra periyodu, s)
- Weave Start Range (Manevra başlangıç mesafesi, m)
- Begin Weave Amplitude Reduction (Manevra ivmesinin düşürülmeye başlandığı mesafe, m)
- Begin Weave Period Reduction (Manevra periyodunun düşürülmeye başlandığı mesafe, m)
- End Weave Reduction (Manevranın sonlandırıldığı mesafe, m)

Çalışmadaki amaçlardan bir tanesi de, elde edilmiş olan sonuçların kullanılarak etkinlik analizi yapılması ve verilmiş olan parametre setinde, çıktı üzerinde etkin olanların belirlenebilmesidir.



Şekil 1. Anti-Gemi Füzesi için SADM'da Tanımlanmış Manevra Parametreleri

3. ENİYİLEME (OPTİMİZASYON) YÖNTEMİ

Herhangi bir eniyileme çalışması için izlenebilecek 3 ayrı yöntem bulunmaktadır.

1. **Simülasyonların seri modunda koşulması (Tam Faktöriyel Arama):** Bu yöntemde, arama sahasının tamamında simülasyonlar koşulur. Parametre sayısının (n) yüksek olduğu durumlarda, lineer olmayan etkilerin de incelenebilmesi için her parametrenin en az 3 seviyede sonucuna bakılması durumunda, simülasyon sayısı da yüksek olacağı ($>3^n$) için, oldukça verimsiz bir yöntemdir.
2. **Simülasyonun herhangi bir eniyileme yazılımı ile birlikte koşturulması:** Eniyileme yazılımları, birlikte koşacağı yazılımın içerisindeki girdileri değiştirebilmeli ve koşum sonunda elde edilmiş olan çıktıya ulaşabilmelidir. Bu özellik, ancak belli bazı yazılımlarda sağlanabilmektedir (Örn: Sherpa *(eniyileme yazılımı)* ve Fluent*(simülasyon)*). Birbirleri ile konuşmayan yazılımlarda, kullanıcı tarafından veri alış-verişi sağlanması kolay bir yöntem değildir.
3. **Problemin matematiksel modelinin eniyilenmesi:** Bu yöntemde, eniyileme çalışması yapılacak problemin doğruluğu yüksek bir matematiksel modeli oluşturulur ve elde edilmiş olan matematiksel model eniyileme çalışmasında kullanılır. Oldukça etkili ve hızlı bir yöntemdir.

Bu çalışmada, bahsi geçen 3. yöntem izlenmiştir. Bu yöntemde, SADM kullanılarak, doğruluğu yüksek bir matematiksel modelin elde edilmesi ve bu matematiksel modelin eniyileme çalışmasının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. SADM kullanılarak Matematiksel modelin elde edilmesi ve bu modelin eniyileme çalışmasında kullanılması

3.1. Simülasyon Yazılımı

Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyonlar, SADM (Ship Air Defence Model) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SADM (Ship Air Defence Model), Deniz sistemlerine yönelik olarak geliştirilmiş bir simülasyon aracıdır. SADM programı, gemi üzeri sensörlerden, angajman ortamına, alt sistem etkileşimlerinden, anti-gemi füzelerine kadar birçok detayı içeren, oldukça komplike bir programdır.

SADM, aşağıda sıralanmış detaylı modelleri içermektedir:

- Platformlar (Gemi, Uçak, Kara vb.),
- Sensörler (Radar çeşitleri, ESM, IRST, vb.),

- Takip Sistemleri,
- Komuta Kontrol ve Silah Kontrol Sistemleri,
- Silahlar (Hardkill, Softkill),
- ASMs (Anti Gemi Füzeleri, arayıcı ve elektronik ekipmanları),
- Dış ortam (atmosfer, coğrafya vb.),
- Alt sistemler arası ilişkiler.

SADM angajman ortamının yüksek doğrulukta modellenebildiği bir simülasyon ortamıdır. Yani, herhangi bir senaryoya istenildiği takdirde, kendi içerisinde bulunan modeller (ASM, gemi, radar, decoy, chaff, vb.) eklenebilmektedir.

3.2. Matematiksel Model

Bu çalışmada bahsi geçen matematiksel model aşağıda verildiği gibidir:

$$çıktı = f(girdi\ parametreleri)$$

$$\boldsymbol{y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \cdots + \beta_8 X_8 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \cdots + \beta_{18} X_1 X_8 + \beta_{23} X_2 X_3 + \cdots + \beta_{28} X_2 X_8 + \cdots + \beta_{78} X_7 X_8 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \beta_{678} X_6 X_7 X_8 \ \ (Linear\ Model) + \alpha_1 X_1^2 + \alpha_2 X_2^2 + \cdots + \alpha_8 X_8^2 \ \ (Quadratic\ Model) + \gamma_1 X_1^3 + \gamma_2 X_2^3 + \cdots + \gamma_8 X_8^3 \ \ (Cubic\ Model)} \quad (1)$$

$X_1, X_2, X_3, \ldots, X_8$ ana parametreler,

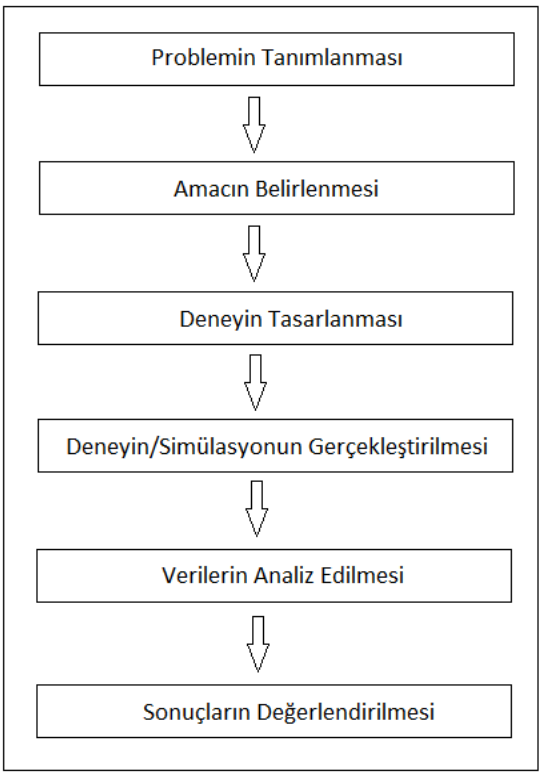
$X_1X_2, X_1X_3, \ldots, X_2X_8, \ldots, X_7X_8$ muhtemel ikili etkileşimler,

$X_1X_2X_3, X_1X_2X_4, \ldots, X_6X_7X_8$ muhtemel üçlü etkileşimlerdir.

Bu çalışmada, Denklem 1'de gösterilen 2. ve 3. dereceden polinomlar haricinde, girdi-çıktı ilişkisinin bilinemediği ve çoğunlukla doğrusal olmayan modellerde kullanılan Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli de kullanılmıştır.

3.3. Deney Tasarımı (DT) Yöntemi

Deney tasarımı (DT), çıktının birden fazla değişken tarafından etkilendiği durumlarda, çıktı verisinden anlamlı sonuçlar çıkartılabilmesini sağlamak için deney (simülasyon) planlaması yapmayı sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemle, değişken sayısının çok olduğu durumlarda, deney/simülasyon sayısının düşürülmesi sağlanır. DT yönteminde izlenmesi gereken yol Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. DT yönteminde izlenmesi gereken yol

Herhangi bir ticari DT programı (örn: Minitab, Jmp, vb.) ile, deney veya simülasyanun yerine kullanılabilecek Matematiksel model (denklem 1'de verilene benzer 2. veya 3. dereceden polinom) elde edilebilmek mümkündür. Bu çalışmadaki regresyon modelleri ticari bir DT programı ile elde edilmiştir.

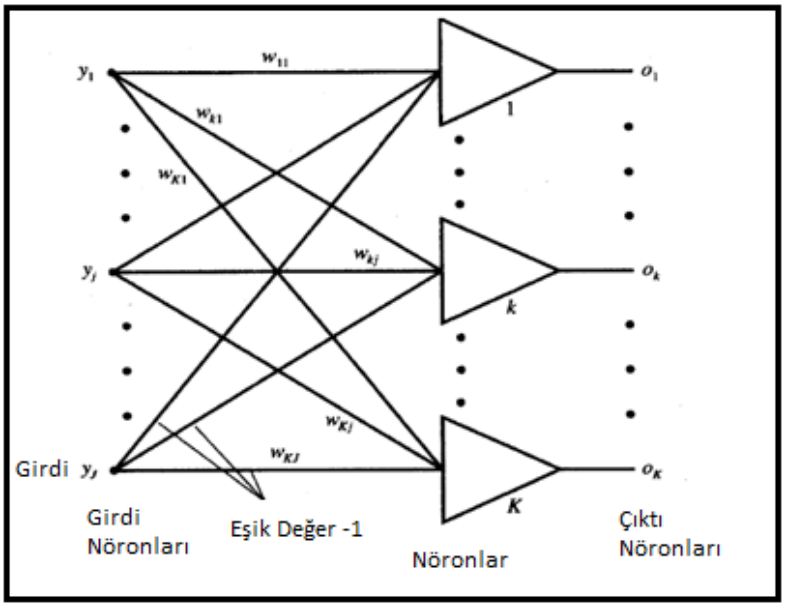
DT yöntemleri temel olarak 3'e ayrılır:

- Faktöriyel Tasarım
- Cevap Yüzeyi Analizleri
- Taguchi Yöntemleri

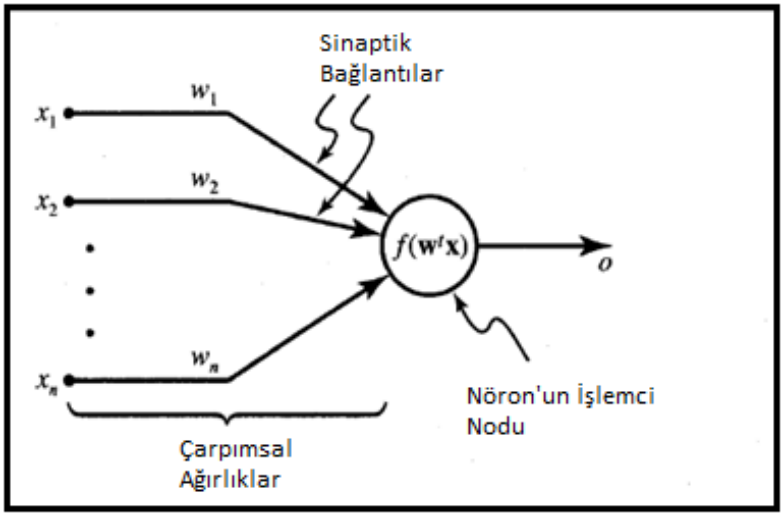
Bu çalışmadaki girdi parametrelerinin sayısı 8'dir. Her bir parametreden en az 3 seviye kullanılarak elde edilecek simülasyon sayısı, Taguchi yöntemi kullanılarak 40000 civarından 27'ye düşürülmüştür.

3.4. Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemi

Yapay Sinir Ağı (YSA), deney veya simülasyon sonucu elde edilmiş olan verinin, matematiksel olarak öğrenme yöntemidir. YSA, biyolojik sinir sistemini taklit eder ve regresyon yöntemi ile matematiksel model elde etmenin oldukça zor olduğu durumlarda kullanılmaktadır. YSA ile, deney/simülasyon ile elde edilmiş olan eğitim seti kullanılarak, herhangi bir sistem hakkında tahmin yapabilmek mümkün olmaktadır. Şekil 4 ve Şekil 5'de sırasıyla örnek bir YSA yapısı ve nöron işlem nodu gösterilmektedir.



Şekil 4. Örnek YSA yapısı [2]

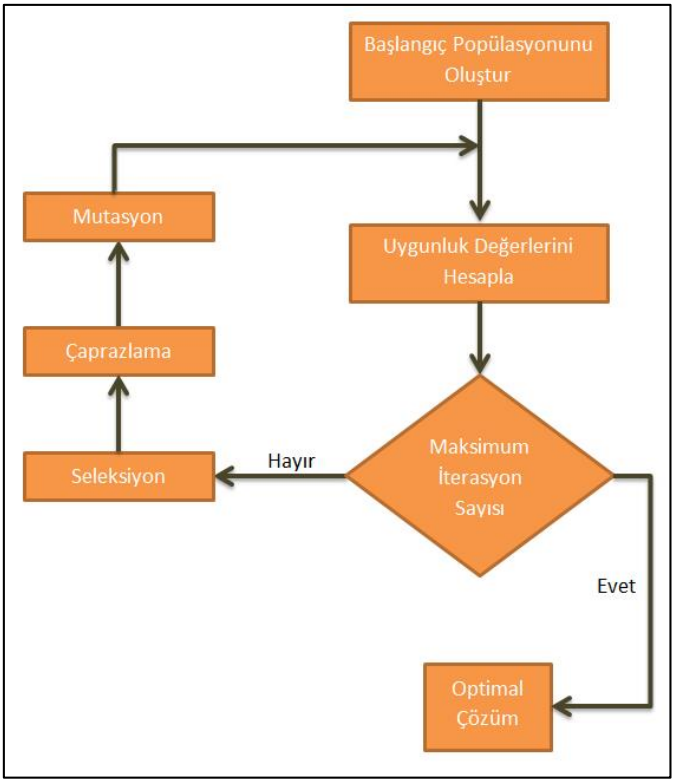


Şekil 5. Nöron işlem nodu [2]

Bu çalışmada kullanılan YSA yazılımı Roketsan AŞ'de geliştirilmiş olup, bilginin ileriye doğru beslendiği ve hatanın geriye doğru taşındığı, delta öğrenme kuralı algoritmasına sahip bir yazılımdır.

3.5. Genetik Algoritma (GA)

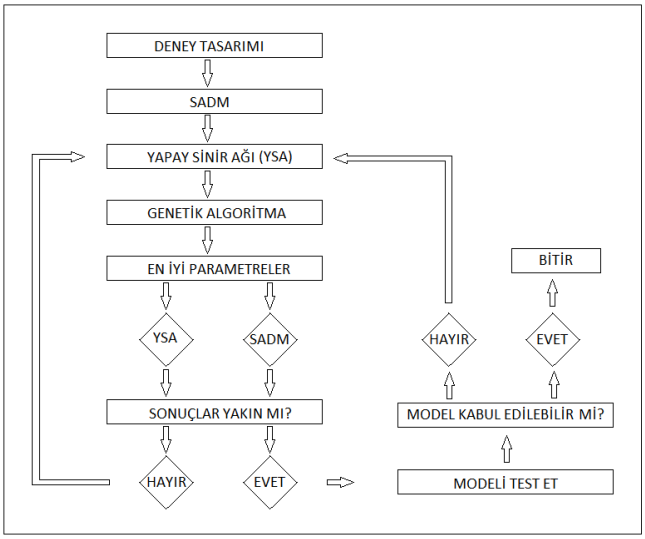
Genetik Algoritma (GA), doğada gözlemlenen bazı evrimsel süreçleri taklit eden bir eniyileme yöntemidir [3]. Bir problemin eniyilenmesi sırasında, yerel en iyi sonuçta sıkışıp kalmaz, bütün arama sahasına bakarak, makul bir zaman içerisinde kabul edilebilir sonuçlar verir [3]. Özellikle, çok parametreli ve parametrelerin çıktıya etkilerinin tahmin edilemediği problemlerde oldukça etkilidir. Şekil 6'de, GA akış şeması verilmiştir. Bu çalışmada, ticari bir program olan Matlab yazılımının GA aracı kullanılmıştır.



Şekil 6. GA akış şeması [3]

3.6. Çözüm Yöntemi ve Elde Edilen Matematiksel Modeller

Bu çalışmada, Şekil 7'de verilmiş olan çözüm yöntemi izlenmiştir.



Şekil 7. Çözüm Yöntemi

Çözüm yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. DT (Taguchi) yöntemi kullanılarak, 8 adet parametreden oluşan girdi seti için, 27 adetlik simülasyon seti oluşturulur.
2. Oluşturulan simülasyon seti için, SADM programı kullanılarak, çıktılar elde edilir ve YSA için eğitim seti oluşturulur.
3. Elde edilen eğitim seti ile, YSA eğitimi gerçekleştirilir.
4. Elde edilen YSA modeli için, GA yöntemi ile eniyileme çalışması yapılır.
5. Elde edilen eniyilenmiş parametreler, SADM programında ve YSA modelinde kullanılarak sonuçlar karşılaştırılır.
6. Sonuçlar, önceden belirlenmiş (%5) yakınlıkta değilse, elde edilmiş olan YSA modelinin problemi yansıtmadığı ve eniyilime çalışmasında elde edilmiş olan parametre ile birlikte yeniden eğitilmesi gerektiği ortaya çıkar. Elde edilen yeni set ile birlikte 3. adıma dönülerek çalışma tekrarlanır.
7. Bu yineleme, 6. adımda belirtilmiş olan yakınlıkta bir sonuç elde edinceye kadar devam eder.
8. Eğer sonuçlar yakınsa, elde edilmiş olan YSA modelinin test aşamasına geçilir. Bunun için, eğitim setinden ayrı olarak, farklı parametre değerleri ile bir test seti hazırlanır. Test seti için YSA modeli ve SADM programında ayrı ayrı sonuçlar bulunur ve karşılaştırma yapılır. YSA modelinin kabul edilebilir doğrulukta olmadığı sonucuna ulaşılırsa, test setinde farklı sonuçlar veren parametre setinin

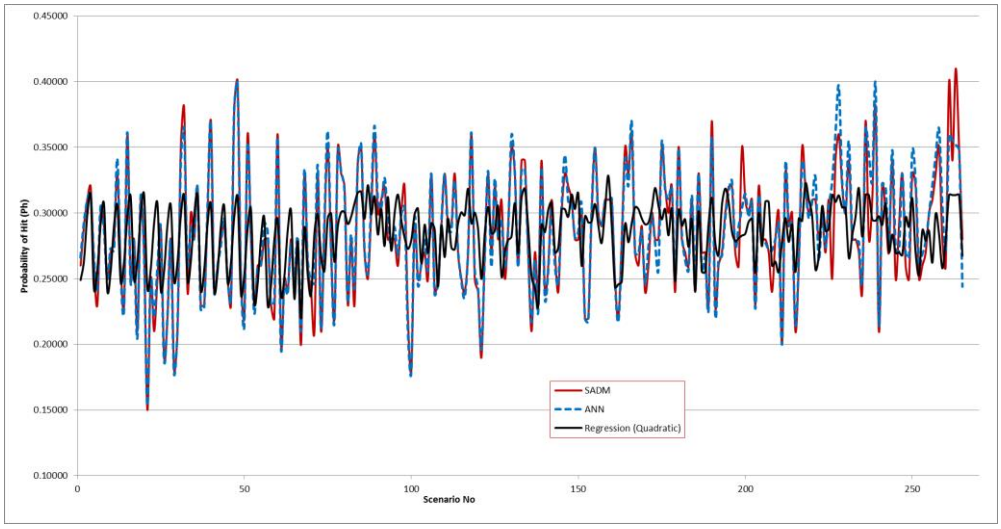
yeniden YSA ile eğitilmesi gerektiği ortaya çıkar ve 3. adıma dönülerek çalışma tekrarlanır.

9. Bu yinelemenin, YSA modeli kabul edilebilir yakınlıkta (<%5) sonuçlar verene kadar devam ettirilmesi gerekmektedir.

Yukarıda algoritması verilen çözüm yöntemi ile, toplamda 265 adet simülasyon koşturulmuştur. Çalışma sonunda 3 adet matematiksel model elde edilmiştir. Elde edilmiş olan modellerin kullanılmış olan veri setine ne derece uyum gösterdiği, modellerin "Uyum Derecesi, R^2 değeri" (Goodnes of Fit) değerleri karşılaştırılarak elde edilmiştir.

- Regresyon yöntemi ile 2. derece bir polinom ($R^2 \approx 26\%$)
- Regresyon yöntemi ile 3. derece bir polinom ($R^2 \approx 28\%$)
- YSA modeli ($R^2 \approx 94\%$)

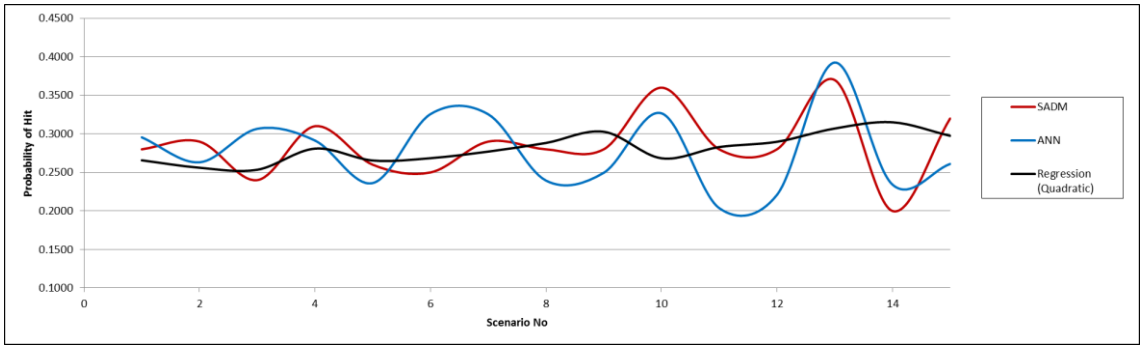
Şekil 8'de, kullanılmış olan eğitim seti için, matematiksel modellerin SADM sonuçları ile karşılaştırıldığı grafik verilmiştir. Grafikte, görünümde karmaşanın önüne geçmek için, yalnızca YSA ve 2. derece polinomun SADM ile karşılaştırılması yapılmıştır.



Şekil 8. Matematiksel modellerin SADM sonuçları ile karşılaştırılması – Eğitim Seti

Şekil 8 dikkatlice incelenirse, regresyon yöntemi ile elde edilmiş olan modelin, problemi doğru bir şekilde modelleyemediği ve bir çok noktada SADM programında elde edilmiş olan sonuçlardan farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum, polinomların uyum derecelerinin düşük olmasından da görülmektedir. Uyum derecesi yüksek olan YSA modeli ise, beklendiği gibi birçok noktada SADM programına yakın sonuçlar vermiştir. Şekil 9'de ise, matematiksel modeller elde edildikten sonra oluşturulmuş olan test seti ile SADM sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Grafikte, beklendiği gibi regresyon yöntemi ile elde edilmiş olan modelin doğruluğunun düşük, YSA modelinin ise çok daha yüksek olduğu görülmektedir. YSA modelinde bazı noktalarda farkın yüksek olması

(%10), modelin güvenilirliğini düşürmesine rağmen, ortalama fark %4 civarında çıkmıştır.



Şekil 9. Matematiksel modellerin SADM sonuçları ile karşılaştırılması – Test Seti

Şekil 10'da, Minitab [4] ticari yazılımı ile elde edilmiş olan regresyon modeli (2. derece polinom) ile ilgili sonuçlar verilmiştir. %95 güvenilirlik seviyesi için, P değeri 0.05 civarında olan parametrelerin çıktı üzerinde daha etkin olduğu (kırmızı kutu içerisindeki parametreler), P değeri daha yüksek olan parametrelerin ise daha az etkin olduğu (mavi kutu içerisindeki parametreler) bilinmektedir. Bu sonuçlar, uyum derecesi (R^2 değeri) %26 civarında olan bir regresyon modeli için yapılmış olan etkinlik analizinin güvenilirliği düşük olmasına rağmen, hangi parametrelerin çıktı üzerinde etkin olduğu hakkında fikir vermektedir. Buna göre, en düşük manevra ivmesi, en düşük periyod ve manevra başlangıç mesafelerinin çıktı üzerindeki en etkin olan parametreler olduğu sonucuna varılabilmektedir. Elde edilmiş uyum derecesi yüksek YSA modeli ile yapılmış olan eniyilime çalışması sonucunda, hedef vuruş olasılığını en yüksek seviyeye çıkartacak olan en iyi parametre seti kümesi bulunmuştur.

Regression Equation

Ps hard = 0.800006 - 0.279343 Max Weave - 0.727991 Min Weave - 0.179043 Max Period + 0.518607 Min Period - 0.80484 Weave Start + 0.289125 End Weave Red + 1.10271 Begin Amp Red + 0.00102823 Begin Per Red + 0.262444 Max Weave*Max Weave - 0.00276069 Max Weave*Min Weave + 1.5862 Min Weave*Min Weave + 0.308773 Max Period*Max Period - 0.340993 Max Period*Min Period - 0.939217 Min Period*Min Period + 2.56802 Weave Start*Weave Start + 0.862552 Weave Start*End Weave Red - 1.00394 End Weave Red*End Weave Red - 5.69099 Begin Amp Red*Begin Amp Red - 0.18529 Begin Amp Red*Begin Per Red + 0.0325086 Begin Per Red*Begin Per Red

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.80001	0.13089	6.11187	0.000
Max Weave	-0.27934	0.71790	-0.38911	0.698
Min Weave	-0.72799	0.38218	-1.90484	0.058
Max Period	-0.17904	0.30015	-0.59651	0.551
Min Period	0.51861	0.27823	1.86396	0.064
Weave Start	-0.80484	0.54772	-1.46942	0.143
End Weave Red	0.28912	0.27749	1.04193	0.298
Begin Amp Red	1.10271	0.83383	1.32247	0.187
Begin Per Red	0.00103	0.09588	0.01072	0.991
Max Weave*Max Weave	0.26244	1.42113	0.18467	0.854
Min Weave*Min Weave	1.58620	1.23490	1.28448	0.200
Max Period*Max Period	0.30877	0.36609	0.84344	0.400
Min Period*Min Period	-0.93922	0.61511	-1.52692	0.128
Weave Start*Weave Start	2.56802	2.44231	1.05147	0.294
End Weave Red*End Weave Red	-1.00394	0.71273	-1.40858	0.160
Begin Amp Red*Begin Amp Red	-5.69099	5.58354	-1.01924	0.309
Begin Per Red*Begin Per Red	0.03251	0.08648	0.37589	0.707
Max Weave*Min Weave	-0.00276	0.85063	-0.00325	0.997
Max Period*Min Period	-0.34099	0.29947	-1.13866	0.256
Weave Start*End Weave Red	0.86255	0.96797	0.89109	0.374
Begin Amp Red*Begin Per Red	-0.18529	0.74836	-0.24760	0.805

Summary of Model

S = 0.0407521 R-Sq = 25.80% R-Sq(adj) = 19.72%
PRESS = 0.479031 R-Sq(pred) = 12.29%

Şekil 10. Regresyon modeli ve parametrelerin çıktı üzerindeki etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, kendisini yalnızca CIWS silah sistemi ile savunan gemiye karşı, herhangi bir anti-gemi füzesi için hedef gemiyi vuruş olasılığını artırmak amacıyla SADM ticari yazılımı kullanılarak eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir. Tam faktöriyel arama ile, 8 adet girdisi bulunan problemin en az 3 seviyedeki değerlerinin görülmesi, toplamda 40000 adetten fazla simülasyon koşturulması demektir. Böyle bir çalışma, yüksek işlemci gücü ihtiyacı doğurduğu gibi, zaman açısından da verimsiz bir çalışma olacağı için, Deney Tasarımı yöntemleri kullanılarak, simülasyon sayısı oldukça düşük seviyelere çekilebilmiştir. Ayrıca, problemin matematiksel modeli elde edilerek, eniyileme çalışmasının bu model üzerinden gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Çalışma sonunda 2 adedi regresyon ve 1 adedi Yapay Sinit Ağı yöntemi ile olmak üzere toplamda 3 adet model elde edilmiş ve modellerin doğrulukları uyum dereceleri ve test setinin üzerinde elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılarak belirlenebilmiştir. Buna göre, en yüksek doğruluk oranının YSA yöntemi ile elde edilmiş model ile sağlandığı görülmüştür. Daha sonradan bu model eniyileme çalışmasında kullanılarak en iyi parametre seti kümesi elde edilmiştir. Ayrıca, minitab ticari programı, uyum derecesi düşük olmasına rağmen regresyon modellerine ait etkinlik analizi sonuçlarını vermiş ve hangi parametrelerin vuruş etkinliği üzerinde daha etkin olduğu hakkında fikir sahibi olunmuştur. Böyle bir problem için elde edilmiş olan yüksek doğruluklu bir YSA modeli, ihtiyaç duyulduğu takdirde simülasyonun yerine kullanılabilecektir. Bu çalışmada elde edilen bilgi birikimi, farklı türdeki problemlerin analiz çalışamalarında da kullanılabilecektir.

5. KAYNAKÇA

[1] SADM-AE User's Guide Volume 1: Theory

[2] Zurada, J. M., *Introduction to Artificial Network*

[3] http://tr.wikipedia.org/wiki/Genetik_algoritma

[4] https://www.minitab.com/en-us/

AKIŞKAN VE DURAĞAN VERİLERİN AYNI ANDA İŞLENEBİLDİĞİ BİR BÜYÜK VERİ İŞLEME PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ

Mustafa Umut Demirezen[(a)], Arif Kamil Yılmaz [(b)], Yusuf Gökhan Küçükayan[(c)], Devrim Barış Acar[(d)]

[(a)] STM, Ankara Teknoloji Geliştirme Bölgesi Bilkent Cyberpark, Üniversiteler Mahallesi, 1605.Cadde, No: 3/A 06800, Çankaya/ANKARA, udemirezen@stm.com.tr

[(b)] [(c)] [(d)] STM, akyilmaz@stm.com.tr, ygkucukayan@stm.com.tr, dbacar@stm.com.tr

ÖZ

Automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) sistemleri hava taşıtlarının gerçek zamanlı izlenebilmesi ve takip edilebilmesi için kullanılan bir sistemdir. Bu sinyallerin çözümlenmesi ve görselleştirilmesi için kullanılan çok sayıda yazılım mevcuttur. Çözümlenen bu sinyallerden elde edilen mesajların gerçek zamanlı işlenmesi ya da biriktirilerek veri bilimi yöntemleri ile incelenmesi mümkündür. Bu çalışmada giderek popüler olan büyük veri işleme araçları ve analitik yöntemlerinin söz konusu ADS-B mesajlarının incelenmesinde kullanılması örneği ile özel bir Büyük Veri işleme alt yapısı tasarlanarak (Lamda Mimari) simülasyon alanında, yenilikçi bir veri işleme platformu sunulmaktadır. Gerçek zamanlı olarak çözümlenen sinyallerin, tarafımızca geliştirilen bir lamda mimarili büyük veri işleme alt yapısı ile hem gerçek zamanlı hem de geçmişe yönelik bilgilerin birlikte işlenmesi sağlanmıştır. Sınırlı bir menzile sahip olmasına karşın yazılım tabanlı telsizlerden (SDR – Software Defined Radio) elde edilen ADS-B mesajları kullanılarak yapılan gerçek zamanlı analitik analizler ve büyük hacimli önceden elde edilen hava taşıtı bilgilerinin hızlı bir şekilde süzülerek tekrar oynatılması sağlanabilmektedir. Hava taşıtlarından gerçek zamanlı ve duran halde elde edilen 2 Terabyte'lık bir veri başarılı şekilde işlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ADS-B, büyük veri, Lamda Mimari, gerçek zamanlı veri akışı, SDR

DEVELOPING BIG DATA REAL-TIME STREAM AND BATCH DATA PROCESSING PLATFORM

ABSTRACT

The automatic dependent surveillance broadcast systems (ADS-B) are used for monitoring and pursuing aircrafts in real-time data processing schedule. Heretofore several software were used to analyze and visualize these signals. The outputs (messages) obtained from these analyzed signals could either be examined by real-time data processing or subsequent data science analyses. In this research, analyzing as-mentioned ADS-B messages by increasingly popular data science tools and its related

data analytics would be an innovative outcome of Big Data infrastructure (Lambda Architecture) data processing platform. The Lambda Architecture developed by STM Big Data Solutions Group was provided both of historical and real time data processing concurrently. In particular, the real-time data analysis and the vast volume of historically data obtained from aircrafts could be processed rapidly and filtered to be re-animated repeatedly even by using limited communication SDR (software defined radio) receivers. 2 Tera Bytes of data obtained from aircrafts (real-time and offline) processed successfully.

Keywords: ADS-B, big data, data science, real time streaming, SDR

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere geçtiğimiz son on yıl içerisinde Hadoop gibi toplu veri işleme üzerine geliştirilen teknolojiler evrimleşerek büyük verilerin çevrimdışı (offline)ve performanslı olarak işlenmesine olanak sağlamıştır. Hadoop, MapReduce paradigmasını kullanarak büyük miktardaki veriyi dağıtık ve paralel olarak yüksek çıktı değerleri üreterek işleyen bir sistem olarak popülerlik kazanmıştır. Fakat gün geçtikçe çeşitli konu alanlarında (domain) farklı kullanım senaryoları için büyük veri kümeleri üzerinde gerçek zamanlı (real-time) olarak hızlı sonuç verebilecek yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Bu tür isterler için Hadoop'un çok uygun olmadığı görülmüş ve gerçek zamanlı veri işleme platformları ortaya çıkmıştır. Gerçek zamanlı veri işleme platformları yardımıyla yüksek miktarda veri analiz edilebilmekte ve hızlı işlenebilen veri sayesinde kestirim kabiliyetini arttırmakta ve karar verme sürelerini azaltmaktadır. Duran verilerin (Data at Rest) ve hareketli verilerin (Data in Motion) işlenebilmesi için farklı teknikler ve altyapılar kullanılmaktadır. Verinin hacminin giderek büyümesi, farklı kaynaklardan gelmesi, gerçek zamanlı ve hızlı olarak incelenmesi ihtiyacı gibi özellikleri nedeniyle verinin geleneksel yöntemler ile işlenmesi zorlaşmaktadır. Duran ve Hareketli verilerin ayrı ayrı incelenmesi için günümüzde çeşitli teknolojiler mevcuttur. Ancak zaman içerisinde söz konusu verilerin birlikte incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Duran ve hareketli verilerin aynı anda incelenebilmesi ihtiyacının oluşması ile birlikte farklı çözümler üretilmiş olsa da [1], genel olarak bir mimari tasarımı ve kullanımı halen araştırılmakta olan bir konudur. Bu çalışmada gerek simülasyon altyapılarında kullanılabilecek gerekse genel maksatlı olarak duran ve hareketli büyük verilerin aynı anda işlenmesine olanak sağlayacak bir Lamda Mimari (LM) tasarlanarak ADS-B sinyallerinden elde edilen yarı yapısal duran ve hareketli verilerin birlikte işlenmesi gerçekleştirilmiştir. ADS, ICAO (International Civil Aviation Organization) tarafından; "Uçağın kendi on-board seyrüsefer sistemleri ile pozisyon sabitleme sistemlerinden elde ettiği kimlik bilgisi, dört boyutlu pozisyon bilgisi ve ilave diğer bilgilerin de içinde olduğu verilerin bir veri hattı aracılığıyla yayınlandığı gözetim tekniğidir.", olarak tanımlanmaktadır (ICAO Circular 256-AN/152). ADS için mevcut 2 form bulunmaktadır, ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast -- Otomatik Bağımlı Gözetim-Yayın) ve ADS-C (Automatic Dependent Surveillance - Contract -- Otomatik Bağımlı Gözetim-Sözleşme). Uçaklar ADS-B mesajları ile 0.5 sn.+/- 0.1 sn. aralıklarla uçak pozisyon bilgisini ve 5 sn. aralıklarla da kimlik bilgisini iletir.

Bu çalışmada, Farklı kaynaklardan gelen farklı türdeki verilerin aynı anda işlenebilmesi sağlayacak yeni bir büyük veri mimarisi ve tasarımı anlatılmakta ayrıca örnek bir uygulama ile etkinliği ortaya konulmaktadır. Uçaklar tarafından gönderilen ADS-B mesajlarının gerçek zamanlı ve dağıtık bir şekilde işlenerek saklanması ve analiz edilebilmesi için bir lamda mimari tabanlı büyük veri sistemi kullanılmıştır. Çok hızlı şekilde ve büyük hacimlerle oluşan iki farklı türdeki verinin aynı anda işlenmesine olanak sağlayan bu büyük veri sisteminin benzetim teknolojilerinde de kullanılabileceği öngörülmektedir. Çalışmanın ikinci kısmında günümüzdeki büyük veri teknolojilerine kısaca değinilmiş ve LM hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde geliştirilen LM ve uygulama tanıtılmış, son bölümde ise elde edilen sonuçlar kısaca ortaya konulmuştur.

2. BÜYÜK VERİ TEKNOLOJİLERİ

Bulut bilişim teknolojilerinin değişmesiyle birçok kuruluş iş zekâsı uygulamalarını sınırsız işlem kabiliyeti sunan bulup bilişim sistemlerine aktarmaktadır [3-5]. MapReduce gibi Dağıtık hesaplama yazılım çatıları büyük verilerin günümüzde işlenmesine olanak sağlamaktadır. MapReduce yüzlerce binlerce düğümlük bir kümeleme sisteminin dağıtık ve paralel olarak verilerin işlenmesine olanak sağlar ve analitik üretimi sonuçların elde edilmesi için geçen süreyi kısaltır [6]. Bunun yanında MapReduce'den farklı olarak MongoDB, ElephantDB, Cassandra ve HBase gibi NoSQL veri tabanları da büyük veri işleme ve saklamada kullanılmaktadır [2]. 2014 yılında 274 bilişim kuruluşunda gerçekleştirilen bir bilişim anketi sonucunda, bu kurumların %70 inde gerçek ya da gerçeğe yakın zamanlı büyük veri işleme ihtiyacı olduğu, aynı kurumların ancak %9'unun ise işlenmesi oldukça karmaşık ve teknik olarak zor olan gerçek zamanlı bu veriyi işleyebildiği belirlenmiştir [7]. MapReduce kullanılarak işlenen verilerin toplu (batch) olarak işlenmesi oldukça zaman almakta ve bu tekniğin gerçek zamanlı veri işlemede kullanılmayacağı bilinmektedir. Verilerin gerçek zamanlı olarak işlenerek analitik işlemlerin gerçekleştirilmesi ve ETL (Extract Transform and Load) işlemlerinin optimize edilmesi ve görselleştirilmesi ihtiyacı ne yazık ki MapReduce yaklaşımı ile olamamaktadır. MapReduce algoritmasının Doug Cutting ve Mike Cafarelle tarafından açık kaynaklı olarak Apache Hadoop projesi ile gerçeklemesi yapılmıştır. Hadoop günlük kullanılan bilgisayarlar üzerinde (commodity hardware) çalışabilir ve ölçeklenebilir. Hadoop MapReduce yazılım çatısı ölçeklenebilir ve hataya karşı dirençli olacak şekilde tasarlanmıştır [8]. Ancak Giriş/Çıkış (I/O) işlemlerinin optimal ve efektif olarak çalışması için tasarlanmamıştır. Map ve Reduce işlemleri bir veri üzerinde işlem bitmeden diğer adıma geçilemeyen bir yaklaşımla veri blokları üzerinde çalışmaktadır. Çıkış adımında bulunan Mapper'ların işlediği veriler, Reducer'a geçmeden önce dürümlerdeki yerel disklere yazılır ve alfa nümerik olarak sıralanır. Bu adım tüm Map görevleri tamamlanmadan başlamaz. Daha sonra sıralanan ve diğer Mapper'lardan gönderilen veriler birleştirilerek Reducer'lara gönderilir. Reducer Mapper'ların ürettiği bu yeni veri bloklarını kendi bulunduğu düğüme ağ üzerinden kopyalar. Veri bloğu seviyesinde görevlerin yeniden başlaması ve bire bir gerçekleşen sıralama işlemleri ve çalışma zamanlı görev yönetimi her bir düğümün performansını düşürmektedir [2]. Ayrıca MapReduce yazılım çatısı veri tabanı yönetim sistemlerinde olan yürütme planı (execution plan) yeteneğine sahip değildir ve

düğümler arasında veri transferlerinin optimize olarak gerçekleştirilmesi yeteneği de bulunmamaktadır. Tüm bunlar bir araya geldiğinde Hadoop doğası gereği gecikme (latency) problemleri yaşamaktadır [2, 16]. Bu nedenle gerçek zamanlı toplu (batch) veri işlemeye uygun değildir. Akışkan veri işleme (stream processing), verinin potansiyel değerinin güncel olarak işlenebilmesi sonucunda artması varsayımı ile ortaya çıkmıştır [9]. Bu nedenden ötürü akışkan veri işleme verilerin mümkün olduğunca çabuk olarak işlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu paradigmada veri işleme sistemine sürekli bir şekilde akışkan olarak ulaşır. Verinin geliş biçimi süreklilik arz ettiği için hızlı ve büyük hacimlerde gelen verinin kısıtlı hafızalar üzerinde tamamını işlenmesi mümkün olmamakta ve gelen akışkan verinin sadece belirli bir kısmı işlenebilmektedir. Akışkan verilerin işlemesi için bazı teoriler geliştirmiş ve teknolojik olarak gelişmeler sağlanabilmiştir [9,18]. Bu alanda geliştirilen ve günümüzde yaygın olarak kullanılan açık kaynaklı projeler Storm [17], S4, Samza, Kafka ve Spark Streaming'dir [10-13,18]. Akışkan verilerin gerçek zamanlı olarak işlenebilmesi, çevrim içi uygulamalarda yaygın olarak saniye ya da milisaniye sürelerinde işlenebilmesine ihtiyaç duyar [23]. Özellikle nesnelerin interneti kavramının yaygınlaşması ile sensörlerden alınan verilerin gerçek zamanlı ya da yakın gerçek zamanlı olarak işlenebilmesi gereksinimi doğmuştur. Bu türdeki akışkan verilerin işlenebilmesi için bu veri türüne özel mimarilerin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Sensör ağlarından sürekli ve büyük hacimlerde gelen verilerin toplanması, analiz edilmesi ve saklaması işlemleri için yapılan bazı çalışmalarda, uygulamaya özel yaklaşımların sergilendiği özellikle akıllı sistemlerin akışkan veriler ile desteklenmesi için akışkan veri işleme sistemlerinin kullanıldığı görülmektedir [14, 15, 19].

Akışkan ve duran verilerin birlikte işlenmesi için mimari geliştirme ihtiyacı farklı alanlarda kendini göstermeye başlamıştır [25]. Bu alanlardan biriside uzaktan algılama ve görüntü işleme sistemleridir. Uydulardan elde edilen görüntülerin gerçek zamanlı ve toplu olarak işlenmesi üzerine yapılan çalışmalar [20, 21], farklı yaklaşımlar göstermektedir. Tam olarak LM olmasa da, büyük, duran ve akışkan uygu görüntülerinin birlikte işlendiği bu çalışmada, uydulardan elde edilen görüntülerin ön işleme gereksinimleri akışkan veri işleme altyapısı ile gerçekleştirildikten sonra büyük veri altyapısı üzerinde saklanmakta, daha sonra MapReduce yardımıyla geliştirilen algoritmalar ile su, deniz buz gibi hedefler bulunabilmektedir. Bu yaklaşım ve altyapı ile oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Veri işleme süresi ve saklama kabiliyeti geliştirilerek akışkan verilerin kayba uğramadan anlık olarak işlenmesi ve daha sonra durağan hale geldikten sonra yapılan analizlerde hedeflerin bulunması veri merkezli bir işleme ihtiyacını ortaya koymaktadır [24]. Farklı nitelikteki veri türlerinin birlikte işlenmesi kabiliyetinin kazanılmasının mevcut teknolojiler ile mümkün olduğu görülmektedir. LM akışkan veri işleme uygulamalarının MapReduce ve Storm ya da benzer sistemlerin üzerine kurulduğu bir mimaridir [26-28]. Bu kavram gelişmekte olsa da sürpriz şekilde popülerlik kazanmıştır. Mimari farklı şekillerde tanımlanabilmekte, spesifik bir teknoloji kullanılma zorunluluğu bulunmamaktadır. LM'nin sorunlu bulunan özelliklerinden ötürü eleştiriler de almaktadır [26-28]. Karmaşık ve dağıtık bir sistemde geliştirilen kodların idame ettirilmesi oldukça zor bir iştir. Hadoop ve Storm gibi teknolojilerde dağıtık çalışacak uygulamalar geliştirilmesi karmaşık olarak görülmektedir. Geliştirilecek kodlar, kullandığı teknolojiye özgü olacaktır. Durağan ve

akışkan veriler için farklı teknolojiler kullanılacağı için, farklı kodlar geliştirilecek ve aynı mimari içerisinde farklı sistemler üzerinde çalışacaktır. Bu sorunun aşılması için Summingbird gibi yazılım çatıları geliştirilmiştir. Bu yazılım çatısında kod daha özet (abstract) düzeyli bir programlama dilinde geliştirilecek iki farklı teknoloji için kullanılması sağlanır. İki defa kodlamadan bu şekilde kaçınılsa da iki farklı sistemde kodların test edilmesi ve hatalarının ayıklanması gerekmektedir. Bu yaklaşım dolayısı ile Hadoop ekosistemindeki diğer başarılı yazılım çatıları gerektiğinde kullanılamamaktadır.

2.1 Lamda Mimari

En temel anlamda düşünüldüğünde, bir veri sistemi geçmişten belirli bir zamana kadar bilgileri kullanarak sorgulara cevap vermektedir. Eğer bir veri sistemi geçmişteki verilere bakarak sorgulara cevap veriyor ise tüm verileri işlemek zorundadır. Bu tür bir sistem aşağıdaki gibi modellenebilir [29]:

Sorgu = fonksiyon(Tüm Veri)

LM rast gele bir sistem üzerinde rastgele bir fonksiyon kullanımı ve bu fonksiyon ile düşük gecikmeli sorgular gerçekleştirilebilmesini sağlar. Bu yapı içerisinde kesinlikle aynı teknolojilerin kullanılması yerine aksine geniş bir şekilde mevcut olan farklı teknolojilerin bir araya getirilmesine olanak sağlar [29]. Ancak LM bu teknolojilerin seçilmesinde tutarlı bir yaklaşım sergilenmesini gerektirir. Bu şekilde bir araya gelen ve bir birlerine bağlanan bileşenler tutarlı olarak çalışabilecektir. Bir büyük veri sistemi temel olarak aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [29]:

1. Tutarlılık ve hataya karşı dayanıklı olabilme
2. Düşük gecikmeli (Low Latency) okuma ve yazma
3. Ölçeklenebilir olma
4. Genelleştirilebilme
5. Genişletilebilme
6. Anlık sorgulanabilme (ad-hoc)
7. Minimum idame çabası gerektirme
8. Hata ayıklanabilme

Yukarıda açıklanan bütün bu özelliklerin hepsini kendi bünyesinde barındıran bir sitemin gerçekleştirilemeyeceği düşünülse de LM bu temel özelliklerin tamamını kendi yapısı gereği doğal olarak desteklemektedir. Rastgele fonksiyonları rastgele veri setleri üzerinde gerçek zamanlı olarak çalıştırılmasını destekleyen bir çözüm yoktur. Bunun yerine çeşitli araçlar ve teknikler kullanılarak eksiksiz bir büyük veri sistemi kurulabilir. LM'deki temel fikir bir dizi katmanlı yapı ile bir büyük veri sistemi oluşturulmasıdır [29, 2]. Her bir katman bazı büyük veri sistemi için bazı gerekli özellikleri yapısında barındırarak bir alt katmanda bulunan yeteneklerin kullanılmasını sağlar. Şekil 1'de örnek bir LM gösterilmiştir.

2.1.1. Duran Veri İşleme Katmanı

Klasik sistemlerde ya da büyük veri sistemlerinde Sorgu = fonksiyon(tüm data) gibi bir yaklaşımla gerçekleştirilen sorgular mümkün olsa da çok uzun zaman almakta ve

kaynakların tüketilmesine sebep olmaktadır. Petabytelar seviyesindeki bir verinin her defasında bu şekilde sorgulanması durumu farklı bir yaklaşım geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu duruma alternatif olarak toplu veri görüntüleri (batch views) kullanımı seçilebilir. Bu yaklaşımda önceden hesaplanan sorgu sonuçları toplu veri görüntüleri (TVG) olarak saklanır. Her defasında gerçekleştirilen sorgular tekrar tekrar çalıştırılmaz. Bunun yerine önceden hazırlanan TVG'ler sorgu sonucu olarak istek sahibine gönderilir [29, 2]. Böyle bir sistem aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

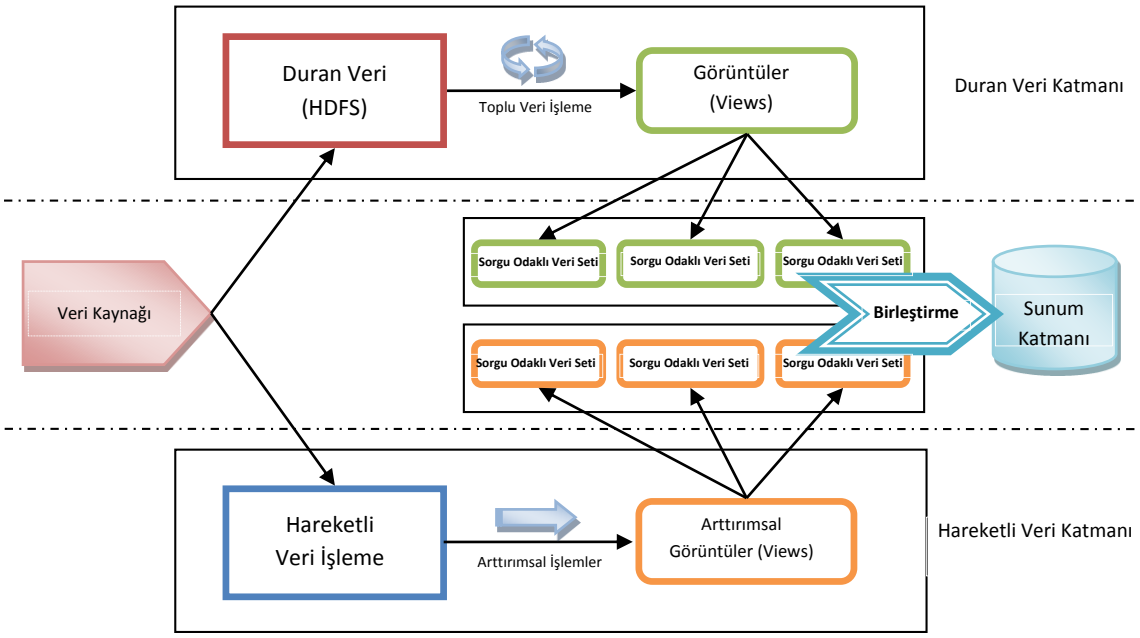
TVG = fonksiyon(Tüm Veri)

Sorgu = fonksiyon(TVG)

Bu sistemde toplu işlenen veriler sonucunda elde edilen TVG'ler her defasında sorgu sonucu olarak hızlı bir şekilde ve kaynakları etkin kullanarak gönderilecektir. TVG'lerin üretilmesi yüksek gecikmeli (High-Latency) bir işlemdir. Tüm veri üzerinde analiz yapılacak ve işlem bittiğinde bu sırada birçok yeni veri gelmiş olacaktır. Dolayısı ile yeni veri sorgu sonucuna yansımayacaktır. Toplu veri işleme katmanı temel olarak iki yeteneğe sahip olmalıdır [29]. Bunlardan birincisi, sürekli olarak büyüyen ve değişmezlik (immutable) özelliğine sahip olan temel veri setine sahip olması ikincisi ise herhangi bir hesaplama işleminin bu veri seti üzerinde çalıştırılabiliyor olmasıdır. Hadoop ve Spark [22] bu tür bir işlem için uygun büyük veri teknolojileridir. Toplu veri işleme katmanında geliştirilen kodlar sürekli olarak çalışmaya devam eder. Bu katmanda bulunan donanım sayısı arttırılarak ölçekleme yapılabilir ve işlemlerin daha kısa sürede bitirilmesi sağlanabilir. Büyük veri sistemleri tasarlanırken saklanan veri kullanılarak yapılacak analizlerde mümkün olduğunca fazla soruya cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Yeni analizler gerektiği durumlarda, ham verilerin tekrar işlenerek bu analizin gerçekleştirilebilmesi gerekmektedir. İşlenmiş veri, ham veriden türetildiği için içerisinde barındırdığı birçok bilgiyi kaybetmiştir. Bu nedenle büyük veri sistemlerinde olabildiğince ham verinin saklanması önemlidir. Verinin değişmez olması (Immutable) ile büyük veri sistemleri iki önemli avantaj elde eder. Bunlardan birincisi insan hatasına karşı verinin korunmuş olmasıdır. Verilerin yanlışlıkla veri tabanlarından silinmesi ya da güncellenmesi her zaman karşılaşılabilecek bir durumdur. Değişmez veri modelinde gereken tek şey yeni gelen verilerin ana veri kümesine eklenmesidir. Bu özellikle verilerin indexlenmesine gerek duyulmayacak ve ekstra işlem gerektirmeyecektir. Ancak bu model saklanacak veri boyutunun diğer veri saklama modellerine göre daha fazla yer kaplamasına neden olacaktır.

2.1.2. Sunum Katmanı

Toplu veri işleme katmanında hazırlanan TVG'ler kullanılabilir hale gelmesi için bir sistemi yüklenmek zorundadır. Bu sistem ise sunum katmanının kullanılması ile oluşturulmaktadır. Bu katman dağıtık yapıda çalışabilecek, TVG'lerin yüklenebileceği ve rast gele okuma işlemlerinin gerçekleştirilebileceği bir veri tabanıdır. Yeni TVG'ler hazır olduğunda sunum katmanı eski TVG'leri devre dışı bırakmalı yerine yeni TVG'leri kullanıma sunmalıdır. Sunum katmanı veri tabanı toplu güncellenebilme ve rast gele okunabilme yeteneklerine sahip olmalıdır.



Şekil 1. Lamda Mimari Kavramsal Yapı

davranışı kestirilebilir ve kararlı çalışan bir yapıda olacaktır [29,2]. Sunum ve toplu veri işleme katmanlarının birlikte çalışabilmeleri ile rast gele veri setleri üzerinde rast gele sorgular çalıştırılabilir ancak TVG'ler oluşturulurken yeni gelen verilerin sunumu yapılamaz. Bunların kullanılabilir hale gelmesi için bir miktar sürenin geçmesi ve toplu veri işleme katmanında çalışan kodun bir defa daha yürütülmesi gerekmektedir.

2.1.3. Akışkan Veri İşleme Katmanı

Sunum katmanı, toplu veri işleme katmanındaki hesaplama işlemi tamamlanır tamamlanmaz güncellenecektir. Bu hesaplama ve veri işleme sırasında yeni gelecek veriler toplu veri işleme katmanında işlenemeyecektir. Bu verinin de işlenebilmesi gereklidir [29, 2]. Bu sorunun ortadan kaldırılması için, LM'ye eklenen akışkan veri işleme katmanında, toplu veri işleme sırasında gelen tüm veriler gerçek zamanlı olarak işlenmesi gereklidir. Akışkan veri işleme katmanı sadece son gelen veriler üzerinde işlem yapmaktadır. Uygulamada ihtiyaç duyulacak ya da kabul edilebilecek gecikme zamanlarına göre gelen veriyi artırımlı (incremantal) olarak işleyecek ve gerçek zamanlı görüntüleri (GZG) oluşturacaktır. Bu katmana ulaşan tüm veriler biriktirilerek sıfırdan işlenmeyecek bunun yerine GZG'leri artırımlı olarak güncelleyecektir. Bu katmanda yapılan işlem aşağıda gösterilmiştir:

$$\mathbf{GZG = fonksiyon\ (GZG,\ Yeni\ Veri)}$$

Yeni gelen veri ile halen üzerinde barındırdığı gerçek zaman görüntüleri artırımlı olarak güncellenecektir. Dolayısı ile LM aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

$$\mathbf{TVG = fonksiyon\ (Tüm\ Veri)} \quad \mathbf{GZG = fonksiyon\ (GZG,\ Yeni\ Veri)}$$

$$\mathbf{Sorgu = fonksiyon\ (TVG,\ GZG)}$$

Akışkan veri işleme katmanı rasgele okuma ve yazma yapabilecek veri tabanlarını kullanmaktadır. Dolayısı kullanım ve çalışma açısından sunum katmanında kullanılacak veri tabanlarından çok daha karmaşık veri tabanlarının kullanılması gerekmektedir. Akışkan veri işleme katmanı diğerlerine nazaran daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Toplu veri işleme katmanında işlenmesi tamamlanan veriler sunum katmanına aktarıldığında ve TVG'ler hazır olduğunda, GZG'lerindeki bir miktar veriye artık ihtiyaç olmayacaktır. LM'nin sonuçları üzerinde geçici olarak saklayan bir katmana karışık işleri yaptırmasına karmaşıklık izolasyonu adı verilir. Akışkan veri işleme katmanında herhangi bir sorun olursa, toplu veri işleme katmanının bir sonraki çalışması ve sonuçları elde etmesi ile bu sorun ortadan belirli bir süre sonunda kalkacaktır. Artırımlı algoritma kullanılması ve rast yazma erişimli veri tabanları AVK'nının, sunum ve TVK'nından çok daha karmaşık yapar ancak LM'nin en büyük avantajı AVK'nin geçici (transient) yapıda olmasıdır [29, 2]. TVK ve sunum katmanları sürekli olarak AVK'nın ürettiği görüntülerin üzerine yazılır ve AVK sadece belirli bir süreliğine veri saklar. TVK kendisine atanan işlemeyi tamamladığında AVK'nın ürettiği ve sunum katmanında bulunan GZG'nin bir miktarı silinir.

3. LAMDA MİMARİ ve VERİ İŞLEME UYGULAMASI

Geliştirilen LM'nin test edilmesi için hazırlanan uygulama aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

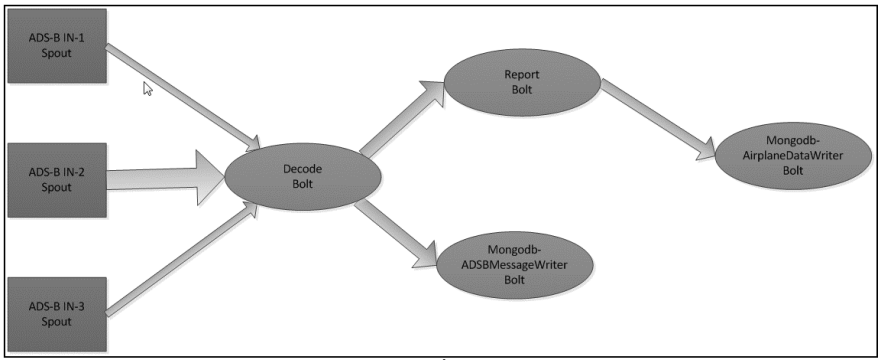
Şekil 2. Mimari Altyapı

Söz konusu uygulama içerisinde veri temini gerçek zamanlı olarak gelen verinin anlık olarak işlenmesi, yapısının JSON formatına dönüştürülmesi, ham olarak ve JSON formatında HADOOP ve MongoDB'ye yazılması, anlık olarak işlenen verilerin web tabanlı bir uygulama üzerinden gösterilmesi işlemleri gerçekleştirilmektedir.

3.1. Veri Sağlama Katmanı

Apache Storm, büyük miktardaki veriyi dağıtık bir mimaride hızlı bir şekilde gerçek zamanlı olarak işleyen bir sistemdir. Gerçek zamanlı analizler (real-time analytics), makine öğrenme (Machine Learning) ve devamlı izleme (continuous monitoring) işlemleri için güçlü bir altyapı sağlar. Araştırmamızda uçaklardan 0,5 sn aralıklarla gelen ADS-B mesajları Apache Storm kullanılarak gerçek zamanlı olarak analiz edilip, 1 sn altında gecikme ile devamlı olarak uçak hareketlerinin izlenmesi sağlanmıştır. ADS-B mesajlarını gerçek zamanlı veri platformunda işlemek için Şekil 3'de gösterilen topoloji kullanılmıştır. Bu topolojide üç adet Spout ve dört adet Bolt kullanılmıştır. İki adet pasif ve bir aktif (yükselticili) anten tarafından toplanan ADS-B mesajı sinyalleri ikili (binary) formattan text formata dönüştürülerek TCP protokolü üzerinden ADS-B IN-1 Spout, ADS-B IN-2 Spout, ADS-B IN-3 Spout aracılığı ile gerçek zamanlı veri işleme yapısına dâhil edilmiştir. Şekilde paralel olarak çalışan "Report Bolt" görevinde aynı uçaklara ait olan mesajlar füzyon(fusion) işlemine tabi tutularak belirli kriterleri

sağladığında "airplane" verisi haline dönüştürülerek bellekte(in-memory) çalışan veritabanı olan Redis veri tabanına yazılır.



Şekil 3. ADS-B Mesaj İşleme Topolojisi

Storm platformundaki spout-bolt ve bolt-bolt arasındaki tüm mesaj transferleri "garanti mesajlaşma" prensibi çerçevesinde tamamlanır. Bu sayede topolojinin işletimi sırasından herhangi bir aşamada hiç bir veri kaybı olmadan tüm verilerin işlenmesi sağlanmaktadır.

3.2. Duran Veri Katmanı

Uygulamada MongoDB kullanılmasının en büyük sağladığı artılardan birisi NoSQL mantığının kullanılması ve bu mantıkta verilerin dağıtık olarak depolanıp analiz edilebilmesidir. Ayrıca MongoDB'nin altyapısı Hadoop HDFS deki mimariye benzer bir yapıda verileri saklamaya ve işlemeye olanak sağlamaktadır. Doküman tabanlı, (Document based) olmasından kaynaklı yoğun işlem akışı ve sabit saklama olanağı bu tür uygulamalar için çok elverişli bir teknolojidir. Storm uygulaması tarafından MongoDB'ye gönderilen ADS-B mesajlarının ham ve hatadan arındırılmış hali MongoDB de Shard yöntemini kullanarak saklanmaktadır. Bu saklama yöntemi analitik çıkarmak ve ilerdeki kestirimler için büyük verilerde avantaj ve kolaylık sağlamaktadır. Buradaki verinin büyüklüğünün öneminden çok gelen büyük verilerin nasıl ve ne doğrulukta analiz edilip sonuç çıkarıldığı önemlidir. Bu sebeple MongoDB'nin dağıtık ve analiz için kullanılan araçlarından faydalanılmıştır.
Belirli zamanlarda tutulan ham veriler MapReduce algoritması ile işlenerek uygulamada ihtiyaç duyulan bilgiler ve analitikler görüntü (view) olarak üretilerek MongoDB'de görüntü olarak saklanır. Bu işlem belirli sürelerde ya da geliştirilen algoritma ile hareketli veri katmanının kapasitesi dolmadan önce gerçekleştirilir. Hareketli veri katmanının kapasitesi sürekli olarak takip edilerek geliştirilen bir algoritma ile tüm bir MapReduce iş parçasının tamamlanması süresi kestirilerek duran veri işleme işlemi başlatılır. Her seferinde üretilen görüntüler önceki görüntüler silinerek yeniden yazılır. Bu işlem tamamlandığında ise hareketli veri katmanından duran veri katmanının üzerindeki iş parçasının tamamlanması süresince tutulan veriler ve görüntüler silinir.

3.3. Hareketli Veri Katmanı

Uygulamada "Veri Toplama ve İşleme" ve "Dağıtım" altyapıları arasında iletişimi sağlamak için Redis veri tabanı kullanılmıştır. Redis, bellekte (in memory) çalışan NoSQL bir veri tabanıdır. Redis, paket olarak bir yayımlama ve abonelik altyapısını desteklemektedir. Bu yapıda sunucu ve istemci sistemler belirledikleri kanallar üzerinde veri yayımlayabilmekte ve veri alabilmektedirler. Kanallar üzerinde veri iletimi gerçek zamana yakın olarak gerçekleşmekte, gecikmeye sebep olabilecek bir biriktirme veya önbellek mekanizması bulunmamaktadır. Storm tarafından yakalanarak işlenen, birleştirilen ADS-B mesajları son olarak Redis üzerinden JSON formatında yayımlanmaktadır. Bu mesajlar son kullanıcı web uygulamasını sunan NodeJS web sunucusu tarafından toplanarak, tüm kullanıcılara gerçek zamanlı olarak dağıtılmaktadır. Redis, ikinci olarak, uçak pozisyonlarının anlık son halini (snapshot) saklamakta ve yeni bağlanan kullanıcılara sunmaktadır. Hızlı sorgulama amacıyla, küme veri yapıları kullanılmış ve burada saklanan veriler ek bir zaman damgası ile işaretlenerek, geriye doğru olan sorgularda zaman dilimi bazında sorgu yapılabilmesi sağlanmıştır. LM içerisinde, duran veri katmanı tarafından veri işleme tamamlanana kadar geçen sürede güncel veriler bu katman tarafından geçici süre ile tutulur ve servis edilir.

3.4. Sunum Katmanı

Bu katmanda MongoDB'den ve Redis üzerinde oluşturulan görüntüler, gelen sorgular sonucunda işlenir ve tek bir sonuç olarak sorgu sonucu olarak gönderilir. Bu işlem süresince sürekli olarak devam eden duran veri ve hareketli veri işleme işlemleri sonucu üretilen veriler bu katman sayesinde sorgulanabilir tek bir veri seti haline getirilir. LM'nin en temel özelliği "eventually accurate" olmasıdır. Bir katman veri işlerken, veri işlenen katman üzerindeki bir önceki işlemle oluşmuş veriler ve yeni gelen veriler birlikte tutularak sorgulanabilir hale getirilmektedir.

3.5. Dağıtım ve Kullanıcı Uygulaması

Veri dağıtım altyapısı esas olarak bir web sunucusundan oluşmaktadır. Hızlı geliştirim sağlaması, MongoDB, Redis gibi veritabanlarıyla entegre çalışabilmesi ve WebSocket desteği sebebiyle JavaScript tabanlı NodeJS tercih edilmiştir.

NodeJS web suınucusu, Redis kanalına abone olarak gerçek zamanlı olarak uçak konum bilgilerini almakta ve bunları yine bir iletim kanalı mimarisiyle çalışan WebSocket protokolü üzerinden web tarayıcılarına yollamaktadır. WebSocket teknolojisi sayesinde istemci ve sunucu arasındaki veri iletimi gerçek zamanlı olarak yapılması mümkün olmaktadır. Web tarayıcısı üzerinde çalışan web uygulaması, anlık uçak verilerinin harita üzerinde gerçek zamanlı olarak gösterimi, gerçek zamanlı analitik verilerinin gösterimi (harita yoğunluk bilgisi, uçak sayıları, veri istatistikleri vb.), ve kullanıcı tarafından belirlenen zaman aralığında uçak bilgilerinin simülasyon olarak gösteriminin sağlanması gibi fonksiyonları yerine getirmektedir. Gerçek zamanlı konum bilgilerinin ve analitik verilerinin aktarımı için WebSocket protokolü, simülasyon amaçlı gösterim için ise REST protokolü üzerinden veri aktarılmaktadır.

4. SONUÇ

Geliştirilen LM ile gerçek zamanlı verilerin duran veriler ile birlikte işlenmesine olanak sağlayan ve düşük gecikmeli olarak ad-hoc sorgulama özelliğine sahip bir Büyük Veri sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen lamda mimarili büyük veri işleme sistemi ile antenler ve yazılım tabanlı telsizler ile elde edilen ADS-B mesajları gerçek zamanlı olarak işlenebilmiş ve duran veri işleme katmanında ve akışkan veri işleme katmanında düşük gecikmeli olarak sorgu yapılabilmesi sağlanmıştır. Üç farklı veri kaynağından (SDR) 590 mesaj/s hızla (40 MByte/s) aynı anda gelen hareketli veriler, gerçek zamanlı olarak haraketli veri işleme katmanında işlemiştir. Aynı zamanda duran veri katmanında ise başlangıçta 250 GB olan eski zaman damgalı veriler sürekli olarak işlenmiş ve analitik algoritmalarda kullanılmıştır. Sistemin çalışmaya başlamasından belirli bir süre sonra sistem üzerindeki duran veri hacmi yaklaşık olarak 2 TB'a ulaşmıştır. Elde edilen en düşük sorgu gecikme zamanı, 250 GB duran veri ve 590 msg/s hareketli veri için 200 ms olarak elde dilmiştir. Zaman içeresinde hareketli verilerin duran veriye dönüşmesi ile (2 TB ve üstü veri hacimleri için) artan duran veri miktarı 200ms'lik sorgu zamanını değiştirmemiştir. Antenlerden gelen veri hızı kontrollü olarak arttırıldığında ise (yaklaşık 1200 msg/s hıza çıkarıldığında) sorgulama süresinin, artan veri hacmi ve hızına göre 200 ms'de sabit kaldığı tespit edilmiştir. Sistem, veri işleme kapasitesinin arttırılması gerektiği durumlarda, yazılım kodları üzerinde bir değişiklik yapılmasına gerek duyulmadan, LM'nin sağladığı olanakla basit bir şekilde lineer olarak ölçeklendirilebilmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] Philip Chen, C.L., and Zhang, C.Y., (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. Elsevier Journal of Information Sciences, Volume 275, pp. 314–347.

[2] Liu, X., Iftikhar, N., Xie X. (2014). Survey of Real-time Processing Systems for Big Data. IDEAS '14 Proceedings of the 18th International Database Engineering & Applications Symposium, 356-361 .

[3] Liu, X., Thomsen, C., and Pedersen, T. B. (2011). ETLMR: a highly scalable ing, then presented one of the most popular real-time architectures, dimensional ETL framework based on mapreduce. In Proc. of the three-layer lambda architecture. Furthermore, We have made DaWak, pp. 96–11.

[4] Liu, X., Thomsen, C., and Pedersen, T. B. (2012). Mapreduce-based the survey of open-source real-time processing systems, including dimensional etl made easy. PVLDB, 5(12), 1882–1885, 2012.

[5] Liu, X., Thomsen, C. and Pedersen, T. B. (2014). CloudETL: Scalable S4, HStreaming, Impala, and the relevant messaging technologies. dimensional for Hive. In Proc. of IDEAS.

[6] Dean, J. and Ghemawat, S. (2008). Mapreduce: simplified data processing on During our investigation, we found that an open issue is the lack large clusters. CACM, 1(51), 107–113.

[7] Internet: Big Data Survey Europe. URL: www.pmone.com /fileadmin/user_upload/doc/study/BARC_BIG_DATA_SURVEY_EN_final.pdf, Son Erişim Tarihi 01.05.2014.

[8] Lee, K. (2012). Parallel data processing with MapReduce: a survey. processing platforms appeared recently. The emerging systems have SIGMOD Record 40(4), 11-20.

[9] Hu, H., Wen, Y., Chua, T.-S., and Li, X. (2014). Towards scalable systems for big data analytics: A technology tutorial. IEEE Access, vol. 2, pp.652 -687.

[10] Tatbul N., (2010). Streaming data integration: Challenges and opportunities, Proc. IEEE 26th Int. Conf. Data Eng. Workshops (ICDEW), pp.155 -158.
[11] İnternet: Apache Storm, 2013 URL: http://storm-project.net/
[12] Neumeyer, L., Robbins, B., Nair, A., and Kesari, A. (2010). S4: Distributed stream computing platform, Proc. IEEE Int. Conf. Data Mining Workshops (ICDMW), pp.170 -177.
[13] Goodhope, K. (2012) Building linkedins real-time activity data pipeline, Data Eng., vol. 35, no. 2, pp.33 -45.
[14] Cecchinel, C., Jimenez, M., Mosser, S., and Riveill, M. (2014). An Architecture to Support the Collection of Big Data in the Internet of Things., Proceedings of the International Workshop on Ubiquitous Mobile cloud, IEEE, Alaska - USA, pp.1-8.
[15] Zaharia, M., Tathagata, D., Haoyuan, L., Timothy, H., Shenker, S., and Ion, S. (2013). Discretized Streams: Fault-tolerant streaming computation at scale. Proceedings of the Twenty-Fourth ACM Symposium on Operating Systems Principles, pp. 423-438.
[16] White, T. (2015). Hadoop: The definitive guide (4th Edition). USA : O'Reilly Media Inc., pp. 1-670.
[17] Leibiusky, J., Eisbruch, G., and Simonassi, D. (2012). Getting started with storm. USA : O'Reilly Media Inc., pp. 1-250.
[18] Nivash, J.P., Deni Raj, E., Dhinesh Babu, L.D., Nirmala, M., and Manoj, K.V. (2015). Analysis on Enhancing Storm to Efficiently Process Big Data in Real Time. IEEE Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), pp.1-5.
[19] Kumar, V., Andrade, H., Gedik, B., and Wu, K. (2010). DEDUCE: at the intersection of MapReduce and stream processing. Proceedings of the 13th International Conference on Extending Database Technology, Switzerland, pp. 657-662.
[20] Demchenko, Y., De Laat, C., and Membrey, P., (2014). Defining architecture components of the Big Data Ecosystem. 2014 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS), Minneapolis, pp. 102-112.
[21] Rathore, M.M.U., Paul, A., Ahmad, A., and Chen, B.-W. (2015). Real-Time Big Data Analytical Architecture for Remote Sensing Application. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, (Volume:PP , Issue: 99), pp. 1-12.
[22] Manikandan, S.G., and Ravi, S. (2014). Big Data Analysis Using Apache Hadoop.), 2014 International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS, Beijing, pp.1-4.
[23] Philip Chen, C.L., and Zhang, C.Y., (2014). Data-intensive applications, challenges, techniques and technologies: A survey on Big Data. Elsevier Journal of Information Sciences, Volume 275, pp. 314–347.
[24] Kolomvatsos, K., Anagnostopoulos, C., and Hadjiefthymiades S., (Baskıda). An Efficient Time Optimized Scheme for Progressive Analytics in Big Data, Elsevier Journal of Big Data Resarch.
[25] Pääkkönen, P., and Pakkala D., (Baskıda). Reference Architecture and Classification of Technologies, Products and Services for Big Data Systems. Elsevier Journal of Big Data Resarch.
[26] Grazzini, J., and Pantisano, F. (2015). Europian Commision, Collaborative research-grade software for crowd-sourced data exploration: from context to practice. Part 1 : Guidelines for scientific evidence provision for policy support based on Big Data and open Technologies, European Union, pp. 39.
[27] Villari, M., Celesti, A., Fazio, M., and Puliafito, A. (2014). AllJoyn Lambda: An architecture for the management of smart environments in IoT. 2014 International Conference on Smart Computing Workshops, Hong Kong, pp.9-14.
[28] İnternet: Kreps, J. Questioning the Lambda Architecture URL: http://radar.oreilly.com/2014/07/questioning-the-lambda-architecture.html, Son Erişim Tarihi: 01.08.2014.
[29] Marz, N. and Warren, J. (2015). Big Data Principles and best practices of scalable realtime data systems. New York : Manning, 1-330.

BİR BANKANIN İŞ SÜRECİNE BENZETİM TABANLI ENİYİLEMENİN UYGULANIŞI

Ahmet Özkök[(a)], Ali Ercingöz[(b)], Tansel Dökeroğlu[(c)], Veysi İşler[(d)]

[(a) (b) (c) (d)] Simsoft Bilgisayar Teknolojileri Limited Şirketi

ODTÜ Teknokent Bölgesi SATGEB Bölge Ortak Bina ANKARA

{ahmet.ozkok,ali.ercingoz,tansel.dokeroglu,veysi}@simsoft.com.tr

ÖZ

Bu bildiri ile, bir bankada uygulanan iş sürecinin benzetim tabanlı eniyilemesi sunulmuştur. Bu iş süreci ve onun eniyilemesinin temel hedefi bu bildirinin 3. kısmında kapsamlı bir biçimde anlatılmıştır. Bu iş sürecininin modellemesi, benzetimi ve eniyilemesi SimBusPro adlı bir yazılımı kullanarak yapılmıştır. SimBusPro, Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programında yer alan Scientific Gateway Base User Support (SCI-BUS) projesine bağlı olarak geliştirilmiş bir İSM ve optimizasyon yazılımdır. BPMN 2.0 standartlarına uygun olarak çalışan görsel bir editöre sahip olan yazılım, ticari ve akademik olarak bir çok problemin modellenmesi ve simülasyon aracılığı ile optimize edilmesini gerçekleştirebilme kabiliyetine sahiptir. Ürettiği alternatif kaynak tahsis planları ile de mevcut iş süreçlerini daha etkin olarak modelleyebilmektedir. Bu özelliğinden faydalanarak bahsedilen iş sürecinin eniyilemesi gerçekleştirilmiştir ve bu bildiride anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SimBusPro, Bulut bilişim, Simülasyon, Optimizasyon, İş Süreci Modelleme, BPMN, SCI-BUS

1. GİRİŞ

Günümüzün koşullarında firmaların ve organizasyonların, varlıklarını sürdürebilmeleri için değişen şartlara süratli tepki veren ve maliyet-etkin davranışlar içerisinde bulunmaları gerekmektedir. Bu anlamda, sürekli olarak kendi iş süreçlerini analiz etmek, kaynaklarını daha verimli olarak yapılandırmak zorundadırlar. Bu amaç için kullanılan en önemli iyileştirme araçlardan bir tanesi İş Süreçleri Modelleme (İSM) ve simülasyon/optimizasyon yazılımlarıdır [1]. SimBusPro [2], bu amaca yönelik olarak Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programı kapsamında Scientific Gateway Base User Support (SCI-BUS) projesine bağlı olarak geliştirilmiş ve Bulut üzerinde çalışan bir İSM ve simülasyon/optimizasyon yazılımıdır [3]. SimBusPro'nun modelleme editörü kullanılarak BPMN 2.0 standartlarına [4,5] uygun iş akış modelleri tasarlanabilmekte ve kullanıcıların tanımladığı senaryolara uyumlu bir şekilde gerçeğe yüksek benzerlik oranları ile sistemin analiz çıktıları (simülasyon sonuçları) tablo ve grafik olarak alınabilmektedir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre kaynakların en etkin nasıl kullanılabileceği tespit edilebilmektedir.

Bu bildiri ile, SimBusPro yazılımının mevcut kabiliyetleri tanıtılmıştır. SimBusPro, BPMN 2.0 editörünü kullanmakta ve oldukça geniş bir spektrumda modelleme ve simülasyon yapma imkanı sağlamaktadır [2]. Bildirinin 2. bölümde, SimBusPro yazılımının tasarımı ve donanım mimarisi anlatılmıştır; 3. bölümde bir bankadaki iş sürecinin analizi yapılarak bu sürecin iyileştirilmesi ile ilgili sonuçlar verilmiştir; 4. bölümde ise sonuç ve ileride yapılması planlanan çalışmalar sunulmuştur.

2. SIMBUSPRO YAZILIM MİMARİSİ

İş Süreçleri Modelleme (İSM) ve simülasyon/optimizasyon yazılımları, kurumların ve organizasyonların hizmet ve üretim süreçlerini modellemek ve kaynak kullanımını optimize etmek amacıyla kullanılan yazılımlardır. Gerçek hayatta uygulanması ya da analiz edilmesi zaman ve maliyet gerektiren süreçler; bilgisayar üzerinde modellenerek sanal ortamlarda kolaylıkla simüle edilebilmektedir [6,9].

2.1. BPMN 2.0 uyumlu görsel editör

BPMN, iş süreçlerinin tasarımı ve optimizasyonunda ortak bir görsel dilin oluşturulmasını hedefleyen standart bir notasyondur [4]. İş süreçleri bu standart ile görsel olarak kolaylıkla ifade edilebilmektedir.

2.2. Kaynak kullanımı optimizasyon modülü

SimBusPro, "task" içerisinde kullanılan kaynakların iş süreçlerine alternatif tahsislerinden oluşan yeni simülasyon modelleri üretme ve bunları çalıştırarak analiz etme yeteneğine sahiptir. Örneğin, bir bankada gişe memuru sayısının 1-2 arasında, bireysel müşteri temsilcisi sayısının 1-2 arasında ve kurumsal müşteri temsilcisi sayısının 1-2 olduğunu düşünürsek, söz konusu kaynakların bütün alternatif kaynak tahsis planları

bize 8 farklı plan/model üretmektedir (gişe memuru sayısı * bireysel müşteri temsilcisi sayısı * kurumsal müşteri temsilcisi sayısı = 2 * 2 * 2 = 8).

2.3. Çok kriterli optimizasyon yeteneği

SimBusPro, optimizasyon sürecinde tek kriterli optimizasyon yapabilme özelliğinin yanı sıra, çok kriterli değerlendirme yapabilme özelliğine de sahiptir [8]. Çok kriterli optimizasyon için kullanılan formülasyonda, optimize edilecek her olgu için bir ağırlık katsayısı belirlenmektedir. Örneğin, eğer optimizasyonda hedef fonksiyonunda en az kaynağı kullanarak en yüksek verimin elde edilmesini amaçlıyorsa ve $\boldsymbol{n}$, kullanılacak kaynak tipinin sayısı, $\boldsymbol{r_i}$, $\boldsymbol{i}$ kaynağın tasarlanan modeldeki kullanım miktarı, $\boldsymbol{w}$ da her kaynak için tespit edilen ağırlık katsayısı ise hedef fonksiyonu aşağıda belirtilen şekilde yazılabilmektedir:

$$\min\left(\sum_{i=1}^{n} w_i r_i\right)$$

3. ÖRNEK OPTİMİZASYON DENEYİ VE SONUÇLAR

Bu bölümde, bir bankanın iş süreci, SimBusPro yazılımı kullanılarak modellendi, tüm kaynak tahsis planlarını içeren alternatif modeller simüle edilerek Bulut bilişim üzerinde çalıştırıldı, analiz edildi ve en iyi iş süreci modeli elde edildi [12].

3.1. Bankanın iş süreci optimizasyonu

Bir A Bankasına 1 dakikada bir müşteri gelmektedir. Banka tipik bir iş gününde 10 saat açıktır. Bankaya gelen müşteriler ya bankamatiğe ya da yapılacak işleme göre numaratöre sıra almaya gitmektedirler. Bankamatiği kullanma ihtimali %60, numaratörün kullanılma ihtimali ise %40'tir. Süreçteki tüm işlemlerin gerçekleştirilme sürelerinde belirsizlikler vardır; dolayısıyla, bu süreler olasılık dağılımları olarak verilmiştir. Bankamatikte gerçekleştirilen işlemlerin süresi sabit değildir ve üçgensel dağılıma ("triangular distribution") göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu işlem, TRIA(2, 3, 6) dakika sürmektedir (işlemin dağılımı üçgensel, minimum süresi 2, maksimum süresi 6, en sık rastlanan süre de 3 dakikadır). %95 ihtimalle müşteri bankamatiğe uğradıktan sonra işini bitirmiş olur ve sistemi terk eder ya da numaratörden işlemini bitirmek üzere sıra almaya gider. Numaratörden sıra alma işlemi TRIA(0.5, 1, 2) dakika sürer. Numaratörden; Gişe İşlemleri, Bireysel Kredi İşlemleri, Ticari Kredi İşlemleri ve Vadeli Mevduat/Yatırım İşlemleri olmak üzere 4 faklı işlem için sıra alınmaktadır. Bir araştırmaya göre, bu bankaya gelip de numaratörü kullanan müşterilerin %60'ı gişe işlemleri, %15'u bireysel kredi işlemleri, %15'i ticari kredi işlemleri, kalanı ise vadeli mevduat/ yatırım işlemleri için sıra almaktadır. Gişe işlemleri 5'e ayrılmaktadır: hesap açtırma/ kapatma, havale, para yatırma/ çekme, döviz işlemleri ve çek senet işlemleri. Müşteriler bu işlemlerini tamamladığında bankayı terk ederler. Bu işlemlerin süreleri ve müşterinin o işlemlere gitme olasılıkları aşağıdaki tabloda belirtilmektedir:

Tablo 1. İşlem Süreleri ve Olasılıkları

Gişe İşlemleri	Süre (dakika)	Olasılıklar
Hesap açtırma/ kapatma için kayıt	UNIF(2, 5)	10
Hesap açtırma/ kapatma	TRIA(8, 15, 20)	-
Havale	UNIF(2, 7)	30
Para yatırma/ çekme	TRIA(2, 3, 5)	15
Döviz işlemleri	TRIA(3, 4, 5)	35
Çek senet işlemleri	UNIF(5, 15)	10

UNIF, düzgün dağılımı temsil etmektedir; parantez içindeki değerler de bu dağılımın parametreleri belirtmektedir. A, söz konusu işlemin minimum değerini gösterirken B de minimum değerini göstermektedir. Bireysel kredi işlemleri TRIA(20, 30, 45) dakika, ticari kredi işlemleri ise TRIA(20, 30, 45) dakika sürmektedir. Vadeli mevduat/ yatırım işlemleri de UNIF(10, 20) dakika sürmektedir. Bu işlemleri gören müşteriler sistemi terk ederler.

Sistemde mevcut olan kaynakların kapasiteleri ve maliyetleri:

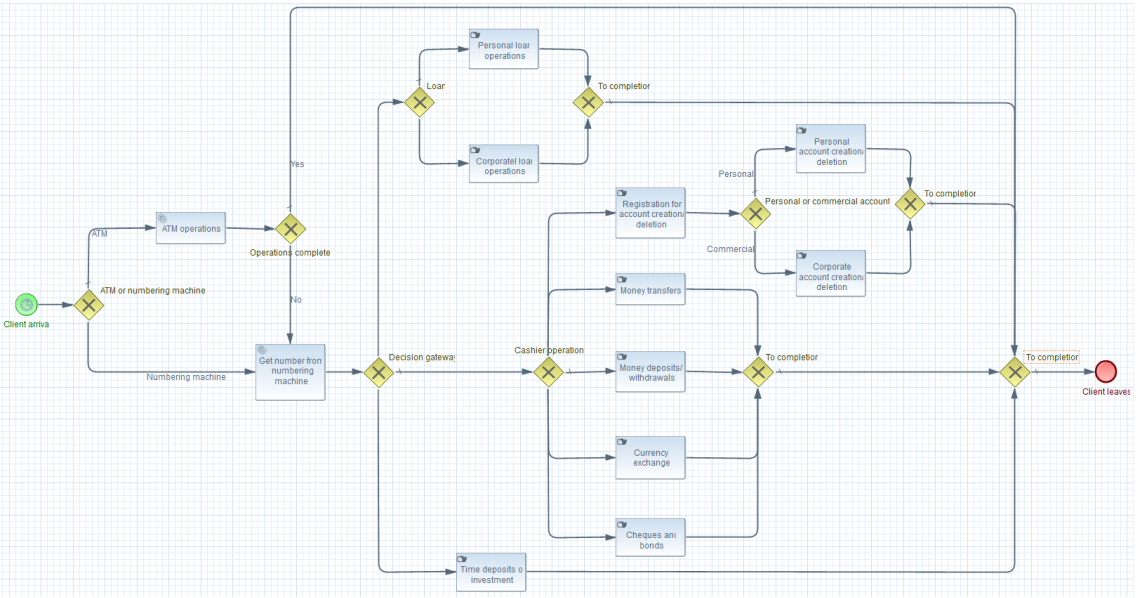
Tablo 2. Kaynak Kapasiteleri ve Maliyetleri

Kaynak Adı/Rolü	Kapasite	Maliyet
Numaratör	1	-
Bankamatik	3	-
Gişe Memuru (tüm gişe işlemleri)	1	$12/saat
Kurumsal müşteri temsilcisi (ticari kredi işlemleri)	1	$18/saat
Bireysel müşteri temsilcisi (bireysel kredi işlemleri)	1	$12/saat
Vezne (vadeli mevduat/ yatırım işlemleri)	1	$24/saat

Numaratör ve bankamatiklerin sayıları değiştirilemezken, çalışan sayılarının değişebileceği varsayılmıştır. Bununla beraber günlük maaş giderinin (çalışanlara bir günde ödenen toplam paranın) en fazla $1000 olabileceği varsayılmıştır. Bir günde hizmet görebilen müşteri sayısını artırmak, daha somut olarak söz konusu bu iş sürecinin 1 iş gününde bankaya giren müşterilerin en az %90'ının (600 giren müşteriden 540'ının) hizmet görebilmesini sağlamak amaçlanmıştır.

3.2. Modelleme süreci

Tasarlanan BPMN iş süreci modeli Şekil 3'te sunulmuştur:



Şekil 3. A Bankasının BPMN modeli

3.3. Analiz sonuçları

Modelde; işlemlerin süreleri olasılık değişkenlik gösterdiğinden ötürü simülasyon sonuçları, bir simülasyon çalıştırılışından bir başkasına değişmektedir. Mesela parametre içeriği tamamı ilen sabit olan bir model 2 defa çalıştırıldığında, bir çalıştırışında çıkan müşteri sayısı 483 kadar düşük iken, diğerinde 546 kadar yüksek olması mümkündür. Her bir iş süreci versiyonu, bulut üzerinde, 50 kez çalıştırılmıştır ve ortalama değerler elde edilmiştir. Modellerin başarı göstergesi bankadan günde çıkan müşteri sayılarıdır.

Bu simülasyonların sonuç raporlarında gösterilen 50 farklı "simülasyon süresince çıkan müşteri" sayısı kaydedilir. Bu değerler bağımsız ve aynı dağıtımı gösteren rassal değişkenler olduğu için bunlar Merkezi Limit Teoremine göre davranışlar sergilerler. Bu teoreme göre; bu değerler, yaklaşık olarak normal dağılım sergilerler. Bu değerlerin ortalaması ve standart sapması hesaplandığında, bu normal dağılımın parametrelerini bularak; bankadan tipik bir iş gününde çıkan müşteri sayılarını normal bir dağılım olarak göstermemiz mümkündür. Bu normal dağılımı tanımlamak için gereken ortalama ve standart sapma değerleri aşağıdaki belirtilen formülleri kullanarak hesaplanmıştır:

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_i x_i$$

$$\sigma = \sum_i \sqrt{\frac{(x_i-\mu)^2}{n}}$$

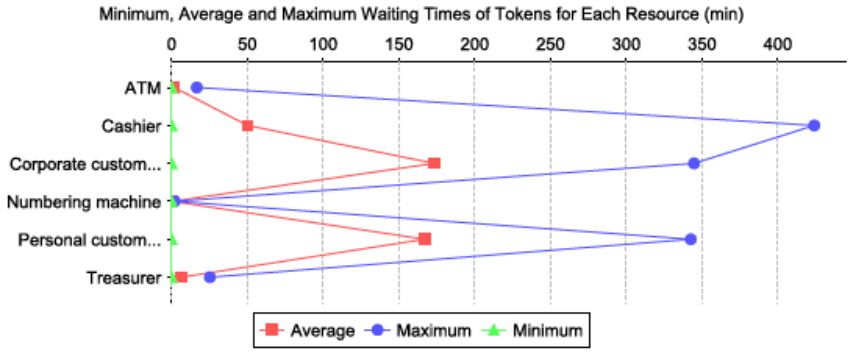
μ: Değerlerin ortalaması (averajı)
σ: Değerlerin standart sapması
x_i: Değerler ($1 \leq i \leq 50$)
n: Toplam değer sayısı ($n = 50$)

Analiz aşamasında ilk olarak mevcut durum modellenerek simüle edildi ve sonuçları gösterildi. Mevcut iş sürecinde 1 kasiyer, 1 kurumsal müşteri temsilcisi, 1 bireysel müşteri temsilcisi ve 1 de vezne çalışmaktadır. Mevcut durumun, simülasyon sonucu elde edilen parametreleri, Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 3. Mevcut Simülasyon Modelinin Analiz Sonuçları

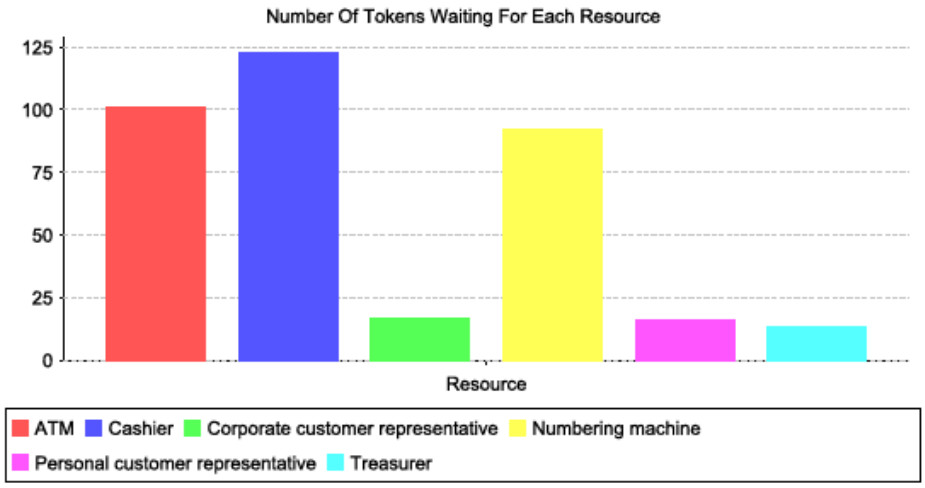
Faaliyet	Değer
Simülasyonun süresi	600 dk.
Simülasyona giren müşteri sayısı	600
Simülasyondan çıkan müşteri sayısı	NORM(515, 13.1)
Toplam maliyet	$660

Şekil 5'te kaynaklar için simülasyon boyunca müşteriler tarafından beklenen toplam süreler görülmektedir:



Şekil 5. Her bir kaynak için beklenene minimum, maksimum ve ortalama süreler

Müşterilerin, en çok kasiyer, kurumsal müşteri temsilcisi ve bireysel müşteri temsilcisi için beklenildiği görülebiliyor. Vezne için ise çok uzun süreler beklenmediği görülmektedir. Bu sonuçlar bize; kasiyer, kurumsal müşteri temsilcisi ve bireysel müşteri temsilcisi olarak çalışan sayılarının arttırılmaması gerektiğini gösteriyor.
Şekil 6'da, her bir kaynak için simülasyon boyunca toplam kaç müşterinin beklediği gösterilmektedir:



Şekil 6. Her bir kaynak için toplamda kaç müşteri bekliyor

Günlük maaş giderinin $1000 altında olması gerektiği için, SimBusPro, bu kısıt doğrultusunda, mevcut sistem de dahil olmak üzere, 10 farklı iş süreci çıkartmıştır. Bu 10 farklı iş süreci arasında en fazla müşterinin servis görmesini sağlayan optimal iş süreci olarak seçilecektir. Bu iş sürecinin bilgileri tablo 4'te gösterilmektedir. Tablodaki köşeli parantezlerin içinde yer alan rakamlar çalışan sayılarını temsil etmekte ve bu şekilde simgelenmektedir: [kasiyer_sayısı, kurumsal_müşteri_temsilcisi_sayısı, bireysel_müşteri_temsilcisi_sayısı, vezne_sayısı].

Tablo 4. SimBusPro'nun Çıkartmış Olduğu 10 Alternatif İş Süreci

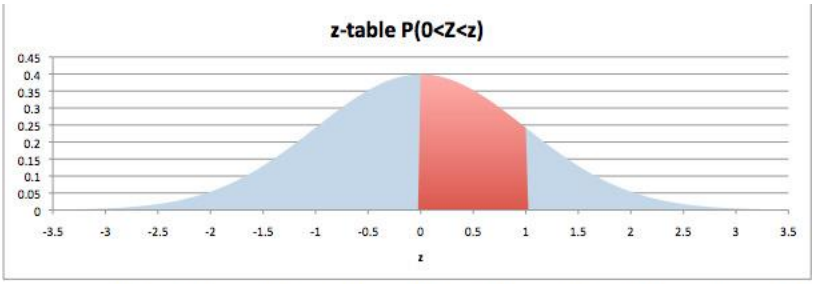
İş Süreci	Kaynak Sayıları	Sistemden Çıkan Müşteri Sayısı	Maliyet
1	[1, 1, 1, 1]	NORM(515, 13.1)	$660
2	[2, 1, 1, 1]	NORM(537, 8.95)	$780
3	[1, 2, 1, 1]	NORM(529, 12.4)	$840
4	[1, 1, 2, 1]	NORM(527, 12.6)	$780
5	[1, 1, 1, 2]	NORM(513, 14.6)	$900
6	[2, 2, 1, 1]	NORM(553, 7.81)	$960
7	[2, 1, 2, 1]	NORM(553, 6.86)	$900
8	[1, 2, 2, 1]	NORM(543, 12.6)	$960
9	[3, 1, 1, 1]	NORM(537, 9.09)	$900
10	[1, 1, 3, 1]	NORM(535, 13.6)	$900

Bu 10 alternatif iş sürecinden günde çıkan (hizmet gören) müşteri sayısı normal dağılıma göre gösterildiğine göre, bu iş süreçleri üzerinde istatistiki analizler yaparak hangi sürecin optimal olduğunu bulabiliriz. Bu istatistiki analiz doğrultusunda; z tablosundan faydalanarak, tablo 4'teki gösterilen alternatif iş süreçlerinde, tipik bir iş günü boyunca, hizmet gören (sistemden çıkan) asgari müşteri sayısı kaç olasılıkla 540 (%90) aştığını

hesaplayabiliriz. Bir iş sürecindeki günlük hizmet gören müşteri sayısının 540'ı (%90'ı) aşma olasılığı ne kadar yüksekse, o iş süreci o kadar başarılıdır. Bu olasılığın en yüksek olduğu iş süreci, optimal iş süreci olarak seçilecektir. Tablo 4'teki iş süreçlerinin z değerleri hesaplamak için tablo 4'teki görmüş olduğumuz normal dağılımları standart normal dağılıma çevirmemiz gerekmektedir. Bunu işlem aşağıdaki belirtilen formülü kullanarak gerçekleştirilmiştir:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

z: z değeri
x: Hedef değer (540)
μ: Ortalama değer
σ: Standart sapma
Hesaplarda kullanılacak z tablosu, şekil 7'de gösterilmektedir:



	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0753
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2257	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2517	.2549
0.7	.2580	.2611	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2995	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
	.00	**.01**	**.02**	**.03**	**.04**	**.05**	**.06**	**.07**	**.08**	**.09**

Şekil 7. z Tablosu

Örnek olarak, mevcut iş sürecindeki günlük hizmet gören müşterinin en az 540 olma olasılığını nasıl hesaplandığı gösterilecektir:

$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$

$z = (540 - 515) \div 13.1$

$\underline{z = 1.91}$

$P(z \geq 1.91) = 1 - (0.5 + 0.47)$

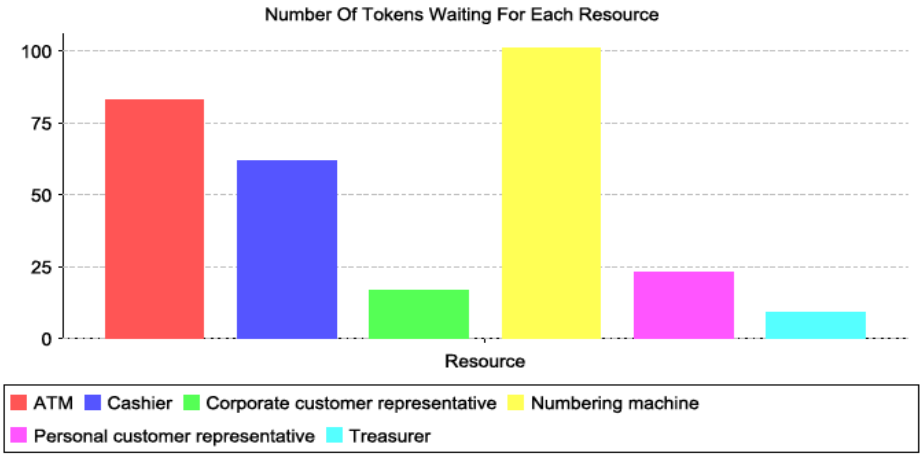
$\underline{P(z \geq 1.91) = 0.03}$

Dolayısıyla, mevcut iş sürecinde bir günde hizmet gören müşteri sayısının en az 540 olma olasılığı %3'tür. Bundan görülüyor ki mevcut sisteminde %90'lık hizmet oranının sağlanmasının olasılığı oldukça düşüktür. Aynı hesabı kullanarak bu olasılık diğer iş süreçleri için de hesaplanmıştır. Bu bilgiler tablo 5'te gösterilmektedir:

Tablo 5. İş Süreçlerinde Günlük Hizmet Gören Sayısının En Az %90 Olma Olasılıkları

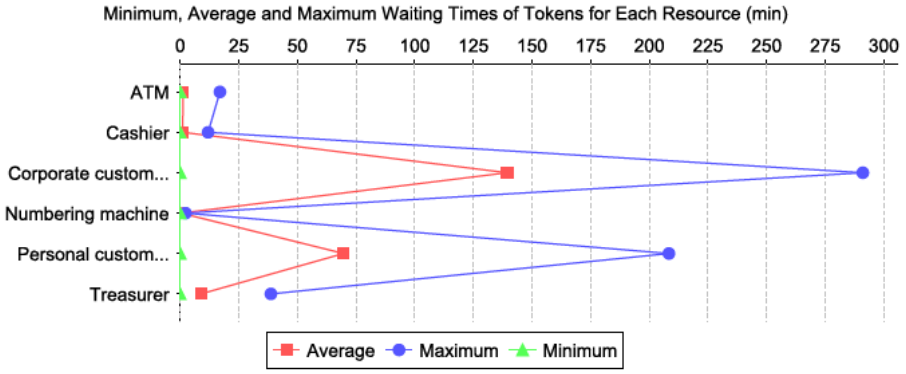
İş Süreci	**Kaynak Sayıları**	**Çıkan Müşteri Sayısının 540'tan yüksek olma olasılığı**
1	[1, 1, 1, 1]	%3
2	[2, 1, 1, 1]	%37
3	[1, 2, 1, 1]	%19
4	[1, 1, 2, 1]	%15
5	[1, 1, 1, 2]	%3
6	[2, 2, 1, 1]	%95
7	[2, 1, 2, 1]	%97
8	[1, 2, 2, 1]	%59
9	[3, 1, 1, 1]	%37
10	[1, 1, 3, 1]	%36

Bu tablodan görülüyor ki optimal iş süreci 7. iş sürecidir. Bu süreçte 2 kasiyer, 1 kurumsal müşteri temsilcisi, 2 bireysel müşteri temsilcisi ve 1 vezne çalışmaktadır. Banka; bu iş sürecini kullandığında, 100 iş gününden sadece 3'ünde hizmet gören müşteri sayısının 540'ın altına düşmesini bekler. Mevcut sistemle (tablodaki 1. iş süreciyle) kıyaslandığında; hizmet gören müşteri sayısının 540'ı aşma olasılığın %3'ten %97'ye artarak, ana hedef doğrultusunda %94'lük bir artış olduğu gözlemleniyor. Optimize edilmiş iş sürecinde giren müşterilerin ortalama %92.2'sinin hizmet görebildiği görülmektedir. Orijinal sistemle karşılaştırıldığında; bu oranın, %85.8'den %92.2 ye çıkmış ve böylece %6.4'lük bir artış göstermiştir. Şekil 8'de, optimize edilmiş iş sürecinde her bir kaynak için toplamda kaç müşteri beklediği görülmektedir:



Şekil 8. Optimize edilmiş modelde her bir kaynak için toplamda kaç müşteri bekliyor

Mevcut banka modeline göre yeni modeldeki kasiyer bekleyen müşteri sayısı %50, vezneyi bekleyen müşteri sayısı ise %30 oranında azalmıştır. Kurumsal müşteri temsilcisini bekleyen müşteri sayısı %6, bireysel müşteri temsilcisi bekleyen müşteri sayısı da %22 oranında artmıştır. Bu analiz sonuçlarına bakıldığında, sistemdeki oluşan kuyrukların uzunluklarında ortalama %36 oranında bir azalma görülmektedir.
Şekil 9'da, optimize edilmiş modelde her bir kaynak için ortalama, maksimum ve minimum ne kadar süre beklendiği görülmektedir:



Şekil 9. Optimize edilmiş modelde her bir kaynak için müşterilerin toplamda ne kadar süre beklediği

Ortalama bekleme sürelerinde %45, maksimum bekleme sürelerinde ise %52 oranında düşüşler olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan görülüyor ki: banka, günlük maaş giderini $240 arttırıp çalışan kadrosuna 1 kasiyer, 1 de bireysel müşteri temsilcisi dahil ettiğinde; $1000'lık günlük bütçesini aşmamış, iş sürecini de ciddi anlamda iyileştirmiş olur.

4. SONUÇ

Bu bildiri ile BPMN 2.0 standardını kullanan, iş süreçleri için alternatif kaynak planlamaları yapabilen ve Bulut üzerinde çalışan bir iş süreçleri modelleme ve optimizasyon yazılımı olan SimBusPro sunulmuştur. Geliştirilen yazılım geniş bir yelpazede modelleme ve simülasyon yapabilme kabiliyetine sahiptir. Bulut bilişimin sunduğu fırsatlar ile oldukça avantajlı bir ortam sunan yazılım, aynı zamanda da ulusal alanda gerçekleştirilmiş ilk yazılım olma özelliğini de taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, SimBusPro'nun kaynak kullanımını optimize eden modülü, akıllı algoritmalar kullanılarak daha kısa sürelerde optimizasyon sağlayan bir hale getirilecektir.

KAYNAKÇA

[1] Aysolmaz, B., Coşkunçay, A., Demirörs, O., & Yıldız, A. (2011). Kamuda iş süreçleri modelleme: Gereği ve yararları. *5. Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*, 26-28.

[2] SimBusPro'nun resmi internet sitesi. http://simbuspro.com:8080/liferay-portal-6.1.0/ (en son ziyaret tarihi 30 Aralık 2014)

[3] SCI-BUS projesinin resmi internet sitesi. http://www.sci-bus.eu/ (en son ziyaret tarihi 30 Aralık 2014)

[4] Model, B. P. (2011). Notation (BPMN). OMG Specification. Object Management Group.

[5] Chinosi, M., & Trombetta, A. (2012). BPMN: An introduction to the standard. *Computer Standards & Interfaces*, 34(1), 124-134.

[6] Baykasoğlu, A., ve Dereli, T., (2003) Proseslerin bilgisayar ortamlarında modellenmesi, analizi ve seçimi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, Cilt 14, Sayı 1, 5-17.

[7] http://guse.hu/ (en son ziyaret tarihi 30 Ekim 2014)

[8] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 6(2), 182-197.

[9] Baykasoğlu, A. (2013). İş Süreçleri Modelleme/Benzetim Yazılımı Seçimi İçin "Çizge Teorisi" ve "Matris Yöntemi" Temelli Bir Yaklaşım. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(3).

[10] Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A.D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica,I, and Zaharia, M. (2010). A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.

[11] Kacsuk, P., Terstyanszky, G., Balasko, A., Karoczkai, K., & Farkas, Z. (2013). Executing Multi-workflow simulations on a mixed grid/cloud infrastructure using the SHIWA and SCI-BUS Technology. Cloud Computing and Big Data, 23, 141.

[12] Ould, M. A., & Ould, M. A. (1995). Business Processes: Modelling and analysis for re-engineering and improvement. Chichester: Wiley.

PNÖMATİK FIRLATMA SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ İÇİN MODEL ÇALIŞMASI

Serkan Kayılı [(a)], Tolga Köktürk [(b)]

[(a)] Aselsan A.Ş., Ankara, skayili@aselsan.com.tr

[(b)] Aselsan A.Ş., Ankara, tkokturk@aselsan.com.tr

ÖZ

Pnömatik fırlatma sistemi basınçlı hava tankı, akış kontrol vanası, mermi, fırlatıcı ve bu ekipmanları birbirine bağlayan borulardan oluşmaktadır. Bu çalışmada, pnömatik fırlatma sistemi parametrelerinin mermi ivmelenmesine ve dolayısıyla mermi son hızına etkisinin incelenmesi amacıyla MATLAB Simulink programıyla oluşturulan matematiksel model detaylarından bahsedilmektedir. Model ile tank (hacim, basınç ve ilk sıcaklık), vana (akış katsayısı, açılış süresi, açılış özelliği), boru (çap ve uzunluk), mermi (mermi çapı, mermi kütlesi) ve namlu özelliklerinin (namlu çapı, mermi arkası hacim, ilk basınç ve sıcaklık) mermi son hızına etkisi incelenebilmektedir. Modelin doğruluğu ve sistem parametrelerine duyarlılığı; değişik tank hacmi, basıncı ve vana açılma sürelerinde imal edilen fırlatma sisteminde ölçülen mermi ivme sonuçları ile karşılaştırılmış ve model sonuçlarının doğruluğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: MATLAB, Modelleme, Pnömatik, Pnömatik fırlatma sistemi, Benzetim

MODELING FOR INVESTIGATION OF PNEUMATIC LAUNCHING SYSTEM PARAMETERS

ABSTRACT

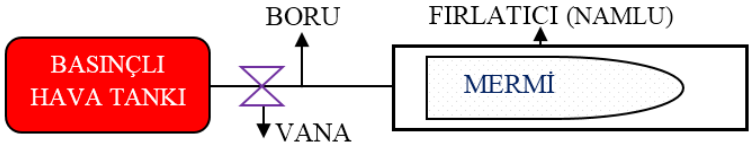
A pneumatic launching system consists of a pressurized air tank, flow control valve, bullet, launcher and pipes connecting these units to each other. Using MATLAB Simulink, a mathematical model is built to investigate the effects of pneumatic launching system parameters on bullet acceleration and thereby terminal velocity of bullet leaving the launcher. The change in bullet's terminal velocity with changes in design parameters of pressurized tank (volume, initial pressure and temperature), flow control valve (flow coefficient, opening time, opening characteristics), pipes (diameter and length), bullet (diameter, mass) and launcher (diameter, dead volume behind the bullet, initial pressure

and temperature) is analyzed by the model. The model verification is done and sensitivity of bullet acceleration with respect to system design parameters is compared with those of the tests, which are conducted on a manufactured launching system for different tank volume, tank pressure and valve opening time. As a result, the accuracy of the model's results has been determined.

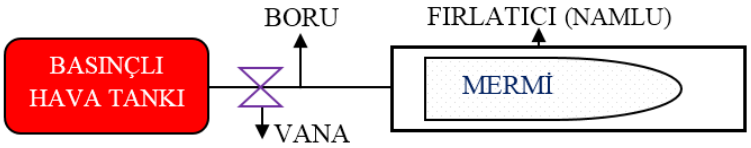
Keywords: MATLAB, Modeling, Pneumatic, Pneumatic launching system, Simulation

1. GİRİŞ

Mühimmat fırlatılması için alternatif bir sistem olarak geliştirilen pnömatik fırlatma sistemi basınçlı hava tankı, akış kontrol vanası, mermi, fırlatıcı ve bu ekipmanları birbirine bağlayan borulardan oluşmaktadır. Sistemin şematik modeli



Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem Modeli

Literatürdeki birçok çalışmada pnömatik fırlatma sistemi benzetimi için sayısal analiz yöntemleri kullanmıştır. A. Moradi ve H. Ahmadikia [1] yaptıkları çalışmada tek kademeli transonik ve süpersonik pnömatik fırlatma sistemi için mermi hızını iki farklı sayısal yöntemle tespit edip sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında bir boyutlu viskoz olmayan akış benzetim modeli ve eksenel simetrik sıkıştırılabilir türbülanslı akış modelleri kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre süpersonik fırlatma sistemi (gaz silahı veya gaz topu) için her iki metottan elde edilen sonuçların büyük bir uyum içinde olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bir boyutlu ve viskoz olmayan akış yaklaşımının tek kademeli sistemler için yeterli olduğu sonucuna varmışlardır. F. Plassard ve diğerleri [2] yaptıkları araştırma kapsamında, LsDyna yazılımının tek kademeli pnömatik fırlatma sistemlerinin iç ve dış balistiğini modelleme yeteneğini değerlendirmişlerdir. M. Seidel ve diğerleri [3], tek kademeli fırlatma sisteminde basınçlı gaz tankının başlangıç basıncının ve vana açılma süresinin değişiminin merminin son hızına nasıl bir etkisi olduğunu araştırmışlardır. Sistem LS-DYNA ile modellenmiş olup; elde edilen sonuçlar hem analitik hem de test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Analitik modelden elde edilen mermi son hızı değerlerinin test sonuçlarından yüksek çıktığı, LS-DYNA modeliyle

oluşturulan benzetim modelinin ise mermi hızının tank basıncıyla değişimini tam olarak tespit edebildiği görülmüştür. Ayrıca yüksek basınçlarda vana açılma süresinin mermi son hızında etkili olduğu tespit edilmiştir. A. Moradi ve S. Khodadadiyan [4] daha önce yapılan benzetim modellerinde kullanılan ideal gaz modeli yerine gerçek gaz modeli (Noble-Able Denklemi) kullanarak transonik ve süpersonik fırlatma sistemlerinin iki farklı gaz modelinden elde edilen sonuçlarını deney sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Mermi hızı değişimi incelendiğinde ideal gaz denklemi ile çıkan sonuçların gerçek gaz modeli kullanılarak yapılan benzetim modelinden fazla olduğu tespit edilmiştir. Transonik sistem için merminin namludaki son hızı test sonuçları ile karşılaştırılmış ve sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar ile yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, pnömatik fırlatma sistemi parametrelerinin mermi ivmelenmesine ve dolayısıyla mermi son hızına etkisinin incelenmesi amacıyla MATLAB Simulink programıyla oluşturulan matematiksel model detaylarından bahsedilmektedir. Benzetimi yapılan fırlatma sistemi; basınç tankı, solenoid vana, boru, namlu ve mermiden oluşmaktadır. Çalışmada, vana açılma süresinin ve karakteristiğinin, tank hacmi ve basıncının, vana katsayısının, mermi arkası hacmin ve mermi ile çap arasındaki açıklık farkının mermi ivmelenmesine etkileri araştırılmıştır. Model sayesinde; tank (hacim, basınç ve ilk sıcaklık), vana (akış katsayısı, açılış süresi, açılış özelliği), boru (çap ve uzunluk), mermi (mermi çapı, mermi kütlesi) ve namlu özelliklerinin (namlu çapı, mermi arkası hacim, ilk basınç ve sıcaklık) mermi son hızına etkisi incelenebilmektedir. Modelin doğruluğu ve sistem parametrelerine duyarlılığı değişik tank hacmi, basıncı ve vana açılma sürelerinde imal edilen fırlatma sisteminde ölçülen mermi ivme sonuçları ve mermi ivme değerlerinden elde edilen mermi son hızı değerleriyle ile karşılaştırılmıştır.

2. PNÖMATİK FIRLATMA SİSTEMİ MODELİ

Pnömatik fırlatma sistemi, MATLAB Simulink/Simscape [5] yazılımında yer alan pnömatik sistem ekipmanları kullanılarak modellenmiştir. Modellemede kullanılan akışkan hava olup; özellikleri Tablo 1'de listelenmiştir. Hava ideal gaz özelliği göstermekte ve sabit hacimdeki ve sabit basınçtaki ısı sığası değerleri değişmemektedir.

Tablo 1. Havanın Termodinamik Özellikleri

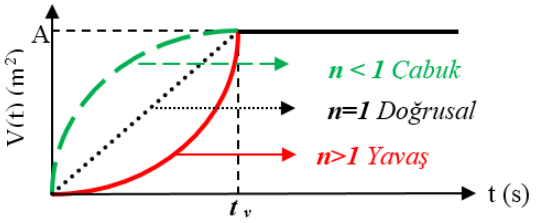
Gaz Sabiti	287	J/kgK
Sabit Hacimdeki Isı Sığası	717.95	J/kgK
Sabit Basınçtaki Isı Sığası	1005	J/kgK
Dinamik Vizkozite	1.821×10^{-5}	Pa.s
Kritik basınç oranı	0.52	
Ortam Basıncı	101.325	kPa
Ortam Sıcaklığı	293.15	K

Basınçlı hava tankı, sabit hacimli tank olarak benzetim çalışmasına dahil edilmiştir. Tankın girdi parametreleri tank hacmi, ilk tank basıncı ve ilk tank sıcaklığıdır. Benzetim süresi boyunca tanktan dışarıya ısı transferi olmadığı varsayılmıştır.

Tanktan namlu ve mermiye havayı kontrollü olarak gönderen solenoid vana, zamana bağlı olarak tam açık konuma gelmektedir. Vana modelde MATLAB Simulink /Simscape programındaki değişken alanlı orifis olarak modellenmiş, vana açıklık alanı (V(t)), açılma süresine (t_v) göre değişkenlik göstermektedir. Vananın tam açık durumdaki alanı ($A[m^2] = 2.4x10^{-6}$ x Cv $[gpm/(psi)^{1/2}]$) , vana çıkış katsayısı ($Cv=4.5\ gpm/(psi)^{1/2}$) kullanılarak hesaplanmıştır [6,7,8]. Benzetim çalışmasında vana girdisi olarak vana çıkış katsayısı ve vana alanının zamanla değişimi girilmiştir. Vana açılması doğrusal, yavaş ve hızlı açılmaları modellenebilmesi için aşağıdaki matematiksel denklem kullanılmıştır (Denklem 1).

$$V(t) = \begin{cases} \frac{A}{(t_v)^n} t^n, & t(s) \le t_v \text{ (Vana açılma süresi)} \\ A, & t\ (s) > t_v \text{ (Vana açılma süresi)} \end{cases} \quad (1)$$

Eğer benzetim süresi vana açılma süresinden büyükse vana tam açık konumdaki kesit alanına sahip olacaktır. “n" ise fonksiyonun bir katsayısı olup vana açılmasının doğrusal, çabuk ve yavaş olarak modellenebilmesi için kullanılmıştır. n<1 çabuk açılmayı, n=1 doğrusal açılmayı ve n>1 ise yavaş vana açılmalarını simüle etmektedir. Bu durum Şekil 2’de gösterilmiştir.

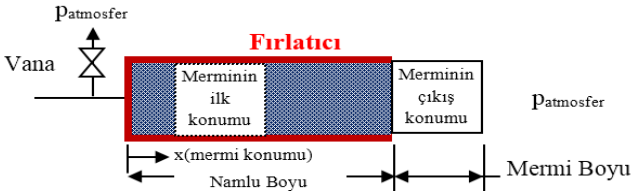


Şekil 2. Vana Açılmasının Modellenmesi

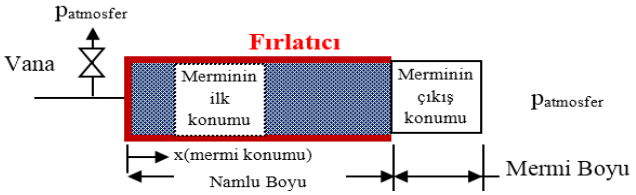
Değişken alanlı vana ile namluyu birbirine bağlayan boru da programdaki kütüphane kullanılarak benzetim çalışmasına dahil edilmiştir. Boru dairesel bir kesit alana sahip olup; iç çapı 0.5” (1.27 cm) alınmıştır.

Namlu ve merminin modellenmesinde programda yer alan pnömatik piston modülü kullanılmıştır. Namlu özelliklerine piston alanı olarak mermi kesit alanı (0.01131 m^2), mermi arkasındaki boşluğun hacmi (0.0013 m^3), piston içindeki havanın ilk basıncı (101.325 kPa) ve sıcaklığı (293.15 K) girilmiştir. Namlu ile mermi çap farkından kaynaklanan boşluktan hava kaçağı olmaktadır. Hava kaçağını da modele dahil etmek için namluya giden havanın bir kısmı sabit katsayılı bir vanadan atmosfere çıktığı varsayılmıştır. Vananın çıkış katsayısı model sonuçlarının ilk test sonuçlarıyla karşılaştırılmasıyla elde edilmiş olup; orifis alanı olarak namlu ile mermi arasındaki

boşluğun kesit alanı (0.00018928 m^2) girilmiştir. Kullanılan namlu ve mermi modeli

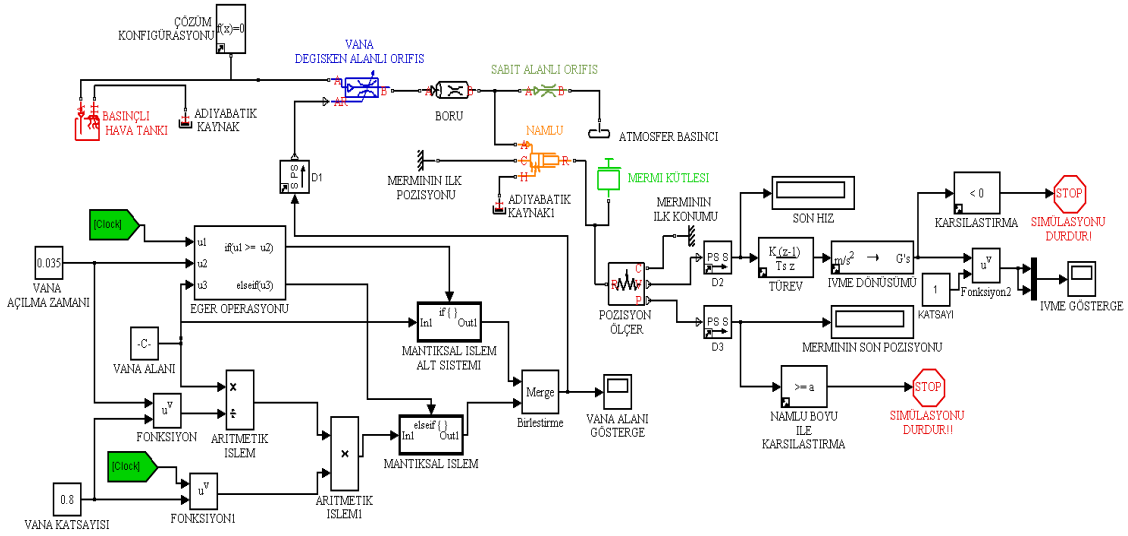


Şekil 3'te gösterilmiştir. Merminin hareket denklemi çözülerek merminin ivmelenmesi hesaplanmıştır. Merminin kütlesi(m) 7 kg ve ilk hızı 0 m/s'dir.



Şekil 3. Fırlatma Sistemi Modeli

Benzetim çalışması, hesaplanan mermi ivmesi eksi değere düştüğünde ve merminin namlu içinde hareket mesafesi namlu boyu ile mermi uzunluğunun toplamını geçtiğinde sonlandırılmaktadır. Bütün ekipmanların çevreleriyle ısı transferi yapmadığı varsayılmıştır ve yerçekimsel etkiler göz ardı edilmiştir [7]. Simulink ortamında oluşturulan çözüm bloğu Şekil 4'te verilmiştir. Çözücü olarak "Backward Euler" kullanılmıştır ve örnekleme zamanı (sampling time) 0.001 s seçilmiştir.

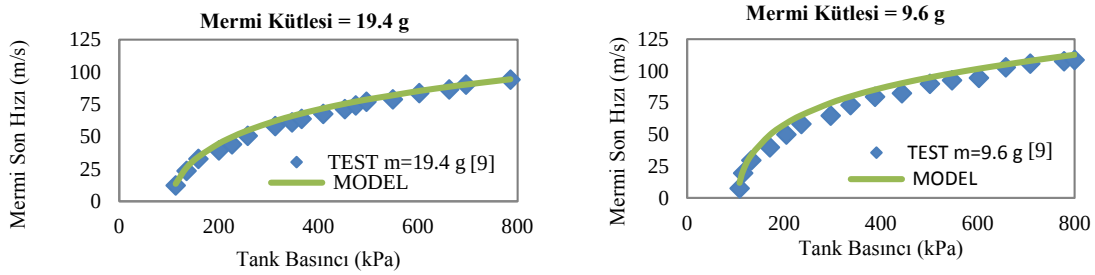


Şekil 4. Pnömatik Fırlatma Sistemi Modeli

Oluşturulan fırlatma sistemi modeli literatürde yer alan test verileriyle karşılaştırılarak modelin böyle bir probleme uygun olup olmadığı incelenmiştir. Z.J. Rohrbach, T.R. Buresh ve M. J. Madsen, [9] değişik mermi kütlesi ve tank basınçlarında mermi çıkış hızını tespit etmek için test düzeneği oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmadan 19.4 g kütle

için değişik tank basınçlarında yapılan test sonuçları model parametrelerinin oluşturulması için kullanılmıştır. Kütlesi 9.6 g olan mermi ile yapılan testlerin sonuçları ise model çıktıları ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 5'te literatürden alınan her iki testin sonuçları, model sonuçları ile birlikte sunulmuştur. Sonuçlar irdelendiğinde tank basıncı ile mermi son hızının değişimlerinin benzer olduğu tespit edilmiştir. Modelden elde edilen mermi hızlarının mermi ile namlu arasındaki sürtünme dikkate alınmaması ve kullanılan varsayımlar nedeniyle test sonuçlarına göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bağıl hata oranı hesaplandığında model sonuçları test sonuçlarıyla en yüksek % 18 farklılık göstermektedir. Oluşturulan model mermi son hızının sistem parametreleri ile değişiminin incelenmesi için yeterli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Literatürdeki Test Verisi ile Model Sonuçları

3. MODEL İLE TEST SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Pnömatik fırlatma sistemi için Tablo 2'de listelenen sekiz farklı konfigürasyon için testler yapılmıştır. Testlerde mermiye atış ekseninde ölçüm almak amacıyla piezo-rezistif tip ivmeölçer takılmış; örnekleme frekansı 50 kHz olarak belirlenmiştir. Ham test verisi hareketli ortalama ile düzgünleştirilmiştir ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

Modelin tasarlanan pnömatik fırlatma sistem için kullanılması amacıyla bazı bileşenlerin karakteristik katsayılarının kalibrasyonu için 4 adet test verisi kullanılmıştır. Tablo 2'de sunulan test seti içerisinden seçilen 1., 4., 7. ve 8. testlerin sonuçları ile boru uzunlukları, mermi arkası hacim, mermi ile namlu arasındaki boşluktan kaynaklı kaçak miktarları kalibre edilmiştir. Bileşenlerin karakteristik katsayıları için, benzetim modeli ile kalibrasyon için kullanılan 4 testin çıktıları arasında birebir uyumluluk aranmamış, 4 test verisine en yakın sonuçları sağlayacak ortalama değerler belirlenmiştir. Kalibre edilen parametreler kullanılarak yapılan benzetim sonuçları ile diğer 4 testin çıktıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Test seti

Test No	Tank Hacmi [V] (l)	Vana Açılma Süresi [t_v] (ms)	Tank Basıncı [p_i] (bar)
1	0.5	35	70
2	1	35	70
3	2	35	70
4	0.5	100	70
5	1	100	70
6	2	100	70
7	0.5	100	130
8	0.5	35	130

Benzetim çalışmasında vana açılma katsayısı n=0.8 alınmıştır. Model sonuçları ve test sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.

Ayrıca testlerden elde edilen ivme zaman değerlerinden yamuk kuralı integral yöntemi aracılığıyla merminin namludan çıkış hızı hesaplanmıştır. Benzetim çalışmasından elde edilen mermi son hızı verileri ile testlerden elde edilen son hız verileri karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te verilmiştir. Böylelikle, benzetim süresince elde edilen verilerin tam olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Hesaplanan en yüksek hata yüzdesinin olduğu deney yaklaşık % 20.7 ile Test 6'da bulunmuştur.

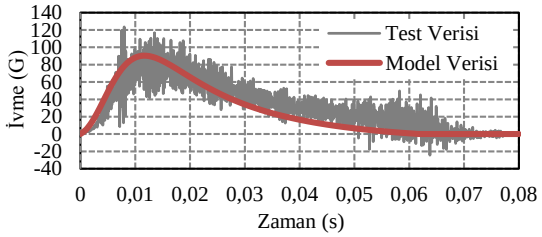
Tablo 3. Mermi Son Hızları Karşılaştırma Tablosu

Test No	Tank Hacmi [V] (l)	Vana Açılma Süresi [t_v] (ms)	Tank Basıncı [p_i] (bar)	Mermi Son Hızı (m/s)		Hata (%)
				Model	Test	
1*	0.5	35	70	21.17	25.14	15.8
2	1	35	70	31.27	28.23	10.8
3	2	35	70	39.64	33.96	16.7
4*	0.5	100	70	20.2	25.1	19.5
5	1	100	70	30.05	28.54	5.3
6	2	100	70	37.95	31.45	20.7
7*	0.5	100	130	33.06	32.65	1.3
8*	0.5	35	130	34.39	32.8	4.8

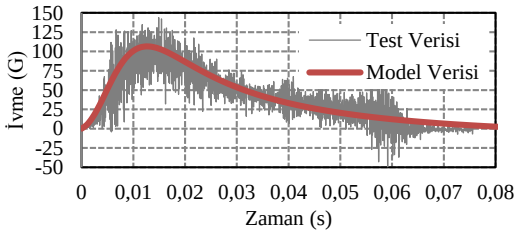
*: Model karakteristik katsayıları için kullanılan testler

Basınçlı hava tankı hacmi 0.5 l, vana açılma süresi 35 ms ve tank basıncı 70 bar olan test (Test 1) ile benzetim sonuçları Şekil 6.1'de bir arada sunulmuştur. Maksimum ivme değeri, her ikisinde de 0.012 s'de meydana gelmiş ve maksimum ivme büyüklükleri arasındaki farkın ([Test-Benzetim]/Test x100) %8 olduğu tespit edilmiştir. Fakat, ivme düşüşü tam olarak modellenememiştir. Test 2'de tank hacmi 1 l, vana açılma süresi 35 ms ve tank basıncı 70 bar'dır. Sonuçlar irdelendiğinde model ile test sonuçlarının birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 6.2). Maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %7 olup; ivme artış ve azalış trendleri de benzerlik göstermektedir. Şekil 6.3'de tank hacmi 2 l, vana açılma süresi 35 ms ve tank basıncı 70 bar olduğu durumda

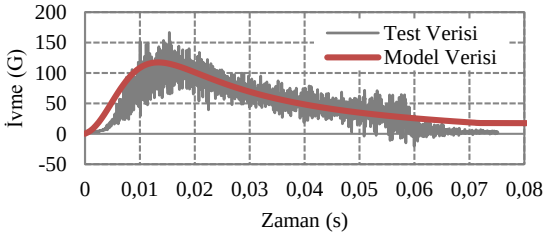
(Test 3) elde edilen sonuçlar ile benzetim sonuçları gösterilmiştir. Maksimum ivme noktasını model tam olarak hesaplamakla birlikte ivme artışı sırasındaki eğimde ufak farklılıklar tespit edilmiştir. Bu durumda, maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %7'dir. Tank hacmi 0.5 l, vana açılma süresi 100 ms ve tank basıncı 70 bar'da (Test 4) benzetim sonucu elde edilen maksimum ivme değerlerinin test sonucuna yakın olmasına rağmen ivme azalışının tam olarak modellenemediği görülmektedir (Şekil 6.4). Test 5 (tank hacmi 1 l, vana açılma süresi 100 ms ve tank basıncı 70 bar) ile model sonuçları birbirine çok yakın çıkmıştır (Şekil 6.5). Bu durumda, maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %3'dür. Test 6 koşulları için ise benzetim–çıktısı olan ivme düşüşü değerleri test sonuçlarına göre fazla çıkmıştır (Şekil 6.6). Fakat ivme artış ve azalış trendleri benzerlik göstermektedir. Bu durumda, maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %5,2'dir. Şekil 6.7'de ise tank hacmi 0.5 l, vana açılma süresi 100 ms ve tank basıncı 130 bar (Test 7) olduğu durumdaki ivme değerleri sunulmuştur. Model ile test sonuçları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Bu durumda, maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %2'dir. Tank hacmi 0.5 l, vana açılma süresi 35 ms ve tank basıncı 130 bar koşullarında yapılan benzetim çalışmasında maksimum ivme büyüklüğü test sonucuna göre yüksek çıkmıştır (Şekil 6.8). Bu durumda, maksimum ivme büyüklükleri arasındaki fark %20'dir.



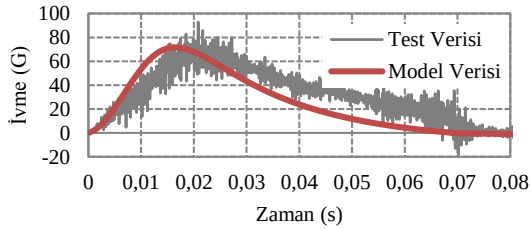
Şekil 6.1 Test 1 (V=0.5 l / t_v =35 ms / p_i =70 bar)



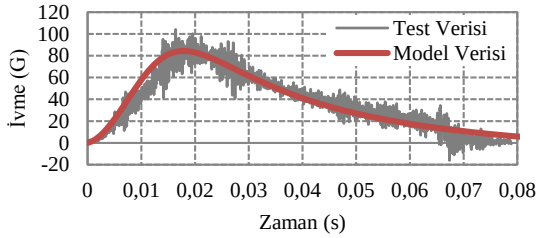
Şekil 6.2 Test 2 (V=1 l / t_v =35 ms / p_i =70 bar)



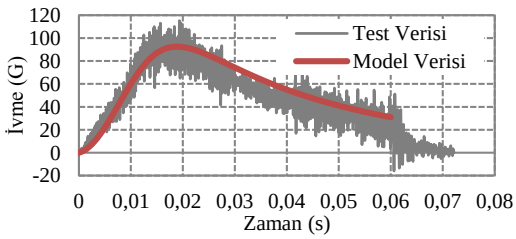
Şekil 6.3 Test 3(V=2 l / t_v =35 ms / p_i =70 bar)



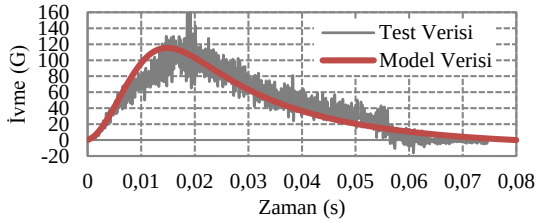
Şekil 6.4 Test 4(V=0.5 l / t_v =100 ms / p_i =70 bar)



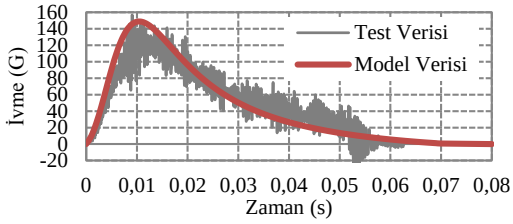
Şekil 6.5 Test 5(V=1 l / t_v =100 ms / p_i =70 bar)



Şekil 6.6 Test 6(V=2 l / t_v =100 ms / p_i =70 bar)



Şekil 6.7 Test 7 (V=0.5 l / t_v =100 ms / p_i =130 bar)



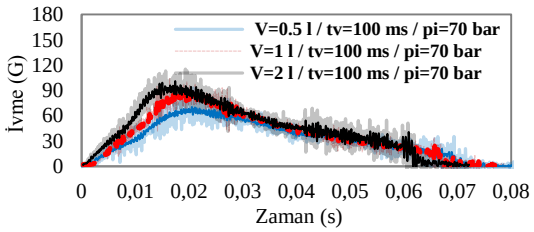
Şekil 6.8 Test 8(V=0.5 l / t_v =35 ms / p_i =130 bar)

Şekil 6. Model ve Test Sonuçları Karşılaştırılması

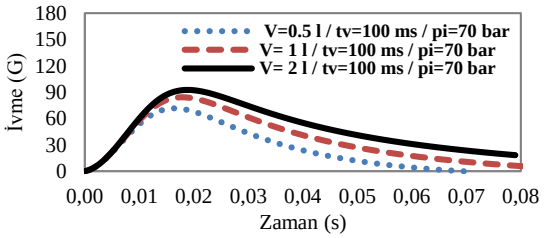
3.1. Modelin Sistem Parametrelerine Duyarlılığı

Yapılan çalışmalara ilaveten modelin sistem parametrelerine duyarlılığını tespit etmek amacıyla tank hacmi, tank basıncı ve vana açılma sürelerinde değişiklik yapılarak; model ve test sonuçlarında da karşılaştırmalar yapılmıştır. Tank hacmi, tank basıncı ve vana açılma süresinin değişiminin mermi ivmelenmesine etkisi sırasıyla Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.

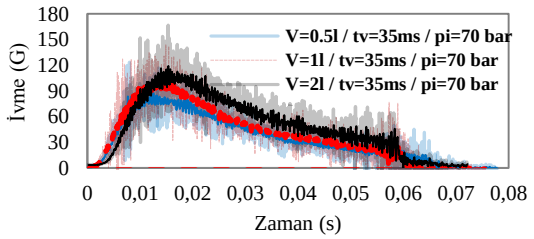
Tank hacim değişiminin mermi ivmelenmesine etkisinin tespit edilmesi için üç farklı tank hacmi (0.15 litre, 1 litre, 2 litre) için yapılan altı testin sonuçları ile benzetim sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Tank hacminin mermi ivmesine etkisi incelendiğinde tank hacminin artırılmasının, diğer parametrelerin sabit kaldığı durumda, merminin maksimum ivme değerini arttırdığı görülmüştür. Test ve model sonuçlarında herhangi bir çelişki çıkmamış, modelde de aynı sonuç elde edilmiştir.



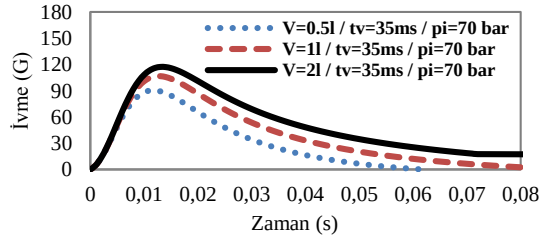
Şekil 7.1 Test (t_v = 100ms / p_i =70 bar



Şekil 7.2 Model (t_v = 100ms / p_i =70 bar)



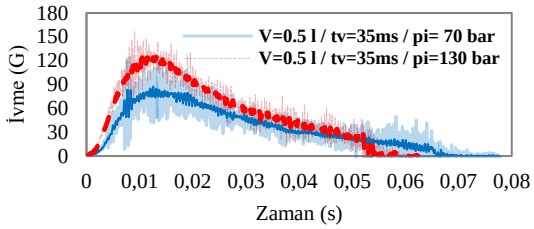
Şekil 7.3 Test (t_v = 35ms / p_i =70 bar)



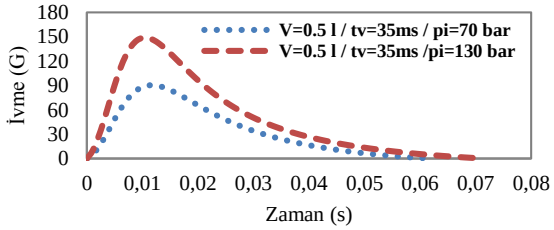
Şekil 7.4 Model (t_v = 35ms / p_i =70 bar)

Şekil 7. Tank Hacim Değişiminin Mermi İvmelenmesine Etkisi

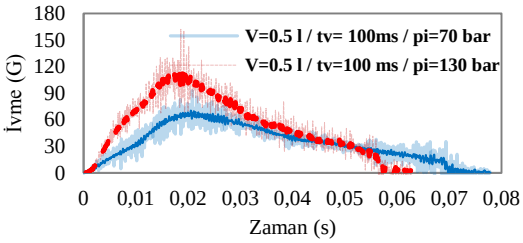
Tank basıncının değişiminin mermi ivmesine etkisi incelendiğinde (Şekil 8) tank basıncının artmasının maksimum ivme değerini yükselttiği hem modelde hem de test sonuçlarında tespit edilebilmektedir. İvme, büyüme ve azalma değişimleri de model ve test sonucunda benzerlik göstermektedir.



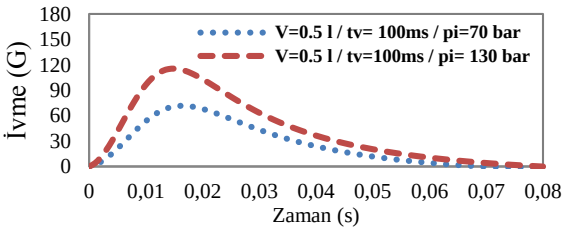
Şekil 8.1 Test (V=0.5 l / t_v = 35ms)



Şekil 8.2 Model (V=0.5 l / t_v = 35ms)



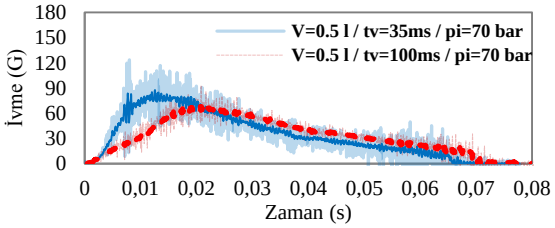
Şekil 8.3 Test (V=0.5 l / t_v = 100ms)



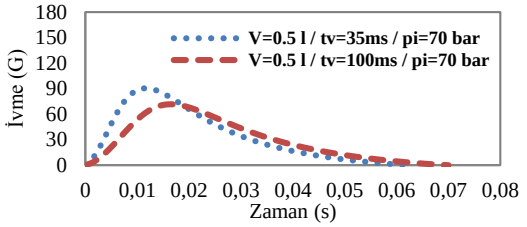
Şekil 8.4 Model (V=0.5 l / t_v = 100ms)

Şekil 8. Tank Basıncının Değişiminin Mermi İvmelenmesine Etkisi

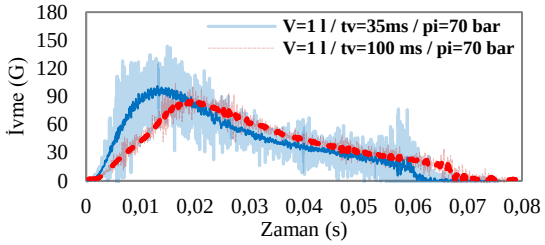
Vana açılma süresinin değişiminin mermi ivmelenmesine etkisi incelendiğinde vananın daha kısa sürede açılması hem maksimum ivme değerinin büyümesine hem de daha erken oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 9). Ayrıca ivme azalmasının düşük vana açılma zamanlarında daha sert olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, model sonuçları incelendiğinde de tespit edilebilmektedir.



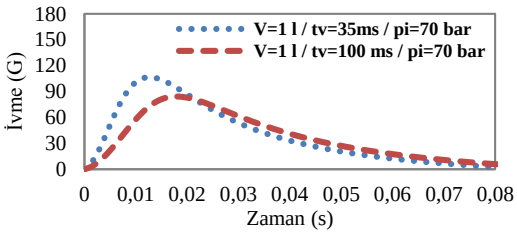
Şekil 9.1 Test (V=0.5 l / p_i =70 bar)



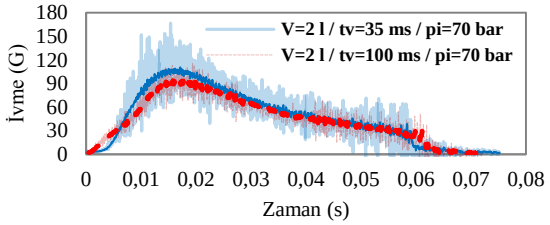
Şekil 9.2 Model (V=0.5 l / p_i =70 bar)



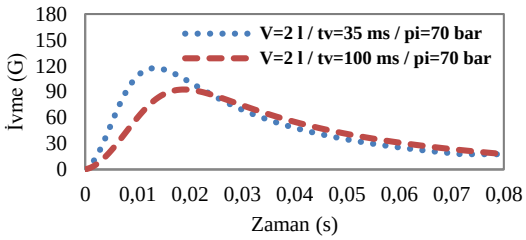
Şekil 9.3 Test (V=1 l / p_i =70 bar)



Şekil 9.4 Model (V=1 l / p_i =70 bar)



Şekil 9.5 Test (V=2 l / p_i =70 bar)



Şekil 9.6 Model (V=2 l / p_i =70 bar)

Şekil 9. Vana Açılış Zamanının Değişiminin Mermi İvmelenmesine Etkisi

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada, pnömatik fırlatma sistemi parametrelerinin mermi ivmelenmesine ve dolayısıyla mermi son hızına etkisinin incelenmesi amacıyla MATLAB ortamında Simscape ve Simulink modülleri kullanılarak matematiksel model oluşturulmuştur. Model içerisinde bazı bileşenlerin karakteristik katsayıları 4 test ile kalibre edilmiş, sonuçlar daha sonrasında yapılan 4 ek test sonucuyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda model çıktılarının, isteğe bağlı değiştirilebilecek fırlatma sistemi parametrelerine duyarlılığının tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde, herhangi bir uygulama özelinde istenen mermi çıkış hızlarının sağlanabilmesi için sistem parametrelerin büyüklüklerinin ne olması gerektiğinin belirlenmesine yeni bir fırlatma sistemi kurmadan olanak sağlanmıştır. Oluşturulan modelde merminin namlu içerisindeki oryantasyonunu ve buna bağlı olarak namlu ile mermi arasındaki hava kaçağı miktarını her test için gerçeğe yakın olarak modelleyebilmek testler yapılırken alınan ölçümlerden merminin fırlatıcı içerisindeki yataklaması ve sızdırmazlığı ile ilgili veriler elde edilemediği için mümkün değildir. Sonuçlardaki sapma ve farklılıkların sebeplerinden birinin bu olduğu düşünülmektedir. Modelde fırlatıcı ile mermi arasında sürtünme olmadığı varsayılmıştır. Model sonucunda elde edilen ivme değerlerinin sürtünme etkisi olmadan hesaplanması test sonuçları ile benzetim sonuçları arasındaki farklılıklara neden olabilecek diğer bir neden olduğu değerlendirilmektedir.

Prosesin çok hızlı olması sebebiyle basınçlı tankın çevre ile ısı transferi yapmadığı varsayılmıştır. Tank için ısı transferi çözümünde bu etki ihmal edilmiştir. Çalışmada gerçek gaz yerine ideal gaz denklemi kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda [4] gerçek gaz kullanımı ile ideal gaz denklemi kullanımı karşılaştırılmış ve ideal gaz denklemi kullanımın sonuçların doğruluğu açısından yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. İlerleyen çalışmalarda sistem içerisindeki akışkan, gerçek gaz olarak modellenip; elde edilen sonuçların farklılığı tespit edilebilir.

5. KAYNAKÇA

[1] Moradi, A., Ahmadika, H. (2011), One-dimensional and Axisymmetric Numerial Simulation of a Single-Stage Gas Gun, *Adv. Theor. Appl. Mech.,* 4 (3) ,101-111

[2] Plassard, F., Mespoulet, J. Hereil, P. (2011), Analysis of a Single Stage Compressed Gas Launcher Behaviour: from Breech Opening to Sabot Separation, *8th European LS-DYNA Users Conference*, Strasbourg

[3] Seidel,M., Hughes, K., De Vuyst, T. (2013), Modelling Internal Gas Flows in a Single Stage Gas Gun Using Eulerian/Lagrangian Coupling in LS-DYNA, *9th European LS-DYNA Conference*

[4] Moradi , A., Khodadadiyan, S. (2011), Study of Real Gas Behavior in a Single-Stage Gas Gun, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Cilt:5 -06-2

[5] MATLAB R2011b Documentation (2011), The Mathworks Inc.

[6] Akkaya, A. V., Sevilgen, S.H. , Erdem, H. H., Çetin, B. (2005), Simulink Kullanarak Bir Pnömatik Sistemin Simülasyonu, *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, (6), 155-162

[7] Pneumax General Catalogue-General Technical information www.pneumaxspa.com/repository/ebook/catalogue/index.html

[8] McAllister, E.W. (2005), Pipeline Rules of Thumb Handbook,6. Baskı, Gulf Professional Publishing-Elsevier's Science and Technology

[9] Rohrbach, Z.J., Buresh, T.R., Madsen, M.J. (2012),"Modeling the exit velocity of a compressed air cannon", *American Journal of Physics*, 80(1), 24-26

BİR İNSANSIZ SUALTI GÖZLEM ARACININ (SAGA) AKUSTİK ve GÖRÜNTÜLEME-TEMELLİ YER TESPİTİ ve SİSTEM TANILAMASI

Seda Karadeniz Kartal [(a)], M. Kemal Leblebicioğlu [(b)] , Emre Ege [(c)]

[(a)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, kseda@metu.edu.tr

[(b)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, kleb@metu.edu.tr

[(c)] Desistek Şirketi, ODTÜ TEKNOKENT Silikon Bin. No: BK-8 ODTÜ/Çankaya/Ankara, emre.ege@desistek.com.tr

ÖZ

Bu çalışmada, insansız bir sualtı gözlem aracının (SAGA) doğrusal olmayan matematiksel modeli elde edilmiştir. Aracın sualtındaki yer tespiti için ataletsel navigasyon sistemi (INS), görüntülemeye dayalı navigasyon sistemi ve akustik ölçüme dayalı navigasyon sistemi modellenmiştir. Aracın sualtındaki yerini yüksek doğrulukta elde etmek için üç navigasyon sistemi bütünleştirilmiştir. Yönelim, hız ve derinlik bilgisini desteklemek amaçlı manyetik algılayıcı, pitot tüpü ve basınç algılayıcı kullanılmıştır. Sualtında alınan ölçümlerin gürültülü olmasından dolayı, durum hataları, durum hata kestirme algoritma tekniği kullanılarak kestirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda sistem durumu, ölçüm ve gürültü modelleri elde edilmiştir. Kalman süzgeç algoritması kullanılarak, bu yaklaşım ile aracın yeri, büyük bir doğrulukla elde edilmiştir. Daha sonra, bu navigasyon sonucu kullanılarak, aracın sistem tanılama çalışması yapılmıştır. Aracın matematiksel modeli, katma kütle ve sönümleme katsayıları gibi değeri belirli olmayan parametreleri içermektedir. Optimizasyon kullanılarak bu bilinmeyen parametreler elde edilmiştir. Tüm bu çalışmalar Matlab/Simulinkte yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: akustik navigasyon, ataletsel navigasyon, bütünleşik navigasyon sistemi, görüntülemeye dayalı navigasyon sistemi, insansız su altı aracı, matematiksel modelleme, sistem tanılama.

ACOUSTIC and VISION-based NAVIGATION and SYSTEM IDENTIFICATION of UNMANNED UNDERWATER SURVEY VEHICLE (SAGA)

ABSTRACT

In this study, a nonlinear mathematical model for an unmanned underwater survey vehicle is obtained. The inertial navigation system, vision-based navigation system and acoustic navigation (measurement) system are modelled. These navigation systems are integrated to obtain vehicle's navigation data more accurately. The magnetic compass, depth sensor and pitot tube are used in order to support vehicle's attitude, velocity and depth information. The system state, measurement and noise models are obtained. The state errors are estimated with error state estimation algorithm from the noisy measurement data. The navigational data of the vehicle can be obtained accurately using the Kalman filter. Then, the system identification of the vehicle is studied using this estimated navigation data. The mathematical model of the vehicle includes some unknown parameters such as added mass and drag parameters. These parameters can be obtained using an optimization study. All of this study is performed in Matlab/Simulink.

Keywords: acoustic-based navigation, inertial navigation, integration navigation system, mathematical modelling, unmanned underwater vehicle, vision-based navigation, system identification.

1. GİRİŞ

İnsansız sualtı araçlarının gerek sivil, gerekse askeri olarak birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Sualtı araçları genel olarak sualtının incelenmesinde çok önemlidir. Aşağıdaki resimde gösterilen ve bu çalışmada kullanılan SAGA, uzaktan kumandalı bir sualtı keşif ve gözlem aracıdır. Bu araç, gözleme, anlık yüksek çözünürlüklü video ve fotoğraf çekimi, veri toplama, sualtı haritalandırma gibi işleri hızlı bir şekilde yapabilmektedir [1].

Şekil 1. SAGA

İnsansız sualtı araçlarının matematiksel modelleri doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Araç modelinin davranışının gerçeğe daha yakın olması sebebi ile doğrusal olmayan bir model üzerinde durulmuştur. Aracın, suyun altındaki yerinin doğru bir şekilde bilinmesi tüm bu çalışmaların başarılı bir sonuca ulaşmasını sağlamaktadır. Aracın sualtındaki yerini tespit etmek için çeşitli navigasyon sistemleri vardır. Bu çalışmada ataletsel navigasyon sistemi, görüntülemeye dayalı ölçüm sistemi ile akustik ölçüme dayalı navigasyon sistemi bütünleştirilerek çözüme ulaşılmıştır. Ataletsel navigasyon sistemleri aracın açısal hızını ve doğrusal ivmesini ölçerek aracın konum, hız ve yönelim bilgilerine ulaşır. Bu sistemler navigasyon çözümüne giderken integral alma tekniklerini kullanır. Dolayısıyla, zamana bağlı olarak çözümdeki hata oranı artmaktadır. Buna karşın, veri alma hızı yüksektir (50 Hz ve üzerinde). Doğruluğu artırmak adına ataletsel navigasyon sistemi ile diğer navigasyon sistemleri bütünleştirilir. En sıklıkla kullanılan bütünleşik sistem, INS/GPS bütünleşmiş sistemidir [2]. GPS sinyali su altında kullanılamadığından bir su üstü platformu ve akustik ölçüm sistemi (USBL) ile birlikte kullanılarak çözüme ulaşılır [3]. Akustik ölçüm sistemini, araca yerleştirilen pinger ile havuzun içerisinde yerini bildiğimiz noktalara yerleştirilen sualtı mikrofonları (hidrofon) oluşturmaktadır. Araç havuz içerisinde hareket ederken, pinger' dan gönderilen sinyal, her bir sualtı mikrofonu tarafından alınır. Gönderilen bu sinyalin alınma süresi ve hızı bilindiğinden dolayı, her bir sualtı mikrofonu ile araç arasındaki mesafe bulunur. Bu mesafeler ve sualtı mikrofonlarının yer bilgisi ile aracın konumu eşzamanlı lokalizasyon tekniği ile elde edilir. INS'e göre doğruluk payı yüksek olmakla birlikte, veri alma hızı INS kadar yüksek değildir. Görüntülemeye dayalı navigasyon sisteminde, belli bir alana sahip (5m×5m) havuzun tepesinde konumunu bildiğimiz yere, belli bir açıyla kamera yerleştirilir. Araç havuz içerisinde hareket ederken bu kamera tarafından görüntü alınır. Kameranın yeri ve aracın kameraya olan uzaklığı bilindiğinden dolayı, aracın yeri elde edilmiş olur. INS'e göre doğruluk payı yüksek olmakla birlikte, veri alma hızı INS kadar yüksek değildir. Üç sistem bütünleştirilerek yüksek doğrulukta ve yüksek veri alma hızında bir çözüme ulaşılmıştır.

Ayrıca aracın derinlik bilgisi basınç algılayıcısı ile yönelim bilgisi manyetik pusula ile ve hız bilgisi de pitot tüpü ile desteklenmiştir.

İnsansız su altı araçlarının matematiksel modeli, değeri bilinmeyen katma kütle ve sönümleme parametrelerini içermektedir. Katma kütle parametrelerinin ve sönümleme katsayılarının değeri WAMIT, VERES, SEAWAY ve SOLİDWORK gibi hidrodinamik yazılım programları ile elde edilebilir. Eğer aracın yapısı simetrik yapıya sahip ise katma kütle parametrelerinin değeri strip teorisi kullanılarak yaklaşık olarak elde edilir [4]. Daha gerçekçi bir yöntem ise, aracın gerçek havuz testlerinden alınan navigasyon bilgisine bağlı olan sistem tanımlama çalışması ile bu parametrelerin iyileştirilmesidir. Bu çalışmada, başlangıçta aracın matematiksel modeli oluşturulurken, yaklaşık katma kütle ve sönümleme değerleri kullanılmıştır. Daha sonra, bu parametreler, navigasyon sisteminden gelen verileri kullanan sistem tanılama çalışması ile iyileştirilmiştir.

2. MATEMATİKSEL MODELLEME

İnsansız bir sualtı aracının doğrusal olmayan matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [4].

$$\mathrm{M}(\dot{\mathrm{v}}) + \mathrm{C}(\mathrm{v})\mathrm{v} + \mathrm{D}(\mathrm{v})\mathrm{v} + \mathrm{g}(\eta) = \tau = \mathrm{u} \tag{1}$$

$$\dot{\eta} = \mathrm{J}(\eta)\mathrm{v} \tag{2}$$

Burada, M, aracın kütle matrisi, C, merkezkaç kuvveti ve Coriolis kuvveti matrisi, D, sönümleme matrisi, g, yerçekimi ve suyun kaldırma kuvveti matrisi, τ, girdi vektörü, v, aracın doğrusal ve açısal hız vektörü, η, aracın konum ve yönelim vektörü, J, koordinat çevirim matrisini ifade etmektedir.

$$\vec{\eta} = [\,\eta_1^T, \eta_2^T\,]^T \qquad \eta_1^T = [x, y, z]^T \qquad \eta_2^T = [\emptyset, \theta, \psi]^T \tag{3}$$

$$\vec{v} = [\,v_1^T, v_2^T\,]^T \qquad \overrightarrow{v_1} = [u, v, w]^T \qquad \overrightarrow{v_2} = [p, q, r]^T \tag{4}$$

$$\vec{\tau} = u = [\tau_1^T, \tau_2^T\,]^T \qquad \overrightarrow{\tau_1} = [X, Y, Z]^T \qquad \overrightarrow{\tau_2} = [K, M, N]^T \tag{5}$$

Sistemin girdisi olan u matrisi iticilerin üretmiş oldukları moment ve kuvvetlerden oluşan sütün matrisidir. Bu çalışmada model olarak ele alınan insansız sualtı gözlem aracında 2 tanesi yatay konumda, 1 tanesi dikey konumda olmak üzere yerleştirilmiş 3 adet itici bulunmaktadır. Yataydaki iticiler x ekseni yönündeki hareketi (surge) ve z ekseni etrafındaki dönmeyi (yaw) sağlarlar. Dikeydeki itici ise z ekseni yönündeki hareketi (heave) ve y ekseni etrafındaki dönmeyi (pitch) sağlar. Bu çalışmada, sağ, sol ve dikeydeki iticiler aktif edilerek aracın 3 boyutlu hareketi sağlanmıştır.

3. ATALETSEL NAVİGASYON SİSTEMİ

Ataletsel ölçüm birimi (IMU), ataletsel navigasyon sisteminin temel parçasıdır. Sahip olduğu 3 eksenli ivmeölçer ile kuvvet bilgisini, f_{ib}^{b}, dönüölçer ile de açısal hız, w_{ib}^{b}, bilgisini ölçerek aracın konum hız ve yönelim bilgileri hesaplanır.

3.1. IMU modeli ve ataletsel navigasyon işlemcisi

İvmeölçer ve dönü ölçerin çıkış bilgisi aşağıdaki gibi modellenmiştir [5].

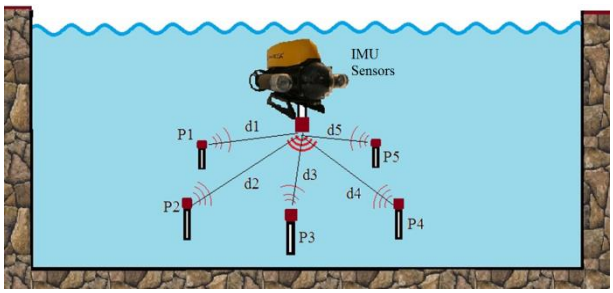
$$\tilde{f}_{ib}^{b} = b_a + (I_3 + M_a)f_{ib}^{b} + w_a \tag{6}$$

$$\tilde{w}_{ib}^{b} = b_g + (I_3 + M_g)w_{ib}^{b} + G_g f_{ib}^{b} + w_g \tag{7}$$

Ataletsel navigasyon işlemcisi, konum, hız ve yönelim bilgisini üretmek için IMU çıkışını bütünleştirir. Navigasyon denklemleri 4 adımdan oluşur. Yönelim güncellemesi, kuvvet (ivme) koordinat çevirimi, hız güncellemesi ve konum güncellemesidir. Referans yapı olarak dünya merkezli dünya sabitli (ECEF) yapı alınmıştır.

4. AKUSTİK ÖLÇÜME DAYALI NAVİGASYON SİSTEMİ

Akustik navigasyon sistemini, şekil 2 de görüldüğü gibi, araca yerleştirilen pinger ile havuzun içerisine, konumu bilinen noktalara $(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$ yerleştirilen sualtı mikrofonları oluşturmaktadır. Araç havuz içerisinde hareket ederken, pinger'dan gönderilen sinyal her bir sualtı mikrofonu tarafından alınır. Alınan tüm bu sinyaller havuz dışında bulunan data kartında eşzamanlı olarak toplanmaktadır. Alınan sinyalin zamanı (t_i) ve akustik sinyalin sudaki hızı (c_{ses}) bilindiğinden dolayı, araç ile her bir sualtı mikrofonu arasındaki mesafeler $(d_1, d_2, d_3, d_4, d_5)$ bulunur. Bulunan bu mesafeler ve sualtı mikrofonlarının bilinen konumu ile aracın yeri, eşzamanlı lokalizasyon tekniği ile elde edilir.

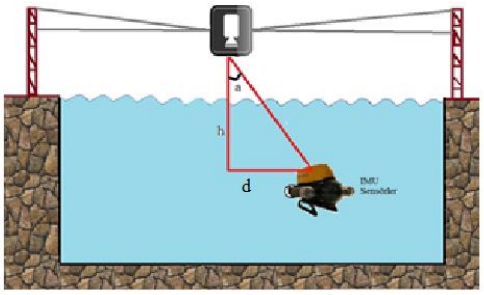


Şekil 2. Akustik ölçüme dayalı navigasyon sisteminin şematik gösterimi

5. GÖRÜNTÜLEMEYE DAYALI NAVİGASYON SİSTEMİ

Görüntülemeye dayalı navigasyon sistemini, Şekil 3'de gösterildiği gibi, havuzun belirli bir alanın (5m×5m) tepesine yerleştirilen kamera oluşturmaktadır. Bu kamera

havuzdan bilinen bir yükseklikte yerleştirilmiştir. Alınan görüntü kullanılarak (a) açısı hesaplanabilir. Aracın su üzerinden ne kadar derinlikte olduğu bilgisi, araca yerleştirilen basınç algılayıcı ile bilinmektedir. Araç havuz içerisinde hareket ederken, tepedeki, konumu bilinen kamera tarafından görüntü alınır. Kameranın su üzerinden yüksekliği ve aracın su üzerine olan yüksekliği bilindiğinden dolayı, h mesafesi bulunur. Kameranın hangi açıyla, a, aracı gördüğü bilindiğinden dolayı aracın kameraya göre nerede olduğu (d) bulunur. Böylelikle aracın konumu, kameraya olan uzaklığı bulunarak elde edilmiş olur. Su içerisinde aracın konumu 3 boyutlu olmasına karşın kamera ile alınan görüntü 2 boyuttadır. Bu sebeple alınan görüntüde su içerisinden su yüzeyine geçişteki eşleştirmeye bağlı olarak hata payı bulunmaktadır. Bu yüzey eşleştirilmesinden kaynaklanan hatanın yanında, ışığın su içerisinde kırılmasından dolayı kaynaklanan hata daha küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Buna ek olarak, araç su içerisinde hareket ederken kamera ile alınan görüntü, resim koordinatlarındadır. Bu konum bilgisi, homografi yöntemi kullanılarak dünya yapılı koordinatlara dönüştürülür.



Şekil 3. Görüntülemeye dayalı navigasyon sisteminin şematik gösterimi

6. ENTEGRE NAVİGASYON SİSTEMİ

Doğruluk katsayısı ve veri alma hızı yüksek olan navigasyon çözümü üretmek adına INS, kamera ve pinger ile sualtı mikrofonlarından oluşan akustik navigasyon sistemleri bütünleştirilmiştir. Sualtı aracına yerleştirilen IMU ile konum ve yönelim bilgisi alınmaktadır. Yine sualtı aracına yerleştirilen manyetik pusuladan yönelim bilgisi, basınç algılayıcısından derinlik bilgisi, pitot tüpünden de hız bilgisi alınmıştır. IMU'dan elde edilen yüksek hata oranına sahip konum bilgisini desteklemek için akustik ölçüm ve görüntülemeye dayalı ölçüm sistemi geliştirilmiştir. Entegrasyon yapısı olarak, gevşek-bağlı (Loosely Coupled) bütünleşme seçilmiştir. Bu çalışmada, akustik ve görüntülemeye ölçüme dayalı navigasyon sisteminde veri alma hızı 1 Hz, INS' den 50 Hz ve manyetik pusuladan 10 Hz, diğer algılayıcılardan 1 Hz olarak düşünülmüştür. Entegre edilen navigasyon sisteminde, eş zamanlı veri alma, veri alma hızı düşük olan algılayıcılarda ve akustik sistemde, belirli bir zamanda alınan veri, bir sonraki veri alınana kadar ki zamanda sabit tutularak sağlanmıştır.

7. DURUM SEÇİMİ ve SİSTEM MODELİ

Bu çalışmada hata durumları kestirilmiştir. Kestirme algoritması olarak genişletilmiş Kalman süzgeci kullanılmıştır [7].

Hata durumları, dünya koordinat merkezli yapıya göre, aracın yönelim, hız ve konum bilgileri ile ataletsel ölçüm biriminin yanlılık hataları seçilmiştir ve aşağıda gösterildiği gibidir.

$$\mathrm{x}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} = [\partial\varphi_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} \quad \partial\mathrm{v}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} \quad \partial\mathrm{r}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} \quad \mathrm{b_a} \quad \mathrm{b_g}]^{\mathrm{T}} \tag{8}$$

$\partial\varphi_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}}$: aracın yönelim hata vektörü,
$\partial\mathrm{v}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}}$: aracın hız hata vektörü,
$\partial\mathrm{r}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}}$: aracın konum hata vektörü.

Aracın zamana bağlı yönelim hatası değişimi ise,

$$\partial\dot{\varphi}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} = \hat{\mathrm{C}}_{\mathrm{b}}^{\mathrm{e}}\mathrm{b_g} - \Omega_{\mathrm{ie}}^{\mathrm{e}}\,\partial\varphi_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}}. \tag{9}$$

Yerçekimi hatası konum hatasına bağlı değişmektedir ve bu uygulamada yerel konumdaki değişim sebebiyle oluşan yerçekimi değişimi çok küçüktür ve ihmal edilmiştir. Buna göre hız hata değişimi aşağıdaki gibidir.

$$\partial\dot{\mathrm{v}}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} = \hat{\mathrm{C}}_{\mathrm{b}}^{\mathrm{e}}\mathrm{b_a} - \left(\hat{\mathrm{C}}_{\mathrm{b}}^{\mathrm{e}}\hat{\mathrm{f}}_{\mathrm{ib}}^{\mathrm{b}}\right)\wedge \partial\varphi_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} - 2\Omega_{\mathrm{ie}}^{\mathrm{e}}\,\partial\mathrm{v}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} \tag{10}$$

Aracın zamana bağlı konum hata değişimi aşağıdaki gibi verilmiştir,

$$\partial\dot{\mathrm{r}}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} = \partial\mathrm{v}_{\mathrm{eb}}^{\mathrm{e}} \tag{11}$$

Sistemin durum-uzay modeli aşağıdaki gibidir:

$$\dot{\mathrm{x}} = \mathrm{Fx} + \mathrm{Qw} \tag{12}$$

$$\begin{bmatrix} \delta\dot{\varphi}_{eb}^{e} \\ \delta\dot{v}_{eb}^{e} \\ \delta\dot{r}_{eb}^{e} \\ \dot{b}_a \\ \dot{b}_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Omega_{ie}^{e} & 0_3 & 0_3 & 0_3 & \hat{C}_b^e \\ -\hat{C}_b^e \hat{f}_{ib}^b \wedge & -2\Omega_{ie}^{e} & 0_3 & \hat{C}_b^e & 0_3 \\ 0_3 & I_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta\varphi_{eb}^{e} \\ \delta v_{eb}^{e} \\ \delta r_{eb}^{e} \\ b_a \\ b_g \end{bmatrix} \tag{13}$$

$$\Omega_{ie}^{e} = \begin{bmatrix} 0 & -w_{ie}^{e} & 0 \\ w_{ie}^{e} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Sistem gürültü ortak değişken matrisi (Q) sabit matris olarak seçilmiştir [5].

Navigasyon sisteminde kullanılan ataletsel algılayıcı bilgileri ayrık zaman noktalarında örneklendiğinden sürekli sistemin ve ölçüm modelinin de ayrık karşılığı oluşturulmalıdır.

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \tag{15}$$

Burada Φ_k geçiş matrisidir ve sistem dinamikleri matrisi, F ve $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ zaman aralığı süresince sabit olduğu düşünülerek aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [8]. İkinci derece ve yukarısı ihmal edilmiştir.

$$\Phi_k = e^{F\Delta t} = I + F\Delta t + \frac{(F\Delta t)^2}{2!} + \cdots \tag{16}$$

8. ÖLÇÜM MODELİ

Ölçüm modelini yönelim, hız ve konum hataları oluşturmaktadır. Yönelim bilgisi IMU'dan ve manyetik pusuladan gelmektedir. Hız bilgisi IMU'dan ve pitot tüpünden alınmıştır. Konum bilgisi IMU, kamera ve pinger ile sualtı mikrofonlarından oluşan akustik ölçüm sistemden alınmıştır. Buna ek olarak derinlik bilgisi basınç algılayıcısı ile desteklenmiştir [9]. Referans olarak IMU temel alınmıştır. IMU hata modeli, bu çalışmada, statik hata modeli olarak düşünülmüştür, rastgele hataları içermemektedir [10]. Ölçüm gürültüsü sıfır ortalamalı Gaussian gürültüsü olarak düşünülmüştür. Genişletilmiş Kalman süzgeci için ölçüm matrisi aşağıdaki gibidir [5].

$$z = m - m_{ref} \tag{17}$$

Dünya merkezli koordinat yapısına göre ölçüm değişim vektörü aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\partial z_k = \begin{bmatrix} \partial\varphi^e_{eb} \\ \delta v^e_{eb} \\ \delta x^e_{eb} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_{m.c} - \varphi_{imu} \\ v_{ptt} - v_{imu} \\ x_{imu} - x_{akustik} - x_{kamera} - x_{derinlik} \end{bmatrix} \tag{18}$$

H_k, ölçüm matrisi aşağıdaki gibi elde edilir:

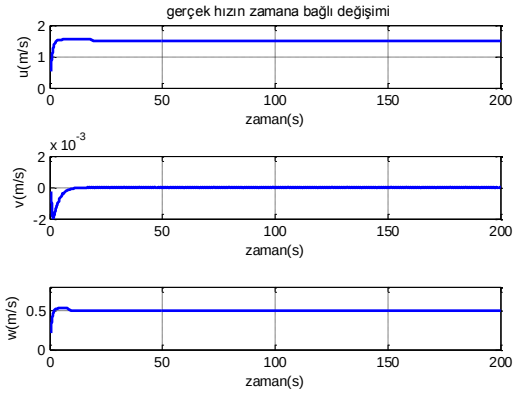
$$H_k = \begin{bmatrix} I_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & I_3 & 0_3 & 0_3 & 0_3 \\ 0_3 & 0_3 & I_3 & 0_3 & 0_3 \end{bmatrix} \tag{19}$$

9. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

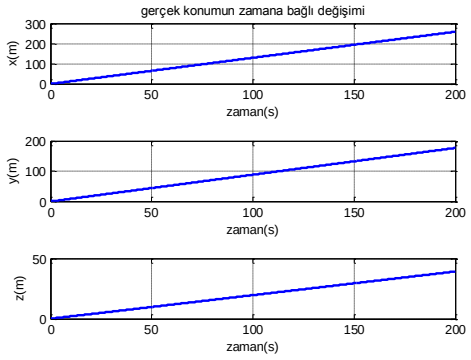
Aracın sağ, sol ve dikeydeki motorları aktif edilerek aracın 3 boyuttaki hareketi için genişletilmiş Kalman süzgeç algoritması kullanılarak durum hataları kestirilmiştir. Kodlama için Matlab/Simulink kullanılmıştır.

Şekil 4, 5 ve 6 da aracın gerçek hız, yönelim ve konum bilgisinin zamana bağlı değişimi gösterilmiştir. Araç u, w hızları ve yaw ve pitch açıları ile 3 boyutta hareket etmektedir. Şekil 7'da ataletsel ölçüm birimi, pinger ile sualtı mikrofonları, kamera, basınç

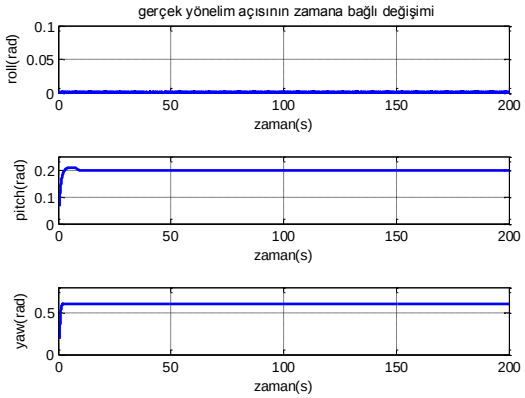
algılayıcısı, manyetik pusula ve pitot tüpü bütünleştirilerek kestirilen konum hataları gösterilmiştir. Şekil 7' den de görüldüğü gibi derinlik bilgisi ek olarak basınç sensörü ile desteklendiğinden kestirilen derinlik hatası diğer x ve y konum hatalarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Şekilde 8 ve Şekilde 9'da bütünleştirilen navigasyon sisteminde kestirilen yönelim hataları ve hız hataları gösterilmiştir. Bu benzetim çalışması sonucundan da görüldüğü gibi INS, pinger ile sualtı mikrofonları, kamera ve diğer yardımcı algılayıcılar bütünleştirilerek elde edilen durum hataları çok küçük değerlerdedir. Böylece daha fazla doğrulukla yer tespiti çözümüne ulaşılmıştır.



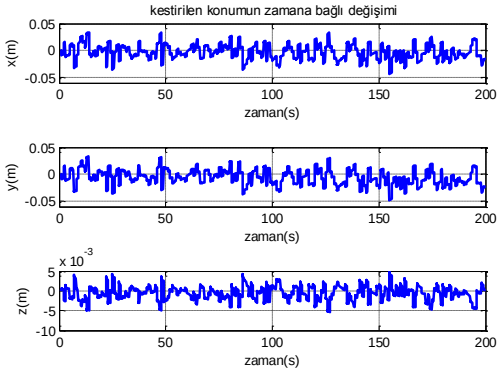
Şekil 4. Aracın gerçek hız bilgisi



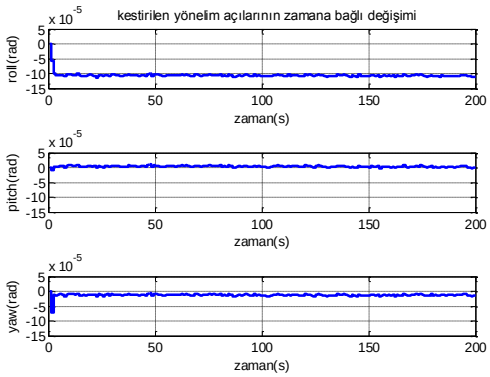
Şekil 5. Aracın gerçek konum bilgisi



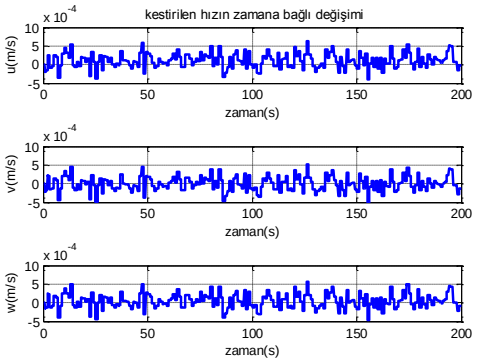
Şekil 6. Aracın gerçek yönelim bilgisi



Şekil 7. Kestirilen konum hataları



Şekil 8. Kestirilen yönelim hataları



Şekil 9. Kestirilen hız hataları

10. SİSTEM TANILAMA

Bu çalışmada kullanılan SAGA'nın matematiksel modeli, değeri bilinmeyen katma kütle parametreleri ve sönümleme katsayılarını içermektedir. Aracın daha doğru matematiksel modelini oluşturmak için, sistem tanılama çalışması yapılarak bu parametreler ve katsayılar elde edilmiştir. Bunun için, aracın birleşik olmayan hareket denklemleri elde edilmiş ve bu hareketler ile ilgili olan parametre ve katsayılar bulunmuştur. Aracın yapmış olduğu hareketler ve ilgili parametreler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Aracın hareketleri ve ilgili olan parametreler

Hareket	Parametreler
Surge (İleri yön)	X_u and $X_{\dot{u}}$
Sway (Sallanma)	Y_v and $Y_{\dot{v}}$
Heave (Aşağı-yukarı)	Z_w and $Z_{\dot{w}}$
Roll (Yatış)	K_p and $K_{\dot{p}}$
Pitch (Yunuslama)	M_q and $M_{\dot{q}}$
Yaw (Sapma)	N_r and $N_{\dot{r}}$

Araç sway ve roll hareketlerini yapamadığından dolayı Y_v, $Y_{\dot{v}}$, K_p ve $K_{\dot{p}}$ parametreleri elde edilememiştir. Diğer parametreler, aşağıdaki gibi tanımlanan optimizasyon problemi (J), Matlab'ın optimizasyon algoritması (fminsearch) kullanılarak çözülmüştür. Bu optimizasyon problemi, aracın parametrik matematiksel modelinden

elde edilen konumu (d_{model}) ile navigasyon sisteminden elde edilen, kestirilen konum bilgisi ($d_{ölçülen}$) arasındaki farkı minimize etmeye dayanır [6].

$$\text{minimize } J = \sum_{i=1}^{n} \left[d_{ölçülen} - d_{model} \right]^2 \tag{20}$$

$$d_{model} \approx \text{katma kütle ve sönümleme parametreleri}$$

Aracın sağ, sol ve dikeydeki iticileri aktif edilerek aracın 3 boyuttaki birleşik hareket denklemi 4 serbestlik derecesinde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\begin{bmatrix} \sum X \\ \sum Z \\ \sum M \\ \sum N \end{bmatrix} = \tag{21}$$

$$= \begin{bmatrix} (m - X_{\dot{u}})\dot{u} - (m - Y_{\dot{v}})vr + (m - Z_{\dot{w}})wq - X_u u \\ (m - Z_{\dot{w}})\dot{w} - (m - X_{\dot{u}})uq + (m - Y_{\dot{v}})vp - Z_w w \\ (I_y - M_{\dot{q}})\dot{q} + (Z_{\dot{w}} - X_{\dot{u}})uw + (I_x - I_z + N_{\dot{r}} - K_{\dot{p}})rp - M_q q + (z_G - z_B)W sin\theta \\ (I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} + (X_{\dot{u}} - Y_{\dot{v}})vu + (I_y - I_x + K_{\dot{p}} - M_{\dot{q}})qp - N_r r \end{bmatrix}$$

Bu hareketle ilgili olan parametreler optimizayon sonucunda, tablo 2 de gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 2. Optimizasyon sonucu bulunan katma kütle ve direnç parametreleri

Sönümleme parametreleri		Katma kütle parametreleri	
Elde edilen değerler	Gerçek değerler	Elde edilen değerler	Gerçek değerler
$X_u = -11.9628$	$X_u = -13$	$X_{\dot{u}} = -0.94$	$X_{\dot{u}} = -1.94$
$Z_w = -9.37$	$Z_w = -19$	$Z_{\dot{w}} = -1.9025$	$Z_{\dot{w}} = -3.94$
$M_q = -10.0087$	$M_q = -13$	$M_{\dot{q}} = -0.001$	$M_{\dot{q}} = -0.1$
$N_r = -4.0132$	$N_r = -5$	$N_{\dot{r}} = -0.03$	$N_{\dot{r}} = -0.0321$

11. SONUÇ

İnsansız bir sualtı aracının navigasyon problemini çözmek için aracın gerçeğe en yakın davranışı olan doğrusal olmayan yapısı modellenmiştir. Navigasyon problemi, üç navigasyon sistemi bütünleştirilerek, yüksek doğruluk ve yüksek veri alma hızında

çözülmüştür. Bu çözüme gidilirken yardımcı algılayıcılardan bilgi desteği alınmıştır. Alınan ölçümlerin gürültüye sahip olması sebebi ile durum hataları kestirilmiştir. Bütünleşmiş sistemde durum hatalarının çok küçüldüğü görülmüştür. Böylelikle daha doğru sonuca ulaşılmıştır. Bu kestirilen navigasyon verileri kullanılarak, aracın sistem tanılama çalışması yapılmıştır. Matematiksel modelde değeri belirli olmayan katma kütle ve direnç parametreleri elde edilmiştir. Bu çalışmanın devamı olarak gelecek çalışmalarda, SAGA'nın gerçek havuz deneylerine başlanılacaktır. Oluşturulan navigasyon sistemi gerçek havuz deneyinde kullanılacaktır. Araç havuz içerisinde hareket ederken yardımcı algılayıcılar ve kurulan navigasyon sisteminden, aracın konum, hız ve yönelim bilgisi ölçülecektir. Bu ölçülen veriler kestirilerek sistem tanılama çalışmasında kullanılacaktır. Sistem tanılama çalışmasında, hem klasik optimizasyon algoritmaları, hem de evrimsel optimizasyon algoritmaları kullanılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır.

12. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 111E267 kodlu TÜBİTAK 1001 projesi dâhilinde desteklenmiştir. Bu vesile ile TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi arz ederiz.

13. KAYNAKÇA

[1] http://www.desistek.com.tr.

[2] Seda Karadeniz Kartal, M. Kemal Leblebicioğlu, "Bir İnsansız Sualtı Aracının Navigasyonu", *7. Savunma Teknolojileri Kongresi (SAVTEK)*, Ankara, Haziran 2014.

[3] Seda Karadeniz Kartal, M. Kemal Leblebicioğlu, "Bir İnsansız Sualtı Aracının Navigasyonu ve Güdümü", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK)*, Kocaeli, Eylül 2014.

[4] T.I. Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons Inc., 1994.

[5] Paul D. Groves, Principles of GNSS, Inertial, and Multi-Sensor Integrated Navigation Systems, Boston:Artech House, (2008).

[6] Hsin-Hung Chen, "Vision Based Tracking with Projective Mapping for Parameter Identification of Remotely Operated Vehicles", *OCEANS*, 983 - 994, 2008.

[7] John L. Crassidis and John L. Junkins, Optimal Estimation of Dynamic Systems, 2004.

[8] R.G. Brown and Y.C. Hwang, Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering, John Wiley and Sons Inc., 1997.

[9] Andreas Løberg Carlsen, Navigational Assistance for Mini-ROV, M.Sc.Thesis in Norwegian University of Science and Technology, July 2010.

[10] Naser El-Sheimy, Haiying Hou, and Xiaoji Niu, " Analysis and Modelling of Inertial Sensors Using Allan Variance", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(1), 140-149, January 2008.

3 BOYUTLU HARİTA ÜZERİNDE ASKERİ OPERASYON PLANI EĞİTİM UYGULAMASI

Tolga Aşansü [(a)], Barış Çırıka[(b)], Gökhan Anul[(c)] , Anıl Ufuk Batmaz[(d)]

[(a)] GFDS 3D Animasyon ve Yazılım A.Ş., Tepe Prime A Blok No:70 Çankaya/Ankara, tasansu@gfds-inc.com

[(b)] GFDS 3D Animasyon ve Yazılım A.Ş., Tepe Prime A Blok No:70 Çankaya/Ankara, bcirika@gfds-inc.com

[(c)] GFDS 3D Animasyon ve Yazılım A.Ş., Tepe Prime A Blok No:70 Çankaya/Ankara, ganul@gfds-inc.com

[(d)] GFDS 3D Animasyon ve Yazılım A.Ş., Tepe Prime A Blok No:70 Çankaya/Ankara, aufuk@gfds-inc.com

ÖZ

Harp planları, iki boyutlu haritalar üzerinde çizilmiş ve bu haritalar üzerinde çalışarak yapılmıştır. Rakım farkları, arazi yüzeylerindeki akarsu yatakları, su birikintileri ve yerleşim yeri de Harita Mühendisliği uygulamaları dâhilinde iki boyutlu kâğıt harita üzerinde gösterilmektedir. Bu haritalardaki gösterilen durumlar, askeri karar vericilerin muharebe sahasının tahayyülü ile doğru orantılı olarak gerçek hayata aktarılmakta ve haritanın yanlış yorumlanmasından kaynaklanabilecek hatalar yüzünden can, mal ve zaman kaybı yaşanabilmektedir. İki boyutlu haritalar ve modeller içeren kâğıt üzerindeki uygulamalar yerine, yapılan çalışma doğrultusunda bilgisayar üzerinde 3 boyutlu haritalar ve modeller oluşturulmuştur. Bu üç boyutlu haritalar sayesinde harita üzerindeki unsurların daha iyi görülmesi, karar vericilerin daha iyi, doğru ve rahat karar vermesi, aynı zamanda kullanıcının askeri harp planı üzerinde eğitim-öğretimi amaçlanmıştır. Özellikle yer şekillerinin gerçek rakım değişimlerine göre dijital olarak oluşturulabilmesi, karar vericinin muharebe sahasını tahayyülü, karar verme sürecinde yaşanabilecek hatalarını en düşük seviyeye çekmeyi hedeflemektedir. Bilgisayar üzerinde hazırlanan düşük poligon sayısına sahip modeller doğrultusunda, iki boyutlu olarak harita üzerinde gösterilebilen herhangi bir unsur 3 Boyutlu olarak bilgisayar ortamına aktarılabilinmekte ve gerçek zamanlı olarak karar vericinin isteği ile etkileşim altına girmesi sağlanmaktadır. Proje kapsamında, sadece karar verici için bir destek sistemi değil aynı zamanda kurumlarda harita üzerinde askeri harp planı çıkarılması doğrultusunda eğitim kaynaklarının hazırlanması hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 3 Boyutlu Model, Eğitim, Harita, Harp Planı, Simülasyon

"MILITARY OPERATION PLAN" EDUCATION IMPLEMENTATION ON 3D MAP

ABSTRACT

Military Operation Plans are drawn and planned on two-dimensional maps. Altitude, the stream bed in the land surface, puddles and settlements are also shown on the map within the two-dimensional paper maps on engineering applications. Conditions shown in the maps, are transferred to the real-life decisions in proportion to the power of the imagination of the military decision-maker and mistakes due to misinterpretation of maps can cause the loss of life, property and waste of time. According to the studies conducted, three-dimensional maps on the computer and models have been created for applications instead of two-dimensional maps. Increasing visibility of elements on the three-dimensional maps helped decision makers to decide better, accurate and comfortable decisions. At the same time, it aims for the decision-maker's education on the user's war plans. Especially digitization of geographical data with real height values, greatly helps to the decision maker's imagination of the terrain conditions and minimizes the error probabilities. Low polygon models used in the application, ensures the translation of 2D designs to interactive 3D environments. The project concept, beside being a support system for military decision-makers, also enables institutions for the creation of educational resources for military operation planning on maps.

Keywords: 3D Models, Education, Map, Simulation, War Plan

1. GİRİŞ

M.Ö.6000 yılında yaşayan komutan Sun Tzu "Savaş Sanatı" adlı eserinde "Sonuçta, düşmanı ve kendinizi iyi biliyorsanız, yüzlerce savaşa bile girseniz sonuçtan emin olabilirsiniz. Kendinizi bilip, düşmanı bilmiyorsanız, kazanacağınız her zafere karşın yenilgiyle de tanışabilirsiniz. Ne kendinizi ne de düşmanı bilmiyorsanız sizin için gireceğiniz her savaşta yenilgi kaçınılmazdır"[1] ifadesi ile askeri karar verici merciin sahip olması gereken kabiliyetleri belirtmiştir. Bir askerin kendini bilmesi sadece askeri alan üzerinde gerçek zamanlı sahip olduğu bilgi ve tecrübeye dayalı olması veya geçmişte yaşanan bir olayın tekrar benzetilmesi ile sağlanamaz. Kişilerin yaşanmış durumlardan tecrübe çıkarması yanında, insan zekâsının hayal gücü ve yaratıcılığı ile kendi tecrübe ve bilgisini ileri götürebilir. Bu amaçla da askeri karar verici yeni taktik, strateji ve bilgi girişi ile kısa sürede var olan fiziksel koşulların üzerine yeni stratejiler geliştirmek ve onları direk olarak uygulamaya sunmak istemektedir. Var olan birikimini geliştirmek amacıyla farklı konularda gerek elektronik ve gerekse bilgisayar tabanlı benzetim yardımları günümüzde sıkça kullanılan bir yapıdır.

Askeri karar vericinin bilgi birikimi ve tecrübesini arttırmak amacı ile dünya ve Türkiye üzerinde çok farklı uygulamalar[2-4] bulunmaktadır. Özellikle elektronik harp konusunda interaktif benzetim ve animasyonlar sayesinde kişilere uygulama tabanlı farklı platformlarda farklı başlıklar altında çeşitli çözümler sunulmaktadır. Bu çözümlerin altında yatan gerçekçilik faktörü, benzetim uygulamalarının işleyişi sırasında önemli bir yere sahiptir.

Karar verici her ne kadar tecrübeli veya eğitimli olursa olsun, sanal elektronik harp ortamında sağlanan gerçekçiliğin normal gerçekçilikten oldukça uzak olması, eğitim ve kullanım aşamasında uygulamanın işlevini yerine getirememesine sebep olmaktadır[5]. Bunu aşmak için yapılan çalışmalardan biri benzetimin karar verici üzerinde daha sık olarak tecrübe edilmesi ihtiyacı duyulmuştur[6] bu da benzetim amaçlarından biri olan zamandan tasarruf amacını saptırmaktadır. Bu ve bu tarz yaklaşımlar yerine, uygulamadaki gerçekçiliğin arttırılması hedeflenebilir.

Bu makalede, günümüzde silahlı kuvvetlerin elektronik harp ortamında ihtiyaçlarını karşılayan, görsel ara yüz ve kullanıcı etkileşimini ön plana çıkaran, eğitim amaçlı, aynı zamanda gerçek zamanlı olarak askeri karar vericiye destek olabilecek bir altyapı ile tasarlanan GFDS Sanal Gerçeklik Askeri Operasyonları (Virtual Reality Military Operations (VRMO)) WarPlan [7] uygulaması incelenmiştir.

2. UYGULAMA YAPISI

Yapısal olarak makalede konu alınan yazılım ile diğer güncel uygulamaların karşılaştırması Tablo 1'de yapılmıştır. Bahsi geçen WarPlan uygulamasının diğer uygulamalardan farkı, 3 boyutlu görsel harita gösteriminde karar vericiyi daha rahat ettirmek, karar vericinin daha rahat bir ara yüz ve kullanım ile çalışmasını sağlamak ve daha gerçekçi görselleri aktarmaktır.

2.1. Görsel Özellikler

Uygulama karar vericinin (kullanıcının) coğrafi hiyerarşi içerisinde büyükten küçüğe giderek Türkiye haritası üzerinden seçtiği bir il veya coğrafi bölge içinden seçtiği ilçe ve sonrasında seçtiği kısım içerisinden kullanmak istediği haritayı seçebilmektedir.

Uygulamada kullanılan modeller ve senaryolar örnek olması amacı ile sadece Hakkâri ilinin Çukurca ilçesinin Narlı köyü ve çevresine ait bilgiler kullanılmıştır.

2.1.1. Harita:

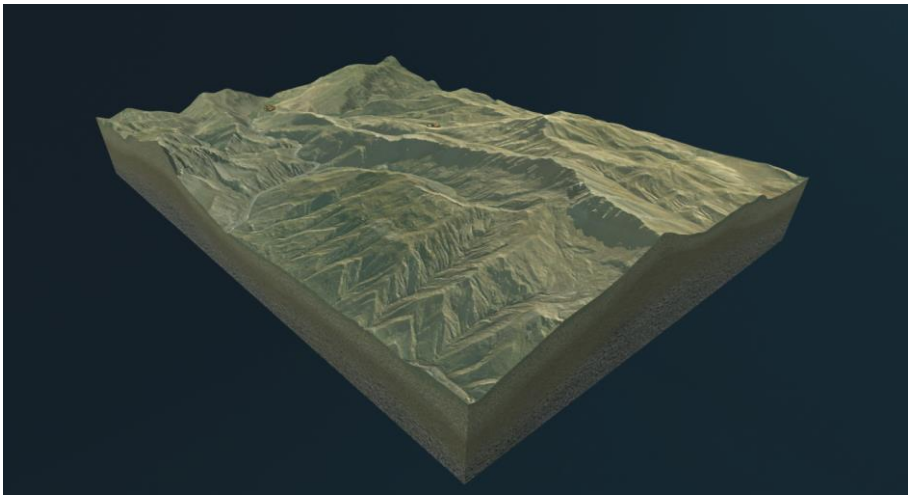
Uygulamada kullanılan haritaların en küçüğünün boyu 14 kilometre, eni 10 kilometre olarak seçilmiştir.

Seçilen harita alanı gerçek yükseklik ve uydu görüntüleri ile görselleştirilip, üzerine koordinat sistemi işlenmiştir. Böylece harita üzerinde herhangi bir noktanın enlem, boylam ve yükseklik değişkenleri anlık olarak veri tabanına aktarılabilirken 3 boyutlu uydu görüntüsü de işlenebildiği için tüm sayısal verileri barındıran perspektif görüntüsü elde edilebilmektedir. Ayrıca haritanın 3 boyutlu yükseklik bilgisini fiziksel model ile vermesinden dolayı (pan, zoom ve orbit) taşıma, yakınlaştırma ve döndürme gibi navigasyon hareketlerinin tümü uygulanabilir durumdadır.

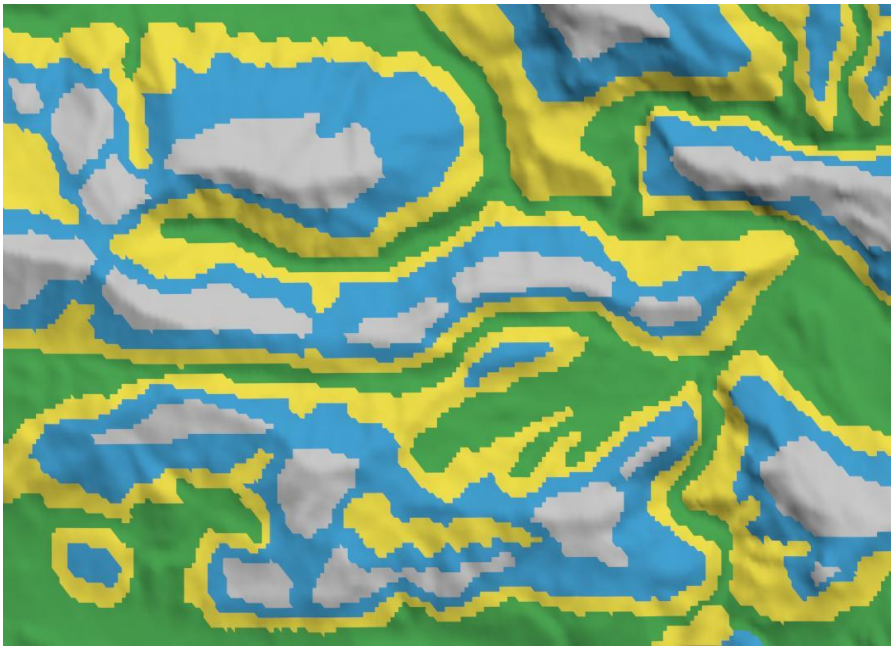
Tablo 1. Güncel uygulamaların GFDS VRMO WARPLAN ile karşılaştırması

KONU	UYGULAMA 1[8]	UYGULAMA 2 [9]	VRMO WAR PLAN
Bilgisayara karşı veya çok kullanıcı desteği	VAR	VAR	VAR
2B ve 3B harita gösterim	VAR	VAR	VAR
3B sahne görselleştirme	VAR	VAR	VAR
3B model kütüphanesi	VAR	VAR	VAR
Senaryo içe/dışa aktarma	VAR	VAR	VAR
Operasyon Tanımlama ve Yürütme	VAR	VAR	VAR
Yazılım	Java	Java	C#, JavaScript

Seçilen haritanın 3 boyutlu modeli üzerinden 4 farklı arazi yapısı, model yüzeyindeki eğimlerin hesaplanması ile oluşturulmuştur. Oluşturulan eğimler düz boş arazi, hafif eğimli arazi, eğimli arazi, dağlık arazi olmak üzere 4 kısma ayrılmıştır. Bu durum Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu kısımda kullanılan veriler askeri birliklerin harita üzerinde yerleştirilmesi sırasında ve intikal senaryosunun uygulanmasında kullanılmıştır. Uygulamada hazırlanan altyapı sayesinde istenilen bölgenin, istenilen arazi yapılarına, istenilen koşullarda bölünmesi sağlanmıştır.



Şekil 1. Haritanın Görsel olarak 3 boyutlu düzlem üzerinde gösterilmesi

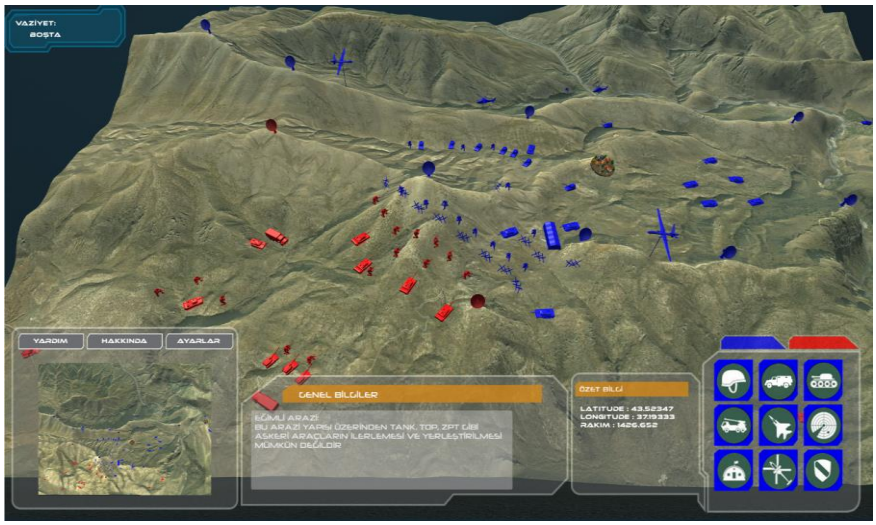


Şekil 2. 3 Boyutlu haritanın arazi koşullarına göre sınıflandırılması (yeşil renk=düz boş arazi, sarı renk = hafif eğimli arazi, mavi renk = eğimli arazi, gri renk=dağlık arazi)

2.1.2. Kullanıcı Ara yüzü:

Uygulamanın en çok üzerinde durulan özelliklerinden biri de kullanışlı bir ara yüz ile kullanıcı deneyiminin (User Experience) [10] arttırılması ve bu sayede kullanıcının rahatlıkla uygulama içerisinde hareket etmesinin sağlanmasıdır. Gerçek zamanlı strateji uygulamalarının yapısı, bu askeri uygulamanın içine bütünleşmiş ve harita yerleşimi, model yerleşimi gibi parçaların yerleşimine dikkat edilmiştir. "Yardım" ve "Hakkında" bölümleri eklenerek kullanıcıya benzetimin kullanımı sırasında ihtiyaç duyabileceği bilgileri sunulmuştur. "Ayarlar" bölümü ise kullanıcının uygulama ile etkileşim ve

kullanım ayarlarını değiştirme imkânı verilmektedir. “Genel Bilgiler” başlığı altında arazi koşullarının veya il/ilçe/köy bilgilerinin askeri karar vericiye anlık olarak sağlanmış; aynı zamanda seçilen birlik hakkında var olan, daha önce girilen ya da anlık olarak değiştirilebilen bilgiler sayesinde görsel rahatlık verilmeye çalışılmıştır. “Özet Bilgi” kısmında imlecin gösterdiği noktanın dünya üzerindeki gerçek enlem, boylam ve rakım bilgilerinin olması sağlanmıştır. Ayrıca senaryoda var olan bazı bilgiler anlık olarak bu kısımda görülebilir. En sağ alt köşede ise kullanıcının istediği askeri üniteyi seçmesi için seçim paneli konulmuştur. Sol üst kısımda da kullanıcının uygulamanın anlık vaziyetini gösteren ve senaryo seçiminde yardımcı olan bilgi paneli eklenmiştir. Buna göre hazırlanan ara yüz Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Kullanıcı arayüzü ve uygulamadan bir sahne

2.1.3. Askeri Üniteler

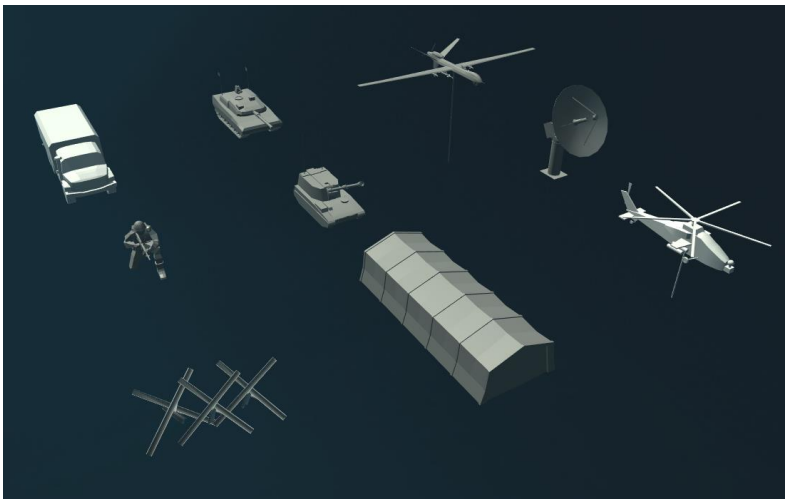
Uygulamada kullanılan askeri üniteler gerçek modellerin yeniden modeli (re-modelling) yapılarak düşük poligon modelleme (low-poly modelling) tekniği ile tek renk ikonik ünitelere dönüştürülmesiyle oluşturulmuştur. Kullanılacak 3 boyutlu görsellere düşük poligon modelleme uygulanması sırasında performans açısından 5000 poligon aşağısında modellerin yapılandırılması amaçlanmıştır. Bu teknikle hem performans hem de harita üzerinde ünitelerin rahat algılanması sağlanmıştır. Dost ve düşman ünite ayrımı için kırmızı ve mavi renkler kullanılmaktadır. Toplamda 9 çeşit ünite ile savaş senaryoları gerçekleştirilmektedir. Bu modeller Şekil 4’de gösterilmektedir.

2.2. Kullanım Özellikleri

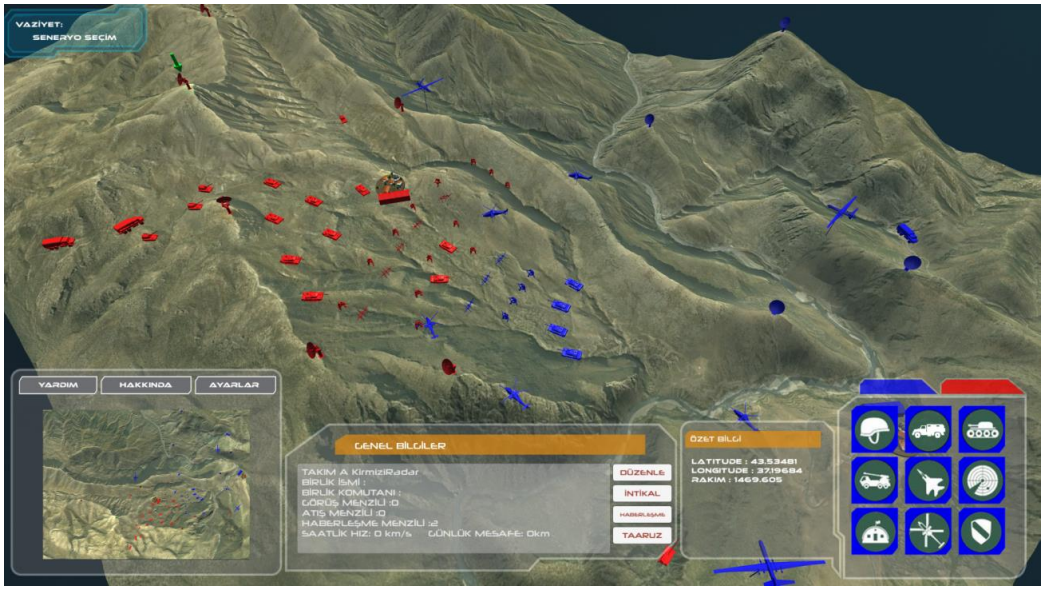
Uygulamanın içeriğine özellik olarak eklenen hareket tuşları ile sabit bir noktaya bakarken kamerayı döndürme, çevirme, hareket ettirme, ekranı kaydırma, yakınlaştırma ve uzaklaştırma özellikleri sayesinde rahat bir kullanım alanı sağlanmıştır. Seçilen objenin üzerinde ok belirerek uygulanması, senaryoya göre değişen gösterim seçenekleri

ile daha rahat ve anlamlı bir görsellik sağlanmıştır. Bu özelliklerin bir kısmı Şekil 5'de gösterilmiştir.

Karar vericilerin karşılıklı olarak eğitilmesi ve uygulamanın karşıdan bir bilgisayar ile kontrolünün sağlanabilmesi amacı ile de uygulama çoklu kullanıcıyı destekleyecek şekilde de yerel ağ üzerinden idame edebileceği şekilde tasarlanmıştır.



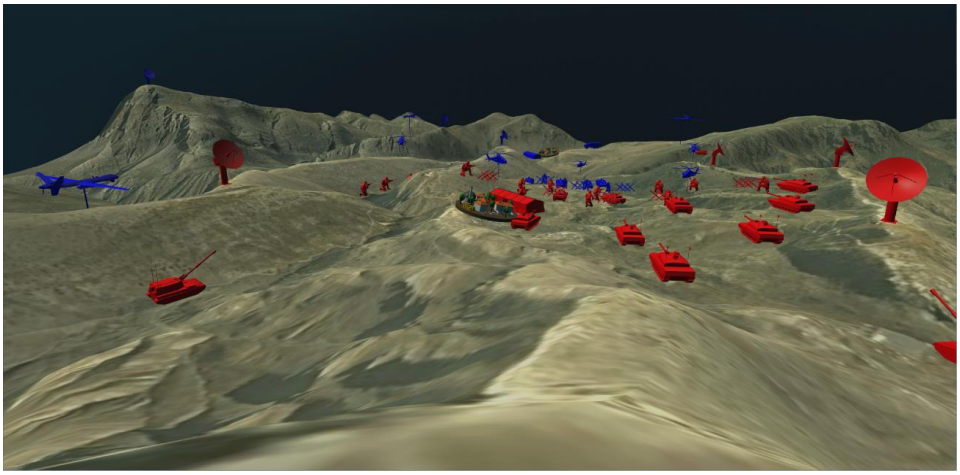
Şekil 4. Uygulamada kullanılan 9 farklı model



Şekil 5. Uygulamada seçili bir birim sol üst köşede yeşil ok ile gösterilmektedir

Bunun yanında da kullanıcının seçilen birlik üzerinden araziyi görmesi, anlık olarak var olan görsellerin bilgilerinin saha üzerinde gösterilmesi sağlanmıştır. Karar verici isterse harita modeli üzerinde karar vermesi yanında gerçeğe yakın olarak yerden de sahanın görünüşünü inceleyebilmektedir. Bu durumu da ifade etmek için Şekil 5'deki saha içerisindeki görselden yeşil ok ile seçili görüntünün anlık görseli Şekil 6'da gösterilmiştir.

Ekranın sağ alt kısmında gösterilen harita sayesinde 2 boyutlu olarak da görsellerin sürekli ve anlık olarak ekrana yansıtılması sağlanmıştır.



Şekil 6. Seçili birim üzerinden anlık görüntü gösterimi

3. SENARYOLAR

Uygulamanın hazırlanması haricinde de uygulama içeriğine farklı senaryolar eklenmiştir. Bu senaryolar sadece karar vericiyi eğitmek amacı ile değil aynı zamanda var olan sistemin girişine göre dışarıdan bir etkileşime girilmesiyle de benzetim yapılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

Uygulama içerisinde hazırlanan 3 ana senaryo bulunmaktadır. Bunlar İntikal, Haberleşme-Algılama ve Taarruz 'dur.

3.1. İntikal

Bu bölümde seçilen birlik gidilmesi istenilen noktaya olan en kısa yolu hesaplar ve bu hesabın sonucu gidilebilir çıkar ise kullanıcıya görsel olarak çizilen yolu gösterir. Hesaplanan sonuç "gidilemez" çıkar ise kullanıcıya kullanıcı ara yüzünün bilgi bölümünde seçilen arazinin intikal için imkânsız olduğu bilgisi gösterilir. Arazi şartlarının birliklerin ilerlemesi üzerine çok büyük etkileri vardır, bu etkiler birliklerin istenilen bölgeye intikal edebilmesi ya da bazı bölgelerde ise normal hızlarından daha yavaş bir şekilde yol almalarıdır. Haritaların boyut, yükseklik, eğim bilgileri birebir olarak hazırlanmıştır. Önceden hazırlanan arazi bilgilerine bakılarak, belirli gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar eğim, yükseklik gibi değerler ile seçilen birliklerin intikal yetenekleri doğrultusunda düzenlenmiştir.

Sistemin çalışabilmesi için "Yol Bulma" (Path Finding) algoritmasına ihtiyaç duyulmuştur. Literatürde bu işlem için çok fazla algoritma mevcuttur. Mevcut algoritmalar bu çalışmada sezgisel ve sezgisel olmayan olarak incelenmiştir. İnceleme

sonucunda sezgisel olmayan algoritmaların çevresel olarak tüm parametrelerin bilinmesini gerektirmekte ve uzun süren hesaplamalar sonucunda en kısa yolu verebilmektedir. Buna karşın sezgisel olan algoritmalar tüm parametrelerin bilinmesine ihtiyaç duymadan en kısa yolu verebilmektedir. Araştırmalar sonucunda sezgisel algoritmalardan temel olan "A*"[11] seçilmiştir. Uygulama içerisindeki bir intikal senaryosu uygulaması Şekil 7'de gösterilmiştir.

A* Algoritması başlangıç noktasından bitiş noktasına gidilebilecek bir yol varsa, bu yolu bulmaktadır. Rotayı hesaplarken sezgisel fonksiyonla ideal rotayı bulur. A* Algoritması sıklıkla networkte ağ yol atamaları, oyunlar için kısa yol bulma gibi problemlerde kullanılır. Rota oluşturulurken, bir sonraki noktayı bulurken o noktaya kadar olan toplam alınan yol hesaplanır ve sonraki noktanın hedefe olan uzaklığı tahmin edilir, bu işlemler sonucunda uygun rotayı seçer. Bu fonksiyon (1)'deki gibi tanımlanmaktadır[12].

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

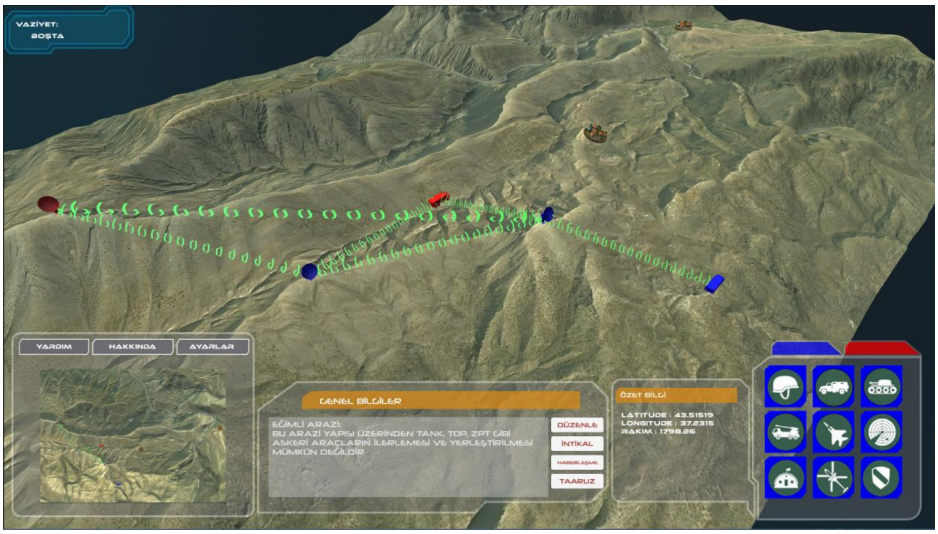
A* Algoritması f(n) fonksiyonunu her nokta için hesaplar. Formüldeki g(n) fonksiyonu, başlangıç noktasından n noktasına gitmek için alınan yolun uzaklığıdır. h(n) fonksiyonu ise, n noktasından varış noktasına gitmek için alınması gereken yolun tahmini uzaklığıdır.

Şekil 7. Askeri bir birliğin intikal yolunun gösterilmesi

3.2. Haberleşme - Algılama

Haberleşme - Algılama senaryosu seçildiğinde, öncelikli olarak birbiri ile haberleşebilecek olan askeri birlikler gösterilmiştir. Bu gösterim sırasında önceden girilen bilgiler doğrultusunda birliklerin haberleşme mesafeleri ile tüm arazi koşullarının haberleşme sinyallerine etkisi dikkate alınmıştır. Antenlerin çift-yönlü (bidirectional) oldukları ve bant bağımsız olarak, tek modülasyonda çok yönlü iletim yapabildikleri varsayılmış, sadece menzil olarak bir değişken ile kısıtlama tanımlanmıştır. Tüm haberleşme hareketlerini gösteren bir ekran görüntüsü Şekil 8'de gösterilmiştir.

Algılama için ise, seçili bir radar üzerinden belirlenen herhangi bir birliğin radar tarafından tespit edilip edilemeyeceği gösterilmektedir. Bir radar üzerinden saha üzerindeki herhangi bir birlik seçildiğinde, o birliği gören tüm radarlar saha üzerinde işaret edilmektedir. Benzer şekilde, seçili bir birlik üzerinden bir radara tıklanırsa, sadece seçili birliğin istenen radar ile algılanıp algılanamadığı incelenmektedir.



Şekil 8. Haberleşme senaryosu örneği

3.3. Taarruz

Taarruz senaryosu kapsamında seçilmiş olan bir birimin, seçilen diğer bir birimi vurabilme durumu analiz edilerek gösterilmektedir.

3.3.1. Analiz

Gerçekçi bir analizin sağlanabilmesi için, benzetim sırasında sisteme girilen, birimlerle ilgili gerçek veriler kullanılmaktadır. Bu veriler karşı birimin koordinatları ve atış hızıdır. Benzetim ortamımız ideal bir dünya olarak tasarlandığı için sürtünme katsayısı gibi dış etkenler göz ardı edilmiştir. Tank birliklerinin atış hızı 120mm'lik tank namlusundan çıkan 1740m/s'lik hıza göre, top atışı da 155mm'lik top mermisinden çıkan 564m/s'lik hıza göre ve piyade birliklerin mermi hızı da 800m/s olarak alınmıştır.

3.3.2. Atış Açısının Hesaplanması

Seçilen hedefin koordinatlarına göre mühimmatın gideceği mesafeler (2) ve (3)'de gösterilmiştir.

$$x = vt\cos(\Theta) \tag{2}$$

$$y = vt\sin(\Theta) - \frac{1}{2}gt^2 \tag{3}$$

(2) ve (3) ‘deki gösterilen denklemlerde v atış hızı, t zamana bağlı değişken, Θ atış açısı ve g yer çekimi ivme sabiti (9.8 m/s2)’dir. Bu denklemlerden zamana bağlı değişkeni çekersek, merminin gideceği yükseklik (4)’de gösterilmiştir. (4)’den yaralanarak, atış açısı (5)’de hesaplanmıştır.

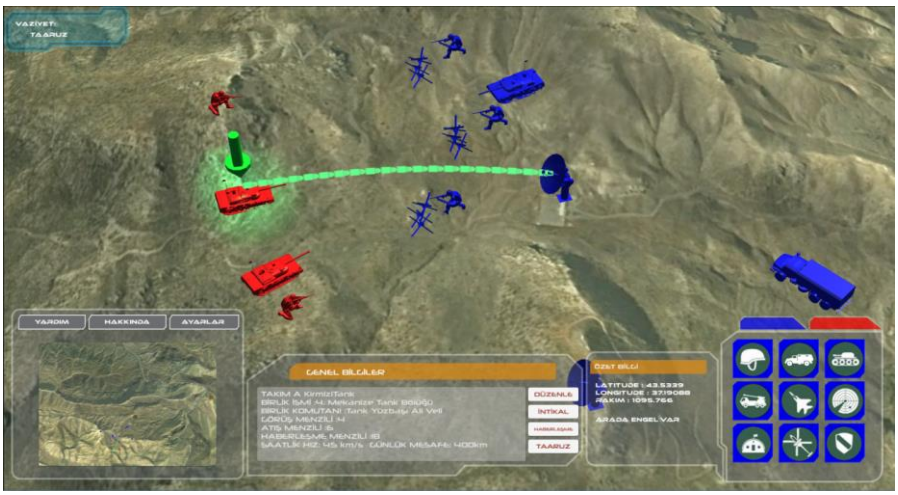
$$y = x\,tan(\Theta) - \frac{gx^2}{2v^2cos^2(\Theta)} \tag{4}$$

$$\Theta = tan^{-1}\left(\frac{v^2 \pm \sqrt{v^4 - g(gx^2 + 2yv^2)}}{gx}\right) \tag{5}$$

3.3.3. Belli Mesafedeki Mühimmat Yüksekliği

Atış açısının hesaplanmasından sonra ateşlenen mühimmatın izlediği güzergâhı bulmak için, gittiği anlık mesafedeki yüksekliğini hesaplamak yeterli olacaktır. Bu durumda (4) kullanılarak güzergâh üzerindeki merminin yüksekliği yataydaki ilerlemesine bağlı ifade (6)’da gösterilmiştir.

$$y = y_0 + x\,tan(\Theta) - \frac{gx^2}{2v^2cos^2(\Theta)} \tag{6}$$



Şekil 9. Taarruz senaryosunun bir sahnesinin örnek gösterimi

4. SONUÇ

Askeri Karar Vericilerin eğitimi ve kendilerini geliştirmesi aynı zamanda gerçek zamanlı olarak askeri bilgilerin gözlemlenmesi amacı ile farklı uygulamalara sıkça rastlanmaktadır. Bu uygulamaların kullanış ve görsel açıdan desteklenmemesi, benzetimin yeterince yararlı olamamasına yol açmaktadır. Bu sorunun ortadan kaldırılması amacıyla GFDS VRMO WarPlan geliştirilmiştir. Uygulamanın işlevselliğini arttırmak amacı ile çeşitli senaryolar üzerinden sistemin çalışması hakkında örnekler

gösterilmiş, senaryolardaki bilgilerin oluşturulması için gerçek dünya verilerine bağlı kalınmıştır.

Bunun yanında, görsel özellikleri ve kullanım kolaylığı ön planda tutularak, hem eğitim amaçlı hem de gerçek zamanlı muharebe alanında askeri karar vericiye destek olarak kullanılabilecek bir yazılım oluşturulmuştur.

Uygulamaya gelecekte yeni senaryolar ve eğitimler eklenerek geliştirilmesi hedeflenmektedir. Daha önce yaşanmış askeri operasyon bilgilerinin sisteme kayıt edilmesi ile büyük bir operasyon kütüphanesi geliştirilmesi ve bu kütüphane içerisindeki senaryolarda, birlikleri, yapıları ve konumları değiştirerek tekrar benzetim yapılması sağlanacaktır. Bunun yanında üçlü kestirim gibi askeri algılama yöntemlerinin de uygulama üzerinde gösteriminin yapılması amaçlamıştır.

5. KAYNAKÇA

[1] Sun Tzu (Eylül 2001), Savaş Sanatı, Anahtar Kitaplar Yayınevi, (ISBN 975-7787-03-5), İstanbul

[2] Deaton, I.V. and Horman, F.H. Electronic warfare simulator, US Patent 4,192,082

[3] HUANG, Ke-di, et al. "A Survey of Military Simulation Technologies [J]." Acta Simulata Systematica Sinica 9 (2004): 007.

[4] Adamy, D. (2006). Introduction to electronic warfare modeling and simulation. SciTech Publishing.

[5] Training Colt HG, Crawford SW, Galbraith O, Virtual Reality Bronchoscopy Simulation: A Revolution In Procedural, III. Chest. 2001;120(4):1333-1339.

[6] T. P. Grantcharov, J. Rosenberg, E. Pahle, P. Fench-Jensen(2001), Virtual reality computer simulation, Surgical Endoscopy, 10.1378/chest.120.4.1333

[7] [ONLINE] http://www.gfds-inc.com/yazilim/galeri/

[8] Joint Electronic Warfare Training System, MilSOFT, [ONLINE] http://www.milsoft.com.tr/jets_ew.php

[9] Joint Electronic Warfare Training Simulation, MilSOFT, [ONLINE] http://www.milsoft.com.tr/jetsim_ew.php

[10] The Definition of User Experience (UX). 2015. The Definition of User Experience (UX). [ONLINE] Available at:http://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/. [Accessed 14 June 2015].

[11] Xugang, Y. (2009), Random Disambiguation Paths: Models, Algorithms, and Analysis, 20-23.

[12] A.Aydın, S. Telçeken, *Mobil Gezgin Uygulaması için A* Algoritması ve Karınca Kolonisi Karşılaştırması,* IEEE 23th Signal Processing And Applications Conference (SIU 2015)

TAKSİM, OPERASYONEL GÖREV EĞİTİMİ İÇİN SENARYO TABANLI BİR SAVAŞ OYUNU ALTYAPISI

Hüseyin Sayın[a], Hürcan Gökçe Solter [b], Fuat Bölükbaş[c]

[a] [b] [c] Simsoft Bilgisayar Teknolojileri Limited Şirketi,

ODTÜ Teknokent Bölgesi ANKARA

[a] huseyin.sayin@simsoft.com.tr

[b] hurcan.solter@simsoft.com.tr

[c] fuat.bolukbas@simsoft.com.tr

ÖZ

Silahlı Kuvvetlerde; askerlerin savaşlarda karşılaşabilecekleri durumlardaki muharebenin taktiğini, tekniğini, hareket tarzlarını öğretmek ve test edebilmek çok büyük öneme sahiptir. Komutanlar; gerçek birlikler olmadan muhtemel bütün senaryoların planlaması ile taktik eğitimlerde kolayca yapılabilmesinin harekatın gerçekliğinde birbirinden ayrılmasına ihtiyaç duyarlar.

Bu çalışmada, bazı örnek operasyonel görevlerle birlikte operasyonel görev eğitimi için senaryo tabanlı savaş oyun altyapısı, Taktik Oyun Simülasyonu Altyapısı (TAKSİM), sunulmuştur. TAKSİM, en gelişmiş yeni teknolojilerle geliştirilmiş, genişleyebilir ve ölçeklenebilir bir mimariye sahiptir. TAKSİM, kara, deniz ve hava savaş görevlerinin sanal (sentetik) ortamda esnek senaryo ve arazi seçenekleriyle yapılmasını sağlayan, görsel olarak zengin, güçlü ve esnek otonom/yarı otonom (bir bilgisayar tarafından yaratılarak oynanan) kuvvet platformu ortamı sağlar.

TAKSİM sanal ortamda modeller yaratılması, mevcut arazi verilerini kullanarak yeni arazi yapıları oluşturulması, senaryo oluşturulması için sınır güvenlik ve klasik harp birliklerine ve sistemlerine geniş, kapsamlı bir kütüphane sağlamaktadır. TAKSİM'deki nesneler, görevlerini bireysel veya grup/birlik seviyesinde akıllı/yarı akıllı olarak yapabilmektedir. TAKSİM'de hazırlanan senaryolar aynı network ortamını kullanarak birçok bilgisayarda çalıştırılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ciddi Oyun, Çok Çözünürlüklü Simülasyon, Savaş Oyunu, Taktik Simülasyon, TAKSİM

A SCENARIO-BASED WAR GAME FRAMEWORK AND SOFTWARE FOR TRAINING OF OPERATIONAL TASKS

ABSTRACT

Education and training in military has great importance to learn and test theories of warfare, then refine without the need for actual hostilities in order to be able to better confront real-world situations. Commanders need to manipulate operational realism to increase abstraction by convenience and accessibility through all possible scenarios in military planning by the tactical exercise without real troops.

In this study, a framework, TACSIM, which is used to implement scenario based wargames is presented together with some sample operational tasks. TACSIM has an extendable and scalable architecture that is developed by the state of the art technologies. TACSIM provides an immersive, visually rich environment, a powerful and flexible Computer Generated Forces (CGF) platform to fill synthetic environments with battlefield, maritime, and airspace activity, with flexible scenario and terrain options.

TACSIM comes with an extensive content library for battlefield units and systems to create models and populating scenarios, and has the capability for expanding existing terrains and developing geospecific terrains. Entities in TACSIM can be bestowed individual and unit level artificial intelligence to perform the tasks required. TACSIM scenarios can be run in multiple computers sharing a network environment.

Keywords: Multi-resolution modeling, Serious Game, Simulation, Tacsim, Wargaming

1. GİRİŞ

Askeri ve sivil maksatlı olarak kullanılan gerçek sistemlerin gereksiz kullanımı önlenerek/azaltılarak eğitim, bakım ve işletme maliyetlerinin azaltılması için simülatör ve simülasyon uygulamalarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır[1].

Ayrıca, gelişmiş ülkelerde askeri ve sivil her seviyede yöneticilerin/liderlerin veya yönetici adaylarının taktik ve stratejik seviyede doğru kararlar almasına yardımcı olacak eğitim maksatlı simülasyon yazılımları ve ciddi oyun teknolojileri önemli ölçüde kullanılmaktadır.

Askeri simülasyonlar, mümkün olduğu kadar gerçekçi, ölçülebilir, tekrarlanabilir, gözlemlenebilir sonuçlar üretecek ve gerçek dünya olaylarını yansıtacak/benzetecek şekilde tasarlanmalıdır.

Bu anlayıştan yola çıkarak, Simsoft tarafından geliştirilen Taktik Oyun Simülasyonu Altyapısı (TAKSİM) ile, sınır güvenlik ve askeri birliklerde görev yapan/yapacak

personelin kendi etki ve ilgi sahalarında icra edecekleri faaliyetlere yönelik etkinliklerini geliştirecek ve değerlendirecek sanal bir eğitim ortamı için altyapı sağlanması hedeflenmiştir.

Silahlı Kuvvetlerde, karşınızda gerçek düşmanlar olmadan savaşlarda karşılaşılabilecek durumlar karşısındaki savaş stratejilerinin ve taktiklerinin denenmesi ve doğru olarak uygulanabilmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, operasyonel görev eğitimi için senaryo tabanlı savaş oyunu için bir altyapı, TAKSİM, sunulmuştur. TAKSİM, en gelişmiş yeni teknolojilerle geliştirilmiş, genişleyebilir ve ölçeklenebilir bir mimariye sahiptir. TAKSİM, kara, deniz ve hava savaş görevlerinin sanal (sentetik) ortamda esnek senaryo ve geniş arazi seçenekleriyle mümkün olduğu kadar gerçek hayattaki gibi yapılmasını sağlayan, görsel olarak zengin, güçlü, esnek ve otonom/yarı otonom (bir bilgisayar tarafından yaratılarak oynanan) kuvvet platformu ortamı sağlar.

Bu çalışmanın ilk bölümünde simülasyon ve oyun tabanlı programlarla taktik eğitim yapmanın öneminden bahsedilmiş, ikinci bölümünde eğitilen karakol, manga, takım ve bölük personelinin/liderlerinin muharebe alanında doğru karar verme becerilerinin değerlendirilebileceği, ihtiyaçları karşılayacak hızlı, kullanılabilir ve senaryo bazlı TAKSİM yazılım geliştirme metodolojisi, üçüncü bölümünde TAKSİM mimarisi, sonuç bölümünde de bundan sonraki yol haritası ve teknolojik değerlendirme yapılmıştır.

2. TAKSİM YAZILIM GELİŞTİRME METODOLOJİSİ

Yazılım geliştirme metodolojisi ve mimarisi bir sistemin anlaşılabilmesi ve tasarlanması için en önemli araçlardan bir tanesidir. Müşterinin ve son kullanıcının hızlı sonuç görmek istemesi, tüm katılımcıların ve geliştiricilerin büyük resmi paylaşabilmesini ve anlamasını sağlamak maksadıyla senaryo tabanlı, artırımlı, çevik bir yazılım geliştirme süreci uygulanmıştır [2]. Öncelikli olarak sistem/alt sistem tanımları yapılarak çerçeve çizilmesi maksadıyla dünyadaki taktik askeri simülasyonlardan Taktik Seviye Müşterek Harekât Simülasyon (Joint Conflict and Tactical Simulation-JCATS), Sanal Muharebe Alanı Simülasyonu (Virtual Battlespace Simulation-VBS2), Müşterek Harekat Alanı Seviyesi Simülasyon (Joint Theater Level Simulation-JTLS) yazılımları ile Yarı Otonom Kuvvetler (One Semi-Automated Forces-OneSAF) ve Müşterek Yarı Otonom Kuvvetler (Joint Semi-Automated Forces-JSAF) yazılımlarındaki incelenmiştir. JTLS ve JCATS'in 2 boyutlu grafik modellerle oynandığından dolayı oyun teknolojileriyle desteklenen günümüz ciddi oyunlarında gelişmeye açık oldukları görülmüştür. JTLS ve JSAF oyunlarında kara, deniz ve hava kuvvetlerinin birlikte kullanıldığı oyun senaryolarına ağırlık verildiği görüşmüş, TAKSİM'in daha sonraki geliştirme safhalarında faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Generik doktrin ve taktiklerin geliştirilmesinde ve denenmesinde OneSAF'ın ve VBS2'nun ilk geliştirme safhalarında kavramsal modelin

ortaya konmasından sonra uzun ürün geliştirme zamanlarına ihtiyaç duyduğu görülmektedir [3].

Çevik geliştirme yöntemi, müşterinin ve son kullanıcının yazılım geliştirilmesi konusundaki bilgi ve tecrübesinin yetersiz olmasından dolayı eksik veya yanlış olabilecek tanımlamaların zaman içinde düzeltilmesi ve yeniden düzenlenmesine imkân sağlanması maksadıyla öncelikle iç paydaşlara ve müşteriye teknoloji gösterimleri yapılarak giderilmesi sağlanmıştır [4]. Teknoloji gösterim konularının ve içeriklerinin tespit edilmesi çalışmalarında tüm gereksinimleri kapsayacak sınır güvenlik ve klasik harp ana görevlerini (3 boyutlu modellerin hazırlanması, temsili ortam modellemesi, senaryo birliklerinin tanımlaması, vb) kapsayacak Şekil 1 ve Şekil 2'de detayları görülen gereksinim ve görevlerin artırımlı olarak geliştirilmesi için aşağıdaki listedeki 9 tane senaryo alanı belirlenmiştir.

Senaryo Listesi
1. Sınır Güvenlik Senaryoları
1.1. Sınırı İhlal Eden Mülteci ve Kaçakçı Senaryosu
1.2. Atlı Silahlı Kaçakçı Senaryosu
1.3. Hasım Ülkeden Kaçan Toplu Mülteci Senaryosu
1.4. Nehir Sınır Güvenliği Senaryosu
1.5. Deniz Sınır Güvenliği Senaryosu
2. Klasik Harp Senaryoları
2.1. Piyade-Tank Birlik Harekâtı Senaryosu
2.2. Bölge Etkili Atış Desteği (Topçu, ÇNRA) Harekâtı Senaryosu
2.3. Hava Savunma (Uçak ve Helikopter Desteği) Harekâtı Senaryosu
2.4. İstihkâm (Mayın) Harekâtı Senaryosu

Senaryo Numarası	Fonksiyonlar																																		
	Sınır Güvenlik Görevleri																									Kara Harp Görevleri									
	Kara Görevleri														Nehir Görevi					Deniz Sınır Görevleri						Taarruz/Savunma									
	Sınır Güvenlik Kuvvetleri (Karakol)	Mülteci Sınır İhlali (Düşman-> Dost)	Kaçakçı Sınır İhlali (Çift Taraflı)	Zırhlı Taşıma aracı	İz Tarlası/Tel Çit	Atlı Devriye Timi/Atlı birimler	Radar Üniteleri	Bomba-Patlayıcı kullanımı	Hayvanlar	Köprüler	Helikopter/Uçak	İndirme Bindirme	Havan Topu	Taşınabilir-Kurulabilir Ekipman	Hücum Botları (Zodiac)	Devriye Botları	Bindirme/Boarding Görevleri	Sığ su	Mülteci/Kaçakçı Tekneleri	Deniz Araçları	Deniz Radarı ve Sensörleri	Yük Gemisi	Yolcu Gemisi	Telsiz iletişimi	Karantina/Hasta Nakli	Piyade	Mknz.Piyade	Tank	Top/Obüs	Obüs	Düşman Askeri	ÇNRA	İkmal	Mayın	Uçak/Helikopter Taarruzu
1	x	x			x				x																										
2	x			x	x	x			x			x																							
3	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																					
4	x	x	x	x			x	x	x			x	x		x	x		x	x																
5	x			x			x	x							x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
6				x			x			x																x	x	x							
7				x			x	x		x			x	x												x	x	x	x	x	x	x		x	
8				x			x	x		x	x	x	x	x												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9				x			x	x			x	x	x	x	x	x	x	x								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Şekil 1. Senaryo-Ana Görev Grupları Eşleştirme Tablosu

YGS_NI	TAKSİM_YGS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
YGS_853	Ormanlardaki harekat, toplamda 200-300 tek tek yerleştirilmiş ağaçtan oluşan bir bölgede gerçekleştirilecektir.					X				
YGS_854	Arazi üzerinde belirlenen iki noktanın birbirini (LOS tabanlı) göz ile görünebilirliği gösterilecektir.									X
YGS_976	Gece ışıldak kullanılabilecektir.									
YGS_975	Mühimmatlar bitebilecektir.								X	X
YGS_974	Tüfek bombaları atılabilecektir.					X				
YGS_973	El bombası atılabilecektir.				X					
YGS_964	Sembolojiler tanımlanabilecektir.				X					X
YGS_963	Gözetleme kulesi modellenecektir.									
YGS_962	Tahta rampa (yüksek araçlara binilmesi için) modellenecektir.		X							
YGS_961	İz tarlası modellenecektir.		X							
YGS_960	Tel engel geçidi modellenecektir.		X							
YGS_959	Tel engel modellenecektir.		X							
YGS_958	Tel çit modellenecektir. Yerden 50-60 cm yükseklikte duran tel çit aşağıdaki gibi modellenecektir.		X							
YGS_957	Tel örgü modellenecektir.			X						
YGS_956	Sınır hattındaki tel örgüler 500 metrelik alarm bölgelerinden oluşacaktır.		X	X						
YGS_955	Sınır hattı modellenecektir.	X	X							

Şekil 2. Gereksinim-Senaryo Eşleştirme Tablosu

Senaryoların akışının ve anlaşılabilirliğinin artırılması maksadıyla öncelikle kısa senaryolar yazılmış, müşteri ve son kullanıcı ile paylaşılarak görüşleri alınmıştır. Müteakiben müşteri/son kullanıcı, geliştiriciler ile test personelinin gereksinimleri kolay anlamalarını sağlayarak hata sayılarını azaltmak maksadıyla ayrıntılı senaryolar ve film şeritleri (storyboard) hazırlanmıştır [5] [6].

Her bir senaryo için bir aylık bir geliştirme süresi belirlenmiştir. Yazılımın iki haftalık döngülerle geliştirilmesi ve sürüm verilerek test personeli tarafından testinin yapılması planlanmıştır. Test personeli tarafından senaryolara ve gereksinimlere göre tespit edip, kayıt altına aldıkları hatalarında bir sonraki döngü planlamasına dâhil edilerek çözülmesi planlanmıştır.

Bu konuların yapılabilmesi maksadıyla senaryo çalışma grubu, altyapı çalışma grubu, dokunmatik masa ve arayüz geliştirme grupları oluşturulmuştur. Altyapı grubu; temsili ortamın görselleştirilmesi, nesnelerin arazi (su dâhil) üzerindeki engellerden kaçınmaları, yol bulmaları, ilerlemeleri ve nesnelerin arazi ile etkileşim algoritmalarının geliştirilmesi, vb. temel çalışmaları yaparak diğer çalışma gruplarının hızlı geliştirme yapmasını sağlamıştır. Senaryo grubu; hazırlanan senaryolara göre gereksinimlerin ve görevlerinin geliştirilmesini yapmıştır. Dokunmatik masa ve arayüz geliştirme grubu; yazılımın kullanıcılar tarafından çoklu dokunmatik ekranlardan kolay ve hızlı bir şekilde oynanabilmesi için gerekli modülleri ve dokunmatik arayüzleri geliştirmiştir.

Günlük, haftalık değerlendirme toplantıları yapılarak yapılan çalışmalar yakından takip edilmiş, oluşabileceği değerlendirilen riskler ve hatalar için ön alınmıştır. Her bir döngünün sonunda değerlendirme toplantısı yapılarak bir sonraki döngünün planları ve detaylı senaryolar güncellenmiştir.

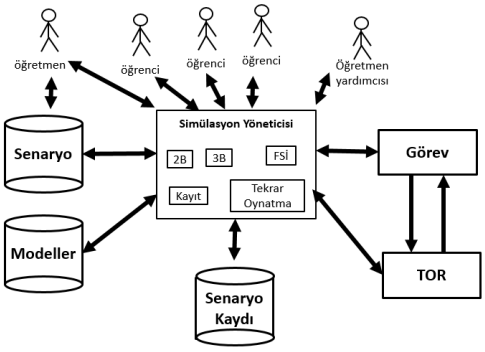
Yazılım geliştirme sürecinde çevik yazılım geliştirme sürecinin kullanılması projenin yönetilebilir birbirinden bağımsız alt projelere bölünerek karmaşıklığı azaltırken, geliştirme sonuçlarının erken görülmesi sayesinde geri bildirimler yapılmasıyla

değişiklik gerektiren durumlara mümkün olan en kısa sürelerde reaksiyon gösterilmesini sağlamış ve risklerimizi azaltmıştır. Altyapı, grafik arayüzlerin geliştirilmesi ve senaryo geliştirme gruplarının istekleinin önceliklendirilmesi, uydurulması testler sonucunda ortaya hataların çoğalmasına ve yönetilebilir olmasında zorluklar ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu sürecin daha kolay yönetilmesinde takımlar ve geliştiriciler arasında uyum çalışmaların hızlanmasını sağlamıştır.

Senaryo tabanlı çevik yazılım geliştirme, sistemlerin anlaşılmasında, tasarlanmasında ve geliştirilmesinde en önemli araçlardan bir tanesidir. Senaryolar, sistemlerin ve yazılımın istenen kalite özelliklerine uygunluğu konusunda bilgi alınması ve mimarinin oluşturulmasında önemli bir araç olmuştur.

3. TAKSİM YAZILIM VE DONANIM MİMARİSİ

TAKSİM, operasyonel görev eğitimi için gerçekleşmesi muhtemel durum senaryolarının hazırlanabildiği, askeri personelin eğitilebildiği, genişleyebilir, ölçeklenebilir ve oyun teknolojileri kullanılarak geliştirilmiş, kullanmak ve konfigüre etmek için ilave geliştirme çabası gerektirmeyen Şekil 3'teki şekilde bir mimariye sahiptir. Kara, nehir ve deniz sınır güvenlik görevleri ile Kara Kuvvetleri Komutanlığının görevlerini destekleyen helikopter ve uçak savaşını içeren klasik harp görevlerinin sanal (sentetik) ortamda sayısız senaryo ve seçilebilen arazi seçenekleriyle yapılmasını sağlar.



Şekil 3. TAKSİM İşletme Mimarisi

TAKSİM sanal ortamda modeller yaratılması, mevcut arazi verilerini kullanarak yeni arazi yapıları oluşturulması, senaryo oluşturulması için sınır güvenlik ve klasik harp birliklerine ve sistemlerine mevcut ve gelecekteki güvenlik durumlarını da dikkate alarak eğitimler yapılabilmesinde kullanılacak teknik ve taktiklerin modellenebilmesi için geniş ve kapsamlı bir kütüphane sağlamaktadır.

TAKSİM, simülasyon senaryolarının oluşturulması ve koşturulması için grafik arayüz ile Unity 3D simülasyon motorunu kapsayan iki ana bölümden oluşmaktadır. 3 boyutlu oyun olarak görselleştirilmesi, sezgisel ve durum farkındalığı yaratan bir ortam oluşturur. Kullanıcı oyun arazisi üzerinde çok hızlı bir şekilde gezinebilir.

Bu maksatla TAKSİM'deki nesneler,

- Sınır güvenlik görevlerinde bireysel veya grup/birlik seviyesinde akıllı/yarı akıllı olarak,

- Klasik harp görevlerinde grup/birlik seviyesinde yarı akıllı olarak hareket ve görev yapabilmektedir.

TAKSİM çok çeşitli kara, hava, deniz araçları/silahları ile yaya piyade, kaçakçı ve mülteci, topçu, istihkâm, hava savunma, kara havacılık birlikleri (genel maksat ve taarruz helikopter), taarruzi uçak filoları, kara, nehir ve deniz karakollarının modellenebilmesine imkân sağlamaktadır. Modellenen nesneler, sistemlerde performans sağlayacak, daha gerçekçi modelleme yapılabilmesi, yeni silahların ve araçların eğitimdeki etkilerinin görülebilmesi, değerlendirmeler yapılabilmesi için çok geniş kapsamlı bir parametre setine sahiptir. Simülasyondaki nesneler sanal ortamla (arazi, vb.) etkileşebilmekte, temel kinematik durum bilgisini (pozisyon, hız, vb.) barındırmakta, kullanılan ve tüketilen (yakıt, mühimmat, can, vb.) kaynakları kaynak yöneticisi ile takip etmekte, algılama cihaz ve sistem (göz, dürbün, radar, vb.) listelerine aracılığıyla kontroller yaparak nesnelerin harekete geçmesini sağlamakta, bu nesneleri askeri teşkilat içindeki birliklere kullandırılabilme imkânı sunmaktadır.

Simülasyondaki etmenler seçilen bir güzergahın kontrol noktaları arasında akıllı olarak, hesaplamalar yaparak ve engellerden kaçınarak ilerleyebilmekte, kaçakçıların ve mültecilerin üzerlerinin aranması dâhil karmaşık görevler modellenebilmektedir. TAKSİM manga seviyesinden tabur görev kuvveti (tim, manga, takım, bölük, Tb., vb.) seviyesine kadar olan birliklerin harekât görevlerinin modellenmesi ve senaryolar hazırlanabilmesine imkân sağlamaktadır.

TAKSİM'de kullanıcı, hazırlayacağı eğitim senaryosunda önce kullanacağı varlık tiplerini, platformları ve birlikleri tanımlayacaktır veya daha önce tanımlanmış olanları da kullanabilecektir. Taktik durumun oynanacağı harekat bölgesini belirleyecek, doğal (insan yapımı olmayan) ve insan yapısı olan nesneleri seçilen arazi üzerine ekleyerek temsili ortamı tanımlayacaktır.

Temsili ortam tanımlandıktan sonra taktik durumun oynanacağı atmosfer koşulları, harekâtın başlama-bitiş tarih ve saatini, harekât bölgesindeki askeri yapay nesneleri ve görev (harekât) planını tanımlayarak kaydedecektir.

Simülasyonda kullanılacak varlıklar tanımlandıktan ve simülasyonun koşturulacağı arazi belirlendikten sonra taktik durum senaryosu hazırlanabilmektedir. Simülasyon koşturulmadan önce simülasyon kayıt ve koşumu ile ilgili ayarlamalar yapılacaktır. Taktik oyunun koşturulması tamamlandıktan sonra öğretmen/ kullanıcı kaydedilen simülasyonu seçtiği hızda yeniden izleyebilmekte ve önceden tanımlanmış rapor şablonları kullanılarak simülasyon koşumuna ait raporlar alınarak öğrenciler değerlendirilebilmektedir.

Her bir eğitilen personelin, takımın ve karakolun muharebedeki veya çatışma alanındaki bilgi seviyesinin, meydana gelen olaylara karşı tedbir alma becerilerinin, takım çalışmasının, karar verme becerilerinin değerlendirilebilmesi ve geliştirilebilmesi için esnek bir ölçme ve değerlendirme aracına sahiptir.

TAKSİM, komutanların ve eğitilen personelin eksik ve zayıf taraflarını geliştirebilmeleri çin geleneksel eğitim metotlarındaki tecrübenin sağlanabilmesi maksadıyla ihtiyaç duyulan zamanın kısaltılması, maliyetlerin düşürülmesi ve eğitim etkinliğinin artırılması için daha sık sanal tatbikat ve eğitim yapma imkânı sunar.

3.1. Modeller

TAKSİM'de kullanılacak ve tanımlanacak modeller aşağıda sunulmuştur.

Nesne Muharebe Modeli: Simülasyon içinde tanımlanan temel nesnelerin silahları vardır. Örnek olarak küçük çaplı silahlar, ana silahlar (tank topu, vb.), roket/roketatar silahları, mühimmatlar ve el bombaları sayılabilir. Eğitilen askerler karşıt kuvvete (düşmana) karşı hangi tip mühimmatı kullanacağını seçebilmektedir. Hasar ise doğrudan vuruşlar ve görmeyerek atış silahları tarafından oluşturulmaktadır.

Hareket Modeli: Arazi ve çevre özelliklerini dikkate almaktadır. Fiziksel nesneler çevre ile nasıl etkileşime gireceğini ve hareketlerini o ortamdan nasıl etkileneceğini anlayabilmektedirler. TAKSİM'deki araçlar ve insanlar arazi ve platformlarla etkileşebilmekte, arazi üzerinde akıllı olarak ilerleyebilmekte, engellerden kaçınmakta, yolları takip ederek ilerleyebilmektedir. Hareket modeli, modellerin simülasyon dünyasında araziyi, çevreyi ve nesnelerin yeteneklerini dikkate alarak nasıl ilerleyeceklerini belirlemektedir.

Sensör/Algı Modeli: Görsel ve radar tabanlı algılama cihazları modellenmiştir. Simülasyondaki algı cihazları (göz dahil) tarafından algılanan nesneler simülasyon dünyasında görünür olmaktadır. Radarlar tarafından algılanan nesnelerin altında halka şeklinde işaretle görsellenerek kullanıcıya sunulmaktadır.

Çevre-Hava Durumu Modeli: Hava (sis, bulut, yağmur, kar yağışı) durumu gerçek dünyada olduğu gibi nesnelerin görünürlüğünü etkilemektedir. Rüzgâr ise silahların isabetli vuruş olasılığını etkilemektedir.

Muhabere Modellemesi: Muhabere sistemleri nesnelerin ve birliklerin birbirleriyle irtibatı olması seviyesinde modellenmiştir. Sadece birbiriyle irtibatı modellenen nesneler mesajlaşabilmekte veya rapor gönderebilmektedir.

Arazi Modellemesi ve Nesnelerle Etkileşimi: Arazinin 3 boyutlu olarak, yükseklik verisi ve görsellenmesi 8 detay seviyesinde yapılmaktadır. 50x50 km.lik alanda harekât planlama ve oynama imkânı sunmaktadır. Seçilen arazi üzerinde doğal (nehirler, ormanlar, göl, vb.), insan yapımı (karakollar, yerleşim yerleri, yollar, tel çitler, iz tarlaları, hendek, araç engelleri, mevziler, vb.) varlıklar 3 boyutlu olarak, çizgisel ve alansal varlıklar (kıta sahanlığı, devlet

sınırı, sorumluluk alanları, kontrol hatları, mayın tarlası, vb) 2 boyutlu çizgisel/alansal varlıklar olarak görsellenmekte ve simülasyonda akıllı unsurlarla etkileşerek, onların davranışlarını etkilemektedir.

Muharebe Hasar Modellemesi: Görerek ve görmeyerek atış yapan silahlar modellenmiştir. Vuruş olasılığı hedefe olan mesafe, ortam şartları, kullanılan mühimmatın sapma değeri parametresi ve silahın üzerindeki algı cihazları (dürbün, vb.) kullanılarak olasılıksal olarak hesaplanır. Roket ve görmeyerek atış yapan silahların (top, obüs, havan, vb.) vuruş ve hasarının modellemesinde namlu çıkış hızı, rüzgar, vb. parametreler hesaba katılarak hedefi vuruş olasılığı hesaplandıktan sonra mühimmatın vurma noktasında etki çapındaki her bir hedef için mühimmatın paralanmasından sonra olasılıksal bir parça tesiri hesaplanır. Sonra ölümcül veya hasar seviyesi olarak hedeflerdeki hasar oranı hesaplanır ve nesnelerin hasar/can oranları güncellenir.

Yapay Zeka Modellemesi: TAKSİM'de platform nesneleri, yarı otonom bir şekilde hareket etmektedirler. Hazırlanan senaryo doğrultusunda platformlar komutları gerçekleştirmektedir. Yapay zekâ modülü komut modülü tarafından tetiklenmektedir. Davranış modülü simülasyon olaylarına ve ortam durumuna otonom olarak kararlarla etkileşerek tepki vermektedir. Yol bulma modülü en alt seviyede olup davranış modülü tarafından kullanılmakta ve tetiklenmektedir.

Zaman Yönetimi Modellemesi: Senaryo hazırlanırken senaryonun başlama-bitiş tarih ve saati ayarlanmakta ve gerçek zamanlı olarak ilerlemektedir. Öğretmen isterse senaryonun koşturma hızını artırıp, düşürebilmektedir.

3.2. Editörler

TAKSİM'deki hazırlık çalışmaları editörler aracılığıyla yapılmaktadır. Editörler ve kullanım maksatları aşağıda açıklanmıştır.

Varlık Tanımlama Editörü: Simülasyonda kullanılan veya senaryolarda kullanılması planlanan tüm varlıkların (algı cihazları, durağan varlıklar, iletişim cihazları, müdahale [silahlar dâhil] cihazları, mühimmatları ve platformları) tanımlanması, silinmesi, kopyasının oluşturulması ve daha önce tanımlı olanların bilgilerinin güncellemesi ile platformların (insan, tank, top, vb.) envanterinde (nesnelerin üzerinde bulundurulması planlanan silah, dürbün, el bombası gibi cihazlar/silahlar envanterine eklenir) tanımlanmış başka varlıkları ekleme işlemleri yapılmaktadır.

Temsili Ortam (Arazi) Tanımlama Editörü: Temsili ortam simülasyon nesnelerinin içinde yer aldığı uzayı çok yönlü ve geniş bir şekilde tanımlayarak 50x50 km^2 alanda 0.5m detayında uydu kaplama görüntüsü ile simülasyon arazisinin dörtlü ağaç (quad tree) yapısında 8 detay seviyesinde görsellenmesini sağlar. Simülasyon koşum zamanında davranış gösterecek olan bütün platform nesnelerine istenen bir koordinatın yüksekliği, bir platformun sensörüne yönelik görünürlük analizi, hava şartları, platformun üzerinde gezdiği zemin bilgisi gibi verileri sağlar veya dinamik olarak hesaplayarak kullandırır .Seçilen

temsili ortam arazisine gerçekte olan veya sanal olarak oluşturulması planlanan, veri deposundaki tanımlanmış modeller, doğal (göl, deniz, nehir, orman, ot, vb.) ve insan yapısı (karakollar, binalar, yollar, köprüler, tel çitler, kuleler, vb.) varlıklar yerleştirilerek harekat alanı tanımlanmaktadır.

Birlik Tanımlama Editörü: Simülasyonda, senaryolarda kullanılacak mavi ve kırmızı kuvvetlerin (kaçakçı, mülteci ve hayvanlarda dâhil) hiyerarşik bir yapı içerisinde varlık tanımlama editöründe tanımlanmış varlıklar ve platformlarla birlikte simülasyonda 2 boyutlu olarak görünmesi istenen sembolojileri de seçilerek tanımlanması yapılabilmektedir.

İlerleme Düzeni (Formasyon) Tanımlama Editörü: Kullanıcı tarafından hızlı olarak birden fazla askere, birliğe veya senaryodaki canlılara belli bir düzende (birbirlerine göre yön ve mesafelerin tanımlandığı) araziye yerleşmelerini veya ilerlemelerini sağlayabilmek maksadıyla birlik seviyesine (manga, takım, bölük, vb.) göre ilerleme düzenleri tanımlanabilmektedir.

Taktik Kroki ve Animasyon Hazırlama Editörü: Öğretmenlerin harekatın planlamasını yapabilmesi ve simülasyon öncesinde brifing veya kısa bilgilendirmede planların daha kolay anlaşılmasını sağlamak maksadıyla askeri sembolojiler kullanarak çizim yapılabilmekte ve silah, araç, birlik sembolojilerini kullanarak harekatın 2 boyutlu animasyonu yapılabilmesini sağlayan bir araçtır.

Senaryo Tanımlama Editörü: Eğitim verilmesi planlanan tanımlanmış temsili ortamının seçilerek, birlikler aralarındaki iletişim (telli, telsiz) ağının tanımlanmasını ve birliklerin, silahların, araçların arazi üzerindeki ilk konumlarına yerleştirilmesini sağlar. Senaryodaki hava durumu, harekâtın (senaryonun) başlangıç-bitiş tarih ve saati belirlenebilmekte, senaryoda en çok kullanılması düşünülen komutlardan oluşan hızlı komut menüsü ile senaryo zamanına bağlı olarak çalışması planlanan olaylar (hava durumu, patlama olayları, belirlenen birliklerin ilerlemeleri, anlık varlık yaratılması/yok edilmesi) tanımlanabilmektedir.

3.3. Senaryo koşturma

Öğretmen ekranından senaryo koşturma modülü kullanılarak, sınıftaki sistemin çalışma konfigürasyonu (çalışma grubu öğretmen yardımcısına karşı, çalışma grubu çalışma grubuna karşı, tüm çalışma grupları öğretmen yardımcılarına karşı veya birden fazla sınıf varsa oda-odaya karşı) belirlenir. Sonra kırmızı ve maviyi oynayacak gruplar/öğretmen yardımcıları seçildikten sonra, oynanması planlanan senaryolar gruplara atanarak, raporlama parametreleri ve simülayonun ekran kaydının alınıp-alınmayacağı seçildikten sonra oyun başlatılabilmektedir. Öğretmen mavi ve kırmızı unsurları kendi ekranından takip edebilmekte, senaryoyu istediği anda durdurarak eğitilenlere bilgilendirme yapabilmekte veya senaryo koşumunu hızlandırıp-yavaşlatabilmektedir.

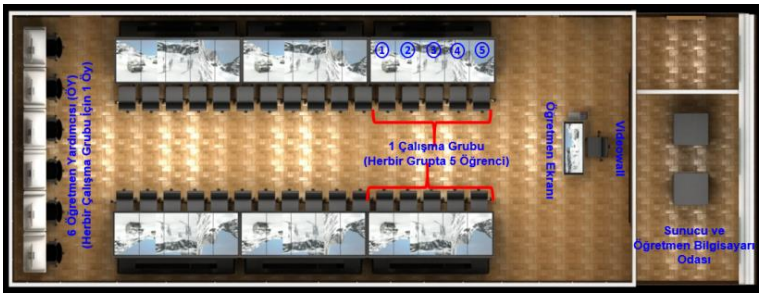
3.4. Ölçme değerlendirme

Video Oynatma: Öğretmen; senaryo koşturmaya başlarken ekran kaydı alınması işaretlemişse veya daha önce ekran kaydı alınan oyunlardan istediğini videowall'da göstererek yapılan kararların değerlendirmesini ve geri beslemelerini yapabilmektedir.

Raporlama: Öğretmen; çalışma gruplarının grup olarak değerlendirmesini yapabilmek maksadıyla senaryo koşturmaya başlarken işaretlenen rapor parametrelerin görselleme şablonunu seçerek Microsoft word, excell ve pdf formatında çıktısını alabilmektedir.

3.5. Donanım Mimarisi

TAKSİM'de hazırlanan senaryolar birbirinin aynı çalışma grupları oluşturularak aynı network ortamını kullanarak birçok bilgisayarda çalıştırılabilmektedir. Eğitmenlerin ve eğitilenlerin hızlı, esnek komut girişini ve büyük bir harekât alanını gözlemlemesini sağlamak maksadıyla büyük dokunmatik ekranlar kullanılmıştır. Bu maksatla kullanıcı arayüzleri ve menüleri grafik resim ve açıklayıcı metinlerden oluşmaktadır. Bir çalışma grubu simülasyonun koşturulacağı bir sunucu bilgisayar, bir öğretmen bilgisayarı, mavi ve kırmızı kuvvetleri oynayacak öğrenci bilgisayarı ile simülasyonun tüm eğiticiler tarafından takip edilebilmesi ve faaliyet sonu incelemesi yapılabilmesi maksadıyla bir videowall'dan oluşur. Bir simülasyon odasının yerleşimi Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Bir Simülasyon Odası Yerleşimi ve Mimarisi

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sonuç olarak; muharebedeki veya çatışma alanındaki askeri personelin bilgi seviyesinin, meydana gelen olaylara karşı tedbir alma becerilerinin, takım çalışmasının, karar verme becerilerinin değerlendirilebilmesi ve geliştirilebilmesini sağlamak maksadıyla ciddi oyun teknolojileri kullanarak, mümkün olduğu kadar gerçekçi, ölçülebilir, tekrarlanabilir, gözlemlenebilir sonuçlar üretilmesini sağlayan ve gerçek dünya olaylarını yansıtacak/benzetecek şekilde geliştirilmesinde başarılı bir şekilde uygulanan **senaryo tabanlı çevik simülasyon yazılım altyapısınından** ve ve sahip olduğu özelliklerden bahsedilmiştir.

TAKSİM ile öğretmenler kendi eğitim ihtiyaçlarını karşılayacak, araziye çıkmadan, karşısında gerçek düşmanlar olmadan savaşlarda karşılaşılabileceği durumları modelleyerek savaş stratejilerini, taktiklerini öğretebilmek ve doğru olarak

uygulatabilmek maksadıyla ölçülebilir, tekrarlanabilir, gözlemlenebilir sonuçlar üretilmesini sağlayan ve gerçek dünya olaylarını ve belirsizliklerini benzetecek senaryolar hazırlayabilmektedir veya daha önce hazırlananları hızlı bir şekilde güncelleyebilmektedir. Bu özellikler eğitilenlere simülasyondaki sanal dünyadan dışarıdaki gerçek dünyaya bilgi aktarılmasını sağlayacak önemli bir araçtır. TAKSİM, nasıl düşünüleceğini, iletişim kurulacağını ve karar verileceğini öğretmek için uygun bir araçtır.

Son yıllarda sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamaları tüm yaşam alanlarımıza girmeye başlamıştır. Arazide gerçek tatbikat yapan askerle, sanal ortamda savaşan askerleri ve artırılmış gerçeklik donanımlarıyla aynı oyun ortamını anlaşılmayacak şekilde paylaştırmak TAKSİM'i bir adım daha ileriye götürecektir.

Unutmamak gerektir ki, savaşlara rağmen, ebedi barışa susayan dünyamızda, barışın kazanılıp veya kaybedilmesi eğitimcilerin askerler üzerindeki etkisine, kabul edilen eğitim hedeflerinin gerçekleşmesine bağlı olacaktır. Çünkü gelecekte savaş cephelerde değil insan beyinlerinde ve sınıflarda kazanılacak veya kaybedilecektir.

5. KAYNAKÇA

[1] Smith, R.D. (2009), "Serious games for education and training".

[2] Alexander, I., Maiden, M., Haumer, P., *"Use Case-Based Software Development*", Scenerio Plus, Scenerarios, Part 2, HTML web page, http://haumer.net/paper/UC-Based_Software_Development.pdf.

[3] Robert, I., Cynthia, T., "*OneSAF: A Product Line Approach to Simulation Development*", HTML web page, http://www.mitre.org/sites/default/files/pdf/wittman_one_saf.pdf.

[4] Usart, M., Romero, M. (2014), "*Player-specific conflict handling ontology*", International Journal of Serious Games, Vol.1, No 3.

[5] De Gloria, A., Bellotti, F., Berta, R., Lavagnino, E. (2014), "*Serious games for education and training*", International Journal of Serious Games, Vol.1, No 1.

[6] Usart, M., Romero, M. (2014), "*Individual and collaborative performance and level of certainty in MetaVals*", International Journal of Serious Games, Vol.1, No 1.

ARACA MONTELİ İLERİ BAKAN YERE NÜFUZ EDEN RADAR SİSTEMLERİNİN ZUSF YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

M. Burak Özakın[(a)], Serkan Aksoy [(a)],

A. Serdar Türk [(b)] , M. Dağcan Şentürk [(b)]

(a) Gebze Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü

bozakin@gtu.edu.tr, saksoy@gtu.edu.tr

(b) Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

asturk@yildiz.edu.tr, msen@yildiz.edu.tr

ÖZ

Toprakta gömülü cisimlerin tespit ve teşhisi için Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) sistemleri sivil ve askeri alanlarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Gömülü patlayıcıların klasik YNR'lere (anteni toprağa dik) göre menzilde daha erken tespit ve teşhisinin yapılabilmesi için bu sistemler araca ileri bakacak şekilde monte edilmektedir. YNR'lerde tespit ve teşhis performansı kullanılan antenle ilişkili olduğundan, farklı antenler için sistemin elektromanyetik modellenmesi önemlidir. İleri Bakan YNR (İB-YNR) probleminde gerek kaynakların geniş bandlı olması ve gerekse anten ve cisimlerin karmaşık geometrileri nedeniyle analitik çözümler çoğu kez mümkün değildir. Bu nedenle sayısal yöntemler kullanılır. Bu çalışmada, araca monteli bir İB-YNR sistemi için tasarlanan çok geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenleri için sistemin tespit başarımı sayısal bir yöntem olan üç boyutlu Zaman Uzayı Sonlu Farklar, ZUSF (Finite Difference Time Domain, FDTD) yöntemi ile araştırılmıştır. Problem uzayında verici/alıcı anten, toprak ve toprakta gömülü iletken bir küp cisim bulunmaktadır. İB-YNR problemi açık uzay problemi olduğundan problem uzayı soğurucu sınır koşulu (PML) ile sonlandırılmıştır. Antenlerin hava-toprak ara yüzüne göre üç farklı açıda (düşük, orta (Brewster) ve yüksek) yerleştirilmesi durumunda, yatay eksende konumsal saçılan alanların hesaplanması ile sistemin tespit başarımı incelenmiştir. Buna göre Brewster açısında antenlerin kullanımı ile menzilde daha erken tespit yapabildiği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araca Monteli Yere Nüfuz Eden Radar, Çok Geniş Bandlı Anten, Erken Tespit Sistemleri, Gömülü Patlayıcılar, Zaman Uzayı Sonlu Farklar Yöntemi.

VEHICLE MOUNTED FORWARD LOOKING GROUND PENETRATING RADAR SYSTEMS MODELLING BY USING FDTD METHOD

ABSTRACT

Ground Penetrating Radar (GPR) systems are frequently used in the civilian and military applications for detection and discrimination of buried objects. Unlike classical GPR systems whose antennas are normal to the ground, these systems are mounted on the vehicle like forward looking form for early detection of buried explosives. Because detection and discrimination performance of GPR depend on its antennas, electromagnetic modeling of the system for different antennas is quite important. Analytical solutions are mostly impossible for Forward Looking GPR (FL-GPR) problem because of wide-band sources and complex shaped geometry of antennas/objects. For this reason, numerical methods are used. In this work, detection performance of the vehicle mounted FL-GPR system is investigated by a numerical method of three-dimensional Finite Difference Time Domain (FDTD) for wide-band Horn, Vivaldi and Horn-fed Reflector antennas. Receiver/transmitter antenna, soil and a buried cubic conductive object are included within the problem space. The numerical problem space is terminated by a PML type absorbing boundary condition because the FL-GPR problem is an open-space problem. Detection performance of the system is investigated by calculation of scattered field range distribution along a horizontal axis for three different angles (low, medium (Brewster angle), and high) of antennas which are located at air-soil interface. Accordingly, the Brewster angle shows better performance for early detection.

Keywords: Buried Explosives, Early Detection Systems, Finite Difference Time Domain Method, Vehicle Mounted Forward Looking Ground Penetrating Radar, Wide-Band Antenna.

1 GİRİŞ

Toprak altı yapısının araştırılması ve gömülü cisimlerin tespiti yoğun araştırılan konulardır. Bu amaç için kullanılan Yere Nüfuz Eden Radar, YNR (Ground Penetrating Radar, GPR) sistemleri elektromanyetik sistemler olup, bu sistemlerin gelişimi geniş çapta mühendislik ve bilimsel araştırmalar gerektirmektedir. Elektromanyetik dalgaların kayıplı ortamlarda yayılması, anten teknolojisi, radar sistem tasarımı ve işaret/görüntü işleme konuları bunların başlıcalarıdır. YNR teknolojisinde donanım özellikleri hedefin türüne, yapısına ve gömülü bulunduğu ortama göre optimize edilmelidir [1].

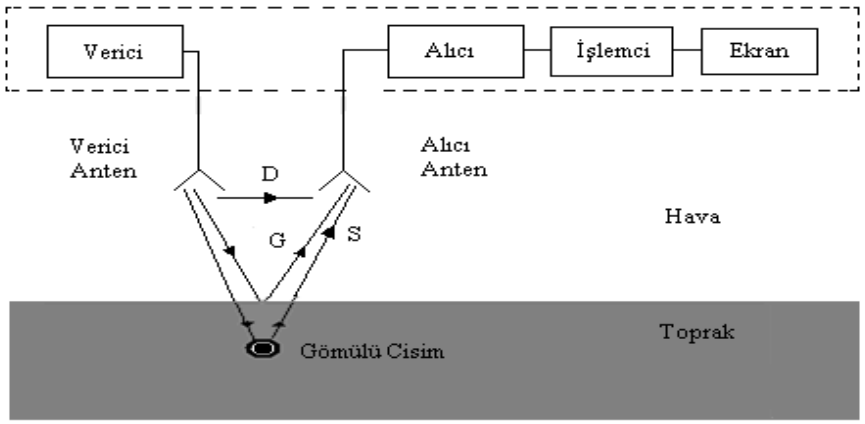
Günümüzde YNR sistemleri sivil ve askeri olmak üzere bina/yapı tahribatsız testi, yol/tünel kalite değerlendirmesi, yer altı boşluk, boru, kablolar ve kara mayınlarının tespiti vb. geniş uygulama alanı bulmuştur. YNR sistemleri insanlı/insansız bir araca monte edilerek antenin ileriye bakacak şekilde konumlandırılması ile, menzilde erken tespit ve teşhis araştırmaları yapılmış ve bu sistemler İleri Bakan YNR, İB-YNR (Forward-Looking GPR, FL-GPR) olarak isimlendirilmiştir. İB-YNR sistemlerinin geliştirilmesi için yapılan prototipler ve bunların testleri ekonomik olarak maliyetli ve zaman alıcıdır. Ayrıca farklı senaryoların uygulanması için test ortamının oluşturulması zor ve sıkıntılı olduğundan modelleme ve simülasyon çalışmaları kritik önem taşımaktadır.

İB-YNR probleminde gerek kaynakların geniş bandlı olması ve gerekse anten ve cisimlerin karmaşık geometrileri nedeni ile analitik çözümler son derece zor veya mümkün değildir. Bu nedenle sayısal çözümler öne çıkmaktadır. Bu kapsamda Zaman Uzayı Sonlu Farklar, ZUSF (Finite Difference Time Domain, FDTD) yöntemi çözüm için yoğun olarak kullanılmaktadır [2]. Bu yöntemin kullanılmasında İB-YNR problemi bir açık uzay (open space) problemi olduğundan, sayısal problem uzayının Soğurucu Sınır Koşulu (Absorbing Boundary Condition) ile sonlandırılması gereklidir. Böylece açık uzay şartları benzetim ortamında sağlanmış olmaktadır [3].

Bu çalışmada araca monteli bir İB-YNR sistemi için tasarlanan üç farklı ve çok geniş bandlı (Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör) antenin tespit başarımı analizi üç boyutlu ZUSF yöntemi tabanlı XFDTD yazılım paketi kullanılarak incelenmiştir [4]. Antenlerin hava-toprak ara yüzüne göre göre üç farklı açıda (düşük, orta (Brewster) ve yüksek) yerleştirilmesi durumunda, yatay eksende konumsal saçılan alan dağılımının hesaplanması ile sistemin erken tespit başarımı incelenmiştir.

2 YERE NÜFUZ EDEN RADAR

YNR sistemleri elektromanyetik dalgaların farklı ortamlarla etkileşimi prensibine dayanmaktadır. Farklı elektriksel ortamlarla karşılaşan elektromanyetik dalgaların enerjisinin bir kısmı söz konusu ortama belli bir açıyla nüfuz eder, geri kalan kısmı da yansıyarak geri döner. Yansıyarak geri dönen işaret bize farklı bir katmanın/cismin varlığını gösterir. Ortamın elektromanyetik parametreleri saçılmanın oluşmasında önemli rol oynar. Şekil 1'de temel bir YNR sitemi blok şeması ve yayılım ortamı gösterilmiştir.



Şekil 1. Temel bir YNR sistemi blok şeması ve yayılım ortamı.

Şekil 1'e göre D vericiden alıcıya doğrudan iletilen işareti, G hava-toprak arayüzünden geri yansıyarak alıcıya ulaşan işareti, S ise gömülü cisimden saçılan işareti gösterir.

YNR sistemlerinin başarılı olması için tasarım aşamasında İşaret/Gürültü oranı, Hedefin yatay çözünürlüğü, Derinlik çözünürlüğü vb. parametreler öngörülmelidir. Bunlarla birlikte menzil, havadan toprağa geçiş kaybı, topraktan havaya geçiş kaybı, yayılım kaybı, hedef saçılma kaybı, ortam zayıflama kaybı, parazitler vb. ek parametrelerin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bahsedilenler kapsamında YNR probleminin benzetimi Maxwell denklemlerinin verilen başlangıç ve sınır koşulları altında çözümünden ibarettir. Bu denklemlerin çözümü kanonik geometriler için analitik olarak elde edilebilmekle beraber, karmaşık geometriler ve farklı ortam parametreleri için zor olduğundan, sayısal (nümerik) olarak elde edilir. Bu amaçla geliştirilen yöntemlerden bazıları Sonlu Farklar yöntemi, Sonlu Elemanlar yöntemi ve Momentler yöntemidir. Özel olarak YNR sistemlerinin benzetimi için geniş bandlı çözümlere ihtiyaç duyulacağından, zaman uzayı çözümleri önem kazanmaktadır. Bunlardan biri olan ZUSF çözümleri tam dalga (full wave) çözüm sağladığından, yukarıda bahsedilen tüm etkileri çözümünde barındırmaktadır [3].

3 ZAMAN UZAYI SONLU FARKLAR YÖNTEMİ

Zaman Uzayı Sonlu Farklar, ZUSF (Finite Difference Time Domain, FDTD) yöntemi elektromanyetik problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. ZUSF toprağın katmanlı ve heterojen modellenmesi ile birlikte, toprak katmanlarının elektromanyetik parametrelerinin benzetim senaryolarına göre değiştirilebilmesine ve geniş bandlı kaynakların uygulanmasına imkân sağlayan bir yöntem olduğundan, gerçekçi YNR benzetimlerinde sık tercih edilmektedir [2], [3].

3.1 Maxwell Denklemleri ve ZUSF Yöntemi

ZUSF yöntemi temelde analitik türevlerin ve bilinmeyen alanların zaman ve konumda ayrıklaştırılarak zamanda en ileride olanın önceki zamanda yer alan alanlardan iteratif olarak hesaplanması mantığına dayanır. Örneğin ikinci Maxwell denklemi için

$$\nabla \times \boldsymbol{H}(\boldsymbol{r},t) = \frac{\partial}{\partial t}\boldsymbol{D}(\boldsymbol{r},t) + \boldsymbol{J}(\boldsymbol{r},t) \tag{1}$$

ifadesinde zamana ve konuma bağlı türev ve alanlar ayrıklaştırılarak bir Yee hücresine yerleştirilir. Konum ve zaman türevleri sonlu merkezi farklar ile alınarak

$$E_x\big|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+1} = \frac{\Delta t}{\varepsilon}\left[\frac{H_z\big|_{i+\frac{1}{2},j+1,k}^{n+\frac{1}{2}} - H_z\big|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y} - \frac{H_y\big|_{i+\frac{1}{2},j,k+1}^{n+\frac{1}{2}} - H_y\big|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z} - J_x\big|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n+\frac{1}{2}}\right] + E_x\big|_{i+\frac{1}{2},j,k}^{n} \tag{2}$$

şeklinde güncelleme denklemi elde edilir. Burada Δt birim zaman adımı, Δy ve Δz ayrıklaştırılmış uzayın sırasıyla y ve z ekseni yönündeki birim hücre uzunluklarıdır. Buradan, zamanda en ileride olan alan üzerinden ve her bir bileşen için ZUSF güncelleme denklemi elde edilmiş olur. Yukarıda elde edilen denkleme benzer olarak diğer alan bileşenleri için de güncelleme denklemleri elde edilebilir [3].

3.2 Sayısal Kararlılık

Sınırlı Giriş için Sınırlı Çıkış anlamına gelen sayısal kararlılık kapsamında ZUSF yönteminin kararlılığı

$$\Delta t \leq \frac{1}{c}\left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2}\right]^{-\frac{1}{2}} \tag{3}$$

olmak üzere Courant–Friedrich–Levy kararlılık koşuluna bağlıdır. Burada c elektromanyetik dalganın yayılım hızını gösterir.

4 İB-YNR SİSTEMLERİNİN ZUSF İLE MODELLENMESİ

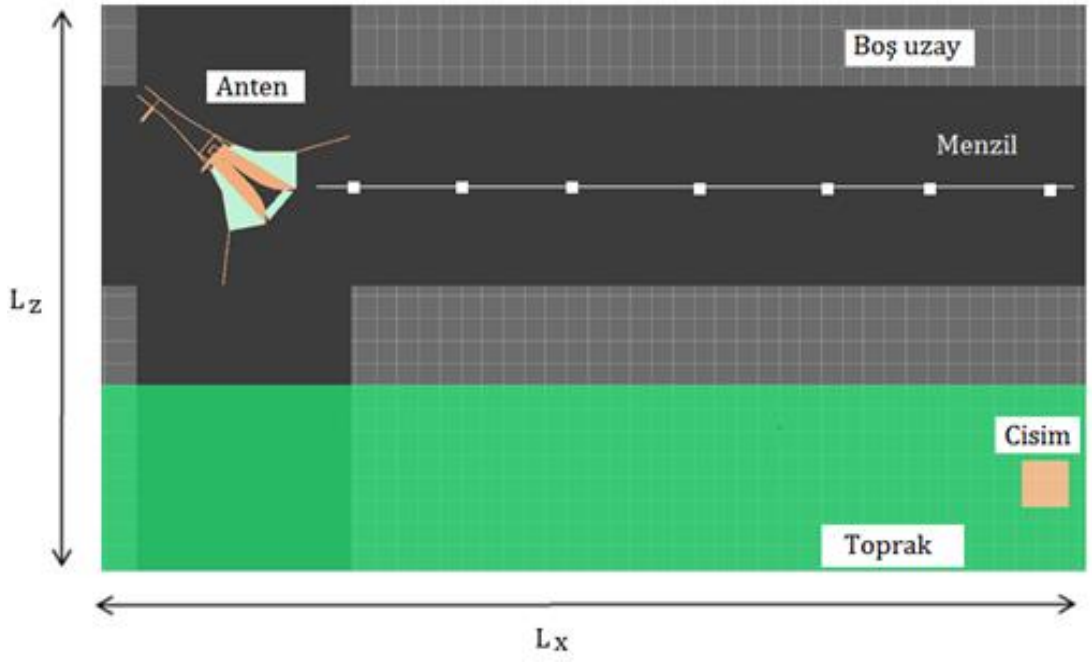
Bu kısımda üç boyutta ve toprakla açılı durumda geniş bandlı Horn anten, Vivaldi anten ve Horn beslemeli Reflektör anten için benzetim sonuçları verilecektir. Sonuçlar her bir anten için düşük, orta (Brewster) ve yüksek açıda

- Problem uzayının dikey kesitinde toplam elektrik alan dağılımı,
- Alıcı antende indüklenen (alınan) elektrik alanların her birinin zaman uzayı değişimleri üzerinden hesaplanan konumsal saçılan alanlar

kapsamında ele alınarak, İB-YNR antenlerinin erken tespit başarımı ön görülmeye çalışılacaktır. Yeterli matematiksel doğruluk sağlanması için kaynağın en yüksek frekans bileşenine karşılık gelen dalga boyu üzerinden birim hücre uzunlukları belirlenerek sayısal dispersiyon hataları azaltılmıştır.

4.1 Sayısal Problem Uzayı

İB-YNR problemi için gerçekte üç boyutlu olan ZUSF sayısal problem uzayının iki boyutlu şematik görünümü Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre hava-toprak ara yüzüne farklı açılarla yerleştirilen anten ile dikdörtgen kesitli iletken gömülü bir cisim için ZUSF benzetimleri yapılmıştır. Antenin bulunduğu hava bölgesi boş uzay (free space) ve iletken cismin bulunduğu toprak dielektrik ortam olarak modellenmiştir. Antenlerin geometrik bakımından daha doğru modellenmesi için sayısal problem uzayı homojen olmayan şekilde ızgaralanmıştır. Yani antenin bulunduğu bölge daha sık, diğer bölgeler ise daha seyrek modellenmiştir.



Şekil 2. Homojen olmayan ızgarlama ile İleri Bakan YNR ZUSF benzetim problemi geometrisinin iki boyutlu şematik gösterilimi.

Şekil 2'ye göre antenler hava-toprak ara yüzünden sabit bir yükseklikte tutularak yatay menzil boyunca eş adımlarla hareket ettirilip saçılan alanlar toplanmaktadır. Antenlerin hava-toprak ara yüzeyi ile üç farklı açı yapması durumunda incelemeler yapılmıştır. Gömülü cisim x ekseni (menzil) boyunca yaklaşık 1.4'üncü metrede yerleştirilmiştir.

Bu kapsamda, örneğin geniş bandlı Vivaldi anten için sayısal problem uzayı parametreleri Tablo 1'de ve ZUSF parametreleri de Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. İB-YNR Problem Uzayı Parametreleri.

Problem uzayı fiziksel boyutları ($L_x \times L_y \times L_z$)	$2.5 \times 0.4 \times 0.75$ m^3
Gömülü cisim fiziksel boyutları ($l_x \times l_y \times l_z$)	$0.06 \times 0.06 \times 0.06$ m^3
Vivaldi antenin merkez koordinatları ($x_a \times y_a \times z_a$)	0.2 m × 0.2 m × 0.55 m
Anten merkez koordinatı ile toprak mesafesi	30 cm
Gömülü cismin merkez koordinatları ($x_c \times y_c \times z_c$)	1.4 m × 0.2 m × 0.09 m
Hava bağıl dielektrik sabiti, ε_r^{hava}	1
Toprak bağıl dielektrik sabiti, ε_r^{toprak}	2.5
Hava, toprak ve cismin bağıl manyetik sabiti, μ_r	1
Hava ve toprağın elektriksel iletkenliği, σ	0 S/m
Cisim elektriksel iletkenliği, σ^{cisim}	5.8×10^7 S/m

Tablo 1'de verilen anten merkez koordinatları, anten beslemesinin dipol modeli olarak uygulandığı anten adaptör koordinat merkezini göstermektedir. Yine gömülü iletken cisim merkez koordinatı da kübik kesitli iletken cismin ağırlık merkezine karşılık gelen koordinatlarına denk gelmektedir.

Tablo 2. İB-YNR için ZUSF Parametreleri.

Homojen birim hücre boyutları ($\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$)	$2 \times 2 \times 2$ mm^3
Homojen olmayan birim hücre boyutları ($\Delta x \times \Delta y \times \Delta z$)	$0.5 \times 0.5 \times 0.5$ mm^3
Problem uzayı hücre sayısı ($N_x \times N_y \times N_z$)	$1639 \times 446 \times 794$
Vivaldi antenin merkez hücre numaraları ($i_a \times j_a \times k_a$)	$300 \times 223 \times 450$
Gömülü cismin merkez hücre numaraları ($i_c \times j_c \times k_c$)	$1120 \times 223 \times 60$
Birim zaman adımı, Δt	9.62×10^{-13} sn
Toplam zaman iterasyonu sayısı, n	15000
Yaklaşık hafıza gereksinimi	20.2 GB
Yaklaşık toplam hesap süresi (Tek bir konum için)	30 saat
Kullanılan bilgisayar işlemci modeli ve hızı	Z 800 HP İş İst.

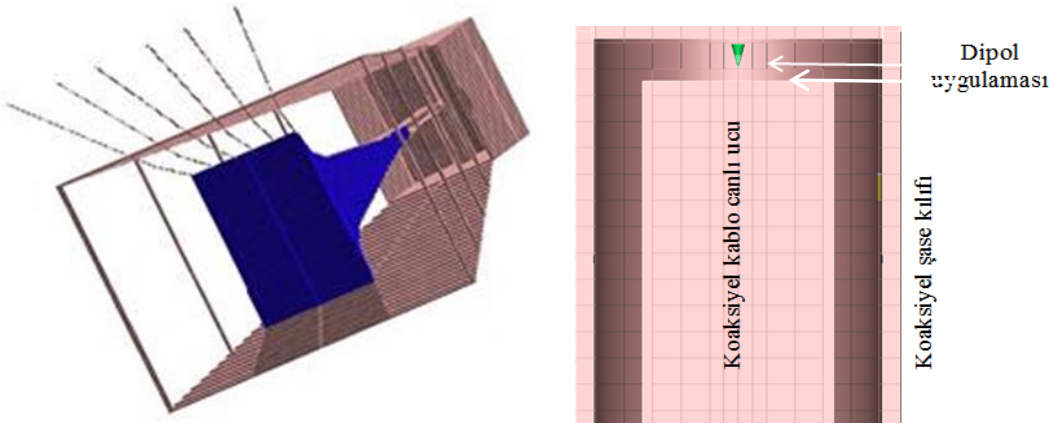
Homojen ızgaralama durumunda hesap süresi, hafıza ihtiyacı vb. yaklaşık % 30 civarında azalmaktadır. Buna karşın geometrik model daha kaba ızgaralanmaktadır. Bu durum özelikle anten iç yapısının detaylı olması nedeni ile tercih edilmemelidir.

Özel olarak yatayda düşük açı 25 derece, orta (Brewster) açı 32 derece ve yüksek açı 40 derece olarak alınmıştır. Bu kapsamda orta açı $\theta_B = \tan^{-1}\left(\sqrt{\varepsilon_2/\varepsilon_1}\right)$ formülü gereği yüzey normali ile 58 dereceye tekabül eden Brewster (orta) açısı olarak seçilmiştir.

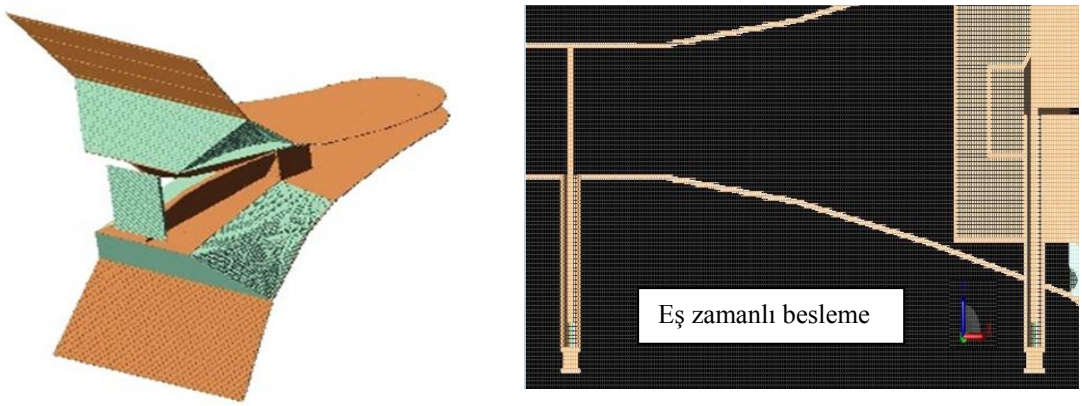
4.2 Antenlerin Sayısal Olarak Modellenmesi ve Uyarılmaları

Geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenlerin sayısal problem uzayındaki üç boyutlu ızgaralı görünümleri ve uyarılmaları (beslemesi) Şekil 3'de gösterilmiştir. Yapılan tüm benzetimlerde antenler dipol modeli tekniği kullanılarak $0 - 15$ GHz frekans spektrumuna sahip çok geniş bandlı (ultra wide-band) Gaussian türü zaman bağımlılığa sahip dipol kaynak ile uyarılmıştır. Buradaki dipol modeli tekniğinde dipol kaynağın eksi kutbunu antenin veya koaksiyel kablonun şasesine, artı kutbunun ise koaksiyel kablonun canlı ucuna yerleştirilmesi ile uyarım gerçekleştirilmektedir. Geniş bandlı Horn ve Horn beslemeli Reflektör anten bir adet beslemeye sahipken Vivaldi anten iki adet beslemeye sahiptir. Vivaldi antendeki bu iki besleme yerinden aynı kaynak türü ile eş zamanlı uyarım yapılmıştır.

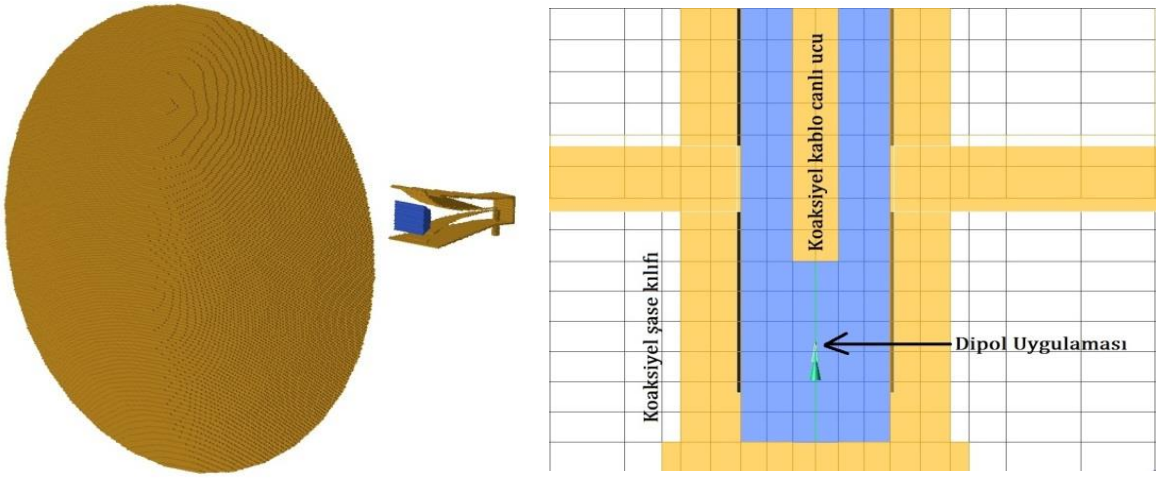
Antenlerin geometrik modellerindeki ince detayların gerçeğe yakın olacak şekilde doğru modellenebilmesi için homojen olmayan ızgaralama tekniği kullanıldığı Şekil 3'de yer alan beslemelerin gösterildiği kesit görüntülerinden de anlaşılabilir. Bazı yerler daha sık ızgaralanmışken bazı yerler daha seyrek ızgaralanmıştır. Bu homojen olmayan ızgaralama tekniği ile hem cisimler doğruya yakın bir şekilde modellenmiş olur hem de toplam hafıza ihtiyacı optimize edilir.



a) Geniş bandlı Horn anten ve beslemesi.



b) Vivaldi anten ve beslemesi.

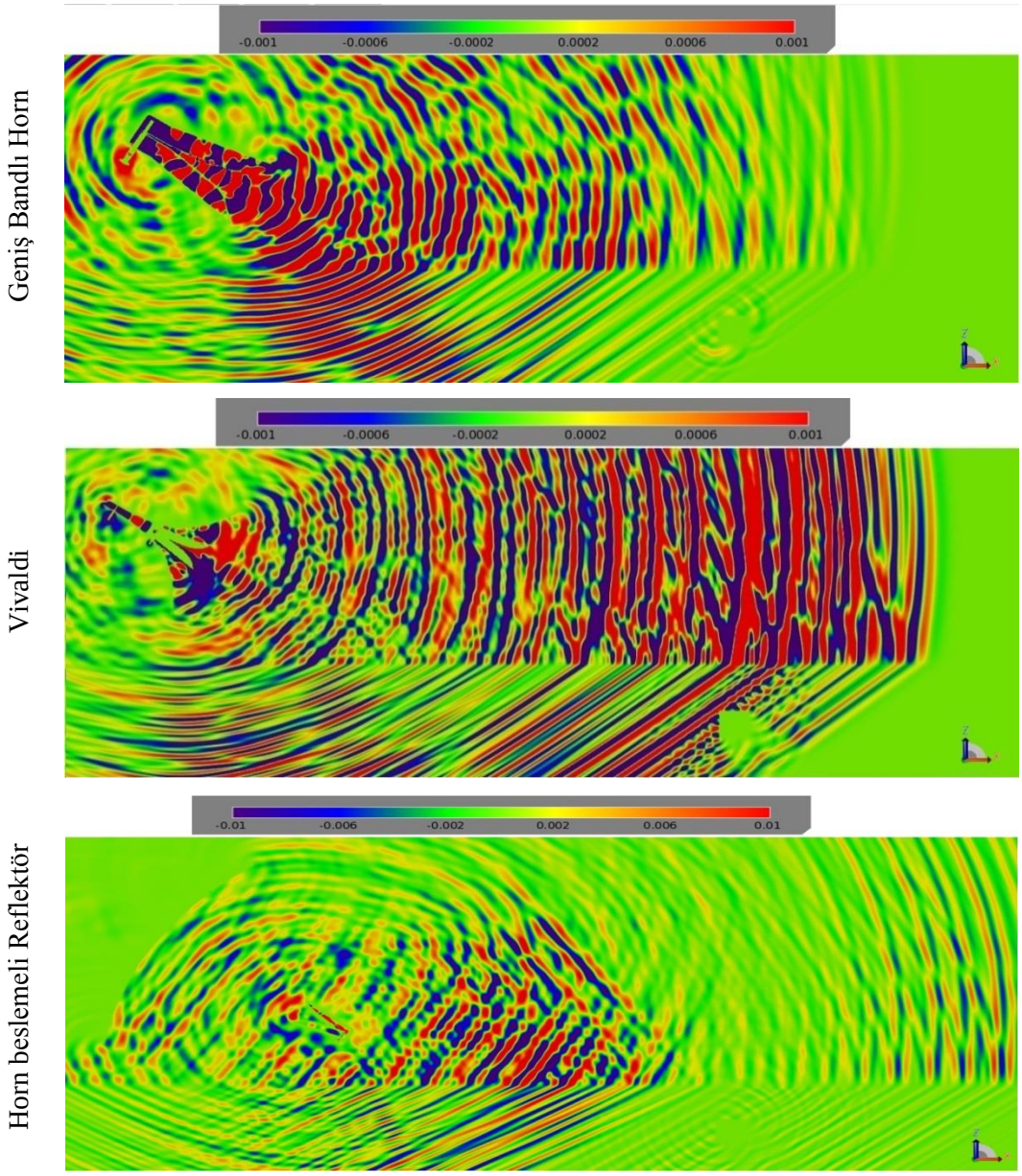


c) Horn beslemeli Reflektör anten ve beslemesi.

Şekil 3. Geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenlerin sayısal problem uzayındaki ızgaralanmış görünümleri ve uyarılmaları (beslenmesi).

4.3 Toplam Elektrik Alanın İki Boyutta Konumsal Dağılımları

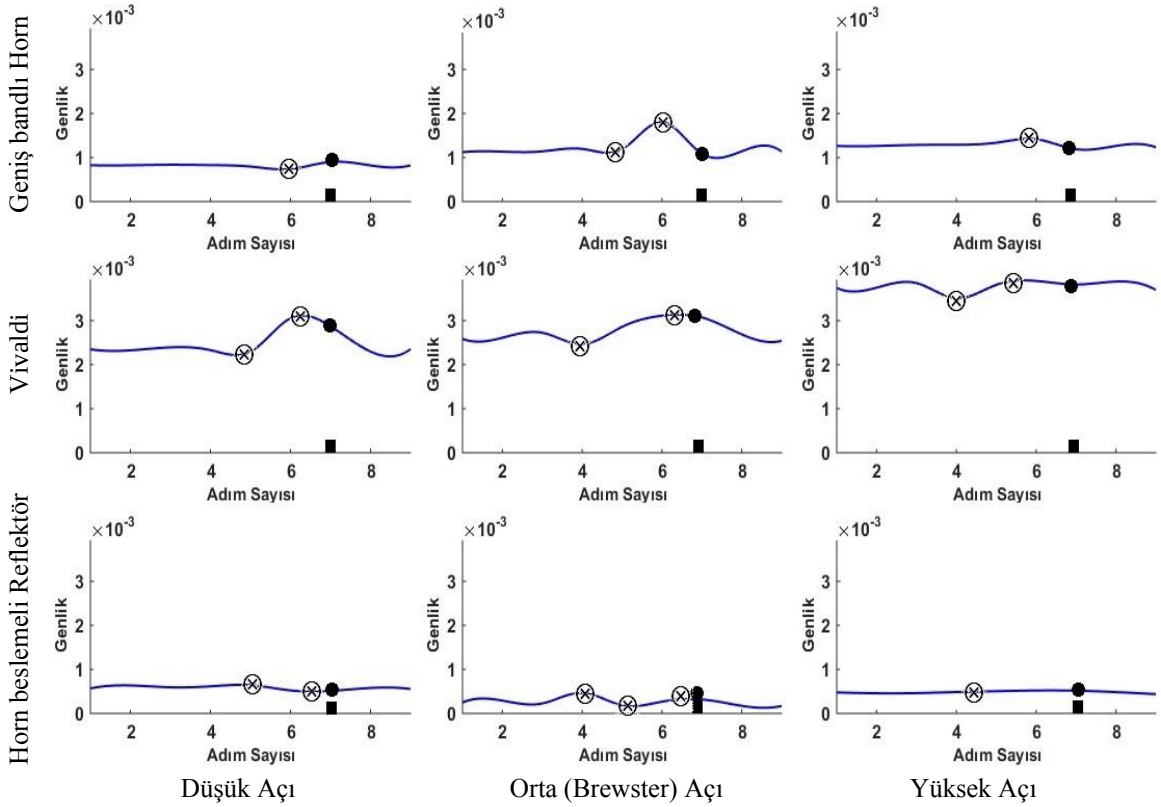
Üç boyutta ZUSF yöntemi ile çözülen İB-YNR problemindeki Geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenlerin orta (Brewster) açıdayken problem uzayında anlık (6000'inci zaman adımında) bir kesit görüntüsü alınarak iki boyuttaki alan dağılımları Şekil 4'de gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, toprağın etkisi ve cisimden saçılmalar açıkça görülebilmektedir.



Şekil 4. Geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenin orta (Brewster) açıda gömülü iletken cisim ile toplam elektrik alanın konumsal dağılımı.

4.4 Saçılan Alanların Konumsal Dağılımları

Saçılan alanların hesabında çıkartma (substraction) tekniği kullanılmıştır. Yani saçılan alanlar, toplam alandan gelen (incident) alanın çıkartılması ile elde edilmiştir. Bu durum her bir konum için gelen alanın da bilinmesini (hesaplanmasını) gerektirmektedir. ZUSF yönteminde prensip olarak aynı anda saçılan ve toplam alanın hesaplanma imkânı Toplam Alan – Saçılan Alan (Total Field – Scattered Field) formülasyonu gereği mümkün olmasına rağmen, bu tekniğin gömülü cisim içeren katmanlı ve kaynağı düzlemsel dalga olmayan (anten türü) problemlerde uygulanması pratik değildir. Bu nedenle gelen alanın bilinmesi için problem uzayında hiçbir saçıcı cisim (scatterer) yok iken (yani sadece anten var iken) hesap yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur [3]. Bu durum hesap süresinin iki katına çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 5. Geniş bandlı Horn, Vivaldi ve Horn beslemeli Reflektör antenlerin düşük, orta (Brewster) ve yüksek açıda, gömülü iletken cisimden saçılan elektrik alanın toplam bileşeni $|E_{toplam}(f)|$'in maksimum değeri üzerinden konumsal saçılan alan değişimi.

Şekil 5'ya göre veriler toplam elektrik alanın ilgili frekans bandında maksimum genlik değerleri için hesaplanmıştır. Burada her bir anten 20 cm adım aralıklarla hareket ettirilmiştir. İletken cisim 7'inci adımda gömülü olduğundan, İB-YNR sisteminin iletken cismi 7'inci adımdan daha önce tespit etmesi sistemin erken tespit başarı kriteridir (⊗ simgesi ile 7'inci adım öncesi muhtemel tespit konumları, ● simgesi ile

7’inci adım konumu işaretlenmiştir). Antenlere çok yakın konumlarda (5’inci konum öncesi) topraktan direkt yansımalar nedeni ile tespit yapılmayacağı varsayılmıştır. Bu kapsamda her bir anten başarımı aşağıda açıklanmıştır:

- *Geniş bandlı Horn anten*: Düşük açıda bir, orta açıda bir ve iki, yüksek açıda iki adım önce cismin tespiti mümkün olabilmektedir. Genel olarak iki adım önce tespit prensip olarak mümkün olmakla beraber, daha başarılı tespit algoritmasına ihtiyaç duyulabilir. Özel olarak 7’inci adıma yakın bölgedeki Brewster açısında yüksek genlik değerleri elde edilmiş ve tespit açısından daha etkin (net rezonans karakteristiği) bir saçılan alan dağılımı gözlenmiştir.

- *Vivaldi anten*: Düşük açıda iki, orta açıda bir ve üç, yüksek açıda iki ve üç adım öncesi tespit mümkündür. İki ve daha fazla adım öncesinde tespit için klasik bir tespit algoritması yeterli görünmektedir. Özel olarak 7’inci adıma yakın bölgedeki Brewster açısında rezonans davranışı genişlemiştir.

- *Horn Beslemeli Reflektör anten*: Kabaca düşük açıda iki ve üç, orta açıda iki ve üç, yüksek açıda dört adım öncesi tespit mümkündür. İki ve daha fazla adım öncesinde tespit için klasik bir tespit algoritması yeterli görünmektedir. Özel olarak 7’inci adıma yakın bölgedeki Brewster açısında rezonans davranışı genliği azalmıştır.

5 SONUÇ

Sonuçlar her bir antenin farklı durumlarda kendine has avantaj ve dezavantajları olduğunu göstermektedir. Ama genel olarak alan dağılımının detayı bakımından en etkin antenin Vivaldi türü anten ve açının da Brewster açısı olduğu söylenebilir. Bunun yanında uygulanacak tespit algoritmasının anten performansı kapsamında tespit başarımın önemli ölçüde etkileneceği açıktır. Tüm bunlar göz önüne alındığında, İB-YNR konusunda çok daha fazla araştırmanın yapılması gerektiği sonucuna varılabilir. Hâlihazırda İB-YNR sistemlerinin çok yaygın olmamasının sebebi söz bahsedilen zorluklar olarak düşünülmektedir.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 110E220 numaralı 1001 projesi ile desteklenmiştir.

6 KAYNAKÇA

[1] Daniels D.J., (1996), Surface Penetrating Radars, The Institution of Electrical Engineers, London, UK.

[2] Öztürk E., Başaran E., Aksoy S., (2011), Numerical Modeling of Ground Penetrating Radar, SubChapter in Subsurface Sensing Book from J. Wiley & Sons Inc.

[3] Aksoy S., (2015), Zaman Uzayı Sonlu Farklar Yöntemi, Ders Notları, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gebze Teknik Üniversitesi, Gebze, Kocaeli, Türkiye.

[4] XFdtd® EM Simulation Software, Remcom, http://www.remcom.com/xf7

OYUN TEKNOLOJİLERİNİN ASKERİ SİMÜLASYON ENDÜSTRİSİNE YIKICI YENİLİK ETKİSİ

Mukaddes Burhan [(a)], Altan Özkil [(b)]

[(a)] Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, mburhan@kho.edu.tr

[(b)] Atılım Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürü, Ankara, Türkiye, altan.ozkil@atilim.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, ticari sektörde geliştirilen bilgisayar oyun teknolojilerinin gelmiş oldukları teknolojik seviyeleri nedeni ile, askeri simülasyon teknolojileri ve endüstrisine olan yıkıcı yenilik etkisi ve bu etkinin nasıl avantaja dönüştürülebileceği incelenmiştir. Askeri simülasyon teknolojilerinin kullanıcısı ile birebir buluştuğu nokta olan simülatörler ile, geliştirilmekte olan oyun teknolojilerinin oyuncusu ile buluşması büyük benzerlikler göstermektedir. Bilgisayar oyun teknolojileri eğlence amaçlı başlamış, zaman içinde eğlence kategorisinden kurumsal ihtiyaçları karşılayan ciddi oyun kategorisine geçmiştir. Teknolojik gelişmelerle birlikte askeri, sağlık, eğitim gibi pek çok alanda müşterilerin ihtiyaçlarını karşılayacak performans seviyesine ulaşmıştır. Oyun teknolojileri, mikroişlemci, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, yapay zeka, kullanıcı arayüz teknolojileri ve ağ teknolojileri gibi temel teknolojilerdeki gelişmelerle, askeri simülasyon alanını dönüştürmektedir. Oyun teknolojileri geliştiren şirketler, daha basit, kullanımı ve erişimi daha kolay, daha düşük fiyata, yeni teknoloji, ürün, hizmet geliştirerek veya farklı bir performansta yeni bir teknoloji/ürün geliştirerek, mevcut teknoloji ve endüstri karşısında başarılı olmaktadır. Askeri simülasyon alanında faaliyet gösteren şirketlerin, oyun teknolojilerinin yıkıcı yeniliğini avantaja dönüştürmesi için, bu teknolojileri kendi içlerinde geliştirmek üzere yatırım yapmaları veya oyun teknolojileri geliştiren başlangıç şirketleri, KOBİ'lerle işbirliği yapmaları gereği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Askeri Simülasyon ve Simülatör Teknolojileri, Ciddi Oyun, Modelleme, Oyun Teknolojileri, Simülasyon, Yıkıcı Yenilik.

DISRUPTIVE INNOVATION EFFECT OF GAME TECHNOLOGIES IN MILITARY SIMULATION INDUSTRY

ABSTRACT

In this study, disruptive innovation effect of developments in commercial computer game technologies onto military simulation technologies and industry, and how this effect can be turned into an advantage, has been analyzed. There are big similarities between the interfaces where the users meet military simulator technologies and where the users meet computer game technologies. At the beginning, computer game technology considered for entertainment purpose only, but with fast developments, this technology become serious player to meet organizational requirements, including military, health and educational organizations. Computer game technology together with the developments in microprocessors, virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, interface and networking technologies, transforming the military simulation technologies.

Companies developing game technologies are becoming successful against established companies by developing cost effective, easy to use and easy to access technologies or by developing new technologies with different perfomance measure. In order to turn disruptive effects of game technologies to advantage, established organizations either invest in these technologies internally or cooperate with startup and SME companies.

Keywords: Disruptive Innovation, Game Technologies, Military Simulation and Simulator Technologies, Modelling, Serious Games, Simulation

1. GİRİŞ

Uçuşun bazı kurallarının bilgisayar üzerinde öğretilmesi amacıyla kullanılan, pilotun kokpitte göreceği ekranın bir benzerini bilgisayar ekranında görmesi ve uçuşu kontrol etme işlemlerini gerçekten uçaktaymış gibi yapmasını sağlayan askeri uçak simülatörünün ilk kullanılmaya başlandığı 1938 yılından günümüze, eğitim simülatörleri ilgili teknolojilerdeki gelişmelere paralel olarak dönüşüm geçirmektedir. Bu dönüşüm bilgisayar oyun teknolojilerinde de kendisini göstermiş, eğlence amaçlı olarak geliştirilmeye başlanan bilgisayar oyun teknolojileri zaman içinde, eğlence kategorisinden bir çok organizasyonun kurumsal ihtiyaçlarını karşılayan ciddi oyun kategorisine geçmiştir. Bu dönüşümde oyun teknolojilerinin yanı sıra, 3D simülasyon motoru, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, yapay zeka, ağ teknolojileri gibi temel teknolojilerdeki gelişmelerin de önemli etkileri olmuştur. Bunun sonucu olarak ciddi oyunlar sağlık, eğitim, acil durum yönetimi, askeri alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

2. OYUN TEKNOLOJİLERİ VE ASKERİ SİMÜLASYON SİSTEMLERİ

2.1. Oyun teknolojileri, ciddi oyun teknolojileri

Oyun teknolojileri önce eğlence odaklı 'oyun, oyuncak' olarak başlamış daha sonra ciddi oyuna dönüşmüştür. Oyun ve ciddi oyun kavramlarının ne şekilde değiştiğini göstermek amacı ile oyun ve ciddi oyunun 1970'li ve 2000'li yıllardaki tanımları aşağıya çıkarılmıştır. 1970'li yıllarda oyun, sınırlı bir alanda kendi amaçlarını başarmak isteyen iki veya daha fazla bağımsız karar verici arasındaki faaliyet veya daha genel tanımı ile amaçlarını başarmaya çalışan karşıtlar arasında, kurallarla bağlı olan kapsam olarak ifade edilmiştir. Ciddi Oyun ise, eğlence amaçlı değil, açık ve dikkatlice düşünülmüş eğitim amaçlı bir oyun olarak kabul edilmiştir [1].

2000'li yıllarda oyun, katılımcının eğlenmesi veya ödüllendirilmesi amacıyla belirli kurallara göre oynanan fiziksel ve zihinsel yarışma olarak tanımlanmıştır. Video oyunu, eğlence veya kazanmak amacıyla, belirli kurallara göre bilgisayar ile oynanan zihinsel yarışma olarak değerlendirilmiştir. Ciddi Oyun, eğlenmeyi devlet veya şirketlerin kurumsal eğitim, öğretim, sağlık, kamu düzeni ve stratejik iletişim amaçları için kullanan ve belirli kurallara göre bilgisayarla oynanan zihinsel yarışmadır. [2]

Günümüzde birçok sektörde yaygınlaşmış olan ciddi oyunlar, eğitim, durumsal farkındalığın sağlanması, davranışsal değişimin sağlanması, beceri ve iletişimin geliştirilmesi, personel seçimi, yönetim, liderlik gibi farklı ihtiyaçlar için askeri, sağlık, şehir planlama, acil durum yönetimi, politika ve uzay endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 11]. Yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan oyun teknolojilerinin gücü, 3D motor, arayüz, ağ, modelleme, yapay zeka teknolojilerindeki gelişmelere dayanmaktadır.

Bu kapsamda, TacOps, Brigade Combat Team, Decesive Action, Harpoon 3 sivil savaş oyunları ve Warcraft, Doom, Close Combat ve Operation Flash Point ticari oyunlar, askeri kurumlar tarafından kullanılmaya başlanmıştır.

2.2. Askeri simülasyon teknolojileri

İlk uçuş simülatörü pinomatik kontrollü olarak, Edwin Link tarafından ABD'de, 1938 yılında yapılmıştır. 1958 yılında, harekat efektleri olan altıgen savaş oyununu Charles Roberts ve RAND Corp birbirinden bağımsız olarak geliştirilmiştir. 1970 yılında bu harita ve araçlar bilgisayar ortamına aktarılarak ilk sayısal harekat alanı modelleri geliştirilmiştir. Uçaklar, gemiler, tanklar, silahlar, başlangıçta prototipler ile simüle edilmiş, teknolojinin gelişmesiyle bilgisayar ortamında yer almaya başlamıştır.

Simülatör ve simülasyon uygulamaları, teknolojik gelişmelere paralel olarak, canlı simülasyon (tatbikatlar), sanal simülasyon (insan, simüle cihaz, sanal çevre) ve yapısal simülasyon (her şey sanal, bilgisayarda üretilmiş) olarak gelişmekte ve değişime

uğramaktadır. Uygulamalarda, canlı, sanal ve yapısal simülasyonlar entegre olarak kullanılmaktadır.

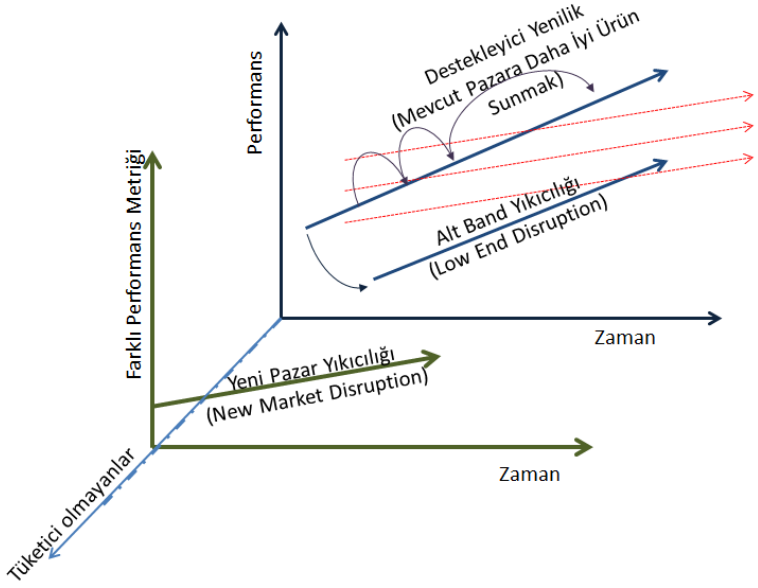
Sanal gerçeklik (virtual reality), tam görev simülatörlerine (sanal simülasyon) göre daha maliyet etkin bir çözüm sunmaktadır. Sanal gerçeklik teknolojileri, özellikle durumsal farkındalık açısından daha etkindir. Kokpit gibi fiziksel donanımlara, özel tasarım yazılım/donanıma daha az bağımlı olması, daha kolay uyarlanması ve konfigüre edilebilir olması, düşük maliyeti ile avantaj sağlamaktadır. Ayrıca bu tür simülatörlerin, klasik simülatörlerden daha fazla görev simülasyonu ve daha fazla personel eğitimi sağlaması sebebiyle, daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik (augmented reality) teknolojileri, yapısal simülasyonun alanını genişletmektedir.

2.3. Yıkıcı yenilik

Başlangıç şirketleri, yeni kurulmuş, bir fikrin gerçekleştirilmesi konusuna odaklanmış, fikri hızlıca gerçekleştirebilmek için birçok prosedürü atlayan, uzun mesai saatleri ve yoğun tempoyla çalışan, hızlı kararlar alabilen, ağırlıklı olarak ta yatırım alma odaklı kurulmuş şirketlerdir. Bu şirketler teknoloji, ürün veya hizmetlerini, pazardaki mevcut teknoloji, ürün ve hizmetlerin yaptığı işlere kıyasla, daha basit, kullanımı ve erişimi daha kolay ve daha düşük fiyata yapacak şekilde geliştirmeye çalışmaktadır. Bu şirketlerin amacı, mevcut ürün/hizmeti daha önce kullanamayan, daha az özellik için daha az ödemek isteyen alt band müşteri grubunu çekmektir. Böylece, Alt Band Yıkıcı Yeniliği (Low End Disruption) yaratmaktır. Bunun dışında, başlangıç şirketleri, Şekil-1'de görüleceği üzere, farklı bir performansta yeni bir ürün/hizmet geliştirmek suretiyle yeni pazar da yaratmaktadırlar (New Market Disruption). Yıkıcı ürün/teknoloji, yeni pazar veya alt band müşteri yıkıcı yeniliği ile pazara girdikten sonra, üründe gelişme döngüsü başlar. Başlangıçta yeteri kadar iyi olmayan ürün / teknoloji, zamanla üst band müşteri grubunun da taleplerini karşılayacak hale gelir ve yerleşik şirketlere rakip olurlar [4].

Başlangıç şirketleri yıkıcı yenilik rekabetinde mevcut şirketlere göre daha başarılı olurlar. Başlangıç şirketlerinin öncelikleri ve maliyet yapıları, küçük pazarları ve düşük kar marjlarını destekleyebilecek yapıdadır. Genellikle değişim fırsatı, mevcut şirketlerin ana akım pazarda başarılı olduğu dönemde gelir ve yeni kaynak, süreç ve önceliklerin kullanılmasını gerektirir. Mevcut şirketlerin yöneticileri ise mevcut kaynakları, başlangıç evresinde olan, daha az kar ve getiri sağlayan yıkıcı yenilikler yerine, ana akım iş alanını destekleyecek artırımsal ve radikal yenilikler için kullanmayı tercih ederler. Bunun ana sebebi, mevcut şirketlerin kaynak-süreç ve dinamik kabiliyetlerinin mevcut teknolojiye göre şekillenmiş olmasıdır. Şirket yönetimi ve kaynaklar, mevcut faaliyet alanında, müşterilerin beklentilerini karşılayacak performans kriterlerinin gerçekleştirilmesine ve iyileştirilmesine odaklanırlar [5].



Şekil 1: Yıkıcı yenilik [4]

2.4. Oyun teknolojilerinin NATO'da kullanımı

Askeri planlama, eğitim, harekat ve kabiliyet geliştirme amaçlı modelleme ve simülasyon uygulamalarında kullanılabilecek, maliyet etkinlik potansiyeli taşıyan kritik teknolojiler ağırlıklı olarak ticari alanlarda geliştirilmektedir. Ticari teknolojilerin ve açık standartların, savunma uygulamalarında kullanılması verimlilik ve fayda potansiyeli taşımaktadır. NATO Modelleme ve Simülasyon Grubu (NATO Modeling and Simulation Group-NMSG), ticari alandaki teknolojik gelişmeleri izlemek, gelecekteki askeri ihtiyaçları karşılama potansiyeline sahip ticari teknolojileri önceden tanımlayabilmek, ticari sektördeki teknolojik gelişmelerden nasıl yararlanacağını incelemek üzere çalıştaylar düzenlemekte ve sponsor olmaktadır. Bu çalıştaylarda ticari teknolojiler ve oyun teknolojileri incelenmekte, teknolojilerden yararlanılmasının önündeki engeller tanımlanmakta, sanal dünyalar ve benzer teknolojilerin askeri uygulamaları ile ilgili sorunları araştırılmaktadır [6].

2.5. Askeri simülasyon teknolojileri ve endüstrisinin dönüşümü

Askeri simülasyon endüstrisi geçmişte de, teknolojik gelişmelerle dönüşüm geçirmiştir. 7-8 yıl öncesine döndüğümüzde Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesinde özellikle küçük birlik seviyesinde kara harekatının planlanmasında kullanılan klasik kum sandıklarının yerlerini alacak sanal kum sandıklarının Savunma Sanayii Müsteşarlığı tarafından tedarik edilmeye çalışıldığı görülecektir. Harekat planlama sürecine ağırlıklı olarak arazinin modellenmesi şekli ile katkıda bulunacak sanal kum sandıklarının yerlerini,

bugün bir çok oyun alt yapısında kullanılan sanal gerçeklik teknolojilerine bıraktığı görülmektedir.

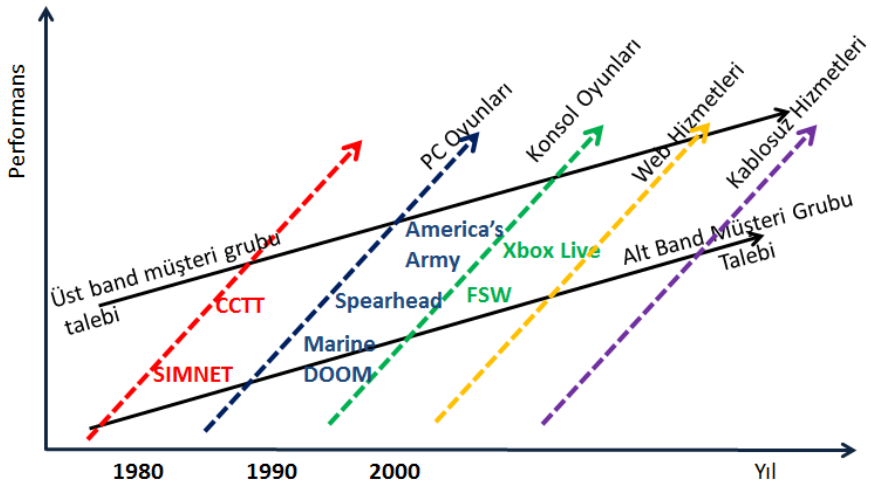
Değişim sektör içinden tetikleneceği gibi, ana akımın dışından da kaynaklanabilmektedir. Askeri simülasyon endüstrisinde, endüstri dışından kaynaklanan yeni teknolojiler, en son gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Bu gelişmeler de, teknolojiyi geliştiren başlangıç şirketlerinin, mevcut endüstride başarılı olmasını desteklemiştir [7].

Bilgisayar oyun teknolojisinin çıkış kaynağının 1980'lerde askeri simülasyon projeleri olduğu bilinmektedir. Oyun teknolojileri de halen teknolojik gelişmelerini büyük bir hızla sürdürmektedir. Oyun ve askeri simülasyon endüstrisi, en yeni teknolojilerin uygulandığı bir alan olmuştur. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin kapasite ve performanslarındaki artış ile gelişim ve değişim devam etmektedir. İşlemci gücü, grafik çipleri, ağ altyapıları, kullanıcı arayüzleri, fiziksel modeller, 3D simülasyon motorları, görsel tasarımın ulaştığı teknolojik seviye, askeri müşterilere kişisel bilgisayar, tablet, akıllı mobil cihazlarda güvenilir bir eğitim sistemi sunabilir hale getirmiştir. Ciddi oyunlar da bu vesile ile askeri modelleme ve simülasyon ihtiyaçlarının karşılanması sürecinde yerlerini almıştır. Şüphesiz ki ciddi oyun teknolojileri, endüstrilere ortak çözümleri taşımakta ve endüstri ile ilgili ortak çözümleri kullanmaya zorlamaktadır.

Ciddi oyunlar askeri simülasyon endüstrisinin gündemine 1970 yılında bu konuda yazılmış bir kitapla girmiş, daha sonra eğitim, öğretim ve askeri kullanımı ile endüstride yer almıştır. 2000'li yıllarla birlikte ciddi oyunlarda ve kullanımlarında istikrarlı bir şekilde yenilikler ve değişimler yaşanmıştır. Ciddi oyunların eğitim ve öğretime ilişkin kullanımının başladığı 1980'li yıllardan itibaren oyun sayısında ciddi bir artış görülmektedir [8].

Oyun teknolojilerinin askeri alanda kullanılması bu alanda yeni şirketlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Oyun teknolojileri, başlangıçta düşük performansla, askeri simülasyon endüstrisinde, ancak niş bir alana hitap etme fırsatı bulmuş, teknolojik gelişmelerden kaynaklanan performans artışıyla birlikte, mevcut pek çok simülasyon aracından daha güçlü hale gelmiştir.

Ciddi oyun teknolojilerinin sağladığı, düşük toplam sahip olma maliyeti, kullanım kolaylığı, çok kullanıcılı olması, mekan ve zamandan bağımsız, esnek erişilebilirlik özellikleri, simülasyon endüstrisi için 'Alt Band Yıkıcı Yenilik' özelliği taşımaktadır. Oyun teknolojileri geliştikçe eğitim simülatörleri müşterilerinin ihtiyaçlarını karşılayacak platformlar haline dönüşmektedir. Ciddi oyun simülatörlerinin askeri alanda, her teknolojik gelişmeyle birlikte, simülatörlerin ağ, bilgisayar, oyun konsolları, web ve mobil platformlara taşınması yıkıcı yenilik dalgaları başlatmıştır [9]. Oyun teknolojilerinin yıkıcı dalgaları Şekil-2'de sunulmuştur.



Şekil 2: Oyun teknolojilerinin yıkıcı yeniliği [9]

Askeri simülasyon teknoloji ve endüstrisinde yıkıcı yenilik dalgaları yaratan ciddi oyun teknolojileri aşağıda sunulmuştur.

2.5.1. Simülatör ağı

1980'lerin sonunda yapılan SIMNET projesi, bilgisayar teknolojileri, 3D simülasyon motoru ve ağ teknolojilerin kullanıldığı yenilikçi bir savaş simülatörüdür. Bu simülatör 1990'ların başında, tank mürettebatı eğitim ihtiyaçlarının ancak düşük performanstaki gereksinimlerini karşılamaktaydı. Gerçek tank hissi veren simülatörlere alışkın olan kullanıcıların beklentilerini karşılamakta yetersiz kalıyordu. SIMNET'in yeniliği, görev simülatörlerinden farklı olarak sunduğu değer, bütün bir tank taburunun gerçek ortamda olduğu gibi, diğer tanklarla birlikte harekat yapabileceği bir ağ ortamı sağlaması olmuştur. Bu yenilik, teknoloji rekabetini, platformun simülasyonundan ortak çevrenin simülasyonuna doğru değiştirmiştir. Teknoloji ve üründe yapılan destekleyici yenilikler sonucu, SIMNET'in kapsamı, diğer yer platformları ve helikopterleri kapsayacak şekilde genişletilmiştir. SIMNET'ten sonra simülasyon sistemleri, sanal ve yapısal savaş oyunları, harekat alanını daha bütüncül, daha zengin gösterim sağlayacak şekilde, diğer simülasyonlarla entegre olabilen ağ sistemleri olarak geliştirilmiştir.

2.5.2. Bilgisayar oyunları

Spearhead simülasyonu, SIMNET projesinde çalışmış olan mühendisler tarafından geliştirilmiştir. SIMNET özellikleri kişisel bilgisayarlara taşınmaya çalışılmıştır. Başlangıçta, yalnızca asker ve sivil meraklılarına hitap eden bir oyun olarak değerlendirilmiştir. Ancak bilgisayarların görsellik, fiziksel model, ağ ve mürettebat eğitimi sunmak için yeterli olabileceğini göstermiştir. Marine DOOM gibi ürünlerle, bilgisayar oyunlarının, alt band müşteri grubu (daha az fonksiyon, özelliği yeterli bulan)

için eğitim aracı olabileceği görülmüştür. Önemli ölçüde maliyet avantajı sağlamıştır. Bu özellikleriyle, yeni bir yıkıcı yenilik olarak değerlendirilmiştir.

2.5.3. Konsol oyunları

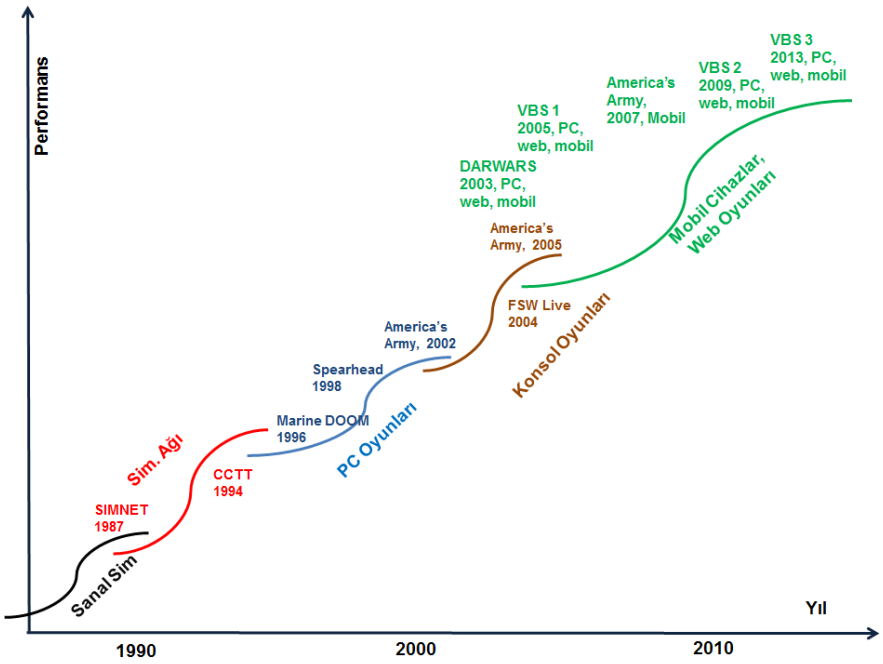
Askeri simülatörlerin oyun konsollarına (PlayStation, Xbox) kayması, bilgisayar tabanlı oyun simülasyonlarında olduğu gibi, maliyetlerin önemli ölçüde azalmasını sağlamaktadır. Full Spectrum Warrior (FSW), Xbox ve PlayStation oyunudur. Kişisel bilgisayarların başlangıçta yetersiz olması gibi, oyun konsolları da başlangıçta, askeri eğitim için gerekli olan depolama kapasitesi, grafik kalitesi, band genişliği açısından yetersiz kalmıştır.

2.5.4. Web oyunları, mobil oyunlar

Bilgisayar ve konsol oyunlarından sonraki yıkıcı dalga, web tabanlı, 3D çevre ve kablosuz teknolojilerden kaynaklanmaktadır. Teknolojik gelişmelere paralel olarak web tabanlı simülasyonlar da yaygınlaşmaktadır.

Internet band genişliği sınırlayıcı bir özellik haline dönüşmektedir. Teknolojik sınır, kablosuz bağlantı çözümleri aranmasına yol açmakta ve henüz kullanıcı olmayanları da çekmektedir. Kablosuz tablet, akıllı telefonlar üzerinde çalışacak yeni uygulamalar geliştirilmekte, mevcut ürünlerde, web ve mobil platformlarda çalışan sürümleri geliştirilmektedir. BiLAT, DARWARS, VBS1, bilgisayar, web, mobil platformlar için geliştirilen örnek yapısal simülasyonlardır. Başlangıçta ancak, alt band müşteri grubunun ihtiyaçlarına cevap veren ürünler, teknolojideki gelişmelerle birlikte üst band müşteri grubuna hitap edecek kapasiteye erişerek, yıkıcı yenilik etkisi göstermektedir. Bu da yeni pazar yıkıcılığı olarak tanımlanan farklı bir performansta (web, mobil) yeni bir pazar yaratılmasını sağlamaktadır [10, 11].

Pazarda değişimlere neden olan teknolojik yeniliklerin iyi analiz edilmesi gerekir. Teknoloji S Eğrisi bu aşamada kullanılabilecek önemli teknoloji analiz ve yönetim araçlarından biridir [12]. Teknoloji S Eğrisi teknoloji, ürün veya endüstrinin ömür döngüsünü gösterir. Endüstride eskisinin yerini alan yeni teknolojinin tanımlanmasını sağlayan bir çerçevedir. Teknolojiyi tanımlamaya veya öngörmeye destek olur [13, 14]. Simülasyon endüstrisi ve simülasyon teknolojileri, bilgisayar oyunları, konsol oyunları, web, mobil oyun teknolojilerindeki gelişmeler teknoloji S Eğrisi ile analiz edilebilir. Şekil-3'de sunulan askeri simülasyon teknolojilerindeki yıllara sari değişim, S Eğrisine benzer şekilde bir çok değişim dalgaları ile ifade edilebilmektedir.



Şekil 3: Askeri amaçlı ciddi oyun teknolojileri S Eğrisi

2.6. Oyun teknolojilerinin sunduğu avantajlar

Oyun teknolojileri, askeri eğitim ve öğretim faaliyetleri için güçlü ve görsel açıdan çekici alternatifler sunmaktadır. Oyun teknolojilerinin askeri simülasyon endüstrisi için sağlamış olduğu avantajlar değerlendirilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Oyun teknolojileri başlangıçta, askeri simülasyon ana akım kullanıcılar tarafından yeterli bulunmamıştır. Ancak, oyun teknolojilerinin kabiliyetleri mikroçipler, grafik kartları, band genişliği, destekleyici araçlardaki gelişmeler ile artmaktadır. Oyun teknolojileri, temel teknolojilerdeki gelişme ile ana akım müşterilerin, kullanıcıların beklentilerinin de üzerine çıkmaktadır. Sanal simülatörlere kıyasla düşük maliyet ve kullanım kolaylığı, erişilebilirlik ve özel tesislere ihtiyaç duymama gibi avantajları da dikkate alındığında, oyun teknolojilerinin yıkıcı yenilik potansiyeline sahip olduğu görülür.

Görsellik, kullanıcı arayüzleri, 3B motor, sanal gerçeklik, endüstride standart, baskın tasarıma dönüşmektedir. Bu husus oyun teknolojilerini, ana akım kullanıcılar için de çekici hale getirmektedir.

Çeşitli endüstrilerdeki kullanıcılar, ihtiyaç sahipleri, oyun teknolojilerindeki gelişmelerin farkındadır ve üreticileri, kendi ihtiyaçlarına uygun ürün üretmeye yönlendirmektedir. Dolayısı ile oyun teknolojilerindeki gelişim pazar çekişli bir yapıdadır. Eğer askeri simülasyon endüstrisindeki şirketler bu gelişme ve talepleri

görmezden gelirse, yeni teknoloji ile talepleri karşılayan başlangıç şirketlerinin yıkıcılığı ile karşılaşacaktır.

Raytheon, Patriot Hava ve Füze Savunma Sistemleri ve Javelin Füze sistemleriyle ilgili eğitimlerinde oyun teknolojileri ve Avatar'ı, kullanmaktadır. Oculus Rift, yeni oyun kontrolleri, artırılmış gerçeklik, mobil teknolojileri gibi en son teknolojileri yeni yazılımlarına dahil etmektedir [15].

3. SONUÇ

Teknolojik ve ekonomik ciddi oyunlar, askeri simülasyon pazarını dönüştürmekte ve bu dönüşüm askeri simülasyon teknolojileri ve endüstrisi için yıkıcı yenilik özelliği göstermektedir. Bu değişim dalgaları, askeri alanda daha düşük fiyat ve daha güçlü performans ile, daha fazla kullanıcıya ulaşarak, yapısal simülasyon ve simülatörleri yaygınlaştırmaktadır.

Oyun teknolojilerini geliştiren şirketler, askeri simülasyon pazarına, yeni teknolojileri, artan performans ve kapasite avantajı ile girmektedir. Oyun teknolojileri eğitim, sağlık, acil durum, güvenlik, uzay gibi farklı endüstrilere yeni fırsatlar, avantajlar sunmaktadır. Oyun teknolojilerini oyuncak olarak görmeye devam edenlerin, teknolojinin yaratacağı bu fırsatı kaçıracağı değerlendirilmektedir.

Türkiye'de oyun geliştirici şirketler, çoğunluğu teknokentlerde kümelenen başlangıç şirketleridir. Özellikle yazılım teknolojilerinde uzmanlaşarak eğlence amaçlı oyunlar, ciddi oyunlar, kurumsal eğitim simülasyonları geliştirmektedirler. Bu şirketlerden askeri ihtiyaçlar için ürün geliştirenler de mevcuttur. Şirketler, sektörde ekosistemin oluşması ve güçlenmesi için çeşitli dernek ve organizasyonlar altında bir araya gelmektedir. Dijital Oyun Geliştiriciler Derneği (DOGED), Oyun Tasarımcıları, Geliştiricileri, Yapım ve Yayıcıları Derneği (OYUNDER), Animasyon Teknolojileri ve Oyun Geliştirme Merkezi (ATOM) bu organizasyonların başında gelmektedir. ODTÜ ve TSK Modelleme ve Simülasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (MODSİMMER) geliştirilen ürünler proje ağırlıklı olarak analiz amaçlı başarılı uygulama örnekleridir. Bu kapsamda anılan merkezin oyun teknolojileri ile ilgili şirketlerle bir araya gelmesi ve işbirliği yapmasının askeri simülasyon endüstrisine büyük katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Askeri simülasyon endüstrisinde faaliyet gösteren şirketlerin, dünyada rekabet avantajı sağlayacak teknoloji yetkinliklerini geliştirebilmeleri, oyun teknolojilerinin yıkıcı yeniliğinden olumsuz etkilenmemeleri için, bu teknolojileri kendi içlerinde geliştirmek üzere yatırım yapmaları veya oyun teknolojileri geliştiren başlangıç şirketleri, KOBİ'lerle işbirliği yapmaları gerekmektedir. Ayrıca ciddi oyun geliştiren teknoloji

şirketleriyle yapılacak iş birliklerinin, sektörün açık yenilikten elde edeceği faydayı da arttıracağı göz ardı edilmemelidir.

4. KAYNAKÇA

[1] Abt, C., (1970), Serious Games, New York:The Viking Press.

[2] Zyda, M., (Eylül 2005), From visual simulation to virtual reality to games, IEEE *Computer, 38 (9), 25-32.*

[3] Petridis, P., Hadjicosta, K., Guang V.S., Dunwell I., Baines T., Bigdeli, A., Bustinza O.F., ve Uren V, (2015), State of the art in business games, *International Journal of Serious Games, 2 (1), 55-69.*

[4] Christensen, C.M, (1997), The Innovator's Dilemma When New Technologies Cause Great Firms to Fail, Harvard Business School Press, Boston.

[5] Christensen, C.M ve Raynor, M.E., (2003), The Innovator's Solution Creating and Sustaining Successful Growth, Harvard Business Review, 189-194.

[6] NATO RTO, (2011), Delivering research and technology for impact , 5-7.

[7] Yu, D., ve Hang, C.C., (2011), Creating technology candidates for disruptive innovation:Generally applicable R&D strategies, *Technovation, 31 (8), 401-410.*

[8] Laamarti, F., Aid, M., ve Saddik, A.E., (2014), An overview of serious games, *Internatonal Journal of Computer Games Technology, (2014).*

[9] Smith, R., (2006), Technology disruption in the simulation industry, *Journal of Defense Modelling and Simulation, 3(1), 3-10.*

[10] Smith, R., (2007), The disruptive potantial of game technologies: Lessons learned from its impact on the military simulation industry, *Research Technology Management, 50 (2), 57-64.*

[11] Psotka, J., (2013), Educational games and virtual reality as disruptive technologies', *Educational Technology and Society, 16 (2), 69-80.*

[12] Rogers, E.M., (1995), Diffusion of Innovation, 4.baskı, New York:Free Press.

[13] Christensen, C.M., (1992), Exploring the limits of the technology S-Curve. Part I:Component technologies, *Production and Operations Management, 1, (4).*

[14] Christensen, C.M., (1992), Exploring the limits of the technology S-Curve. Part II:Architectural technologies, *Production and Operations Management, 1,(4).*

[15] Rogers J., (11 Kasım 2014), Military taps avatars, video game tech, for virtual training', FoxNews.com, published (http://www.foxnews.com/tech/2014/11/11/military-taps-avatars-video-game-tech-for-virtual-training/)

SAVAŞ UÇAĞI PİLOTU EĞİTİMİNDE GÖMÜLÜ EĞİTİM VE CANLI-SANAL-YAPISAL (CSY) EĞİTİM KONSEPTLERİ

Ercan Şahan [(a)], Ediz Çelik [(b)]

[(a)] SDT A.Ş. Galyum Blok Kat 2 No 2 ODTÜ Teknokent, 06531, Ankara, esahan@sdt.com.tr

[(b)] SDT A.Ş. Galyum Blok Kat 2 No 2 ODTÜ Teknokent, 06531, Ankara, ecelik@sdt.com.tr

ÖZ

Savaş uçağı pilotlarının eğitimi için simülasyon teknolojilerinin kullanımı 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Başlangıçta oldukça mekanik uçak maketleri üzerinden temel havacılık ve silah sistemleri eğitimleri yapılabilirken, zamanla elektrik-elektronik sistemler ve sonrasında yazılım teknolojilerinin gelişimi ile birlikte bir savaş ortamının, savaş uçağının ve ilgili teçhizatın gerçekçi ve kapsamlı şekilde modern anlamda uçuş ve görev simülatörleri ile temsil edilebilmesine olanak sağlanmış ve eğitim etkinliği artırılmış, ilgili maliyetler ve riskler önemli ölçüde azaltılmıştır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte savaş uçağı eğitim konseptine daha faydacı ve bütüncül yaklaşan bakış açıları gelişmiş, böylece gömülü eğitim ve Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) eğitim kavramları gelişmeye başlamıştır. Bu makalede, savaş uçağı pilotlarının eğitiminde kullanılan geleneksel simülasyon konseptleri incelenmiş, gömülü ve Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) eğitim konseptlerinin geleneksel konseptlere göre olumlu ve olumsuz olarak nitelendirilebilecek yönleri tartışılmıştır. Bu bağlamda, mevcut uygulamalar örneklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pilot Eğitimi, Simülasyon, Gömülü Eğitim, Canlı-Sanal-Yapısal, CSY

EMBEDDED AND LIVE-VIRTUAL-CONSTRUCTIVE (LVC) TRAINING CONCEPTS IN FIGHTER PILOT TRAINING

ABSTRACT

The simulation technologies in fighter pilot training have been in use since the beginning of 20th century. While basic aviation and weaponry training could be

performed on mechanical aircraft models at the beginning, with the development of electronics and software technologies it has become possible to represent battle fields, fighters and related equipment more realistically and extensively by means of modern flight and mission simulators throughout the century, and thus training efficiency has been improved and related costs and risks have dramatically been decreased. With the advance of technology, more pragmatist and holistic approaches have been developed which resulted in emergence of embedded training and Live-Virtual-Constructive (LVC) training concepts. In this article, conventional simulation concepts used in fighter pilot training are examined and advantages/disadvantages of embedded and LVC training concepts with respect to the conventional concepts are discussed. Contemporary applications are exemplified in this context.

Key Words: Pilot Training, Simulation, Embedded Training, Live-Virtual-Constructive, LVC

1. GİRİŞ

Modelleme; bir sistemin, ilişkinin, yapının, konseptin ya da gerçek dünyaya ait herhangi bir olgunun grafiksel, matematiksel, fiziksel ya da sözel temsili (representation) veya "basitleştirilmiş" bir versiyonu olarak tanımlanır [1]. Seyir sırasında bir savaş uçağı üzerine etkiyen kuvvetler ve yükler arasındaki ilişkinin matematiksel formülü ya da uçak radarının almaç antenine dönen sinyalin gücünü ifade eden radar denklemi sistem modellerinin örnekleridir.

Simülasyon ise; gerçek dünyaya ait bir süreç veya sistem operasyonunun zaman boyutunu da içerecek şekilde taklit/temsil edilmesidir [2]. Böylece, simülasyon kavramının modelleme kavramı ile ilişkisi şu şekilde özetlenebilir: simülasyon, bir modelin zaman ve uzayda çalıştırılması ile elde edilen gözlem ve sonuçlardır. Örneğin, bir savaş uçağının kuvvet/yük modeline bağlı olarak zaman içerisinde konum ve yönelimindeki değişikliklerin hesaplanması uçağın hareketinin simüle edilmesi, simülasyonudur.

Modelleme ve simülasyona ilişkin teknolojiler genel olarak sistem mühendisliği desteği, analiz desteği ve daha yaygın olmak üzere eğitim amaçlı kullanılmaktadır.

Eğitimde simülasyonun kullanımı, eğitilen, eğitim ekipmanları ve eğitim ortamıyla ilişkilendirilebilecek maliyet ve risklerin azaltılmasını ve içerik zenginliği, tekrar edilebilirlik ve ölçülebilirlik gibi olanaklarla eğitim etkinliğinin artırılmasını sağlamaktadır.

Savaş uçağı pilotlarının eğitimi için simülasyon teknolojilerinin kullanımı 20. yüzyılın başlarına kadar uzanmaktadır. Başlangıçta oldukça mekanik uçak maketleri üzerinden

temel havacılık ve silah sistemleri eğitimleri yapılabilirken, zamanla elektrik-elektronik sistemler ve sonrasında yazılım teknolojilerinin gelişimi ile birlikte bir savaş ortamının, savaş uçağının ve ilgili teçhizatın gerçekçi ve kapsamlı şekilde modern anlamda uçuş ve görev simülatörleri ile temsil edilebilmesine olanak sağlanmış ve eğitim etkinliği artırılmış, ilgili maliyetler ve riskler önemli ölçüde azaltılmıştır.

Teknolojinin gelişimiyle birlikte savaş uçağı eğitim konseptine daha faydacı ve bütüncül yaklaşan bakış açıları gelişmiş, böylece gömülü eğitim ve Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) eğitim kavramları gelişmeye başlamıştır.

Bu makalede, savaş uçağı pilotlarının eğitiminde kullanılan geleneksel simülasyon konseptleri incelenmiş, gömülü ve Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) eğitim konseptlerinin geleneksel konseptlere göre olumlu ve olumsuz olarak nitelendirilebilecek yönleri tartışılmıştır. Bu bağlamda, mevcut uygulamalar örneklenmiştir.

2. GELENEKSEL KONSEPTLER

Savaş pilotu eğitiminde kullanılan geleneksel simülasyon teknolojileri, amaçlarına ve gelişmişlik seviyelerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [3]:

- kokpit prosedürleri eğitim sistemleri (CPT),
- havacılık eğitim araçları (ATD),
- temel enstrüman eğitim araçları (BITD),
- uçuş ve seyrüsefer prosedürleri eğitim sistemleri (FNPT),
- entegre prosedür eğitim sistemleri (IPT),
- uçuş eğitim araçları (FTD),
- tam uçuş simülatörleri (FFS)
- tam görev simülatörleri (FMS)

Bu sistemlerden son ikisi dışındakiler, temel seviyede daha teorik ve süreçsel eğitimlerin verilmesinde kullanılmaktadır. Tam uçuş/görev simülatörleri ise, kokpit içerisinden erişilebilen ve eğitim için kritik olan tüm uçak sistemlerinin simülasyonunun yapıldığı ve pilota savaş ortamının ve etkilerinin (görsel, işitsel, hareket yoluyla) belli sadakat seviyelerinde (fidelity) yansıtıldığı modern sistemlerdir.

Tam uçuş/görev simülatörleri [bkz. Şekil 1] ile savaş ortamında bulunabilecek dost ve düşman unsurları temsil eden kara, hava ve deniz platformları ile bunlar üzerindeki sensör, silah, karşı tedbir ve haberleşme sistemleri simüle edilebilmekte, pilotun kendi uçağı üzerindeki sistemler ile dış dünya ile etkileşimi zengin bir içerikle canlandırılabilmektedir.

Thales Tam Uçuş Simülatörü

F-35 Tam Görev Simülatörü

Şekil 1. Tam Uçuş/Görev Simülatörleri

Kokpit dışındaki dünyanın arazi, deniz ve hava koşullarının görsel, işitsel ve uçak üzerindeki etkileri simüle edilebilmektedir. Bu amaçla, pilota savaş ortamının gerektirdiği duyusal referansların sağlanabilmesi için yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu görüntüleme teknolojileri (ayna, perde, projeksiyon, görüntü üreteci, 3 boyutlu modeller gibi), ses sistemleri ve hareketli platformlar kullanılmaktadır.

Görsel sistemlerin kullanımıyla görüş menzilinde (Within Visual Range - WVR) sanal tehdit ve hedeflere angajmanlar gerçekleştirilebilmektedir.

Dağıtık simülasyon mimarileri ve kablolu iletişimin yüksek kapasite ve hız özellikleri kullanılarak farklı coğrafi bölgelerde konuşlu simülatör sistemlerinin aynı simüle savaş ortamı içerisinde etkileşimli olarak eğitim icra edebilmelerine olanak sağlanmaktadır.

Eğitimin, simülatörlerin konuşlandırıldığı kontrollü alanlarda yapılması dolayısıyla, kazalara bağlı hasar, yaralanma ve can kayıpları riski asgariye indirilebilmekte, eğitimde gerçek sistemler yerine simülatörlerin kullanılması dolayısıyla yıpranma, yakıt ve diğer operasyonel maliyetler azaltılmaktadır.

3. GÖMÜLÜ EĞİTİM KONSEPTLERİ

Gömülü eğitim, bir ekipmanın işletilmesi ve idamesinde gerekli yeteneklerin geliştirilmesi ve sürdürülmesi için operasyonel sistemler üzerine entegre edilen ilave sistemlerle sağlanan eğitimdir [4].

Bu tanımdan yola çıkarak, savaş uçağı pilotu eğitiminde gömülü eğitim, pilotun gerçek uçuş koşullarında, olası görevlerine ilişkin durum farkındalığı, angajmanlar, uygulanacak karşı tedbir ve manevraların barış zamanında egzersiz edilmesini sağlamak

üzere uçak üzerine entegre edilen eğitim sistemleri ile eğitilmesi olarak tanımlanabilir [bkz. Şekil 2].

Şekil 2. NLR (Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium) Konsept Görseli [5]

Uçağa yönelen tehditlerin ve göreve ilişkin hedeflerin simüle edilerek, bunların algılanması için yine pilotun gerçek operasyonda kullandığı alt sistemlerin (radar, radar ikaz alıcı ve füze uyarı sistemi gibi) kullanılması ve benzer şekilde pilotun bunlara karşı angajmanlarının ve karşı tedbirlerin gerçek sistem arayüzleri (atış kontrol radarı, silah/mühimmat kontrolleri ve chaff/flare salma sistemleri gibi) ile kontrol edilmesi ve etkilerinin simüle edilmesi gömülü eğitim konseptinin temel unsurları olarak görülebilir.

Böyle bir eğitimin gerçekleştirilebilmesi için destek unsurlar olarak; görev planlama, görev izleme, görev kayıt ve görev sonrası gözden geçirme işlevleri de gömülü eğitim konsepti içerisinde yer alan kavramlardır.

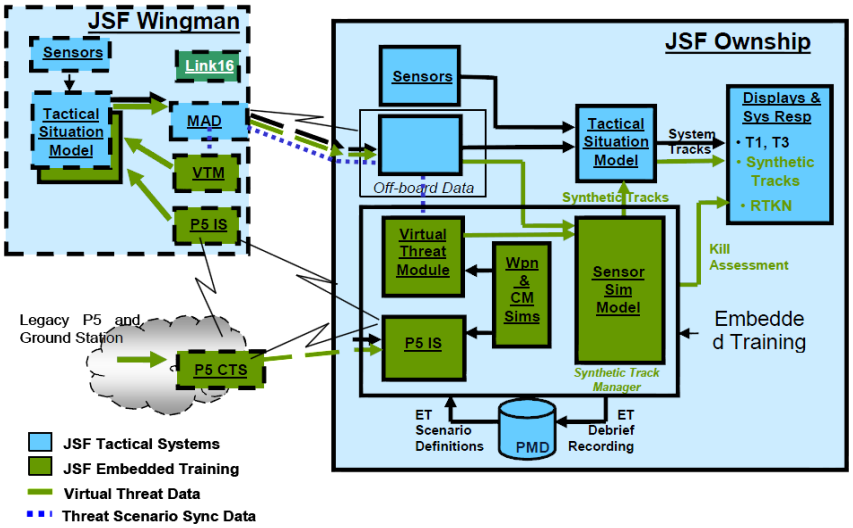
Tipik bir gömülü savaş uçağı eğitim sistemi, eğitim senaryolarının planlandığı, uçağa yüklemeler için gerekli arayüzlerin/medyaların bulunduğu ve kaydedilen eğitim verilerinin değerlendirilmesi ve yeniden oynatılmasını sağlayan bir yer istasyonundan ve uçağa mekanik, elektriksel ve yazılımsal olarak entegre edilmiş bir hava biriminden oluşur.

Hava biriminin uçağa entegrasyonunda, iki temel yöntem uygulanabilir: uçak içi bir alt-sistem olarak entegrasyon veya harici yük formunda entegrasyon. Her iki durumda da uçağa kazandırılacak gömülü eğitim yeteneğinin kapsamı uçak üzerinde mevcut bulunan sistemlerin (radar, radar ikaz alıcı, füze uyarı sistemi, silah kontrol sistemleri, görüntüleme sistemleri (MFD gibi), görev bilgisayarı gibi) entegrasyona açıklığı ile sınırlıdır. Bu nedenle yeni nesil savaş uçaklarında gömülü eğitim sistemi standart bir alt-sistem olarak görülmekte ve uçak tasarımları yapılırken bu sistemin entegrasyonu da göz önünde bulundurulmaktadır [6].

Hava birimi, görev bilgisayarı kaynakları üzerinde çalışan yazılım modülleri olabileceği gibi, görev bilgisayarı ve diğer alt-sistemlerle iletişim gerçekleştiren ayrı bir işlemci

birimi olarak da tasarlanabilir. Her durumda, hava birimi simülasyon kapsamında iki temel fonksiyonu yerine getirir: taktik ortamın simülasyonu ve uçak sistemlerinin simülasyonu.

Taktik ortamın simülasyonu, planlanan eğitim senaryosu içerisindeki sanal platformların ve bunların mühimmat, sensör ve karşı tedbir gibi sistemlerinin simüle edilmesinden sorumludur. Uçak sistemlerinin simülasyonu ise pilottan alınan komutlar doğrultusunda uçak sensör, mühimmat ve karşı tedbir sistemleri simülasyonunun gerçek sistemlerle entegre bir şekilde (radar ekranında hem gerçek hem sanal unsurların birlikte gösterilmesi gibi) çalışmasını ifade eder. Örnek bir gömülü eğitim sistemi mimarisi Şekil 3' te gösterilmiştir.



Şekil 3. F-35 Gömülü Eğitim Blok Diyagramı [6]

Savaş uçağı pilotu eğitiminde gömülü eğitimin kullanılması durumunda, dış dünyanın sanal unsurlarla görselleştirilmesindeki zorluklar ve uçuş güvenliğine yönelik değerlendirmeler konseptin görüş menzili dışındaki (Beyond Visual Range – BVR) hedef ve tehditlere yönelik olarak sınırlandırılmasını gerektirmiştir. Benzer şekilde farklı atmosferik koşulların simüle olarak yaratılması ve görüntülenmesi de mümkün olamamaktadır.

Bu bakımlardan tam görev simülatörleri ile yapılan eğitimlerde sağlanan içerik zenginliği gömülü eğitim sistemleri ile aynı oranda karşılanamamaktadır. Ancak, görüntüleme teknolojilerinin uçuş güvenliğini olumsuz etkilemeyecek şekilde gelişen çizgisi yakın gelecekte görsel içerik olarak daha zengin senaryoların gömülü eğitim konsepti içerisinde de kullanımına olanak verecektir.

Gömülü eğitim sistemleri, maliyet ve risk etkinliği bakımından tam görev simülatörlerinin gerisinde kalsalar da belli seviyede uçuş eğitimlerini tamamlamış pilotlar için harbe hazırlık eğitimin gereği olarak gerçek uçuş koşullarında hali hazırda

zaten yapılan angajman eğitimlerinin simüle mühimmat ve karşı tedbir sistemlerinin kullanımı ile daha az riskli ve maliyetli olarak yapılabildiği değerlendirilmelidir.

Tam görev simülatörlerinin hareketli platformlar ile belli sadakat seviyesinde sağlayabildiği uçak hareketi ve pilot üzerindeki yük etkileri, gömülü eğitim konseptinde çözülmesi gereken bir problem olarak dahi yer almamaktadır. Bu bakımdan, en yüksek sadakat seviyesi olan "gerçeklik", gömülü eğitim konseptinde sağlanmış olmaktadır.

4. CSY EĞİTİM KONSEPTLERİ

Eğitim simülasyonları; canlı (live), sanal (virtual) ve yapısal (constructive) kategorizasyonu içerisinde değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, canlı simülasyon kavramı, gerçek oyuncuların gerçek ortamlarda ve gerçek sistemlerle eğitim aldığı simülasyon tipini ifade eder [7]. Savaş uçağı pilotu eğitiminde canlı simülasyon, gömülü eğitim ile ifade edilen eğitimin önemli bir parçasını oluşturur.

Sanal simülasyon kavramı, gerçek oyuncuların sentetik ortamlarda ve simüle sistemler kullanarak eğitim alması esasına dayanır [7]. Tam uçuş/görev simülatörleri sanal simülasyon konseptinin bir örneğidir.

Yapısal simülasyon ise simüle oyuncuları, sentetik ortamı ve simüle sistemleri içeren simülasyon uygulamalarıdır [7]. Genel olarak, taktik eğitim verilmesine olanak verecek şekilde askeri birlik seviyesinde unsurların simüle edildiği uygulamalar yapısal simülasyonun örnekleridir.

Bu üç simülasyon tipini birlikte içeren eğitim konsepti Canlı-Sanal-Yapısal (CSY) eğitim olarak anılmaktadır.

CSY konseptinde, gömülü eğitim sistemi ile eğitim alan pilotların yer istasyonlarının dağıtık simülasyon kabiliyetleri dahilinde yerde konuşlu tam uçuş/görev simülatörleri ve taktik seviye komuta kontrol eğitim simülatörleri ile birlikte aynı simülasyon ortamında eğitim almaları mümkün olmaktadır. Ayrıca, yüksek kapasiteli veri bağı (data link) teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte gömülü eğitim kabiliyetine sahip birden fazla unsurun gerçek uçuş koşullarında bu eğitime katılabilmelerine olanak sağlanmaktadır. Bu konsept, gömülü eğitim ve geleneksel teknolojilerin tüm avantajlarını bir araya getirmesi bakımından önemlidir.

2009 yılında yapılan bir araştırmada [8], CSY konsepti ile ilişkilendirilebilecek teknik zorluklar arasında birlikte çalışabilirlik (interoperability) ve güvenlik sıralanmıştır.

Birlikte çalışabilirlik konusunda geleneksel eğitim simülasyonları için DIS, HLA ve TENA gibi standartlar dağıtık simülasyon mimarileri kapsamında olgunlaşmış olsa da özellikle farklı ülkelere ait gömülü eğitim sistemlerinin birlikte çalışabilirliği konusunda problemler yaşanabilmektedir. Özellikle ACMI (Air Combat Maneuvering

Instrumentation) sistemleri ile gömülü eğitim kabiliyetinin kazanıldığı uçakların aynı simülasyon ortamında birlikte çalışabilmeleri sistemin veri bağı özelliklerinin (frekans ve protokol gibi) aynı olmasına bağlıdır. ACMI podlarının birlikte çalışabilirliğine yönelik tasarım/tedarik yaklaşımlarını teşvik etmek amacıyla NATO bünyesinde AACMI Çalışma Grubu kurulmuştur [9].

ACMI podu, daha önce hava birimlerinin uçağa entegrasyonu bağlamında bahsedilen ve uçağa harici yük formunda entegre edilen sistemi ifade etmektedir. ACMI podları;

- GPS/INS birimleri ile uçaktan bağımsız olarak pozisyon ve yönelim bilgisi üretebilmesi
- işlemci birimleri ile simülasyon verilerinin uçak kaynaklarını kullanmadan işleyebilmesi
- veri bağı ile uçağın haberleşme sistemlerine bağımlı olmadan diğer podlar ve yer istasyonları ile iletişim kurabilmesi
- veri kayıt üniteleri vasıtasıyla bağımsız olarak ve yüksek kapasitede veri kaydedilebilir olması
- ve kripto çözümleri ile güvenli haberleşme sağlayabilmesi

bakımlarından CSY konsepti içerisinde otonom ve uçaktan bağımsız bakım-onarım süreçleri işletilebilen bir eğitim sistemi çözümü sunmaktadır.

5. SONUÇ

Savaş uçağı pilotlarının eğitiminde geleneksel ve yenilikçi imkanları birleştiren gömülü ve CSY eğitim konseptleri, ulusal ve uluslararası platformlarda daha fazla ilgi görmeye başlamakta ve teknoloji geliştiriciler bu makalede adreslenen teknik konularla (görselleştirme, entegrasyon, sadakat seviyesi, birlikte çalışabilirlik, veri bağı, güvenlik gibi) ilgili yeni yaklaşımlar ve çözümler sunmaya teşvik edilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] http://www.businessdictionary.com/definition/model.html

[2] J. Banks, J. Carson, B. Nelson, D. Nicol (2001). Discrete-Event System Simulation. Prentice Hall. p. 3.

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/Flight_simulator#Training_for_pilots

[4] Finley, D. L., Alderman, I.N., Peckham, D. W. & Strasel, H. C. (1988). Implementing Embedded Training (ET). Volume 1. Overview (Research Product 88-12). Alexandria, VA: U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.

[5] http://annualreport.nlr.nl/2009/en/industry/embedded-training-for-the-jsf/

[6] Dr. C. G. Bills, B. Flachsbat, S. Kern, D. Olson (2009). F-35 Embedded Training. RTO-MP-HFM-169

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Live,_Virtual,_and_Constructive

[8] Funaro, Gregory, "Measures of Effectiveness for Live, Virtual, Constructive Integrated Architectures", 09F-SIW-028 , SISO Conference, 2009

[9] http://www.diehl.com/fileadmin/diehl-defence/user_upload/flyer/FPR_Flyer.pdf

SİMÜLASYON DENEYLERİ TASARIMI: BİR SİMÜLASYON MODELİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRMALI ÇALIŞMALAR

Bülent Soykan [(a)], Serpil Erol [(b)]

[(a)] Old Dominion University, Department of Engineering Management and Systems Engineering, Norfolk/Virginia/USA, bsoyk001@odu.edu

[(b)] Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, serpiler@gazi.edu.tr

ÖZ

Simülasyon, karmaşık sistemlerin temel çıktı performans göstergelerinin doğru olarak tahmini için yaygın olarak kullanılan ve genel kabul görmüş bir tekniktir. Ancak, birçok simülasyon modelinin uygulama (koşum) zamanı genellikle yavaştır ve paralel simülasyonlar haricinde her deneyde sadece bir senaryo değerlendirilebilir. İlave olarak, karmaşık yapıdaki gerçek yaşam sistemleri çoğunlukla büyük miktarda girdi parametresi içerir ve bunların çoğu sistemin çıktı performansını etkileme potansiyeline sahiptir. Bu zorluklar ile baş edebilmek için "deney tasarımı" yöntemleri kullanılarak göreceli olarak önemsiz olan girdi parametreleri elenerek faktör sayısı azaltılabilir. Sonuç olarak, girdi parametrelerinin küçük bir kümesi, daha etkin ve etkili bir şekilde incelenebilir ve parametreler arasındaki etkileşimler daha az simülasyon deneyi ile ortaya çıkartılabilir. Ayrıca, simülasyon modellerinin büyük bir çoğunluğu stokastik bir yapıda olduğundan her bir tasarım noktası birçok kez koşturulmalıdır, çünkü tüm girdi değerlerinin belirlenmesi çıktılardaki rassallığı ortadan kaldırmaz. Bu çalışmada, simülasyon deneyleri tasarımı yöntemleri kullanılarak elde edilebilecek fayda ile ilgili farkındalığın artırılması maksadıyla bu yöntemler, geliştirilen bir havayolu operasyonları simülasyon modeli kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Simülasyon Deneyleri Tasarımı, Tam Faktöriyel Tasarım, Kesirli Faktöriyel Tasarım, Merkezi Kompozit Tasarım, Taguchi Ortagonal Dizi.

DESIGNING SIMULATION EXPERIMENTS: COMPARATIVE STUDIES ON A SIMULATION MODEL

ABSTRACT

Simulation is a widely accepted technique to estimate accurately the key output performance measures of complex systems. However, the execution time of a

simulation is usually slow and can only evaluate one scenario at a time (except parallel simulations). Moreover, these kind of complex real-life systems typically involve large number of input parameters which potentially affect the system's output performance. In order to overcome these difficulties "design of experiments" methods can be utilized to reduce the number of input parameters with eliminating the unimportant ones. As a result, a smaller set of input parameters can be examined in a more efficient and effective way and the interactions between these parameters can also be identified. Additionally, due to the fact that most of the simulation models are stochastic in nature, each design point needs to be executed several times, because determination of input values do not eliminate the randomness inherent to the output. In this research, it is aimed to increase the awareness related to the value that could be obtained by using designing simulation experiments' methods and to this end, these methods are studied comparatively by utilizing an actual airline operations simulation model.

Keywords: Designing Simulation Experiments, Full Factorial Design, Fractional Factorial Design, Central Compozite Design, Taguchi Ortagonal Arrays.

1. GİRİŞ

Simülasyon, karmaşık sistemlerin temel çıktı performans göstergelerinin doğru olarak tahmini için yaygın olarak kullanılan ve genel kabul görmüş bir tekniktir. Simülasyon modeli oluşturulduktan sonra benzetimi yapılan gerçek sistemin çeşitli senaryolardaki muhtemel performansının yüksek güven seviyesinde ve kısa bir sürede elde edilebilmesi için etkin yöntemlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden birisi de istatistiksel bir teknik olan "deney tasarımı (design of experiments)" yöntemidir. Simülasyon çalışmaları genellikle sınırlı kaynaklar (zaman, bütçe, insan gücü vb.) kullanılarak yapılır. Bu kaynakların büyük bir çoğunluğunun genellikle simülasyon modelinin geliştirilmesi, doğrulanması ve geçerlenmesi için harcandığı düşünüldüğünde simülasyon modeli ile deneyler yapılması ve girdi parametre değerlerinin belirlenmesi için gerekli kaynakların yeterli olmayacağı açıktır.

Gerçek sistemler ile yapılan deneylerde yaklaşık 10 adetten fazla faktörün eş zamanlı olarak ele alınması zordur. Ancak, simülasyon modelleri ile yapılan deneylerde durum farklıdır, incelenmesi gereken faktör sayısı çok daha fazladır. Simülasyon modeli ile koşumların yapılmasından önce tüm girdi parametrelerine (faktörlere) ait seviyelerin belirlenmesi gerekir. Tüm faktörler ve potansiyel seviyeleri belirlendikten sonra yüksek miktarda muhtemel senaryo elde edilir. Örneğin, her biri 5 seviyede 12 adet faktör incelenecekse, dikkate alınması gereken yaklaşık 25 milyon (5^{12}) farklı senaryo vardır. Simülasyon modelleri ile yapılan deney sayısı, gerçek sistemlerle yapılan deney sayısına oranla çok daha fazladır. Ayrıca, simülasyon modellerinin büyük bir çoğunluğu stokastik bir yapıda olduğundan her bir tasarım noktası birçok kez koşturulmalıdır,

çünkü tüm girdi değerlerinin belirlenmesi çıktılardaki rassallığı ortadan kaldırmaz. Bu nedenlerle, simülasyon modelleri ile yapılacak deneylerin tasarımı, klasik deney tasarımından farklı olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, simülasyon deneyleri tasarımı yöntemleri kullanılarak elde edilebilecek fayda ile ilgili farkındalığın artırılması, geliştirilen bir simülasyon modeli üzerinde çeşitli simülasyon deneyleri tasarımı yöntemlerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesidir. Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde, simülasyon deneyleri tasarımı ile ilgili tanımlar ve karşılaşılan zorluklar; üçüncü bölümde ise, literatürde ve pratikte sıklıkla kullanılan simülasyon deneyleri tasarımı yöntemleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde; üzerinde karşılaştırmalı olarak inceleme yapılan simülasyon modelinin yapısı ve geliştirilme süreci kısaca izah edilmiştir. Beşinci bölümde; simülasyon modeli üzerinde yapılan uygulama çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Son bölümde ise; elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. SİMÜLASYON DENEYLERİ TASARIMI

2.1. Tanımlar

Deney tasarımı, faktörlerin hangi konfigürasyonunun dikkate alınacağına karar verilmesine yardım eden güçlü bir yöntemdir. Deney tasarımında her bir simülasyon çalışması, tasarlanması gereken bir "deney (experiment)" olarak değerlendirilir. Deney tasarımı terminolojisinde simülasyon girdi parametreleri ve simülasyon modeli ile ilgili yapısal varsayımlar "faktörler (factors)"; çıktı performans ölçüleri ise "cevaplar (responses)" olarak ifade edilir. Girdi parametre değerleri ve yapısal varsayımlardan hangilerinin simülasyon modelinde sabit olarak alınacağı, hangilerinin ise deneysel faktör olduğu simülasyon çalışmasının amacına bağlıdır (Kleijnen, 1998). Ayrıca, simülasyon çalışmalarında genellikle birçok farklı performans ölçüsünün dikkate alınması gerekir (Kleijnen, 2007).

Simülasyon deneyleri tasarımında faktörler, genellikle aldığı değerlere bağlı olarak nicel ve nitel olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Nicel faktörler, doğal olarak sayısal değerler alır ve genellikle girdi parametrelerini temsil eder. Nitel faktörler ise, sayısal olarak ifade edilemeyen değerler alır ve genellikle yapısal varsayımları temsil eder (Law, 2014). Örneğin, olasılık dağılım parametre değerleri nicel, herhangi bir alt sistemin detay seviyesi nitel bir faktördür. Deney tasarımı, simülasyon modelini girdileri çıktılara dönüştüren bir "karakutu modeli (blackbox)" olarak ele alır. Her bir simülasyon deneyi, simülasyon modeli faktörlerinin değiştirilmesini, simülasyonun koşturulmasını ve cevapların incelenmesini gerektirir. Tüm faktörler ve potansiyel seviyelerinin oluşturduğu her bir senaryo ise, deney tasarımı literatüründe çoğunlukla "tasarım noktası (design point)" olarak ifade edilir.

2.2. Simülasyon Deneyleri Tasarımında Karşılaşılan Zorluklar

Simülasyon modelinin geliştirme, doğrulama, geçerleme ve test süreçleri tamamlandığında sıra simülasyon modeli ile deneylerin tasarlanmasına gelir. Bu aşama, gerçek bir sistem ile yapılan deney tasarımına nazaran daha zordur. Bu aşamada genellikle karşılaşılan zorluklar aşağıda sıralanmıştır:

- **Muhtemel faktör sayısının fazlalığı**: Basit bir simülasyon modelinde dâhi dikkate alınması gereken birçok potansiyel faktör vardır ve bu faktörlerin birçoğu belirsizlik içerir. Bu faktörler üzerinde deneysel tasarım yöntemlerinin tamsayımının yapılması çok zor ve zaman alıcıdır.
- **Birçok performans ölçüsü**: Gerçek sistemleri modelleyen simülasyon sistemleri ile yapılan deneylerin amacı çoğunlukla birden fazla performans ölçüsünün beklenen değerinin incelenmesini içerir. Ayrıca, birçok simülasyon çıktısının aynı anda analiz edilmesi de gerekebilir.
- **Karmaşık cevap yüzeyi**: Simülasyon deneylerinde benzetimi yapılan sistemin temel karakteristiklerini ortaya koyabilecek basit bir metamodelin ortaya konulması kolay değildir.
- **Zamanla değişen ve birbirine bağımlı çıktı değerleri**: Simülasyonun bitişli veya bitişsiz olmasına dayalı olarak zamanla değişen ve birbirine bağımlı çıktı değerleri üretebilir. Bitişli simülasyon modelleri için eğer nadir olayların benzetimi yapılıyorsa sonuçların birbirine bağımlılık açısından dikkatli incelenmesi gerekir. Bitişsiz simülasyon modelleri için ise, ısınma periyodu uzunluğunun deneyler için gerekli toplam zamanı çoğunlukla etkilediği göz önüne alınmalıdır.
- **Simülasyona özgü faktörler**: Koşum uzunluğu, rassal sayı dizileri, ısınma periyodu uzunluğu, varyans azaltma teknikleri gibi simülasyona özgü faktörler simülasyon deneylerini daha karmaşık bir duruma getirir.

Simülasyon deneyleri genellikle yukarıda belirtilen zorluklar ile karakterize edilir. Literatürde farklı kategorilerdeki deney tasarımlarının uygun olduğu durumlar tartışılsa da her türlü durum için uygulanabilir genel geçer bir deneysel tasarım yönteminin olmadığının vurgulanması gerekir. Simülasyon deneyleri yapılmasının amacı, doğrulama/geçerleme, duyarlılık analizi (sensitivity analysis / factor screening), "Eğer öyleyse (what if)" analizi, optimizasyon veya risk analizi olabilir. Simülasyon deneylerinin tasarımı yöntemlerinin seçiminde, bu amaçlardan hangisinin dikkate alındığı da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür.

3. DENEY TASARIMI YÖNTEMLERİ

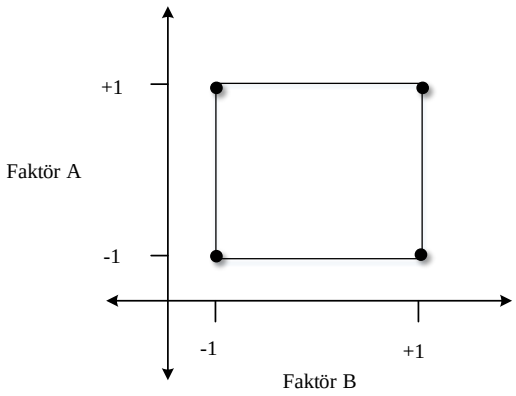
İki veya daha fazla faktördeki değişikliğe simülasyon çıktılarının duyarlılığının (etkisinin) belirlenmesi için "her deneyde bir faktör (one-factor-at-a-time - OFAT)" yöntemi kullanılabilir. Ancak, OFAT yönteminin kullanılması doğru bir yaklaşım

değildir, çünkü bu yöntemde faktörler arasında etkileşim olmadığı varsayılır ve simülasyon uygulamalarında çoğunlukla bu varsayım geçerli değildir (Law, 2014:258; Sanchez, 2005). Bu nedenle, her bir faktörün etkisinin ve faktörler arasındaki karşılıklı etkileşimin sistemli olarak ele alınabilmesi için istatistiksel deney tasarımı yönteminin kullanılması daha etkin ve etkili sonuç üretecektir. Deney tasarımı yöntemlerinden simülasyon uygulamalarında en yaygın kullanılan 3 adet tasarım yöntemi aşağıda sunulmuş ve uygulama çalışmasında da bu tasarımlar kullanılmıştır.

3.1. 2 Seviye (2^k) Tam Faktöriyel Tasarım

2 Seviye (2^k) tam faktöriyel tasarımlar, en yaygın kullanılan deney tasarımlarıdır. "2^k" gösteriminde "*k*" faktör sayısını, "2" ise her bir faktörün seviye miktarını ifade etmektedir. Bu deneysel tasarım yönteminde faktörler ve faktör seviyelerine ilişkin tüm olası kombinasyonların tamamı dikkate alınır. Bu nedenle, faktör veya faktör seviyesi sayısındaki artış ile birlikte deney miktarı aşırı miktarda artar. Bu dezavantajı belirli bir oranda azaltmak için kesirli faktöriyel tasarımlar (2^{k-p}) önerilmiştir. Gösterimdeki "*p*", kesirli kısma karşılık gelmektedir.

2^2 (2 faktör) tam faktöriyel tasarımın grafiksel gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. "-1" ve "+1" sırasıyla bir faktörün düşük ve yüksek seviyelerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, Şekil 1'de cevaplar köşelerde gösterilmiştir.



Şekil 1. 2^k Tam Faktöriyel Tasarımın Grafiksel Gösterimi

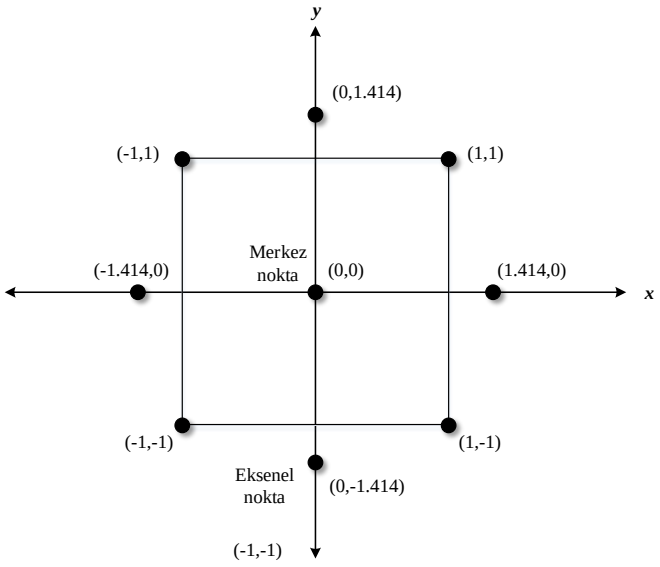
3.2. Ortagonal Dizi Tasarımı

Üç ve daha yüksek derecedeki etkileşimlerin etkisi genellikle önemsiz derecededir ve bu nedenle ihmal edilebilir. Bu kabul esas alınarak oluşturulan kesirli faktöriyel tasarımlardan birisi de sadece ana etkiler ve iki faktör etkileşimlerin etkisini dikkate alan "Ortagonal Dizi (Orthogonal Array)" tasarımıdır. Ortagonal Dizi tasarımlarının gösterimi şu şekildedir: $L_a(b^c)$. Bu gösterimde *a*, deney sayısını; *b*, faktör seviye sayısını; *c* ise, deney matrisindeki sütun sayısını ifade etmektedir. Taguchi tarafından 18 standart Ortagonal Dizi tasarımı geliştirilmesine rağmen bu tasarımların değiştirilerek kullanılması da mümkündür. Bu tasarımlardan hangisinin kullanılacağının tespiti için

öncelikle faktör sayısı ve her bir faktörün seviyesinin belirlenmesi gerekir. Müteakiben de tahmin edilmek istenen iki faktör etkileşimlerin tespit edilmesi ve serbestlik derecesinin hesaplanması gerekir. Hesaplanan serbestlik derecesinden büyük olacak şekilde en az deney sayılı tasarım seçilir. Böylece yapılacak deney sayısı, eldeki problem için gerekli serbestlik derecesine eşit veya daha büyük olması sağlanmış olunur. Uygun tasarım seçildikten sonra bu tasarıma özgü Taguchi tarafından geliştirilen etkileşim tabloları ve doğrusal grafikler kullanılabilir.

3.3. Merkezi Kompozit Tasarım

Simülasyon deneyleri tasarımında sıklıkla kullanılan diğer bir yöntem ise bir Cevap Yüzey Yöntemi (Response Surface Methodology) olan Merkezi Kompozit Tasarım (Central Composite Design – CCD)dır. 2^k faktöriyel (factorial) ve 2^{k-p} kesirli faktöriyel (fractional factorial) tasarımlar her bir faktörü sadece iki seviyede dikkate alır ve bu tasarımlarla sadece ana etkiler ile ikinci derece (second-order) etkileşimler tahmin edilebilir. Ancak, faktör aralıklarının ortasında simülasyonun cevabı ile ilgili bir bilgi sağlayamazlar. 3^k faktöriyel tasarımlar ise, karesel etkilerin tahmin edilmesine imkân sağlar; ancak bu tasarımlar çok fazla deney yapılmasını gerektirir (5 faktör için 3^5 = 243). 2^k faktöriyel / 2^{k-p} kesirli faktöriyel ve 3^k faktöriyel tasarımların bu sınırlılıklarının üstesinden gelmenin yolu CCD kullanılmasıdır. CCD, ikinci derece etkilerin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılan etkin bir deney tasarımı yöntemidir. CCD'nin pratikte sık kullanılmasındaki ana neden; tüm ana etkilerin, 2 faktör etkileşimlerin ve doğrusal olmayan etkileşimlerin (curvature) aynı zamanda incelenmesine imkân sağlamasıdır (Montgomery, 2008). CCD, temel olarak faktöriyel, merkez ve eksenel olmak üzere üç bölümden oluşur. 2 faktörlü bir CCD'nin grafiksel gösterimi Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Merkezi Kompozit Tasarım Grafiksel Gösterimi

4. SİMÜLASYON MODELİ

Bu bölümde üzerinde karşılaştırmalı olarak inceleme yapılan simülasyon modelinin yapısı ve geliştirme süreci açıklanmıştır. Geliştirilen simülasyon modeli temel olarak çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulan havayolu ekip çizelgelerinin gerçek havayolu operasyonları esnasındaki dayanıklılığını (robustness) çeşitli temel performans göstergelerini esas alarak tahmin etmek amacıyla geliştirilmiştir. Havayolu operasyonları karmaşık ve dinamik bir yapıda olduğundan benzetiminin yapılması zor ve maliyetlidir. Tüm havayolu operasyonlarının yüksek doğruluk derecesinde bir simülasyon modeline aktarılması ise imkânsızdır. Dolayısıyla, havayolu operasyonlarının simülasyonu çalışmaları, karmaşıklık ile gereklilik arasında bir dengenin kurulmasına ve modelin amacı için yeterli seviyede detaya inilmesine ihtiyaç gösterir. Çünkü simülasyonun karmaşıklığı arttıkça tasarım, geliştirme, uygulama, doğrulama ve geçerleme süreci zorlaşacak, daha fazla zaman alacak ve maliyetleri artıracaktır.

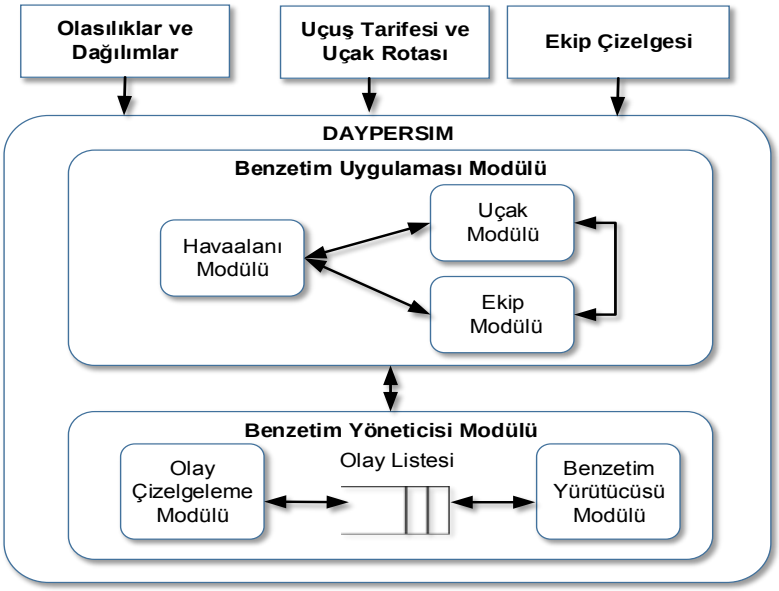
Çeşitli optimizasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulan havayolu ekip çizelgelerinin arzu edileni ne kadar başaracağının ve bu çizelgeler uygulamaya konulduğunda operasyonel maliyetlere etkisinin ne derecede olacağının tahmin edilmesi maksadıyla geliştirilen kesikli olay simülasyon modeli "Dayanıklı Performans Simülasyonu (DAYPERSİM)" olarak adlandırılmıştır. DAYPERSİM ile çizelgelerin uygulanmasındaki dinamik etkileşimleri dikkate alan ve uygulama esnasında oluşabilecek aksaklıkların simülasyonunu yapabilen bir modelin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

DAYPERSİM temel olarak dört adımda geliştirilmiştir. İlk adımda, gerçek havayolu operasyonları bir sistem olarak ele alınarak havayolu ekip çizelgelerinin dayanıklılığının ölçülmesi amacı doğrultusunda sınırları belirlenmiş, sistem elemanları arasındaki etkileşim ortaya konmuş ve sistemin davranışı ile ilgili veriler toplanmıştır. Ayrıca, bu adımda simülasyon modeli ile ilgili varsayımlar ortaya konmuş ve girdi parametre değerleri tespit edilmiştir. İkinci adımda, herhangi bir programlama dilinden bağımsız olarak nesnel tabanlı tasarımı yapılmış ve kavramsal bir model oluşturulmuştur. Üçüncü adımda, oluşturulan kavramsal tasarım yüksek seviye bir programlama dilinde (C++) uygulamaya geçirilmiştir. Dördüncü adımda, modelin gerçeğe uygun veriler üretip üretmediğinin testi için deneme koşumları yapılmış ve doğrulama / geçerlemesi tamamlanmıştır. Bu dört adım sonunda, DAYPERSİM deneysel çalışmalar için hazır hale gelmiştir.

4.1. DAYPERSİM'in Yapısı

DAYPERSİM, tek bir havayolu işletmesinin uçak ve ekip hareketlerinin benzetimini yapabilmektedir. DAYPERSİM, her bir bileşenin işlevinin bağımsız olarak tanımlanabilmesi ve kullanımda esneklik sağlaması amacıyla modüler bir yapıda

tasarlanmıştır. Model, Benzetim Yöneticisi ve Benzetim Uygulaması olmak üzere iki ana modülden oluşmaktadır. Modüllerinin kavramsal yapısı Şekil 3'de sunulmuştur.



Şekil 3. DAYPERSİM'in Modüler Yapısı

Benzetim Yöneticisi modülü, DAYPERSİM'in temelini oluşturmaktadır ve kesikli olay simülasyon sisteminin yönetilmesinden sorumludur. İlk Giren - İlk Çıkar (FIFO – First In First Out) kuyruk sistemine göre bir olay listesi tutulması, simülasyonun yürütülmesi, olayların çizelgelenmesi ve simülasyon saatinin takibi, bu modülün kontrolü altında icra edilir. Bu modülün içerisinde Benzetim Yürütme ve Olay Çizelgeleme olmak üzere iki alt modül bulunmaktadır. Benzetim Yürütme alt modülü, simülasyon saatine uygun olarak olay listesinde yer alan olayların sırasıyla icra ettirilmesinden sorumludur. Olay Çizelgeleme alt modülü ise, diğer modüller tarafından üretilen olayların çizelgelenmesi ve olaylar listesinin buna göre güncellenmesinden sorumludur.

Benzetim Uygulaması modülü içerisinde ise, havaalanı, uçak ve ekip olmak üzere üç alt modül yer almaktadır. Benzetim Uygulaması modülü, Benzetim Yöneticisi ile "Benzetim Nesnesi" olarak adlandırdığımız ara yüzler ile iletişim kurar. Bu ara yüzler DAYPERSİM'in modüler bir yapıda olmasını sağlamaktadır.

4.2. Doğrulama / Geçerleme Çalışması

Kavramsal modelin oluşturulan bilgisayar programına doğru şekilde aktarılıp aktarılmadığını ve DAYPERSİM'in tasarıma uygun olup olmadığını test etmek amacıyla, model doğrulanmaya çalışılmıştır. Simülasyon modelinin doğruluğuna, kurulan modelin alt modellerinin adım adım doğruluğunun test edilmesi ile

başlanmıştır. Alt modellerin doğru çalıştığı gözlendikten sonra tüm modelin doğruluğu kontrol edilmiştir. Bu maksatla, gerçek bir veri seti elde edilmiş ve bu veri setinde yer alan uçuşlardan bir kısmı seçilerek oluşturulmuş ufak bir veri seti üzerinde model çalıştırılmıştır. Simülasyon kodu öncelikle fonksiyonel seviyede test edilmiş, müteakiben de tüm durumlarda doğru sonuçlar ürettiğinden emin olmak için değişik uçuş senaryoları oluşturularak test edilmiştir. Testler sonucunda, geliştirilen bilgisayar programının kavramsal modele uygun olarak çalıştığı görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, simülasyon sistemlerinin geçerli olup olmadıklarının belirlenmesinde, görünüm geçerliliği (face validity) ve istatistiksel geçerlilik olmak üzere iki temel yöntemin kullanıldığı görülmektedir. Görünüm geçerliliğinde, geliştirilen simülasyon modelinin en azından görünüşte gerçeği yansıtıp yansıtmadığının tespiti yapılmaktadır. İstatistiksel geçerlilikte ise, geliştirilen simülasyon modelinden alınan veriler ile gerçek sistemden alınan verilerin nicel olarak karşılaştırılması yapılmaktadır.

DAYPERSİM, modelin çıktıları ile gözlemlenen gerçek verilerin uyumluluğundan emin olmak için öncelikle görünüm geçerliliği yapılmış, müteakiben de istatistiksel tutarlılık testi ile geçerlenmiştir. Görünüm geçerliliği için, uzman bir personel tarafından simülasyon çıktıları ile gerçek veriden elde edilen bilgiler arasında bir fark olup olmadığı incelenmiş ve yapısal bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Uzman personel, DAYPERSİM'in kabul edilen varsayımlar çerçevesinde arzu edilen ölçüde gerçekçi çalıştığını ve mantıklı sonuçlar ürettiğini teyit etmiştir. İstatistiksel tutarlılık testi ise, elde edilen veri setindeki gecikme değerleri ile simülasyon sonucu elde edilen gecikme değerleri karşılaştırılarak yapılmıştır. Uygulanan eşleştirilmiş-*t* (paired-*t*) yaklaşımı sonucunda % 95 seviyede güven aralığı [-7,132; 2,08] olarak bulunmuştur. Güven aralığı 0'ı içerdiği için DAYPERSİM'in istatistiksel olarak gerçek sistemin iyi bir temsili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışmasında simülasyon deneyleri tasarımı yöntemleri kullanılarak simülasyon modelinin duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi ile DAYPERSİM'de beklenen performans göstergelerine en ciddi etkiyi yapan ve sistemin performansını etkileyen en önemli faktörlerin (girdi parametrelerinin) ve etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan duyarlılık analizi çalışmasında benzetimdeki rassallığın kontrol altına alınabilmesi için, yapılan tüm deneylerde ortak rassal sayılar kullanılmıştır. Böylece, herhangi bir faktörün değiştirilmesi sonucu oluşan etkinin diğer değişikliklerin etkisi ile karışması engellenmiştir.

Deney tasarımında incelenen benzetimin cevapları (performans göstergesi, çıktısı) uçuşların "tam zamanında varış (TZV) oranı" ve "toplam gecikilen süre"dir. Deney tasarımı çalışmasında öncelikle tasarım parametreleri (faktörleri) ve aralıkları (faktör

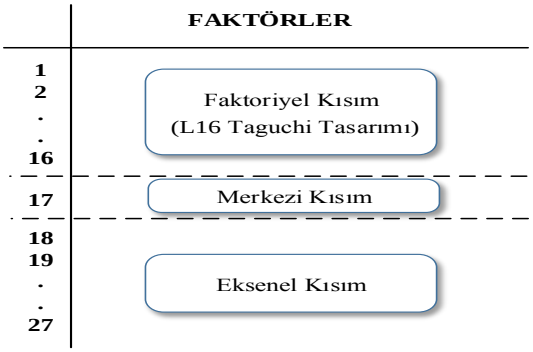
seviyeleri) belirlenmiştir. Benzetimin ana faktörleri ve seviyeleri, Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de görüldüğü gibi A, B, C, D ve E olarak kodlanan 5 faktör belirlenmiştir.

Belirlenen faktörlerden üç adedi (A, B, C) simülasyon modelinde yer alan girdi parametre değerlerine karşılık gelmektedir. A ile kodlanan "Maliyet-etkinlik kısıtındaki sabit değer", havayolu ekip çizelgeleri optimizasyon yöntemleri kullanılarak oluşturulurken maliyetten hangi oranda ödün verilebileceğini temsil eden bir katsayıyı ifade etmektedir. Sırasıyla B ve C ile kodlanan "Büyük/küçük şehirler için maliyet katsayıları" ise, havayolu ekiplerinin büyük veya küçük bir şehirde konaklamaları durumunda katlanılacak farklı maliyet değerlerine karşılık gelmektedir.

Tablo 1. Faktör Kodlaması

Faktör Kodu	**Faktör Tanımı**	**Faktör Seviyeleri**	
		-1	**1**
A	Maliyet-etkinlik kısıtındaki sabit değer	0,4	0,8
B	Büyük şehirler için maliyet katsayısı	30	80
C	Küçük şehirler için maliyet katsayısı	15	40
D	Benzetimin uzunluğu (hafta)	6	10
E	Benzetimin koşum sayısı	600	800

Deneysel çalışmada simülasyon modeli ile her bir deney tasarımı yöntemi kullanılarak deneyler yapılmış ve elde edilen regresyon istatistikleri karşılaştırılmıştır. 2 Seviye (2^k) Tam Faktöriyel Tasarımda tüm ana etkiler ve iki faktör etkileşimler dikkate alınmıştır. Ortagonal Dizi Tasarımda serbestlik derecesini karşılayan en az deney sayılı tasarım olan $L_{81}(3^{40})$ Taguchi tasarımı seçilmiş ve tasarıma özgü Taguchi tarafından geliştirilen etkileşim tabloları ve doğrusal grafikler kullanılmıştır. Uygun bir CCD'nin oluşturulması için ise her birisi iki seviye olan faktörlere merkez (0 sütunu) ve eksenel (-2 ve 2 sütunları) sütunları eklenmiştir (Tablo 2). CCD ile Tam Faktöriyel ve Taguchi Ortogonal Dizi tasarımlarına oranla deney sayısı önemli derecede azdır. Tasarlanan CCD, L_{16} Taguchi tasarımı (kesirli faktöriyel tasarım), merkez ve eksenel noktalardan ve toplam 27 tasarım noktasından oluşmaktadır. Bu simülasyon ile tasarım matrisinde yer alan her bir faktör kombinasyonu ile toplam 27 deney yapılması anlamına gelmektedir. Oluşturulan CCD tasarım matrisinin genel gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Merkezi Kompozit Tasarım

Tablo 2. CCD için Faktör Kodlaması

Faktör Kodu	Faktör Tanımı	Faktör Seviyeleri				
		-2	**-1**	**0**	**1**	**2**
A	Maliyet-etkinlik kısıtındaki sabit değer	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
B	Büyük şehirler için maliyet katsayısı	10	30	50	80	100
C	Küçük şehirler için maliyet katsayısı	5	15	25	40	50
D	Benzetimin uzunluğu (hafta)	4	6	8	10	12
E	Benzetimin koşum sayısı	500	600	700	800	900

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde ve ilgili faktörlerin etkilerinin incelenmesinde ana faktör etkileri, etkileşim etkileri ve regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizi için Microsoft Excel 2013 Data Analysis ve Solver modülleri kullanılmıştır. Regresyon analizi istatistikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Regresyon Analizi İstatistikleri

Yöntem	Yapılan Deney Adedi	Cevap	R Kare Değeri (R Square)	Düzeltilmiş R Kare Değeri (Adjusted R Square)	Etkin Parametreler ($p<0.05$)
TFT	243	TZV oranı	0,9882	0,9554	A, D, A^2, D^2
		Toplam gecikilen süre	0,9984	0,9687	A, D, D^2
ODT	81	TZV oranı	0,9673	0,9461	A, D, A^2, D^2
		Toplam gecikilen süre	0,9758	0,9578	A, D, D^2
CCD	27	TZV oranı	0,9462	0,8976	A, D, A^2, D^2
		Toplam gecikilen süre	0,9674	0,9152	A, D, D^2

Tablo 3'de görüldüğü üzere her üç yöntem ile yapılan deneylerde TZV oranı ve toplam gecikilen sürenin model uyumu oldukça iyi seviyededir. 0,05 anlamlılık seviyesinde maliyet-etkinlik kısıtındaki sabit değer ve simülasyon uzunluğunun performans göstergelerini etkileyen güçlü parametreler olduğu görülmektedir. Bu da, maliyet-etkinlik kısıtındaki sabit değeri yani dayanıklılık ölçüsünün ve simülasyon uzunluğu yani eldeki geçmiş veri büyüklüğünün cevap yüzeylerine (simülasyon sonucunda elde edilen performans göstergelerine) etkisinin büyük olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak; elde edilen sonucun kalitesinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalma olmadan toplam 27 deney yapılan CCD yöntemi ile deney sayısında ciddi kazançlar sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

6. SONUÇ

Simülasyon, dinamik ve karmaşık sistemlerin modellenerek sistem içerisinde farklı yaklaşımların değerlendirilmesine imkân veren etkili bir yöntemdir Simülasyon ile gerçek yaşamda karşılaşılan problemler, en az varsayımla, gerçeğe yakın olarak modellenebilir. Bu modellerin çeşitli senaryolardaki muhtemel performansının yüksek güven seviyesinde ve kısa bir sürede elde edilebilmesi için istatistiksel bir teknik olan deney tasarımı yöntemi kullanılması büyük avantajlar sağlama potansiyeline sahiptir.

Havayolu operasyonlarının benzetimi için geliştirilen bir simülasyon modeli üzerinde yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda, etkin deney tasarımı yöntemleriyle daha az deney yaparak yaklaşık aynı kalitede sonuçlar alınabileceği görülmüştür.

7. KAYNAKÇA

[1] Law, A. M. (2014). Simulation modeling and analysis (5th ed.): McGraw-Hill.

[2] Kleijnen, J. P. (2008). Design of experiments: overview. In Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter (pp. 479-488). IEEE.

[3] Kleijnen, J. P., Sanchez, S. M., Lucas, T. W., & Cioppa, T. M. (2005). State-of-the-art review: a user's guide to the brave new world of designing simulation experiments. INFORMS Journal on Computing, 17(3), 263-289.

[4] Sanchez, S. M. (2005). Work smarter, not harder: guidelines for designing simulation experiments. In Proceedings of the 37th conference on Winter simulation (pp. 69-82). Winter Simulation Conference.

[5] Sanchez, S. M., & Wan, H. (2009). Better than a petaflop: The power of efficient experimental design. In Winter Simulation Conference (pp. 60-74). Winter Simulation Conference.

[6] Cioppa, T. M., Lucas, T. W., & Sanchez, S. M. (2004). Military applications of agent-based simulations. In Simulation Conference, 2004. Proceedings of the 2004 Winter (Vol. 1). IEEE.

[7] Montgomery, D. C. (2008). Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons.

MVVM TASARIM DESENİ TEMELLİ HİYERARŞİK KULLANICI ARAYÜZÜ GEÇERLEME ALTYAPISI

Hakan Bağcı [(a)], Ahmet Can Bulut [(b)], Ahmet Kara [(c)]

[(a)] [(b)] [(c)] TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN, Ankara

{hakan.bagci,ahmetcan.bulut,ahmet.kara}@tubitak.gov.tr

ÖZ

Simülasyon projelerinde kullanıcı arayüzlerinde girilen verilerin belirli kurallara göre geçerlenmesi ve gerekli hata ve uyarı bildirimlerinin kullanıcıya gösterilmesi ihtiyaç olagelmiştir. Modellerin doğru çalışabilmesi için öncelikli ihtiyaç ilklendirme parametrelerinin geçerli olarak sağlanmasıdır. Geçerleme kuralları sadece bir parametre ile ilgili olabildiği gibi karmaşık arayüzlerde birçok parametreyle de ilgili olabilmektedir. Ayrıca bu parametreler belirli gruplara ayrılarak bu gruplar arasında hiyerarşi oluşturulduğunda üst grupların geçerliliği alt gruplara bağlı olabilmektedir. Bu durumda geçerlemelerin hiyerarşik olarak yapılıp üst gruplara bildirilmesi gerekmektedir. Simülasyon projelerinde kullanıcıların senaryo tanımlaması için uyması gereken birçok karmaşık kural tanımlanmaktadır. Bu makalede bu tür ihtiyaçları karşılamak için MVVM (Model-View-ViewModel) tasarım deseni temel alınarak geliştirilmiş hiyerarşik kullanıcı arayüzü geçerleme altyapısı (Hier-MVVM) önerilmektedir. Hier-MVVM, MVVM tasarım deseninin temel öğelerinden biri olan görüntü modellerini geçerlenebilir kılmaktadır. Bu görüntü modelleri arasında ilişkiler kurarak geçerlemelerin hiyerarşik bir biçimde üst görüntü modellerine aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Hier-MVVM sadece gerekli yerlerde ve gerektiği zaman geçerlemelerin yapılmasını sağlar. Ayrıca liste geçerlemelerini daha verimli hale getirmek için çözümler sunar. Hier-MVVM'in geçerleme sisteminde dikkate aldığı bu iki temel husus onu çok parametreli karmaşık sistemlerde hiyerarşik geçerleme için iyi bir aday haline getirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hiyerarşik Geçerleme, MVVM, Simülasyon, Veri Geçerleme, Yazılım Altyapısı

HIERARCHICAL USER INTERFACE VERIFICATION FRAMEWORK BASED ON MVVM DESIGN PATTERN

ABSTRACT

Verification of input parameters and user notification with warning and error messages is a major need in simulation software projects. Verified initialization parameters are the first step of valid model execution. Verification rules may depend on a single parameter, but sometimes may depend on multiple parameters on complex user interfaces. Hierarchically grouping of parameters let verification done based on sub-groups. Lots of complex rules exist to define a scenario in simulation software projects. To overcome these needs we propose a hierarchical user interface verification framework (Hier-MVVM) that is based on MVVM (Model-View-ViewModel) design pattern. Hier-MVVM lets ViewModels of MVVM verifiable. It manages relationships between ViewModels to reflect verification results hierarchically in parent ViewModels. Hier-MVVM lets verification done only in required ViewModels at required times. It also supports list verifications done efficiently. These two design concerns of Hier-MVVM let it to be a good candidate in simulation software with multiple parameters and hierarchical verification.

Keywords: Data Verification, Hierarchical Verification, MVVM, Simulation, Software Framework

1. GİRİŞ

Günümüzde yazılım sistemlerinin karmaşık hale gelmesiyle beraber bu sistemleri yönetmek için kullanılan kullanıcı arayüzleri de karmaşık hale gelmeye başlamıştır. Özellikle girilen verilerin tanımlanmış kurallara göre geçerlenmesinin gerektiği durumlarda kullanıcı dostu arayüzler geliştirmek zor bir problem halini almıştır. Bu verilerin hiyerarşik olması ve farklı seviyelerdeki parametre gruplarındaki hata/uyarıların diğer seviyeleri de etkilemesi gibi durumlar ortaya çıktığında bu problem daha da zor hale gelmektedir. Bu nedenle bu problemi jenerik bir şekilde çözen altyapıların geliştirilmesi son zamanlarda büyük önem kazanmıştır.

Simülasyon projeleri gibi kullanıcıların senaryo tanımlaması için uyması gereken birçok karmaşık kuralın bulunduğu yazılımlarda bu tür durumlarla çok sık karşılaşılmaktadır [6]. Bu problemin çözümüne yönelik araştırma grubumuz tarafından yakın geçmişte farklı çözümler de geliştirilmiştir [7,8].

Kullanıcı arayüzü geliştirirken belirli bir tasarım deseni kullanmak geliştirme sürecini daha kolay hale getirmektedir. Buradan yola çıkarak MVP (Model-View-Presenter) ve MVC (Model-View-Controller) gibi tasarım desenleri oluşturulmuştur. 2004 yılında

Martin Fowler MVP tasarım desenine benzeyen PM (Presentation Model) desenini tanıtmıştır [1]. 2005 yılında Microsoft WPF kütüphanesinin tasarımcılarından olan John Gossman MVVM (Model-View-ViewModel) tasarım deseninden ilk defa bahsetmiştir [2]. MVVM tasarım deseni PM deseninin WPF kullanarak özelleştirilmiş hali olarak kabul edilebilir. MVVM ve PM tasarım desenini MVP ve MVC'den ayıran temel özellik görüntü modelinin (ViewModel) görüntü bileşeninin (View) referansına ihtiyaç duymamasıdır. MVVM'in JavaScript için geliştirilmiş versiyonu olan KnockoutJS [3] gibi diğer bazı diller için de geliştirilmiş versiyonları bulunmaktadır.

Bu makalede hiyerarşik kullanıcı arayüzlerini geçerleme problemini çözmek için geliştirilen MVVM tasarım deseni temelli altyapı anlatılmaktadır. Bu altyapı kısaca Hier-MVVM (Hiyerarşik MVVM) olarak isimlendirilmiştir. Hier-MVVM görüntü modelleri arasında hiyerarşi kurulmasına olanak sağlar. Geçerleme sonuçları hiyerarşik olarak üst kısımlara aktarılır. Her görüntü modeli kendisi ve altındaki görüntü modellerinden sorumludur. Hier-MVVM'in temel hedefi geçerlemeleri gerektiği yerde ve gerektiği zaman yaparak verimli bir geçerleme altyapısı sunmaktır.

Bu makalede MVVM deseninde bulunan Model, View ve ViewModel terimlerinin Türkçe karşılıkları sırasıyla Model, Görüntü Bileşeni ve Görüntü Modeli olarak kullanılmıştır. Bu makalede örnekler basit bir çalışan bilgi sistemi üzerinden anlatılacaktır. Bu bilgi sistemi çalışanları listeler ve her çalışan hakkında bilgiler tutar.

Makalenin kalan kısmında önce MVVM hakkında kısa bilgilendirme yapılıp daha sonra Hier-MVVM altyapısı tanıtılacaktır. Sonuç bölümünde ise Hier-MVVM hakkında genel bir değerlendirme yapılacaktır.

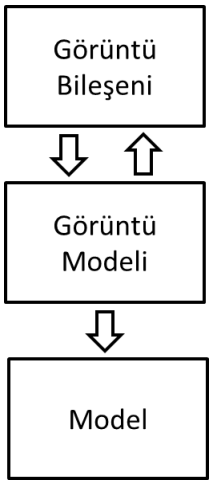
2. MVVM

Hier-MVVM altyapısını tanıtmadan önce MVVM tasarım deseninin temel öğeleri olan Model, Görüntü Bileşeni ve Görüntü Modeli'nden bahsetmek faydalı olacaktır. MVVM'in temel öğeleri ve bu öğeler arasındaki ilişkiler Şekil 1'deki diyagramda gösterilmiştir.

MVVM'in temel hedefi görüntü bileşenleri geliştirme sürecini işleyiş mantığı ve veri modelleri geliştirme sürecinden ayırmaktır [4]. WPF Binding mekanizması bu süreleri ayırmayı mümkün kılmıştır. Görüntü bileşeni geliştirenler WPF kütüphanesi tarafından sunulan XML tabanlı XAML dilini kullanarak kullanıcı arayüzlerini oluştururlar. İşleyiş mantığı geliştiricileri ise görüntü modelleri oluşturarak veri modellerini yönetirler. Görüntü modelleri ve görüntü bileşenleri (XAML ile geliştirilen bileşenler) arasındaki ilişki ise WPF Binding mekanizması kullanılarak yapılır [5]. Binding aracılığıyla görüntü modelindeki elemanlar kullanıcı arayüz elemanlarına bağlanmış olur.

Model, kullanıcı arayüzü kullanarak yönetilmek istenen verilerin tutulduğu sınıflara verilen genel isimdir. Çalışan bilgi sisteminde bir çalışanın bilgisini tutan "Employee"

sınıfı bir çalışan için modeli temsil eder. Bu çalışanları listeleyen bir üst model ise çalışan listesi modeli olarak tanımlanabilir. Aynı şekilde bir çalışan modeli altında alınan eğitimleri tutan bir eğitim listesi modeli bulunabilir. Bir başka deyişle modeller hiyerarşik olarak tanımlanabilirler.



Şekil. 1. MVVM Tasarım Deseni

Görüntü Bileşeni, verilerin kullanıcıya gösterildiği bileşenlerdir. Bu bileşenler ızgara, liste, açılır kutu, metin kutusu gibi temel öğeler olabileceği gibi bunların bir araya getirilmesiyle oluşturulan karmaşık görüntü bileşenleri de olabilirler. Örneğin çalışan bilgi sisteminde bir çalışan verisini kullanıcıya göstermek için bir "*EmployeeView*" görüntü bileşeni oluşturulabilir.

Görüntü Modeli, model ile görüntü bileşeni arasında bulunur. Temel görevi model verilerinin arayüze yüklenmesi ve arayüzde yapılan değişikliklerin modele yansıtılmasıdır. Bu sayede model ve görüntü bileşeni direkt olarak etkileşim içinde olmazlar. Bütün değişiklikler görüntü modeli aracılığıyla yapılır. Görüntü modeli, görüntü bileşeninin referansına ihtiyaç duymaz. Bunun yerine WPF kütüphanesinde sunulan *Binding* mekanizması ve *INotifyPropertyChanged* arayüzleri kullanılarak görüntü modelleri ve görüntü bileşenleri haberleşirler.

Kullanıcının arayüzden tetiklediği komutları görüntü modellerinde temsil eden komutlar da MVVM'in öğeleri arasında sayılabilir. Örneğin kullanıcının arayüzde bir düğmeye basması komutu için ilgili görüntü modelinde bir komut tanımlanmalıdır. Bu komutlar WPF'in sağladığı *ICommand* arayüzü kullanılarak oluşturulmaktadır.

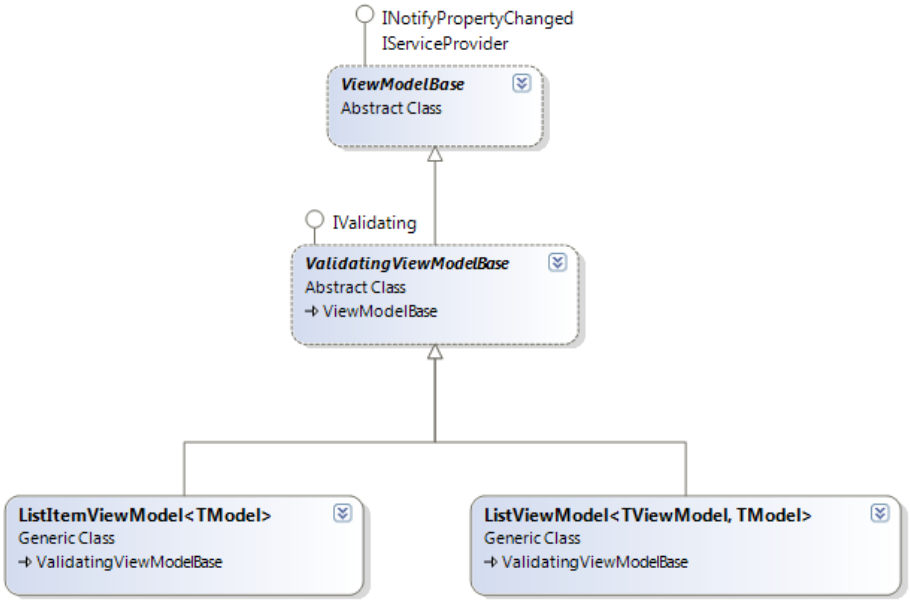
3. HIER-MVVM

3.1. Geçerleme hiyerarşisi oluşturma

Hier-MVVM, MVVM tasarım desenini temel alarak geliştirilen hiyerarşik kullanıcı arayüzü geçerleme altyapısıdır. Hier-MVVM, MVVM tasarım desenine ek olarak

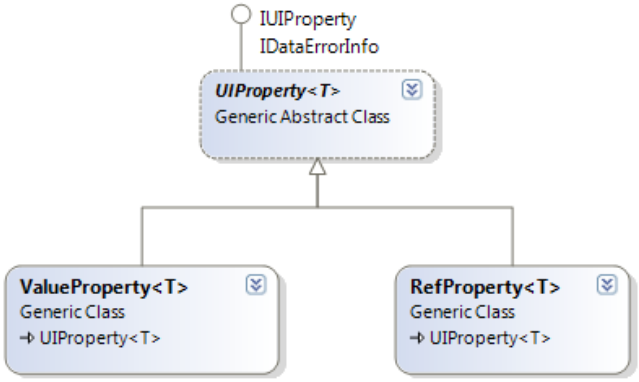
görüntü modellerini geçerlenebilir hale getirmektedir. Hier-MVVM altyapısında bulunan temel sınıflar arasındaki ilişkiler Şekil 2'deki sınıf diyagramında gösterilmiştir.

Şekil 2'de gösterilen *ViewModelBase* sınıfı görüntü modellerinin türediği soyut sınıftır. Bu sınıf *INotifyPropertyChanged* arayüzünü gerçeklediği için görüntü modeli içinde yapılan değişikliklerin kullanıcı arayüzüne bildirilmesini sağlar. *ValidatingViewModelBase* sınıfı ise yine bir soyut sınıf olmakla birlikte geçerlemeye olanak sağlar.



Şekil. 2. Görüntü Modeli Sınıfları

Liste geçerlemeleri için *ListItemViewModel* ve *ListViewModel* olmak üzere iki jenerik sınıf tanımlanmıştır. *ListViewModel* listeye eleman ekleme, listeden eleman çıkarma, liste elemanlarını aşağı/yukarı hareket ettirme gibi temel liste komutlarını hazır olarak sunmaktadır. Buna ek olarak liste üzerinde özel komutlar tanımlanmasına da izin vermektedir. *ListItemViewModel* sınıfı, *ValidatingViewModelBase* sınıfından türetilmiştir. *ValidatingViewModelBase* sınıfına ek olarak liste elemanının liste içindeki sırasını tutar. Jenerik *ListViewModel<TViewModel, TModel>* sınıfı kullanarak nesneler tanımlanırken *TViewModel* tipi *ListItemViewModel<TModel>* olmalıdır.

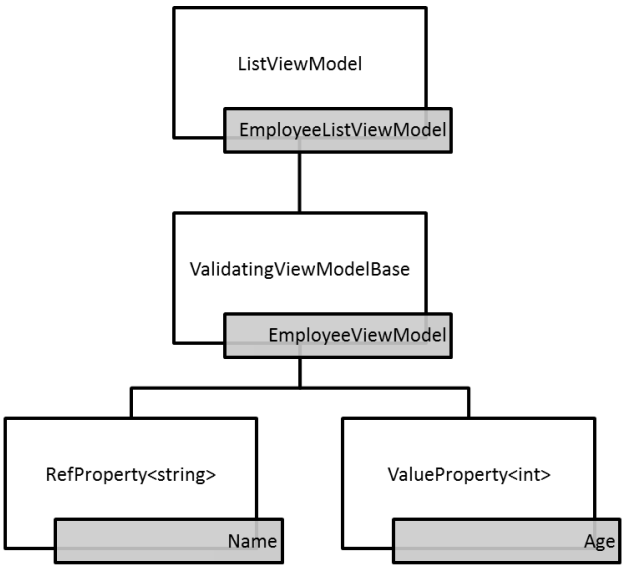


Şekil. 3. Özellik (Parametre) Sınıfları

Şekil 3'te özellik (parametre) sınıfları gösterilmiştir. İki farklı tipte özellik sınıfı vardır. Bunlar *ValueProperty* ve *RefProperty* sınıflarıdır. *ValueProperty double*, *integer* gibi *null* değeri alamayan ilkel veri tipleri için tasarlanmış sınıftır. *RefProperty* ise referans tipleri için tanımlanmış özellik sınıfıdır. Örneğin bir çalışanın yaşını *ValueProperty<int>* olarak tanımlarken, ismini *RefProperty<string>* tipinde tanımlayabiliriz. *ValidatingViewModelBase* sınıfından türetilmiş bir sınıf birçok *UIProperty* içerebilir. Örneğin *EmployeeViewModel* sınıfı *ValueProperty<int> Age* ve *RefProperty<string> Name* özelliklerini içerir. Burada *Age* özelliği ilgili veri modelindeki çalışana ait yaşı, *Name* özelliği çalışan ismini yönetmektedir.

Geçerleme hiyerarşisini oluşturmak için *ValidatingViewModelBase* sınıfının sunduğu *Register* metodu kullanılır. *Register* metodu parametre olarak geçerlenebilir bir nesne almaktadır. Hier-MVVM'de geçerlenebilir nesneler görüntü modelleri, özellikler ve liste görüntü modelleridir. Özellikler *Register* metodu kullanarak ilgili görüntü modeline bağlanırlar. Aynı şekilde alt görüntü modelleri bir üst görüntü modeline bağlanırlar. Liste görüntü modellerinde de her bir liste elemanının görüntü modeli liste görüntü modeline bağlanır. Bu şekilde geçerleme hiyerarşisi oluşturulmuş olur. Her bir görüntü modeli kendisine bağlı alt özellik ve görüntü modellerinin geçerleme sonuçlarını toplamaktan sorumludur.

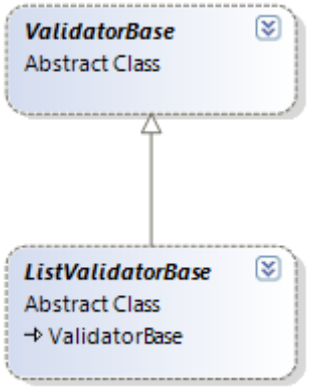
Şekil 4'te örnek bir hiyerarşi gösterilmiştir. Bu örnekte *EmployeeListViewModel* sınıfı birden fazla *EmployeeViewModel* görüntü modelini içeren bir *ListViewModel* sınıfıdır. Bir çalışanın yaşının geçerlenmesi sonrasında ortaya çıkan hata ilgili *EmployeeViewModel* nesnesini, o da *EmployeeListViewModel* nesnesini etkilemektedir. Hiyerarşideki her bir görüntü modeli ve özellik kendisinden talep edildiğinde geçerleme sonuçlarını döner.



Şekil. 4. Örnek Hiyerarşi

3.2. Geçerleme kuralları tanımlama

Hiyerarşinin nasıl tanımladığını açıkladıktan sonra geçerleme kurallarının nasıl tanımladığından bahsetmemiz gerekir. Hier-MVVM altyapısı geçerleme kuralları tanımlamak için Şekil 5'teki temel sınıfları tanımlamıştır.



Şekil. 5. Geçerleme Kuralı Sınıfları

ValidatorBase sınıfı bütün geçerleme kurallarının türemesi gerektiği soyut ata sınıftır. *ListValidatorBase* sınıfı ise listelerin geçerlenmesi için kullanılan özelleştirilmiş bir sınıftır. *ValidatorBase* sınıfı geçerlemeleri yapan *Validate* isimli bir metot içerir. Bu sınıftan türetilen geçerleme kuralı sınıfları bu metodun içeriğini sağlarlar. Şekil 6'da örnek bir geçerleme kuralı tanımlanmıştır. Bu kural arayüzde bulunan ve zorunlu olarak girilmesi gereken bir alanın değerinin olup olmadığını kontrol eder. Eğer zorunlu olan alan bir değere sahip değilse ilgili özelliğe hata mesajı atanır.

```
public class MandatoryValidator : ValidatorBase
{
    private readonly IUIProperty property;

    public MandatoryValidator(IServiceProvider services, IUIProperty property)
        : base(services)
    {
        this.property = property;
    }

    public override IEnumerable<IValidating> Validate()
    {
        base.Validate();
        if (property.Value == null)
        {
            SetMessage(property.Key, MessageLevel.Error, "Geçerli bir değer giriniz.");
        }

        return EmptyValidatingList;
    }
}
```

Şekil. 6. Geçerleme Kuralı Örneği

Bir özelliğe bağlanmış olan geçerleme kuralı özelliğin değeri değiştiğinde çalıştırılır. Bir özelliğin değeri değiştiğinde bu özelliğin değerinden başka bir özellik etkileniyorsa etkilenen özelliğin geçerleme kuralları da çalıştırılır. Geçerleme kuralları sadece etkilenen özelliklerde çalıştırıldığı ve hiyerarşideki bütün geçerlemelerin tekrar yapılmasına gerek bırakılmadığı için geçerleme verimli bir şekilde yapılmış olur. Bu özellik çok parametreli karmaşık arayüzlerde bile Hier-MVVM altyapısını kullanılabilir kılmaktadır.

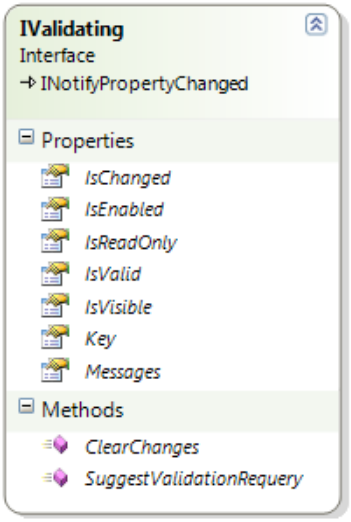
Hier-MVVM altyapısında liste geçerlemelerini daha verimli hale getirmek için *ListValidatorBase* sınıfı tanımlanmıştır. Bu sınıf geçerlemelerin listede hangi değişiklik yapıldığında tetiklenmesini belirlemeye izin verir. Örneğin listedeki eleman sayısını geçerleyen bir kuralın sadece listeye eleman eklendiğinde veya çıkarıldığında tetiklenmesi yeterli olacaktır. Bu geçerleme için listedeki bir elemanın değerinin değişmesi geçerleme kuralının tetiklenmesine sebep olmayacaktır. Liste geçerlemeleri için yapılan bu iyileştirme çok sayıda eleman içeren listelerin hızlı bir şekilde geçerlenebilmesinde Hier-MVVM kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Hier-MVVM, geçerleme kuralları sonuçlarını 3 farklı tipte sınıflandırır. Bunlar bilgi, uyarı ve hata mesajlarıdır. Geçerleme kuralları sadece hataları belirlemek için kullanılmaz. Uyarı ve bilgi mesajları üretmek için de geçerleme kuralları kullanılabilir. Hiyerarşinin herhangi bir yerinde bulunan bir elemanın geçerlilik seviyesi hesaplanırken alt elemanlardaki sonuçların tipi dikkate alınır. Öncelik sırası hata, uyarı ve bilgi şeklindedir. Hata olmadığı sürece görüntü modeli geçersiz olarak nitelendirilmez.

3.3. Geçerleme sonuçlarının gösterimi

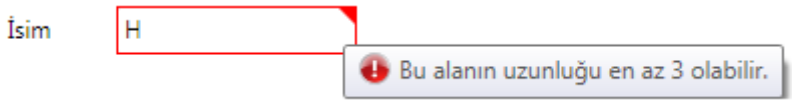
Geçerlenebilir öğeler olan görüntü modelleri, özellikler ve liste görüntü modelleri *IValidating* arayüzünü gerçeklemektedir. *IValidating* arayüzü Şekil 7'de gösterilmiştir. *IValidating* arayüzü elemanları kullanıcı arayüzündeki görüntü bileşenlerinin durumunu

tanımlayan özellikler içerir. Geçerleme kurallarıyla hata mesajı ataması yapabileceğimiz gibi, görüntü bileşenlerinin salt okunur, görünür, seçilebilir kılınmış olup olmadığı gibi durumlarını da atayabiliriz. *IValidating* arayüzü tarafından sunulan bu özellikler ilgili görüntü bileşenlerine WPF'in *Binding* mekanizması kullanılarak bağlanabilir.



Şekil. 7. IValidating Arayüzü

Geçerleme sonuçlarının gösterimi için WPF kütüphanesinin sağladığı veri kalıpları (*DataTemplate*) kullanılarak hata verilerinin nasıl gösterileceği tanımlanabilir. Şekil 8'de çalışan isim alanının en az 3 harfli olmasını denetleyen bir geçerleme kuralının çalıştırılması sonucunda bulunan hatanın nasıl gösterildiği örneklenmiştir.



Şekil. 8. Örnek Hata Gösterimi

4. SONUÇLAR

Kullanıcıların doğru veri girişini sağlayabilmesi için kullanıcı arayüzleri için geçerleme kuralları tanımlanmaktadır. Bu geçerleme kurallarını tanımlamak ve kullanıcı arayüzüne yansıtmak karmaşık sistemlerde büyük bir problem olagelmiştir. Özellikle günümüzde kullanıcılar tarafından sağlanması gereken verilerin büyümesi ve daha da karmaşık hale gelmesi ile birlikte sistemleri yönetmek zorlaşmıştır. Bu tip sistemlerde veriler çoğu zaman hiyerarşik olarak tanımlanmaktadır. Bu durum geçerlemelerin hiyerarşik olarak yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Hier-MVVM altyapısı karmaşık sistemlerin kullanıcı arayüzlerini daha kullanışlı hale getirmek, geçerlemeleri kolay yöntemlerle tanımlayabilmek ve tanımlanan geçerlemeleri en verimli şekilde çalıştırmak için tasarlanmış bir kütüphanedir.

HierMVVM görüntü modelleri arasında kurduğu hiyerarşi sayesinde geçerlemelerin hiyerarşik olarak üst görüntü modellerine aktarılmasını sağlar. Geçerlemeler sadece ilgili yerlerde ve gerektiği zaman yapılır. Buna ek olarak listeler için özel tasarlanmış sınıfları kullanarak tanımlanan geçerlemeler, birçok sistemde performans problemleri oluşturan liste geçerlemelerinin de verimli bir şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır.

Hier-MVVM, yukarıda sayılan özellikleri göz önüne alındığında çok parametreli karmaşık sistemlerde hiyerarşik geçerleme için kullanılabilecek bir altyapı olduğunu göstermektedir. Araştırma grubumuz içerisinde de pek çok simülasyon projesi içerisinde kullanılarak olgunluğunu ispatlamıştır.

5. KAYNAKÇA

[1] M. Fowler, "Presentation Model", www.martinfowler.com/eaaDev/PresentationModel.html, [Son Ziyaret: 15 Nisan 2014].

[2] J. Gossman, "Tales from the Smart Client: Introduction to Model/View/ViewModel pattern for building WPF apps", http://blogs.msdn.com/b/johngossman/archive/2005/10/08/478683.aspx, [Son Ziyaret: 15 Nisan 2014].

[3] S. Sanderson, "KnockoutJS", www.knockoutjs.com/documentation/observables.html, [Son Ziyaret: 15 Nisan 2014].

[4] "Model View ViewModel", www.en.wikipedia.org/wiki/Model_View_ViewModel, [Son Ziyaret: 15 Nisan 2014]

[5] S. Wildermuth, "Windows Presentation Foundation Data Binding: Part 1", http://msdn. microsoft.com/en-us/library/aa480224.aspx, [Son Ziyaret: 15 Nisan 2014].

[6] Balcı, O.,"Verification, Validation, and Testing",in Handbook of Simulation, Eds. Jerry Banks, John Wiley & Sons, 1998

[7] Demir, İ., Tezcan, Z., & Alpdemir, M. N. "KABAN: Simülasyon Verileri Geçerleme ve Otomatik Kullanıcı Arabirimi Oluşturma Altyapısı". USMOS 2007.

[8] Şimşek, A., Demir, İ., & Tezcan, Z.. "KABAN-2: Kullanıcı Ara Birimi ve Geçerleme Altyapısı", UYMS 2014.

ENTEGRE SİMÜLASYON GELİŞTİRME VE MODELLEME ALTYAPISI : E-SİGMA

Başar Kasım [(a)], Hulusi Baysal [(b)], Hikmet Ferda Ergüneş Arkın[(c)], Şafak Tulumoğlu[(d)], Ahmet Birol Çavdar [(e)], Mehmet Sadık Akyol [(f)]

[(a) (b) (c) (d) (e) (f)] Havelsan A.Ş., Eskişehir Yolu 7.km Ankara,
{bkasim,hbaysal,fergunes,stulumoglu,abcavdar,makyol}@havelsan.com.tr

ÖZ

Farklı alanlardaki fonksiyonel gereksinimlerin, ortak yazılım mimarileri ve tekrar kullanımına izin veren yazılım altyapıları kullanılarak karşılanması, yazılım geliştirme süreçlerindeki etkinliğin kıstaslarındandır. Bu makalede dağıtık işletim ortamında çalışacak farklı simülatör ve simülasyon uygulamalarının gereksinimleri karşılamak amacıyla HAVELSAN tarafından geliştirilmiş yazılım geliştirme altyapısı olan "Entegre Simülasyon Geliştirme ve Modelleme Altyapısı (E-SİGMA)" incelenmektedir. E-SİGMA farklı yazılım birimleri arasındaki ağ arayüzlerinin ağ protokolünden bağımsız şekilde oluşturularak arayüz kodlarının otomatik şekilde üretilebilmesini ve arayüzden akan verinin izlenebilmesini ve gerektiğinde değiştirilebilmesini sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arayüz Tanımlama, Dağıtık Simülasyon Uygulamaları, Dağıtık Sistemler, Simülasyon Altyapıları, Veri İzleme ve Güncelleme

Integrated Simulation Development and Modeling Infrastructure

ABSTRACT

Using common software architecture and software infrastucture that allows re-use mechanisms is one of the criteria of efficiency in software development process to meet the functional requirements in different areas. In this article, in order to meet the requirements of different simulators and simulation applications to run in a distributed operating environment a software development infrastructure "Integrated Simulation Development and Modeling Infrastructure" that has been developed by HAVELSAN is examined. E-SIGMA provides the generation of the network interface and code between different software components that are formed independently of the protocol and ability to monitor and change flowing data if necessary.

Keywords: Interface Definition, Distributed Simulation Applications, Distributed Systems, Simulation Infrastructure, Data Monitoring and Injection.

1. GİRİŞ

Dağıtık işletim ortamlarında yazılım arayüzlerinin kontrol altına alınması ve sistemler arasında verilerin iletiminin sağlanması temel bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sistemler arasında değişime açık, hızlı adapte edilebilen bir arayüz tanımlaması bu ihtiyacın gereklerindendir.

Birden çok parçadan oluşan sistemler mimarisi nedeni ile tasarım problemlerini de beraberinde getirmektedir[1]. Karmaşık dağıtık sistemlerin geliştirilmesinde önemli bir yere sahip olan entegrasyon safhasının kullanıcı hatalarına pay bırakmayacak şekilde otomatikleştirilmesini sağlamak gerekmektedir. Bu dağıtık sistemlerin geliştirilmesi sırasında birçok grup farklı birimleri gerçekleştirmekte ve aralarındaki iletişim çok daha önemli bir duruma gelmektedir. Bunun yanı sıra gruplar da çoğu zaman sistemin nasıl çalıştığını tüm detayları ile bilmemekte ve büyük resmi görememektedirler. Bu da entegrasyon aşamasında büyük zorluklara ve sürecin uzamasına neden olmaktadır [2].

Büyük ölçekli yazılım projelerinde ortak geliştirme yapmak, işin birden fazla yazılımcı tarafından yapılıp, entegre edilip tek bir ürün haline getirilmesi ciddi bir koordinasyon gerektirmektedir [3]. Yazılım açısından düşünüldüğünde bu koordinasyonun en önemli ayağının yazılım arayüzleri olduğu görülmektedir. Bu nedenle yazılım arayüzlerinin ortak bir platformda tanımlanması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Her ne kadar projelerde yazılım arayüzleri için arayüz tanımlama dokümanı hazırlanmış olsa da bu dokümanın yaşatılması ve olası değişikliklerin anlık takip edilmesi yazılım ekipleri açısından kolay olmamaktadır. Ayrıca bu değişikliklerin koda yansıtılması ayrı bir efor gerektirmektedir. Örneğin, yazılım birimleri arasında tanımlanmış olan arayüz mesajlarının içeriği, haberleşme kapısı, haberleşme protokolu ihtiyaçlar doğrultusunda değişikliğe uğrayabilmektedir. Bu durumda ilgili değişikliğin etkilenen tüm yazılım birimlerine yansıtılması gerekmektedir. Yapılan değişikliğin kapsamına göre yapılacak yazılım güncellemeleri karmaşıklaşmaktadır.

Dağıtık sistemlerdeki yazılım birimlerinin test edilmesi ayrı bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Arayüz mesajlarının diğer yazılım birimi varmış gibi taklit edilmesi bu yazılımların tek başına test edilebilmeleri için gereklidir. Entegrasyon aşamasından önce yazılım birimlerinin test edilmesi için ortamın hazırlanması ve yardımcı yazılımların geliştirilmesi yazılım ekipleri için zaman ve efor kaybı anlamına gelmektedir.

Bu bahsedilen özelliklere sahip olmadan geliştirilen sistemlerde hatalar ve arayüz farklılıkları entegrasyon aşamasında fark edilmekte, hatanın düzeltilme süreci uzatmakta ve sistem daha karmaşık bir hale getirmektedir.

Bu çalışmada, bahsedilen yazılım geliştirme sürecindeki problemlere bir çözüm olması amacıyla geliştirilen E-SİGMA altyapısı anlatılmaktadır.

2. ENTEGRE SİMÜLATÖR GELİŞTİRME VE MODELLEME ALTYAPISI

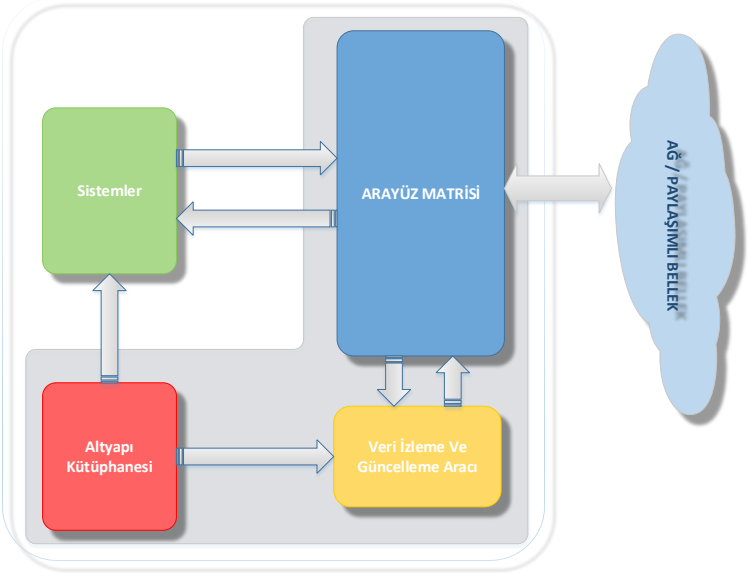
Entegre Simülatör Geliştirme ve Modelleme Altyapısı (E-SİGMA), dağıtık yazılım uygulamalarında yazılım arayüzlerinin kontrol altına alınması amacıyla tasarlanan ve geliştirilen bir altyapı yazılımıdır. Bu altyapı, yazılım birimleri arasındaki ağ arayüzlerinin web uygulaması aracılığıyla tanımlanabilmesini, veri arayüzlerinin ağ protokolünden bağımsız şekilde oluşturulabilmesini, arayüz kodlarının otomatik şekilde üretilebilmesini ve arayüzden akan verinin izlenebilmesini / değiştirilmesini sağlamaktadır.

E-SİGMA, sistem çapındaki tüm yazılım ağ arayüzlerinin platformdan bağımsız web tabanlı bir arayüz üzerinden çok kullanıcılı olarak tanımlanabilmesine ve bu arayüzlerin grafiksel bir uygulama ile mesajın tüm detaylarının gözlenmesine olanak sağlayarak, kod detayına girilmeden tüm ağ arayüzlerinin yönetimine yardımcı olmaktadır. E-SİGMA sağladığı tüm bu yetenekler sayesinde yazılım geliştirme sürecinin kısaltılmasında ve farklı ihtiyaç alanları için tekrarlanabilir yazılım mimarileri oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Altyapı üç ana bileşenden oluşmaktadır:

- Arayüz Matrisi (Interface Matrix) ve Kod Üretimi (GenerateNetif)
- Veri İzleme ve Güncelleme Aracı (Data Injection Monitor)
- Altyapı Kütüphanesi

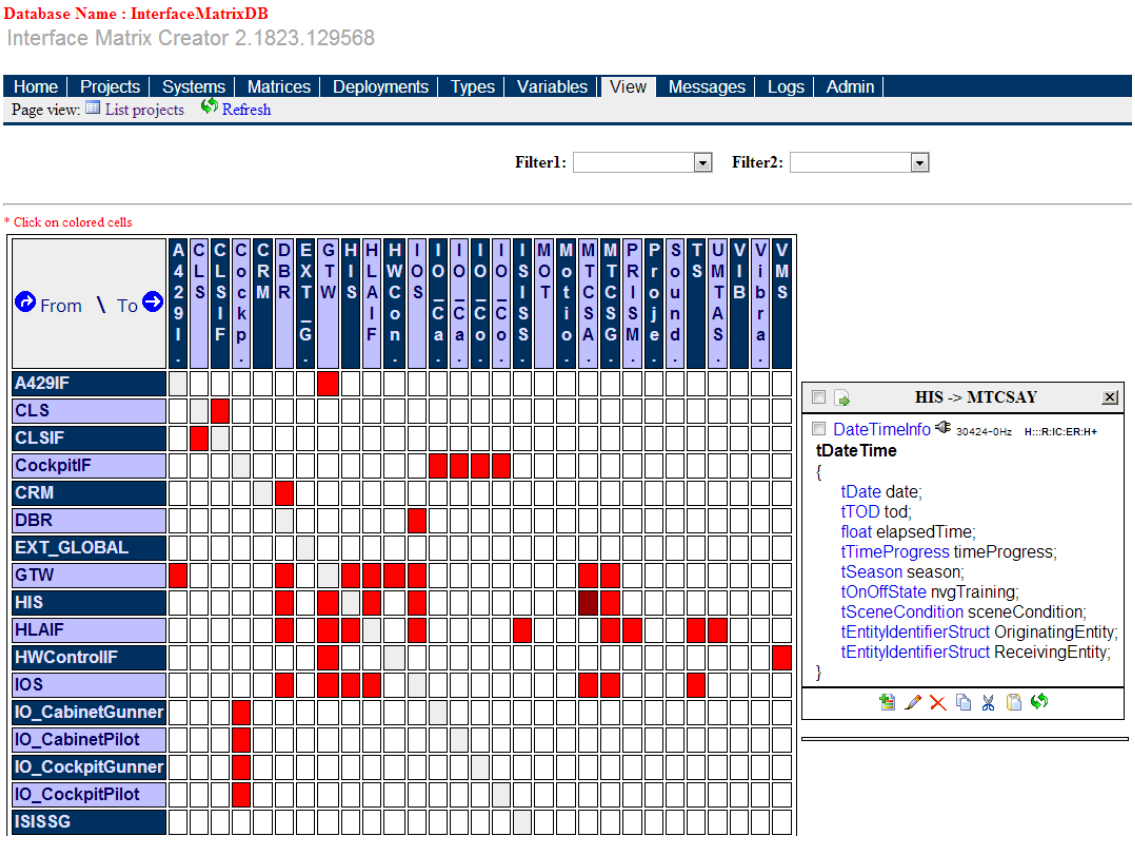
E-SİGMA birimleri arasındaki ilişki Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. E-SİGMA Bileşenleri

2.1. Arayüz Matrisi ve Kod Üretimi

Arayüz matrisi bileşeni, yazılım arayüzlerinde kullanılacak olan veri tipi ve değişkenlerinin tanımlanabildiği ve sistemler arasındaki mesajların atanabildiği çok kullanıcı destekli web arayüzü sağlamaktadır. Bir matris yapısı şeklinde tasarlanmış olan arayüz, geliştiricilerin tüm alt sistemler arasındaki mesajlaşmayı bir bakışta görmesine imkan vermektedir. Bu sayede geliştiriciler sadece kendi alt sistemlerinin arayüzlerini değil bütün sistemi detaylı bir şekilde görme şansına sahip olmaktadırlar (Şekil -2). Örnekte görüldüğü üzere karmaşık veri tipleri sistem üzerinde tanımlanabilmekte ve daha önceden oluşturulmuş veri tiplerinin kullanılabilmesi ile sistem içerisinde genel bir uyum sağlanmaktadır. Şekil-2'deki matris yapısında, satırlar hangi sistemden arayüz mesajının gönderileceğini, sütunlar ise arayüz mesajının hangi sisteme gönderildiğini belirtmektedir. Örneğin; "HIS" sisteminden "MTCSAY" sistemine arayüz mesajı göndermek için, "HIS" sisteminin bulunduğu satır ile "MTCSAY" sisteminin bulunduğu sütunun kesişimindeki hücreyi seçip, buraya daha önce tanımlamış olduğumuz arayüz değişkeni eklenmektedir.



Şekil 2. Arayüz Matrisi

Alt sistemler arasındaki mesajların hangi network protokolü ve frekansı ile gönderileceği bu bileşenin sunduğu özelliklerden birisidir. Arayüz mesajını eklerken UDP, TCP, HLA [4], DDS [5], Shared Memory seçeneklerinden istenen haberleşme yöntemi

seçilebilmektedir. Seçilen protokole göre mimari seçimi de yapılmaktadır. Bu yapı içerisinde UDP için; Peer to Peer/Client/Server, Unicast/Multicast/Broadcast seçenekleri kullanıcıya sunulmaktadır. TCP için; Client/Server seçenekleri sunulmaktadır. HLA için ise Reliable(TCP)/Best Effort(UDP), Object Class/Interaction Class seçenekleri sistem tarafından desteklenmektedir.

Alt sistemler, diğer alt sistemlerle olan arayüzlerini kolaylıkla görebilmekte ve değişikliklerden haberdar olmaktadır. Bu şekilde ilgili arayüzün muhataplarından birinin diğer paydaşların haberi olmadan arayüzde bir değişiklik yapmasının önüne geçilmektedir. Bu yapı içerisinde yazılım sürümü alınması durumunda sistem ya da matris seviyesinde kilitler konulup kaldırılabilmekte, bu sayede alınmış olan sürümdeki yazılım arayüzlerinin aynı olması garanti altına alınmakta ve entegrasyon aşamasında karşılaşılması muhtemel arayüz problemlerinin önüne geçilmektedir. Bunun yanı sıra gerektiğinde daha önce alınmış olan bir sürüme ait arayüzlere geri dönülmesine olanak sağlanmaktadır.

Bu altyapının sağladığı özelliklerden birisi de kullanıcıların ilgili oldukları sistemlere göre gruplandırılarak herkesin sadece yetkisi olduğu sistem arayüzlerinde değişiklik yapmasına izin verilmesidir. Bu şekilde yazılım arayüzlerinde kontrolsüz değişiklik yapılmasının önüne geçilmektedir. Ayrıca arayüz matrisi üzerinde yapılan bütün işlemler kayıt altına alınmakta, gerektiğinde tarih ya da kişi bazlı değişiklikler aratılarak yapılan değişiklikler gözlenebilmektedir.

Alt sistemler arasında tanımlanan tüm mesajlar aynı ortamda oluşturulabildiği için yazılımların haberleşme modülleri için standart bir altyapı oluşturulmuştur. Arayüz matrisi üzerinde tanımlanmış olan arayüzleri sistemlerin kullanabilmesi için, gerekli kodlar generateNetif adlı uygulama aracılığıyla üretilmektedir. GenerateNetif uygulaması çalıştırıldığında matris ve alt sistem seçimi yapılarak ilgili sistemin diğer sistemlerle olan bütün arayüzlerini içeren kodlar otomatik olarak üretilebilmektedir.

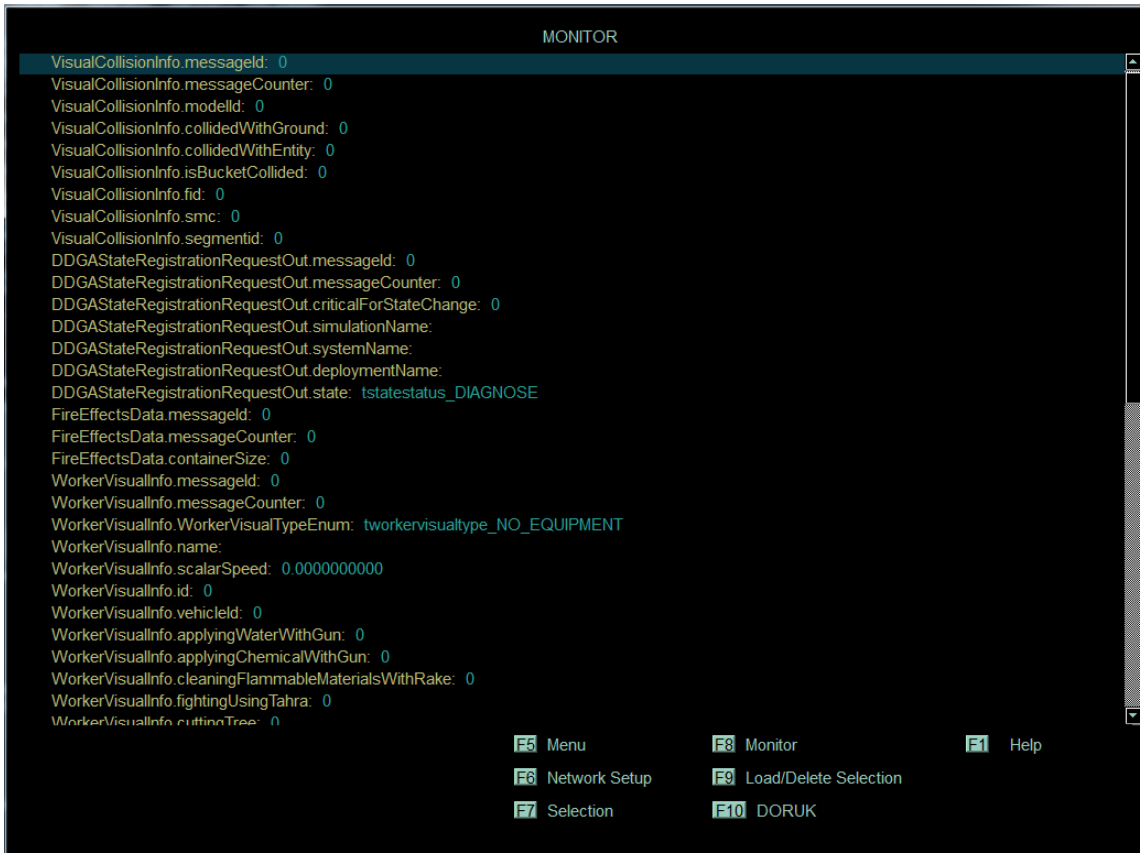
2.2. Veri İzleme ve Güncelleme Aracı – DIM: Data Injection Monitor

Yazılım test süreçlerinden biri de entegrasyon öncesinde alt sistemlerin tek başına test edilebilmesidir. Oluşturulan bu altyapı içerisinde diğer sistemlerden alınan ve gönderilen verilerin takip edilmesi veya üzerine yeni bir değer yazılması için Veri İzleme ve Güncelleme Aracı oluşturulmuştur. Diğer sistemler bu araç sayesinde simüle edilerek, test edilecek sistemin beklediği arayüzler sisteme sağlanmaktadır. Ayrıca yine bu araç sayesinde sistemin çıktılarının doğruluğu izlenip kontrol edilebilmektedir.

Veri İzleme ve Güncelleme aracı üzerinde, o sisteme gelen ve giden tüm arayüz değişkenleri ağaç yapısında listelenmektedir. Değeri izlenmek istenen değişkenler liste üzerinde işaretlenerek seçilmekte ve izleme ekranında bu değişkenlerin anlık olarak değerleri izlenebilmektedir. Herhangi bir değişkene değer ataması yine bu ekran

üzerinden yapılmakta, ayrıca sisteme gelmesini beklediğimiz bir arayüz mesajı var ise bu ekran üzerinden sisteme bu mesaj gelmiş gibi davranılabilmektedir.

Veri İzleme ve Güncelleme aracı, arayüzlerden akan verinin izlenerek gerektiğinde üzerine yazılabilmesine imkan verdiğinden karmaşık ağ veri analiz araçlarına ihtiyaç olmadan hata ayıklamaya olanak sağlamaktadır. Veri kaydetme kabiliyeti hataların geliştirme ortamında tekrarlanabilmesini sağlamaktadır. E-SİGMA haberleşilen sistemin ortamda bulunmaması durumunda dahi hazır olmayan arayüzlerin benzetimini yaparak geliştirmenin devamını sağlamaktadır. Arayüzlerin istenilen veri ile beslenebilmesi sayesinde fazladan kod yazmadan veya başka bir test aracına ihtiyaç duyulmadan arayüzler test edilebilmektedir.



Şekil 3. Veri İzleme ve Güncelleme Aracı

2.3. Altyapı Kütüphanesi

Arayüz değişkenlerinin matris üzerinde tanımlanan frekansta alınıp/gönderilmesini altyapı kütüphanesinde bulunan zamanlayıcı (scheduler) yönetmektedir. Arayüz değişkenlerinin sistemler arasında alınıp gönderilmesi için gerekli olan UDP, TCP, HLA, DDS ve Shared Memory altyapısı da yine bu kütüphane içerisinden kullanılmaktadır.

Geliştiriciler, uygulamalarında ağ katmanında yapılması gereken işlerden ve zamanlama yönetiminden soyutlanmakta, bunların detayını bilme zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Bu noktada ortaya çıkabilecek sorunlar tek bir yerden giderilmektedir. Altyapı Kütüphanesi sayesinde özellikle gerçek zamanlı projelerde kritik bir ihtiyaç olan zaman senkronizasyon gereksinimleri başarıyla yönetilebilmektedir.

3. E-SIGMA'nın Ürün Geliştirme Sürecine Katkıları

Entegre Simülatör Geliştirme ve Modelleme Altyapısı'nın ürün geliştirme sürecine katkı sağlayan özellikleri aşağıda sıralanmıştır;

- Sistemler arası arayüzlerin, geliştirme ortamına bağımlı olmaksızın bir web arayüzü üzerinden kolaylıkla izlenip, güncellenebilmesi.
- E-SİGMA'nın platform bağımsız kod üretme yeteneği sayesinde, farklı işletim sistemlerinde proje geliştirilebilmesi.
- Kodların otomatik üretilmesi sayesinde geliştirme eforunun azalması ve hata oranının düşmesi.
- Kodun aynı kurallarla ortak ve sade bir şekilde üretilmesiyle, geliştiriciye kullanım kolaylığı sağlaması.
- Var olan bir arayüzde kullanılan ağ iletişim protokolünün değiştirilmesinin, geliştirici tarafında yazılan kodu etkilememesi.
- Haberleşilecek sistem hazır olmadan da geliştirme sürecinin kesintiye uğramadan devam edebilmesi.
- Geliştirme ortamı dışında da hata ayıklama imkanı sağlaması.
- Entegrasyon ve test sürecinde harcanan eforu ve zamanı azaltması.

4. SONUÇ

Entegre Simülatör Geliştirme ve Modelleme Altyapısı geliştiriciler tarafından en az seviyede kod yazarak sistemler arası haberleşme arayüzlerinin maliyet etkin ve hata oranı azaltılmış bir şekilde gerçeklenmesini sağlayan bir üretim yöntemi oluşturmaktadır. Ayrıca sağladığı olanaklar sayesinde yazılımların entegrasyon ve test aşamalarının daha kısa ve kolay gerçekleşmesine yardımcı olmaktadır. Desteklediği işletim sistemleri, haberleşme protokolleri ve işlemci mimarileri ile geniş bir donanım ve yazılım yelpazesine altyapı oluşturarak HAVELSAN bünyesinde vazgeçilmez bir üretim aracı olarak kullanılmaktadır.

E-SİGMA, HELSİM (Blackhawk, Seahawk, Cougar), TESİM (KT-1T Temel Eğitim Uçağı Simülatörü), ARISİM (T-38 Jet Uçağı Simülatörü), F16SİM (F16 Simülatörü),

OYMES (Orman Yangınları ile Mücadele ve Eğitim Simülatörü), Katar Hava Kuvvetleri için geliştirilmekte olan AW-139 Helikopter Simülatörü, UMTASES (Uzun Menzilli Tanksavar Eğitim Simülatörü), OMTASES (Orta Menzilli Tanksavar Simülatörü) gibi toplamda 300M$ bütçeyi aşan simülatör / simülasyon projelerinde dağıtık veri alış verişi ve otomatik arayüz kodu üretme ihtiyaçlarını karşılamada kullanılmıştır. Bahsedilen simülatör projelerine ilave olarak E-SİGMA'nın MİLGEM (Milli Gemi) projesi ile komuta kontrol yazılımları bünyesinde de kullanımı planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Magee, J., Dulay, N., Eisenbach, S., Kramer, J. (1995), Specifying Distributed Software Architectures, *Proceedings of the 5th European Software Engineering Conference*, 137-153

[2] Ramamoorthy, C.V. (1995), Distributed Techniques in Software Systems Integration, *IEEE Distributed Computing Systems*, 252-256.

[3] Espinosa, J.A., Slaughter, S.A., Kraut, R.E., Herbsleb J.D (2007), Team Knowledge and Coordination in Geographically Distributed Software Development, *Journal of Management Information Systems*, (24,1), 135-169.

[4] Dahmann, J.S., Morse, K.L. (1998), High Level Architecture for simulation: an update, *Distributed Interactive Simulation and Real-Time Applications*, 32-40.

[5] Pardo-Castellote, G. (2003), OMG Data-Distribution Service: architectural overview, *Distributed Computing Systems Workshops*, 200-206.

BİNA ENERJİ SİSTEMLERİNDE MODELLEME VE SİMÜLASYON YAKLAŞIMLARI

Murat Paşa Uysal [(a)], M. Ziya Söğüt [(b)]

[(a)] Ufuk Üniversitesi Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İncek, Ankara, Türkiye, murat.uysal@ufuk.edu.tr

[(b)] Bursa Orhangazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye, mzsogut@gmail.com

ÖZ

Bina Enerji Sistemleriyle (BES) ilgili ve birçok disiplini de içine alan çözümler üretilmiş, farklı yöntem ve teknikler kullanılmıştır. Modelleme ve Simülasyon (M&S) bunlar arasında olup BES'ne yönelik çalışmalarda sıkça kullanıldığı gözlenmektedir. Öte yandan, söz konusu araştırmalar arttıkça, alandaki eğilimleri gözlemlemek, araştırma boşluklarını tespit etmek amacıyla Sistematik Literatür Taraması, Sistematik Tarama vb. tarama modellerini içeren araştırmalar da gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmalarda, BES'nin farklı boyutları ortaya konulurken kullanılan modelleme yöntem ve teknikleri de belirtilmektedir. Ancak, BES'e yönelik üretilen çözümlerin önemli bir bileşeni olmasına rağmen, M&S teknikleri ve araçlarından genel olarak bahsedildiği, M&S disiplinin ilkeleri ve rehberliği doğrultusunda detaylı incelenmediği görülmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, BES ile ilgili bilimsel çalışmalarda, M&S süreçlerine nasıl yaklaşıldığını belirlemektir. Bu kapsamda çalışmamızda, BES ile ilgili ikincil araştırmalar taranmış, içerdikleri M&S, araç ve teknikleri, sistematik haritalama ve Gömülü Kuram araştırma yöntemleri ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Modelleme, simülasyon, bina enerji sistemleri

MODELING AND SIMULATION APPROACHES IN BUILDING ENERGY SYSTEMS

ABSTRACT

Different solutions have been produced for Building Energy Systems (BESs), which also include methods and techniques of different disciplines. Modeling and Simulation (M&S) is an instance and it is used for most of the studies related to BESs. As the studies on BESs increased, review studies, such as Systematic Mapping and Systematic Literature Review, have been conducted to identify research gaps and trends. In these studies, different dimensions of BESs are presented, methods and techniques of M&S Dis-

cipline are also introduced. However, it is seen that only the tools, techniques or algorithms are usually explored without adopting a holistic approach or following the core principles of M&S. Thus, the purpose of this study is to identify how the studies on BESs approach to the processes M&S discipline while exploring the tools and methods. Aligned with this research goal, secondary studies on BESs are explored, and they are analyzed using the Systematic Mapping and Grounded Theory research methods.

Keywords: Simulation, modeling, building energy systems

1. GİRİŞ

Binalar, dünya genelinde temel enerji kaynaklarının yaklaşık üçte birlik bölümünü tüketmektedirler. Sürdürülebilir enerji yönetimi, enerji ve bina hizmetlerindeki talep artışı ve konfor indeksleri dikkate alındığında bu konunun öneminin artarak devam edeceği görülmektedir. Bu amaçla, verimli ve etkili bina enerji yönetimindeki problem sahalarına yönelik çalışmalar da hız kazanmıştır. Enerji, makine, elektronik, bilgisayar, sistem mühendisliği ile birlikte hesaplama, matematik, bilişim teknolojileri vb. birçok disiplini içine alan çalışmalarda Bina Enerji Sistemleri (BES)'ne yönelik çözümler üretilmiş, çeşitli yöntem ve araçlar kullanılmıştır [1]. Modelleme ve Simülasyon (M&S) [16, 17] bunlar arasında olup BES'ne yönelik çalışmalarda sıkça kullanıldığı gözlenmektedir.

Bu bağlamda ilgili araştırmalar artıkça, alandaki eğilimleri gözlemlemek, araştırma boşluklarını tespit etmek amacıyla Sistematik Literatür Taraması, Sistematik Haritalama (SH) vb. tarama modellerini içeren araştırmalar da gerçekleştirilmiştir [1-15]. Söz konusu tarama çalışmalarında, BES'nin farklı boyutları ortaya konulurken kullanılan M&S yöntem ve teknikleri de belirtilmektedir. Ancak, BES'ne yönelik geliştirilen çözümlerin önemli bir bileşeni olmakla birlikte, M&S yöntem veya tekniklerinden genel olarak bahsedildiği, konunun M&S disiplini çerçevesinde detaylı olarak ele alınmadığı görülmektedir [1-15].

Bu kapsamda bu araştırmanın temel amacı, BES ile ilgili çalışmalarda, M&S disiplininin temel ilkeleri ve rehberliği doğrultusunda nasıl yaklaşıldığını belirlemektir. Çalışmamızda, söz konusu araştırmalarda kullanılan M&S yöntem ve teknikleri SH ile incelenmiş, Gömülü Kuram (Grounded Theory) (GK) yöntemi kullanılarak veriler yorumlanmıştır. Makalenin sonraki kısımları, çalışmanın kuramsal temellerini, araştırma yöntemini, bulgular ve sonuç bölümlerini içermektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde çalışmanın kuramsal temelini teşkil eden BES ve M&S çalışma alanlarından bahsedilmiştir.

2.1. Bina Enerji Sistemleri

Bina teknolojilerinde ve mimarisindeki gelişmelerle birlikte konfor talebine bağlı olarak bina enerji sistemleri ve yönetimleri önem kazanmıştır [6, 9]. Modern binalarda akıllı sistemler olarak tanımlanan bu sistemlerde, öncelikle bina enerji kaynaklarının (elektrik, yakıt ve su tüketim) kontrolü, enerji ve maliyet etkinliği dikkate alınmıştır [12]. Günmüzde bina enerji sistemleri, teknolojik yetenekleri yanında çevresel parametreleri de dikkate alan sistemlerdir. Özellikle çevre bilincinin gelişmesi ile birlikte enerji teknolojilerinde, ısı pompaları, "free-cooling" uygulamalar, ısı geri kazanım uygulamaları, sistemlerde frekans kontrolü gibi düşük karbon teknolojileri ile otomasyon ve sistem yönetimi önem kazanmıştır. Elektrik, ısı, iklimlendirme, pişirme, su yönetimi gibi pek çok işlevin kontrol edildiği modern yapılarda pasif teknolojiler de kullanılmaktadır. Ancak değişen mevsim koşulları ve konfor şartları nedeniyle karmaşık yapılara ve yüksek veri akışına sahip bina enerji sistemlerinde yönetimsel planlama önemlidir. Bu sistemlerde yüksek veri transferinin yönetilmesi etkin bir program bilgisini içermektedir [15]. Günümüzde, bu konuya yönelik olarak geliştirilmiş pek çok "Bina Otomasyon ve Kontrol Sistemleri" model bulunmaktadır [5].

2.2. Simülasyon ve Modelleme

Modeller, gerçek hayatla ilgili bir nesneyi, olguyu veya sistemi, önemli ve ana bileşenlerini içerecek şekilde çeşitli soyutlanma düzeylerinde temsil ederler. Modelleme ise bir problem alanını, ilgili çözüm kapsamında geliştirilecek bir sistemin incelemesi ve onunla ilgili kararlara yönelik modellerin geliştirilmesi sürecidir. Simülasyon, mevcut bir sistemin değiştirilmesi veya yenisinin geliştirilmesinde risk ve maliyetleri azaltmak amacıyla, çeşitli modellerin tanımlaması, tasarlanması, çalıştırılması, performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi aşamalarını kapsar. Simülasyon projelerinde izlenmesi önerilen adımlar Tablo 1'de sunulmuştur [16, 17]:

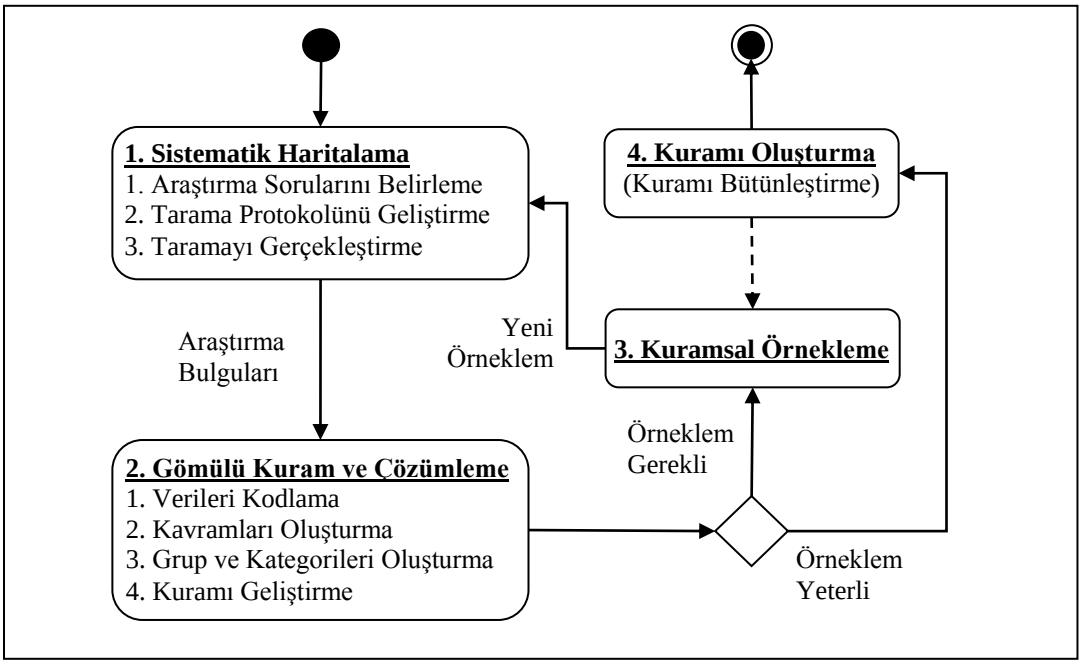
Tablo 1. M&S Projelerinde İzlenecek Adımlar

Nu.	Adım	Açıklama
A-1	Problemin Tanımlanması	Mevcut sistemle ilgili problemler ve sistem ihtiyaçları belirlenir.
A-2	Problemin Formüle Edilmesi	Problemle birlikte sistem bağımlıkları, çalışmanın genel amacı ve ele alınacak sorunlar belirlenir. Hedef sistemle ilgili performans göstergeleri ve kalite ölçütleri tanımlanır. Araştırma hipotezleriyle birlikte çalışma süresi ve simülasyonun hedeflediği kullanıcılar da belirlenmektedir.
A-3	Mevcut Sistemle İlgili Verilerin Toplanması	Gerçek sistemle ilgili değişkenler ve girdiler belirlenir, veriler toplanır.

Nu.	Adım	Açıklama
A-4	Modelin Geliştirilmesi	Sistemin şeması, ağ diyagramları ve kavramsal modeller tasarlanır, bu modeller yazılım uyumlu formatlara ve matematiksel modellere çevrilirler.
A-5	Modelin Geçerlemesi ve Doğrulanması	Çeşitli belirsiz durumlarda geliştirilen modelin performansı gerçek sistemle karşılaştırılır, uzmanların gözetiminde test edilir, varsa sorunlar giderilir ve modelin geçerlemesi sağlanır. Elle veya otomatik olarak kabul edilebilir aralıktaki çeşit veri, girdi ve rastgele değişkenlere ait katsayılar belirlenerek model doğrulanmaya çalışılır.
A-6	Uygun Deneysel Tasarımın Belirlenmesi	Bir performans ölçütü, girdi olarak onu etkileyen değişken ve seviyeleri belirlenir. Sabit sistemlerde bu davranışlarını etkileyen bağımlı değişkendir. Simülasyonun süreli veya süresiz çalışıp çalışmayacağına, çalışma süresine, alıştırma ve başlangıç durumlarına karar verilir. Çıktıları gözlemleyebilmek ve performans ölçümleri için gereken güven aralığına uygun örneklem büyüklüğü, girdilerle birlikte modelin kaç defa bağımsız çalıştırılacağı tanımlanır. Korelasyonda olabilecek girdi ve çıktı değişkenleri de belirlenmektedir.
A-7	Gerekli Deneysel Şartların Sağlanması ve Simülasyonun Çalıştırılması	Performans ölçütlerin zaman içinde değişip değişmediği (Modelin sabit/değişken sistem olup olmadığına bağlı olarak) dikkate alınarak araştırma sorusunu cevaplamak için gerekli ve mümkün olduğu kadar çok veri elde edilir. Simülasyon, deney tasarımına, başlangıç durum ve şartlarına bağlı olarak ihtiyaç duyulduğu kadar tekrarlanır ve veriler elde edilir.
A-8	Sonuçların Analizi, Sunumu ve Raporlanması	Performansla ilgili sonuçlar ve toplanan veriler çeşitli yöntemlerle analiz edilir, gösterilir, ortalama ve güven aralığı hesaplanır, hipotez testleri gerçekleştirilerek sonuçlar yorumlanmaktadır. Duyarlılık analizleri vb. tekniklere bağlı olarak gerekirse deneyler, simülasyonlar tekrarlanır ve ileriye yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulur. Proje raporlanarak çalışma sonlandırılmaktadır.

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, SH ve GK yöntemlerine göre bütünleşik olarak yürütülmüş, kartopu ve amaçlı örneklem yöntemi kullanılarak BES ile ilgili tarama çalışmalarına ulaşılmıştır. GK doğrultusunda her bir araştırma örnek olay olarak ele alınmış, veriler M&S süreçleri çerçevesinde incelenmiştir. Şekil-1'de çalışmada izlenilen araştırma modeli ve iş akışı gösterilmektedir.



Şekil-1. Araştırma modeli ve iş akışı

3.1. Sistematik Haritalama

3.1.1. Araştırma Soruları

Çalışmanın amaçları doğrultusunda belirlenen araştırma soruları şunlardır:

AS-1: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda temel problem sahaları ve araştırma problemleri / hipotezleri nelerdir?

AS-2: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda kapsanan M&S yöntem, teknik, algoritma ve araçları nelerdir?

AS-3: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda, M&S disiplini ve sistematiği çerçevesinde izlenen aşama ve ilkeler nelerdir?

3.1.2. Tarama Protokolü

Geliştirilen protokol, (a) cevaplanması istenilen araştırma sorularını, (b) anahtar kelimeleri, (c) taranacak veritabanlarını (Tablo 2), (d) tarama deyimlerini (Tablo 3), (e) çalışmaların seçim ölçütlerini ve (f) verilerin nasıl çıkarılacağına yönelik yöntem ve teknikleri içermiştir. GK çerçevesinde ise kavramsal yapılar ve aralarındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Tablo 2. Taranan elektronik veritabanları

Nu.	Elektronik Veritabanları
1	Web of Science
2	Science Direct
3	Google Scholar

Elektronik veritabanlarında bulunan ikincil kaynaklara aşamalı ve kartopu yöntemi kullanılarak ulaşılmış ve Tablo-3'de gösterilen tarama deyimleri kullanılmıştır:

Tablo 3. Tarama deyimleri

Nu.	Tarama Deyimleri ve Operatörleri
1	(modeling AND ("building energy" OR " building energy system") AND review)
2	(modeling AND ("energy smart building" OR " energy intelligent building") AND review)
3	(modeling AND ("building energy system" OR "building energy ") AND review)
4	(modeling AND ("smart energy system " OR "intelligent energy system") AND review)
5	(simulation AND ("building energy" OR " building energy system") AND review)
6	(simulation AND ("energy smart building" OR " energy intelligent building") AND review)
7	(simulation AND ("building energy system" OR "building energy ") AND review)
8	(simulation AND ("smart energy system " OR "intelligent energy system") AND review)

Makale seçim ölçütünü, SLT veya ST niteliğindeki bilimsel çalışmalar oluşturmuştur. BES ile doğrudan ilişkili olmayan, enerji yönetimi vb. konularla ilgili genel çalışmalar kapsam dışında tutulmuştur. GK ile analiz edilecek veriler ise çalışmaların özet, araştırma problemi ve sorularından, M&S ile ilgili bulgu ve yorumlarından çıkarılmıştır. Protokolün nasıl gerçekleştirileceği, makalelerden hangi verilerin, ne şekilde seçileceği, nereye ve kayıt altına alınacağı vb. konuları içeren bir pilot uygulama yapılmıştır.

3.1.3. Taramayı Gerçekleştirme

İlk aşamada, Tablo 2'de gösterilen veritabanlarında bulunan çalışmalara ulaşılmış ve ilk veri kümesi oluşturulmuştur. İkinci aşamada, veri kümesindeki her bir çalışmaya ait kaynakça incelenmiş, mevcut veri kümesinde bulunmayan diğer ikincil çalışmalar belirlendikten sonra ilgili çalışmalara ulaşılarak veri kümesi genişletilmiştir. Veri kümesinin genişletilmesine aynı kaynaklar birbirini tekrarlamaya başlayana kadar devam edilmiştir. Toplanan makalelerin araştırma için uygunluğunun değerlendirilmesi çalışmayı yürüten araştırmacılar tarafından kararlaştırılırmıştır.

3.1.4. Veri Çıkarımı

Araştırma soruları doğrultusunda veri kümesinde toplanan makalelerin başlık, anahtar kelimeler, yöntem, bulgu ve tartışma bölümleri incelenmiş, ilgili veriler çıkarılarak aşağıdaki tablolarda sunulmuştur:

AS-1: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda temel problem sahaları ve araştırma problemleri / hipotezleri nelerdir?

Veri kümesindeki çalışmaların başlık, özet ve giriş bölümleri incelenerek temel problem sahası belirlenmiştir. Makalede doğrudan ifade edilmiş araştırma sorusu veya hipotezi

varsa alınmış, aksi durumda makalenin başlık ve özet bölümünde vurgulanan problem, kavram ve ifadelerden hareket edilerek araştırma sorusu dolaylı olarak çıkarılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. İkincil araştırmalarda BES problem alanları

Ref. Nu.	Problem Alanı	Araştırma Sorusu / Hipotezi
[1]	Akıllı ve sürdürülebilir binalarda enerji ve konfor yönetimi	Akıllı bina enerji sistemlerine yönelik güncel teknolojiler ve kontrol sistemleri nelerdir?
[2]	Bina performans analizi	Bina tasarım ve analizinde kullanılan simülasyon tabanlı optimizasyon yöntemleri nelerdir?
[3]	Sürdürülebilir bina tasarımı	Sürdürülebilir bina tasarımına uygulanan hesaplamalı optimizasyon yöntemleri nelerdir?
[4]	Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji	Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerjide uygulanan optimizasyon yöntemleri nelerdir?
[5]	Bina enerji modellemesi	Bina enerji tahmin modelleri nelerdir? Model-tabanlı ve model-serbest optimizasyon yöntemleri nelerdir? Etmen (agent) tabanlı modelleme nedir?
[6]	Bina enerji kontrol sistemleri	Akıllı kontrol sistemleri enerji verimliliğini ne ölçüde iyileştirmiştir?
[7]	Bina enerji tüketiminin tahmini	Bina enerji tüketimi tahmininde kullanılan mühendislik, yapay zekâ ve istatistiksel yöntemler nelerdir?
[8]	Bina enerjisinin tahmini	Enerji tüketimi tahmin modeller nelerdir?
[9]	Termal konforun bina enerji kullanımına etkileri	Termal konforun bina enerji verimliliğine etkileri nelerdir?
[10]	Bina enerjisinin tahmini	Bina enerji tahmininde kullanılan yapay zekâ yöntemleri nelerdir?
[11]	Bina performans analizi	Bina performans analizinde kullanılan duyarlılık analiz yöntemleri nelerdir?
[12]	Akıllı binalarda kullanıcı davranışları	Enerji tasarrufunda kullanıcıların en önemli kullanıcı davranışları ve bunların etkileri nelerdir?
[13]	Üç boyutlu bina enerji modellemesi	Geometrik ve termal olarak bina enerji modellemesinde kullanılan teknikler nelerdir?
[14]	Sürdürülebilir enerjide karar analizi	Sürdürülebilir enerjide çeşitli aşamalarında çok kriterli karar alma süreçleri nelerdir?
[15]	Bina enerji tüketimi tahmini	Bina performans analizinde kullanılan enerji verimliliği indeksi ile hesaplama yöntemleri nelerdir?

AS-2: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda kapsanan M&S yöntem, teknik, algoritma araçlar ve nelerdir?

İkinci araştırma sorusunu cevaplamaya yönelik çıkarılan veriler Tablo 5 de sunulmuştur.

Tablo 5. M&S, kontrol yöntemleri, teknik, algoritma ve araçlar

Simülasyon Aracı	Yöntem / Kontrol / Algoritma	İlgili Çalışmalar
MATLAB	Artificial Neural Network (ANN)	[1], [2], [3], [5], [6],[7],[10], [11]
ENERGYPLUS	Genetic Algorithms (GA)	[1], [2], [3], [4], [5],[6], [11]
TRNSYS	Particle Swarm Optimization (PSO)	[1], [2], [3], [5],[11],[15]
GAMS20.7	Hook & Jeeves	[1], [2]
MODELICA	Linear Programming (LP)	[1], [2], [3], [4], [5]
GENOPT	Evolutionary Algorithms	[1], [2], [3], [5]
AMPL	Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA)	[1], [2]
SIMULINK	Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO)	[1], [5]
LABVIEW	Scheduling Optimization	[1]
LINDO	Linear Quadratic (LQ)	[1]
CITYSIM	YALMIP	[1], [3]
PST	Multi Agent System Technology	[1], [5], [6]
PCL-LON	Fuzzy Sets / Adaptive Controller	[1], [14]
BCVTB	Discrete Model-Based Predictive Control	[1]
CLIPS	Dynamic Control	[1]
AT-PLUS	Multi-Layer Perceptron Neural Network	[1]
LUMINA	Bayesian Network	[1]
NODEM	Multi-Islanded Genetic Algorithm (MIGA)	[1]
SEMPER	Measured Occupancy-Based Setback (MOBS)	[1], [3]
INSEL	Predicted Occupancy-Based Optimal (POBO)	[1]
SIM+	Meta-Analysis	[1]
C, C++	Decision Processes	[1]
JAVA	Gray Models	[1],[6],[7]
DYMOLA	ANFIS	[1],[5]
AT-PLUS	Combined Optimal Control	[1]
OP-E-PLUS	Proportional-Integral-Derivative	[1]
HVACSIM+	Heuristic / Meta-Heuristic	[1]
DOE-2	Deterministic / stochastic	[2], [11], [15]
ESP-R	Derivative-Based / Derivative-Free	[2], [3],[7],[11]
EQUEST	Trajectory or Population-Based	[2], [4]
ECOTECT	Single-Objective or Multi-Objective	[2], [4]
DEST	Bio-inspired / non Bio-Inspired	[2]
ENERGY-10	Hybrid Algorithms	[2],[10]
IDA-ICE	Adaptive Range Multi-Objective Genetic Algorithm (ARMOGA)	[2], [3]
BSIM	Fast Multi-Objective Genetic Algorithm (FMOGA)	[2]
IESVE	Multi-Objective Game Theory (MOGT)	[2]
POWERDOMS	Direct Search	[1], [2], [3]
HEED	Harmony Search (HS)	[2], [3]

Simülasyon Aracı	Yöntem / Kontrol / Algoritma	İlgili Çalışmalar
ENER-WIN	Ant Colony Optimization (ACO)	[2], [3]. [4]
SUNREL	Brute Force	[2], [3]
ENERGY EXP.	Design of Experiment	[2], [4]
ENERCALL	Tabu Search (TS),	[3], [4]
DOE-2	Hill Climbing (HC)	[2], [3], [4], [7], [8], [11]
	Simulated Annealing (SA)	[2], [4], [5]
	Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP)	[4]
	Multi-Objective Simulated Annealing (MOSA)	[4]
	Multi-Objective Tabu Search (MOTS)	[4]
	Artificial Bee Colony Optimization (ABCO)	[4]
	Multiple Linear Regression	[5]
	Statistical Methods	[7],[11]
	Support Vector Machines	[6], [7],[10]
	Black Box /White Box/Gray Box	[6],[7]
	Predicted Mean Vote (PMV)	[9]
	Predicted Percentage of Dissatisfied	[9]
	Sensitivity Analysis	[11]
	Multi-Criteria Decision Analysis	[14]
	3-D Modeling Algorithms	[13]

3.2. Gömülü Kuram Analizi

AS-3: BES ile ilgili ikincil araştırmalarda, M&S disiplini ve sistematiği çerçevesinde izlenen aşama ve ilkeler nelerdir?

Bu aşamanın temel amacı, SH ile belirlenen çalışmalarda M&S süreçlerine nasıl yaklaşıldığının belirlenmesidir. İlk olarak bu makalenin kaynaklar bölümünde verilen çalışmalar kronolojik yayın yılına göre sıralanmış, araştırma sorularına cevap aranırken aynı zamanda yinelemeli olarak Şekil 1'deki GK çözümleme adımlarından geçirilmiştir. Her bir kuramsal örneklemede bir sonraki çalışma incelenmiş, bir önceki çalışmada belirlenen kavramlar, kategoriler ve aralarındaki ilişkiler güncellenmiş, mevcut kavramsal yapı iyileştirilerek kuramsal örneklemeye devam edilmiştir. Çalışmaların incelenmesinde aşağıdaki adımlar yinelemeli olarak tekrarlanmıştır:

*Adım-1: Verilerin Kodlanması***:** Bölüm 2.2'de belirtilen ve M&S araştırma projelerinde izlenmesi önerilen sekiz adımla ilgili (problemin tanımı, formüle edilmesi, modelin geliştirilmesi ve doğrulanması, deneysel tasarım, simülasyonun çalıştırılması, raporlanması vb.) kelime ve deyimlere yönelik açık kodlama yapılmıştır.

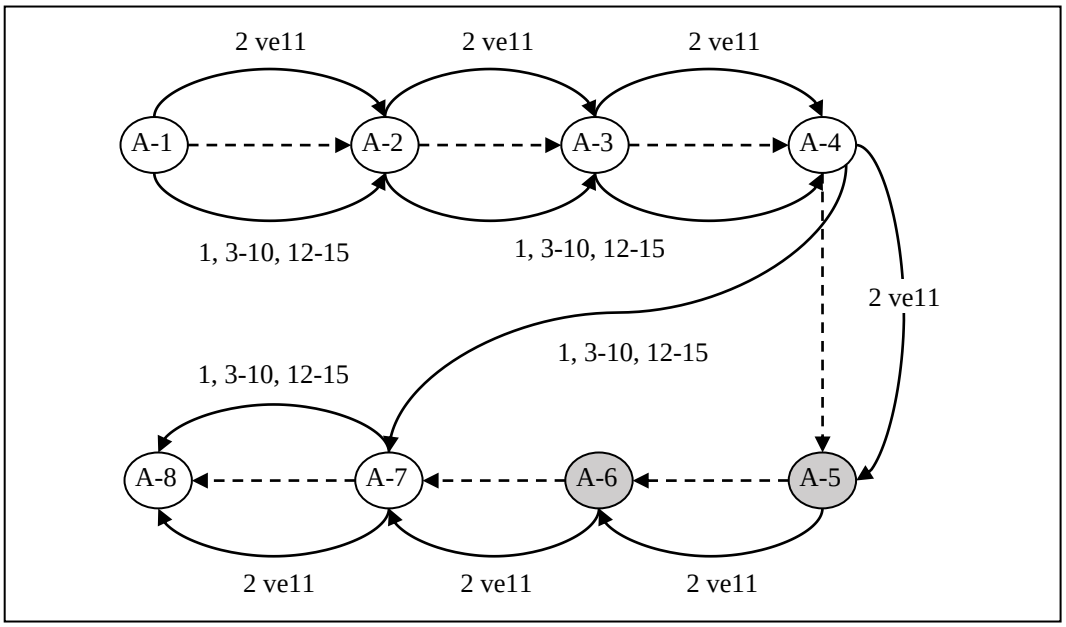
Adım-2: Kavramların Oluşturulması: Açık kodlama sonrasında belirlenen kelime ve deyimler, ilişkili olduğu yapılar da dikkate alınarak tablo 1'deki sekiz adımlı M&S süreci ile ilişkili kavramlar haline dönüştürülmüştür.

Adım-3: Kategorilerin Oluşturulması: M&S sürecinin her bir adımı kategori olarak belirlenmiş, kavramlar ilgili kategoriye yerleştirilmiş ve kavram tekrar sayıları güncellenmiştir.

Adım-4: Kuramı Geliştirme, İyileştirme ve Oluşturma: İlk çalışmayla belirlenen kavramsal ve ilişkisel yapı, her makalenin incelenmesi sonrasında güncellenmiş, ilişkilerin gücü kavramların tekrar sayısına göre belirlenmiş, aksiyel kodlama yapılarak elde edilen verilerden kuramsal yapı geliştirilmiş ve Şekil 2'deki son halini almıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil-2'de, çalışmamızda SH ve GK ile gerçekleştirilen bütünleşik analiz sonucunda ulaşılan kuramsal yapı gösterilmektedir:



Şekil-2. ST ve GK analizi sonucunda belirlenen kuramsal yapı

Şekil 2'de görüldüğü gibi, A-1 ve A-8 arasındaki daire biçimindeki düğümler, M&S araştırma projelerinde izlenmesi önerilen adımları simgelerken kesikli düz oklar ise adımların önerilen sırasını göstermektedir. İncelenen çalışmalar arasında sadece [2]'de bu adımlar, (a) "optimizasyon öncesi", (b) "optimizasyonun çalıştırılması" ve (c) "işlem sonrası" olarak adlandırılan aşamalar altında yer almıştır. Araştırma [11] de ise bina enerji analizlerinde, duyarlılık analizi kapsamında M&S süreçleri ele alınmış olup önerilen adımlarla uyumlu olduğu söylenebilir.

[1, 3-10, 12-15] referans numaralı çalışmalarda, genellikle problem ve onun formüle edilmesi (A-1 ve A-2), modelleme ve veri toplama (A-3 ve A-4) adımları üzerine odaklanılmış, modelin geçerlemesi ve doğrulanması (A-5) ile uygun deneysel tasarım (A-6) aşamalarına değinilmemiştir (Şekil 2). M&S araştırmalarının geçerliliği ve güvenirliği

açısından A-5 ve A-6 adımların önemli olduğu düşünüldüğünde, bu bulgunun, ikincil araştırmalarda yer alan birincil çalışmaların bu yönüyle tekrar gözden geçirilmesini gerektirdiği söylenebilir. Ayrıca, çalışmamızda saptanan ve öne çıkan bulgular aşağıdaki gibidir.

- Aralarında farklılıklar olmasına karşın optimizasyon, simülasyon, deneysel tasarım ve duyarlılık analizi kavramlarının birbirlerinin yerine kullanıldığı gözlenmektedir [2, 11].

- BES'nin simülasyonu, tahmin ve modellemesiyle ilgili çalışmalarda otomatik kontrol sistemleri ve hesaplamalı optimizasyon stratejilerinin kullanımında artış gözlenmektedir [1-15].

- Tablo 4' de görüldüğü gibi Yapay Sinir Ağları (ANN), Genetik Algoritmalar (GA, MOGA vb.), Bulanık Mantık (FL) ve PSO en sık tercih edilen algoritmalar arasındadır. TRNSYS, ENERGYPLUS, DOE-2, MATLAB, GENOPT ise en çok kullanılan simülasyon programlarını oluşturmaktadır [1-4, 7].

- Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak etmen tabanlı ve çok etmenli enerji sistemlerinin kullanımı artmış, farklı bileşen ve teknolojilerden oluşan BES'leri daha da karmaşık hale gelmiştir [6].

- Önemli bir diğer bulgu ise taranan çalışmalarda, M&S sürecine bütünsel yaklaşmak yerine daha çok BES'lerinde kullanılan algoritma, yöntem ve yazılımlar üzerine odaklanıldığı gözlenmektedir [1-15].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir enerji yönetimi, enerji verimliliği ve karbon salınımının kontrolü kapsamında BES'leri ve enerji optimizasyonun önemi dünyada artarak devam etmektedir. Bu amaçla çeşitli çalışmalarda modelleme teknikleri, araç ve algoritmaları ile simülasyon yazılımları kullanılmaktadır. Bu amaçla çalışmamızda, BES alanındaki genel eğilimi belirlemek için konuyla ilgili ikincil araştırmalara ulaşılmış, bu çalışmalarda M&S disiplini çerçevesinde nasıl yaklaşıldığı araştırılmıştır. Elde edilen veriler SH ve GK yöntemleriyle analiz edilmiş ve bulgular tartışılmıştır. Araştırmanın sınırlılıkları nedeniyle sadece ikincil çalışmalar incelenebilmiştir. Bu yönüyle çalışma sonuçlarının genellenebilirliği sınırlı düzeydedir. Dolayısıyla, M&S kapsamında BES'leri ile ilgili daha kapsamlı ve detaylı yeni araştırmalara ihtiyaç olup bu konu gelecekte yapılması planlanan çalışmalarımızın arasında yer almaktadır.

6. KAYNAKÇA

[1] Shaikh, P.H., Nor, N.B.M., Nallagownden, P. Elamvazuthi, I. ve Ibrahim T. (2014), A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (34), 409-429.

[2] Nguyen A.T., Reiter, S. ve Rigo P. (2014), A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis, *Applied Energy*, (113), 1043-1058.

[3] Envis, R. (2013), A review of computational optimization methods applied to sustainable building design, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (22), 230-45.

[4] Baos, R, Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F, Gil, C. ,Alcayde, A ve Gmez, J. (2011), Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15*(4)*, 1753-1766.

[5] Xiwang Li ve Jin Wen (2014), Review of building energy modeling for control and operation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (37), 517-537.

[6] Dounis, A.I ve Caraiscos C. (2009), Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment-A review, *Renewable Sustainable Energy Review*, (13), 1246-61.

[7] Zhao H.X ve Magoulès F. (2012), A review on the prediction of building energy consumption *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (16), 3586– 3592.

[8] Fumo N. (2014), A review on the basics of building energy estimation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (31), 53-60.

[9] Yang L., Yan, H. ve Lam, J. C. (2014), Thermal comfort and building energy consumption implications - A review. *Applied Energy*, (115), 164-173.

[10] Ahmad, A.S., Hassan, M.Y., Abdullah, M.P., Rahman, H.A., Hussin, F., Abdullah H. ve R. Saidur (2014), A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consumption forecasting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (33), 102-109.

[11] Tian W. (2013), A review of sensitivity analysis methods in building energy analysis. *Renewable Sustainable Energy Review*, (20), 411-419.

[12] Nguyen, T.A. ve Marco, A. (2013), Energy intelligent buildings based on user activity: A survey. *Energy and Buildings*, (56), 244-257.

[13] Cho, Y.K., Hamb, Y. ve -Fard, M.G. (2015), 3D as-is building energy modeling and diagnostics: A review of the state-of-the-art. *Advanced Engineering Informatics*, (29), 184-195.

[14] WangJ-J, Jing, Y-Y., Zhang, C-F, Zhao, J-H., (2009), Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable Sustainable Energy Review*, 13*(9)*, 2263-2278.

[15] Bakar, N.N.A., Hassan, M.Y., Abdullah, H., Rahman, H.A, Abdullah, M.P. ve Bandi, F.H.M., (2015), Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (44), 1-11.

[16] Maria A. (1997), Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, 7-10 Ekim 1997, Atlanta, GA, USA, 7-13.

[17] Chung, C.A. (2004), Simulation Modeling handbook: A practical approach. Ed. Parsaei, H.R. CRC Press, New Tork, USA.

KIZILÖTESİ ARAZİ MODELLEMESİ VE ÖLÇÜM SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILARAK DOĞRULANMASI

Aybüge Çekinmez [(a)], Hüseyin Duman [(b)]

[(a)] Roketsan, ANKARA, acekinmez@roketsan.com.tr

[(b)] Roketsan, ANKARA, huseyin.duman@roketsan.com.tr

ÖZ

Kızılötesi Sahne Oluşturma Sistemleri (KÖSOS), kızılötesi görüntüleme sistemlerinin laboratuvar testlerinin yapılabilmesi amacıyla gerekli senaryo bileşenlerinin (platform, ortam, karşı tedbir vb.) modellenmesini ve modellenen bileşenler kullanılarak senaryoların oluşturulmasını sağlayan sistemlerdir. Bu kapsamda, füzenin gerçek hayatta karşılaşacağı hedef ve arazi görüntülerinin sayısal olarak (sentetik) modellenmesini ve üretilmesini sağlamaktadır. Hazırlanan senaryolar ilgili donanımlara beslenerek testler gerçekleştirilmektedir. Görüntüleme sistemlerinin testlerinde kullanılmak istenen her arazi modeline hazır olarak ulaşmak mümkün değildir. Bu sebeple bazı bölgeler için arazi modellemesinin kullanıcılar tarafından gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, örnek olarak seçilen bir bölge KÖSOS yazılımı ile modellenmiş ve oluşturulan arazi modelleri ilgili araziden alınan termal kamera görüntüleri ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Modellenen arazinin gerçeğe uygun olması amacıyla, farklı malzeme atamaları sonucu oluşturulan arazi modelleri ile araziden alınan kızılötesi görüntülerin ortalama radyans değerleri karşılaştırılmış ve gerçeğe en uygun olan arazi modelinin tespiti yapılmıştır. Çalışmada toprak, asfalt ve betonarme bina örnekleri için karşılaştırma yapılmıştır. Modelleme ve doğrulama çalışmaları uzun kızıl ötesi dalga boyunda (LWIR, 8-12 μm) gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda model ve ölçüm arasındaki farkın her üç örnek için de % 10 seviyesinin altında olan malzemeler tespit edilmiştir. Sonuç olarak örnek çalışmanın yapıldığı arazideki modellemenin doğruluk seviyesinin yapılacak olan uygulamanın amacını karşılayacak seviyede olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arazi modelleme, Döngüde Donanım, Kızılötesi benzetim, Kızılötesi Sahne Oluşturma Sistemleri

INFRARED TERRAIN MODELLING AND VALIDATION OF INFRARED MODEL WITH MEASUREMENT RESULTS

ABSTRACT

Infrared Scene Generation Systems (IRSGS) are used for laboratory tests of imaging infrared systems by modeling of essential scenario entities (platform, environment, countermeasure vs.) and creating a scenario by using these models. In this context, IRSGS provides the synthetic model and generation of the target and terrain images, which the missile encounters in real life. Tests are executed by feeding the scenarios to related systems. It is not possible to commercially reach models of the all terrains which are wanted use in tests. Therefore, for most of the geographical areas users should model the territory which they want to perform test.

In this study, an example area is modeled by IRSGS software and created area model validated by comparing the model with captured images from the territory. To be appropriate for reality of IR terrain model created, the average radiance values of IR terrain models created with different materials and IR terrain images measured are compared and the most appropriate terrain model is determined. Comparison of model and measurement is done for soil, asphalt and ferro-concrete building examples. Modeling and validation is performed for long wave infrared region (LWIR, 8-12 μm). Results of the work show that, difference between radiance levels of modeling and measurement is less than 10 % for all three examples. As a result, validity of created model for the example territory is enough for the laboratory test application.

Keywords: Hardware in the Loop, Infrared Scene Generation Systems, Infrared simulation, Terrain modeling

1. GİRİŞ

Bir arazinin sentetik ortamda modellenebilmesi için Sayısal Arazi Yükseklik Verisi (DTED, Digital Terrain Elevation Data), Uydu Görüntüsü ve Planimetri (alan ölçümü) Verisi olmak üzere 3 temel veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Sayısal arazi yükseklik verisi, arazi yüzeyindeki yükseklik değerlerini ifade eden sayısal veri modeli olup arazinin sadece topoğrafyasını yansıtmaktadır. İlgili veri, enlem ve boylam çizgileri boyunca sabit aralıklarla belirlenen noktalardaki arazi yükseklik değerlerini içeren matris (gridlenmiş) yapısında veridir. DTED verileri çözünürlük seviyelerine göre DTED-0, DTED-1 ve DTED-2 vb. farklı seviyelerde bulunabilmektedir. Tablo 1'de farklı DTED verilerinin özellikleri parametrik olarak verilmektedir.

Tablo 1 DTED veri özellikleri

Düzey	Grid Aralığı	Yüzeyde	Hücre Boyutu
DTED-0	30 sn	≈1 km	1°x1°
DTED-1	3 sn	≈100 m	1°x1°
DTED-2	1 sn	≈30 m	1°x1°

Uydu görüntüsü, yer yüzüne uzaklığı belli yörüngülerde bulunan uydular tarafından sürekli olarak elde edilen ve farklı hassasiyetlere sahip sayısal görüntülerdir. Uydu görüntüleri için 4 farklı çözünürlük tanımlanmaktadır:

- Konumsal çözünürlük : Algılayıcının en küçük hedefi ayırt etme kabiliyetinin ölçüsü veya herbir pikselin temsil ettiği yer yüzündeki bir sahayı ifade etmektedir.

- Radyometrik çözünürlük : Algılayıcının parlaklık farklılıklarına olan hassassiyetini (elektromanyetik enerjinin büyüklüğüne karşı duyarlılığını) belirlemektedir.

- Spektral (tayfsal) çözünürlük : Algılayıcının elektromanyetik tayfda belirli dalga boylarında yapabileceği kaydı içermektedir.

- Zamansal çözünürlük : Belli bir alana yönelik olarak sensörün algıladığı görüntünün sıklığı olarak tanımlanmaktadır.

Planimetri verisi (vektörel veri) ise coğrafi özelliklerin x,y koordinat değerlerine sahip nokta, çizgi ve poligonlar biçiminde temsil edildiği vektör verisi olarak tanımlanmaktadır. Nokta özelliği gösteren bir elektrik direği tek bir (x,y) koordinatı, çizgi özelliği gösteren bir yol veya akarsu şeklindeki coğrafik varlık birbirini izleyen bir dizi (x,y) koordinat serisi ve poligon özelliğine sahip imar adası, bina, orman alanı vb. gibi coğrafik varlıklar ise; kapalı şekiller olarak, başlangıç ve bitişinde aynı koordinat olan (x,y) dizi koordinatlar olarak tanımlanmaktadır.

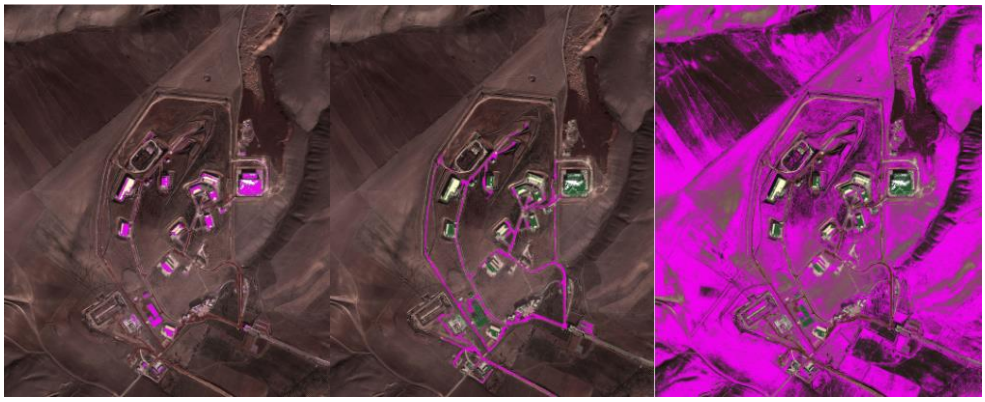
İlgili modelleme kapsamında Türkiye içerisinde bir alan seçilmiş ve modellemesi yapılacak alana ait yükseklik verileri ve uydu görüntüsü elde edilmiştir. Söz konusu modelleme çalışması için esas amaç programın çıktılarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması olacağından, özel obje ve şekillerin detaylarının içerildiği planimetri verilerinin kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

2. KÖSOS MODELLEME

KÖSOS yazılımında yapılan modellemenin ilk basamağı malzeme atamasıdır, yazılım çıktısı olan radyans değerlerini doğrudan etkilediği için atanacak malzemelerin doğru seçilmesinin önemi açısından oldukça kritiktir. Yazılımda bulunan malzeme veritabanı

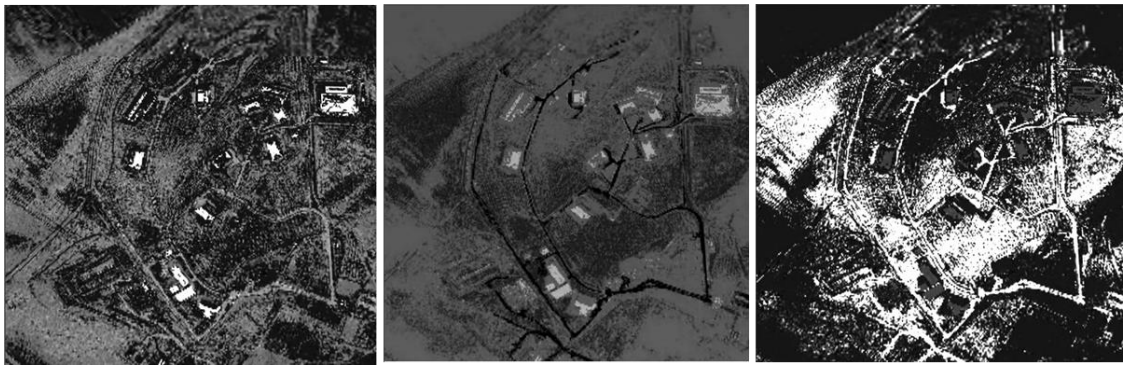
yaklaşık 300 malzemeden oluşmaktadır ve modelleme için bu malzemelerden elde edilmiş malzeme sistem dosyaları kullanılmaktadır. Malzeme tipleri; yapı (bina), bitki, su, çatı kaplaması, kaya, toprak, metal ve boya çeşitlerinden oluşmakla birlikte, gerekli görüldüğü takdirde malzemeyi tanımlayan ilgili parametreler sağlanıp kullanılmak üzere veritabanına yeni malzemeler de eklenebilmektedir. Malzemeleri tanımlayan parametreler ise spektral çift yönlü yansıma katkı fonksiyonu (Bi-directional Reflection Distribution Function, BRDF: basit olarak yansıma davranışını gösteren fonksiyon olarak tanımlanmaktadır.) ve malzemelerin termal özelliklerini (termal geçirgenlik, özgül ısı kapasitesi, ısıl yayınım vb.) içermektedir.

Belirlenen bölgeye ait uydu görüntüleri ve arazinin özellikleri incelenerek ağırlıklı örüntülerin belirlenmesi için maskeleme yapılmıştır. Materyal atamasının yapılmasına olanak sağlayan program ile yapılan maskeleme Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 Bina, yol ve toprak maskeleme

Yapılan maskeleme incelendiğinde toprak, bina ve yol örüntülerinin ağırlıklı olduğu görülmektedir. Bu sebeple uydu görüntüleri üzerine malzeme ataması için; bu üç çeşit örüntüye göre yazılım veritabanından arazideki malzemeye uygun malzemelerin seçilmesi gerekmektedir. Her malzemenin kızılötesi imza kestirim algoritmasında kullanılan yansıtma, soğurma vb. gibi parametreleri farklı olduğundan, seçilen malzemeye göre yazılım çıktısı dolayısıyla oluşturulan görüntüde farklılıklar olabilmektedir. Aynı arazi üzerindeki örüntülere farklı malzemeler (9 farklı malzeme) atanarak aynı koşullarda elde edilen farklı kızılötesi sonuçlar/görüntüler Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2 KÖ arazi modelleri

3. ÖLÇÜM VERİLERİ VE KARŞILAŞTIRMA

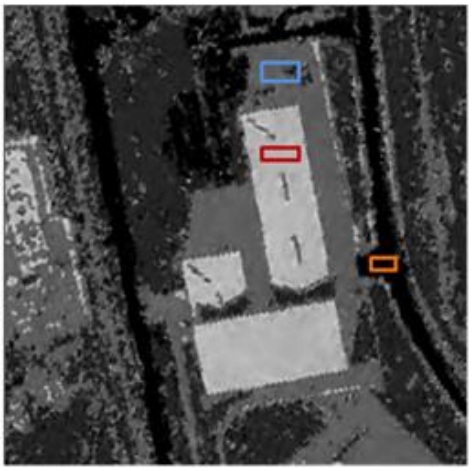
Malzeme ataması yapılarak oluşturulan arazi modelinin doğruluk seviyesini belirlemek amacıyla öncelikle ölçüm verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ölçümler KÖ modellemesi yapılan alanda uygun örüntü bölgelerinden alınmıştır. Daha sonra bu veriler aynı koşullarda oluşturulan KÖSOS yazılım çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm verileri için 8-12µm (uzun bölge kızılötesi) bandında integral ölçüm alabilen termal kamera kullanılmıştır. Ölçümler; günün belli zaman diliminde, çekilecek yerin normaline göre farklı açı değerlerinde toprak, bina ve yol olmak üzere üç farklı bölge için gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tüm ölçümler üzerinde analiz yapılarak ölçülen bölgedeki minimum, maksimum ve ortalama radyans değerleri ile bunların standart sapması çıkarılmıştır. Farklı bölgeler için elde edilen ölçüm sonuçlarının ölçüm açılarına göre ortalama radyans değerleri Tablo 2'de verilmektedir. (Ölçüm saati 15:00'dır)

Tablo 2 9 farklı ölçüm için ortalama radyans değerleri ($W/m^2/sr$)

Bölge / Açı (°)	Ortalama radyans değerleri ($W/m^2/sr$)				
	0	30	45	60	90
Toprak	U/D	48.54	52.83	56.05	51.36
Bina	51.69	U/D	U/D	U/D	U/D
Yol (Asfalt)	U/D	52.30	51.65	52.19	51.53

KÖSOS yazılımında benzetilen arazi modelleri sonuçları ile ölçümü alınan bölgelerin (ilgili alanda toprak, bina ve yol) ortalama radyans değerlerinin karşılaştırılması amacıyla, sentetik ortamda modellenen alan aynı koşullarda (uzaklık, saat, görüş açısı) oluşturulmuştur. Sentetik model üzerinde radyans değerleri karşılaştırılmasında dikkate alınan bölgeler Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3 Ortalama radyans değerleri hesaplamasında dikkate alınan bölgeler (mavi bölge: toprak, kırmızı bölge:bina, turuncu bölge:yol (asfalt))

KÖSOS yazılımında oluşturulan arazi modelinin ortalama radyans değerleri (örnek olarak seçilmiş üç malzeme için) Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3 KÖSOS yazılımında oluşturulan arazi modelleri/bölgelerinin ortalama radyans değerleri

Bölge	Ortalama radyans değerleri ($W/m^2/sr$)
Toprak	44.90
Bina	48.69
Yol (Asfalt)	36.97

Tablo 3'de verilen KÖSOS yazılımı sonuçlarının ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4 Arazi Modelleri ve Ölçüm Verileri Karşılaştırılması

Bölge	Ortalama radyans değerleri-Modelleme çıktısı ($W/m^2/sr$)	Ortalama radyans değerleri-Ölçüm verileri ($W/m^2/sr$)	% Fark
Toprak	44.90	51.36	7.53
Bina	48.69	51.69	5.80
Yol (Asfalt)	36.97	51.53	28.25

KÖSOS yazılımında oluşturulan arazi modeli ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, en ağırlıklı örüntü olan toprak ve bina ölçüm sonuçlarının yazılım çıktıları ile tutarlı ve en yüksek farklılığın % 7.53 mertebesinde olduğu ancak modellemesi yapılan yol radyans değeri ve ölçümü alınan yol radyans değeri arasındaki farklılığın % 28.25 ile kabul edilebilir seviyede olmadığı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, farklı malzemelerle modellenmiş diğer KÖ arazi modelleri incelenmiş ve yol bölgesi için uygun malzeme tespit edilmiştir. Yapılan tespitten sonra ilgili örüntülerin gerçek ölçüm sonuçları ile karşılaştırılması Tablo 5'de verilmektedir.

Tablo 5 Tespit Sonrası Arazi Modelleri ve Ölçüm Verileri Karşılaştırılması

Bölge	Ortalama radyans değerleri-Modelleme çıktısı ($W/m^2/sr$)	Ortalama radyans değerleri-Ölçüm verileri ($W/m^2/sr$)	% Fark
Toprak	44.90	51.36	7.53
Bina	48.69	51.69	5.80
Yol (Asfalt)	47.12	51.53	8.55

4. SONUÇ

Bu çalışma ile Türkiye içerisinde belirlenen alanın KÖSOS modellenmesi yapılarak modellenen sentetik ortamın çıktıları ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Modelleme için gerekli olan uydu görüntüleri ve sayısal arazi yükseklik verileri kullanılarak ilgili bölge KÖSOS yazılımı ile modellenmiştir. Daha sonra modellenen arazinin gerçeğe yakınlık derecesinin (doğruluk seviyesi) tespiti

kapsamında; aynı koşullarda (ölçüm saati, uzaklık, görüş açısı) termal kamerayla ölçümler yapılmış ve yazılım çıktıları ile karşılaştırılmıştır. Arazi modelleri ve termal görüntülerin karşılaştırılması sonucunda ise gerçeğe en yakın malzemeler tespit edilmiş olup, asfalt için % 91.45, bina için % 94.2, toprak için ise % 92.47 yakınlık dereceli malzemeler belirlenmiştir.

Yakınlık dereceleri; atmosferik etkiler, yansıma modeli, malzeme salıcılık seviyesi vb. parametreler, alınan termal görüntüler ve bunların modellenmesi düşünüldüğünde % 90'ın üzerinde ve kabul edilebilir seviyede olduğu değerlendirilmiştir.

5. KAYNAKÇA

[1] CHIMAERA User's Guide v.1.2.8, JRM Technologies, 2011

[2] http://www.fas.org/irp/program/core/dted.htm

[3] Uzaktan Algılama Teknolojisi, Doç. Dr. Taşkın Kavzoğlu, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

[4] Ormancılık Çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemi, Uzaktan Algılama ve Fotogrametri, Cemil ÜN, Orman Genel Müdürlüğü

SiGe:C ÜRETİM SÜREÇLERİNİN BENZETİMİ VE RF PERFORMANS OPTİMİZASYONU

Arif Emre Yarımbıyık

TÜBİTAK BİLGEM YİTAL Gebze 41470 Kocaeli, emre.yarimbiyik@tubitak.gov.tr

ÖZ

Düzlemsel yarı iletken devre üretimi bir dizi iyon ekme, depolama, aşındırma, litografi, termal süreç, kılıflama adımı, test içeren, fizik, kimya, madde bilimi ve elektroniğin bir arada uygulama alanı bulduğu karışık bir süreçler bütünüdür. Tasarımın ve üretimde kullanılacak maskelerin basımının sonrasındaki adımlar sırasıyla Pul üretimi-Pul üstü ölçme-Kılıflama-Test şeklinde sıralanır. Bu adımlardan pul üretiminin benzetimi SENTAURUS SPROCESS programı, testin benzetimi SENTAURUS SDEVICE programı ile yapılmaktadır.

SiGe:C transistör üretimi yarı iletken üretim süreçlerinin en karmaşık olanı olup bazıları saatler süren 300'ün üzerinde adımdan oluşur ve bir üretim dönemi normal koşullarda üç vardiyalı çalışma ile ortalama 14 haftada ancak tamamlanabilmektedir. Bu nedenle performansa etkisi çok fazla olan istenilen özelliklerde bir baz bölgesi katkı profilini üretim esnasında deneme yanılma yöntemi ile oturtmak verimli bir yaklaşım olmaz. Literatürdeki örnek üretimler bir başlangıç noktası olarak alınsa dahi özgün geometri, üretim adımları ve ısıl bütçeler benzetim araçlarından faydalanmayı gerekli kılmaktadır. TÜBİTAK Yarı İletken Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nın (YİTAL) 0.13µm SiGe:C teknolojisi ile transistör üretiminde süreç tasarımı SENTAURUS yarı iletken benzetimi araçları kullanılarak yapılan benzetimlerden geri besleme alınarak yapılmıştır. Üretimi sürmekte olan transistörlerin f_t değeri 158 GHz, f_{max} değeri 153 GHz, BVceo değeri 1.75V, akım kazanç değerleri ise I_c=1mA için 150, f_t'nin maksimum değerini aldığı I_c=0.5mA için 580 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: SiGe, SENTAURUS, süreç benzetimi, RF performans optimizasyonu, yarı iletken

SiGe:C PROCESS SIMULATION AND RF PERFORMANCE OPTIMIZATION

ABSTRACT

Planar fabrication of semiconductor devices and circuits, which consists of a series of ion implantation, deposition, etching, lithography, thermal process, packaging and test steps, is a complex interdisciplinary field in which physics, chemistry, materials science and electronics find applications. Design and mask making are followed by wafer processing, test, packaging and test. Wafer processing is simulated by SENTAURUS SPROCESS whereas SENTAURUS SDEVICE is utilized for testing the simulated structures.

Having 300+ steps and requiring 14 weeks' 3 shift work to complete a run under normal conditions, SiGe:C process flow corresponds to the most complicated and cumbersome fabrication in planar semiconductor device production. This is why trial and error is not a good approach to use for optimizing, for instance, the doping profile of the base region which is the dominant factor affecting the performance. Even though papers written on similar fabrications could be taken as a starting reference, unique thermal budget, process steps and geometry make it a necessity to use simulation tools. Process planning decisions for 0.13 micron technology SiGe:C transistors fabricated in TÜBİTAK YİTAL (Semiconductor Technologies Research Laboratory) have been made considering feedbacks from the simulations prepared and ran with the SENTAURUS semiconductor simulation tools. YİTAL's SiGe:C fabrication is currently at the wafer processing stage. Resulting transistors are calculated to have the following values for performance and breakdown: f_t= 158 GHz, f_{max} = 153 GHz, BVceo = 1.75V, {gain for I_c=1mA} = 150, {gain for I_c=0.5mA, where f_t has its maximum} = 580.

Keywords: process simulation, RF performance optimization, semiconductor, SENTAURUS, SiGe

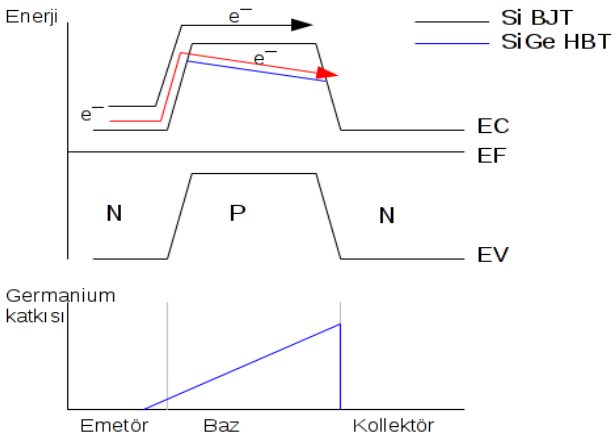
1. GİRİŞ

Günümüzde SiGe BiCMOS teknolojisi haberleşme uygulamalarında GaAs ve InP gibi III-VI bileşiği yarı iletkenlerin yerini almakla kalmayıp yeni uygulamaları da mümkün kılmıştır. SiGe BiCMOS'un 3 önemli avantajı şunlardır (1):

1) SiGe epitaksi (epi) katmanının CMOS üretim süreçlerine eklemlenmesi tek bir SiGe depolama cihazının katılımı ile mümkündür. Böylelikle SiGe'ye özgü adımlar standart CMOS sürecine performans kaybı olmadan entegre edilebilmekte, yüksek frekanslarda çalışan analog ve sayısal hücreler beraber üretilebilmektedir.

2) SiGe transistörler aynı litografi ölçeklemesi altında Si bipolar transistörlerin 10 katından daha hızlı çalışabilirler. (Ge katkısı nedeniyle iletim bandında düşüş gözlemlenir (Şekil 1). Germanyumun artan bir katkıya sahip olması aynı zamanda bir sürüklenme alanı (drift field) yaratmak suretiyle elektronların baz bölgesinden geçişini daha da hızlandırır.)

3) Yeni litografi gereçlerinin geliştirilmesi ile boyutların küçültülmesi yönündeki ölçekleme mümkün olmakta, bu sayede CMOS teknolojisinde sürekli bir performans artışı sağlanmaktadır.



Şekil 1. Ge katkısının iletim bandına etkisi.

Düzlemsel (planar) yarı iletken devre üretimi süreçlerinin planlaması yapılırken başlangıç olarak literatürdeki bilgilerden ve örnek üretimlerden fikir alınabilir (örn. 1,2,3,4,5,6), fakat özgün geometri, ısıl bütçe ve üretim adımlarının söz konusu olacağı orijinal süreçlere dair detaylı bir optimizasyonu deneme yanılma yöntemi ile yürütmek pek verimli bir yol olmaz, zira SiGe:C transistör üretimi yarı iletken üretim süreçlerinin en karmaşığı olup bazıları saatler süren 300'ün üzerinde adımdan oluşur ve bir üretim dönemi (run) normal koşullarda 3 vardiyalı bir çalışma ile 14 haftada ancak tamamlanabilmektedir.

Düzlemsel yarı iletken devre üretiminde hedeflenen kırmığa (chip) ulaşana dek geçilen evreler sırasıyla şunlardır: tasarım, üretimde kullanılacak maskelerin basılması, pul üretimi, pul üstü test, kılıflama ve yeniden test (7). Bu adımlardan pul fabrikasyonunun benzetimi SENTAURUS SPROCESS programı, testin benzetimi SENTAURUS SDEVICE programı ile yapılmakta ve RF performans optimizasyonunu yürütmek (örneğin istenilen özelliklerde bir baz bölgesi katkı profilini oturtmak) için yapılan denemeler benzetimler yardımıyla hızlı ve verimli şekilde tamamlanmaktadır. Makalenin 2. bölümünde üretim süreç benzetimleri, 3 bölümde optimizasyon

çalışmaları ve sonuçta elde edilen transistörün özellikleri sunulacaktır. Bildiri sonuç bölümü ile tamamlanacaktır.

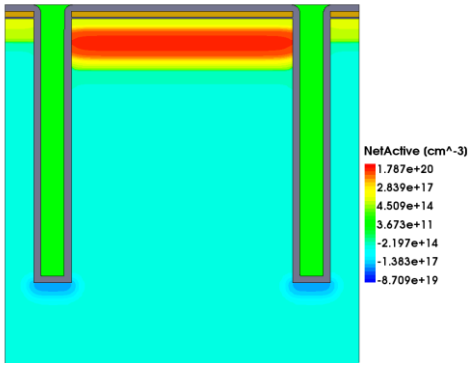
2. ÜRETİM SÜREÇ BENZETİMLERİ

Düzlemsel (planar) yarı iletken devrelerin pul (wafer) üzerinde üretiminde bir dizi iyon ekme, depolama(deposition), litografi, aşındırma (etching) ve ısıl adım yer alır. SiGe:C pul üretiminde 300'ün üzerinde adım mevcuttur. Bu makalede bütün adımların teker teker sunulması yerine önemli adımlara vurgu yapılacaktır.

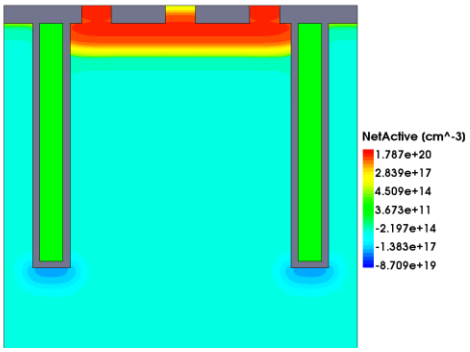
Şekil [2,6] bazı kritik adımların sonrasında transistörün kesit olarak durumunu gösterir. Üretim p-tipi katkılı pulun oksitlenmesi ve arsenik iyonu ekme ile n+ gömük tabakanın oluşturulmasıyla başlar. Sonrasında oksit aşındırılır ve düşük katkılı n tipi Si-epi kollektörü oluşturmak üzere depolanır. Transistör civarındaki diğer yarı iletken cihazlardan DTI (deep trench isolation-derin çukur oksit yalıtımı) süreçleri sonucunda izole edilir (Şekil 2). Sırada transistörün aktif alanını tanımlamak ve izole etmek üzere tamamlanacak STI (shallow trench isolation-sığ çukur oksit yalıtımı) süreçleri vardır. Gömük tabaka ile kollektör kontağı arasındaki bölgenin yüksek dirençli olmaması için n+ iyon ekme (sinker) yapılır (Şekil 3). Baz kontaklarının yerleştirileceği baz adasının (dışsal baz) oluşturulması için polisilikon depolanır ve bor ekme yapılır. Bipolar bölgenin tanımlanması için maskeleme yapılır ve bir dizi depolama ve aşındırma adımının ardından oluşturulan 0.13 mikronluk D tipi geçici bir aralıktan n+ SIC (selective implantation of collector) yapılır (Şekil 4). Böylelikle dış baz adası altındaki kollektör bölgesinin katkı konsantrasyonu yükseltilmeyerek baz-kollektör kapasitesinin kısmi olarak yükselmesinin önüne geçilmiş olunur. SIC'nin doz ve enerjisi baz bölgesinin genişliğini ayarlamada büyük önem arz eder. Sonraki adımlarda nitrür ve polisilisyumun altındaki oksit aşındırılır, 25 nm kalınlığında SiGe:C epi ve 15nm kalınlığında katkısız Si epi (SiCAP büyütülür). SiGe:C epi büyütme adımı transistörün performansı ve çalışma bölgesini tanımlamakta çok kritik bir önemdedir, zira bu aşamada eklenen germanyum, bor ve karbon baz bölgesinin katkı profilini büyük ölçüde şekillendirir. Bu aşamadan sonra geçici olarak oluşturulmuş L şeklindeki yan duvarlar ile SIC iyon ekme sırasında fosfor ile kirlenmiş oksit tabakası aşındırılır, yeniden bir dizi oksit ve nitrür depolama ve aşındırmaları yapılarak aralarındaki mesafe 0.13 mikron olan iki kalıcı L tipi oksit yan duvar oluşturulur. N+ katkılı emetör polisilisyum filmin büyütülmesi ve ısıl adımla aktivasyon sonrası npn yapısı oluşturulmuş olur (Şekil 5). Bu aşamadan sonra polisilisyum aşındırma, oksit büyütme ve oksit aşındırma süreçleri gerçekleştirilerek oksit yan duvarlarla birbirinden ayrılmış polisilisyum emetör, polisilisyum dışsal baz ve silikon kollektör yüzeylerinden oluşan yapı elde edilmiş olur. Takip eden titanyum depolama, ısıl adım ve Ti aşındırma süreçlerinin sonrasında

emetör, baz ve kollektör kontaklarının alınacağı TiSi (titanyum salisit) yüzeyleri ile beraber transistör son halini alır (Şekil 6) *.

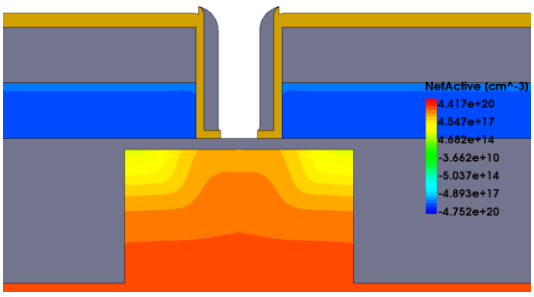
Üretim süreç akışının benzetimi her bir üretim süreci adımına karşılık gelecek komutların ardı ardına eklenip koşturulduğu SPROCESS programı ile yapılmıştır. İlave olarak kimi komut satırlarında benzetimde uygulanacak fiziksel modeller ile parametreler girilmiş ve ağ yapısı ayarlanmıştır.



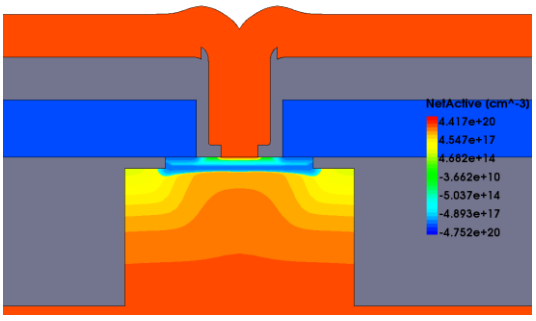
Şekil 2. Derin Çukur Oksit Yalıtımı **(**DTI)



Şekil 3. Kollektör kontak iyon ekme (sinker implant)

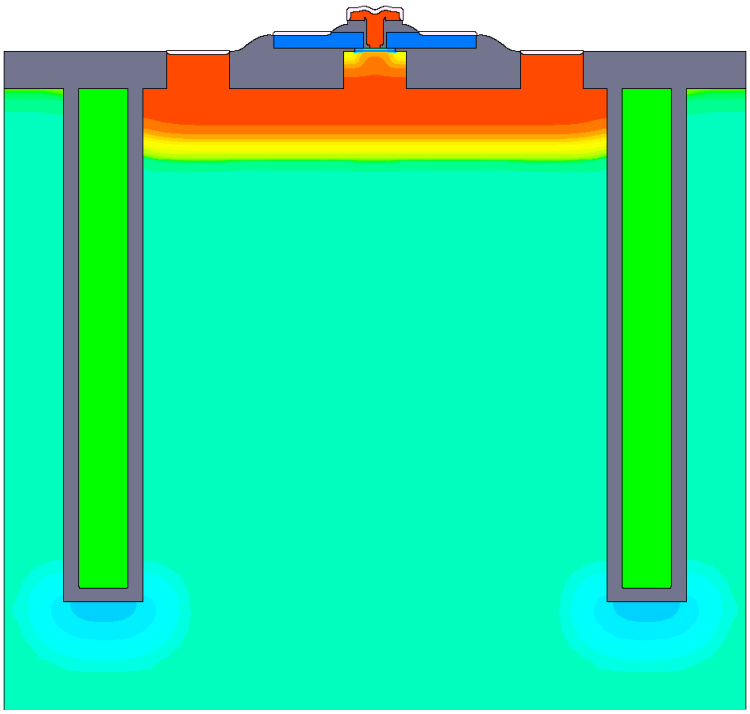


Şekil 4. SIC iyon ekme sonrası katkı dağılımı



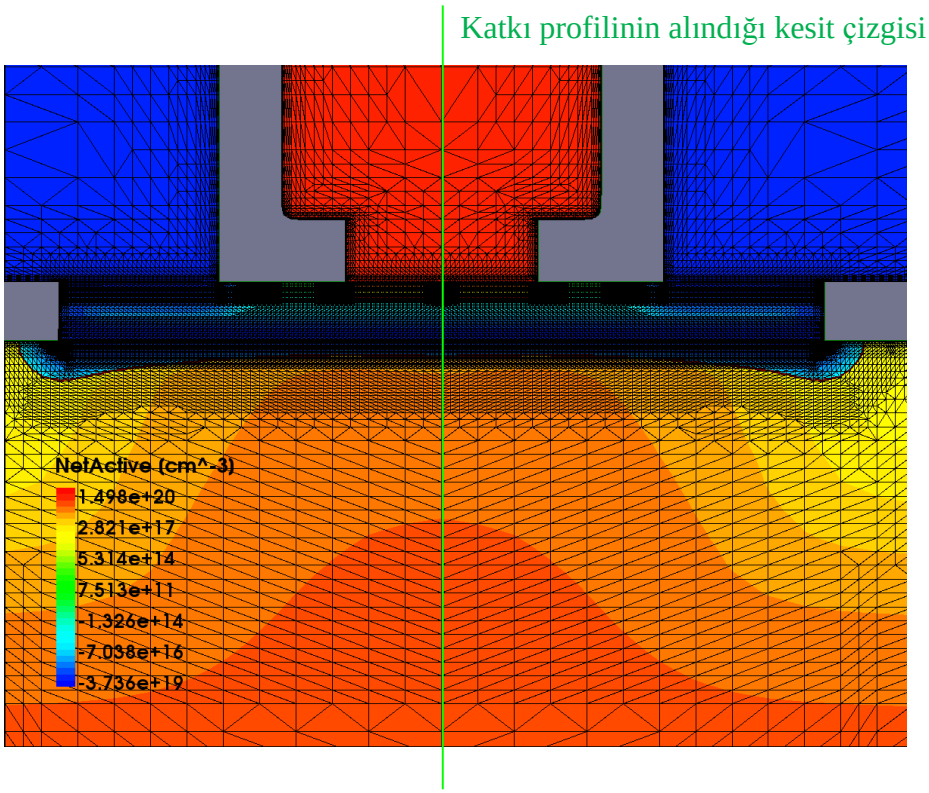
Şekil 5. Emetör polisilisyum film ve son etkin ısıl adım (tavlama; annealing-spike RTA)

(*): Transistörün silikon, polisilikon ve SiGe'den oluşan bölgelerindeki net aktif yük dağılımının gösterildiği Şekil [2-7]'de oksit gri, nitrür kahverengi, titanyum salisit açık pembe renkle ifade edilmiştir.

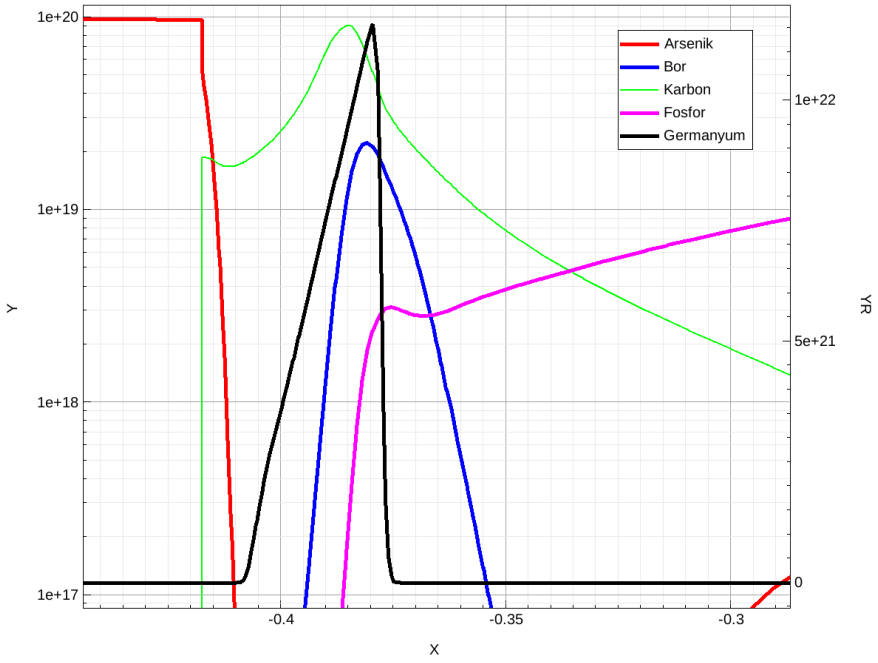


Şekil 6. TiSi kontakları ile tüm transistör.

SPROCESS benzetimlerinde “adaptive meshing” adı verilen iyon ekme, difüzyon gibi adımlardan sonra katkı değişimlerine göre ağ ayarlamasını istenilen hassasiyette otomatik olarak ayarlayan fonksiyon kullanılmıştır. “Adaptive meshing”e ilave olarak en önemli katkı profilinin oluştuğu SiGe içsel baz bölgesi ve civarında “refinebox” adı verilen yoğun ağ kutucuğu uygulaması yapılarak ağ daha da sıkılaştırılmıştır. Şekil 7 SiGe:C baz bölgesi ve civarındaki (oksit hariç) ağ yapısını göstermektedir. Şekil 8 Şekil 7'de görülen çizgi boyunca var olan katkı profilini içerir. Transistörün performansı ve çalışma aralıklarını belirleyen en önemli etken olan baz bölgesi ve civarı katkı profiline 3. bölümde değinilecektir.



Şekil 7. Baz bölgesi ve civarı ağ yapısı ve katkı profili için kesit alınan doğrultu.



Şekil 8. Şekil 7'deki kesit çizgisi boyunca baz bölgesi katkı profili. (Arsenik, bor, karbon ve fosfor konsantrasyonları Y ekseninde logaritmik, germanyum konsantrasyonu ise YR ekseninde doğrusal olarak verilmiştir)

3. RF PERFORMANS OPTİMİZASYONU VE HEDEFLENEN TRANSİSTÖR

Yüksek frekanslarda çalışabilecek bir SiGe:C transistör tasarlamak için odaklanılması gereken ilk bölge içsel baz bölgesidir. 2. bölümde bahsi geçen depolamaların, iyon ekmelerin, büyütülen epi filmlerin, litografi ve aşındırmalar aracılığıyla belirlenen geometrik tercihlerin, ısıl adımların her birinin puldaki katkı dağılımlarına katkısı vardır fakat bazılarının baz bölgesi katkı profili ve buna bağlı olarak performans üzerindeki etkisi çok daha fazladır. SiGe:C epi ve emetör polisilikon epi film büyütme adımları, SIC iyon ekme ve bunları takip eden ısıl adımlar bu anlamda en kritik adımlar olarak sayılabilir. Temel hedef baz bölgesini olabildiğince daraltmak ama bunu yaparken transistörün belverme gerilimini amaçlanan değerin altına düşürmemektir.

Baz bölgesi katkı profilini oturturken ilk yapılması gereken baz bölgesinde yüksek performans için en uygun iletim bandının elde edilmesini sağlayacak yarı iletken (hetero jonksiyon) yapıyı oluşturmaktır. Baz bölgesini Si yerine SiGe:C ile oluşturmak iletim bandının enerji seviyesini aşağıya çekerek (Şekil 1) aynı emetör-baz potansiyel farkı altında daha fazla elektronun transferine olanak sağlar ve neticede kollektör akımını arttıran bir seçim olur. İlave olarak SiGe:C epi büyütme adımında germanyumun konsantrasyonu emetörden baza doğru artacak şekilde ayarlanırsa performans artışı yakalanabilir, çünkü bu durumda iletim bandındaki düşüş baza doğru daha fazla olur (Şekil 1) ve bu bir yerleşik (built-in) elektrik alan gibi davranarak elektronları emetörden kollektöre doğru ivmelendirir. Bu durumda elektronların baz bölgesinden geçiş süreleri azalır ve transistör daha yüksek frekanslarda çalışabilir (8). SiGe:C epi büyütme adımı sırasında germanyumun yanı sıra bor ve karbon da katkı olarak epi filmde yerini alır. Bor katkısının tepe noktası ile germanyum katkısının tepe noktasını aynı derinliğe denk getirmek performans acısından önemlidir. Karbonun eklenmesindeki amaç ise bor difuzyonunu yavaşlatmak ve böylelikle daha sivri bir bor profili elde etmektir (3). Ne var ki baz bölgesini dar tutmak için karbon ilavesi yeterli değildir; emetör tarafında büyütülen epi filmin arsenik katkısının ve kollektör bölgesine yapılan fosfor iyon ekme (SIC) doz ile enerjisinin iyi ayarlanması gerekir. Kollektör kontakları ile SIC bölgesi arasındaki iletkenlik de gömük tabaka ve sinker iyon ekme adımlarında yeterli arsenik ve fosfor katkısı sağlanarak yüksek tutulmalıdır.

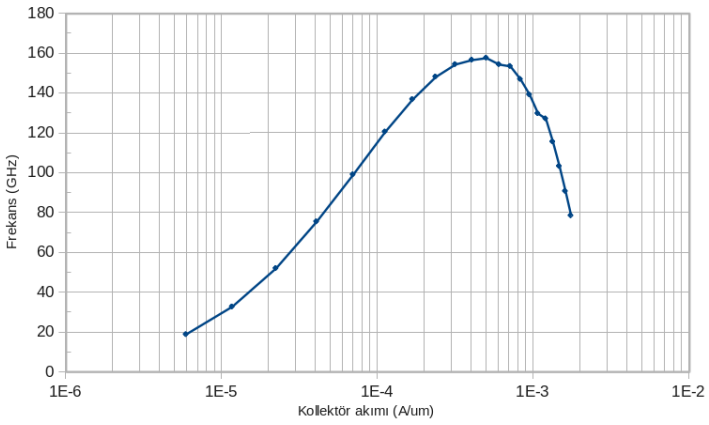
Bir bipolar transistörün çalışabileceği maksimum voltajı belirleyen mekanizma genellikle çığ (Avalanche) çarpımıdır. Açık baz koşulunda kollektör ve emetör arasındaki belverme gerilimi (BVceo) baz-kollektör uzay yükü bölgesi (SCR - space charge region) çığ çarpımı süreci ile bağıntılı olduğundan bipolar transistör optimizasyonunda önemli bir parametredir. BVceo ile akım kazancı birbiri ile ters orantılıdır, yani belverme gerilimini çok yüksek tutmak kazançtan feragat etmek

demektir. Yüksek BVceo değeri düşük kollektör katkısı ve geniş kollektör uzay yükü bölgesi gerektirirken düşük yük transferi zamanı için gereksinimler bunun tam tersidir.

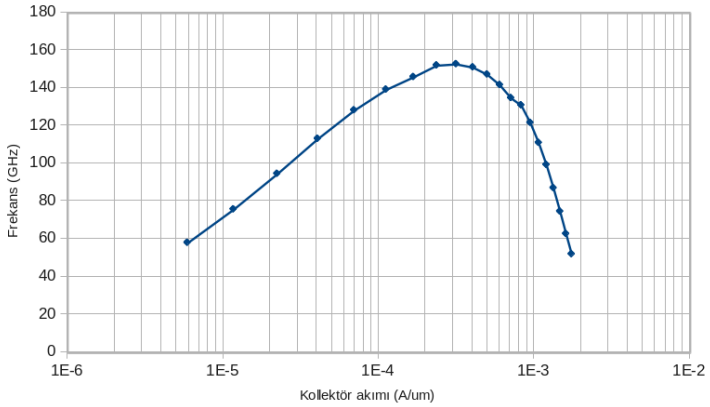
Yüksek frekanslara çıkıldıkça transistörün akım kazancı ($\beta=I_c/I_b$) düşer, çünkü transistörün değişik bölgelerindeki yüklerin transferi için artık daha az zaman vardır. Transistörün akım kazancının frekansa bağlılığını tanımlayan iki parametre f_t ve f_{max}'dır. f_t (geçiş frekansı) SDEVICE kullanılarak şu şekilde hesaplanmıştır: Emetör voltajı sıfırda tutulurken DC kollektör voltajı 2V, DC baz voltajı 0.7V'a çıkarılmıştır. Baz voltajı (V_{be}) 0.7V'dan 1.1V'a 20 nokta verecek şekilde arttırılırken her bir V_{be} değeri için 1 MHz ile 1THz arasında AC tarama yapılmış, akım kazancının bire eşitlendiği frekans o noktadaki f_t değeri olmuştur. f_{max} (maksimum salınım frekansı) ise kazancın yine bire eşit olduğu duruma karşılık gelen, ilave olarak baz direncinin etkisinin de göz önüne alındığı bir parametredir. f_t ile f_{max} arasındaki ilişki denklem 1'de verilmiştir. Burada r_b dinamik baz direnci, C_{bc} baz ile kollektör arasındaki Miller kapasitansıdır (2).

$$f_{\max} = \sqrt{\frac{f_t}{8\pi C_{bc} r_b}} \tag{1}$$

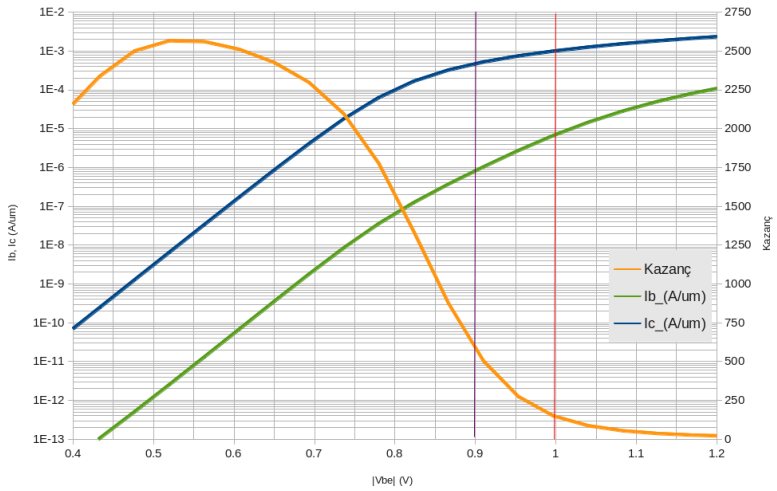
Bu bölümde aktarılan bilgiler doğrultusunda performansı yüksek tutarken belverme gerilimini çok düşürmemek adına üretim benzetimleri yapılmış, ortaya çıkan yapıların f_t, f_{max}, β, BVceo değerleri yazılan SDEVICE kodları ile sınanarak SPROCESS benzetimlerine geri besleme sağlanmış, her defasında en fazla bir iyon ekme, depolama, epi film büyütme, aşındırma, litografi veya termal süreç adımı değiştirilerek hedef üretime doğru yakınsanmıştır. Optimizasyona yönelik benzetim çalışması yürütülürken kimi süreçlerin ardından gelmesi şart olan ısıl adımlar gibi kısıtlar gözetilmiştir. Sonuçta f_t, f_{max}, β grafikleri Şekil [9,11]'de verilen, BVceo değeri 1.75 V olan SiGe:C HBT transistörün süreç benzetimleri tamamlanmıştır.



Şekil 9. f_t - kollektör akımı; max(f_t) = 158 GHz



Şekil 10. f_{max} - kollektör akımı; max(f_{max}) = 153 GHz



Şekil 11. Gummel grafiği (I_b, I_c, β - V_{be}). Kazancın maksimum değeri=2566, $I_c = 1\times10^{-3}$ A/µm için kazanç = 150 (Kırmızı çizgi), f_t 'nin maksimum değerini aldığı $I_c = 5\times10^{-4}$ A/µm durumu için başlangıç kazancı = 580 (Mor çizgi)

Ticari olarak sunulan standart hizmetlerle karşılaştıracak olursak tasarlanan ve üretimi sürmekte olan transistörün ikinci ile üçüncü nesil SiGe HBT BiCMOS üretimleri arasında bir performansa sahip olduğu görülmektedir. { IHP SiGe SGC25B: f_t tepe noktası 120 GHz olan SiGe HBT + 0.25 µm Si CMOS (ikinci nesil), IBM SiGe 7HP: f_t tepe noktası 120 GHz olan SiGe HBT + 0.18 µm Si CMOS (ikinci nesil), IBM SiGe 8HP: f_t tepe noktası 200 GHz olan SiGe HBT + 0.13 µm Si CMOS (üçüncü nesil) } (6). YİTAL SiGe HBT BiCMOS üretiminde 0.25 µm Si CMOS teknolojisi kullanılacaktır.

Sentaurus Device hesaplamalarında SRH Shockley-Read-Hall (SRH) birleşme mekanizmasını benzetime bağlayan parametrelerin gerçekçiliği sonuca direkt etkilidir.

Denklem 2, 3 ve 4 kullanılan SRH mekanizmasını betimler (9, 10). Bu denklemlerde E_{trap} hata (defect) ile içsel (intrinsic) enerji seviyeleri arasındaki farktır ve bu çalışmada varsayılan değeri 0'dır.

$$R_{net}^{SRH} = \frac{np - n_{i,eff}^2}{\tau_p\left(n + n_1\right) + \tau_n\left(p + p_1\right)} \tag{2}$$

$$n_1 = n_{i,eff}\, \mathrm{e}^{\frac{E_{trap}}{kT}} \tag{3}$$

$$p_1 = n_{i,eff}\, \mathrm{e}^{\frac{-E_{trap}}{kT}} \tag{4}$$

Katkı-SRH ömür bağlılığı ise Scharfetter bağıntısı ile modellenmektedir (11, 12):

$$\tau_{dop}\left(N_{A,0} + N_{D,0}\right) = \tau_{min} + \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{1 + \left(\frac{N_{A,0} + N_{D,0}}{N_{ref}}\right)^{\gamma}} \tag{5}$$

Bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan azınlık taşıyıcı ömürlerinin (τ_{max}) belirlenmesi için Alamo et al.(13) ve Tyagi et al.'in (14) deneysel veriler kullanarak elektron ve delikler için çıkardıkları azınlık taşıyıcısı ömrü-katkı grafikleri ve Şekil 8'de verilmiş olan katkı profilinden faydalanılmıştır. Azınlık taşıyıcı ömürleri Si ve SiGe için 1.8×10^{-7} saniye (elektron) ve 6×10^{-8} (delik) saniye olarak belirlenmiştir. Polisilikon için de Si için çıkarılmış bu grafiklerin kullanılabileceği varsayımı ile 1.2×10^{-9} saniye (elektron) ve 4×10^{-10} saniye (delik) değerleri kullanılmıştır.

Kullanılan silisyum taban ve depolanan filmlerin karakteristiğine bağlı olarak bu parametrelerde doğal olarak oluşabilecek değişiklik benzetim ve ölçme sonuçlarının farklılaşmasına neden olacaktır. Bir sonraki çalışmada deneysel verilerin de katkısıyla bu farklılıklar ve nedenleri üzerinde durulacaktır.

4. SONUÇ

TÜBİTAK Yarı İletken Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nın 0.13 mikron SiGe:C HBT teknolojisi üretim süreci tasarımı SENTAURUS yarı iletken benzetimi araçları kullanılarak yapılan benzetimlerden geri besleme alınarak yapılmıştır. İmplant enerji ve dozları, ısıl adımlar, epitaksi katkı değerleri ve kalınlıkları gibi parametreler üretim kısıt ve gereklilikleri gözetilerek optimize edilmiş, istenilen performansa erişmek için gerekli

olan baz bölgesi katkı profiline ve düşük parazitiklere erişilmiştir. Üretimi sürmekte olan transistörlerin f_t değeri 158 GHz, f_{max} değeri 153 GHz, BVceo (bel verme) değeri 1.75V, kazanç değerleri ise I_c=1mA için 150, f_t'nin maksimum değerini aldığı I_c=0.5mA için 580 olarak hesaplanmıştır.

5. TEŞEKKÜR

SiGe:C teknolojisini YİTAL'de geliştirip uygulama şansını bizlere veren TÜBİTAK-BİLGEM'e, SSM Ar-Ge Dairesine ve ASELSAN REHİS Grubuna YİTAL ekibi adına teşekkür ederim.

6. KAYNAKÇA

[1] Singh R., Harame D.L., Oprysko M.M., "Silicon Germanium: Technology, Modeling, Design", IEEE Press-John Wiley&Sons, 2004.

[2] Muller R.S., Kamins T.I., Chan M., "Device Electronics for Integrated Circuits", John Wiley&Sons, 2003.

[3] Rücker H. et.al., "Supressed diffusion of boron in carbon and carbon-rich silicon", Appl. Phys. Letters 73, 1682-1684, 1998.

[4] Van Huylenbroeck S., et al., "Lateral and Vertical Scaling of a QSA HBT for a 0.13µm 200GHz SiGe:C BiCMOS Technology", BCTM, 229-232, 2004.

[5] Böck J. et al., "3.3 ps SiGe bipolar technology", IEDM Tech. Dig., 255-258, 2004.

[6] Cresswell J.D. (editör), "Silicon Heterostructure Handbook", Taylor & Francis Group, 2006.

[7] Wolf S., "Microchip Manufacturing", Lattice Press, 2004.

[8] Hurkx G.A.M., "Bipolar Transistor Physics" - Bipolar and Bipolar-MOS integration, editör: Hart P.A.H., Elsevier Science B.V., 1994.

[9] Hall R.N., Electron-hole recombination in Germanium, Phys. Rev. 87, 387, 1952.

[10] Shockley W. ve Read W.T., "Statistics of the Recombination of Holes and Electrons", Phys. Rev. 87, 835–842, 1952.

[11] Fossum J. ve Lee D., "A Physical Model for the Dependence of Carrier Lifetime on Doping Density in Non-degenerate Silicon", Solid-State Electronics 25, 741-747, 1982.

[12] Sentaurus™ Device Manual Version I-2013.12, Synopsys®, 379, 2013.

[13] Alamo J.A. ve Swanson R.M., "Modeling of Minority Carrier Transport in Heavily Doped Silicon Emitters", Solid-State Electronics 30, 1127-1136, 1987.

[14] Tyagi M.S. ve Van Overstraeten R., "Minority Carrier Recombination in Heavily-Doped Silicon", Solid-State Electronics 26, 577-597, 1983.

GEMİ YALPA KONTROL ALGORİTMALARININ BENZETİM ORTAMINDA İNCELENMESİ

Alper Zihnioğlu [(a)], Melek Ertoğan [(b)], Şeniz Ertuğrul [(c)]

[(a)] İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşa Fakültesi Ayazağa/İstanbul, azihnioglu@itu.edu.tr

[(b)] İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi Tuzla/İstanbul, ertogan@itu.edu.tr

[(c)] İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi Gümüşsuyu/İstanbul, seniz@itu.edu.tr

ÖZ

Marin hidrolik sistemlerinin en önemlileri dümen ve fin hidrolik kontrol sistemleridir. Ülkemiz gemi inşa sektöründe bu sistemler halen yurtdışından tedarik edilerek gemilere montajı yapılmaktadır. Fin ve dümen sistemleri çalışma mantığı olarak birbirlerine çok benzemektedir ve sırasıyla yalpa ve rota kontrolü maksadıyla kullanılmaktadırlar. Bu sistemlerin imalat ve montaj öncesi yapılan tasarımlarının deniz, rüzgâr gibi çevresel etkenler ve gemi yalpa dinamikleri ile birleştirilerek benzetim ortamında çalıştırılmaları, tasarım verimliliğini artırırken ek bir maliyet getirmemesiyle oldukça faydalı olmaktadır. Bu çalışma, yalpa kontrolü için tasarlanan hidrolik sistemin matematiksel modeli çıkarılarak, deneysel verilerle doğrulanmıştır. Hidrolik yalpa sistemi, gemi yalpa dinamiği, deniz dalga denklemleri ve kontrol algoritması ile birlikte bilgisayar ortamında benzetimleri yapılmıştır. Hidrolik sistem denetleyicisi için PD ve PID kontrol yöntemleri denenerek laboratuvar ortamında gerçek sistemin tepkilerinin benzetim sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, tam ölçekli deneylerde kullanılan PDD^2 yalpa denetleyicisi algoritmasına alternatif olarak düşünülebilecek doğrusal kuadratik (LQR) ve aç-kapa (On-Off) algoritmalarının yalpa sönümlemedeki performansları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Benzetim, Denetleyici tasarımı, Gemi dinamiği, Hidrolik sistem, Yalpa Kontrolü.

INVESTIGATION OF SHIP ROLL CONTROL ALGORITHMS IN SIMULATION ENVIRONMENT

ABSTRACT

Steering gear and fin stabilizer systems are the most important marine hydraulic systems. Turkey's naval construction sector still imports these systems from foreign countries. Hydraulic fin systems are used for improving ship's dynamic stability. Dynamic stability has a major effect on both ship operation, passenger comfort and crew performance. Large roll, pitch and heave motions in heavy weathers increase the load experienced by equipment, resulting shorter service life. These motions also decrease passenger comfort, load safety and success of operations. In this study, the mathematical model of hydraulic fin system was obtained and simulated together with control algorithm, ship and wave equations.

In laboratory environment, PD and PID controller schemes are tried on hydraulic system, the results of trials then compared with the simulation results. Both results were in agreement with each other.

In this work, performances of LQR and on-off control schemes which can be considered an alternative to the PDD^2 roll controller scheme are investigated with the help of computer simulation.

Keywords: Controller design, Hydraulic system, Roll control, Ship dynamics, Simulation.

1. GİRİŞ

Yalpa sönümleyici sistemler genel olarak gemide çalışan personelin çalışma imkânlarını ve yolcu seyahat konforunu artırmak ile yük emniyetini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Askeri kullanım sahasında ise denizde ikmal, malzeme ve personel transferi, helikopter indirme/kaldırma harekâtları ile atış esnasında kaba silah stabilizasyonunu sağlamaktadır. Literatürde farklı çeşitleri olmakla beraber bu çalışmada aktif yalpa kanatları incelenmiştir. Aktif yalpa kanatları, genellikle hidrolik güç üniteleri ile tahrik edilen, gemi stabilizasyonunu sağlamak için tekne üzerinde momentler oluşturan mekanik araçlardır.

Genel olarak, hidrolik sistemler boyutlandırılırken sistemin son durumu düşünülerek boyutlandırma (debi, basınç, çap seçimleri vb.) yapılmaktadır. Bu durum üretici kataloglarında verilen diferansiyel olmayan denklemlerle de desteklenmektedir. Ancak bir hidrolik sistemin gerçek cevap/zaman değişimi ancak diferansiyel denklemler kullanılarak elde edilebilmektedir.

Yine piyasada hazır olarak satılan aktif yalpa kanadı sistemleri sabit boyutlarda belirli tekne tonajlarına göre seçilmektedir. Bu durum ister istemez yalpa kanadı sisteminden alınacak verimi azaltmaktadır.

Böyle bir sistemden alınacak verimi arttırmak için en az sürtünme kuvvetiyle en fazla doğrultucu momenti üretebilecek bir yalpa kanadı tasarımı, her deniz şartına uyum sağlayabilecek bir yalpa denetleyici, bu denetleyici tarafından verilecek kanat açı kumandalarını en az gecikme ve hata ile izleyebilecek bir hidrolik fin sistemi denetleyicisi, uygulamanın yapıldığı tekne karakteristiğine göre boyutlandırılarak optimize edilmiş bir hidrolik sistem tasarımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde hidrolik tahrikli yalpa sönümleyici bir sistemin tüm detaylarıyla modellenip kontrolünün sağlandığı ve bu modelin gemi dinamikleriyle birleştirilerek ayrıca gemi yalpasını sönümleyecek bir denetleyicinin de bu tasarıma eklendiği bir çalışma bulunmamaktadır.

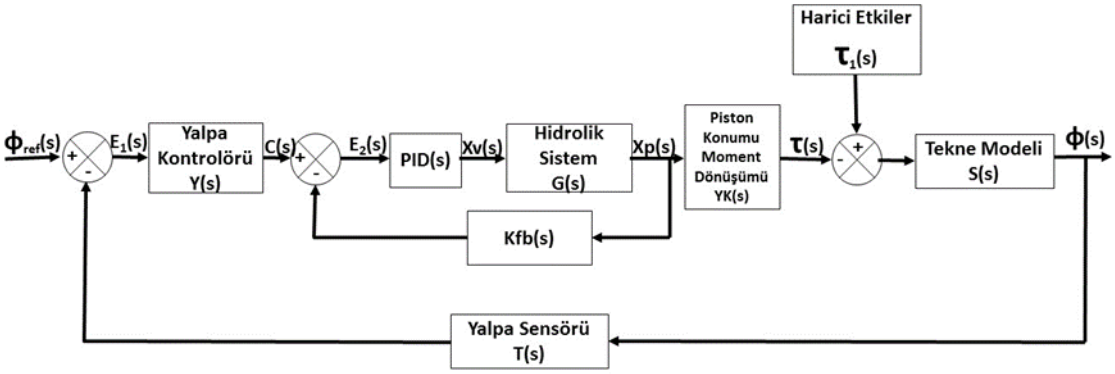
Yukarıda izah edilmeye çalışılan nedenlerle, 2012 yılından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi Makine ve Denizcilik Fakülteleri bünyesinde yürütülen bir proje çalışması ile beraber "Gemilerde Hidrolik Tahrikli Yalpa Sönümleyici Sistemin Modellenmesi, Benzetimi ve Denetleyici Tasarımı" konusu hakkında tez çalışmasına başlanılmış ve bu çalışma Aralık 2014'te tamamlanmıştır [1].

Bu çalışma neticesinde var olan veya tasarım aşamasında karakteristik özellikleri verilen bir gemi için, hidrolik fin sistemi tasarımı, modellenmesi; kontrolü, gemi ve deniz şartları ile beraber benzetim yapılması amaçlanmıştır. Bu sayede tasarımı yapılan tekne ya da donanımların değişmesi halinde veya inşa/modernizasyon aşamasında gemiye yerleştirilebilecek fin sistemlerinin mekanik ve hidrolik kısımlarının hem boyutlandırılmasında hem de performans analizinde büyük kolaylıklar sağlanacaktır.

Bu bildiride, hidrolik fin sisteminin denetimi için tasarlanan doğrusal denetleyicilerden aç/kapa (On-Off) ve doğrusal kuadratik (LQR) denetleyicilerin performansı benzetim ortamında incelenmiş, PDD2 denetleyici kullanılarak elde edilen benzetim ve deney sonuçları ile kıyaslamaları yapılmıştır.

2. SİSTEM MODELİ

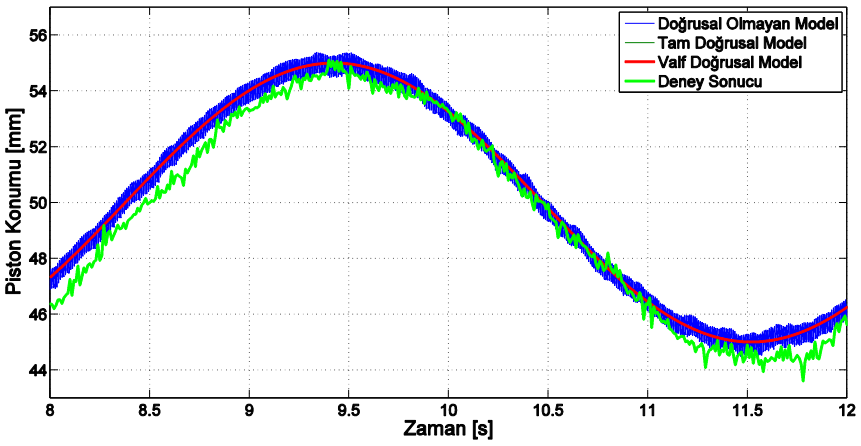
Sistem modellemesi Simulink ortamında yapılmıştır. Model hazırlanırken [2-6]'dan yararlanılmıştır. Değiştirilebilecek parametrelere ait değişkenler bir Matlab script dosyası içerisine kaydedilerek bunlara kolay erişim sağlanmıştır. Model; yalpa denetleyicisi, hidrolik sistem denetleyicisi, hidrolik sistem, piston konum geri beslemesi, piston konumu/moment dönüşümü, harici etkiler ve tekne dinamikleri alt modellerinden oluşmaktadır.



Şekil 1. Yalpa denetleyicisinin de dâhil olduğu tüm sistemin blok diyagramı

2.1. Hidrolik sistem ve denetleyici modeli

Hidrolik sistem için doğrusal ve doğrusal olmayan 2 ayrı model çıkarılmıştır. Modellerin hazırlanmasında, gerçek sistem üzerindeki devre elemanlarının kataloglarından faydalanılmıştır. Modele sistem üzerinde bulunan, değişken deplasmanlı pompa, basınç emniyet valfi, oransal kontrol valfi, çift etkili asimetrik silindir, akümülatör, sürtünme gibi tüm elemanlar ve etkiler dâhil edilmiştir. Laboratuvar ortamında hidrolik sistem ve denetleyicisi ile yapılan deneyler ve bu deneylerin hazırlanan model ile uyumları Şekil 2'dedir.



Şekil 2. 1V sinüzoidal giriş (5 mm piston hareketine (45-55 mm) karşılık gelen $\pm 30^0$ kanat açısı) için elde edilen cevaplar

2.2. Harici etkiler ve tekne dinamiklerinin modellenmesi

Gemi hareketlerini tanımlayan doğrusallaştırılmış denklemler matris formunda aşağıdaki şekilde gösterilebilir.[7-14]

$$(M + A) \times \ddot{\eta} + B \times \dot{\eta} + C \times \eta = \mathrm{T} \qquad (1)$$

$$\mathrm{T} = \mathrm{T}_{rüzgar} + \mathrm{T}_{dalga} + \mathrm{T}_{Fin} + \mathrm{T}_{Pervane} + \mathrm{T}_{Dümen} \qquad (2)$$

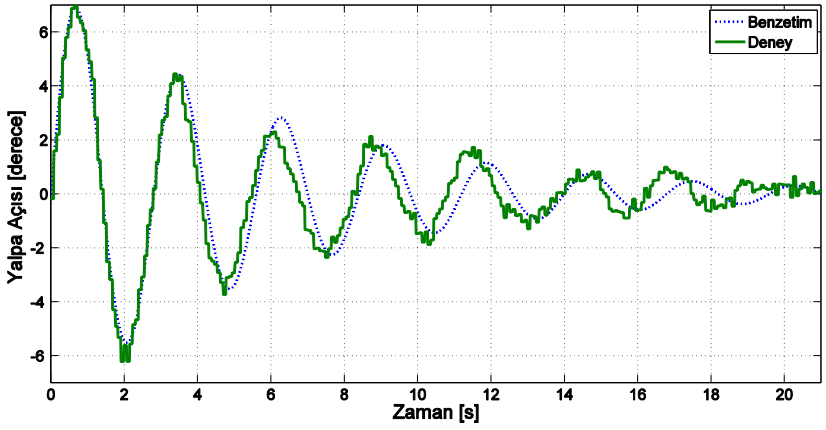
Bu denklemde M+A, kütle/atalet matrisleri ile ek kütle/atalet matrislerini; B, koriolis kuvvetlerini de dâhil edecek şekilde sönümleme katsayıları matrislerini; C ise doğrultucu moment kolları gibi etkilerle yerine getirici kuvvet katsayılarını içeren matrisi temsil etmektedir. T; dalga, rüzgâr, pervane ve fin kuvvet/momentlerini içeren harici etki matrisidir.

Ancak bu denklemlerin çözümü ve katsayılarının belirlenmesi emek yoğun bir iş olduğundan yalpa hareketi 1 ve 2 numaralı denklemlerin basitleştirilmesiyle önce denklem 3 şeklinde yazılmış, daha sonra da denklem 4'e indirgenmiştir. Deneylerde elde edilen veriler daha sonra denklem 4 kullanılarak çözülmüş ve denklem katsayıları elde edilmiştir. Bu çözüme göre denklem 4'te verilen J atalet momenti katsayısı 6624,4 kg.m^2, B sürtünme katsayısı ise 2119,8 kg.m^2/s'dir.

$$(m+a)\ddot{\Phi} + \left(\frac{B_1 T_\Phi \Delta\overline{GM}_T}{\pi^2}\right)\dot{\Phi} + \left(\frac{B_2 T_\Phi \Delta\overline{GM}_T}{16\pi^2}\right)\dot{\Phi}\left|\dot{\Phi}\right| + \Delta\overline{GM}_T\Phi = \mathrm{T} \qquad (3)$$

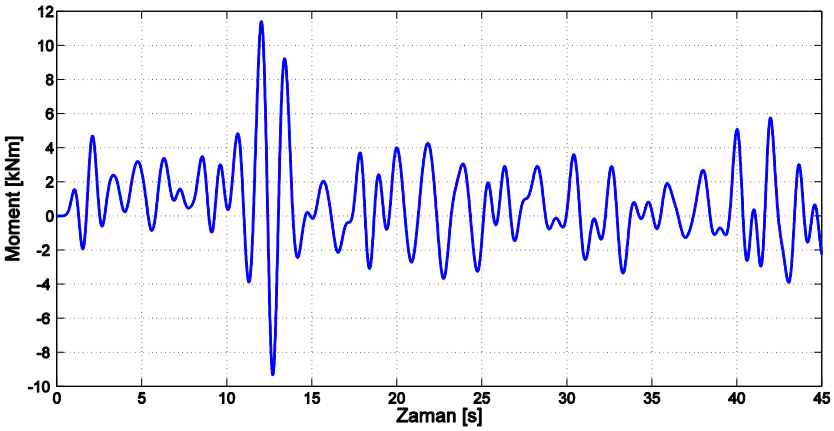
$$J\ddot{\Phi} + B\dot{\Phi} + +\Delta\overline{GM}_T \sin(\Phi) = \mathrm{T} \qquad (4)$$

Deneyde elde edilen değerlerden hesaplanan katsayılar ile yapılan benzetimin deney sonuçlarıyla karşılaştırılması Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Benzetim ortamında ve deney sonucu elde edilen yalpa grafikleri

Tekne modelinde tekneye harici kuvvetler tarafından etkiyen toplam moment değeri girilmekte ve yalpa açısı çıktı olarak alınmaktadır. Bu model deney esnasında tekneye etkiyen momentleri hesaplamak için terse çevrilmiş ve deneyde teknenin yaptığı yalpa açıları, benzetim ortamında tekneye girilerek etkiyen momentler hesaplatılmıştır. Bu şekilde elde edilen moment verisi Şekil 4'te sunulmuştur.

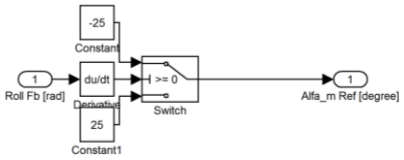


Şekil 4. Tekne modeli tersine çalıştırılarak deney sonuçlarından elde edilen moment verisine ait grafik

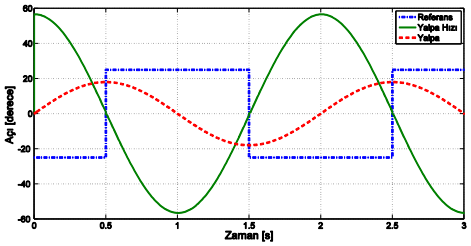
3. AÇ/KAPA (ON/OFF) DENETLEYİCİ

Aç-kapa denetleyicinin bu çalışmada seçilmesinin sebebi, böyle bir denetleyici yapısıyla hassas fin kanat açı konum kontrolüne ihtiyaç olmamasıdır. Dolayısıyla denetleyici başarısının yüksek olması halinde sistemde kullanılan oransal valflerin yerlerine çok daha ucuz olan aç-kapa valf konularak maliyetler azaltılabilecektir.

Aç kapa denetleyicisi, gemi yalpa hızının ± işaret değişimlerinde, yani geminin aksi istikamete hareketi başladığında, bu hareketi yavaşlatarak daha az genliklerde yalpa yapmasını sağlayacak bir kumanda sinyali üretilmesidir. Kumanda sinyali kanat profilinin vereceği azami momentin elde edildiği kanat açısıdır. Aç-kapa denetleyici modeli Şekil 5'te, denetleyicinin geri beslemeye göre hesapladığı referans ise Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 5. Aç-Kapa denetleyici modeli

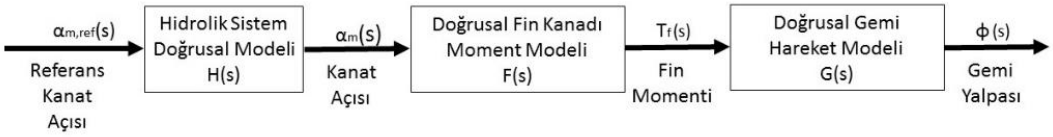


Şekil 6. Aç-Kapa denetleyicisinin tekne yalpa hızına göre ürettiği referans kanat açısı grafiği

4. DOĞRUSAL KUADRATİK (LQR) DENETLEYİCİ

Sürekli, zamanla değişmeyen bir sistemin durum-uzay gösteriminde bulunan katsayı matrislerinin (A,B,C,D) maliyet fonksiyonunda belirtilen matrislerle (Q,R) beraber, maliyeti asgariye indirecek kontrol kanununun Ricatti denklemi yardımıyla çözümünden elde edilen kontrol katsayıları doğrusal kuadratik denetleyici katsayıları olarak kullanılır.

Doğrusal kuadratik denetleyicinin devamında bulunan sistem blok diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Doğrusal kuadratik denetleyici için sistem blok diyagramı

Bu diyagramda bulunan bloklara ait transfer fonksiyonları aşağıda ayrı ayrı verilmiştir.

$$\frac{\alpha_m(s)}{\alpha_{m,ref}(s)} = H(s) = \frac{n_1K_Ds^3+(n_1K_P+n_2K_D)s^2+(n_1K_I+n_2K_P)s+n_2K_I}{d_1s^5+d_2s^4+(d_3+n_1K_DK_{fb})s^3+(d_4+n_1K_PK_{fb}+n_2K_DK_{fb})s^2+(n_1K_I+n_2K_P)s+n_2K_I} \quad (5)$$

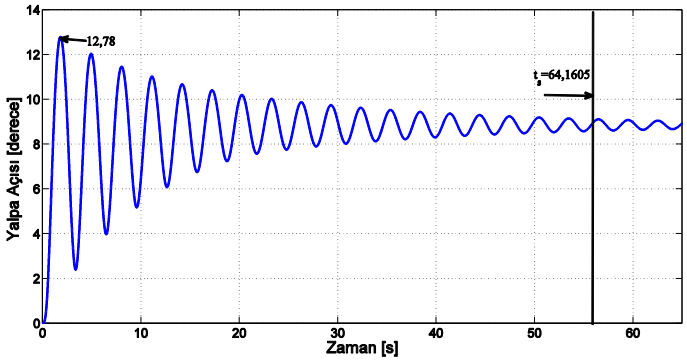
$$\frac{T_f(s)}{\alpha_m(s)} = F(s) = K_T \quad (6)$$

$$\frac{\varphi(s)}{T_f(s)} = G(s) = \frac{1}{Js^2+Bs+C} \quad (7)$$

Burada K_T kazancı basit gösterim amacıyla kullanılmakta olup fin kanat yüzey alanı, moment kolu, tekne hızı vb. gibi etkilere bağlıdır. Denklem 5-7'nin çarpımıyla elde edilen sistemin açık çevrim transfer fonksiyonu aşağıdadır.

$$\frac{\varphi(s)}{\alpha_{m,ref}(s)} = \frac{a_1s^3+a_2s^2a_3s+a_4}{b_1s^7+b_2s^6+b_3s^5+b_4s^4+b_5s^3+b_6s^2+b_7s+b_8} \quad (8)$$

Sistem modelini basitleştirmek amacıyla model üzerinde benzetim ortamında bir deney yapılmıştır. Bu deneyde hidrolik denetleyiciye 24^0 basamak referans verilerek 7 deniz mili süratte gemi yalpası ve teknenin nihai meyli ölçülmüştür. Benzetim ortamında yapılan bu deneye ilişkin grafik Şekil 8'dedir.

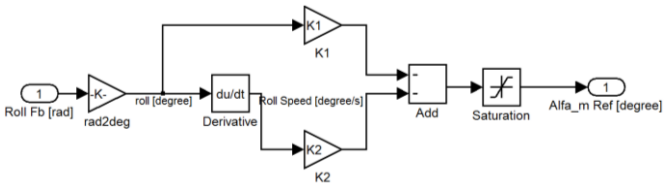


Şekil 8. Benzetim ortamında tekne modeli üzerinde yapılan deneyde, 7 deniz mili süratle teknenin 24^0 basamak girişe olan cevabı

Şekil 8'de gösterilen grafikte teknenin azami yalpası $12{,}78^0$, 24^0 açıda duran finlerin 7 deniz mili hızla giden tekneye yaptırdıkları meyil ise $8{,}848^0$'dir. Buradan aşma oranı %44,44 olarak hesaplanmaktadır. %2 kritere göre tekne için yerleşme süresi ise 64,16 saniye olarak hesaplanır. Bu hesaplara göre Şekil 7'de blok diyagramı verilen sistemin yukarıda izah edildiği şekliyle basitleştirilerek elde edilen 2. dereceden doğrusal sistem transfer fonksiyonu denklem 9'da sunulmuştur.

$$\frac{\phi(s)}{\alpha_{m,ref}(s)} = Sys_{Volkano}(s) = \frac{0{,}0179}{s^2 + 0{,}1112s + 0{,}0484} \qquad (9)$$

Doğrusal kuadratik denetleyici için hazırlanan Simulink blok diyagramı Şekil 9'da sunulmuştur.



Şekil 9. Doğrusal kuadratik denetleyicinin benzetim ortamında hazırlanan modeli

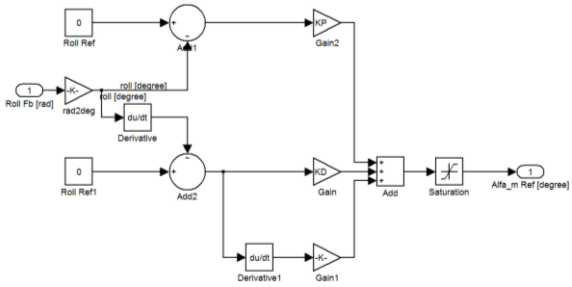
Hem hidrolik kısım içerisinde hem de gemi hareketleri içerisinde birçok doğrusal olmayan öğeler bulunduran bu sistemde doğrusal kuadratik denetleyicinin denenmesinin sebebi, denetleyicinin hız türevi (ivme) değerine ihtiyaç duymadan

kumanda hesabının yapılmasıdır. Böylelikle ivmeölçer ihtiyacı olmayan bir sistemin maliyetinin daha düşük olabileceği değerlendirilmiştir.

5. PDD^2 DENETLEYİCİ

Literatürde ve ticari uygulamalarda en yaygın olarak kullanılan yalpa denetleyicisi, yalpa açısının (P), yalpa açısal hızının (D) ve ivmesinin (D^2) sırası ile Kp, Kd ve Kd2 katsayıları ile çarpımı ile elde edilen PDD^2 denetleyicisidir. Bu nedenle tam boyutlu deniz deneylerinde PDD^2 denetleyici kullanılmıştır. Denetleyici yalpa, yalpa hızı ve yalpa ivmesinin değişimine göre uygun referans kanat açı sinyalini üretmektedir.

Deneylerde elde edilen veriler ile aynı denetleyici tipi kullanılarak yapılan benzetim sonuçları uyum içerisindedir. PDD^2 denetleyici yapısı Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. PDD^2 denetleyicinin benzetim ortamında hazırlanan modeli

6. DENETLEYİCİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tam boyutlu deneylerde teknede kullanılan yalpa denetleyicisi PDD^2 olarak ayarlandığından diğer denetleyicilerin deney ortamında karşılaştırılması yapılmamıştır.

Tam boyutlu deniz deneylerinde önce yalpa kontrol sistemi çalıştırılmadan tekne yalpa verisi toplanmıştır. Daha sonra yalpa denetleyici PDD^2 katsayıları ayarlanarak çalıştırılmış ve bu sefer fin sistemiyle sönümlenen yalpa verileri alınmıştır. Yalpanın %76,19 oranında sönümlendiği hesaplanmıştır.

Elde edilen yalpa verileri benzetim ortamında tekrar çalıştırılarak bu sefer çevre şartları sebebiyle tekneye etkiyen çevresel momentler hesaplanmıştır. Hesaplanan moment değerleri; yalpa denetleyicisi, hidrolik denetleyici, yalpa kanadı kinematik dönüşümleri, yalpa kanadı kuvvet/moment hesaplamaları ve gemi denkleminden oluşan tam model ile deneyde kullanılan denetleyici katsayılarıyla beraber çalıştırıldığında elde edilen yalpa sönümleme oranının %84,4 olduğu görülmüştür. Bu şekilde kurulan model için benzetim sonuçlarının yüksek doğruluğa sahip olduğu teyit edilmiştir.

Bölüm 3 ve 4'te bahsedilen yalpa denetleyicilerinin verimi hakkında fikir edinebilmek için bu üç denetleyici benzetim ortamında karşılaştırılmışlardır.

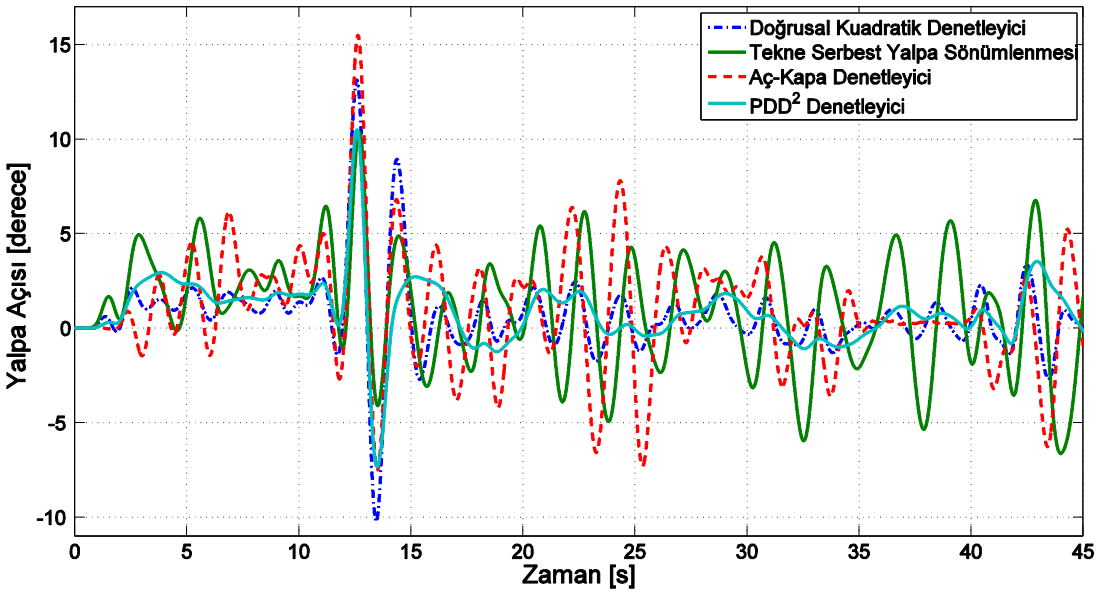
Denetleyicileri, gerçek şartlara benzer bir durumda test edebilmek için deneylerde toplanan yalpa verilerinden elde edilen ve Şekil 4'te verilen moment değerleri kullanılmıştır. Sürat, doğrusal kuadratik denetleyicinin devamında bulunan sistemin ikinci mertebeye indirgenmesi için kullanılan 7 deniz mili olarak alınmıştır.

Aç-kapa denetleyici yalpa hızının işaretine göre $\pm 25^0$ açı yapmaktadır. PDD^2 katsayıları sırasıyla 1, 2 ve 2 olarak seçilmiştir. Doğrusal kuadratik denetleyici kontrol kanununa ait katsayılar, denklem 9'da verilen transfer fonksiyonunun bilgisayar yardımıyla çözülmesiyle elde edilmiştir. Denklemlerin çözümü için gereken Q ve R matrisleri ile sonuç olan K vektörü 10-11'de sunulmuştur.

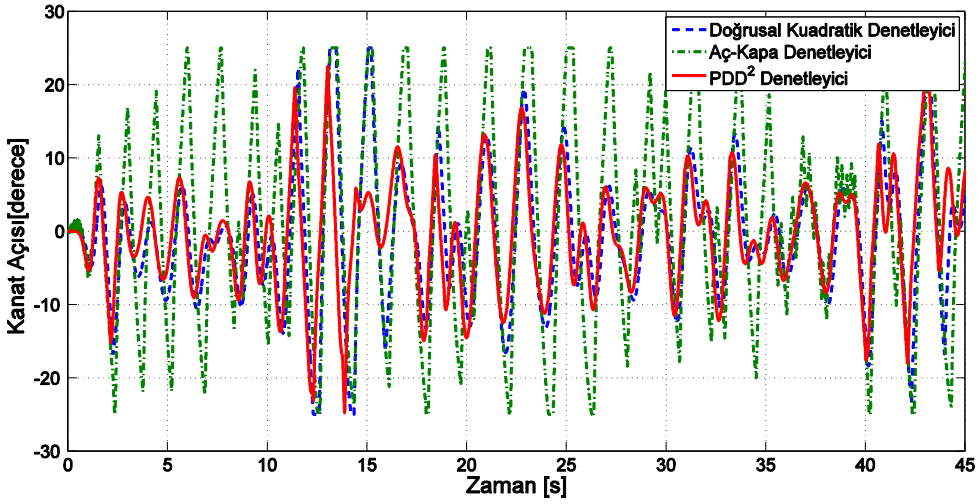
$$Q = \begin{bmatrix} 0{,}15 & 0 \\ 0 & 7 \end{bmatrix};\ R = [1] \tag{10}$$

$$K = [2{,}2035 \quad 2{,}5978] \tag{11}$$

Şekil 11'de yalpa sönümleme, Şekil 12'de hidrolik sistemin kanat açılarına ait grafikler ve Çizelge 1'de denetleyiciler için hesaplanan sönüm oranları mevcuttur.

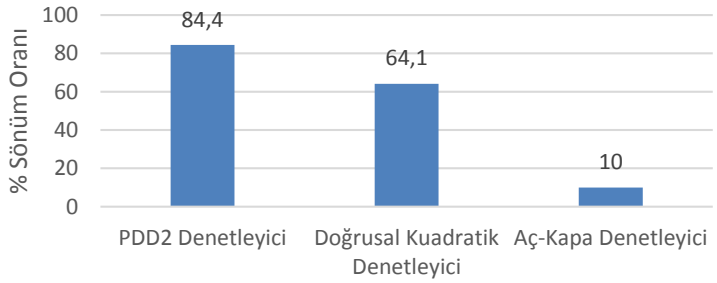


Şekil 11. Teknenin, serbest ve denetleyiciler etkisindeki yalpa sönümleme grafiği



Şekil 12. Hidrolik sistemin, denetleyiciler tarafından hesaplanan referanslara göre değişen fin kanat açılarına ait grafik

Çizelge 1. Denetleyiciler için hesaplanan sönüm oranları



7. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, farklı tip gemilerde ve farklı tip hidrolik sistemlerle kullanılabilecek şekilde, hidrolik sistemin de dâhil olduğu yalpa azaltıcı bir sistemin parametrik matematiksel modelini hazırlayarak, bu modeli, sağladığı esneklik sayesinde her tip gemi, hidrolik sistem ve denetleyici tipleri için tasarım, boyutlandırma ve performans analizi açısından kullanabilmektir.

PDD^2 denetleyici kullanılarak yapılan deneyler ile benzetim sonuçlarının ihmal edilebilecek farklılıklar içerdiği ve birbirleri ile uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Aç-kapa denetleyici, hidrolik sistemde daha basit ve ucuz olan aç-kapa tipte valf kullanımının uygunluğunu doğrulamak ve bu sayede maliyet düşürmek için denenmiş olup %10 yalpa sönümlemesi ile başarısız olmuştur.

Benzer bir mantıkla ivmeölçer kullanımına gerek olmadığından sistem maliyetini düşürebilmek için denenen doğrusal kuadratik denetleyici %64,1 yalpa sönümlemesi ile

görece daha iyi bir performans göstermiştir. Bunun sebebi doğrusal kuadratik denetleyicinin denetleyici katsayılarının, doğrusal bir sisteme göre hesaplanmasıdır. Uygulamadaki hidrolik elemanlar ve gemi gibi doğrusal olmayan sistemlerle beraber koşturulduğunda denetleyici başarımının yüksek olmaması beklenmelidir.

Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçları iyileştirmek için; aç-kapa denetleyici ile kullanılması düşünülen aç-kapa valflerin, farklı tipte bir denetleyici ve darbe genişlik modülasyonu ile kullanımının ve doğrusal kuadratik denetleyicinin, farklı tekne süratleri ve kanat açıları için hesaplanacak denetleyici katsayılarının kazanç ayarlaması ile performansının yükseltilmesinin, yapılabileceği değerlendirilmektedir.

8. KAYNAKÇA

[1] Zihnioğlu, A. (2014), "Gemilerde Hidrolik Tahrikli Yalpa Sönümleyici Sistemin Modellenmesi, Benzetimi Ve Denetleyici Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[2] Merritt, H. E. (1967). *Hydraulic control systems*. John Wiley & Sons.

[3] Blackburn, J. F., Reethof, G., ve Shearer, J. L. (1960). Fluid power control.

[4] Lewis, E. E., ve Stern, H. (1962). *Design of Hydraulic Control Systems*. New York: McGraw-Hill.

[5] Çalışkan, H., Balkan, T., ve Platin, B. E. (2009, Ocak). Hydraulic position control system with variable speed pump. In *ASME 2009 Dynamic Systems and Control Conference* (pp. 275-282). American Society of Mechanical Engineers.

[6] Pesman, E., Bayraktar, D., ve Taylan, M. (2007). Influence of damping on the roll motion of ships. *The 2nd International Conference on Marine Research and Transportation (ICMRT'07), Ischia Napoli, İtalya* (pp. 28-30).

[7] Fernandes, A. C., Oliveira, A. C., ve Cascão, L. V. Mc Taggart, K. (2004). *"Appendage and Viscous Forces for Ship Motions in Waves"*. Technical Memorandum, Defense Research and Development Canada.

[8] Gaillarde, G. (2003). Dynamic stall and cavitation of stabiliser fins and their influence on the ship behaviour. *FAST2003*.

[9] Perez, T., ve Goodwin, G. C. (2008). Constrained predictive control of ship fin stabilizers to prevent dynamic stall. *Control Engineering Practice*, *16*(4), 482-494.

[10] Himeno, Y. (1981). *Prediction of Ship Roll Damping. A State of the Art* (No. 239). Michigan Univ Ann Arbor Dept Of Naval Architecture And Marine Engineering.

[11] Tupper, E. C., ve Rawson, K. J. (2001). *Basic Ship Theory*. Butterworth-Heinemann.

[12] Do, K. D., ve Pan, J. (2009).*Control of ships and underwater vehicles: design for underactuated and nonlinear marine systems*. Springer.

[13] Lester, A. R. (1985).*Merchant ship stability*. Butterworths.

[14] Salvesen, N., Tuck, O. E., ve Faltinsen, O. (1970). Ship motions and sea loads. *SNAME Transactions*, *78*, 250-287.

KONUMSAL VERİLERİN FİZİKSEL GÖRSELLEŞTİRMELER İLE İNCELENMESİ

Mert Toka, Selim Balcısoy [(a)]

[(a)] Sabancı Üniversitesi,
Orta Mahalle, Tuzla 34956 İstanbul,
balcisoy@sabanciuniv.edu

ÖZ

Bu araştırma, yeni bir alan olan fiziksel görselleştirme tekniği ile üretilen 3 boyutlu cisimlerin, somut ara yüz ve görselleştirme elemanlarından yararlanarak, yoğun verilerin doğal ve etkin analizi için kullanılmasını hedefler. Sunulan çalışmada fiziksel veri görselleştirme ve somut kullanıcı ara yüzleri kullanarak kullanıcıların ortaklaşa analizler gerçekleştirilebilecekleri bir veri analizi sistemi geliştirilmiştir. Bu amaca hitaben İstanbul yükseklik harita verisi edinilmiş ve 3 boyutlu üretim için işlenmiştir. CNC ile üretimi tamamlanan fiziksel haritanın kurulumu gerçekleştikten sonra, tavandan yansıtılan ve fiziksel obje ile kalibrasyonu sağlanmış görselleştirmeler sıcaklık haritası şeklinde kullanıcıya sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: etkileşim metotları, fiziksel görselleştirme, konumsal veri görselleştirme, somut ara yüzler, yükseklik haritaları

A VISUAL ANALYTICS SYSTEM BASED ON PHYSICAL VISUALIZATIONS

ABSTRACT

This research aims for the natural use and efficient analysis of dense data on manufactured 3D objects, which are produced with the aid of new research field, tangible visualization, by utilizing physical interfaces and visualization elements. In the proposed work, a data analytics workstation has been developed by applying tangible data visualizations and physical interfaces, on which users are able to analyze data collaboratively. For this purpose, topographic data of Istanbul has been acquired and preprocessed for 3D manufacturing. Upon completion of installation of CNC

manufactured physical topographic map, heat map visualization of a data, which has projected from ceiling and calibrated with tangible interface, has presented to the users.

Keywords: interaction methods, physical visualizations, spatial data visualization, tangible interfaces, topographic map

1. GİRİŞ

Veri görselleştirmelerinin amacı; görme duyusunu uyararak, insanlara karmaşık verilerden anlam çıkarmakta yardım etmektir. Bunu sağlamak için bugüne kadar geleneksel bilgisayar etkileşim yaklaşımları ile karmaşık verilerin analizinin çözümü için araştırmalar yapılmıştır, ancak özellikle ortaklaşa çalışma ve uzun süreli kullanıcı eğitimi almadan analize başlama konularında ciddi sorunlar vardır. Bu yaklaşımlar kullanım yapaylığı ve grup çalışmasını desteklememek gibi birçok engelle karşı karşıya kalmaktadır. İnsanlar doğduklarından itibaren etraflarındaki dünyayı fare ve klavye kullanma güdüsüyle değil, dokunarak inceleme güdüsüyle öğrenirler, fakat geleneksel bilgisayar etkileşimler teknikleri ve görselleştirmeler bu ihtiyacı tam anlamıyla karşılayamamaktadır.

Karmaşık verilerin analizini kolaylaştırmayı amaçlayan veri görselleştirme tekniklerinin dijital ekranlardaki adaptasyonları, alışagelmiş etkileşim metotlarının yanı sıra dokunma ve vücut hareketlerinden faydalanarak ve kullanıcının algısına doğal yoldan hitap ederek daha anlaşılır ve idrak edilebilir hale gelmektedir.

Yapılan araştırmaları incelediğimizde uzamsal ekranlar üzerinde yapılan çalışmalar ile fiziksel görselleştirmelerinde rastlanan farklı kısıtlamaların ve etkileşim sorunlarının çözülebileceği belirlenmiştir. Bu soruna hitaben geleneksel görselleştirme metotlarını fiziksel ortamlarla birleştirmenin insan ile sistem arasındaki iletişimi kolaylaştıracağı bir model hazırladık. Bunun için bir veri görselleştirme sistemi inşa ederek CNC ile işlenen veya üç boyutlu yazıcıdan çıkan somut yükseklik haritası üzerine bir projektörden görüntüler yansıtılması üzerinde çalışmalarımızı başlattık.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Yapılan araştırma kapsamında incelenen başlıca bilimsel konular fiziksel görselleştirmeler, somut ara yüzler ve bunların algı ve grup çalışması üzerine etkileridir. Bu konulardan fiziksel görselleştirmeler konusunda detaylı bir literatür taraması aşağıda sunulmuştur. Görüldüğü üzere fiziksel görselleştirme alanındaki çalışmalar henüz olgunlaşma seviyesindedir ve birçoğu herhangi bir veri analizi sistemi ile bütünleşik çalışmamaktadır. Algı ve ortaklaşa çalışma konularından ise sadece araştırma konusu ile ilgili alanlarda yapılan önemli çalışmalar sunulmuştur.

Fiziksel görselleştirmeler verileri sanal dünyadaki piksellere dönüştürmek yerine onları fiziksel bir forma sokar. İnsanlar çok eski tarihlerden beri killerden yaptıkları ufak cisimleri fiziksel görselleştirmeler olarak kullanmaktadır [4]. Yakın zamanda ise bu görselleştirmeler veri heykelleri şeklinde popülerlik kazanmıştır [5]. Bu veri heykelleri daha çok sanatsal odaklı olup, verinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktan ziyade duyguları anlatmak için kullanılmaktadır. Bu veri heykelleri 3 boyutlu haritalardan [1], takılara [2] kadar farklı çeşitlerde karşımıza çıkmaktadır. Endüstri ve akademiye dönüp baktığımızda ise eskiden yapılmış bir kaç çalışmanın öne çıktığını görebiliriz. Bertin'in 1970 yılında yarattığı tekrar sıralanabilir matrisleri [6] buna örnek olarak verebiliriz.

Yukarıda en son verilen örnekler işin sanat kısmına değil veri görselleştirme kısmını odaklanmışlardır. Sanatsal kısmından farklı olarak veri görselleştirme; veri hakkında tarafsız bilgiyi insanlara aktarmayı ve bir öngörü yaratmayı hedefler. Fakat fiziksel veri görselleştirmeler özellikle maliyeti ve üretiminin zaman alması sebebiyle sanal veri görselleştirmelerinin gölgesinde kalmıştır. Bu durum son zamanlarda iki ana araştırma alanının gelişmesiyle birlikte değişmektedir. İlk alan, 3 boyutlu yazıcıların yaygın olarak kullanıldığı dijital üretimdir. Bu alan o kadar hızlı gelişmektedir ki yakın gelecekte organların 3 boyutlu yazıcılar tarafından basılarak hastalara nakledilmesi ön görülmektedir [7]. Bu tarz dijital üretim teknikleri kullanılarak fiziksel veri görselleştirme araştırmaları gün geçtikçe hız kazanmaktadır [8]. İkinci olarak dokunulabilir ara yüzler alanında artan çalışmalar da [9], [10] fiziksel veri görselleştirmelerin önünü açmaktadır. Bu iki alanın hızla gelişmesi önümüzdeki dönemlerde fiziksel veri görselleştirmelerinin kolay bir biçimde üretilebilir bir hale geleceğini göstermektedir.

Yukarıda anlatılan gelişmeler ile birlikte yakın zamanda fiziksel veri görselleştirme alanında önemli çalışmalar yapılmıştır. 2013 yılında ilk kez Jansen ve Dragicevic fiziksel veri görselleştirmelerin başarısı hakkında kullanıcı deneyleri yapmış ve bu deneyler sonucu fiziksel veri görselleştirmenin sanal görselleştirmelerden belli alanlarda üstün olduklarını göstermiştir [11]. Ayrıca yine aynı yıl içerisinde farklı bir çalışma fiziksel görselleştirmelerin analitik görevler için kullanılabileceğini göstermiştir [12]. Jansen ve Dragicevic daha sonraki çalışmalarında; ekran ötesindeki farklı görselleştirme teknikleri için bir boru hattı sunmuş ve bu tarz görselleştirmelerin oluşturulmasında bir yol haritası yaratmıştır [13]. 2014 yılında ise Saiganesh fiziksel görselleştirmelerin hızlı üretimi için bir program geliştirmiş ve gelişen teknolojinin fiziksel görselleştirmelerin üretimi için kullanılmasında önemli bir adım atmıştır [14]. Bu akademik çalışmalara ek olarak bazı şirketler fiziksel görselleştirmeleri günlük çalışmalarının bir parçası olarak kullanmaktadır. General Motors Lego'lardan 3 boyutlu görselleştirmeler yaratarak araç üretimlerindeki hataları takip etmektedir [6]. Son olarak Hans Rosling gibi akademisyenlerin fiziksel görselleştirmeleri sunumlarında [3] kullanmaları fiziksel görselleştirmelerin popülerliğini arttırmıştır.

Eğitim bilimleri ve gelişim psikolojisi alanında yapılan çalışmalar fiziksel objelerin öğrenim ve anlama yetilerini arttırdığını göstermiştir [15], [16]. Geliştirilen modeldeki ana amaçlarımızdan birisi de insanlarda zaten doğuştan var olan bu öğrenme güdüsünün kullanımını arttırmak ve veri görselleştirmelerinin anlaşılmasını ve bu görselleştirmeler ile etkileşime girmeyi kolaylaştırmaktır. Teknolojinin geldiği son noktadaki görselleştirme araçlarının hemen hepsi doğrudan olmayan etkileşimler, örneğin fare ve klavye ve daha önceden sahiplenilmiş bir görsel bilgi birikimine ihtiyaç duyarlar. Bu sebeplerle bu araçların son kullanıcı tarafından kullanılması ancak uzun bir öğrenme sürecinden sonra mümkün olmaktadır. Araştırmamızda fiziksel görselleştirmeler ile varmayı öngördüğümüz hedef; veri görselleştirmelerini son kullanıcının daha kolay şekilde anlayabileceği ve etkileşeme geçebileceği bir hale getirmektir.

Ortaklaşa çalışmaya uygun bir sistem geliştirmek projenin ana motivasyonlarından bir diğeridir. Veri analizi görevi literatüre baktığımızda tek bir kullanıcının yaptığı bir çalışma olmaktan çok iki veya daha fazla kullanıcının beraberce çalıştıkları bir görevdir [17]. Geleneksel bilgisayar yazılımları ortaklaşa çalışmayı desteklememektedir, ancak son yıllarda bu konuda farklı akademik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Ortaklaşa çalışma sırasında kullanıcıların birbirlerinin yüzlerini görmeleri uygulamanın kabul görmesi ve başarısı için önemli bir etkendir.

2014 yılında yayımlanan bir çalışmada alttan yansıtmalı bir masa, üzerinde ortak çalışma aktarılmıştır [17]. Bu çalışmadaki özellik farklı kullanıcıların birbirlerinin kişisel çalışma ekranlarını görmelerinin engellenmesidir. Bu tip masaların daha basitleri günümüzde eğlence ve eğitim uygulamalarında kullanılmaktadır. Örneğin, Reactable (rectactable.com) müzik ürünü bu konunun yıllar içinde geldiği gelişmeyi göstermek için önemli bir çalışmadır.

3. ÖNERİLEN SİSTEM

Geliştirilen sistem üç ana parçadan oluşmaktadır: Somut etkileşimin sağlanacağı fiziksel İstanbul modelinin üretimi, modelin üzerinde görselleştirilecek materyallerin yansıtılması için projeksiyon kurulumunun yapılması, ve bunları anlamlandıracak sistemin geliştirilmesi.

3.1. Fiziksel model ve üretimi

Uygulamanın son halinin hâlihazırdaki laboratuvar ortamına kurulması için gereken ana parça, 3 boyutlu baskı veya CNC işlemesi ile oluşturulmuş somut İstanbul yükseklik haritasıdır. Bu modelin üretiminin yapılabilmesi için, İstanbul'un yükseklik verisinin elde edilmesi gerekmektedir. Yapılan kaynak araştırması sırasında Google Earth, USGS GTOPO30 ve NOAA GLOBE Project yükseklik verileri değerlendirildiyse de İstanbul'un koordinasyonlarını haritalamakta detay seviyesi açısından yetersiz kalmışlardır. Araştırma sonucunda NASA'nın ASTER GDEM V2

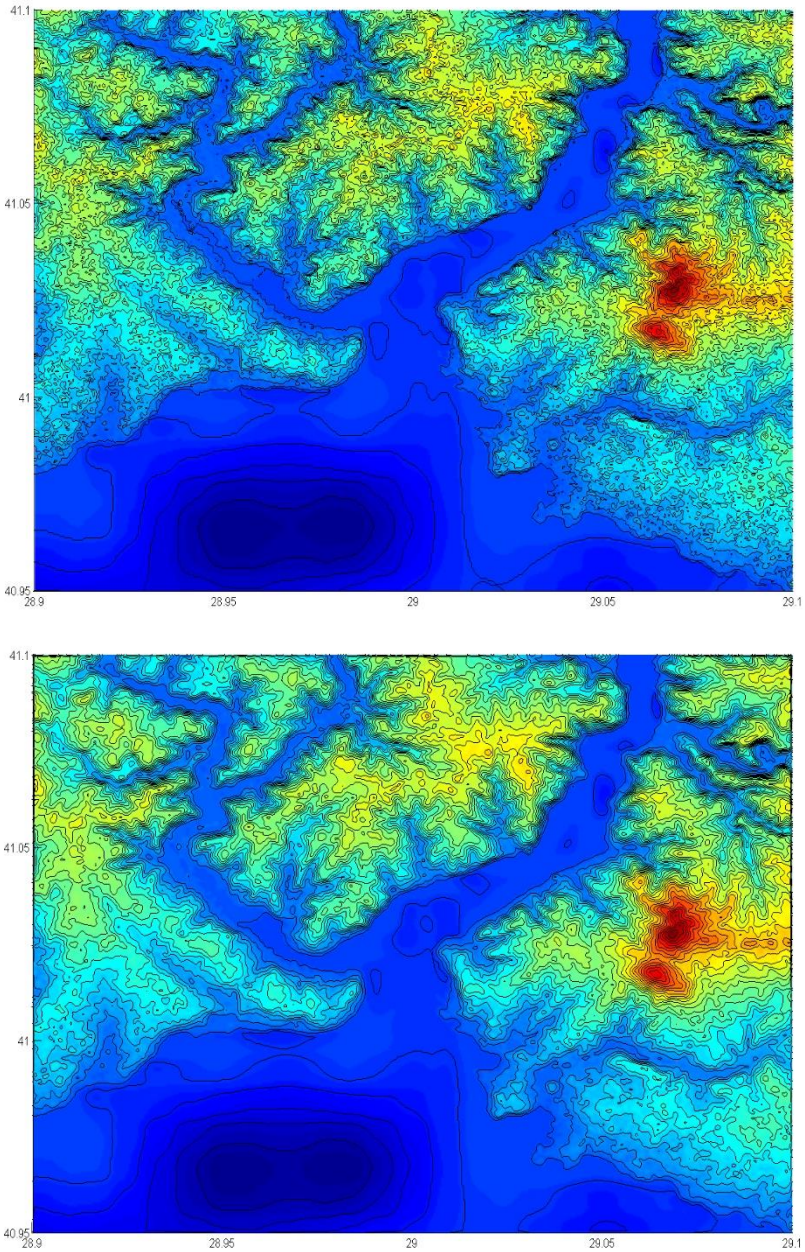
(asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp) verisinin 70m hassasiyet ile Türkiye'yi en detaylı haritalamış veri seti olduğu ortaya çıkmıştır. İstanbul'daki basılacak kapsamı belirleme konusunda ise iki seçeneğimi vardı; ya bütün şehir sınırlarını içeren küçük ölçekli bir kapsam, ya da nüfusun yoğun olduğu merkezi bölgenin büyük ölçekli kapsamı bastırılmalıydı. Ancak görselleştirilecek veriler düşünüldüğünde, merkezi bölgenin veri yoğunluğu açısından daha yararlı olacağı ve büyük ölçeğin algıyı pozitif yönde etkileyeceği düşünülerek, batı ucu Zeytinburnu, doğu ucu Bostancı ve kuzey ucu Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'nü içeren bir kapsam seçilmiştir (28.9W-29.1W, 40.95N-41.1N).

Sistemin algıda farklılık yaratma ve grup çalışmasını destekleyebilme amacına ulaşabilmesi için basılan ya da üretilen haritanın boyutlarının büyük olması gerekmektedir. Ancak haritanın üzerine yansıtılan görüntünün tavana bağlanmış bir projektörden gelmesi gerektiğinden, üretebileceğimiz masa boyutu laboratuvardaki tavan yüksekliğine ve projektörün teknik özelliklerine bağımlı kalmaktadır. Yansıtılan görüntünün kalitesinin bozulmaması veya üretilen modelden küçük kalmaması için yapılan hesaplamalar sonucu aşağıdaki formül (1) ortaya çıkmıştır (Δ: projektör minimum yansıtma açısı oranı (throw ratio), α: projektör en yüksek uzunluk oranı (aspect ratio), x: masanın kısa kenarı uzunluğu, h_i: i objesinin yerden yüksekliği).

$$h_{projektör} = \Delta * \alpha * x + h_{masa} \quad (1)$$

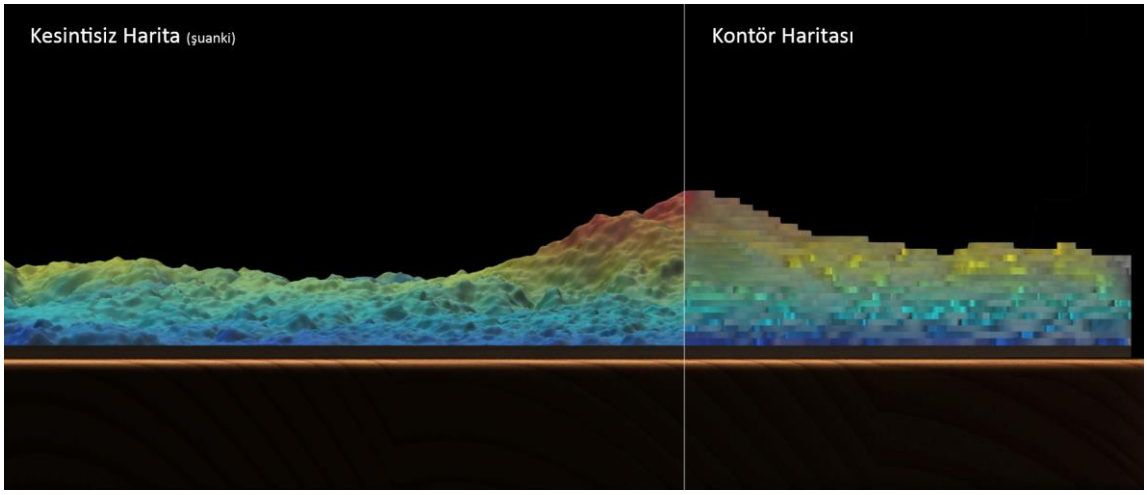
Bu formül, projektörün teknik özellikleri ve kurulumun yapılacağı ortamın bilgileri ışığında, üretilmesi gereken fiziksel İstanbul modelinin kısa kenarının 108cm olması gerektiğini ortaya çıkartmıştır. Yukarıda belirtilen kapsamın uzunluk oranı (aspect ratio) 1.33 olduğundan modelin uzun kenarı da 143cm olacaktır.

NASA verisi elimizdeki seçeneklerin en detaylısı olsa da, modeli büyük ölçekte basılacak boyutta üretebilmek için verinin önceden işlenmeye ihtiyacı vardır. Elde ettiğimiz yükseklik haritası işlenmeden önce çözünürlük kayıpları yaşıyor olsa da, veriyi çok fazla bozmamak adına seçilmiş küçük bir çekirdek (kernel) matrisi kullanan çan eğrisi dağılımı (Gaussian Distribution) metodu sonunda Şekil 1'deki alt görüntüyü elde ederek daha dengeli eş yükseklik yapısına sahip olmuştur.



Şekil 1. Ön işlemeden önce (üstte), ön işlemeden sonra (altta)

Öncelik olarak modelin kontör haritası şeklinde bastırılması düşünüldüyse de daha sonra fark edilmiştir ki eğer elimizde gerçek İstanbul yükseklik haritasını andıran daha kesintisiz bir model olursa kontör haritasını projektör yardımı ile yansıtarak sadece özünde bir veri seti olan kontör verisini elde edebilirdik. O nedenle, yukarıda anlatılan model hazırlamadaki veri elde etme ve ön işleme işlemleri önce kontör haritası, daha sonra da daha kesintisiz bir model hazırlamak için tekrarlanmıştır (Şekil 2).

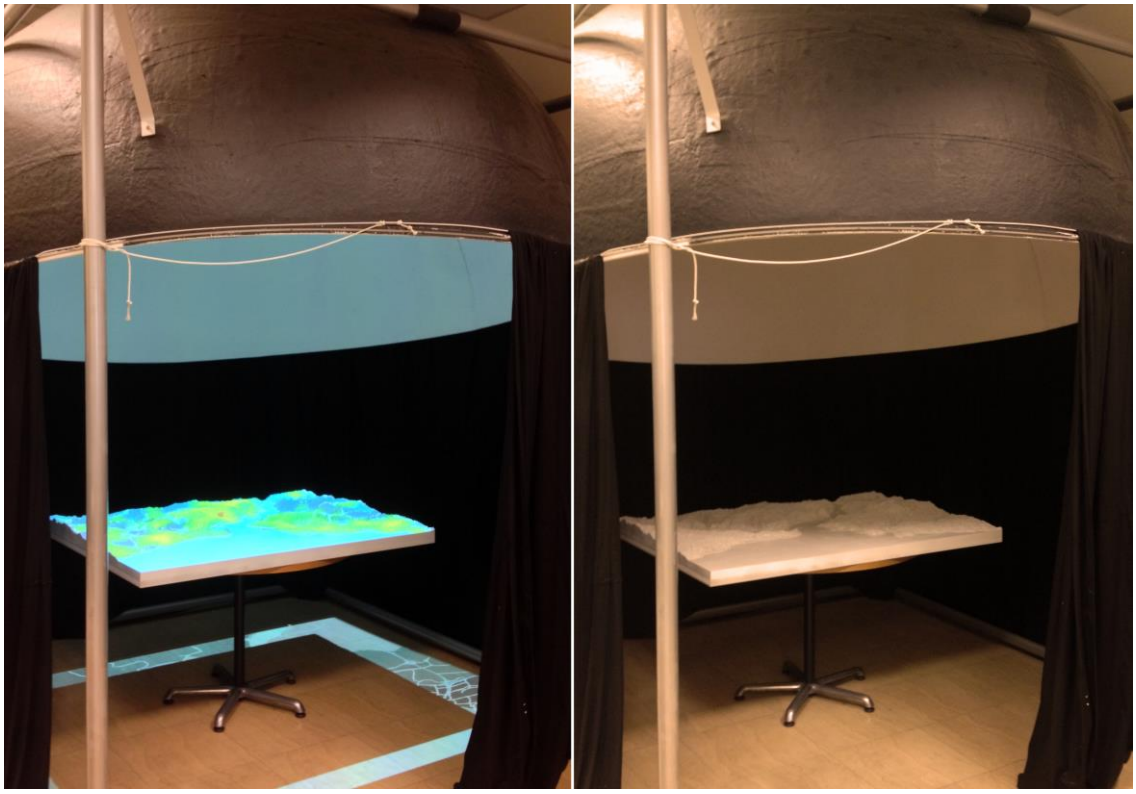


Şekil 2. İki modelin karşılaştırılması

3.2. Kurulumun yapılması

Maliyet düşünüldüğünde daha makul olan CNC üretimi sonucu üretilen somut ara yüzün kullanımı belirli parametreler tarafından sınırlandırılmaktadır. Öncelikle ara yüzün ve üzerine veri yansıtılacak projektörün sabitlenmesi gereklidir. Bunun ana nedenlerinden biri, daha sonra bu ara yüzün üzerinde koşacak olan yazılımın sabit bir kalibrasyona ihtiyacı olmasıdır.

Projeksiyon ile somut ara yüz arasındaki kalibrasyon, sistemin başarısını doğrudan etkileyeceğinden dikkatli ölçümler sonucunda kurulum yapılacak yükseklik ve yer belirlenmiştir. Laboratuvarımızdaki hâlihazırda bulunan 4 metre çapında mono yansıtmalı görüntüleme kubbesi ışık engelleyici ve izole alanı sayesinde tercih sebebi olmuştur. Üniversite görevlilerin yardımı ile kubbenin ortasına projektör açısı göz önünde bulundurularak bir delik açılmış ve projektör tavanın içine gömülmek sureti ile monte edilmiştir. Projektör haricinde ise, masa kubbenin ortasına hizalanmış ve ortaklaşa çalışmayı desteklemek adına etrafında insanların gezebileceği alanın bırakıldığından emin olunmuştur. Bütün kurulum alanı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Kurulum alanı; projeksiyon açık (solda), kapalı (sağda)

3.3. Sistemin geliştirilmesi

Görselleştirmemizin ana elemanlarından biri de hazırlanan somut masayı hayata geçirecek dijital görselleştirme ortamının hazırlanmasıdır. Bu amaca ulaşmak için birçok geliştirme ortamı değerlendirildiyse de uygulamanın doğası kaynaklı problemleri çözmeye yönelik bir yaklaşım en akıllıcasıdır. Bu yaklaşımla mümkün olduğunca düşük düzeyli (low-level) bir ortam kullanmak, sonradan karşımıza çıkabilecek sorunları çözebilmemizde daha derin kod düzenlemesi özgürlüğü tanıyacaktı. Bu önsezi ışığında C++ dili ile modern OpenGL (Open Graphics Library) ardışık dizini (pipeline) kullanılmıştır.

3.3.1. Görselleştirme temeli ve kalibrasyon

Üzerine veri eklenebilecek bir temel hazırlamak ve kalibrasyonu test etmek hususunda İstanbul'un ilçe ve ana yollarının haritası OpenStreetMaps'ten (www.osm.org) çekilerek kullanılmıştır. Platform, herkese açık bir harita servisi yaratarak isteyen herkesin istediği her yeri değiştirip düzenleyebildiği bir haritalama servisidir. Kullanımı ve değişim yapması tamamen bedava olan sistemin bize sağladığı yararlardan en büyüğü, haritanın belirli bir kapsamını sistemin kendine has formatında indirebilmemizdir. Buna ihtiyaç duymamızın nedeni ise satırlı resim (raster image) yerine vektör resim (vector image) kullanmak istememizdir.

Eğer görselleştirmeler satırlı resimler şeklinde hazırlanıp üst üste basılmış olsaydı, yukarıda anlatılan özgürlük çerçevemiz daralıp sorunların çözümünü yeni resim oluşturup ekrana çizmekte aramak zorunda kalacaktık. Ancak şuan, OpenStreetMaps'in bize sağladığı formatı indirdikten sonra çözümlemek ve bu çözümlemeden kendi şekillerimizi oluşturmak yolunu seçmiş bulunmaktayız. Bu sayede katmanlarla çalışmış ve bir değişikliğe ihtiyaç duyduğumuzda yeni resim çizmek yerine hesaba dayalı işlemeler ile düzenlemeleri bilgisayara geçirmiş oluyoruz.

Ancak kullandığımız ortamın desteklediği temel şekil birimi (primitive) üçgen olduğundan OpenStreetMaps'den gelen verileri ekrana ve somut sistem yüzeyine içi dolu poligonlar şeklinde yansıtabilmek için verinin ayrıca bir işlemden geçmesi gerekmektedir. Sistemden çektiğimiz verideki noktalar (vertices) birbirleri ile güzelce bağlanmış olsa da, her ilçe sınırı sadece üç noktadan çok daha fazla nokta içerdiğinden hızlı bir algoritma ile ilçelerin üçgenleştirilmesi sağlanmıştır. Bunun için halat algoritması (sweep line algorithm) ile Voronoi Diyagramı çıkartan Fortune'un algoritması (Fortune's Algorithm) kullanılmıştır. Voronoi diyagramından hareketle oluşturulan Delaunay Üçgenleştirmesi, büyük alanlar için büyük üçgenler, küçük alanlar için ise detayları koruyabilmek adına küçük üçgenler oluşturduğundan en uygun metotlardan biri olmuştur (Şekil 4).

Şekil 4. Kadıköy ilçesinin sınırları (solda) ve üçgenlenmiş hali (sağda)

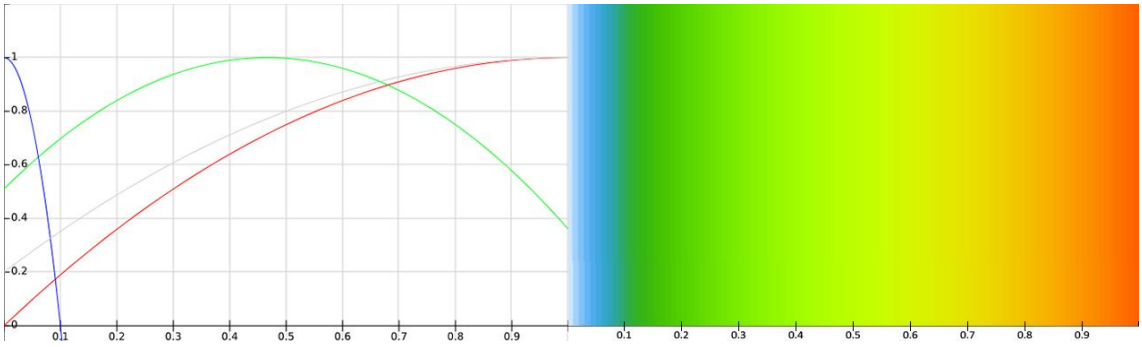
3.3.2. Isı haritasının oluşturulması

Sorunsuz bir temel için ilçe ve yol haritası elde ettikten sonra, veri görselleştirmesi için çalışmalara başladık. Bu nedenle, İstanbul sınırları içerisinde kullanabileceğimiz bir konumsal veri araştırmasından sonra, özel bir firmanın paylaşmak istediği konumsal veri ile görselleştirmeye başlayabildik. Görselleştirmenin inşası için verinin önce analiz edilip nasıl bir metot ile görselleştirilmesi gerektiğine karar verme aşamasında bir kaç yöntem denendiyse de, en genel-geçer metot olan ısı haritası (heat map) yöntemini seçmeye karar verdik.

Isı haritasının oluşturulması için öncelikle verinin çözümlenmesi ve tutulması gereklidir. Bunun için bir matris oluşturulup, haritanın kapsamı ve matris boyutu göz

önünde bulundurularak konumsal verinin gerçek iskânının matris üzerindeki izdüşümü hesaplandıktan sonra, elde edilen hücreye (cell) o bölgeye düşen veri olduğunu anlatan bir ekleme yapılır. Daha sonra verinin seyrek olabileceği olasılığı göz önünde bulundurularak matris üzerinde çekirdek dağılımı (kernel distribution) uygulanır. Bu adım seyrek alanlardaki verinin görselde yok olmaması adına kritik bir basamaktır. Daha sonra, en yüksek değerli elemanının değeri göz önüne alınarak matris normalleştirilir. Bu üç ana adımdan sonra elimizde sayısal değerlerden oluşan bir ısı matrisi mevcuttur.

Ancak bu matrisi anlamlı bir şekilde gösterebilmek için renge ihtiyacımız vardır. Bunun için hâlihazırda bulunan renk yelpazelerini kullanmak yerine, yukarıda bahsi geçen matristeki değerlerden faydalanarak özelleşmiş bir renk cetveli hazırladık. Şekil 5'de soldaki görselde matris hücrelerinin yukarıda anlatılan işlemlerden sonra elde ettiği değer ile renk bileşenin değer grafiği gözükmektedir. Her bir eğri kendi renginin renk bileşenine aittir (gri eğri, saydamlık değeridir). Şekil 5'de sağda ise bahsedilen renk değerine karşılık gelen rengin görselleştirme üzerinde nasıl gözükeceği gösterilmiştir.



Şekil 5. Matris değerleri ile RGBA bileşenleri (solda), matris değerleri ile renk karşılığı (sağda)

4. GELECEK İŞLER

Projenin geleceğinde gerçekleştirmesi düşünülen özelliklerin en başında daha doğal etkileşim yöntemleri gelmektedir. Bunun sağlanması amacıyla hareket sensörü olarak kullanabildiğimiz Microsoft Kinect kullanarak kullanıcıların vücut hareketleri ile uygulamayı kontrol edebilmesi sağlanacaktır.

Daha doğal etkileşim metotlarının yanında, konumsal artırılmış gerçeklilik (KAG) teknikleri kullanılarak çok ekranlı ve somut ara yüzler kullanımına imkân veren görsel veri analiz sistemi kurulacaktır. Bu sistem şeffaf ekranlar kullanarak, kullanıcının sadece kendi gözünü kullanarak sanal objeleri somut ortam üzerinde görebilmesini sağlamakla kalmayıp, onlar ile etkileşime geçebilmesini sağlayacaktır.

Bunlar haricinde, fiziksel görselleştirme teknikleri ile farklı veri yoğunlukları ve tiplerine uygun veri görselleştirme yöntemleri bulunacaktır. Bu farklı görselleştirme

yöntemlerinin farklı sınıflarının üzerinde en iyi şekilde çalışabileceği değişik somut ara yüz ve etkileşim modelleri tanımlanacaktır.

KAG sisteminin, doğal etkileşim yöntemlerinin toplu çalışmaya uygunluğu ve doğal insan içgüdülerine hitabı için örnek veri setleri hazırlanarak soyut ve somut ara yüzler üzerinde kullanıcı testleri ile başarısı ölçülecektir.

Bu hedeflere ulaşıldığında görsel bilgi birikimi (visual literacy) gerektirmeyen, son kullanıcıların beraberce kullanabileceği, dokunulabilir ve etkileşimli veri görselleştirmeleri kolaylıkla üretilip anlamlandırılacaktır.

5. SONUÇ

Günümüzde, her bireyin ürettiği veri miktarı git gide artarken, veri görselleştirme alanı bu artışa karmaşık verilerin anlaşılabilir anlamlarını sunmakta yardım etmektedir. Ancak geleneksel bilgisayar yöntemleri bireysel algıda yeterli seviyedeyse de hiç eğitim almayan kullanıcıların bu sistemlerden anlam çıkartmada güçlük çektiği görülmüştür.

Karmaşık verilerin analizinde, insanların doğuştan gelen algı yeteneklerine hitap eden bir somut ara yüz geliştirilmiştir. Bu sistem, NASA ASTER GDEM V2 verisinin önişleme sonrası halinin CNC ile işlenmesi sonucu oluşan somut İstanbul yükseklik haritası ve görselleştirmelerin yansıtılabilmesi için kullanılacak tavana montelenmiş bir projeksiyondan oluşmaktadır. Sistemin kurulum kısmının haricinde ise, ana yazılımı geliştirerek öncelikle her türlü veri görselleştirmenin temelini oluşturmak suretiyle ilçe ve yol haritaları hazırlanmıştır. Bu haritalar fiziksel harita ile kalibre edildikten sonra, üzerine ısı haritası şeklinde tasarladığımız konumsal veriler yansıtılmıştır.

6. KAYNAKÇA

[1] Edward R. Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, 2nd editio., no. v. 37, nos. 2–4. Graphics Press, 2001.

[2] J. Heer, S. Card, and J. Landay, “Prefuse: a toolkit for interactive information visualization,” *Proc. SIGCHI Conf. …*, 2005.

[3] C. Stolte, D. Tang, and P. Hanrahan, “Polaris: a system for query, analysis, and visualization of multidimensional relational databases,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 8, no. 1, pp. 52–65, 2002.

[4] D. Schmandt-Besserat, *How writing came about*. University of Texas Press Austin, 1996.

[5] A. Vande Moere, “Beyond the Tyranny of the Pixel: Exploring the Physicality of Information Visualization,” *2008 12th Int. Conf. Inf. Vis.*, pp. 469–474, Jul. 2008.

[6] Y. Dragicevic, P., Jansen, “List of Physical Visualizations,” 2013. [Online]. Available: http://www.aviz.fr/Research/PassivePhysicalVisualizations. [Accessed: 01-Mar-2014].

[7] “3D Tissue and Organ Printing Project - Sabancı University,” 2014. [Online]. Available: http://www.sabanciuniv.edu/en/3-boyutlu-doku-ve-organ-basım. [Accessed: 01-Mar-2014].

[8] A. Vande Moere and S. Patel, “Analyzing the design approaches of physical data sculptures in a design education context,” *Vis. Inf. Commun. Int.*, 2009.

[9] M. K. Rasmussen, E. W. Pedersen, M. G. Petersen, and K. Hornbæk, “Shape-Changing Interfaces : A Review of the Design Space and Open Research Questions,” pp. 735–744, 2012.

[10] H. Ishii, D. Lakatos, L. Bonanni, and J. Labrune, “Radical atoms: beyond tangible bits, toward transformable materials,” *interactions*, vol. XIX, no. february, 2012.

[11] Y. Jansen, P. Dragicevic, and J.-D. Fekete, “Evaluating the efficiency of physical visualizations,” *Proc. SIGCHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - CHI ’13*, p. 2593, 2013.

[12] S. Stusak and A. Butz, “Can Physical Visualizations Support Analytical Tasks ?,” pp. 5–6.

[13] Y. Jansen and P. Dragicevic, “An interaction model for visualizations beyond the desktop.,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 19, no. 12, pp. 2396–405, Dec. 2013.

[14] S. Swaminathan, C. Shi, Y. Jansen, P. Dragicevic, L. Oehlberg, J.-D. Fekete, and others, “Supporting the Design and Fabrication of Physical Visualizations,” in *CHI2014-Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2014.

[15] F. Bara, E. Gentaz, P. Colé, and L. Sprenger-Charolles, “The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten-children’s understanding of the alphabetic principle,” *Cogn. Dev.*, vol. 19, no. 3, pp. 433–449, 2004.

[16] M. Wilson, “Six views of embodied cognition,” *Psychon. Bull. Rev.*, vol. 9, no. 4, pp. 625–636, 2002.

[17] R. Lisserman, J. Huber, M. Schmitz, J. Steimle, M. Mühlhauser, "Permulin: Mixed-Focus Collaboration on Multi-View Tabletops." CHI'14, ACM

ORMAN YANGINI SİMÜLASYONUNDA YANGIN YAYILIMININ MODELLENMESİ

Ferat Mantar [(a)], Ahmet Birol Çavdar [(a)], Arıl Bircan [(a)], Rahmi Ünalan [(a)], Başar Kasım [(a)], Ertuğrul Bilgili [(b)]

[(a)] Havelsan Simülasyon ve Eğitim Sistemleri, Mustafa Kemal Mah. 2120.Cad No:39 PK.06510 Çankaya ANKARA, {abircan, abcavdar, fmantar, runalan}@havelsan.com.tr

[(b)] Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ), Orman Mühendisliği. PK.61080 TRABZON, bilgili@ktu.edu.tr

ÖZ

Orman yangınları ile mücadele eğitimini simülatör sistemleri yardımıyla verebilmek için gerçek orman yangını davranışına yakın bir yangın yayılım modeli gerekmektedir. OYMES (Orman Yangınlarıyla Mücadele Eğitim Simülatörü) projesi kapsamında geliştirilen yangın yayılım modeli istatistiksel veriler kullanılarak elde edilen formüller yardımıyla belirli bir nokta ya da alandan başlatılan orman yangınlarının yayılımını modellemektedir. Hava durumu, iki nokta arasındaki eğim ve meşcere bilgisi modelin kullandığı verilerdir. Hücresel olarak hesaplama yapılan modelde bir hücrede meydana gelen yangının etrafındaki hücrelere ne zaman ulaşacağı hesaplanmakta, sonrasında da yanma zamanı gelen hücrede yangın başlatılmakta ve bu zincirleme etki simülasyon koşum zamanı boyunca devam etmektedir. Bu makalede hücresel yayılımın nasıl kullanıldığı, toplamda ulaşılan yayılım modeli ve bu gerçekleştirimin performans kısıtları üzerinde durulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: hücresel yayılım, yangın şiddeti, yangın yayılım modeli, yanma faktörü, yayılım oranı.

MODELING OF FIRE PROPAGATION IN FOREST FIRE SIMULATION

ABSTRACT

Forest fire supression training systems need a fire spread model as close to reality as possible. Fire spread model developed for OYMES (Forest Fire Fighting Training Simulator), models fire behavior started from either a point or an area based on formulas calculated from statistical data. Weather conditions, topography and stand data

are the primary data that the model uses. The model is based on cellular propagation. For a fire started from a point, time needed to reach adjacent point is calculated and later, when the time is reached the adjacent point is burnt. So this chain reaction continues during the simulation run time. In this paper cellular propagation model, total fire spread model and the performance criteria for the implementation are explained.

Keywords: celullar propagation, fire power, fire propagation model, fire factor, directional rate of spread.

1. GİRİŞ

Yangın yayılımının modellenmesi orman yangınlarının nümerik simülasyonu olarak ele alınır ve yangın davranışını anlamayı ve tahmin etmeyi amaçlar. Yangın yayılım modelleri kullanılarak oluşabilecek gerçek yangınların etkilerini öngörmek, yayılım yönünü tahmin etmek hedeflenmektedir.

Yangın davranışını etkileyen temel faktörler rüzgar, meşcere özellikleri ve topoğrafyadır. Bu veriler sayısal parametre olarak yangın yayılım modellerine uygulanır. Modelin gerçeğe yakın sonuçlar verebilmesi bu parametrelerin hesaplanması sırasında kullanılan verilerin miktarına ve çeşitliliğine bağlıdır. Meşcere parametreleri için kullanılan veriler istatistiksel olarak elde edilmiştir [7].

OYMES (Orman Yangınlarıyla Mücadele Eğitim Simülatörü) projesi orman mühendislerinin orman yangınları sırasında organizasyon ve koordinasyon kabiliyetlerinin geliştirilmesi için tasarlanmıştır. Simülasyon içinde kullanılan yangın yayılım modeli eliptik tabanlıdır. Bunun anlamı toplamda oluşan yayılım şeklinin elips olmasıdır. Bir noktadan başlatılan yangın için komşu noktalara hesaplama yapılarak, yangın gerçek zamanlı ilerletilebilmekte, bu esnada değişen arazi, bitki örtüsü, rüzgar gibi koşullara bağlı olarak yön ve hız değiştirmekte, böylelikle eğitim alan personelin tecrübe kazanması amaçlanmaktadır.

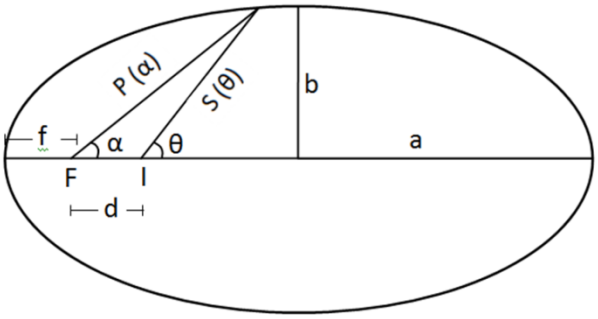
2. YANGIN YAYILIM MODELİ

Yangın yayılım modelinde bir noktadaki yangının çevresindeki noktalara hangi hızda ulaşacağı esas alınmıştır. Ayrıca yayılımın oluşturacağı şeklin eliptik olması temeline dayanmaktadır [1]. Yangın modelinde yangının yayılma oranı aşağıdaki formülle ifade edilmiştir:

$$\text{Yayılma oranı: } YO = a[1 - e^{(-bYF)}]^c \qquad (1)$$

Burada a, b, c meşcere özelliklerine, yanma faktörü YF ise rüzgar ve bağıl nem değerlerine göre hesaplanan katsayılardır [2]. Aynı formülle arka yangın yayılma oranı (AYO) rüzgar değerini 0 (sıfır) kabul ederek hesaplanır.

Elips üzerindeki noktalarda yangının hızını bulmak için elips formülünden yararlanılır (Şekil 1)[5][6].



Şekil 1. Orijini odakta (F) olan bir elipsin polar formülü

$$P(\alpha) = (a - e \times c) / (1 - e \times \cos(\alpha)) \quad (2)$$

Şekildeki a ve b eksen uzunlukları, elipsin boyu ve enini ifade ettiğinden, elipsin boy (B) ve en (E) oranı şu şekilde ifade edilir :

$$BE = a / b \quad (3)$$

Bundan sonra, yangının başlangıç noktası dikkate alınarak elipsin polar koordinatları (θ ve S(θ)) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir :

$$S^2 = P^2 + d^2 - 2 \times P \times d \times \cos\theta \quad (4)$$

Elipsin ana eksen yarı uzunluğu (a) ve kısa eksen yarı uzunluğu, baş yangını ve arka yangını yayılma oranlarından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$a = (AYO + YO) / 2 \quad (5)$$

$$b = (AYO + YO) / 2BE \quad (6)$$

$$c^2 = a^2 - b^2 \quad (7)$$

$$d = AYO - a + c \quad (8)$$

$$e = c / a \quad (9)$$

$$f = a - c \quad (10)$$

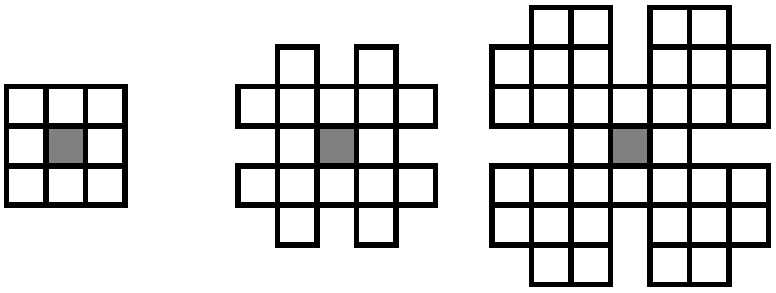
Hesaplanan bu değerler kullanılarak yangının başlangıç noktasına göre (I) koordinat değerlerinin hesaplanabilmesi için yangının başlangıç noktası (I) ile elipsin odağı (F) arasındaki mesafenin (d) belirlenmesi ve sonrasında da, yangının başlangıç noktası dikkate alınarak elipsin polar koordinatları (θ ve S(θ)) hesaplanmalıdır.

Hesaplanan S(θ) değeri yangının başlangıç noktasına göre θ açısıyla elips üzerindeki bir noktanın yayılma oranı değeri olacaktır. Bu değer ile baş yangını yayılma oranı çarpılarak ilgili noktadaki gerçek yayılma oranı (m/dakika) elde edilecektir.

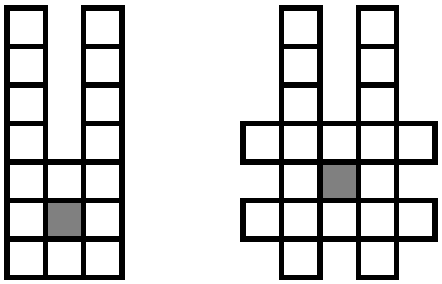
Tek nokta için yapılan bu hesaplamadan elde edilen hız değerleri ile komşu noktalara yangının ne zaman ulaşacağı bilgisi elde edilmiştir. Böylelikle simülasyon zamanı içinde zamanı gelen noktalarda yangın başlatılmakta ve her yangın başlatılan nokta için yukarıdaki hesaplama tekrarlanmaktadır. Sonuç olarak toplamda da eliptik yangın şekli elde edilmektedir. Teorik olarak yangının elips üzerindeki herbir noktaya ulaşma süresi S(θ) değerleri ile hesaplanabilir. Örneğin 1 derecelik duyarlılıkta hesaplama yapılmak isteniyorsa S(1), S(2), S(3), ..., S(360) şeklinde 360 adet S değeri hesaplanmalıdır.

3. YANGIN YAYILIM MODELİNİN HÜCRESEL YAYILIM OLARAK UYGULANMASI

Bu yaklaşımın gerçek zamanlı simülasyonda uygulanabilmesi için yangın oluşturulabilecek en küçük birimler belirlenmiştir. Bu amaçla senaryo alanı 2mx2m'lik hücrelere bölünmüştür. Bir hücre üzerinde yangın var/yok olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla bir hücrenin kısmi olarak yanması söz konusu değildir. Hücresel yayılım modellenirken aşağıda gösterilen şemalar arasından seçim yapılmıştır. Şema seçimi hesaplama yapılacak S(θ) sayısını belirlemektedir. Modelin tutarlılığı açısından bu şemalardan yalnızca biri seçilebilir ve modelin tamamında yangının ilerlemesi seçilen şemaya dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Şemaların toplam model üzerinde oluşturduğu temel fark yayılan yangının şekli olarak gözlenmiştir. Şema seçimindeki en önemli kriter ise "daha fazla hücre daha fazla hesaplama" olarak özetlenebilir. Simetrik şemalar Şekil 2'de, asimetrik şemalar Şekil 3'te gösterilmiştir.

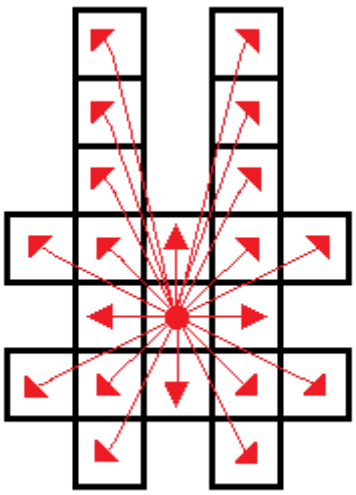


Şekil 2. 8'lik, 16'lık ve 32'lik simetrik şemalar



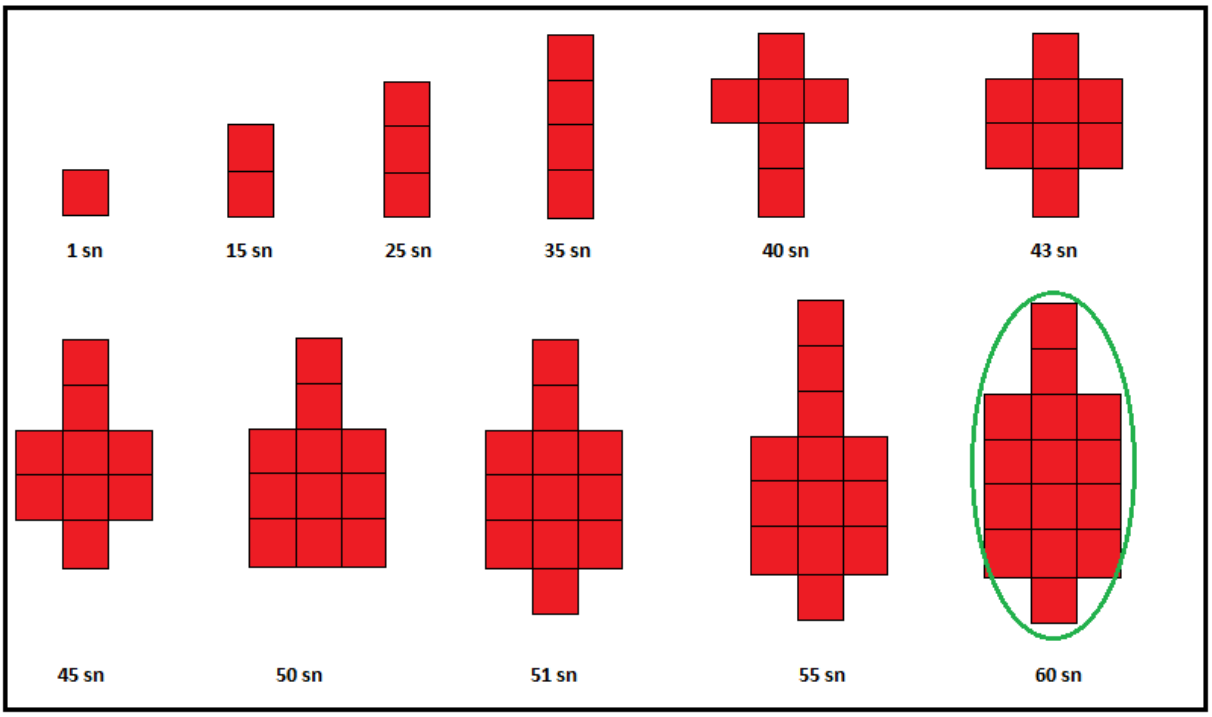
Şekil 3. 16'lık ve 20'lik asimetrik şemalar

Hücre sayısı artırıldıkça yangın yayılımı elips şekline (gerçek yayılımda beklenen ideal şekil) daha fazla yaklaşabilmektedir [3]. Toplamda oluşan yangın yayılım şekline bakılarak elipse daha yakın bir şekil elde edebilmek için asimetrik 20 hücreli şema tercih edilmiştir. Hesaplama yapılan yönler Şekil 4'te gösterilmiştir.



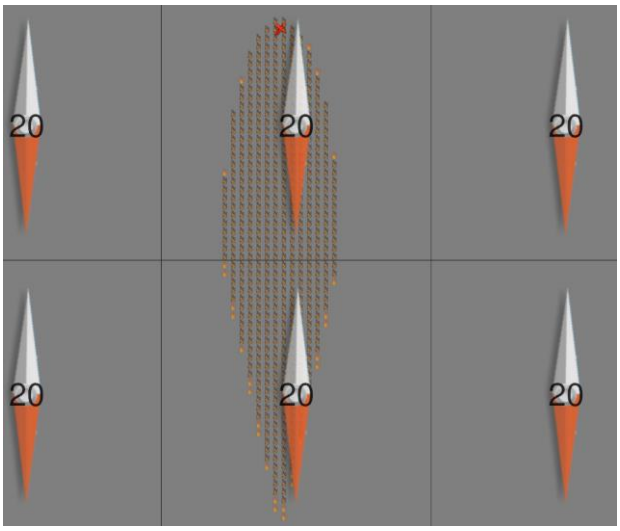
Şekil 4. 20'lik asimetrik şemada komşu hücrelerde hesaplama yapılması

Bu şemanın kullanılması sonucu Şekil 5'te gösterilen ilerleme gözlenmektedir. Verilen örnekte 60 sn sonunda işaretlenen hücrelerin toplamda elips şekline ulaşma eğiliminde olduğu görülmektedir.



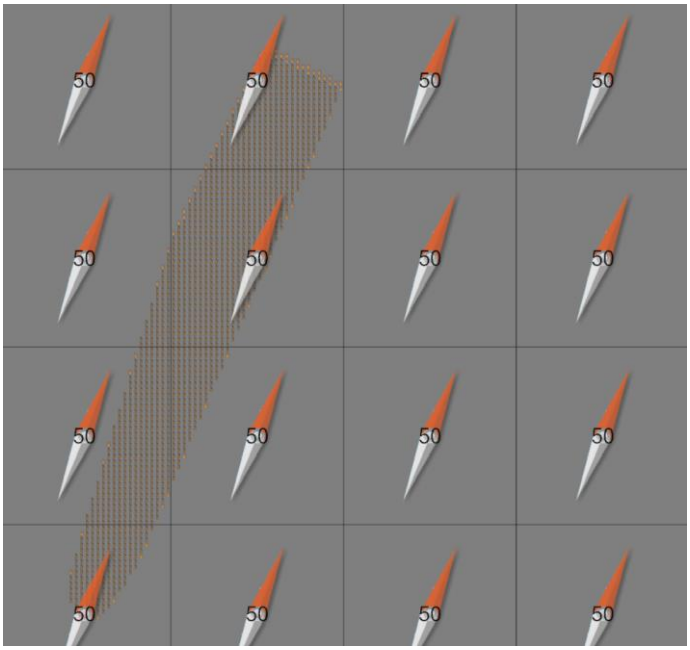
Şekil 5. Yangın yayılımının gerçek zamanlı işletimi

Kullanılan şema doğrudan arazi üzerine oturtulduğunda 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315 derecelik rüzgar açılarıyla Şekil 6'da görüldüğü gibi düzgün bir elips şekli elde edilebilmektedir.



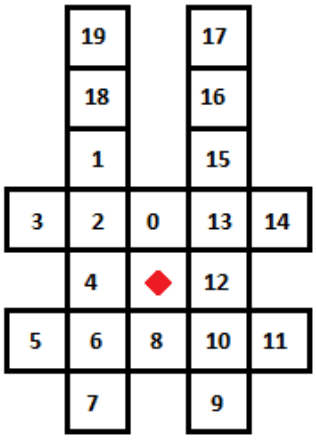
Şekil 6. 180 derecelik rüzgar

Ancak şemanın doğrudan arazi hücreleri üzerine oturtulması ara açılarda genel yayılım şeklinde (yangının rüzgar yönünde ön kısmı) bozulmalara yol açmıştır. Şekil 7'de 22 derecelik rüzgarda bir saat sonunda toplam yanan alan şekli görülmektedir.



Şekil 7. Şemanın doğrudan kullanımı sonucu 22 derecelik rüzgarda yangın yayılımı

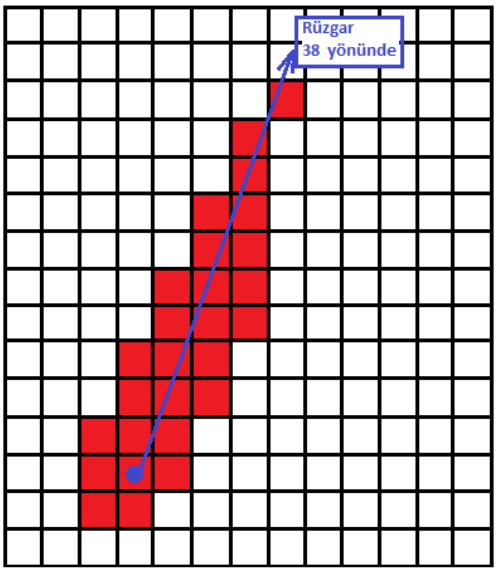
Dolayısıyla hücresel olarak bölünmüş arazi üzerinde bir noktadan yangını ilerletirken şemanın yangın yayılımı yönünde döndürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla 20 yönde hesaplama yapılırken herbir yön için aşağıdaki adımlar izlenmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi 20'lik şemada herbir hücre için bir indis belirlenmiştir. Dolayısıyla herbir indis belirli bir yöne (açıya) karşılık gelmektedir.



Şekil 8. Şemada belirlenen indisler

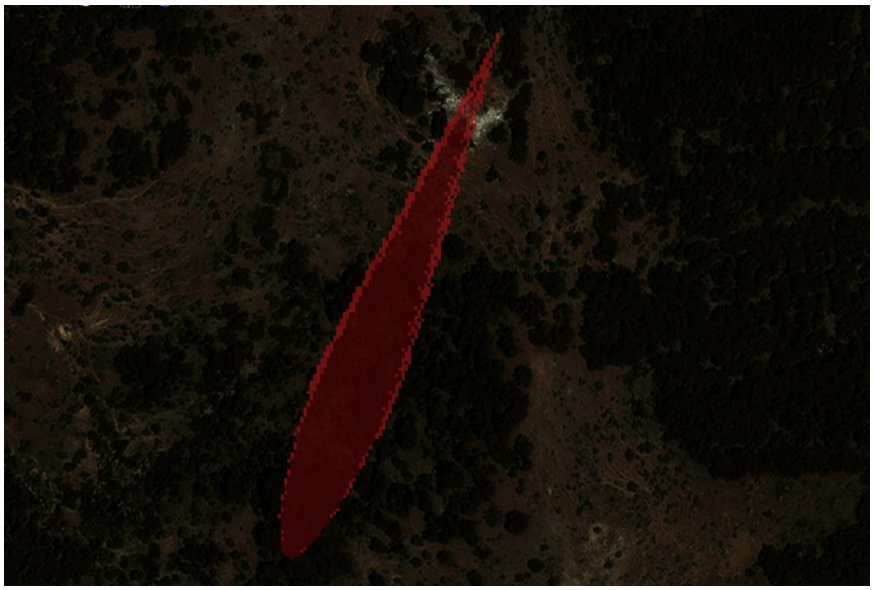
Rüzgar yönü (dolayısıyla yangın yönü) bir ara açıya sahip olduğu zaman 20'lik şemanın bu açıda arazi üzerinde varsayılan hücresel yapıya oturtulması mümkün değildir. Bunun yerine herbir yön için hesaplanan S değeri, o yöne ait göreli açı yönünde uygulanarak ilerletilmekte ve ilerleme sonucu hangi hücreye etki edeceği bulunmaktadır. Örneğin

rüzgar 22 derecelik bir açıya sahipse 0 indisli hücre 22 derecelik açıda bulunan ilk hücreye etki etmektedir. Benzer şekilde 12 indisli hücre 112 derecelik açıda bulunan ilk hücreye ilerletilmektedir. Bu yöntem sonucunda ara açılarda yangının ilerleyişi Şekil 9'daki gibi olmaktadır.



Şekil 9. Hücreler üzerinde yangının ilerletilmesi

Sonuç olarak ara açılarda Şekil 10'da görüldüğü gibi eliptik yayılım şekli elde edilebilmektedir. Bu yöntemle elde edilen yayılımın tutarlılığı doğrusal açıda aynı rüzgar büyüklüğüyle elde edilen toplam yangın yayılım şekli ve alan büyüklüğüne ne kadar yakın olduğuna bakılarak doğrulanmıştır.



Şekil 10. Şemanın döndürülmesi sonucu 22 derecelik rüzgarda yangın yayılımı

Tablo 1'de, aynı rüzgar ve sıcaklık değerleriyle, farklı açılarda 30 dakikalık koşum sonucunda toplam yanan alan miktarları verilmiştir. İlk kolonda belirtilen açısal derece değerleri, rüzgarın yönünü (dolayısıyla yangının ilerleme yönünü) göstermektedir. Rüzgar 0 derece yönünde elde edilen toplam yanan alan miktarına göre diğer açılarda oluşan farklar "Fark" kolonunda gösterilmiştir.

Tablo 1. Farklı açılarda yanan alan miktarları

	Koşum süresi (dk)	Yanan alan (m^2)	Fark
0 derece	30	105032	0
17 derece	30	104540	-492
112 derece	30	104220	-812
135 derece	30	103540	-1492
213 derece	30	104052	-980
291 derece	30	104340	-692

4. SONUÇ

Yukarıda gösterilen şemalar arasında ideal elips şekline en yakın sonucu 32'lik şema vermektedir ancak şema seçimi hesaplama yapılacak S(θ) sayısını belirlemektedir. Dolayısıyla şema seçimi yapılırken ne kadar büyüklükte bir alan üzerinde çalışılacağı ve seçim sonucu belirli bir t anında sistemin kaç adet hesaplama yapabileceği göz önünde bulundurularak 20'lik asimetrik şema kullanılmasına karar verilmiştir.

Herbir hücre için yapılan 20 yönde hesaplama işlemleri çok iş parcacıklı olarak ele alınmıştır. Bunun sağlanabilmesi için hücresel hesaplamalar olay tabanlı olarak tasarlanmıştır. Bir yangın olayı hücresel alan üzerinde belirli bir x, y koordinatının ne zaman yakılacağı (dolayısıyla o noktada 20 yönde hesaplamanın ne zaman yapılacağı) bilgisini taşımaktadır. Simülasyon zaman akışı içinde, bu yangın olayları tutulduğu veri yapısından zamanı geldiğinde alınmakta ve işlenmektedir. İşlenen yangın olayları da, herbirinin 20 yönde yaptığı hesaplama sonucunda yeni yangın olayları yaratır ve işletim bu şekilde devam eder. Yangın olayları veri yapısına ekleme yaparken, belirli bir koordinat için daha önceden eklenmiş olay varsa yeni eklenen olayla daha öncekinin zamanları karşılaştırılır. Yeni eklenen olay daha kısa bir t zamanına sahipse önceden

eklenmiş olay veri yapısından kaldırılır. Belirli bir t zamanında hücresel alan üzerinde hesaplama yapılacak n tane hücre (yangın olayı) bulunmaktadır. Bu hesaplamaların herbiri birer iş parçacığı olarak ele alınır ve sonrasında oluşan yeni yangın olayları, yangın olayları veri yapısına eklenir. Dolayısıyla iki farklı hücrenin yaptığı 20 yönde hesaplama içinde çakışan hücre bulunsa bile yangın olayları veri yapısına sadece daha kısa t zamanına sahip olay eklenecektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya olan katkıları için tüm HAVELSAN A.Ş. OYMES projesi çalışanlarına; Orman Genel Müdürlüğü uzmanlarına; projeyi mümkün kılan Savunma Sanayii Müsteşarlığı'na teşekkür ederiz.

6. KAYNAKÇA

[1] Bilgili, E. and I.R. Methven. 1990. The simple ellipse: A basic growth model. 1st Intl. Conf. on Forest Fire Research, Coimbra 1990. pp. B.18-1 to B.18-14.

[2] Bilgili, E., 2003. Stand Development and Fire Behavior, Forest Ecology and Management 179, 333-339.

[3] Tymstra, C., Bryce, R.W., Wotton, B.M., Taylor, S.W., Armitage, O.B. (2010), Development and Structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model, *Information Report NOR-X-417 Canadian Forest Service*, 2010

[4] FINNEY, MARK A. Revised 2004. FARSITE: Fire Area Simulator—model development and evaluation. Res. Pap. RMRS-RP-4, Ogden,UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 47 p.

[5] RICHARDS, G.D. 1990. An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. Int. J. Numer. Meth. Eng. 30: 1163-1179.

[6] RICHARDS, GD. 1995. A general mathematical framework for modeling two-dimensional wildland fire spread. Int. J. Wildl. Fire. 5(2): 63-72.

[7] KUCUK, O., 2004. Yanıcı madde tipleri ve yangın davranışına bağlı yangın potansiyelinin belirlenmesi ve haritalanması, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Trabzon.

[8] KUCUK, O., B. Saglam. and E. Bilgili. 2007. Canopy fuel characteristics and fuel load in young black pine trees. Biotechnology and Biotechnological Equipment 21(2): 235-240.

[9] KÜÇÜK, Ö., Bilgili, E., Sağlam, B., Başkaya, Ş. and B. Dinç Durmaz. 2008. Some Parameters Affecting Fire Behavior in Anatolian Black Pine Slash. Turk. J. Agric. For., 32, 121-129

[10] Bilgili, E, 2003. Stand Development and Fire Behavior, Forest Ecology and Management 179, 333-339.

[11] Bilgili, E. ve Sağlam, B., 2003. Fire Behavior in Maquis in Turkey, Forest Ecology and Management 184, 201-207.

[12] Bilgili, E, Dinc Durmaz, B., Saglam, B., Kucuk, O. and Baysal, I. 2006. Fire Behavior in immature calabrian pine plantations. In proceedings of V International conference on forest fire research. Ed. DX. Viegas, Coimbra, Portugal.

AĞIRLIKLI BİLEŞENLERDEN OLUŞAN SİSTEMLERİN MUHAREBE MODELLEMEDE KULLANIMI

Kadir Sarıkaya

Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekât Araştırması ABD, Ankara,
kadirsarikaya@yahoo.com

ÖZ

Bu çalışma, ağırlıklı bileşenlerden oluşan sistemlerin muharebe modellemede kullanımı için örnek bir model önermeyi amaçlamaktadır. Birçok gerçek hayat probleminde sistemi oluşturan bileşenlerin her biri sistemin çalışmasına farklı katkıda bulunmaktadır. Benzer şekilde, muharebedeki ana unsurlarında muharebenin sonucuna farklı katkıları söz konusudur. Ağırlıklı bileşenlerden oluşan n'den k'lı:G sistemlerin muharebe modellemede kullanımı muharebe dinamiklerinin daha esnek bir yapıda temsili ve tasarımına imkan sağlamaktadır. Ayrıca, etmen tabanlı modelleme ile sistemlerin temsilinde muharebe modellerinde yaygın olarak kullanılan bütünleştirme yöntemlerinin kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

.

Anahtar Kelimeler: Ağırlıklı n'den k'lı:G Sistemler, Muharebe Modelleme, n'den k'lı:G Sistemler, Optimal Güvenilirlik, Sistem Güvenilirliği.

USING SYSTEMS WITH WEIGHTED COMPONENTS IN COMBAT MODELLING

ABSTRACT

In this paper, we aimed to suggest the use of systems with weighted components in combat modeling. In many real life problems every component of the system contributes at a different level to the systems' performance. Likewise main combat entities have different contributions to the combat result. Using weighted k-out-of-n:G systems in combat modeling allows us to easily represent and design combat dynamics in a resilient way. Furthermore, it is intended to make use of agent based modeling concurrently with aggravation technics, which are abundant in combat modeling.

Keywords: Weighted k-out-of-n:G Systems, Combat Modeling, k-out-of-n:G Systems, Optimal Reliability, System Reliability.

1. GİRİŞ

Birçok gerçek hayat probleminde sistemi oluşturan bileşenlerin her biri sistemin çalışmasına farklı katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, 'ağırlıklı bileşenlerden oluşan sistem' olarak adlandırılan bu şekilde oluşturulmuş bir sistemin çalışması sadece sistemi oluşturan bileşenlerin çalışıp çalışmaması durumuna bağlı olmak yerine ayrı ayrı her bir bileşenin sistemin çalışması için yaptığı katkılara bağlı olacaktır. Sistemin çalışması için her bir bileşen tarafından yapılan bu katkı/performans/fayda vb. değerleri bu çalışmada ağırlık olarak adlandırılacaktır [1]. Bu şekildeki bileşenlerle oluşturulan ağırlıklı bileşenli sistemler'de sistem performansına daha fazla katkısı olan bileşenin daha büyük ağırlığı olacağı aşikârdır. Ağırlıklı bileşenlere ilişkin geniş bir literatür çalışması [2]'da bulunmaktadır.

Belirsizliğin yüksek olduğu askeri karar problemlerinde muharebe ortamının mümkün olduğu kadar doğru ve gerçekçi temsili büyük önem kazanmaktadır. Küçük birlik seviyesinde gerçeklik yüksek çözünürlülük ile sağlanmaktadır [3]. Büyük birlik seviyesinde ise günümüz bilgisayarlarının işlemci gücü sınırları ve ihtiyaç duyulan çözünürlülük seviyesinin düşük olması nedeniyle istenilen gerçeklik bütünleştirme kullanılarak sağlanmaktadır. Bütünleştirmeden kasıt küçükten büyüğe sırasıyla tek er, manga, kısım, takım, bölük, tabur, tugay, tümen, kolordu, ordu unsurlarının belirli kurallarla birbirlerini oluşturmak için kullanılmasıdır [4]. Örneğin; 9-11 tek er bir mangayı, 3-4 manga bir takımı oluşturmak için kullanılmaktadır.

Muharebe modellerinde bütünleştirme kontrol edilebilir bir çözünürlük seviyesi sağlamaktadır. Ancak, bileşenlerin sisteme bireysel katkıları bütünleştirilmiş ana unsurda kaybolmaktadır. Bu sorun, bileşenlerin sistemin çalışmasına katkılarını modellemede ağırlıklı bileşenler kullanılarak aşılabilecektir.

Muharebede, bir birliğin kendisini oluşturan en zayıf unsurunun gücü kadar kuvvetli olduğu aşikârdır. Bu nedenle, ilave bileşenli sistemlerle sistem güvenilirliğini yani muharebede kazanma olasılığını artırmak muharebenin tasarımında (planlama aşamasında) kullanılan bir yöntemdir. Bu maksatla çalışmada, muharebenin tasarımında ilave bileşenlerin kullanımını sağlayan ağırlıklı n'den k'lı:G sistemlerin kullanılması önerilmektedir. Ağırlıklı bileşenlerden oluşan n'den k'lı:G sistem ile n adet bileşenden oluşan ve çalışan bileşenlerin ağırlıkları toplamı en az belirlenen k değeri kadar olduğunda çalışan bir sistem tanımlanmaktadır [5]. Ağırlıklı bileşenlerden oluşan n'den k'lı:G sistemlerin kullanımı muharebenin dinamiklerini daha esnek bir yapıda temsil etmesi ve hangi harekât tarzının kazanma olasılığını artırdığı ile ilgili daha net bilgiler veren bir yöntem olduğundan planlamada tercih edilmelidir. Ancak, bu yapılırken eldeki birlik ve silah gücünün optimal karışımını sağlamak gerekecektir. Benzer şekilde, yedek bileşenli sistemlerin kullanımı da muharebenin planlanmasında daima dikkate alınması

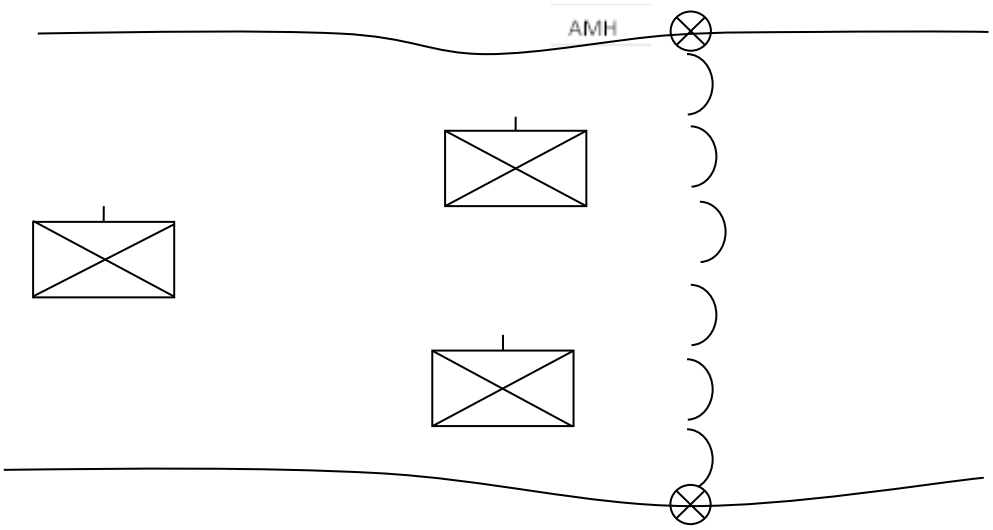
gereken hususdur. İhtiyat bulundurmak yedek bileşenli sistemlerin kullanımına örnek olarak verilebilir. Optimal güvenilirlikli tasarım problemleri, ilave bileşenli sistemler üzerine daha geniş bir çalışma [6]'da bulunmaktadır.

2. TABURUN AĞIRLIKLI n'den k'lı:G SİSTEMLE MODELLENMESİ

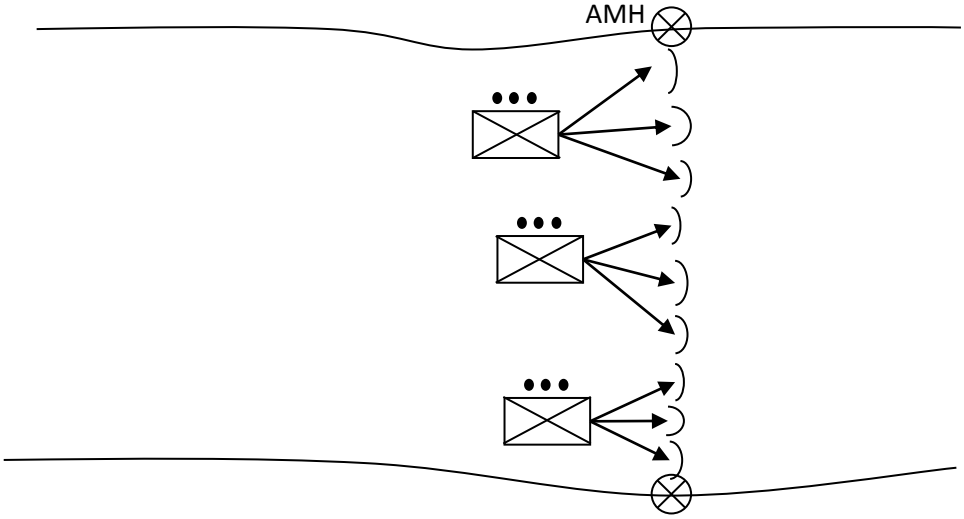
Burada savunma görevini icra eden bir Tabur, ağırlıklı n'den k'lı :G sistem olarak modellenerek muharebedeki başarı olasılığının bulunabilmesi için yöntem önerilecektir. Tabur, her biri birbirine özdeş mangalarla savunma görevini icra etmektedir. Şekil 1'de savunma görevini icra eden bir Tabura ait 3 bölük resmedilmiştir. Bu bölüklerin her birinin birbirine özdeş 3'er mangalı 3 takım ile asıl muharebe hattında (AMH) hat düzeninde tertiplenmesi Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 1 ve 2 birlikte incelendiğinde buradaki Taburun toplam 27 mangadan oluştuğu görülebilecektir. Her ne kadar mangalar birbirine özdeş olsalar da mangaların muharebe sonucuna etkileri aynı değildir. Manganın arazide bulunduğu konum, kuvvet çoğunluğu bölgesinde olması, komutanın o bölgedeki harekâta desteği, muhabere imkânları, savunmanın ortasında ya da kanatlarında bulunması, morali, karşısındaki düşmanın özelliği gibi faktörler her manganın Taburun muharebe gücüne katkısını etkileyecektir [7].

Muharebenin başarıya ulaşması için mangaların muharebeye katkıları toplamının düşmanın savaşma gücünden fazla olması gerekmektedir. Bu sistemde; manga sayısını bileşen sayısı n, i'nci manganın görevini yerine getirme olasılığı/güvenilirliğini p_i, i'nci manganın muharebeye katkısı/ağırlığını w_i ve düşmanın savaşma/taarruz gücünü k aldığımızda model ağırlıklı bileşenlerden oluşan n'den k'lı:G sistem olarak değerlendirilebilecektir. Diğer bir ifade ile Taburun görevini yerine getirebilme olasılığı/güvenilirliği, görevini yerine getiren mangaların ağırlıkları toplamının düşmanın savaşma/taarruz gücünden büyük olması olasılığına eşit olacaktır. [2] numaralı çalışmada iki tip ağırlıklı bileşenden oluşan n'den k'lı: G sistemin güvenilirlik karakteristiklerinin hesaplanması için kapalı formüller geliştirilmiştir. Geliştirilen bu formüller burada önerilen model için uygun bir uygulama sağlayacaktır.

Ağırlıklı bileşenlerden oluşan n'den k'lı sistemde n, etmen tabanlı modellemede temsil edilen etmenin bütünleştirilen bir ya da iki alt unsurlarının sayısını ifade etmektedir. Bütünleştirilen bu unsurlar özdeş olabileceği gibi tamamen farklı güç ve yapıda olabilir. Bütünleştirmede genellikle birliklerin teşkilat yapısı dikkate alınmaktadır. Başka bir ifade ile bir Taburun bir alt seviye birliği bir bölük olabileceği gibi manga da olabilir. Taburu oluşturan muharebe unsurlarının yanında muharebe destek unsurları da muharebe gücünü hesaplarken önemli bir faktördür. Burada, anlatım kolaylığı açısından modellenen etmen olarak özdeş mangalardan oluşan bir Piyade Taburu ele alınacaktır.



Şekil 1: Asıl muharebe hattında(AMH) tertiplenmiş bir Taburun üç bölüğü



Şekil 2: AMH'nda üç takımı ile hat düzeninde tertiplenmiş bir Bölük

X_i dost kuvvetin, Y_j karşıt kuvvetin mangalarının durumlarını betimleyen iki durumlu rastgele değişkenleri olarak alındığında, $X_i(Y_j)$;

$$X_i\left(Y_j\right)=\begin{cases}1, & i'nci\left(j'inci\right)manga\ görevini\ yerine\ getiriyorsa\\ 0, & \text{diğer durumlar}\end{cases} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilecektir. Burada, dost mangaların ağırlıkları/katkıları toplamı, *W*;

$$W = \sum_{i=1}^{n} X_i w_i \tag{2}$$

dost Taburun muharebe gücünü ifade etmektedir. Benzer şekilde, karşıt kuvvetin muharebe gücü de hesaplanabilir. Karşıt kuvvetin muharebe gücü *W**, m adet unsuru ve her bir unsurun w_j^* gibi bir ağırlık değeri olduğu durumda;

$$W^* = \sum_{j=1}^{m} Y_j w_j^* \tag{3}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Muharebede bir tarafın diğerine üstünlüğü basit anlamda kuvvetlerinin belli bir oranda diğerinden üstünlüğüne bağlıdır [8]. Örneğin; savunma icra ederken düşmanın kuvvetlerimizden *k** kat ve üzerinde güçlü olması savunmamızın başarıya ulaşması olasılığını zora sokacaktır. O halde, savunma icra eden birliğin bu örnek durumda savunmasını güvenle icra edebilme olasılığı, *R;*

$$R = P\left(\sum_{i=1}^{n} w_i X_i \geq \frac{\sum_{j=1}^{m} w_j^* Y_j}{k^*} \right) \tag{4}$$

olarak bulunacaktır. Yukarıda belirtilen güvenilirlik hesaplamasında düşmanın savaşma/taarruz gücünü ifade eden *k*;

$$k = \frac{\sum_{j=1}^{m} w_j^* Y_j}{k^*} \tag{5}$$

şeklinde ifade edilecektir.

Örnek: 1 ve 2'inci bölüklerdeki mangaların ağırlıkları, w_1=1 ve güvenilirlikleri, p_1=0.95 ile 3'üncü bölükteki mangaların ağırlıkları w_2=2 ve güvenilirlikleri, p_2=0.97 olan bir Taburun savunmasını güvenle icra edebilme olasılığı (*R*) hesaplanmak istenilsin. Bu hesaplama için aşağıda verilen güvenilirlik formülü kullanılarak k=28 için *R*=0.9998 iken k'nın sırasıyla 31, 34 ve 36 değerleri için güvenilirlik değeri 0.9897, 0.8001 ve 0.3020 olmaktadır.

$$R = \sum_{\substack{0 \leq z \leq n-m,\ 0 \leq y \leq m \\ \omega y + \omega^* z \geq k}} \sum \binom{m}{y} p_1^{y} \left(1 - p_1\right)^{m-y} \binom{n-m}{z} p_2^{z} \left(1 - p_2\right)^{n-m-z} \tag{6}$$

[9]

Burada,

y: 1 ve 2'inci bölüklerden görevini yerine getiren mangaların sayısını gösteren indis.

z: 3'üncü bölükten görevini yerine getiren mangaların sayısını gösteren indis.

n: Toplam manga sayısı (problem için 27'dir.)

m:1 ve 2'inci bölüklerdeki manga sayısı (problem için 18'dir.) olarak tanımlanmaktadır.

3. SONUÇ

Ağırlıklı bileşenlerden oluşan etmen tabanlı muharebe modelleme etmenlerin muharebeye katkılarının modellenmesinde esnek bir yapı ortaya koymaktadır. Güvenilirlik fonksiyonunun doğrusal olmayan yapısı ve ağırlık değerlerinin tespitinde benzer yöntemlerin karşılaştığı problemler önerilen yöntemin uygulanabilirliğini azaltmaktadır [10, 11]. Ancak, hassas planlama ve icra gerektiren özel kuvvet operasyonu benzeri görevlerdeki başarı olasılığını artırmak için yapılması gerekenler önerilen yöntemle planlama safhasında kolaylıkla analiz edilebilecektir. Ayrıca, önerilen model ile piyade tank işbirliği gibi farklı yapıya sahip birliklerin bir arada düşmana karşı kullanıldığı muharebelerin de etkin temsili mümkün kılınmaktadır. Doğru ve yeterli verilerle muharebede hangi karışımın hangi düşmana karşı daha başarılı olabileceği gibi optimal güvenilirlikli tasarım problemleri önerilen yapı ile çalışılabilecektir. Mevcut durumda, harekât esnasında komutana karar verebilmesi için harekât tarzları önerilmektedir. Hepsi görevi başarmak üzere tasarlanan bu harekât tarzları karşılaştırılırken daha çok tecrübi faktörler öne çıkmaktadır [8]. Önerilen modelin harekât tarzları karşılaştırılmasında mevcut yönteme üstünlüğü harekat tarzlarının güvenilirliğini yani görevi başarma olasılığını vermesi olacaktır.

Çalışmanın kamuoyunda askeri operasyonlar sonucu oluşacak kayıplara tahammülsüzlüğün arttığı bir ortamda muharebede başarı olasılığını yükseltecek tasarımlar üzerinde yapılacak çalışmalar için ilham verici olacağı değerlendirilmektedir.

4. KAYNAKÇA

[1] Samaniego, F.J., Shaked, M. (2008), Systems with weighted components, *Statistics and Probability Letters* 78, 815-823.

[2] Sarıkaya K. (2015), Ağırlıklı Bileşenlerden Oluşan Sistemlerde Optimal Güvenilirlik ve Tasarım Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Harekat Araştırması ABD Doktora Tezi, Ankara.

[3] Yılmaz, T. (2007), Muharebe Simülasyonları ve Modelleme Teknikleri, Kara Harp Okulu Basımevi,Ankara.

[4] Caldwell B., Hartman J., Parry S., Washburn A., Youngren M.(2000), Aggregated Combat Models, Lecture Notes, Operations Research Department Naval Postgraduate School Monterey, California.

[5] Wu, J.S., Chen, R.J. (1994), An algorithm for computing the reliability of a weighted-k-out-of-n system, *IEEE Transactions on Reliability* 43, 327–328.

[6] Kuo, W., Zuo, M.J.(2003), Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications, John Wiley & Sons.

[7] Headquarters Department of the Army (2005), FM 5-0 Army Planning and Orders Production, Washington, DC.

[8] Tillman M.E.(1996), Optimizing force ratios to develop a course of action for the G3 (operations officer), *Mathematical and Computer Modelling* 23 (1-2), 55–63.

[9] Eryılmaz, S., Sarıkaya, K. (2014), Modeling and analysis of weighted-k-out-of-n:G system consisting of two different types of Components, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*.

[10] Tolk, A. (2012), Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation, John Wiley & Sons, Inc..

[11] Washburn A., Kress M. (2009), Combat Modeling, Springer Science+ Business Media.

ÇOK KULLANICILI HARP OYUNU BENZETIM SISTEMLERINDE KABUL TEST ORTAMI OLUŞTURULMASI : "KONTROLLÜ RASSALLIK"

Tarık Döğüşcü

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı -
Taktik Geliştirme Doktrin ve Analiz Merkezi Komutanlığı (TADAMERKOM)
Gölcük/Kocaeli, doguscu.t5771@dzkk.tsk.tr

ÖZ

Harp oyunu sistemleri gibi çok kullanıcılı benzetim sistemlerinin onaylanması, eksik planlama, kısıtlı zaman, yetersiz kullanıcı sayısı ve hatta test yöntemlerindeki bazı kısıtlar nedeniyle problemli bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır. Söz konusu sistemlerin eş zamanlı kullanıcı sayılarının çok oluşu, fazla sayıda bileşen içermeleri ve birbiri ile etkileşim içerisinde olan çok fazla fonksiyona sahip olmaları bu işlemi daha da karmaşıklaştırmaktadır. Sistem fonksiyonları birim testlerinde başarılı olmalarına rağmen, fazla sayıda eş zamanlı kullanıcının sisteme girmesiyle performansa veya başka nedenlere bağlı beklenmedik sorunlarla da karşılaşılabilmektedir. Sistem fonksiyonlarının birim testlerine tabi tutulmaları mutlak gerekmekle birlikte, çok kullanıcılı harp oyunu benzetim sistemlerinin onaylanmasında tek başına yeterli olmamaktadır. Bu makalede bu konu üzerine durulmakta ve 100 eş zamanlı kullanıcılı Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) Projesi kabul testleri sırasında kullanılan 'Kontrollü Rassallık' modeli ve tecrübe edilen özellikleri ile modelin kabul testlerine sağladığı yarar ve zorluklar ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Askeri Benzetim, Benzetim Sistemi Projesi, Çok Kullanıcılı Benzetim, Harp Oyunu Benzetimi, Harp Oyunu Benzetim Sistemi, Kabul Testi, Kontrollü Rassallık, Kabul Test Ortamı, Onaylama.

ACCEPTANCE TEST ENVIRONMENT FOR MULTI-USER WARGAME SIMULATION SYSTEMS : "CONTROLLED RANDOMNESS"

ABSTRACT

Certification (Accreditation) of multi-user simulation systems like Wargame Systems is a challenging phase because of time limitations, lack of good planning, inadequate number of users for testing and some restrictions on testing methodologies. Having lots of concurrent users, sub-systems and interacting functions on these systems makes this

process much more complex. Unexpected problems related with performance or unknown issues may occur depending on the increased number of users taking part concurrently in the simulation environment, although system functions pass unit tests. Unit tests are obviously required for testing system functions, but they are insufficient by themselves to certify a multi-user wargame simulation system. This paper discusses this issue and the "Controlled Randomness" model used during the acceptance tests of Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS, Naval Wargame System-NAWAS) supporting 100 concurrent users. Additionally, lessons learned using this model, the benefits and difficulties it offers are also covered.

Keywords : Acceptance Test, Acceptance Test Environment, Accreditation, Certification, Controlled Randomness, Military Simulation, Multi-user Simulation, Simulation System Project, Wargame Simulation, Wargame Simulation System.

1. GİRİŞ

Askeri alanlarda benzetim, yetenek/kabiliyet geliştirme, savunma planlama, harekat analizi/desteği, karar destek sistemi ve eğitim gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmakta [1] ve hem donanım hem de yazılım teknolojilerinin gelişmesiyle askeri alanlarda kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Bilgisayar Destekli Harp Oyunu ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilen yapısal (Constructive)[1] bir benzetim sistemi olan Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından Kasım 2012 ayında teslim alınmıştır. TÜBİTAK Kaynaklı (TÜKA) TSK Savunma ve Uzay ARGE Projesi olarak gerçekleştirilen DEHOS, TÜBİTAK, Savunma Sanayi Müsteşarlığı, Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı ve geliştirici firma METEKSAN Savunma Sanayi A.Ş. olarak farklı paydaşlara sahip, bu çok yönlülüğü ile de özel bir projedir. 500 unsur içeren ve 100 kullanıcılı bir senaryoyu sorunsuz oynatabilme kabiliyetine sahip DEHOS, uzaktan erişim yeteneği, farklı dillerde gösterim yapabilen arayüzleri, jenerik modelleme alt yapısı ve modellerdeki sadakat seviyeleri ile yardımcı programları; jenerik harita editörü, envanter tanımlama aracı, senaryo planlama modülü, yeniden izleme aracı, analiz ve raporlama birimi ile benzerlerinden farklılaşmaktadır.

Günümüzde donanım ve yazılım teknolojilerindeki hızlı ilerlemeler doğal bir sonuç olarak askeri simülasyon sistemlerinin de büyümesine ve karmaşıklaşmasına neden olmuştur. Özellikle çok kullanıcılı, yan ürünleri fazla, yazılım açısından içerisinde bir çok alt program ve servis barındıran, bazen milyon satırlara varan yazılım ile yüzlerce donanımın oluşturduğu bir sistem olabilecekleri düşünülürse, projenin sonunda müşteri açısından "Evet, bu bizim istediğimiz sistemdir!" kararını verebilmek iyice güçleşmektedir. Literatürde çeşitli doğrulama, geçerleme ve onaylama tekniklerinden [3-11] bahsediliyor olsa da, bunların çoğu bir sistemi parça parça düşünüp her bir alt

elemanın/modelin doğrulama, geçerleme veya onaylamasını yapmaya yardımcı olmaktadır. Ancak, alt parçaların/modellerin fonksiyonlarını yerine getirip birleşmesiyle oluşan "ana sistemin" toplu bir onaylamasının yapılması ihtiyacı her zaman devam etmektedir. Sistemin bir bütün olarak onaylanması noktasında "Karmaşıklık" ve "Kararlılık" testleri etkileyen en önemli iki husus olarak ortaya çıkmaktadır.

Simülasyon sistemleri ne kadar çok fazla kullanıcı tarafından kullanılacaksa ve ne kadar çok sayıda yan ve yardımcı ürünleri varsa test edilerek kabul edilme aşaması da o kadar "Karmaşık" olmaktadır. Bu süreci sağlıklı geçebilmek, iyi bir zaman planlamasının yanısıra neyi test edeceğinizi de bilmek ile ilgilidir.

Büyük ve karmaşık simülasyon sistemlerinin bir diğer sorunu "Kararlılık"tır. Sistem o kadar büyüktür ki bin bir olasılık içerisinden biri gerçekleşerek zaman zaman çökmeler veya istenmeyen durumlar olabilir. Kabul testlerinin ardından sistem teslim edildikten sonra bu tür durumları müşteri açısından açıklamak, geliştirici firma açısından ise sorunun nedenini bulmak ve gidermek teknik açıdan büyük zorluklar içermektedir. Bu sebeple, kabul testlerinde sistemin kararlılığını da görmek bir ihtiyaçtır. Ancak, kabul testleri gelip çattığında geliştirici firma, müşteri ve diğer test sorumlulurınca test planı oluşturulmuş, test adımlarının sırası ve içeriği bilinen, buna istinaden beklenen çıktılara karar verilmiş bir test prosedürü sırasında "Kararlılık"tan bahsetmemek gerekir, zira sistemin burada kararlı olmaması "yıkım" olur. O halde, sistemin kararlılığı bu çeşit bir test ile gerçekte sınanmamış ise, bu nasıl yapılabilir? Gerçek hayatta birden bire ve beklenmedik bir biçimde, çoğu kez tesadüfen tediğimiz karşımıza çıkan oluşumların simülasyon dünyasında ortaya çıkarılabilmesi nasıl mümkün olabilir? Bu bilinmeyen tesadüfler dünyası içerisinde bir yönetim ve yönlendirme mümkün olabilir mi? İşte çok büyük benzetim sistemlerinin çok kullanıcılı testleri için kontollü ama bir o kadar da tesadüfi oluşumlara zemin hazırlayacak "Kontrollü Rassallık" ortamı bu ihtiyaçtan doğmuştur. Uygulanan yöntem, Askeri Yapısal Benzetim Sistemleri için sistemin bütününe yönelik genel bir onaylama metodu olarak da kabul edilebilir.

Bu makalede yapısal harp oyunu benzetim sistemleri üzerinde durulmuş ve ikinci bölümde 'Kontrollü Rassallığın' çıkış noktası anlatılmış, üçüncü bölümde kabul testleri ve zorluklarından bahsedilmiş, dördüncü bölümde bu tekniği içererek kabulü yapılmış olan Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) Projesi'ndeki uygulama şeklinden bahsedilmiş ve son bölümde elde edilen tecrübelere istinaden sonuçlar çıkarılmıştır.

2. KONTROLLÜ RASSALLIĞIN ÇIKIŞ NOKTASI

Benzetim ve modelleme alanında yazılım mühendisliği ve istatistiksel metodlardan türemiş Tablo 1'de örnekleri gösterilen çok çeşitli doğrulama, geçerleme ve onaylama teknikleri bulunmaktadır. Genel olarak bunlar büyük bir benzetim sisteminin test edilmesinden ziyade benzetim sistemi içerisinde yer alan modellerin/verilerin test

edilmesine olanak vermekte ya da sistemin bir kısım yetenek ve modellerini önceden belirlenmiş bilinen test adımları ile sınamaktadır.

Tablo 1. Doğrulama, geçerleme, onaylama teknikleri örnekleri [3-8]

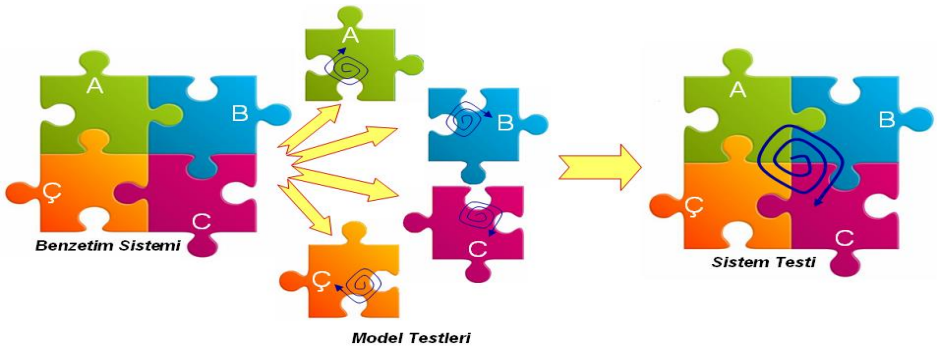
Informal	Formal	Static	Dynamic	
- Audit - Desk checking - Documentation checking - Face validation - Inspections - Reviews - Turing test	- Induction - Inductive Assertions - Inference - Logical Deduction - Lambda Calculus	- Cause-Effect Graphing - Control Analysis - Calling Structure Analysis - Concurrent Process Analysis - Control Flow Analysis	- Acceptance Testing - Alpha Testing - Assertion Checking - Beta Testing - Bottom-Up Testing - Comparison Testing - Compliance Testing - Authorization Test	- Partition Testing - Predictive Validation - Product Testing - Regression Testing - Sensitivity Analysis - Special Input Testing

Büyük ve karmaşık benzetim sistemi projelerinde genellikle geçerleme ve onaylamanın altın kurallarına uygun olarak [12] geliştirilen her bir model için ayrı ayrı geçerleme ve onaylama testi yapılmakta ve modeller kalifiye edildikçe model entegrasyonuna geçilmektedir. Şekil 1'de gösterilen bu yaklaşımda nihai olarak, model entegrasyonu tamamlanan ana sistemin testleri yapılmaktadır. Ancak, proje geliştirme süreci içerisinde bu son noktadaki sistem testleri bile tüm alt parçalarının sunduğu yeteneklerin ve sistemin tüm kapasitesinin bir bütün olarak onaylanması maksadıyla test edilmesi manasına gelmemektedir. Oysaki bu son aşamada kullanıcı açısından özellikle yapısal harp oyunu benzetim sistemlerinin bir bütün halinde onaylanması maksadıyla da test edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gerçek hayat, olağan akışında bir bilinmeyenler zinciridir. Belli bir süre sonra başımıza ne geleceği bilinmemektedir. Her saniye yeni bir durum ile hatta hayatımızda daha önceden hiç karşılaşmadığımız bir durum ile karşılaşmak olasıdır. Bununla birlikte, bazen öyle durumlarla karşılaşırız ki, daha önce yaşadığımız benzer durumlar olsalar bile o anki girdiler nedeniyle farklı kararlar almamız mümkün olmaktadır. Aslında buradan hareketle; acaba askeri yapısal benzetim sistemleri için de nihai testlere kadar hiç karşılaşılmayan ve hatta aynı veya benzer durumlar için sistemin farklı sonuçlar ürettiği durumlar yaratmak mümkün olabilir mi?

Özellikle uzun soluklu ve çok büyük benzetim sistemi projelerinde geliştirme, nihai sistem kurulum ve hatta test ortamlarının zaman zaman farklı olması durumlarıyla karşılaşılmaktadır. Sunumcu veya istemci konfigürasyonlarının aynı olmaması, sunumcu veya istemci üzerinde çalışan farklı yazılımlar (virüs koruma, ağ trafiği dinleme, ağı kullanan diğer programlar, vb.), istemci sayısının, ağ mimari yapısının, ağ trafik yoğunluğunun farklılıkları, sunumcu-istemci mimarisinde araya girmiş yeni cihazlar (anahtar, yönlendirici, güvenlik duvarı, vb.), bu farklılıklara örnektir. Bununla

birlikte asıl fark; çok kullanıcılı sistemlerin geliştirme ortamlarında azami kullanıcı sayısı ile test edilememesi, ancak sistemin gerçek hayatta azami kullanıcı sayısı ile kullanılabilecek olması ve kullanıcı girdilerinin anlık kombinasyonu ile sistemin oluşturması gereken beklenen çıktılar ve bunların sayısındaki farklılıklardır. Bahse konu bu farklılıklar nedeniyle, nihai sisteme kadar her bir yetenek/fonksiyon için odaklanılmış özel testlerden geçmiş, nihai ortama kurulumu yapılmış ve geliştirici firma iç testleri tamamlanmış olsa bile nihai kabul testlerine hazır sistemlerin benzer durumlarda bazen farklı cevaplar oluşturması ve yeni oluşumlar sergilemesi olasılığı yok olmamaktadır. Bu oluşumlar aranan durumlardır. Bu durumu oluşturabilmek için önemli olan; oluşumun gerçekleşmesini sağlayacak girdileri yaratma olasılığını artırabilmektir. İşte bu aynı veya benzer durumlarda farklı oluşumları tespit ederek sistem içerisinde önlem alanabilmesini sağlama ihtiyacı "Kontrollü Rassallığın" çıkış noktasıdır.



Şekil 1. Model ve Sistem Testleri

3. ASKERİ YAPISAL BENZETİM SİSTEMİ PROJELERİNDE KABUL TESTLERİ VE ZORLUKLAR

Hem geliştirici hem de müşteri açısından hemen hemen her proje için "Kabul Testleri" zorlu bir süreçtir. Bu sebeple, hem müşteri hem de geliştirici tarafındaki proje yürütücüleri ve yöneticileri açısından çok kritik bir adım olan çok yönlü ve çok kullanıcılı yapısal bir harp oyunu benzetim sisteminin Kabul Testleri Planlaması için genel olarak şu hususlarda karar verilmesi gerekir; "1.Test süresi ne kadar olacaktır?", "2.Kabul heyeti kimlerden oluşacaktır?", "3.Kabul test süreci akış planı nasıl olacaktır? (Tüm katılımcıları ilgilendiren ana süreç akışı)", "4.Kabul test dokümanındaki test adımlarının sayısı, içerikleri ve beklenen çıktıları ne olacaktır?", "5.Kabul testi kullanıcıları kimlerden oluşacaktır ve sayısı ne olacaktır?", "6.Kabul testlerine katılacak geliştiriciler kimler olacaktır?"

Tüm bu sorulara cevaplar bulunduğunda bir kabul testi için ana hatlar belli olmuş olur. Ancak, detaylarda hala açık noktalar vardır. Örneğin; 100 kullanıcısı olacak bir sistemin kabul test kullanıcılarının nasıl yönetileceği ve yönlendirilecekleri tam belli değildir. Ne yapacakları nasıl planlanacaktır? Öte taraftan, askeri benzetim sistemi kabul testlerinin

belirlenen sınırlı bir süre içerisinde tamamlanma zorunluluğu, hemen hemen her projede olduğu gibi testlerin bir kabul test dokümanı çerçevesinde önceden belirlenen ve onaylanan test adımları ve beklenen sonuçlarına istineden yapılması ve test adımlarını geçen sistemin kabulü sonucuna varılacak olması müşteri açısından bir risk oluşturur. Bu riski en aza indirgemek için sistemin kaldıracağı kapasitedeki kullanıcı sayısı ve performansı dikkate alınarak bir özel test yönteminin üretilmesi mantıklı bir yol olabilir. Bahse konu özel test yöntemi için yukarıdakilere ilave olarak şu adımlar da Yapısal Harp Oyunu Benzetim Sistemi Kabul Test Planında yer almalıdır: "7.Kabul test senaryosu.", "8.Senaryo akış planı (zaman-olay-görev/enjekte tablosu).", "9.Sistem Nihai Kontrol Dokümanı (NKOD) oluşturulması."

Şekil 2. Kontrollü Rassallık Ortamı Yaratılması

İşte bu son üç maddenin oluşturulması ile kabul testleri sırasında Kontrollü Rassallık ortamı yaratılması mümkün hale gelmektedir. Bu üç faaliyetin aynı anda icrasının ana amacı en üst seviyede sistemin kapasitesi dahilindeki tüm kullanıcıların girdileriyle sistemin kullanılmasına olanak vermek ve böylece sistemin, kararlılığını ve tüm fonksiyonları çalışıyorken işlevini görebilmektir. Burada kilit oluşum "NKOD" ve "Görev Organizasyonu ve Senaryo Denemeleri (GOSD)" olarak ortaya çıkmaktadır. NKOD, gerçekte Kabul Test Dokümanına yardımcı ve kullanıcıları test sırasında yönlendirecek, müşteri tarafından hazırlanan "Doküman" olarak ifade edilebilir. Bununla birlikte bir harp oyunu benzetim sisteminin olmazsa olmazı senaryo ile kullanıcıların test faaliyetine olan motivasyonlarının artırılması ve yapacakları denemeler için bir neden oluşturulması hedeflenir. GOSD ise kullanıcının senaryo çerçevesinde alacağı görevlere istinaden sistemi kullanmasına zemin hazırlar. Kullanıcıların sistemin tüm yeteneklerini bir düzen içerisinde, ancak bir o kadar da rassal sayılabilecek düzeyde kullanmaları sırasında Sistem Kabul Heyetince, aynı sistem üzerinde Sistem Kabul Test dokümanında belirlenen adımlara istinaden "Sistem Kabul Testleri" gerçekleştirilmesine bir engel yoktur. Şekil 2'de görüldüğü gibi aynı anda işleyen tüm bu süreçleri geçen sistemin "Kabulüne" karar verilmesi, klasik ve alışılagelmiş sadece Kabul Test Dokümanında belirlenen test adımlarına istinaden yapılan testin sonucunda kabul kararının verildiği sisteme nazaran daha güvenilir olur. Bu tür bir testi geçen bir sistem için artık "onaylama" gerçekleşmiştir demek yanlış olmaz. Bu tür bir test şekli, literatürde pek yer almamakla birlikte özellikle yapısal harp oyunu benzetim sistemlerinin bir bütün halinde onaylanmasına olanak tanımak için uygulanabilecek bir yöntem olarak türetilmiştir.

4. KONTROLLÜ RASSALLIK İÇEREN BİR HARP OYUNU BENZETİM SİSTEMİ PROJESİ KABUL TEST ORTAMI: DEHOS

DEHOS, 2012 yılında gerçekleşen ve yaklaşık 4 haftayı bulan nihai sistem kalifikasyon ve kabul testleri sürecinde, diğer projelerden farklı olarak, nihai yeteneklerine ilişkin 100 kullanıcılı ve 500 unsur içeren bir senaryonun uzaktan erişimli olarak oynanması maksadıyla toplam 4 iş günü süren "serbest oyun safhası" ile de test edilmiştir. Bu bağlamda, Kontrolü Rassallık Ortamı yaratmak için DEHOS Projesi Kabul Testleri-Serbest Oyun Safhası, aynı anda icra edilen 3 farklı faaliyet olarak uygulanmıştır.

Birinci faaliyette oyun, kontrolörler tarafından verilecek çeşitli yazılı mesajlar ile taraflara iletilen harekat enjekteleri ile işletilecektir. Bunlara bir nevi vazife veya görev de diyebiliriz. Kullanıcılar (oyuncu/hakem) aldıkları bu enjektelere bağlı olarak kendi içlerinde icra maksatlı planlama yapacaklar, alt görevler türetecekler ve sistem yetenek, fonksiyon ve imkanlarını kullanarak unsurlara kumanda etmek suretiyle uygulamaya geçeceklerdir. Ayrıca, Hakemler unsura/harekata yönelik çeşitli raporlar alacaklardır.

Bir diğer faaliyet; oyuncuların icra ettikleri harekat esnasında kendilerine verilmiş olan DEHOS Nihai Kontrol Dokümanı (DENKOD) içerisindeki DEHOS yeteneklerinin test edilmesine yönelik adımları da uygulamalarıdır.

Aynı anda icra edilecek son faaliyet ise hemen hemen tüm projelerde olduğu gibi kabul heyetini oluşturan personel ile geliştirici firma temsilcilerinin daha önceden mutabık kalınan Kabul Test Dokümanına istinaden kabul test adımlarını uygulamalarıdır.

Bu 3 koldan ilerleyen test sırasında en önemli özellik; hiçbir grubun unsurlarıyla veya yaptığı harekat ile bir diğerinin yaptığı adımlara müdahale edemeyecek ve etkide bulunamayacak bir şekilde senaryoda yer almasının sağlanmış olmasıdır. Bununla birlikte test akışlarının birbirlerini etkilememesi de bir diğer dikkat edilen husustur.

4.1. Kabul Test Senaryosu

Düzgün tasarlanmış ve sistemin kabulüne yönelik yapılan bir test senaryosu ihtiyaçtan öte gerekliliktir. Kurgusu düzgün ve iyi anlaşılmış bir senaryo ile kullanıcıların yapacakları görevlere olan motivasyonu artacak ve yaptıkları işe olan inanç ve özenleri üst düzeye çıkarılabilecektir. DEHOS'ta da Kabul Testlerine özgü yetenek ve fonksiyonları test etmeye yönelik jenerik bir ada içeren, gerçek dışı, 500 unsur ve 100 kullanıcılı bir senaryo yaratılmıştır.

4.2. Kabul Test Senaryosu Akış Planı ve "Zaman-Olay-Görev/Enjekte" Tablosu

Kabul test senaryosunun oluşturulması Kontrollü Rassallığa bir zemin hazırlar ancak tek başına yeterli değildir. Senaryoya ilave olarak "Düzenli Düzensizlik" ortamı yaratmak bir ihtiyaçtır. Bunu yaratabilmek için senaryoya özgü mantıklı bir senaryo

akışı (olaylar ve enjekteler zinciri) yapmak gerekir. Bu kapsamda formatı Tablo-2'de verilen bir çizelge hazırlanır ve oyunculara dağıtılır. Bu çizelgeye göre herkes zamanı gelince ne yapacağını bilmekte, ancak sistemde uygulamaya başladığında ne sonuç vereceğini kimse bilmemektedir.

Tablo 2. Senaryo Akış Planı

Sıra No	Oyun Zamanı	Kullanıcı Rolü	Olay-Görev (Faaliyet)	Gerçekleştirilecek Faaliyet

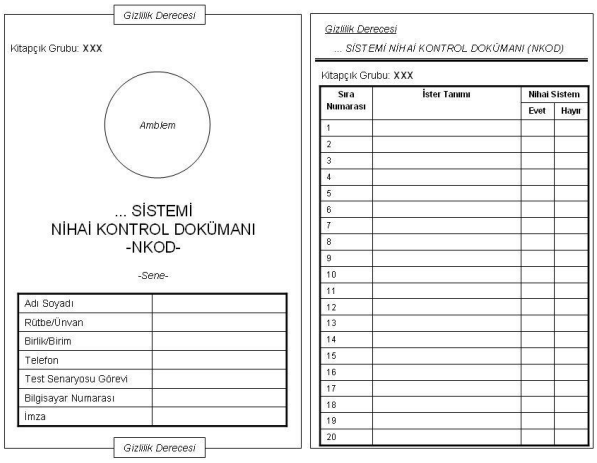
Burada önemli olan kimin (hangi kullanıcı rolünün), ne zaman, neyi kullanarak, ne yapacağının açık ve anlaşılır olarak belirtilmesidir. Kullanıcıya yetenek ve fonksiyonları kullandırmak esastır. Bu sebeple de çizelgenin oyunculara test başında verilmesinde sakınca yoktur. Herkes zamanı gelince yapması gerekeni sistem arayüzlerini kullanarak yapacak/yapmaya çalışacaktır. Zaman zaman olaylar/görevler farklı kullanıcılar için kendini tekrar eder. Bu husus, bir yetenek/fonksiyonun sistemde farklı şeyler yapılırken tekrar başarıyla icra edilip edilemeyeceğini görmek içindir. DEHOS'ta testler başlamadan önce tüm kullanıcıların katılımıyla GOSD hakkında bir brifing yapılmış, müteakiben kullanıcılara "Senaryo Akış Planı" açıklanmıştır. DEHOS'ta alt görevler hariç yaklaşık 70 adet farklı görev/faaliyet zamanı gelince Kontrolör rolündeki kullanıcıların başlatmasıyla uygulanmıştır.

4.3. Kabul Testi Serbest Oyun Safhasında Kullanıcıların İşleteceği Sistem Nihai Kontrol Dokümanı

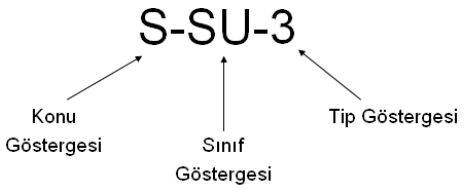
Formatı Şekil 3'te görülen bu doküman, müşteri tarafından hazırlanması ve kullanıcıları test boyunca sistem fonksiyon ve yetenekleri içerisinde bir arayışa itmesi, kullanıcıyı bir fiile/oyunda bir fonksiyonu kullanmaya zorlaması ve sistemi kullanmalarında yönlendirici rolü olması nedenleriyle önemli ve özeldir. Bu dokümanı önemli kılan bir diğer husus da aynı dokümanın farklı zamanlarda test edecek birden fazla kullanıcıya verilecek olmasıdır. Yine bu dokümanlar içerisinde benzer veya bazı konularda aynı test soruları bulunması da, kullanıcıların aynı iş için farklı zamanlarda aynı fonksiyonu kullanmalarını sağlamak içindir.

NKOD'lar kitapçıklar halinde yapılır. Her kitapçığa bir kod verilir. Bunda amaç içeriğini ayırmak, dağıtım ve toplama planını kolay yapmak ve toplanmasından sonra inceleme-analiz sürecini kolaylaştırıp en seri şekilde sonuca ulaşmaktır. Her kitapçığın kapak sayfasına dolduranın kimlik bilgileri girilir. Her bir kitapçık, proje tanımlama/sözleşme, sistem ister (gereksinim) tanımları ve tasarım dokümanlarından türetilmiş ve cevabı 'EVET' veya 'HAYIR' olan sorular içerir. Bu sebeple NKOD, benzetim sistemine özel olup her farklı sistem için içeriği farklı olacak şekilde düzenlenmek durumundadır. Genelde kitapçıklardaki soru sayısı 20 civarında tutulur. Kullanıcıdan bu soruları okuduktan sonra, sistem yetenek ve fonksiyonlarını kullanarak

icra etmesi, uygulamanın sonunda da bir cevabı işaretlemesi beklenmektedir. Soruların sonucunda "HAYIR" şıkkının işaretlenmesini gerektiren bir durum olduğunda sayfaların arkasındaki boşluklara adımın tekrar edilebilmesi ve anlaşılması maksadıyla "ne, ne zaman, ne yaparken, nasıl", gibi sorulara cevap verecek şekilde sürecin adım adım anlatıldığı detaylı açıklamalar yazılması istenir. Kitapçık doldurulmasını müteakip kullanıcıdan geri teslim alınır.



Şekil 3. NKOD Kitapçık Örneği
(Kapak ve İçerik Formatı)



Şekil 4. DENKOD Kitapçık Grubu Kodu Örneği

Bir proje yöneticisi/yürütücüsü için bu dokümanların dağıtım planı çok önemlidir. Tablo 3'te bir örneği gösterilen bu planda kime hangi dokümanın verildiği hatta mümkün ise gün aşırı testlerde testin hangi günü hangi kitapçığı test edeceği planlanır ve böylece "Kontrollü Rassallık" yaratılmaya çalışılır.

Tablo 3. NKOD Dağıtım Planı

Terminal No	Hiyerarşideki Rolü	Ad/ Soyad	İmza	Harekat Sınıfı	Kitapçık Kodu	1.Gün	n.Gün

DEHOS Nihai Kontrol Dokümanı (DENKOD) kitapçıkları, DEHOS ana harekat konuları ve yetenek/fonksiyonlarına yönelik 17 farklı konuda ve her bir kitapçık tipi kendine özgü yetenekleri test eden ortalama 20 sorudan oluşturulmuştur. Her bir DENKOD kitapçığına Şekil 4'de formatı belirtilen Kitapçık Grubu Kodları verilmiştir. Burada ilk 'S' bu kitapçığın "konu göstergesi" olup suüstü grubuna ait bir kitapçık olduğunu, 'SU' sınıf göstergesi ise içeriğinin suüstü ile ilgili olduğunu belirtmektedir. Sondaki rakam "3" ise Tip göstergesi olup bu konu ve sınıftaki kaçıncı farklı kitapçık olduğunu belirtmektedir. DENKOD'da kullanılan kitapçık kodlarına örnekler Tablo 4'te verilmiştir. Farklı projelerde projenin boyutu ve ihtiyacına göre farklı kombinasyonlarda ve sayılarda kodlar yaratabilmek de mümkündür.

Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS) için Tablo 4'te çeşitlerinden örnekler görülen toplam 79 adet farklı DENKOD kitapçığı oluşturulmuştur. Kullanıcılara 139 adet DENKOD kitapçığı dağıtılmıştır. Bu farkın sebebi; kullanıcıyı DEHOS'a ilişkin özel yetenek ve fonksiyonları test etmeye yönlendiren seçilen bazı DENKOD kitapçıklarının 3 veya 4 farklı kişiye verilmesidir. Böylece sınanması istenen özel bazı hususlar, farklı zamanlarda, farklı kişilerce ve sistem arka planda farklı modellerini çalıştırıyor iken test edilmiş ve benzer/aynı cevapları verip vermediğinin görülmesi sağlanmıştır.

Tablo 4. DENKOD Çeşitlerinden Örnekler

S-HV-1	**S-DA-1**	**S-SU-1**	**D-SU-3**	**S-HK-1**	**D-MYN-2**	**D-HKMYN-1**
S-HV-2	**S-DA-2**	**S-SU-2**	**D-DA-1**	**S-HK-2**	**S-TEK-1**	**D-HKSÜ-1**
D-HV-1	**S-DA-3**	**S-SU-3**	**D-DA-2**	**S-HK-3**	**D-TEK-1**	**D-HKHV-1**
S-MYN-1	**D-LOJ-1**	**D-SU-1**	**D-EH-1**	**S-LNK-1**	**S-KNT-1**	**D-HKDA-1**
S-EHED-1	**S-LOJ-1**	**D-SU-2**	**D-SEY-1**	**D-LNK-1**	**S-JHE-1**	**D-KNT-1**

4.4. DEHOS Kabul Testlerindeki Kontrollü Rassallık Ortamının Etkileri

DEHOS kabul testleri serbest oyun safhasında yaratılan Kontrollü Rassallık Ortamı'nın literatürdeki onaylama metotları dikkate alındığında öne çıkan etkileri aşağıdaki soruların cevaplarıyla açıklanabilir.

4.4.1. Kaç adet farklı konu test edilmiştir ve test edilmeyen konu/model var mıdır?

DENKOD'lar ve Kabul Test Dokümanı beraber düşünüldüğünde, DEHOS Sistem/Alt Sistem Gereksinim Tanımlarında yer alan taktik resim, arayüzler, unsur/alt unsur modelleri, harita, muhabere, kullanıcı rolü yetenekleri gibi neredeyse tüm ana konuların/modellerin test edilebildiği ve sistemin oynatabildiği tüm harekat faaliyetlerinin denendiği görülmektedir. Bu neticeye ulaşmak DENKOD'ların ve sistemin 100 kullanıcı ile kullanılması sayesinde mümkün olmuştur.

4.4.2. Test edilebilen madde sayısı kaçtır?

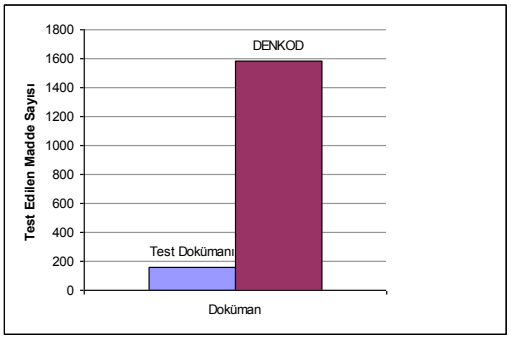
Kabul Heyetince kontrol edilen maddeleri içeren DEHOS Kabul Test Dokümanı, 14 farklı ana konuda yaklaşık 155 adet test adımından oluşmuştur. Buna ilave olarak ise kullanıcılar tarafından ortalama 20 madde içeren 79 farklı DENKOD kitapçığı sayesinde 17 farklı konuda toplam 1580 madde test edilmiştir. Çizelge 1'den de görüleceği üzere test edilen madde sayısında Kabul Test Dokümanı ile DENKOD kitapçıkları arasında 10 katlık bir fark göze çarpmaktadır.

4.4.3. Test Maddeleri İçin Harcanan Zaman Nedir?

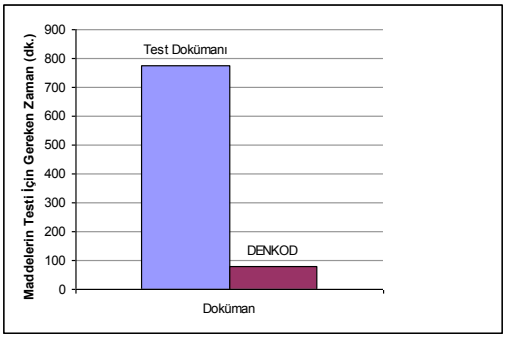
Yapısal bir harp oyunu benzetim sistemi projesinin Kabul Heyetince icra edilen kabul testinde günlük tutanak hazırlanması ve molalara harcanan zaman düşünülmezse, sadece bir maddeye harcanan ortalama zaman yaklaşık 5 dk. ve günde test yapılabilen gerçek zamanın yaklaşık 5 saat olduğu kabul edilirse, DEHOS'taki 155 test adımı için gereken süre 775 dk. (155x5), yani 2,58 gün (775/300) olarak ortaya çıkar. Oysaki Çizelge 2'den

de görüldüğü üzere DENKOD'lardaki 1580 maddenin 100 kullanıcıya dağıtılması ve test edilmesi sadece 79 dk. ((1580/100)x5) sürmektedir.

Çizelge 1. Test edilen madde sayısı karşılaştırması



Çizelge 2. Test edilen maddelere harcanan zaman karşılaştırması



4.4.4. DENKOD'ların kabul heyetine etkisi nasıl olmuştur?

DENKOD'lar sayesinde süratli ve organize bir biçimde icra edilen konu/maddelere ait sonuçlar, sistematik ve kolay bir biçimde dolduruldukça toplanmış, test sürecinin sonu beklenmemiştir. Her bir kitapçık yaklaşık 5 dk. gibi kısa sürede okunarak değerlendirilebilmiş, önemli görülen tespitler Kabul Heyetince tartışılmış, hatta bazı maddelerin bir başka kullanıcı tarafından tekrar denenmesi maksadıyla görevlendirme yapılmıştır. Ayrıca, DENKOD kitapçıklarına kullanıcının serbest metin yazabilme olanağı sayesinde Kabul Heyetine geri besleme olabilecek fikir ve değerlendirmeleri yazılı olarak alınabilmiştir. Bununla birlikte çok kullanıcılı yapısal bir harp oyunu benzetim sistemi test edilirken DENKOD ve GOSD sayesinde, arzu edilen bir test anında hangi harekat ve faaliyetler ile hangi test adımlarının uygulanmakta olduğu sorularına cevap verilebilen ve kontrollü bir ilerleme yapılabilen test ortamına kavuşulmuştur.

5. SONUÇ

DEHOS kabul testleri serbest oyun safhasında yaratılan Kontrollü Rassallık Ortamı sayesinde; çok kullanıcılı (100 kullanıcı) bir sistemin organize bir biçimde kullanılması sağlanmış, standart kabul test dokümanina göre daha fazla sayıda konu/madde kısa süre içerisinde test edilmiş, sistem farklı kullanıcıların farklı girdileri ile farklı modelleri aynı anda işletmek zorunda kalmış ve birim zamanda çok fazla model işleterek performans limitlerine yakın kullanılmış, test edilen konu/maddelere ilişkin sonuçlar kolay ve sistematik bir biçimde toplanıp kısa sürede değerlendirilebilmiş ve kabul heyetinin sisteme ilişkin vereceği olumlu/olumsuz karara GOSD ve DENKOD'un önemli katkıları olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak; çok yönlü ve çok kullanıcılı yapısal harp oyunu benzetim sistemi projelerinin son noktası olan Kabul Testleri sırasında Kabul Heyetine çok büyük bir sorumluluk düşmektedir. Müşterinin ihtiyacı olan ve isterlerinin karşılandığı kararlı bir sistemi almak, geliştirici firmanın ise geliştirdiği kararlı bir sistemi teslim etmek amacıyla geldiği testlerde, bu iki taraf arasında sistemin isterleri karşılayıp karşılamadığının kararına destek vermek maksadıyla kabul testi sırasında çıkan aksaklık/hataların değerlendirilmesinde Kabul Heyetine gerekli verinin sağlanabilmesi kritik önem arz eder. Bunun için kabul testlerine özgü hazırlanacak bir senaryo ile akışı planlayarak kullanıcıları bir yandan kontrollü serbest bırakmak, diğer yandan hazırlanan harekat ve fonksiyon/yeteneklere ilişkin yönlendirici sorular ile sistemi kullanmalarını sağlamak, kontrollü bir rassallık ortamı yaratmayı beraberinde getirecek ve bu durum aynı anda klasik kabul testi adımlarının işletilmesine engel teşkil etmeyecektir.

6. KAYNAKÇA

[1] Erdal ÇAYIRCI, "Multi-Resolution Federations In Support Of Operational And Higher Level Combined/Joint Computer Assisted Exercises", *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 1787-1797.

[2] Savunma Sanayii Müsteşarlığı, TÜBİTAK ve METEKSAN Savunma Sanayii A.Ş. arasında imzalanan 15.06.2007 tarihi ve 107A001 numaralı "Deniz Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı (DEHOS) Projesi" sözleşmesi.

[3] DoD Instruction (DoDI) 5000.61, DoD Modeling and Simulation (M&S) Verification, Validation, Accreditation (VV&A), 29 Nisan 1996.

[4] M. ROZA, M. J. VOOGD, D. SEBALJ. "The Generic Methodology for Verification and Validation to support acceptance of models, simulations and data." *The SCS Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology*, 25 Ekim 2012**.**

[5] Defense Modeling and Simulation Office, "Recommended Practice Guide", Washington: Department of Defense.

[6] David A. COOK, James M. SKINNER, "How to Perform Credible Verification, Validation, and Accreditation for Modeling and Simulation", *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, Mayıs 2005.

[7] "IEEE Recommended Practices for Verification, Validation and Accreditation of a Federation - An Overlay to the High Level Architecture (HLA) FEDEP." *IEEE Std. 1516.4-2007*, Aralık 2007

[8] James N.ELELE, "Assessing Risk Levels of Verification, Validation, and Accreditation of Models and Simulations", *ITEA Journal*, 29:190-200, 2008.

[9] "GM-VV Vol. 1: Introduction and Overview" SISO-GUIDE-001.1-2012, Haziran 2012.

[10] "GM-VV Vol. 2: Implementation Guide" SISO-GUIDE-001.2-2012, Temmuz 2012.

[11] "Verification, Validation, and Accreditation of Army Models and Simulations", *Department of the Army Pamphlet 5-11*, 30 Eylül 1999.

[12] Osman BALCI, "Golden Rules of Verification, Validation, Testing, and Certification of Modeling and Simulation Applications ", *SCS M&S Magazine Issue 4*, 2010.

MEYDAN KONTROL KULE EĞİTİMİNDE ÜÇ BOYUTLU SİMÜLASYON KULLANIMI

Suat Uslu [(a)], Cemal Yeşil [(b)]

[(a)] Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
suslu@anadolu.edu.tr

[(b)] Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
cemalyesil@anadolu.edu.tr

ÖZ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi birçok çalışma alanını etkilediği gibi havacılık ve havacılığa yön veren insan kaynağının eğitiminde de etkisini göstermektedir. Gelecekte "Hava Trafik Kontrolörü" olarak görev yapacak öğrencilerin yetiştirilmesinde gerekli bilgi ve becerilerin kazandırılması için teorik derslerin yanı sıra uygulamalı derslerin de verilmesi gerekmektedir. Bu amaçla simülasyonun Hava Trafik Kontrol eğitiminde kullanılması, öğrencilerin havaalanlarındaki gerçek trafik operasyonlarını daha iyi kavrayabilmesini ve yeteneklerinin geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, hava trafik kontrol eğitiminde özellikle uygulamalı dersler arasında çok önemli bir yeri olan Meydan Kontrol Simülasyonu ayrıntılı biçimde incelenecektir. Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü'nde yürütülmekte olan Meydan Kontrol Simülasyonu Dersinde kullanılan üç boyutlu 360° simülatör ve bu simülasyon eğitimiyle öğrencilere verilen temel trafik kontrol yöntemlerinin yanı sıra birden fazla havaalanı için yapılan paralel pist operasyonları, düşük görüş operasyonları ve olağanüstü operasyonlarla ilgili eğitimler anlatılacaktır. Öğrencilere gerekli bilgi ve becerilerin kazandırılması için kullanılan çeşitli simülasyon teknikleri açıklanacaktır. Aynı zamanda simülasyon eğitimiyle öğrencilere kazandırılan takım çalışması yeteneği ve gelecekte görev alacakları havaalanlarına uyum sürelerinin kısaltılması ile ilgili verilen eğitimler üzerinde durulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Eğitim Simülatörleri, Havacılık, Hava Trafik Kontrol, Meydan Kontrol, Simülasyon

USE OF THREE DIMENSIONAL SIMULATION FOR AERODROME CONTROL TOWER TRAINING

ABSTRACT

Today, as the advancement of technology affects many field, it shows the effect of aviation and training of the human resources that guiding the aviation. Training of students will serve as air traffic controllers in the future, it must be given in the theoretical as well as practical lessons to gain the necessary knowledge and skills. In this purpose use of simulation in air traffic control training, students better able to understand real traffic operations at airports and it allows students to develop the ability. In this study, aerodrome control simulation that is a very important role in air traffic control training, especially in practical courses will be examined in detail. Three dimensional 360° simulator used in the Aerodrome Control Simulation Course in Anatolian University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Air Traffic Control Department and with this simulation training given to students basic traffic control procedures, as well as the parallel runway operations for more than one airport, low visibility operations and training related to emergency operations will be described. Various simulation techniques in order to gain the necessary knowledge and skills to students will be explained. At the same time, it will focus on the teamwork skills gained by students with simulation training and training with related to shortening the adaptation period of students to airport that they will serve in the future there.

Keywords: Aerodrome Control, Air Traffic Control, Aviation, Simulation, Training Simulators.

1. GİRİŞ

Benzetim adı da verilen simülasyon eğitiminde, yapılan işin özünü oluşturan mekanik bir araç yani "simülatör" kullanılır. Örneğin sürücü eğitimlerinde dershane içinde kullanılan otomobil kabinleri bir simülatördür. Sürücü adayı bu mekanik araç içinde otomobil kullanmayı teorik anlamda öğrenir. Simülasyon eğitimlerinin daha gelişmiş şeklinde ise mekanik simülatörlerin yerini bilgisayarlar alır. Bilgisayar ağırlıklı simülasyonlar karar verme yeteneğini geliştirmede oldukça etkilidirler [1].

Simülasyon; gerçek dünya ile ilgili süreçleri ve olayları, belirli bir veri setinin yüklenmesi ile bilimsel olarak çalışmak için kullanılan, karmaşık bir sistem olarak adlandırılan süreçtir. Veri setinin yüklenmesi, sistem davranışlarının yerini nasıl aldığını anlamak için deneme amaçlı kullanılan bir modelden oluşur. Matematiksel ve mantıksal ilişkileri ele alır.

Simülasyonun sayısız ve çeşitli uygulama alanlarından bazıları şunlardır [2];

- Üretim sistemlerini tasarlamak ve analiz etmek,
- Bir bilgisayar sistemi için yazılım ve donanım gereklerini değerlendirmek,
- Yeni askeri silah sistemlerini ve taktiklerini değerlendirmek,
- Envanter sistemi için tedbirleri belirlemek,
- Otobanlar, havaalanları, metrolar ve limanlar gibi ulaşım tesislerini tasarlamak ve üzerinde çalışmak,
- Hastane, postane veya hızlı yemek restoranları gibi hizmet kuruluşları için tasarımları değerlendirmek,
- Finansal veya ekonomik sistemleri analiz etmek,
- İş gücü oluşturmak için eğitim amaçlı kullanmak.

2. HAVA TRAFİK KONTROL EĞİTİMİNDE SİMÜLASYON KULLANIMI

Hava trafik kontrol hizmetinin sağlanmasında önemli yeri olan hava trafik kontrolörlerinin istenilen niteliklere ulaşmasında, simülasyon uygulamaları önemli işlevleri yerine getirmektedir. Hava trafik kontrol eğitiminde simülasyon, öğrencilerin belirli hava trafik operasyonlarını anlayabilmelerine ve gelecekteki mesleki çalışma alanlarını tecrübe etmelerine olanak sağlamaktadır. Bu çalışma alanları; saha kontrol merkezleri, yaklaşma kontrol ofisleri ve meydan kontrol kuleleridir. Ayrıca, hava trafik kontrol açısından operasyonları ilgilendiren yaklaşma prosedürleri (yöntemleri), pist meşguliyet süreleri, hava sahası ve havaalanı kapasitesi, havaalanı tasarımı gibi konuları araştırmak ve ilişkiler kurarak analizler yapmak için de simülasyon kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın temel konusu olan meydan kontrol kulesi simülasyon eğitimi, hava trafik kontrol eğitiminin bir parçası olduğu için, bundan sonraki bölümde hava trafik kontrol ve meydan kontrol hizmeti hakkında kısa açıklamalar yapılacaktır.

2.1. Hava trafik kontrol

Zaman içinde belirli bir anda belirli yönlerde giden ulaşım taşıtları ve bunların içinde bulunduğu ulaşım koşullarına trafik denir [3].

Hava trafiği ise; uçuştaki veya bir hava meydanının manevra sahasındaki bütün uçaklardır [4]. Meydan manevra sahası; bir meydanın apronlar hariç uçakların kalkış, iniş ve taksi hareketleri için kullanılan kısmıdır [5].

Hava trafik kontrol hizmeti; uçaklar arasındaki çarpışmaları ve uçaklarla manevra sahası üzerindeki mânialar arasındaki çarpışmaları önlemek ve düzenli ve hızlı bir hava trafik akışı sağlamak amaçlarıyla verilen bir hizmettir [6].

2.2. Hava trafik kontrolün bölümleri

Hava trafik kontrol hizmeti; meydan kontrol hizmeti, yaklaşma kontrol hizmeti ve saha kontrol hizmeti olmak üzere üç tip hizmetten oluşur [7].

Yukarıdaki hizmetleri veren üniteler birbirleriyle koordineli olarak çalışırlar ve uçaklar seyrüseferlerini yaparken bu ünitelerin kontrolü altındadırlar. Meydan kontrol ünitesinin kontrolünde kalkış yapan bir uçak belirli bir yer, zaman veya irtifada sırasıyla yaklaşma kontrol ve saha kontrol ünitesinin sorumluluğuna girer. Bir meydana inişe gelen bir uçak ise yine sırasıyla saha kontrol, yaklaşma kontrol ve meydan kontrolün sorumluluğuna girer yani bu üniteler uçağa sırasıyla hizmet verirler (Şekil 1).

Şekil 1. Hava trafik kontrolde sorumluluk alanları

Bu çalışmanın konusu meydan kontrol kulesiyle ilgili olduğu için bundan sonraki bölümde meydan kontrol hizmeti üzerinde durulacak, yaklaşma ve saha kontrol hizmetlerine değinilmeyecektir.

2.3. Meydan kontrol kulesi ve meydan kontrol hizmeti

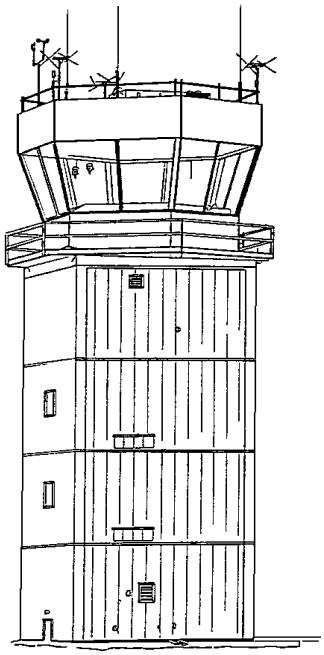
Bir meydanın manevra sahası üzerindeki bütün trafik ve meydan civarında uçan bütün uçaklar meydan trafiğini oluşturur. Bir uçak meydan turuna girerken, meydan turunda iken veya meydan turunu terk ederken meydan civarında kabul edilir.

Meydan kontrol hizmeti; meydan trafiği için verilen hava trafik kontrol hizmetidir. Bu hizmet, meydan kontrol kulesi (TWR) tarafından verilir. Başka bir ifadeyle, meydan kontrol kulesi meydan trafiğine hava trafik kontrol hizmeti sağlamak için tesis edilmiş bir ünitedir [6]. Şekil 2'de tipik bir meydan kontrol kulesi görülmektedir.

Meydan kontrol kuleleri meydan üzerindeki ve civarındaki trafiğin emniyetli, düzenli ve hızlı akışını sağlamak ve;

1. Kontrol kulesinin, meydan trafik paternlerini de kapsayacak şekilde belirlenmiş olan sorumluluk sahası içinde uçan uçaklar,
2. Manevra sahası üzerinde hareket eden uçaklar,
3. İniş ve kalkış yapan uçaklar,
4. Manevra sahası üzerinde hareket eden uçaklarla araçlar,

5. Manevra sahası üzerindeki uçaklarla bu sahadaki mânialar arasındaki çarpışmaları önlemek amacıyla kontrolü altındaki uçaklara bilgiler ve izinler yayınlamakla sorumludur [8].



Şekil 2. Meydan kontrol kulesi [9]

Yaklaşma ve saha kontrol hizmetinden farklı olarak meydan kontrol hizmetinde hava trafik kontrolörü sadece gözüyle görebildiği uçaklara hizmet verebilir. Meydan kontrol kulelerinde görevli olan hava trafik kontrolörleri (meydan kontrolörleri), manevra sahasındaki uçaklar, araçlar ve personel de dâhil olmak üzere, meydan üzerindeki ve meydan civarındaki uçuşla ilgili görülebilir bütün hareketleri sürekli gözetim altında tutmakla ve bu trafiği ilgili hava trafik kurallarına göre kontrol etmekle sorumludur [8].

Trafik bakımından kalabalık meydanlarda, meydan kontrol hizmetinin verilmesindeki sorumluluk "hava kontrol pozisyonu (kule-tower)" ve "yer hareket kontrol pozisyonu (ground control)" olarak paylaştırılabilir.

Bu durumda hava kontrol pozisyonu;

1. Meydan çevresinde meydan turunda olan uçaklara ve
2. Kalkış ve iniş yapan uçaklara meydan kontrol hizmeti vermekle sorumludur.

Yer hareket kontrol pozisyonu ise, kullanılan (aktif) pist ve bu piste giriş noktaları (bekleme noktaları) hariç;

1. Manevra sahası üzerinde hareket eden uçaklara ve
2. Manevra sahası üzerinde hareket eden araçlara meydan kontrol hizmeti vermekle sorumlu olur [10].

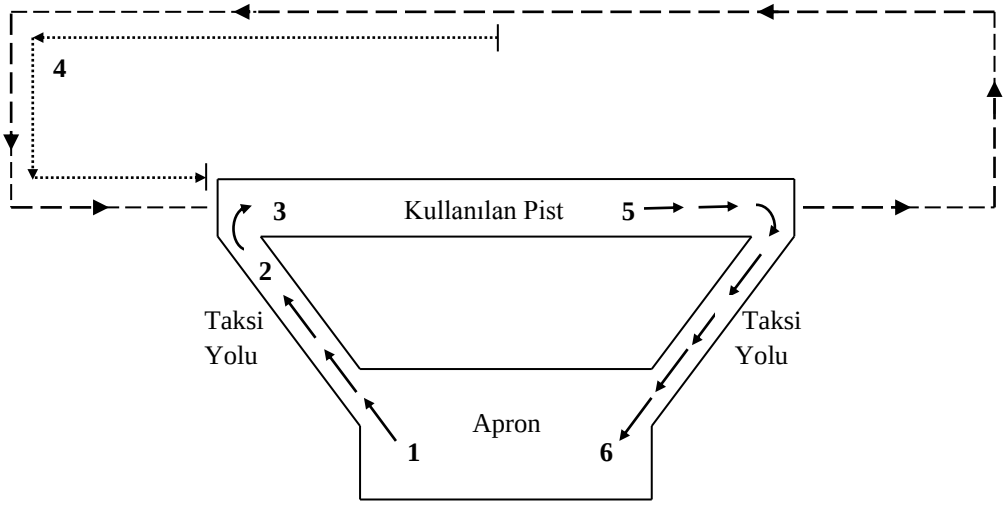
Bazı meydanlarda, bu pozisyonlara ek olarak "dağıtım (delivery)" pozisyonu da bulunabilir. Bu durumda hava trafik kontrol izinleri, dağıtım pozisyonundaki kontrolör tarafından uçaklara bildirilir. Hava trafik kontrol izni (ATC: Air Traffic Control clearance); bir uçağa, bir hava trafik kontrol birimi tarafından, belirtilen şartlar altında uçması için verilen yetkidir [4]. Örneğin; kalkış sonrası izlenecek uçuş yolu ve tırmanılacak uçuş seviyesi bilgilerini içeren talimatlar gibi.

Meydan trafiğinin kontrolünde başlıca iki patern vardır. Bunlar;

1. Meydan taksi paterni ve
2. Meydan trafik paternidir (meydan turu) (Şekil 3).

Meydan taksi paterni; belirli rüzgâr koşulları süresince manevra sahası üzerindeki uçaklar için belirlenmiş yoldur.

Meydan trafik paterni; bir meydanın çevresinde uçan uçakların akışı için belirlenmiş yoldur [8].



Şekil 3. Taksi ve Trafik Paterninde Uçakların Kritik Pozisyonları [8]

Kalkış yapacak uçaklar ve inişini tamamlamış yani piste tekerlek koymuş olan uçaklar meydan taksi paterninde bulunurlar. İniş için meydana yaklaşan uçaklar ve kalkışını tamamlamış olan yani pistten tekerlek kesmiş ve pist sonunu kat etmiş uçaklar ise meydan trafik paterninde (meydan turunda) bulunurlar. Kısaca, yerdeki uçaklar taksi paterninde, havadaki uçaklar ise trafik paternindedirler.

Meydan taksi ve trafik paternlerindeki uçakların Şekil 3'de rakamlarla gösterilen pozisyonları, meydan kontrol kulesi tarafından ışık işaretleriyle ya da radyo (telsiz) ile gönderilen izinleri aldıkları yerlerdir. Doğru izinlerin verilebilmesi için uçaklar bu pozisyonlara yaklaşırken meydan kontrolörleri tarafından dikkatle izlenirler [8].

Şekil 3'de rakamlarla gösterilen pozisyonlarda meydan kontrol kulesi tarafından uçaklara verilen izinler şunlardır [8];

Pozisyon 1: Kalkacak uçağın kullanılan pist başına taksi için izin istediği yerdir. Bu pozisyonda meydan kontrolörü tarafından pilota kullanılan pist bildirilir ve taksi izni verilir.

Pozisyon 2: Bu pozisyonda uçağa kalkış izni verilir. Uçak piste girer ve kalkışını yapar. Ancak, problem olan trafik varsa (son yaklaşmada veya süzülüş bacağında iniş için yaklaşmakta olan uçak gibi), kalkacak uçak bu pozisyonda bekletilir. Burada normal olarak uçağın motorları yüksek güçte çalışıyor durumdadır.

Pozisyon 3: Eğer 2 numaralı pozisyonda mümkün olmadıysa kalkış izni bu pozisyonda verilir.

Pozisyon 4: İniş izni bu pozisyonda verilir.

Pozisyon 5: Park sahasına veya hangara taksi izni bu pozisyonda verilir.

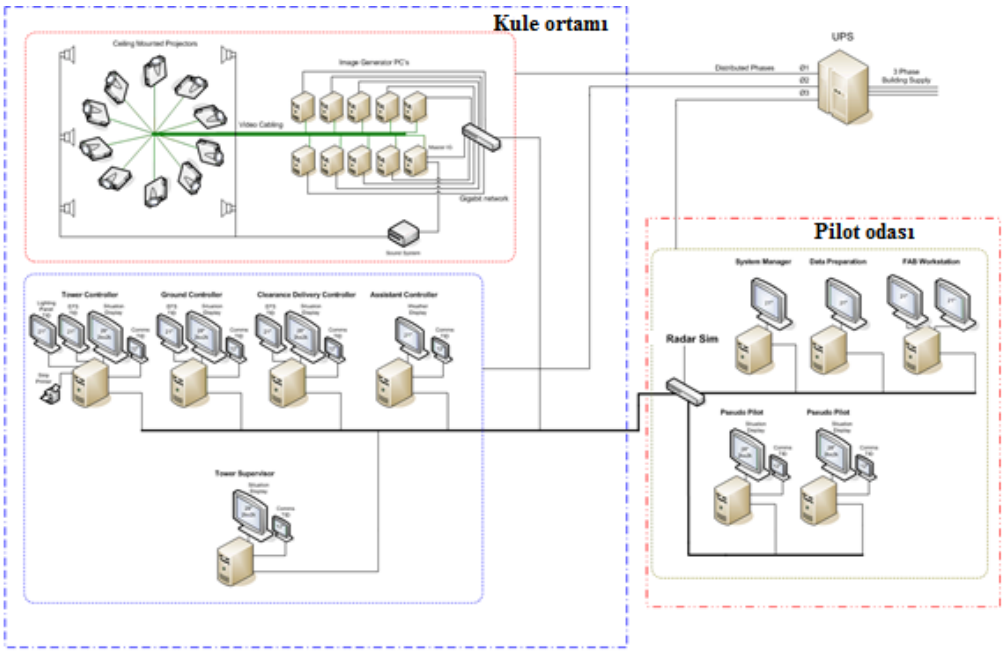
Pozisyon 6: Eğer gerekiyorsa park bilgileri bu pozisyonda verilir.

3. MEYDAN KONTROL KULESİ SİMÜLATÖR EĞİTİMİ

Bu bölümde, Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Hava Trafik Kontrol Bölümünde bulunan Meydan Kontrol Simülatörü ve bu simülatörde yürütülen eğitim incelenecektir. Meydan Kontrol Simülatöründe MicroNAV 3D BEST 360° simülatör kullanılmaktadır. Bu simülasyon sistemi içinde Antalya Havalimanı, İzmir-Adnan Menderes Havalimanı, İstanbul-Atatürk Havalimanı operasyonları 3. ve 4. dönem öğrencilerinin tecrübe etmesi için kullanılmaktadır.

3.1. Simülatörün genel yapısı

Üç boyutlu 360° meydan kontrol simülatörü, 360° daire şeklindeki perdelere görüntü yasıtarak, gerçek bir kuleden bakıldığında görüntü nasılsa, aynı şekilde yansıtmaktadır. Kule ortamında dört pozisyon bulunmaktadır. Bu pozisyonlar istenildiğinde sisteme girilerek yer değiştirilebilmektedir. Kule pozisyonu olarak kullanılan bir pozisyon başka bir zaman yer kontrol pozisyonu olarak da kullanılabilmektedir. Simülatörde kule ortamı ve pilot ortamı olmak üzere iki ortam mevcuttur. Kule ortamı üst katta daire şeklinde olan bir ortam, pilot ortamı ise alt katta ayrı bir oda olarak yer almaktadır. Sistem içinde aynı anda dört pilot ve dört öğrenci çalışabilmektedir. Sistemin yapısı Şekil 4'de gösterildiği gibidir;



Şekil 4. Simülatörün yapısı [11]

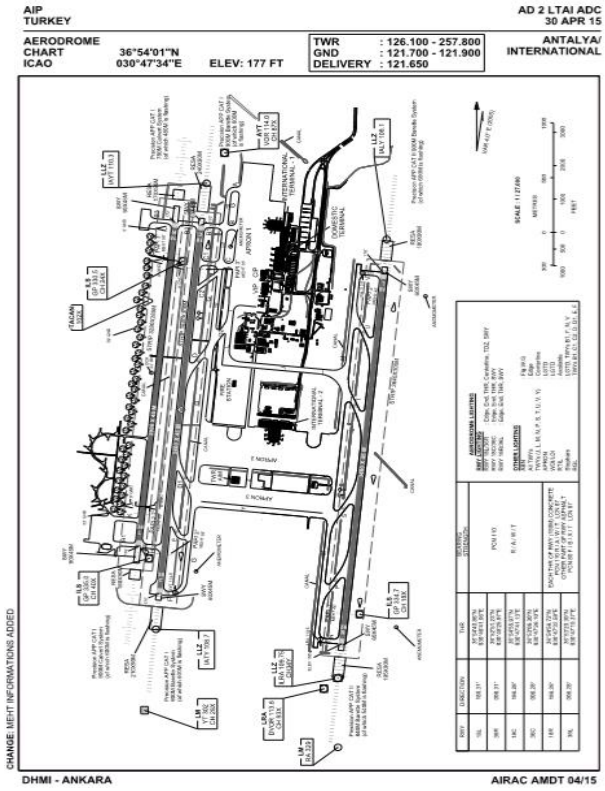
Öğrenci kule ortamına girdiğinde hangi havalimanı ile çalışılıyorsa (örneğin Antalya Havalimanı), o havalimanındaki apron, park yerleri, pistler, uçakların performanları, meteorolojik olaylar (kar, yağmur, sis, bulut vb.) ve olağanüstü durumların (uçakta yangın, patlama, iniş takımlarının açılmaması vb.) görüntüsünü gerçeğine çok yakın bir şekilde izlemekte ve uygulama yapabilmektedir. Her pozisyona bir pilot ve kontrolör ataması yapılmaktadır. Örneğin kule pozisyonu için bir pilot ve kontrolör, yer hareket kontrol pozisyonu için bir pilot ve kontrolör ve dağıtım pozisyonu için bir pilot ve kontrolör görevlendirilmektedir. Pozisyonlardaki görevlilerin (öğrencilerin) hepsi kendi pozisyonlarına verilen frekanslarda ve aynı anda çalışmaktadırlar.

Simülatör sistemi, yukarıda anlatılan tüm bileşenleriyle birlikte, gerçek havaalanlarındaki operasyonların senaryolar kurgulanarak uygulanmasına olanak tanımaktadır.

3.2. Simülatör eğitim uygulamaları

Anadolu Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Hava Trafik Kontrol Bölümünde eğitim, İngilizce hazırlık sınıfı hariç 8 yarıyıldan oluşmaktadır. Eğitimin sonunda öğrenciler hava trafik kontrolörü olarak mezun olmaktadırlar.

Meydan kontrol kulesi simülasyon eğitimi 3. ve 4. yarıyılda verilmektedir. 3. yarıyılda verilen ilk eğitimde, Şekil 5'de meydan haritası verilen Antalya Havalimanı birebir esas alınmaktadır.



Şekil 5. Antalya Havalimanı Meydan Haritası [7]

Öğrenciler meydan kontrol ayırma kurallarını ve Antalya Havalimanı paralel pist operasyonlarını uygulamalı olarak simülatör ortamında tecrübe etmektedirler. Uçaklara iniş, kalkış, taksi, meydan trafik paternine giriş talimatları vererek yönlendirmeler yapabilmektedirler. Aynı zamanda bağımsız paralel pist operasyonlarını uygulama imkânı bulabilmektedirler. Öğrenciler simülatör eğitiminin sağladığı avantajlardan yararlanarak gerçek hava trafiğindeki uçak performanslarını gözlemleyebilmekte ve uçaklar arasındaki görsel ayırmaları sağlayabilmektedirler. üç boyutlu 360° simülatör sayesinde gerçek bir havalimanındaki meydan kontrol kulesi ortamı oluşturulmaktadır. Öğrencilere gerçek bir meydan kontrol kulesi içinde çalışıyormuş hissi yaşatılmaktadır. Böylece öğrencilerin ileride mesleklerine olan ilgileri ve uyumları arttırılabilmektedir.

Daha önce de değinildiği gibi MicroNAV BEST simülatörü iki farklı ortamdan oluşmaktadır. Bunlar; kontrolör ortamı ve pilot ortamıdır. Kontrolör ortamı; trafik yoğunluğuna bağlı olarak dört pozisyona kadar çıkmaktadır. Trafiğin yoğunluğuna göre pozisyonlar şu şekilde dağılım göstermektedir;

1. Dağıtım pozisyonu,
2. Yer (hareket) kontrol pozisyonu,
3. Kule pozisyonu.

Şayet paralel pist operasyonu uygulanıyorsa ilave kule pozisyonu açılmaktadır.

Pilot ortamı için dağılım ise, her bir kontrolör pozisyonuna karşılık gelecek şekilde yapılandırılmaktadır.

Dağıtım pozisyonu, kontrolörün hava trafik kontrol iznini ve motor çalıştırma iznini verdiği ve pilotun bu izinleri sisteme girdiği pozisyondur. Uçak bu pozisyonda ilgili izinleri aldıktan sonra, yer (hareket) kontrol pozisyonundaki telsiz frekansına devredilir. Yer kontrolörü, yer (hareket) kontrol pozisyonunun frekansına geçen uçağa, park yerinden çıkması için geri itme (pushback) ve ilgili pistin bekleme noktasına taksi yapması talimatı verir, pilot da bu talimatı sisteme girer. Yer kontrolörü, ilgili devir noktasında uçağı kule pozisyonunun frekansına devreder. Kule pozisyonuna devredilmiş uçak için, kule kontrolörü kalkış izni verir ve pilot verilen bu izni sisteme girer. Bu aşamaya kadar yapılan işlemler, kalkış uçakları için yapılan operasyon hareket tarzı olarak nitelendirilir.

Geliş uçakları için yapılan operasyon hareket tarzında ise; belirli bir mesafede kule pozisyonunun frekansına çıkan uçağa kule kontrolörü tarafından iniş izninin verilmesiyle birlikte pilot iniş talimatını sisteme girer ve uçak iniş hareketini gerçekleştirir. Uçak iniş hareketini gerçekleştirdikten sonra kule pozisyonundaki kontrolör, pilota pisti terk etmesi ve yer kontrol pozisyonunun frekansına geçmesi için talimat verir ve bu talimat da pilot tarafından sisteme girilir. Yer kontrol frekansına geçen uçak için yer kontrolörü pilota park pozisyonuna gitmesine yönelik taksi talimatı verir. Taksi talimatını alan pilot bu talimatı sisteme girer.

Yukarıda anlatılan kalkış operasyon hareket tarzı ile geliş operasyon hareket tarzı karma şekilde gerçekleştirilebilir.

Öğrenciler bu safhadaki simülatör eğitiminde; birlikte çalıştıkları diğer pozisyonlarla koordinasyon sağlayabilmeyi, takım çalışması yapabilmeyi, İngilizce dilinde yapılan özel hava trafik konuşmalarını, telsiz kullanma tekniklerini ve meydan kontrolde kullanılan trafik ayırma kurallarını uygulamalı olarak öğrenmektedirler. Daha önce de belirtildi gibi, dört pozisyon eş zamanlı olarak farklı frekanslarda çalışabilmektedir. Bu da öğrencilerin farklı pozisyonlarda çalışarak, her pozisyonun kendine has özelliklerini ve iş akışını ayrıntılı bir şekilde öğrenmesine olanak tanımaktadır.

4. yarıyıldaki simülasyon çalışmalarında ise; Adnan Menderes Havalimanı ve Atatürk Havalimanı temel alınmaktadır.

Adnan Menderes ve Atatürk Havalimanlarındaki yoğun trafik ve olağanüstü durumlar ile ilgili eğitim çalışması yapılmaktadır. Olağanüstü durumların simülatör ortamında uygulanmasının nedeni, öğrencilere gelecekte çalışma hayatlarında acil durumlarla karşılaştıklarında ne yapacaklarını öğretmektir. Böylece panik ve korkuya kapılmadan normal olmayan koşullarda trafiği idare edebilme bilgi ve becerisi kazandırılmaktadır. Hava trafik kontrolörlüğü gibi hayati öneme sahip mesleklerde, bilinmeyen ya da ilk defa karşılaşılan acil olaylarda korku ve panik hâkim olur. Korku ve panik ise hatalar

zincirinin meydana gelmesine neden olur. Bir hava trafik kontrolörü olağanüstü olayları ne kadar çok tecrübe eder ve bu durumlarda yapılması gerekenleri öğrenirse, korku ve paniğin yerini bilinç ve yapılması gereken hareket tarzı alır. Bu nedenle, üç boyutlu 360° simülatör ile öğrencilere olağanüstü durum yaşayan uçağın görüntüsü ve olağanüstü duruma müdahale edecek araçların (itfaiye, ambulans, takip et aracı) görüntüsü 10 adet projeksiyon aracılığıyla gerçeğe çok yakın bir şekilde yansıtılmakta ve gerçek bir meydan kontrol kulesi içinde çalışıyormuş hissi verilerek, trafiği yönetmeleri sağlanmaktadır.

Çalışmalarda pilot olağanüstü (acil) durum içinde olduğunu rapor ettikten sonra, kontrolör pozisyonundaki öğrenci olağanüstü durumun tipi (motor kaybı, yangın, elektrik arızası, yakıt kritiği gibi), yolcu sayısı, tehlikeli madde taşıyıp taşımadığı gibi bilgileri alarak gerekli ünitelere aktarır. Olayla ilgili olarak yürütülen tüm faaliyetlerin zamanlarını (örneğin ambulans ya da itfaiye aracının olay yerine gittiği saat gibi) bir rapor halinde tutarak takip eder. Bu sırada hem olağanüstü durumdaki uçakla hem de diğer trafiklerle ilgilenir.

4. SONUÇ

Simülasyonun çok çeşitli uygulama alanlarından biri de havacılıktır. Simülasyonun havacılıkta iş gücü oluşturmak için eğitim amaçlı kullanımı oldukça yaygındır. Özellikle pilot ve hava trafik kontrolörü yetiştirmede önemli bir yere sahiptir.

Hava trafiğini kontrol eden hava trafik kontrolörlerine gerekli bilgi ve becerinin kazandırılabilmesi için simülatör kullanımı günümüzde kaçınılmaz hale gelmiştir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, gerçek hava trafik sistemlerinin eğitim yapmaya uygun olmamasıdır. Hava trafik kontrolörlüğü gibi hayati öneme sahip mesleklerde gerçek çalışma ortamları eğitim amaçlı kullanılamamaktadır. Yapılan en küçük bir hata büyük can ve mal kayıplarına neden olduğundan ve hatanın telafisi bulunmadığından bu gibi mesleklerde deneysel ortamlar oluşturulamamaktadır. Hava trafik kontrolörü eğitiminde simülatör kullanımını zorunlu kılan bir diğer neden de, trafik yoğunluğu nedeniyle günümüzde hava trafik sistemlerinin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu karmaşık yapının özellikle eğitimin ilk safhalarında öğrenci tarafından kolayca anlaşılması mümkün olmamaktadır. Eğitimde “basit bir şekilde başlayıp giderek karmaşıklaşma ve zorlaşma” yöntemi uygulanamamaktadır. Bununla birlikte arzu edilen amaçlar ve öğrenciye kazandırılmak istenen bilgi ve beceriler doğrultusunda daha önceden planlanan bir şekilde eğitimi sürdürmek olanaksızdır.

Hava trafik kontrol eğitiminde simülasyon kullanımıyla, hava trafik faaliyetlerinin ve kontrol sürecinin işleyişi gösterilebilmekte ve bu süreçte ortaya çıkan sorunların çözüm yöntemleri öğrenciye uygulatılabilmektedir. Böylece öğrenciler gerçek çalışma alanlarıyla ilgili deneyimlere sahip olmaktadır. Bu çalışma alanlarından biri olan

meydan kontrol kule eğitiminde üç boyutlu simülasyon kullanımı oldukça önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Öğrenciler uçak tiplerini ve performanslarını görsel olarak tanıyabilmekte ve bunlara ilişkin meydan kontrol ayırma kurallarını uygulayabilmektedirler. Ayrıca hava trafik kontrol faaliyetlerinin yürütülmesinde en önemli araçlardan biri olan radyo-telefon haberleşmesini ve iki yollu (karşılıklı) haberleşme tekniklerini etkili bir şekilde kullanmaktadırlar. Görev yapacakları havalimanlarındaki takım çalışmasına benzer çalışmalar uygulanarak, ekip uyum süresi kısaltılmaktadır. Hemen her simülatör çalışmasında, ilişkili olduğu birim ya da pozisyonlarla sürekli koordinasyon halinde bulunduklarından, koordinasyonun önemi ve nasıl yapılacağı hakkında deneyim kazanmaktadırlar. Uçuşları olumsuz yönde etkileyen düşük görüş şartlarında gerçekleştirilen operasyonları, simülatör ortamında tecrübe etmektedirler. Ayrıca, bitirme tezlerine ilişkin konuların simülasyon uygulamalarını yapabilmektedirler. Örneğin; uçakların pist meşguliyet süreleri, meydan kapasitesi, gecikmeler ve hava trafik kontrolörü iş yükü gibi çok çeşitli konularda simülatörde çalışabilmektedirler.

5. KAYNAKÇA

[1] Geylan, R. (1996), Personel Yönetimi, Birlik Ofset Yayıncılık: Eskişehir.

[2] Law, A.M. ve Kelton, W.D. (1991), Simulation Modelling and Analysis, Second edition, McGraw-Hill: United States of America.

[3] Saral, A.R. (1996), Hava Trafik Kontrolü Üretiminde Kalite, *Havacılık Elektroniği Dergisi*, (6).

[4] ICAO-Annex 2. (2005), Rules of the Air, Tenth edition, ICAO Publication: Montreal.

[5] ICAO-Annex 14. (2013), Aerodromes-Volume I, Sixth edition, ICAO Publication: Montreal.

[6] ICAO-Annex 11. (2001), Air Traffic Services, Thirteenth edition, ICAO Publication: Montreal.

[7] DHMİ-AIP. (2015), Aeronautical Information Publication, DHMİ Publication: Ankara.

[8] ICAO-Doc.4444. (2007), Air Traffic Management-ATM/501, Fifteenth edition, ICAO Publication: Montreal.

[9] Hava Savunma Okul Komutanlığı. (1995), Hava Trafik Kontrol ve GCA Operatörü Temel Eğitimi -Yaklaşma Kontrol (Radarsız), Hv. Tek. Ok. K.lığı Basımevi: İzmir.

[10] Obe, A.F. (1985), International Air Traffic Control: Management of the World's Airspace, Pergamon Press Ltd.: United Kingdom.

[11] MicroNAV. (2015), BEST-Beginning to End for Simulation and Training User Manual, England.

YER GÖZLEM UYDUSU GÜÇ SİSTEMİ İÇİN UYDU UÇUŞ VERİLERİ İLE TUGES BENZETİM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRMASI

Arzu Merzifonluoğlu [(a)], Çağlar Hakkı Özyurt [(b)], Emre Kabaca [(c)], Emre Keskin [(d)] Koray Çelik [(e)], Şendoğan Çakmakçı [(f)]

[(a) (b) (c) (d) (e) (f)] Uzay Sistemleri Grup Başkanlığı, Güç Elektroniği, Elektrik Sistemler ve Kablolama Grubu, Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş. (TUSAŞ), ANKARA, TURKEY,

[(a)] akoparan@tai.com.tr [(b)] cozyurt@tai.com.tr [(c)] ekabaca@tai.com.tr

[(d)]emkeskin@tai.com.tr [(e)] koray.celik@tai.com.tr [(f)] scakmakci@tai.com.tr

ÖZ

Uydu Güç Sistemi, uyduya görev ömrü boyunca ihtiyacı olan gücü sağlar ve uydunun görevlerini gerçekleştirmesinde kritik bir role sahiptir. Literatürde uydu kayıplarının önemli bir bölümünün güç sistemi kaynaklı olduğu görülmektedir [1]. Bu nedenle güvenilir bir güç sistemi tasarımı yapılması uydu operasyonları için önem arz etmektedir. Projenin erken aşamalarında, üretime geçilmeden önce tasarımı doğrulamak için maliyet etkin en iyi yöntem de analizdir [2]. Bu bağlamda uydu güç sistemlerinin analizi için TUGES (TUSAŞ Uydu Güç ve Enerji Simülatörü) geliştirilmiştir. TUGES yardımıyla farklı mimarilerdeki güç sistemlerinin benzetimi yapılabilmektedir. Bu makalede, Alçak İrtifa Dünya Yörüngesinde görev yapan bir uydudan alınan uzölçüm verileri (güneş paneli bölüm akım ve gerilimleri, pil gerilimi) ile TUGES'in çıktıları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonunda TUGES'ten elde edilen verilerin uydudan alınan gerçek ölçüm değerleriyle yüksek doğrulukla örtüştüğü gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Benzetim, Güç Sistemi, Güneş Paneli, Pil, Uydu, Uydu Uçuş Verisi.

COMPARISON OF TUGES SIMULATION RESULTS WITH IN-ORBIT DATA OF EARTH OBSERVATION SATELLITE

ABSTRACT

Satellite Power System supplies power to the satellite during its entire operational life and has a critical role for the satellite to perform its operations. It is known that most of the satellite failures are based on power system [1]. Therefore, reliable power system design is rather crucial for the operations of a satellite. In the earlier stages of a project, before the manufacturing phase; the most cost-efficient and best way to verify power system is analysis. For this purpose, TUGES (TAI Satellite Power and Energy Simulator) is developed in order to analyze satellite power systems. Power systems with different architectures can be simulated by TUGES. In this article, the outputs of TUGES (current and voltage of the solar panel sections, battery voltage) are compared with the telemetries obtained from a satellite, operating in Low Earth Orbit. At the end of the study, it is shown that the outputs of TUGES are consistent with the satellite in-orbit data with a high accuracy.

Keywords: Battery, Power System, Satellite, Satellite In-orbit Data, Simulation, Solar Panel.

1. GİRİŞ

Uydu güç sistemlerinde benzetim; güç sistemi birimlerinin modellenmesi ve uyduya ait parametrelerin (yörünge, yük, görev ömrü, sıcaklık değişimi vb.) uydu güç sistemi üzerindeki etkilerinin herhangi bir zaman dilimi için hesaplanmasıdır. Benzetim çalışmaları genellikle tasarım evresinde yapılarak güç sistemine ait tasarımın iyileştirilmesi ve doğrulanması çalışmalarında kullanılmaktadır. Uydu üreticilerinde genel yaklaşım; uydu güç sistemi benzetimi için geliştirilen araçların projeye özgü olarak uyarlanmasıdır. Benzetim aracının geliştirme aşamasında, modellerin doğrulanması için uçuş verileri ve birim üreticisi test sonuçları kullanılmaktadır.

Bu çalışmada TUSAŞ tarafından geliştirilen TUGES uydu güç sistemi benzetimi aracıyla, elde edilen Alçak İrtifa Dünya Yörüngesindeki hedef uyduya ait güç sistemi benzetimi verilerinin; aynı uyduya ait görev ömrü başında ve 2 yıl sonraki uçuş verileri ile karşılaştırılması hedeflenmiştir.

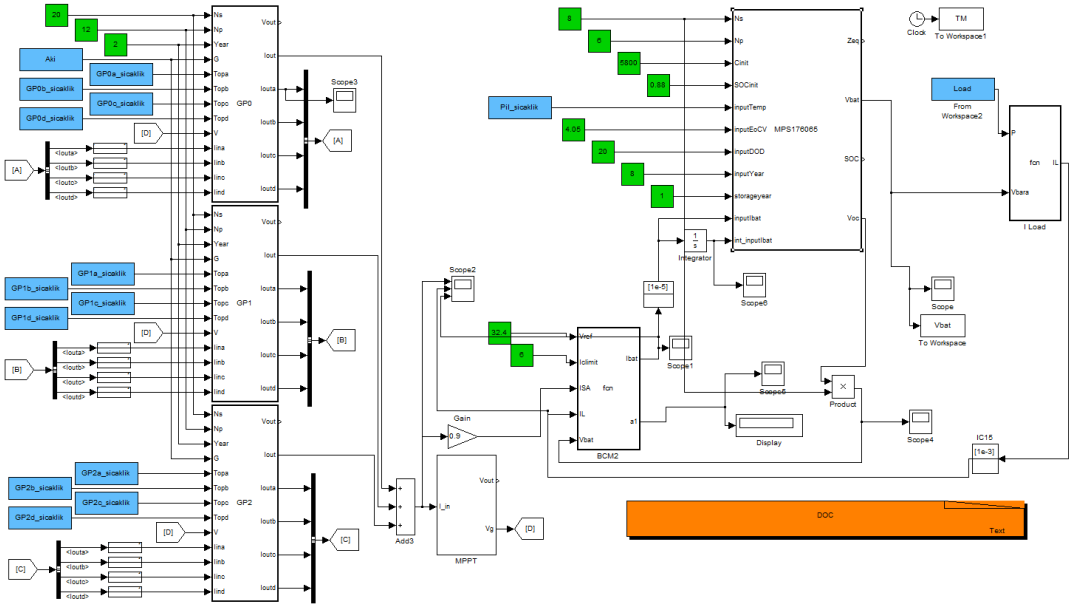
2. TUGES TANITIMI

TUGES, TUSAŞ tarafından geliştirilmiş olan MATLAB Simulink tabanlı bir uydu güç sistemi benzetim aracıdır. Uydunun görev ömrü boyunca tüm görev gereksinimlerini

yerine getirebilecek bir uydu güç sistemi tasarımının yapılması gerekmektedir. Güvenilir bir uydu güç sistemi tasarımı için sistemi oluşturan birimlerin kendi aralarındaki ve diğer sistemlerle olan ilişkilerinin uydu çevresel koşullarına uygun olarak analiz edilmesi gerekmektedir. Bu karmaşık analiz ihtiyacını karşılamak amacıyla TUGES geliştirilmiştir.

TUGES; Matlab Simulink ortamında, güç sistemini oluşturan fiziksel birimlerin matematiksel modellerini içermektedir. Bu modeller [3] sistem tasarımına uygun olarak ilişkilendirilerek sisteme ait benzetim ortamı oluşturulmuştur. Güneş paneli hücresi, tek diyotlu GaAs (Galyum Arsenit) tabanlı 3 eklemli fotovoltaik hücre modeli [4] kullanılarak oluşturulmuştur. Pil hücresi için üretici verileri kullanılarak uydu güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Li-ion pil hücresi [5], [6] modellenmiştir. Uydu güç sistemi güç elektroniklerinin modellenmesinde güneş panellerinde üretilen gücün sisteme aktarılması için Doğrudan Enerji Transferi (DET) veya Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) [7] metotları kullanılmıştır.

Bu makalede uçuş verilerini kullandığımız Alçak İrtifa Dünya Yörüngesi'nde görev yapan yer gözlem uydusu için yukarıda bahsedilen güç sistemi temel birimleri kullanılarak güç sistemi modeli oluşturulmuştur (Şekil 1).



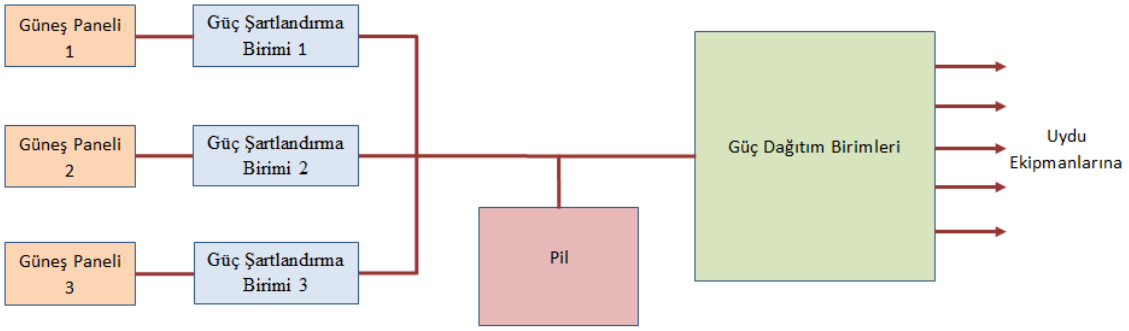
Şekil 1 Sistem mimari modeli

Pil sıcaklığı, güneş paneli sıcaklığı, güneş panelleri üzerine düşen akı miktarı ve uydu alt sistemlerinden çekilen toplam güç miktarları girdi olarak kullanılmaktadır. Sistemden çıktı olarak güneş paneli bölümleri akım ve gerilimleri, pil gerilimi, pil deşarj derinliği gibi bilgiler alınabilmektedir.

3. YER GÖZLEM UYDUSU GÜÇ SİSTEMİ MİMARİSİ

Çalışmalarımızda verilerini kullandığımız ve Alçak İrtifa Dünya Yörüngesi'nde görev yapan yer gözlem uydusunun güç sistemi mimarisi Şekil 2'de verilmektedir.

Uydu güç sistemi 28 V düzensiz güç barasını oluşturmaktadır. Uydunun aydınlık evrelerinde güneş panellerinden sağlanan güç, Güç Şartlandırma Birimleri tarafından düzenlenerek uydu güç barasına aktarılmaktadır. Karanlık evrelerde ise pil uydu güç barasını beslemektedir. Güneş panelleri ve pil tarafından sağlanan güç, Güç Dağıtım Birimleri tarafından uydu ekipmanlarına iletilmektedir.



Şekil 2 Yer gözlem uydusu güç sistemi genel mimarisi

Uydunun üç adet güneş paneli bulunmaktadır. Bu güneş panelleri; ömür başında %28 verimliliğe sahip güneş hücrelerinden oluşmaktadır. Her bir güneş paneli, 4 adet güneş paneli bölümünden oluşmaktadır. Güneş paneli bölümleri Maksimum Güç Takibi yapabilen Güç Şartlandırma Birimlerine bağlıdır. Pil, Li-ion teknolojiye sahip hücrelerden oluşmaktadır. Pil doğrudan güç barasına bağlıdır ve bara gerilimini belirlemektedir.

4. BENZETİM SONUÇLARININ VE UÇUŞ VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRMASI

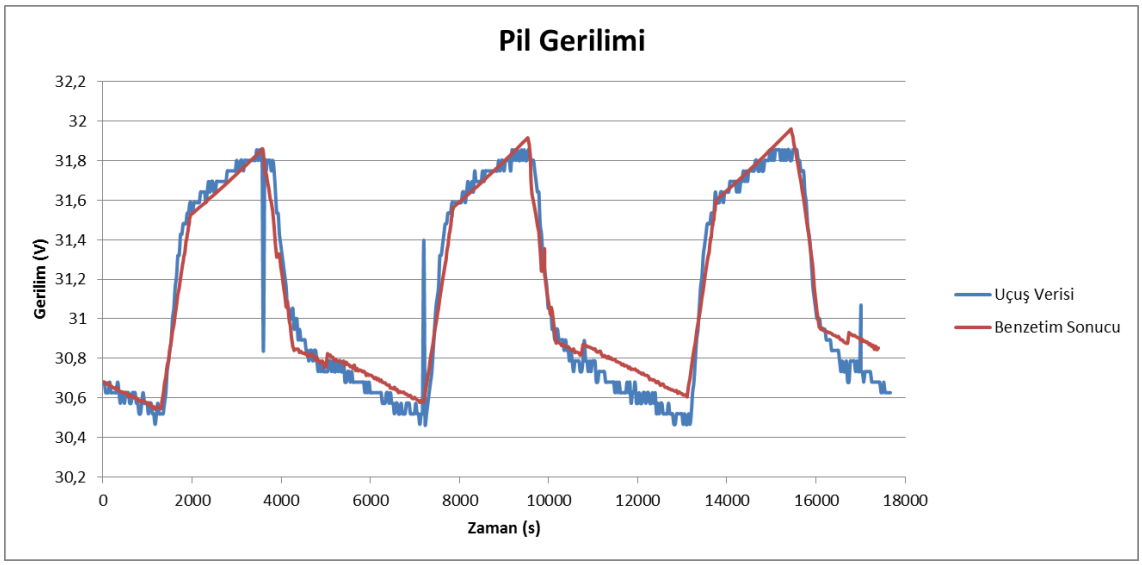
Uydu uçuş verileri ile TUSAŞ Uydu Güç ve Enerji Analiz Simülatörü (TUGES) benzetim sonuçları karşılaştırması, Alçak İrtifa Dünya Yörünge uydusunun ömür başı ve 2 yıllık görev ömrü sonrası operasyonları için yapılmıştır.

4.1. Ömür başı verilerinin karşılaştırması

Uydularda pil uydunun güneş görmediği zamanlarda uyduya enerji sağlaması nedeniyle kritik bir önem taşımaktadır. Pilin uydu ömrü boyunca ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlayabilmesi için pil deşarj derinlik değeri ve dolayısıyla pil gerilim seviyesi belirli değerlerde tutulmalıdır. Ayrıca düzensiz bara topolojisine sahip uydularda bara gerilimini pil gerilimi belirlemektedir. Dolayısıyla pil gerilimi ve pil gerilim ölçüm

verisi hem uydunun çalışmasında hem de uydunun yerden kontrol operasyonlarında büyük önem teşkil etmektedir.

Şekil 3'de pil gerilimi için uçuş verileri ve benzetim sonucu elde edilen veriler görülmektedir. Uçuş verileri ile benzetim sonuçları arasındaki fark %1'in altında kalmaktadır. %1'lik farkın uydu üzerindeki pil gerilimi ölçüm doğruluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

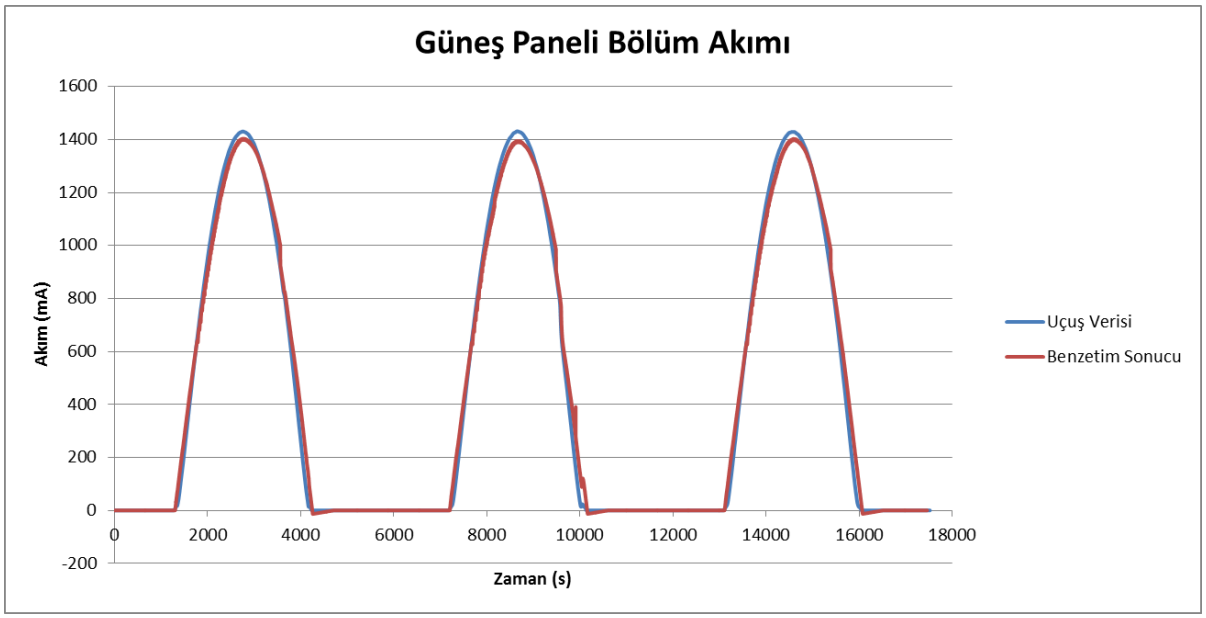


Şekil 3 Pil gerilimi karşılaştırması

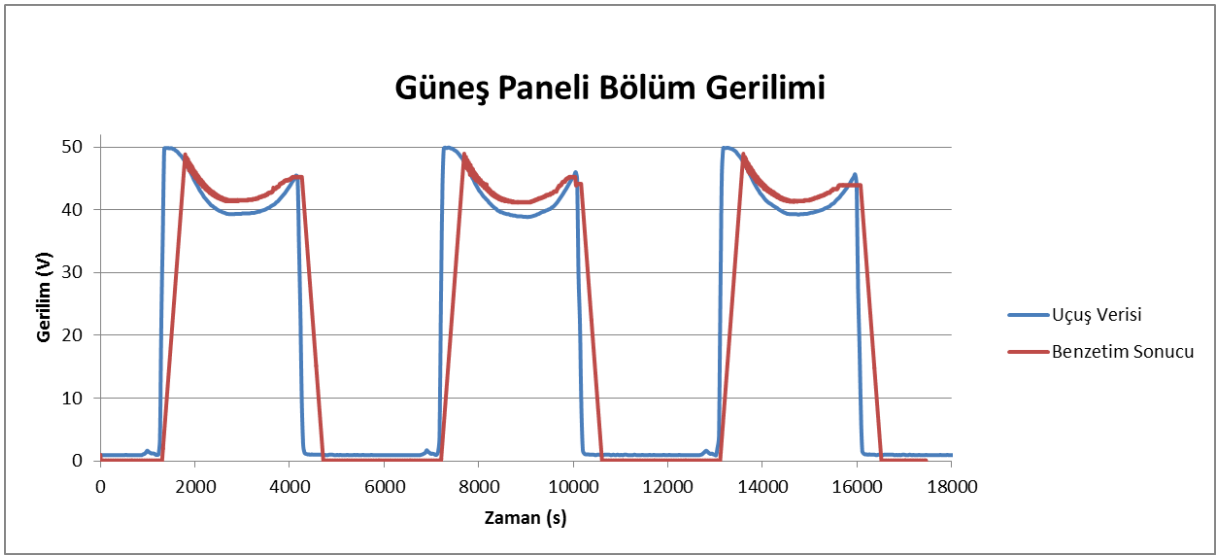
Yapılan çalışma öncesi, uçuş verileri ile benzetim sonuçları arasındaki farkın uydu üzerindeki pil gerilimi ölçüm doğruluğu ve modelleme doğruluğu göz önünde bulundurularak %3'ten düşük olması hedeflenmiştir.

Aydınlık evrelerde uydu, enerjisini güneş panelleri ile sağlamaktadır. Şekil 4'te bir güneş paneli bölümünün akım verileri görülmektedir. Akımın sıfıra düştüğü anlarda güneş panelleri güneş görmemektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere güneş paneli bölüm akımı için de uçuş verileri ile benzetim sonuçları arasındaki fark %1'in altında kalmaktadır. %1'lik farkın uydu üzerindeki ölçüm doğruluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 5'te ise bir güneş paneli bölümünün gerilim verileri verilmektedir. Uydu güç sisteminde bulunan maksimum güç takibi devreleri güneş panelinde yaşanan sıcaklık ve akı değişimlerini hesaba katarak maksimum güç noktasını bulmakta ve güneş paneli bu noktadaki gerilimde çalışmaktadır. Şekil 5'te görüldüğü üzere uçuş verileri ile benzetim sonuçları birbirine çok yakındır ve aradaki fark %2-%3 civarındadır. Bu farkın da uydu üzerindeki ölçüm doğruluğu ve modelleme doğruluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4 Güneş paneli bölüm akımı karşılaştırması

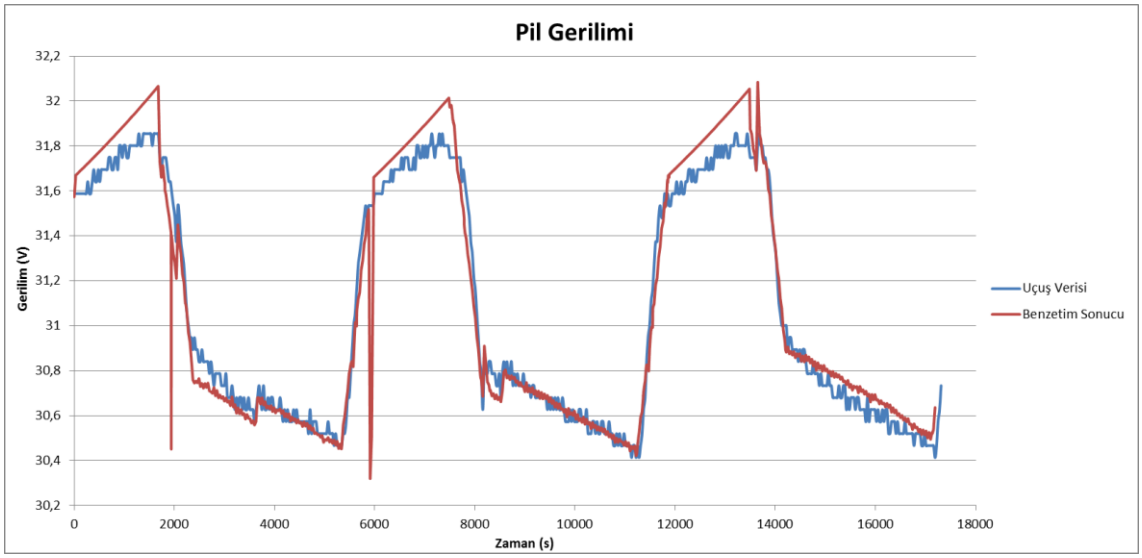


Şekil 5 Güneş paneli bölüm gerilimi karşılaştırması

4.2. İki yıl görev ömrü sonrası verilerinin karşılaştırması

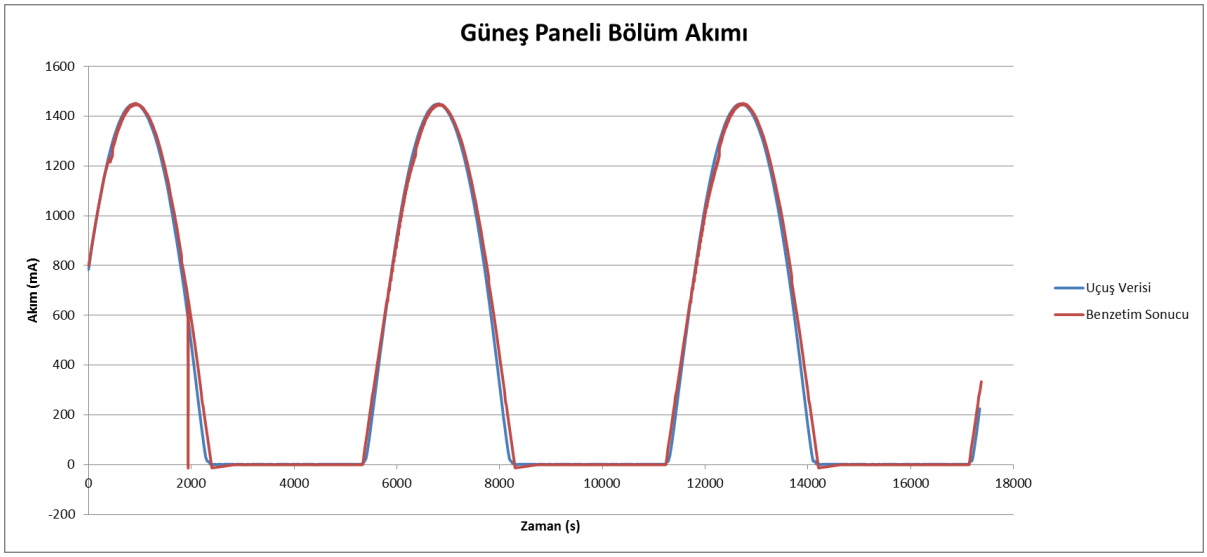
Zaman ve çevresel şartların etkisiyle bazı uydu ekipmanları zamanla performans kaybı yaşamaktadır. Güç sisteminde güneş paneli ve pil, çevresel şartlar ve zamana bağlı olarak kapasite kaybı yaşamaktadır. Kapasite kaybından etkilenen güç sistemi parametrelerinin tahmini, uydu tasarım evrelerinde ve uydu yer operasyonlarında kritik öneme sahiptir.

Şekil 6'da verilen pil gerilimi için uçuş verileri ve benzetim sonucu elde edilen verilerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir ve en kötü noktada fark %1'in altında kalmaktadır. Şekil 6 ve Şekil 7'de verilen benzetim sonuçlarında yaşanan ani değişimlerin pil şarj devresi ve maksimum güç noktası takip devresi için oluşturulan algoritmalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak yaşanan bu ani değişimlerin sonuçların doğruluğuna etkisi olmadığı değerlendirilmektedir.

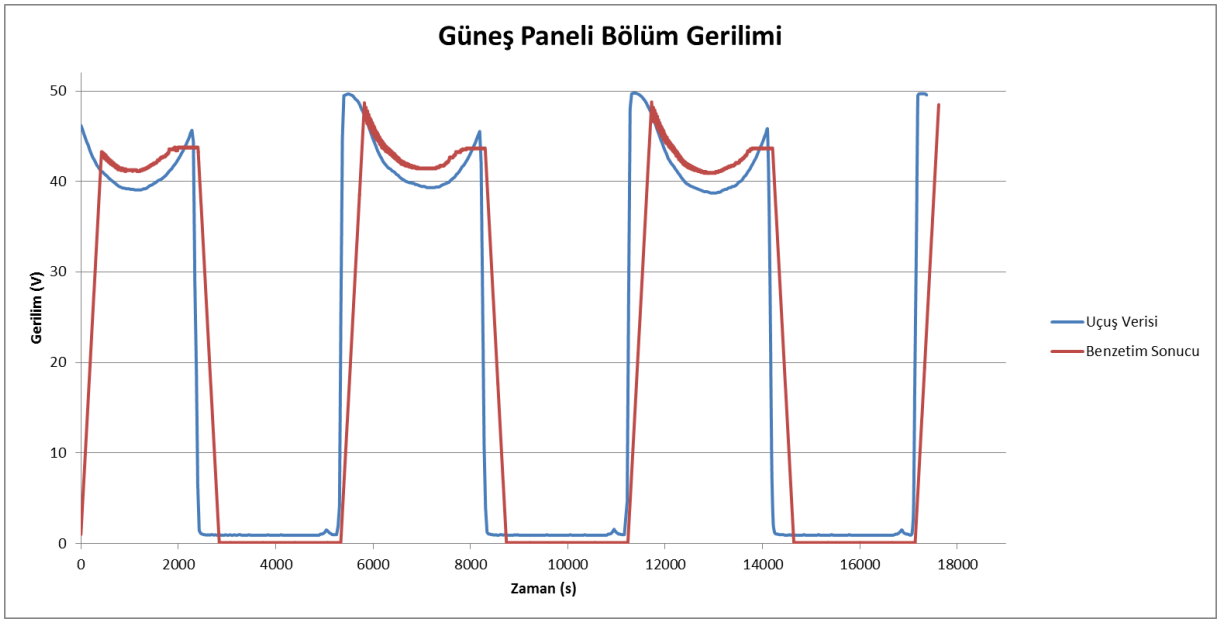


Şekil 6 Pil gerilimi karşılaştırması

Şekil 7 ve Şekil 8'de ise 2 yıllık görev ömrü sonundaki bir güneş paneli bölümünün akım ve gerilim verileri verilmektedir. Yine bu verilere bakıldığında uçuş verileri ve benzetim sonuçları arasındaki farkın %2-%3 civarında olduğu görülmektedir.



Şekil 7 Güneş paneli bölüm akımı karşılaştırması



Şekil 8 Güneş paneli bölüm gerilimi karşılaştırması

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, Alçak İrtifa Dünya Yörüngesi'nde görev yapan bir yer gözlem uydusunun güç sisteminin, TUSAŞ tarafından geliştirilen TUGES benzetim aracı ile benzetimi ve uydu uçuş verileri ile benzetim sonuçlarının karşılaştırması yapılmaktadır.

Uydu operasyonlarında takip edilmesi önemli olan pil gerilimi için uçuş verileri ile benzetim sonuçlarının karşılaştırması ömür başı için Şekil-3'te, 2 yıllık görev ömrü sonrası için ise Şekil-6'da verilmektedir. İki şekilde de uçuş verileri ile benzetim sonuçları arasındaki fark %1'in altında kalmaktadır. Bu da TUGES'in, hem ömür başı için hem de zamana bağlı değişimlerin yaşandığı 2 yıllık görev ömrü sonrası için, yüksek bir doğrulukla, uydu güç sisteminin benzetimini yapabildiğini göstermektedir.

Şekil-4, Şekil-5, Şekil-7 ve Şekil-8'de bir güneş paneli bölümünün akım ve gerilim grafikleri verilmektedir. Yine bu grafiklerde güneş paneli akımı için uçuş verileri ile benzetim sonuçları arasındaki farkın %1'in altında kaldığı, güneş paneli gerilimi için ise farkın %2-%3 civarında olduğu görülmektedir. Her ne kadar bu veriler uydu operasyonlarında pil gerilimi bilgisi kadar kritik bir önem taşımazsa da yapılan uydu güç sistemi tasarımının doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmaktadır.

Sonuçlar TUGES'in, çalışmaya konu olan yer gözlem uydusu güç sistemi benzetimini yüksek doğrulukla yapabildiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla TUGES, TUSAŞ tarafından geliştirilmekte olan uyduların güç sistemi tasarımlarının optimizasyonu, ve

ilgili uyduların yer kontrol operasyonlarının tasarımı amaçlarıyla güvenilir bir araç olarak kullanılabilmektedir.

6. KAYNAKÇA

[1] Geoffrey A. Landis, Sheila G. Bailey, And Renee Tischler, "Causes Of Power-Related Satellite Failures", 2004

[2] Moon-Jin Jeon, Na-Young Lee, Day-Young Kim, Gyu-Sun Kim, "Energy Balance Analysis for a LEO Satellite using a Power Simulator", IEEEAC, 2010

[3] J.A. Ramos-Hernanz, J.J. Campayo, J.Larranaga, E Zulueta, O. Barambones, "Two Photovoltaic Cell Simulation Models In Matlab/Simulink", IJTPE, March 2012

[4] AZUR SPACE Solar Power GmbH ''28% Triple Junction GaAs Solar Cell Type: TJ Solar Cell 3G28'' datasheet, www.azurspace.com, 2012

[5] O. Erdinc, B. Vural and M. Uzunoglu, Member, IEEE "A dynamic lithium-ion battery model considering the effects of temperature and capacity fading", 2009

[6] R. L. Gao, S. Liu and R. A. Dougal, "Dynamic lithium-ion battery model for system simulation", IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, vol. 25, pp. 495-505, 2002.

[7] Ms. Sangita S. Kondawar, U. B. Vaidya, "A Comparison of Two MPPT Techniques for PV System in Matlab Simulink", International Journal of Engineering Research and Development, 2012

YÜKSEK DÜZEYLİ MİMARİ BAZLI SİMÜLASYONLAR ÜZERİNDE DİNAMİK YÜK DENGELEME

Erdem Reşber [(a)], Müslim Bozyiğit [(b)], M. Fatih Hocaoğlu [(c)]

[(a)] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, Teknopark İstanbul Kurtköy/İstanbul 34912, erdem.resber@agenabst.com

[(b)] Çankaya Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, bozyigit@cankaya.edu.tr

(c) İstanbul Medeniyet Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

ÖZ

Simülasyon teknolojilerinde yüksek hesaplama kaynağı gereksinimlerini karşılamak için paralel hesaplama yaklaşımlarının kullanımı yaygın olarak müracaat edilen bir çözümdür. Paralelleştirmenin etkin bir şekilde sağlanması halen güncel bir konu olup, bu çalışmanın da motivasyonunu oluşturmaktadır. Heterojen hesaplama uygulamalarında, kullanılan paralel hesaplama kümesinde bazı bilgisayarların aşırı yüklenmesi bazılarının ise boş veya az yüklenmiş olması karşılaşılabilen olumsuz bir durumdur. Bu arzu edilmeyen durumun önüne geçebilmek için bir yük dengeleme yönteminin olması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, HLA (High Level Architecture) bazlı paralel çalışmalar incelenmiş ve kullanılan yöntemler ışığında, yeni bir dinamik yük dengeleme yaklaşımı geliştirilmiş ve uygulanmıştır.

Öncelikle bir simülasyon etmeni bazlı federe aktarımı tekniği geliştirilmiştir. Bunun için her bir federe için bir etmen tanımlanmış. Böylece, federe durum kayıtları tutulabilmiş, durum aktarımları sağlanmış ve gecikmeler azaltılabilmiştir.

Durum aktarımlı federe taşınması (DAFT) yöntemi olarak isimlendirdiğimiz yöntemde, aktarım iki temel aşamada meydana gelmektedir. İlki, çalışan federenin durumunun kayıt edilmesidir; ikincisi aktarım için elde edilen durum bilgisinin yeni bilgisayar düğümüne taşınması, bu yeni konumda, federenin kayıt zamanındaki eski durumuna getirilmesi ile simülasyona dahil edilmesidir.

Örnek uygulama olarak, HLA-RTI üzerinde, dağıtık kablosuz sensör ağ simülasyonu seçilmiştir. DAFT algoritması kullanımı ile elde edilen sonuçlardan, yük dengeleme ile

tanımlı şartlarda, alternatiflerine göre daha iyi performans elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Yük Dengeleme, Durum Aktarımı, Federe Taşınması, HLA, RTI.

DYNAMIC LOAD BALANCING ON HIGH LEVEL ARCHITECTURE BASED SIMULATIONS

ABSTRACT

Parallel computing is commonly used to meet the needs of high computing power in simulation. Providing efficient parallelism is still a current topic which motivates this article. In applications where the parallelism is heterogeneous, both for the application and the parallel system, it is common to face the situation where some computers are overloaded, while others are under loaded. To remedy this problem, load balancing is needed.

Within the scope of this study, the research and development work on HLA based dynamic load balancing have been studied. In this study a new dynamic load balancing approach has been proposed.

Firstly, a simulation agent based federate migration protocol was developed. For this, an agent defined for each federate. Thus, the federate state records have been kept, to allow orderly transfer or migration.

The federate transfer occurs in two main stages. First stage, is about saving the running federate status, the second is about migration of the saved status to a new computer

As an example application, on RTI (Run Time Infrastructure), a wireless sensor network simulation is chosen. The load balancing algorithm utilizes migration of federate, in case of load imbalance. The results show that state migration based load balancing under certain conditions provides higher performance compared to alternatives.

Keywords: Dynamic Load Balancing, State Migration, Federate Migration, HLA(High Level Architecture), RTI.

1. GİRİŞ

Bilgisayar simülasyonları yüksek hesaplama yoğunluğuna gerektiren yazılımlardır. Yüksek hesaplama kaynağı elde etmenin bir yolu da dağıtık sistemler kullanmaktır. Dağıtık sistemler, teorik olarak, kullanıcılarına tek bir bilgisayar gibi görünen bağımsız bilgisayarların bileşimidir. Bir dağıtık sistemde yüksek olasılıkla birtakım bilgisayarlar aşırı yüklenmişken diğerleri boş veya az yüklenmiş olabilir; bu durum performans kayıplarına neden olur. Bunun önüne geçebilmek için yük dengeleme algoritmaları kullanılır. Yük dengeleme algoritmalarında en sık kullanılan yöntemler; yeni bir prosesin yaratılması sırasında bunu daha az yük yoğunluğuna sahip bir düğümde yaratmak, ya da o an çalışan prosesin yüksek yük yoğunluğuna sahip düğümden, daha düşük yük yoğunluğuna sahip düğüme aktarımını yapmaktır.

Günümüzün dağıtık bilgisayar simülasyon standartlarından bir tanesi Yüksek Seviyeli Mimari (High Level Architecture - HLA) ortamıdır. HLA, simülasyon bileşenlerinin birlikte çalışabilmeleri ve yeniden kullanılabilmelerini sağlar ve IEEE standardı olarak kabul edilmiştir. HLA kapsamında, bir simülasyon federasyon olarak ve bir simülasyon bileşeni ise federe olarak adlandırılır. Federeler arası iletişim Koşum Zamanı Altyapısı (Run Time Infrastructure - RTI) ile gerçekleştirilmektedir. RTI servisleri, federasyon koşumu sırasında veri değiş tokuşunu ve federeler üzerinde yapılan eşzamanlı işlemleri gerçekleştirmektedir [1][2][3][4].

RTI, ek fonksiyonellikler kazandırılması bakımından özgürdür. Ancak günümüzde RTI uygulamaları kendi bünyesinde hala herhangi bir yük dengeleme mekanizması barındırmamaktadır, bu yüzden performans kayıplarına neden olan yük dengesizlikleri meydana gelebilmektedir. HLA simülasyonları, bu yüzden yük yönetim mekanizmalarına ihtiyaç duymaktadır.

Bu çalışma kapsamında, dağıtık HLA bazlı simülasyonlar üzerinde yük dengeleme işlemi, federe aktarımı (migration) yöntemi ile dinamik olarak gerçekleştirilmiştir. Dinamik yük dengeleme işlemi için ağ üzerindeki düğümlerin (bilgisayarların) yükleri belirli zaman aralıklarında izlenmiş ve bir karar verme mekanizması içerisinde gerekli yük dengeleme politikası olan federe aktarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada HLA RTI uygulaması olan Portico kullanılmıştır. Portico Java tabanlı geliştirilmiş ve C++ arayüzleri ile C++ uygulamalarında da kullanılabilmesi sağlanmıştır [5].

2. HLA BAZLI SİMÜLASYONLAR ÜZERİNDE FEDERE AKTARIMI

HLA simülasyonlarında yük dengeleme amacıyla bir federe aktarım protokolü temel bir yaklaşım olarak alınmıştır. Simülasyon yazılımlarında yük dengeleme yapılması sırasında, federe aktarımı aşamalarının iyileştirilmesi, sistemin genel performansı

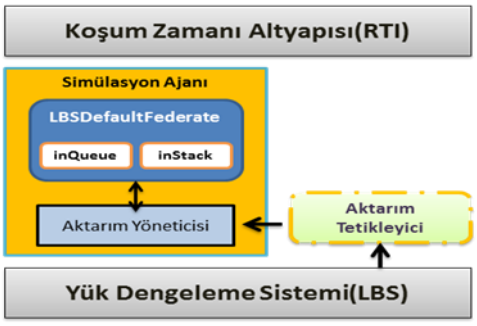
açısından önemlidir, çünkü her aktarım sırasında simülasyonda belirli bir zamanda gecikmeler meydana gelmektedir[6]. Yapılan çalışmada oluşturulan aktarım gecikmelerini önlemek amacıyla federasyonu durdurmadan aktarım yapılması tekniği kullanılmıştır. Federe aktarımındaki temel yaklaşımımız, durum aktarımlı federe taşınması (DAFT) olarak adlandırılabilinir. Sistemde geliştirilmiş federe aktarım protokolü detayları bir sonraki 2.1 bölümünde verilmiştir.

2.1. Durum aktarımı ile federe taşınması (DAFT)

Sistemde geliştirilmiş federe aktarım tekniği, simülasyon etmeni bazlıdır (simulation agent), simülasyon etmeni federe aktarımı yönetimini kolaylaştırmak ve gecikmeleri azaltmak amacıyla federe durumlarının kayıt edilmesi ve durum aktarımı yapılması yöntemiyle her bir federe ile birlikte kullanılmıştır. Veri aktarımı sırasında harici araçların kullanılması taşıma sürecinde ki yükü arttırmaktadır[9]. Federe aktarım sürecinde, veri aktarımı için üçüncü parti (third party) yazılımları kullanılmamıştır bu sayede aktarım sürecinde sisteme getirilen ek yükten kaçınılmıştır.

DAFT yönteminde, aktarım iki temel aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada çalışan federenin durumu kayıt edilir. Bir federenin durumu o federenin o anda sahip olduğu özniteliklerini içermektedir. İkinci aşamada ise aktarım için elde edilen durum bilgisi yeni bilgisayar düğümüne taşınır ve yeni konumda federenin eski durumuna getirilmesi ile simülasyona dahil edilir.

Sistemde aktarılan federeler, aktarım yönetimi tarafından yeni bilgisayar düğümünde simülasyon etmeni aracılığıyla yaratılmaktadır. Bu durum aktarım yapılan federenin bir bağ oluşturmadan tekrar aktarılabileceği anlamına gelmektedir. Şekil 1'de tasvir edildiği üzere, simülasyon etmenleri RTI ile federeler arasında orta katmanda yer almaktadır. Federasyonda yer alan her bir federe için bir simülasyon etmeni yer almaktadır. Bu sayede federeler aktarım için herhangi ek bir yazılıma ihtiyaç duymamaktadır.



Şekil 1. Simülasyon Etmeni Mimarisi

2.2. Simülasyon etmeni mimarisi

Simülasyon etmenleri yük dengeleme sistemi ve koşum zamanı altyapısı katmanı arasında yerleştirilmiştir. Simülasyon etmenleri federelerin ne zaman taşınması gerektiği ile ilgilenmezler, etmenlerin görevi yalnızca yük dengeleme sistemi tarafından istenilen yere federenin transferini gerçekleştirmektir. Aktarım yapabilmek için, simülasyon etmeni uzak düğümdeki simülasyon etmenini çalıştırmaktadır, ardından aktarımı gerçekleştirebilmek için bu iki simülasyon etmeni birbirleriyle haberleşmektedirler.

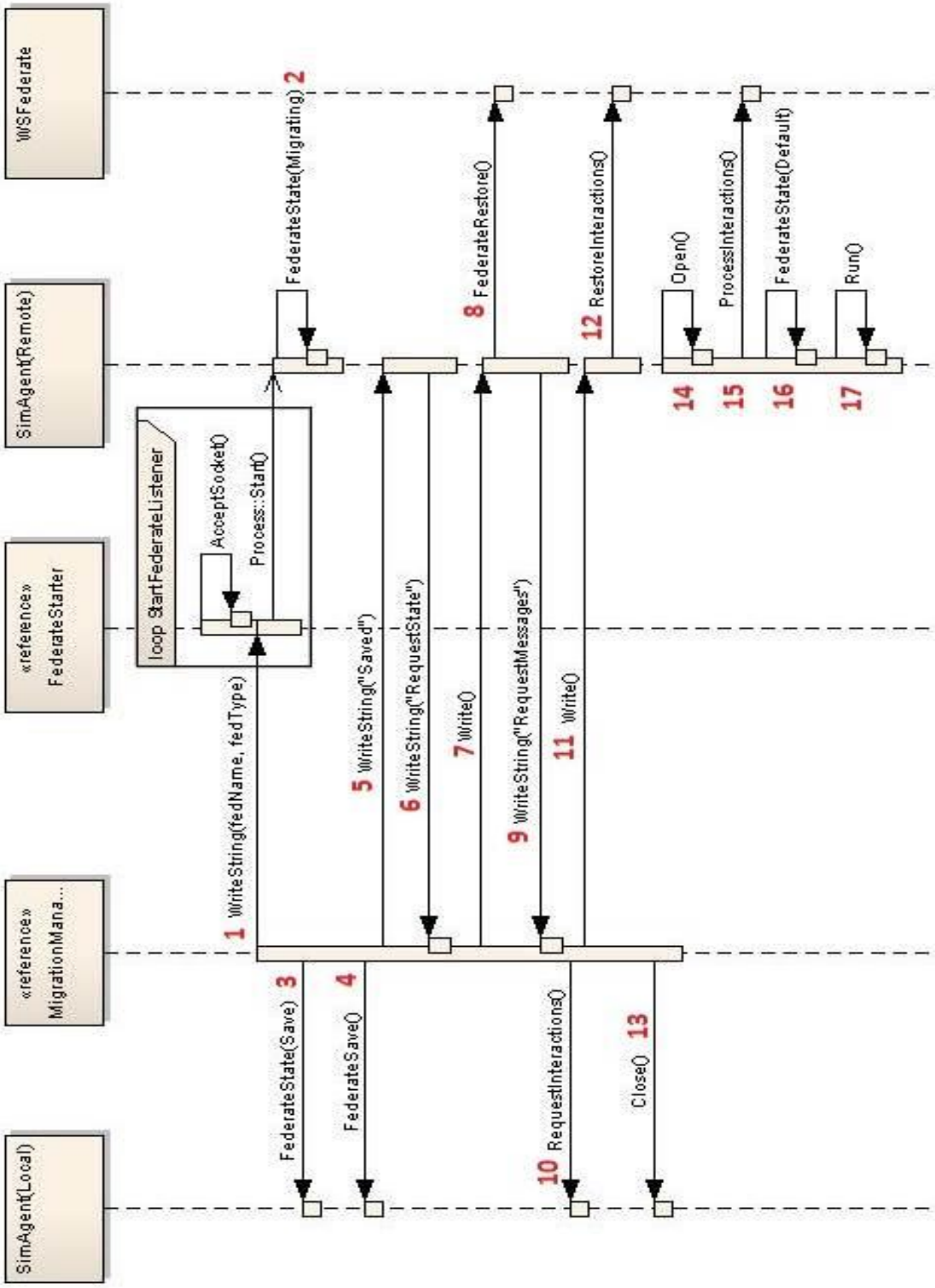
Simülasyon etmenleri federelerin taşınması sırasında federelerin durumlarının kayıt edilmesi ve tekrar yüklenmesi görevlerini gerçekleştirirler, bu durum aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir. HLA üzerinde federeler arası iletişim mesajlar (interaction) aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu mesajlar bir federenin aktarılması sırasında RTI'a iletilmesi yerine bir kuyrukta (inQueue) tutulmaktadır. Tutulan bu mesajlar daha sonra aktarımı biten federeye taşınarak federenin yeni konumunda mesajların kaybolmadan federenin simülasyona devam etmesini sağlamaktadır.

Aynı zamanda iletişim için oluşturulan her bir mesaj simülasyon etmeni içerisinde sınırlı bir yığın (inStack) içerisinde tutulmaktadır. Simülasyon varlıkları birbirlerine mesaj gönderirlerken her bir mesaja id'ler vermekte ve mesajların bir kopyasını yığına atmaktadır. Bu yığın ileride oluşabilecek herhangi bir mesaj kaybını önlemede kullanılmaktadır.

Simülasyon etmeni içerisinde aktarım yöneticileri ayrı bir iş parçacığı (thread) üzerinde dinleme modunda beklemektedir. Aktarım yöneticisi yük dengeleme sisteminden gelen ilgili federenin taşınması isteklerini karşılamaktadır. Bu istekleri karşılamak için her bir aktarım yöneticisi birer adlandırılmış iletim yolu (named pipe) açmaktadır. Bu sayede direkt araya farklı bir katman eklemeden federenin kendisine aktarım isteği gönderilmektedir.

2.3. Federe aktarım protokolü

Şekil 2’de görülen diyagramda, federe aktarım prosedürleri, "Aktarım Tetikleyicisinin (Migration Trigger)", yük dengeleme sisteminden aktarım çağrısı alması ile başlar. "Aktarım Tetikleyicisi" çağrıldıktan sonra sırasıyla aşağıda tanımlanmış olan aktarım prosedürleri gerçekleşir[8].



Şekil 2. Aktarım Protokolü

3. YÜK DENGELEME SİSTEMİ

Yük dengeleme sistemi HLA simülasyonu üzerinde koşan federelerin ağdaki bilgisayarlar arasında orantılı bir şekilde dağıtılması amacıyla kurulmuş olan sistemdir. Yük dengelemesinde bir bilgisayarın çalışma performansını etkileyebilecek olan CPU kullanımı, CPU kuyrukta bekleyen iş sayısı, bellek kullanımı ve ağ iletişim yoğunluğu baz alınarak bir yük yoğunluğu hesabı yapılmıştır.

3.1. Yük tahmini ve bilgi değişimi politikası

İdeal olarak, yük bilgileri mevcut CPU kullanımı, bellek kullanımı ve bir düğümün ağ trafiğini yansıtmalıdır. Genellikle, bir düğümün yükü, verilen zamandaki CPU kuyruk uzunluğu olarak tanımlanmıştır. CPU kuyruk uzunluğu, çalışmakta olan veya çalıştırılmak için bekleyen proseslerin sayısını ifade eder. Sistemde kullanılan parametreler CPU kullanımı, CPU kuyruk uzunluğu, bellek kullanım miktarı ve de ağ trafiğidir. Örneğin, CPU kullanımı bir saniyede düşük iken diğer bir saniyede yüksek olabilmektedir. Bu nedenle Δt zaman aralığında ilgili parametre için ortalama değerleri alınarak bulunur. Verilen algoritmada 1 saniye aralıkla örnekleme alınmaktadır[7].

$$L_i(p) = \frac{p_{i1} + p_{i2} + \cdots + p_{ik}}{k} \quad (1)$$

- L_i = Δt saniyedeki ortalama yük parametresini ifade eder.
- p = Yük parametresi, CPU kuyruk uzunluğu, CPU kullanımı, bellek kullanımı veya ağ kullanımı.
- $p_{i1}...p_{ik}$ = bir saniye aralıklardaki verilen değer parametrelerini ifade eder.
- k = örnekleme sayısını ifade eder.
- i = düğüm numarasını ifade eder (1, 2, 3 ... , n).

3.1.1. Yük sınıflandırılması

İlk adımda her bir düğüm için yük sınıflandırılması yapılır. Verilen algoritma için dört adet yük seviyesi vardır: Beklemede (Idle), Düşük (Low), Normal ve Yüksek (High).

Bu adımın ilk kısmında, CPU kuyruk uzunluğu, CPU kullanımı, bellek kullanımı ve ağ trafiği için ikişer adet eşik değeri hesaplanır. İki eşik değeri kullanmanın sebebi daha istikrarlı sonuçlar elde edilebilmesidir. Bu dört parametre için eşik değeri hesaplanması aynı yöntem ile gerçekleştirilir:

1. Tüm düğümler üzerinde, her bir parametre için ortalama yük hesaplanır.

$$L_{Ort}(p) = \frac{l_1 + l_2 + \cdots + l_n}{n} \quad (2)$$

- L_{Ort} = Verilen parametreler için tüm düğümler üzerindeki ortalama yük.
- p = Yük parametresi, CPU kuyruk uzunluğu, CPU kullanımı, bellek kullanımı veya ağ kullanımı.
- $l_1....l_n$ = yük tahmini politikası tarafından her bir düğüm için türetilen o anki yük parametresi.
- n = düğüm sayısı.

2. Eşik değerleri için yüksek ve düşük çarpım katsayıları hesaplanması için standart sapma hesaplanır.

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(L_i - L_{ort})^2} \quad (3)$$

- s = elde edilmiş yük parametreleri için standart sapma değeri.
- L_i = yük tahmini politikası tarafından her bir düğüm için türetilen o anki yük parametresi. i : (1, 2, 3 ... , n)
- L_{Ort} = Verilen parametreler için tüm düğümler üzerindeki ortalama yük.
- N = düğüm sayısı.

3. Eşik değerleri hesaplanır.

CPU kuyruk uzunluğu, CPU kullanımı, bellek kullanımı ve ağ trafiği, üst ve alt eşik değerleri; her bir parametre için ortalama yük ile sabit değerin çarpılmasından elde edilir.

$$t_H = (1 + s) * L_{avg} \quad (4)$$

$$t_L = (1 - s) * L_{avg} \quad (5)$$

- t_H = yüksek eşik değeri,
- t_L = düşük eşik değeri.

Verilen algoritmada yüksek ve düşük eşik değerleri ile belirli bir yük değeri parametresi için yüksek veya düşük yüklü olup olmadığı belirlenir. Bu iki eşik değeri arasında kalan değerler normal olarak kabul edilir. Bu sınıflandırmaların her biri kendi parametreleri için geçerlidir, düğümler için değildir. Yani bu hesaplama ve parametrelerin sınıflandırılması, CPU kuyruk uzunluğu, CPU kullanımı, bellek kullanımı ve ağ trafiği içindir.

Yük sınıflandırmada ikinci kısım, her bilgisayarın yük durumunu belirlemektir. Eşik değerleri kullanılarak düğümler beklemede, düşük, normal ve yüksek olarak gruplandırılmaktadır. Her bir düğüm için CPU kullanımı, CPU kuyruk uzunluğu, bellek kullanımı ve ağ trafiği gruplar için kontrol edilir.

$$\textbf{Yük} = \begin{cases} \textbf{Beklemede (Idle)} \rightarrow (cpuState == IDLE) \wedge (mem\_u < 70) \\ \textbf{Yüksek (High)} \rightarrow ((mem\_u > 85) \wedge (cpuQState == HIGH) \vee \\ \quad (mem\_u > 90) \vee (cpuState == HIGH \wedge memState == HIGH)) \\ \textbf{Düşük (Low)} \rightarrow ((cpuState == LOW) \wedge (netState == LOW) \vee \\ \quad (mem\_u < 70) \vee (cpuqState == LOW)) \\ \textbf{Normal} \rightarrow \ Aksi\ Halde \end{cases}$$

4. PERFORMANS ANALİZİ

4.1. Test ortamı ve sonuçları

Test ortamı, kablosuz sensör ağında bulunan sensörlerin yaşam sürelerini ölçen bir simülasyon olarak düşünülmüştür. HLA federasyonu kablosuz sensör ağı ve üzerinde çalışan sensör federelerinden oluşmaktadır. Her bir sensör birbirlerine belirli aralıklarla rastgele mesajlar göndermekte, tüm federeler aynı mesajı almakta, ancak kendi durumuna uygun olan federe onu kabul etmektedir.

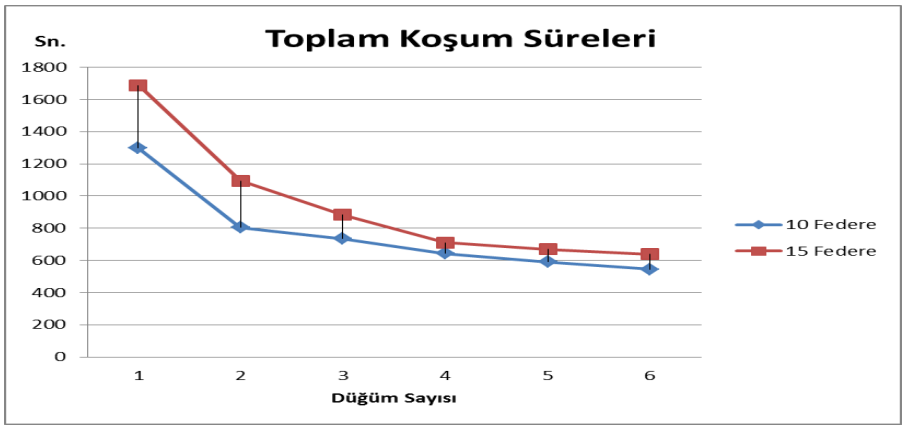
Test, Intel i7-3630QM 4 çekirdekli ve 8 iş parçacığına sahip bir bilgisayar üzerinde yürütülmüştür. Bu bilgisayar üzerinde Oracle VM Virtual Box kurulmuş ve test için sanal makineler oluşturulmuştur. Sanal makinelerin her birine tek çekirdek verilmiş ve testlerin durumuna göre bellek miktarları belirlenmiştir. Her bir bilgisayar üzerinde Microsoft Windows XP Professional SP1 işletim sistemi kurulmuştur. Oluşturulan bu düğümler için yine sanal bir ağ yaratılmıştır ve gerekli HLA konfigürasyonu oluşturulmuştur.

Simülasyon uygulaması;

- Her bir federe, her bir simülasyon adımında sabit işlemci yükü getirmesi için rastgele sayılardan oluşturulmuş bir dizi üzerinde kabarcık sıralama (bubblesort) işlemi yürütmektedir.
- Federeler arası mesajlaşma sıklığı testlerde verilmiş olan sayı aralıklarında rastgele bir dağılım ile belirlenmektedir.
- Her bir federenin enerji değeri sabit 200 birim olarak belirlenmiştir.
- Federelerin yaşam süresi değişkendir bunun nedeni, her bir federe bir simülasyon döngüsünde 1 birim enerji kaybına uğrar ancak federe mesaj gönderecek veya alacak ise 2 birim enerji harcar.

Yük dengeleme algoritmalarının işleyiş ve etkilerini analiz etmek için bir dizi test yapılmıştır;

Test 1: Farklı federe sayısı için düğüm sayısının toplam koşum süresine etkisi test edilmiştir. Bu koşum için her bir federe mesaj üretim sıklığı 1-10 sn. arasında bir dağılım ile gönderilmektedir. Her bir düğüm üzerinde işlemci yükünü etkileyen parametre olan eleman sayısı 5000 olarak kullanılmıştır.

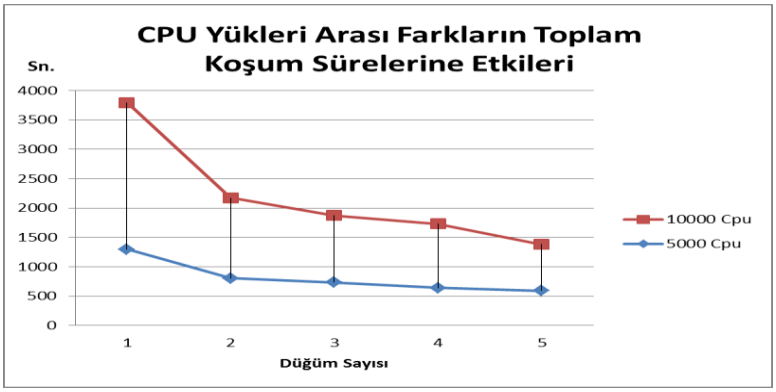


Şekil 3. Yük Dengeleme Sisteminin Toplam Koşum Sürelerine Etkisi

Şekil 3'te görüldüğü gibi sırasıyla 10 ve 15 adet federeye sahip federasyonlar üzerinde koşumlar yapılmış ve koşum süreleri incelenmiştir. Test sonucuna göre tek bir düğüm üzerinde koşturulan federe sayısı arttırıldıkça toplam koşum süresinin de doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Bu durum tek bir düğüm üzerinde ve yük dengeleme sistemi çalışmadan elde edilmiş sonuçtur. Düğüm sayısı 2'ye yükseltildiğinde toplam koşum sürelerinde yaklaşık %40 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Düğüm sayısı 3'e çıkartıldığında federelerin 2 düğümde çalışmasına oranla %15'lik bir kazanım olduğu gözlenmiştir. Düğüm sayısı arttırıldıkça toplam koşum zamanından elde edilen kazanç ters orantılı bir şekilde azalmaktadır. Bu da sistemin belirli bir düğüm sayısına ulaştıktan sonra elde edilecek kazancın düşeceği ve belki de sisteme ek yük getireceği sonucunu göstermektedir. Ancak yük dengeleme sisteminin devrede olduğu 6 düğümlü koşum ile 1 düğümde yapılan koşum arasında yaklaşık %60'lık bir kazanç sağlandığı gözlenmiştir. Görüldüğü gibi düğüm sayısı arttıkça koşum süresi beklendiği gibi, yük dengeleme algoritmasının yükü dengelemesiyle azalmakta ve federe sayısının etkisi de düğüm başına düşen yükün düşük olmasından ötürü azalmaktadır.

Test 2: İşlemci yük yoğunluğu yüksek bir ortamda sistemin davranışının incelendiği bir takım testler yürütülmüştür. İşlemci yükünün yüksek olması için her bir federe bir simülasyon adımında kabarcık sıralama algoritması çalıştırmaktadır. Bu testlerde kabarcık sıralaması yapılan dizinin boyutu işlemci yükünü doğrudan etkilemektedir. Bunun için ilk testte dizi sayısı 5000 ve ikinci testte 10000 olarak alınmıştır. Bu koşumlar için her bir federe mesaj üretim sıklığı 1-10 sn. arasında bir dağılım ile

gönderilmektedir. Mesaj üretim sıklıkları federelerin yaşam sürelerini etkileyen bir parametre olmakla birlikte, federe taşınması sırasında ek yükler getirmektedir.



Şekil 4. CPU Yükleri Arası Farkların Toplam Koşum Sürelerine Etkileri

Rastgele sayılardan oluşturulmuş 5000 elemanlı ve 10000 elemanlı dizilerde yapılan koşum sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Sırasıyla bu testler düğüm sayısı 1'den 5'e kadar çıkartılarak yürütülmüş ve koşum süreleri incelenmiştir. Şekilde görüleceği üzere dizinin eleman sayısı 10000 iken düğüm sayısı 1'den 2'ye çıkartıldığında yaklaşık %60 lık bir kazanım sağlamıştır ancak aynı testler aynı koşullarda 5000 elemana sahip bir dizi ile yapıldığında %40 oranında bir kazanım sağladığı gözlenmiştir. Yani yüksek işlemci yük yoğunluğunda düğüm sayısı arttırıldıkça sistemde meydana gelen kazanımlar da arttığı gözlenmektedir. Son olarak düğüm sayısı 5'e çıkartıldığında yüksek yük yoğunluğuna sahip uygulamada daha fazla kazanım sağlarken buna göre düşük yük yoğunluğuna sahip uygulamada daha az kazanım sağlandığı gözlenmiştir. Bu testler sistemin yüksek işlemci yük yoğunluğunda daha verimli çalıştığını göstermektedir. Bu durum sistemin ölçeklenebilir olduğunun göstergelerinden bir tanesidir. Ayrıca bu testin sonucunda yüksek işlemci yükü altında federe taşınma süresi ve federe taşınma sayısı sistemin performansını etkilemediği gözlenmiştir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada HLA bazlı simülasyon sistemleri üzerinde federe aktarım yöntemiyle yük dengeleme sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde herhangi bir üçüncü parti yazılım kullanılmamıştır ve aktarımı gerçekleştirebilmek için bırakma (resign), katılma (join), yayınlama (publish) ve abone olma (subscribe) gibi HLA metotları kullanılmıştır. Ayrıca aktarım gecikmesini azaltmak ve simülasyon tutarlılığını sağlamak için, DAFT yani durum aktarımlı federe taşıma yöntemi içerisinde federe kayıt ve tekrar yüklenmesi metotları geliştirilmiştir.

Yük dengeleme sisteminde, yerel ağda simülasyona dâhil olan tüm bilgisayarların yükleri toplanmış ve ağa göre her bir bilgisayara ait yük ağırlıkları çıkartılmıştır.

Bilgisayar yüklerinin belirlenmesinde CPU kullanımı, CPU kuyrukta bekleyen iş sayısı, bellek kullanımı ve ağ trafiği unsurları baz alınmıştır. Bu unsurlar ışığında ağdaki yük yoğunluklarının dengelenmesi için doğru kararlar alınması sağlanmıştır.

Sistemin faydasının gösterilmesi için bir takım testler yürütülmüştür. Yapılan yük dengeleme sisteminin toplam koşum süresine etkisi testinde, yük dengeleme sistemi devrede iken çıkan toplam koşum süresi ile devrede değilken çıkan toplam koşum süreleri arasında yaklaşık %60'lık bir kazanç olduğu gözlemlenmektedir. Bu nedenle yük dengeleme sistemi ile entegre çalışan HLA benzetim sistemlerinin daha performanslı çalıştığı ve çalışma sürelerinin kısaldığı gözlemlenmiştir. CPU yükleri arasındaki farkların toplam koşum süresine etkileri testinde sistemin yüksek işlemci yük yoğunluğunda daha verimli çalıştığı gözlenmiştir. Sistem performans ölçütleri düğüm başına düşen federe sayısına bağlı olarak artmakta veya azalmaktadır. Bu yüzden yük dengeleme algoritmasının başarımı, yani düğümler arasında yüklerin eşit dağıtılması sistemin performansı açısından önemlidir.

6. KAYNAKÇA

[1] IEEE Std. 1516, (2000), IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)-Framework and Rules, *IEEE*.

[2] IEEE Std.1516.1, (2000), IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Federate Interface Specification, *IEEE*.

[3] IEEE Std.1516.2, (2000), IEEE Standard forModeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Object Model Template Specification, *IEEE*.

[4] IEEE Std. 1516.3, (2003), IEEE Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation Development and Execution Process (FEDEP), *IEEE*.

[5] Portico Project, (2014), http://www.porticoproject.org.

[6] R. Grande, (2011), Dynamic Load Balancing Schemes for Large-Scale HLA-based Simulations, Pub. Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), *IEEE/ACM 15th International Symposium*, 4-11.

[7] Werstein P.,Situ H. and Huang Z., (2006), Load Balancing in a Cluster Computer, In Proc. of the Seventh International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, *IEEE Computer Society*, 343-347.

[8] Persson A., (2005), Migration and Load balancing in HLA based distributed simulations, *Master of Science Thesis Stockholm*.

[9] Zijing Yuan, Wentong Cai and Malcolm Yoke Hean Low, (2004), Federate Migration in HLA-based Distributed Simulation, *In International Conference on Computational Science*, 87-95.

HAVA-HAVA FÜZESİ ETKİLİ MENZİL HESAPLAMALARI İÇİN İSTATİSTİKSEL MODEL GELİŞTİRMESİ

Yasin Kaygusuz[(a)], Soner Uyar[(b)], Berna Akıncı[(c)] Özgür Altun[(d)], Mutlu Ahmet Ayna[(e)]

[(a)] [(b)] [(c)] [(d)] [(e)] TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Uçak Grup Başkanlığı, Silah Sistemleri Şefliği, Fethiye Mah. Havacılık Bulvarı No:17 Akıncı Kazan 06980 Ankara Türkiye, ykaygusuz@tai.com.tr, suyar@tai.com.tr, bakinci@tai.com.tr; oaltun@tai.com.tr; maayna@tai.com.tr

ÖZ

Hava-hava füzelerinin av uçaklarına entegrasyonunda, en önemli konulardan birisi de füzenin etkili menzili içinde kullanılmasını sağlayacak pilot-makine arayüzünü sağlamaktır. Hava-hava füzesi gibi son derece kısıtlı bir kaynağın etkili menzilinin dışında kullanımı av uçağına hava-hava angajmanında herhangi bir avantaj sağlamayacağı gibi füze israfına da yol açacaktır. Bu amaçla av uçakları içerisinde hava-hava angajmanı atış öncesi hesaplamalarında füze benzetim modeli adı verilen modeller koşturularak sonuçları pilota görsel araçlarla bildirilir. Akademik çalışmalar ve eğitim projeleri gibi gizli olarak değerlendirilmemiş çalışmalarda, bu füzelerin modellenmesinde kullanılacak parametreleri elde edebilmek verilerin askeri gizliliği nedeniyle büyük bir güçlük teşkil etmektedir. Bu çalışmada doğrulanmış bir füze benzetim modeli üzerinden istatistiksel yöntemlerle geliştirilmiş bir hava-hava füzesi menzil modeli verilmektedir. Füze etkin menzil değerleri irtifa, yaklaşma açısı, av ve hedef hızı gibi değişkenler üzerinden görece daha basit bir matematiksel model üzerine oturtulmuştur. Elde edilen modelin sonuçları gerçek füze ile kabul edilebilir ölçekte benzerlik gösterdiği için, eğitim benzetimleri, akademik çalışmalar, temel eğitim uçakları ve oyun yazılımları gibi açık kaynaklı simülasyon projelerinde rahatlıkla kullanılabileceği düşünülmektedir. Oluşturulan model, basitliği nedeniyle çok yüksek yenilenme oranlarında koşabilecek ve işlemci yükü oldukça düşük, look-up tablosuna dayalı bir etkili menzil hesabı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Etkili menzil, Hava-Hava füzesi, Hız, İrtifa, Matematiksel model, Yaklaşma açısı.

DEVELOPMENT OF STATISTICAL MODEL TO COMPUTE THE EFFECTIVE RANGE OF AIR-TO-AIR MISSILES

ABSTRACT

One of the most important issues for integrating the Air to Air Missiles (AAM) to the fighter aircrafts is the human machine interface providing the pilot to use the missile in the effective range for the specific target. By using the cockpit displays, the pilot can launch the AAM at the right time to the target. AAMs are very expensive missiles and each fighter cannot carry many AAMs at the same time so the effective usage of the AAMs is very important. Also the ineffective usage of the AAMs does not provide any advantage to the fighter in the air-to-air engagement with the target aircraft. To compute the effective range before launching the AAM missile to the specific target and display the symbology to the pilot to see the right time and right range for launching the AAM Missile, missile simulation model runs in the mission computer of the fighter aircraft. Missile specific constants and platform & missile parameters must be known to run the missile simulation model. Like academic studies and training activities evaluated as non-secret studies, obtaining the missile specific parameters and use it in the analysis are very difficult because of military restrictions.

In this study, Development process of AAM shot range model from the specific verified AAM missile simulation model by using the statistical method is explained. In the statistical method, Missile effective range calculation contains a very simple equation and depends on the parameters like the velocity, altitude, aspect angle etc. When comparing the results of the original AAM simulation model running in the mission computer of the fighter and the AAM statistical model developed in this study, acceptable differences between two model results occur. So it is thought that this model can be used in low fidelity acceptable areas like game software, academic studies, basic training aircrafts, etc. Developed model also has a high refresh rate, can run in any processor because of having simple structure.

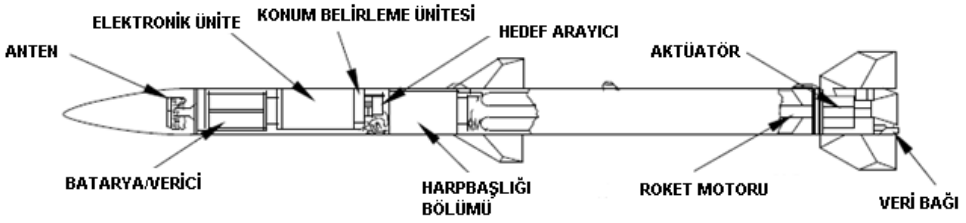
Keywords: Air-to-Air Missile, Altitude, Effective Range, Mathematical model, Target aspect angle, Velocity.

1. GİRİŞ

Hava-hava füzeleri havadaki bir platformdan havadaki bir başka platforma atılabilen füzelerdir. Kendilerine ait bir itki sistemine (motora) sahiptirler.

Genel bir hava-hava füzesi 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- Güdüm (Guidance) Bölümü
- Harpbaşlığı (Warhead) Bölümü
- İtki (Propulsion) Bölümü
- Kontrol (Control) Bölümü



Şekil 1. Orta menzilli hava-hava füzesinin yapısı.

Güdüm bölümü sahip olduğu arayıcı sensörler yardımıyla füzenin hedefi bulmasını, hedefe doğru yönelmesini ve hedefi takip etmesini, harp başlığı bölümü füzenin hedefin yakınlarına geldiğinde patlatılmasını ve hedefin imha edilmesini, İtki bölümü füzenin hareket etmesi için gereken itkiyi, Kontrol bölümü ise füzenin hedefe doğru ilerlerken hareketini ve manevra yeteneğini sağlamaktadır.

Hava-hava füzeleri sahip oldukları sistemlere ve özelliklerine göre çeşitli gruplara ayrılmaktadır:

Sahip olduğu güdüm sistemine göre:

- IR Güdümlü
- Radar Güdümlü
  - Pasif radar güdümü
  - Yarı Aktif Radar güdümü
  - Aktif Radar Güdümü

Menziline göre:

- Görüş-Ötesi Füzeler
- Görüş-İçi Füzeler

En yaygın sınıflandırma menzile göre yapılandır. Görüş Ötesi Füzeler ortalama 50 km menzile sahiptir. Genellikle radar güdümlü füzelerdir. Uçaktan atıldıktan sonra hedef takibinde hızları 4 mach'a kadar çıkan çeşitleri bulunmaktadır. En çok bilinen füzeler AIM-120 AMRAAM, METEOR, MICA ve R-77'dir.

Görüş İçi Füzeler ise ortalama 10 km menzile sahiptir. Genellikle IR güdümlü füzelerdir. Uçaktan atıldıktan sonra hızları 3 mach'lara kadar çıkan çeşitleri bulunmaktadır. En çok bilinen füzeler AIM-9, ASRAAM, IRIS-T ve AA-11'dir.

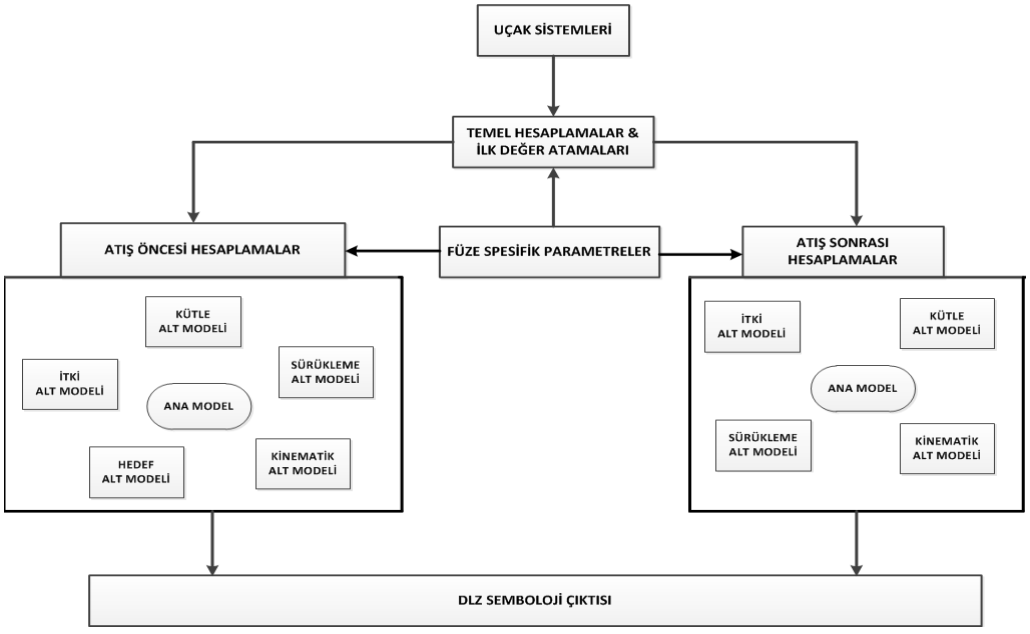
2. FÜZE BENZETİM MODELİ

Uçağa entegre edilmiş mühimmatın doğru zamanda doğru koşulda hedefe atılıp hedefi vurabilmesi için uçaklarda Atış Kontrol Yazılımı bulunmaktadır. Bu yazılım mühimmatın kabiliyetlerini, uçak parametrelerini ve hedef bilgilerini hesaba katarak pilota atış koşulları ile ilgili görsel bir semboloji sunmaktadır. Pilotta bu sembolojiye göre uygun koşullar gerçekleştiğinde atışını gerçekleştirmektedir. Aynı zamanda bu

yazılım atış gerçekleştirildikten sonra yapılan atışın hedefi vurup vurmadığını vuracak ise vuruşun ne kadar süre sonra gerçekleşeceği gibi bilgileri de pilota sağlamaktadır.

Hava-Hava Füzeleri için de Atış Kontrol Yazılımı içerisinde Füze Benzetim Modeli yer almaktadır. Bu model hedeften aldığı verilerle, uçaktan aldığı verileri füze spesifik parametrelerle birleştirerek bir hesaplama yapmaktadır. Sonucunda pilota hedefe yapacağı atış için yardımcı olacak bir semboloji ve yaptığı atışla ilgili bir bilgilendirme sunmaktadır. Pilota gösterilen semboloji dinamik atış bölgesi adlı tek boyutlu (slant menzil cinsinden) bir ölçek sunarak pilota hedefin menzil içinde olup olmadığını gösterir. Füze Benzetim modeli altında birçok alt model barındırmaktadır. Bunlar:

Füze İtki alt modeli: Füzenin uçuş süresi boyunca sahip olacağı itkiyi hesaplayarak ana modele aktaran alt modeldir. Füze Sürükleme alt modeli: Füzenin maruz kaldığı sürüklemeyi hesaplayarak ana modele aktaran alt modeldir. Füze Kütle alt modeli: Füzeye ait kütlenin zamana göre değişimini hesaplayarak ana modele aktaran alt modeldir. Hava-Hava füzelerinin tamamı motora ve dolayısıyla bir itki kuvvetine sahip olduğu ve yakıt yaktığı için zamanla kütlelerinde bir azalma gerçekleşecektir. Füze Kinematik alt modeli: Hava-Hava füzesinin hareketini benzeten alt modeldir. Füzenin her bir zaman dilimi için hareketini belirten kısımdır. Ana model: Temel hesaplamaların yapıldığı, ana algoritmanın koştuğu modeldir. Yukarıda bahsi geçen alt modellerden aldığı verilerle algoritmayı koşturan, sonucunda füzenin yerini, hedefin füzeye göre konumunu, füzenin hedefi vurup vurmadığını, vurması muhtemel durumlar için ne kadar süre sonra bu vuruşun gerçekleşeceğini hesaplayan ve sisteme aktaran birimdir. Bu çalışmada detaylı bir füze matematik modeli verilmemiştir ancak hava hedeflerine atılan füzelerle ilgili füze modelleri çeşitli kaynaklarda bulunabilir [4][5].



Şekil 2. Füze benzetim modeli yapısı.

Füze Benzetim Modeli'ne ait ana mimari yukarıda şekil 2'de verildiği gibidir.

Bu çalışmaya konu olan hesaplama Rmax1 değerinin hesaplanmasıyla ilgilidir. Rmax1 parametresini de şu şekilde tanımlayabiliriz:

Hedefin manevra yapmaması durumunda seçili füzenin hedefe ne kadar yaklaşarak hedefi vurabileceğini gösteren mesafedir. Bir başka ifadeyle o an için füzeye ait etkili menzil mesafesidir.

3. ETKİLİ MENZİL İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMALARI

Bir füzenin etkili menzili, füzenin karakteristiği ve atış koşullarına göre değişmektedir. Uçakta sürekli olarak pilota gösterilen etkili menzil, her döngüde yukarıda bahsedilen alt modeller kullanılarak hesaplanmaktadır. Ancak bu hesaplamaların her döngüde yapılması işlemciyi yormakta ve hesaplamalarda gecikme riski barındırmaktadır.

Bu çalışmada, etkili menzil hesaplamasını daha hızlı yapabilmenin yolları aranmıştır. Öncelikle hesaplamalarda kullanılan parametrelerin etkili menzil değerini nasıl değiştirdiği incelenerek, buradan bir genellemeye gidilip gidilemeyeceği değerlendirilmiştir. Daha sonra bu parametreleri birlikte kullanarak etkili menzil hesaplaması istatistiksel bir model üzerine oturtulmaya çalışılmıştır.

Füze vb. mühimmatların atışa izin verilen aralıklarının hesaplanmasında istatistiksel yaklaşım yaygınlaşmakta olan bir uygulamadır. MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) metodu kullanarak yapılmış akıllı bomba uygulamaları mevcuttur [1]. Bu metotta LAR (Launch Acceptable Region, atışa izin verilen bölge) ya da DLZ (Dynamic Launch Zone, tek boyutlu atışa izin verilen aralık) hesaplamalarına girdi teşkil eden parametreler istatistiksel bir modele oturtularak hesaplamalar kolaylaştırılmaya çalışılmaktadır. [1] numaralı referans doğru kaplama alanı değeri olarak %89'un üzerinde bir değer sunmaktadır. Bu değer istatistiksel model ile elde edilen çıktıların toplam veri setinin sunduğu deneysel verinin %89'unu kapsadığı ya da uyumlu olduğu anlamına gelir.

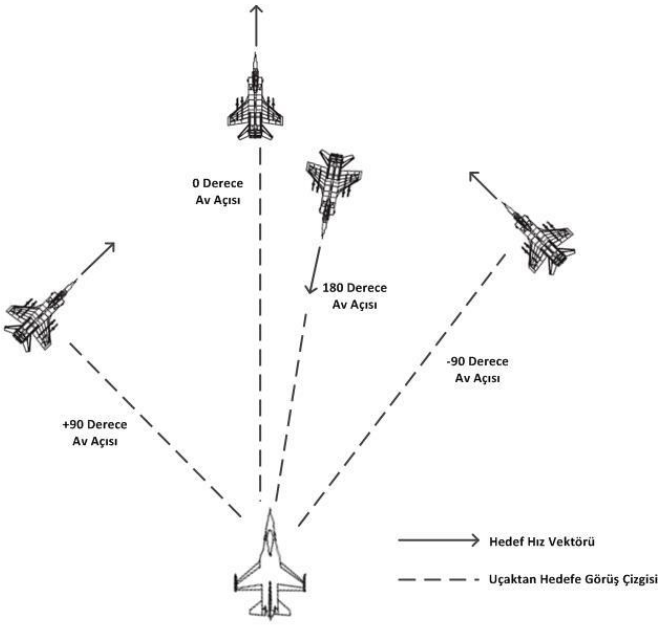
Aşağıda sunulan çalışmada ileri, geri ya da adım-adım gibi çeşitli regresyon yöntemleri kullanılarak benzer şekilde bir regresyon modeli oluşturulmaya çalışılacaktır. Çeşitli yöntemler denenmiştir ancak en iyi uyumun gösterildiği sonuç raporlanacaktır. Kullanılacak regresyon yöntemleri bilinen ve kabul görmüş yöntemlerdir [2][3] ancak hava-hava füzelerine uygulamaları yeni kabul edilebilir. Uygulamada IBM SPSS Statistics Processor yazılımının v21 versiyonu kullanılmıştır.

Etkili menzil parametresi R_{MAX1} birden fazla değişkenin bir fonksiyonudur. Çeşitli parametrelerin değişiminden etkilenmektedir. Bu nedenle klasik bir en küçük kareler yaklaşımı doğru sonuç vermeyecektir [3]. Bunun yerine daha iyi bir model

oluşturulması gerekecektir. Aşağıdaki denklem (1)'de bu parametrenin bağlı olduğu değişkenler özetlenmiştir.

$$R_{MAX1} = f(c, \theta, h_{ac}, M_{ac}, h_{tgt}, M_{tgt}) \quad (1)$$

R_{MAX1}: Manevra yapmayan hedef için izin verilen maksimum angajman mesafesi (ft)
c: Sabit (minimum menzil değerinin etkisi)
θ: Av Açısı (Aspect angle, radyan). (Şekil 3)
h_{ac}: Avcı uçağı irtifası (ortalama deniz seviyesinden yükseklik, ft)
M_{ac}: Avcı uçağı Mach sayısı (standart atmosfere göre)
h_{tgt}: Hedef uçak irtifası (ortalama deniz seviyesinden yükseklik, ft)
M_{tgt}: Hedef uçak Mach sayısı (standart atmosfere göre)



Şekil 3 Av açısı

Görüleceği üzere etkili menzil son derece değişken olabilmektedir. Normal şartlarda bir araştırmacının bu değeri hesaplayabilmesi için önceki başlıklarda anlatılan detaylı füze modelinin yazabilmesi ve füze parametrelerine sahip olması gerekir. Ancak pek çok durumda bu imkansızdır. Ancak etkili menzil değeri bir füzenin etkinliğinin değerlendirilmesinde çok önemli bir parametredir. Bu menzilin dışında atılan füzeler hedefe erişmeyeceği için boşa harcanmış sayılırlar. Dolayısı ile harekat analizi, harekat konsepti çalışmaları vb. işlerle uğraşan kişilerin modelledikleri uçakların düşman üzerindeki etkinliğini çalışan kişilerin dinamik bir etkili menzil modeline ihtiyaçları vardır. Aksi durumda harekat analizinin füze atışı ile ilgili kısımları gerçekçiliğini yitirecektir. Bu çalışma ile araştırmacılara regresyona dayalı ve çok kolay kullanılabilecek bir etkili füze menzili modeli sunulacaktır. Sunulacak model katı

yakıtlı, orta menzilli görüş ötesi füzelere uygulanabilir ve belli bir sadakat seviyesi içerisinde kullanılabilir olacaktır.

4. UYGULAMALAR

Öncelikle girdi parametreleri için test değer aralıkları ve limitleri belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda her bir parametre için kullanılan değerler görülmektedir.

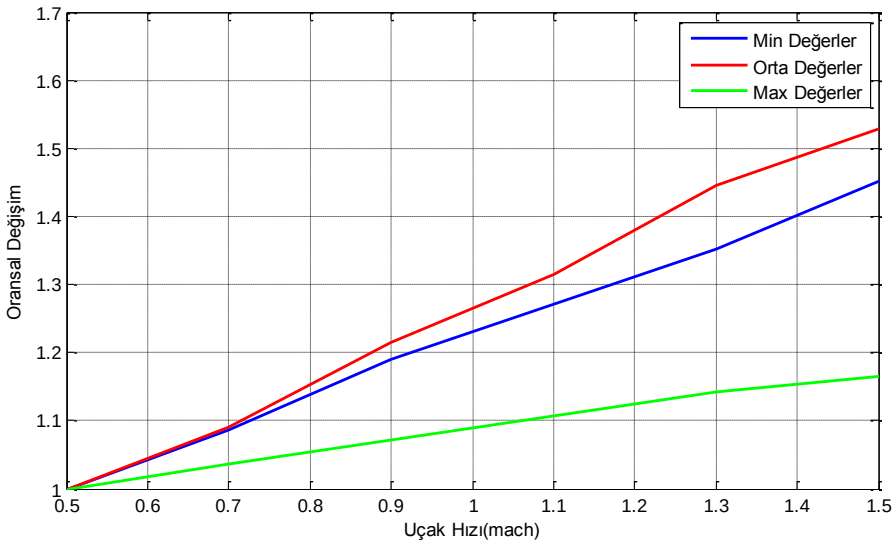
Tablo 1. Model girdi parametreleri.

Parametre Adı	Limit Değerler	Değer Aralığı	Birimi
Hedefe olan yatay menzil	25	0	km
Hedef irtifası	10-31	3	kft
Uçak irtifası	10-31	3	kft
Uçak hızı	0.5-1.5	0.2	mach
Hedef hızı	0.5-1.5	0.2	mach
Hedefi görüş açısı	0-180	15	deg

Hedefe olan yatay menzil parametresi hesaplamalara girdi oluşturmaktadır ancak değişimi etkili menzil değeri üzerine etki etmemektedir; bu nedenle sabit bir girdi olarak alınmıştır. Diğer tüm parametreler limit değerler içinde her bir ara değeri tarayacak şekilde değiştirilerek 29952 senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar koşturulduğunda 687 tanesinde etkili menzil değeri, hedefin füzenin bakış açısından çıkması dolayısıyla hesaplanamamıştır; bu nedenle bu senaryolar geçersiz sayılmış ve dikkate alınmamıştır.

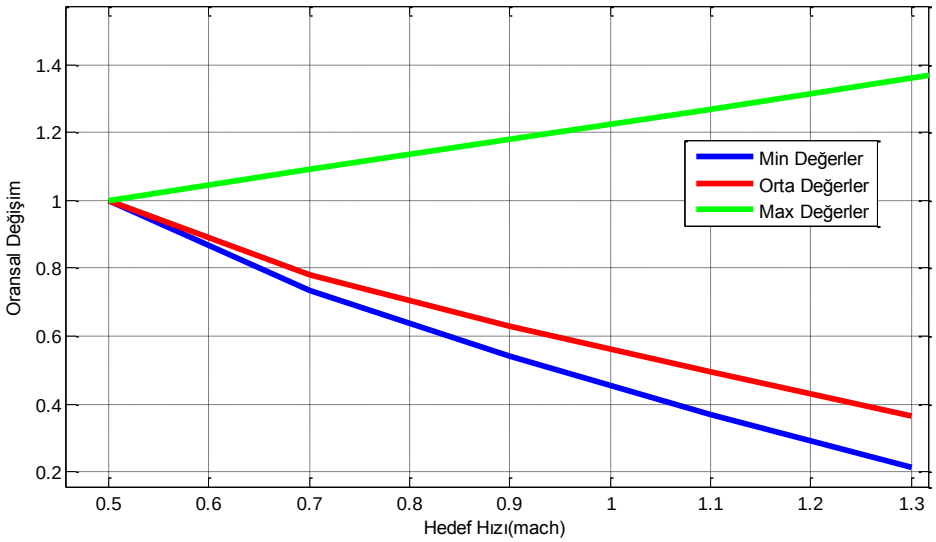
Çizelge 1, 2 ve 3'te bir parametre haricindeki girdiler sabit tutularak; tek parametre değişiminin etkili menzili oransal olarak nasıl değiştirdiği görülmektedir.

Çizelge 1. Uçak hızı ile etkili menzil değişimi.



Her bir senaryo için füze modeli çalıştırılarak etkili menzil değerleri elde edilmiştir. Öncelikle girdi parametrelerinin etkili menzile olan etkisine tek tek bakılmıştır.

Çizelge 2. Hedef hızıyla etkili menzil değişimi.

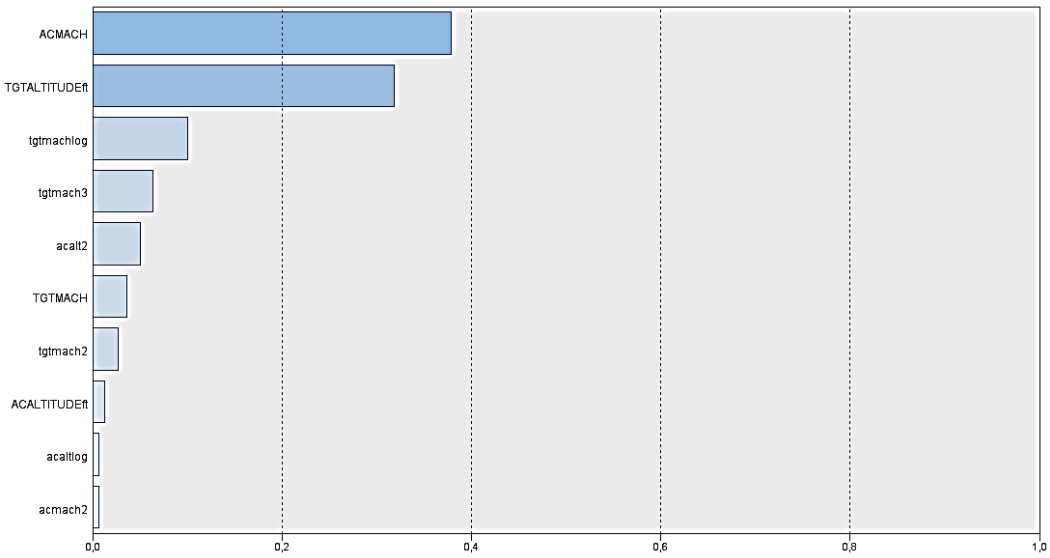


Çizelge 1, 2 ve 3'te sabit tutulan parametreler için 3 senaryo temel alınmıştır. Sabit parametrelerin her birinin alt limit değerine eşit olduğu senaryolar "Min değerler" adıyla; üst limit değerine eşit olduğu senaryolar "Max değerler" adıyla belirtilmiştir. Bu parametrelerin limit ortalamasına eşit olduğu senaryolar için de "Orta değerler" adı kullanılmıştır.

Grafiklerde etkili menzil değeri sayısal olarak verilmemiş, ancak başlangıç değerine oranlanarak değişken parametrenin etkili menzili ilk değere göre hangi oranda değiştirdiği verilmiştir. Menzil değeri yerine oran verilmesi hem gizlilik açısından gerekli görülmüş hem de değişim karakteristiğini belirlemede daha etkin olduğu düşünülmüştür.

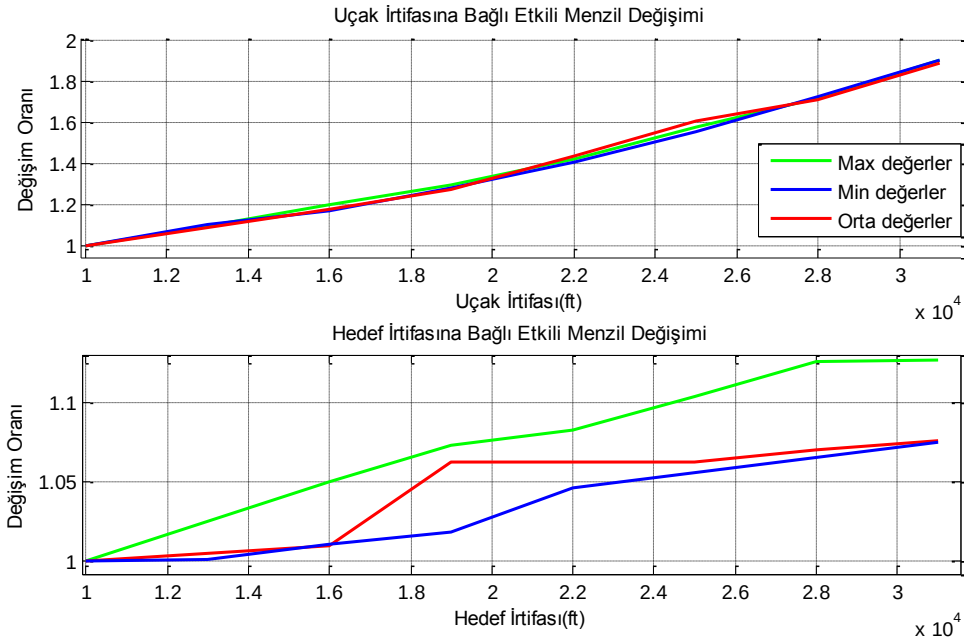
Grafikler incelendiğinde, uçak irtifası ve uçak hızının, etkili menzil üzerinde doğrusal etkileri olduğu görülmektedir. Hedef hızı için de doğrusal etkiler gözlenmiş ancak farklı aralıklarda değişim yön değiştirmiştir. Hedef irtifasında doğrusallık kaybolmaya başlamış ancak pozitif eğim korunmuştur. Görüş açısında ise üstel etkiler gözlenmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, Etkili menzil için doğrusal bir regresyon modeli önerilebilir. Ancak başarımın en iyilenmesi için doğrusal olmayan regresyon modellerinin uyarlanabileceği öngörülebilmektedir. Düşük senaryo noktası içeren bir örnek uzayı ile deneme yapılmış ve doğrusal olmayan yaklaşımların daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür. Dolayısı ile IBM SPSS kullanılarak doğrusal olmayan bir regresyona gidilmiştir. Aşağıdaki çizimde modele dahil edilen parametrelerin etkili menzile olan etkileri normalleştirilmiş olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Parametrelerin sonuca etkisi, normalleştirilmiş.

Çizelge 3. Avcı irtifası ve hedef irtifası ile etkili menzil değişimi.



5. SONUÇ

Yukarıda tablo 1'de de özetlenen şekilde parametreler sistematik olarak değiştirilerek 29265 senaryo koşturulmuştur. Bu senaryolarda kaydedilen toplam veri sayısı 1.500.000 sayısının üzerindedir. Elde edilen bu sonuçların tamamı gerçek bir füze modeli üzerinden elde edilmiş değerlerdir. Daha sonra 6 değişkeni dikkate alacak

şekilde bu 29265 senaryonun sonuçları regresyon modeline çeşitli aşamalı yöntemlerle sokulmuştur. İleri, geri ve adım-adım yöntemleri denenmiştir. Her 3 yöntemin de tüm değişkenleri doğrudan alan modellerden daha iyi ve yaklaşık sonuçlar verdiği görülmüştür. Aşağıdaki sonuçlar adım-adım yöntemi ile elde edilmiş en iyi sonuçlardır. Aşağıdaki denklem (2)'de sonuçta elde edilen model görülmektedir. Bu model adım-adım yöntemi ile elde edilen 10 modelden en iyisini de özetlemektedir.

Elde edilen regresyon modelinin Pearson korelasyon değeri R=0,934 olarak ölçülmüş ve regresyonun uyum kalitesinin iyi olduğu gözlenmiştir (R^2= 0,872). Modelin F değeri 24984,41 olarak ölçülmüş ve bu değerin kayda değer şekilde iyi olduğu gözlenmiştir (δ=0,001 < 0,05). Bunun matematiksel anlamı 24000 civarında bir F değerinin ancak %0,1 olasılıkla gözleneceği olarak yorumlanabilir [2].

Hatalar özellikle R_{MAX1}<10000 ft ve R_{MAX1}>80000 ft bölgesinde yığılmıştır. Ortalama R_{MAX1} bölgesinde uyum değerleri daha iyidir. Bu nedenle modelin bu aralıkta kullanımı önerilir. Dolayısı ile denilebilir ki, model özellikle orta menzilli füzelerle kullanım için çok uygundur. 10000 ft'den daha kısa R_{MAX1} durumlarında zaten pilotun tercihi kısa menzilli bir görüş içi füze kullanmak şeklinde olacaktır. 3 ila 3,5 km gibi kısa menzillerde gözle temas söz konusu olduğu için orta menzilli bir füze kullanmak gereksizdir. Tüm parametrelerin içerildiği çoklu regresyon da denenmiş ve tüm parametrelerin kayda değerlik etkisinin 0,05'den küçük olduğu, dolayısı ile model içerisinde tutulması gerektiği gözlenmiştir.

Bu durumda ikinci bir regresyon analizinin hedef av açısını dikkate alan sınıflandırma ile yapılmasının daha faydalı olacağı gözlenmiştir. Bu nedenle hedef av açıları gruplanarak ikinci bir analize gidilmiştir. İkinci analizin sonuçları birinciye göre daha iyidir. 0 ile 180 derece arası görüş açıları 13 aralığa bölünmüş ve R_{MAX1} değerleri analize sokulmuştur. Sonuçlar tatmin edicidir. Ortalama R^2 değeri 0,973 olup önceki modelden daha yüksek bir uyum göstermektedir. Alt ve üst limit bölgelerine yığılmış hatalar giderilmiş, her bölgede uyum gözlenmiştir. Model aşağıda verilmektedir.

$$R_{Max1} = c_1 + c_2 * (h_{ac}) + c_3 * (h_{ac})^2 + c_4 * log(h_{ac}) + c_5 * (M_{ac}) + c_6 * (M_{ac})^2 + c_7 * (M_{ac})^3 + c_8 * log(M_{ac}) + c_9 * (h_{tgt}) + c_{10} * log(h_{tgt}) + c_{11} * (M_{tgt}) + c_{12} * (M_{tgt})^2 + c_{13} * (M_{tgt})^3 + c_{14} * log(M_{tgt}) \quad (2)$$

R_{MAX1}: Manevra yapmayan hedef için izin verilen maksimum angajman mesafesi (ft)
h_{ac}: Avcı uçağı irtifası (ortalama deniz seviyesinden yükseklik, ft)
M_{ac}: Avcı uçağı Mach sayısı (standart atmosfere göre)
h_{tgt}: Hedef uçak irtifası (ortalama deniz seviyesinden yükseklik, ft)
M_{tgt}: Hedef uçak Mach sayısı (standart atmosfere göre)

Aşağıdaki tabloda yukarıdaki denklemde kullanılacak katsayılar matrisi verilmiştir. Bu katsayıların yukarıdaki (2) numaralı denklemle kullanılması durumunda maksimum

etkili menzil değeri her bir görüş açısı aralığı için hesaplanabilmektedir. Denklemin angajman benzetiminin her bir benzetim döngüsünde yeniden hesaplanması gerekmektedir. Ancak 6 özgürlük dereceli (6DoF) bir model koşturmakla kıyaslandığında bu yöntemin ne kadar avantajlı olduğu açıkça görülecektir. Ayrıca verilen modelin ortalama hatası ~2200 ft civarındadır. Menzili onlarca kilometre olabilecek füzeler için ~680 metre civarındaki bu hata kabul edilebilir görülmüştür.

Modelin temel avantaj iteratif bir şekilde hesaplanacak bir model yerine basit bir matematik ifade ile büyük zaman avantajı sağlamasıdır. 6DoF parçacık ağırlık bir modelin işletilmesi yöntemiyle maksimum menzil hesaplanması ile kıyaslandığında bu yöntemin kolaylığı son derece açıktır. Ayrıca görülmüştür ki, bu yöntem uygun şekilde geliştirildiğinde sadece maksimum menzil değeri için değil, minimum menzil, karar menzili vb. angajman geometrilerinde önemli pek çok değerin hesaplanmasında rahatlıkla kullanılabilir.

Tablo 2. Katsayılar matrisi, açıya göre gruplanmış.

Açı Aralığı	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14
0 7,5	2744,643	0,069	1,07E-05	0,000	8012,191	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	-4023,01	0,000	0,000	-31290,179
7,5 22,5	-1153,245	0,000	1,17E-05	1578,142	68,231	0,000	0,000	2809,296	0,061	0,000	-4438,771	0,000	0,000	-30806,333
22,5 37,5	-43711,230	-0,528	1,90E-05	12716,570	6819,846	0,000	0,000	3629,581	0,064	0,000	0,000	-1424,34	0,000	-35443,841
37,5 52,5	-58282,792	-0,711	2,24E-05	16510,622	8987,556	0,000	0,000	0,000	0,070	0,000	0,000	-1909,56	0,000	-35405,775
52,5 67,5	-8272,095	0,000	1,34E-05	2541,432	8158,785	0,000	0,000	2887,641	0,073	0,000	0,000	0,000	-907,601	-44436,055
67,5 82,5	-23991,083	0,000	1,38E-05	3551,960	10171,730	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000	11633,170	0,000	-2579,42	-61745,949
82,5 97,5	-23967,057	0,000	1,47E-05	4290,897	10690,525	0,000	0,000	0,000	0,083	0,000	9711,906	0,000	-2770,60	-58114,141
97,5 112,5	-26232,985	0,000	1,64E-05	4367,576	11106,315	0,000	0,000	0,000	0,096	0,000	14277,554	0,000	-3119,980	-65112,192

Açı Aralığı	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	c10	c11	c12	c13	c14
112,5 127,5	-44432,658	0,000	1,96E-05	4181,627	9130,821	0,000	0,000	4818,178	0,000	4948,479	20758,588	0,000	-3372,98	-74949,706
127,5 142,5	74840,000	0,000	2,46E-05	4741,827	11584,930	0,000	0,000	0,000	0,000	6454,492	-136503,[illegible]	30079,299	0,000	120646,659
142,5 157,5	-7124,382	0,000	3,04E-05	9764,367	13992,209	-1200,51	0,000	0,000	0,000	9134,106	0,000	-71759,862	25419,562	115573,899
157,5 172,5	-90122,122	0,000	3,91E-05	12576,527	13046,160	0,000	-486,765	0,000	0,000	11734,622	9954,504	17764,916	-7191,86	0,000
172,5 180	-151830,614	-1,158	5,71E-05	33393,348	13112,136	0	-525,009	0,000	0,091	7616,194	25516,836	0,000	0,000	0,000

Bu çalışmada her hangi bir araştırmacının bir harekat benzetimi ya da analizi esnasında kullanabileceği, hedef ve avcı parametreleri ile değişen dinamik bir etkili menzil modeli elde edilmiştir. Sonuçlar orta menzilli füzelerin etkili alanlarını hızlı ve kabul edilebilir doğrulukta hesaplayabilecek bir istatistiksel model olduğunu göstermektedir. Bu model füze parametrelerini (füze eylemsizlik moment matrisi, füze moment fonksiyonları vb.) bilmeyen araştırmacılar için; orta menzilli hava-hava füzelerini kapsayan ve istatistiksel olarak kabul edilebilir (δ=0,0009 < 0,05) bir etkili menzil matematik modeli sağlamıştır. Ayrıca yüklü numerik iterasyonlar gerektirmediği için oldukça rahat kullanılabilir durumdadır. Orijinal füze değerleri gizlilik nedeniyle kullanılamadığı için rastgele olarak bozulmuş parametrelerden çalışılmış ancak sonucunda bu modelin hava-hava füzelerine yüksek başarıyla uygulanabileceği gösterilmiştir (r^2=0,973, Ortalama hata 2228 ft.).

6. KAYNAKÇA

[1] Geridönmez F., Adıgüzel T., (2014), Akıllı hava-yer bombaları için regresyon modeline dayalı atış kontrol hesaplamaları, V. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, Kayseri, UHUK-2014-018.

[2] Field A., (2009), Discovering statistics using SPSS, 3. Baskı, SAGE Publications, Londra, 978-84787-906-6.

[3] Wilcox R.R., (2010), Fundamentals of modern statistical methods- substantially improving power and accuracy, Springer, New York, 978-1-4419-5524-1.

[4] Strickland J. (2011), Missile flight simulation, surface-to-air missiles. Lulu Inc. Colorado Springs ABD, 978-1-105-10281-3.

[5] Blakelock J.H., (1991), Automatic control of aircraft and missiles. ed. 2. John Wiley and Sons Inc. New York ABD, 0-471-50651-6.

HASTANE RANDEVU, MUAYENE VE TAHLİL SÜREÇLERİNİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Murat Tevfik Yağlıcı [(a)], Elif Çulhacı [(b)]

[(a)] ARF Bilgi Teknolojileri, ODTÜ Teknokent/ANKARA, murat.yaglici@arf-bt.com

[(b)] ARF Bilgi Teknolojileri, ODTÜ Teknokent/ANKARA, elif.culhaci@arf-bt.com

ÖZ

Sağlık hizmetlerinde yaşanan eksikliklerin giderilmesi ve gelişme sağlanması için bir simülasyon modeli oluşturulması amaçlanmıştır. Model oluşturulurken göz önünde bulundurulması gereken öncelikli maddeler; randevu bekleme süresi, hastane bekleme salonunda geçirilen süre, hastanın sağlık ve ekonomik durumu, hastanın yaşı, muayene kalitesi (süre ve kapsam), muayene ücreti, doktor tarafından günde bakılan hasta sayısı şeklinde sıralanabilir. Oluşturulacak matematiksel model hem hasta hem de doktor açısından değerlendirilmelidir. Gereksinimler, verilerin istatistiksel analizi gerçekleştirilerek saptanmalıdır.

Modelde; hastanın kararına göre bir ücret farkı ödenerek, özel hizmetler sunulabilecektir. Hasta özel sisteme kayıt olmayı seçtiğinde, kendisine bir doktor atanması sağlanacaktır. Böylece; sistematik bir randevu sistemi aracılığıyla doktor muayenesi için, hastanın bekleme süresinin en aza indirgenmesi ve süreklilik esasına dayalı olarak (aynı doktor tarafından muayene) hastanın sağlık geçmişine hakim bir doktor tarafından kaliteli ve zaman kaybı olmadan muayene edilmesi sağlanabilecektir. Özellikle ekonomik durumu normal ve normalin üstünde olan ama sağlık durumu normalin altında olan, yaşlı hastalar için bu avantajlar, ödenen ücret farkına göre daha önemli olmaktadır. Benzer şekilde, doktorların da bu sisteme kayıt olmaları ile günde daha az hasta bakmaları, hastaya uygun süre ayırarak mesleki tatmin sağlamaları ve memnun edici kazanca sahip olmaları mümkündür. Sistemde toplanan ücretlerin bir kısmı ise, sistem dışındaki hastaların tedavilerine yardım için sosyal refaha katkı olarak kullanılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hastane Modeli Tasarımı, Hastane Yönetimi Bileşenleri, İstatistiksel Analiz, Karar Problemi, Sağlık Hizmetleri, Simülasyon

MODELLING AND SIMULATION OF HOSPITAL APPOINTMENT, EXAMINATION AND ANALYSIS PROCESSES

ABSTRACT

In order to overcome the difficulties experiences in health services and provide improvements, the study aims to construct a simulation model. The privileged items that should be beared in mind during model construction are listed as follows: the waiting time for appointment, duration in waiting room, the health and economic condition of patients, age of patients, the quality of examination (duration and scope), fee of examination, the number of patients that are examined by a doctor per day. The model that will be constructed should be considered according to patients and respectively doctors. The requirements should be determined by making statistical analysis of data.

By paying an extra fee, private services will be offered with respect to decision of patients. If the patient prefers to register the system, a doctor will be assigned to him/her. Consequently, the waiting time for doctor examination will be minimized by a systematical appointment system. Furthermore, the continuity of care and comprehensive examination is guaranteed by a doctor who has knowledge about the health record of the patient without extra time consumption. It is expected that especially the patients whose economic situation is normal or above normal will register the system if they are old or their health conditions are below normal, because the advantages of the system are more important than fee difference in their situation. Similarly, the system has advantages for the doctors. If a doctor decides to sign up, he/she will see less patients per day. Moreover, she/he could spend more time for the patients. As a result, the member doctor will have professional satisfaction and satisfied revenue. Lastly, the proposed system could contribute also to social welfare by using determined percentage of collected extra fees for the treatment of patients who do not have membership for the system.

Keywords: Components of Hospital Management, Decision Problem, Design of Hospital Model, Health Services, Simulation, Statistical Analysis

1. GİRİŞ

Sağlık servislerinin ve hastanelerin hizmet süreçlerinin modellenmesi sonucu, sistemde var olan eksikliklerin tamamlanması (yetersiz personel, eksik ekipman gibi) ve mevcut sorunların çözülmesi (muayene için uzun bekleme süresi, tahlil sonuçlarının geç alınması gibi) çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır [5]. Model; hasta ve doktor açısından ele alınarak çift yönlü bir kullanım ve fayda sağlanması hedeflenmektedir. Hastane içinde yer alan listelenen süreçleri bir bütün olarak içeren ve etkin bir çözüm sunan bir simülasyon sisteminin tasarımı amaçlanmıştır [6], [7].

- Randevu Alma Süreci
- Hasta Kayıt ve Kabul İşlemleri
- Muayene Süreci
- Tahlil, Analiz ve Görüntüleme İşlemleri
- Sonuç Gösterme ve Kontrol Muayenesi
- Hasta Çıkış İşlemleri
- Acil Servis Süreçleri

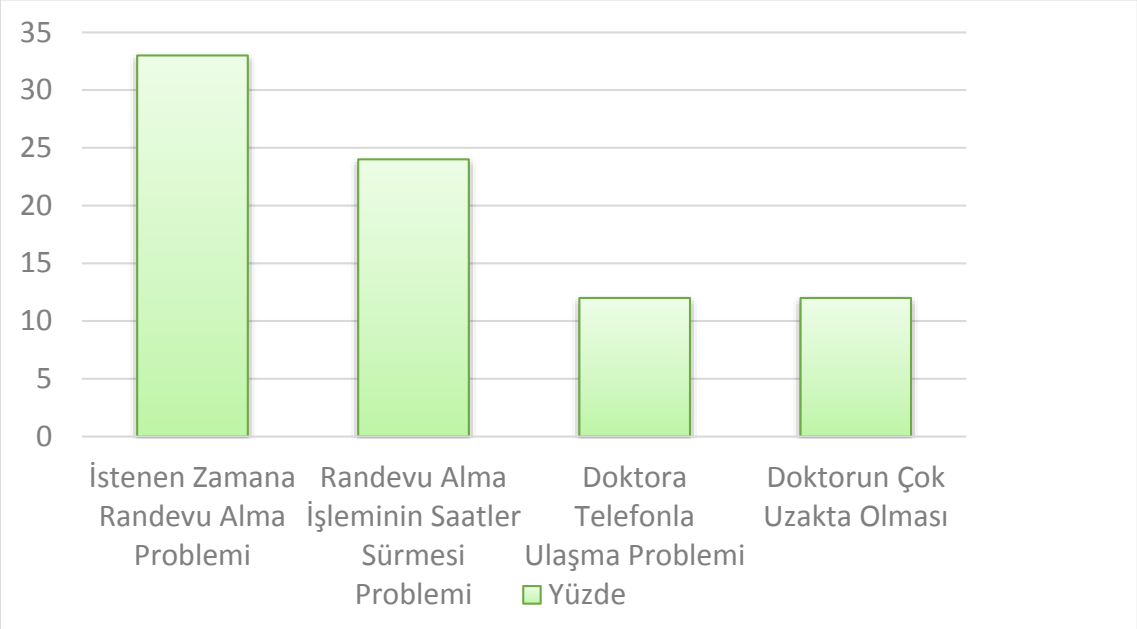
2. PROBLEM TANIMI

Sağlık servisleri alanında yaşanan sorunlar, hem hasta hem de doktor açısından ayrıca değerlendirilmelidir.

2.1. Hasta Bakış Açısı

Hastaların sağlık hizmetine erişimi sırasında bir takım zorluklar görülmektedir. Randevu alma işlemi ve doktora ulaşmada yaşanan sıkıntılara ek olarak, hastanelerde yaşanan en önemli sorunlardan birisi hastanın doktor muayenesi için bekleme süresinin oldukça uzun olduğu durumların gözlemlenmesi ve muayenenin geç gerçekleşmesidir (bkz. Şekil 1). Bu konu, özellikle yaşlı hastalar için büyük zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Baston kullanan ya da yaşı nedeniyle muayene talebinden ayrı başka sağlık problemleri de olabilen bu grubun uzun süre bekletilmesi uygun değildir. Ek olarak; öngörülemeyen bazı kritik durumlar hasta bekleme odasındayken ortaya çıkabilir, bekleme esnasında hastanın sağlık durumunda kötüleşme görülebilir.

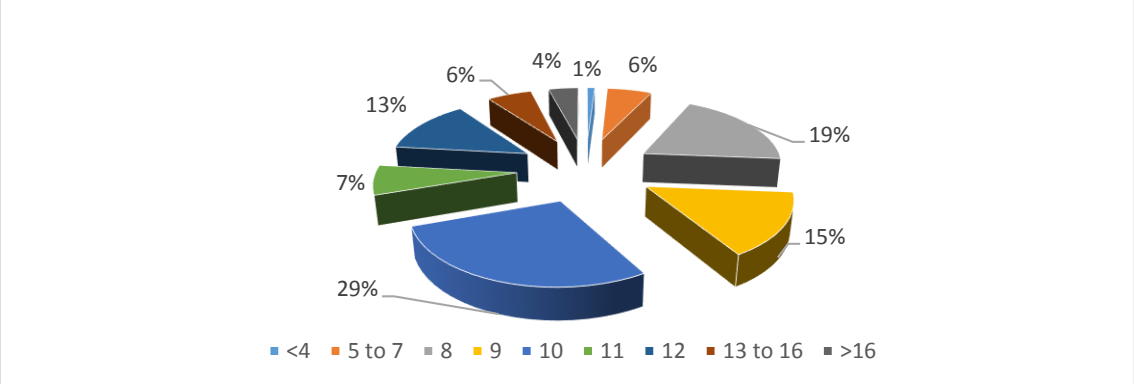
Hastalar açısından diğer önemli bir problem ise, her hastane ziyaretlerinde uygun olan farklı bir doktordan sağlık hizmeti almaları ve muayenenin kapsamının dar oluşudur. Hastane süreçlerinin yönetimindeki eksiklikler, çoğu zaman sistematik olmayan yaklaşımlarla karşılaşılması; hastalar için yoğun bir kalabalığı beraberinde getirmektedir. Bu sebeple gerçekleştirilen kısa süreli muayeneler ve genellikle doktor tarafından hasta sağlık geçmişi ile ilgili bilgiye sahip olunmaması hastalar için yapılmış testlerin tekrarı, geç tanı gibi gereksiz yüklere ve olumsuz sonuçlara yol açmaktadır.



Şekil 1. Hastaların karşılaştığı sorunlar [1]

2.2. Doktor Bakış Açısı

Sağlık sisteminde yaşanan sorunlar doktorlar açısından da önemli yükleri ve memnuniyetsizlikleri beraberinde getirmektedir. Gün içinde yoğunlaşan hastaların muayenelerinin tamamlanabilmesi için günlük bakılan hasta sayısının normal düzeyin üstünde olması, doktorlar tarafından karşılaşılan en önemli problemdir. Yoğunluğa ek olarak, çalışma saatlerinin de oldukça uzun olması doktorların karşılaştığı diğer önemli bir sorundur. Doktorların büyük bir bölümü günlük 10 saatin üzerinde çalışmaktadır. Günlük çalışma süresine (saat) göre doktorların yüzdelik dağılımı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Günlük çalışma saatlerine göre doktorlara ait yüzdelik dilimler

İkinci bir konu ise, ağır şartlarda verilen hizmetin karşılığında kazanılan gelirin yeterli miktarda olmayışıdır. Pek çok zorluğu barındıran, riskler taşıyan, hasta için oluşabilecek riskleri öngörmeyi ve dikkati gerektiren bir mesleği dar zamanlarda gerçekleştirmeye

çalışan ve başarılı sonuçlar elde etme hedefine sahip doktorların kazançlarının daha memnun edici seviyede olması gerekmektedir.

Ayrıca; insanlara yardım etmeyi isteyerek bu mesleği seçmiş kişiler için, kısıtlı bir zaman ayırmak zorunda kalarak muayene gerçekleştirmek ve çoğunlukla ihtiyaç duyulanın altında bir bakım sunabilmek rahatsızlık duygusu yaratmaktadır. Başka bir deyişle, sistemin işleyişinde yer alan aksaklıklar doktorların mesleki tatmin sağlayamamasına sebep olmaktadır.

3. ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

3.1. Takip Edilecek İşlemler

Hastane işlemlerinin etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla;

- Sistem parametreleri belirlenir.
- Matematiksel model oluşturulur.
- Simülasyonlar aracılığıyla ihtiyaç analizi gerçekleştirilir.

Böylece, aşağıda listelenen konularda olumlu sonuçlar alınacaktır.

- Hastane ihtiyaçları doğrultusunda geliştirmeler yapılabilir. (Personel takviyesi, teknik destek, ekipman alımı gibi)
- Randevu sistemi geliştirilerek, hastane kapasitesine göre hizmet verilebilir.
- Sistematik yapı sayesinde mükerrer işlemler önlenebilir.
- Hasta ve sağlık personeli memnuniyeti sağlanabilir. (Hasta bekleme sürelerinin azalması, doktorların günlük çalışma süresinin azalması, günlük bakılan hasta sayısının azalması gibi)

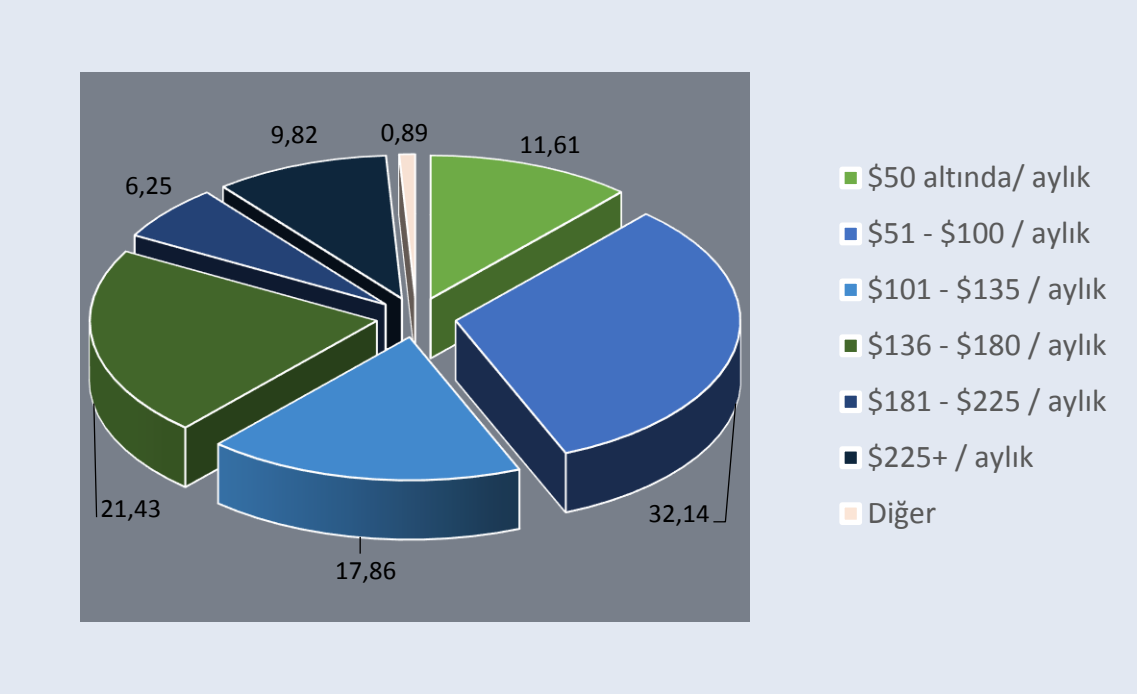
3.2. Üyelik Sistemi

Yıllık, yüksek olmayan miktarda ödeme (sigorta harici) yapılan bir üyelik sistemi oluşturulabilir. Yapılan araştırmalarda; aylık 50$ altında ödemesi bulunan üyelik sistemleri bulunduğu gözlenmiştir. Ayrıca, 225$ üstünde aylık ödeme gerektiren üyelikler yüzde olarak oldukça azdır. En büyük yüzdelik oran ise aylık 50$ ile 100$ arasında ödemesi bulunan üyelik sistemlerine aittir (bkz. Şekil 3).

Bu sistem oluşturulurken;

- Kapsamlı sağlık hizmeti sağlamayı tercih eden kuruluşlara (hastaneler ya da muayenehaneler) ve
- Kapsamlı sağlık hizmeti üyeliği talep eden kişilere gereksinim duyulmaktadır.

Üye olan ve üye olmayan kişiler için hastane süreci farklı işleyeceği için, yaşanan yoğunluğu azaltmak mümkün olabilecektir.



Şekil 3. Üyelik sistemi aylık maliyet [4]

3.2.1. Üyelik Sistemi İle Sağlanabilecek Faydalar

- Doktorun hastayı bekletmeden en kısa sürede muayeneye alması sağlanacaktır.
- Hastanın sürekli olan bir doktoru olması sayesinde, hastanın sağlık geçmişine hakimiyet sağlanacaktır.
- Koruyucu prosedürler sağlanmış olacaktır (Belli periyotlarda check-up yapılması gibi)
- Gerekli testler zamanında istenip, hızlı sonuçlar alınarak ciddi sağlık problemlerinde erken tanı mümkün olacaktır.
- Daha önce yapılmış testler, gereksiz yere tekrarlanmayacaktır.
- Hasta seyahatteyken, en yakın doğru doktora yönlendirme hizmeti verilebilecektir.
- Üyelik seçimi yapmış doktorların, kapsamlı hizmet verebilmeleri için günlük sınırlı sayıda randevu vermesi (6-10) sağlanacaktır.
- Üyelik yapmış hastaların, muayene için uygun ve yeterli zamana sahip olması sağlanacaktır.
- Üyelik yapmış hastalar için ek hizmetler sunulabilecektir. (Kilo kontrolü, beslenme programı ve sağlıklı yaşam hizmetleri gibi)

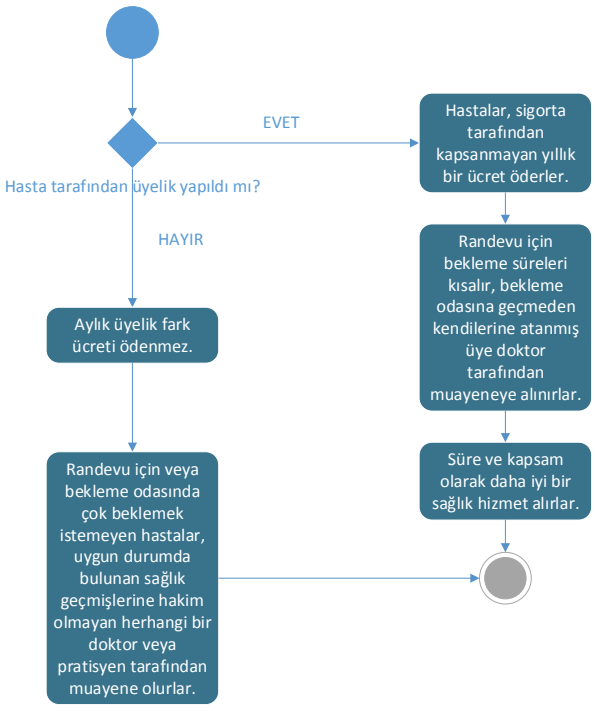
Üyelik sistemi ile elde edilen gelir vasıtasıyla; doktorlara her hasta için bir pay ayrılacaktır. Böylece, üyelik sistemini seçmiş doktorların gelirlerinde klasik işleyişe göre bir artma sağlanabilecektir. Ek olarak; gelirin bir bölümü üyeliği olmayan hastaların tedavisinde kullanılacak ve bu vesileyle sosyal refaha katkı sağlanacaktır.

Üyelik sisteminin özellikle toplumun orta ve yüksek gelirli bölümünde, orta yaş ve yaşlı nüfus tarafından tercih edileceği öngörülmektedir.

3.2.2. Sistem

Hasta ve doktorlar için bir yenilik sunacak olan ücretli üyelik sisteminin, tasarım ve yönetimi ayrıca incelenmesi gereken bir konudur. Örnek modellerin, belirlenmiş bölge ve alanlarda uygulanması ile alınan sonuçlar yol gösterici olmuştur [2]. Ek olarak, hasta ve doktorların bu sisteme geçiş için kararlarını etkileyebilecek diğer dinamiklerin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır. Hastalar ve doktorlar için sistem kullanımının getirdiği çözümler ayrı olarak irdelenmeli, sağlık hizmeti işleyişine yansıyan sonuçlar ve edinilen izlenimler doğrultusunda sistemde geliştirmeler veya uyarlamalar yapılabilmelidir [3].

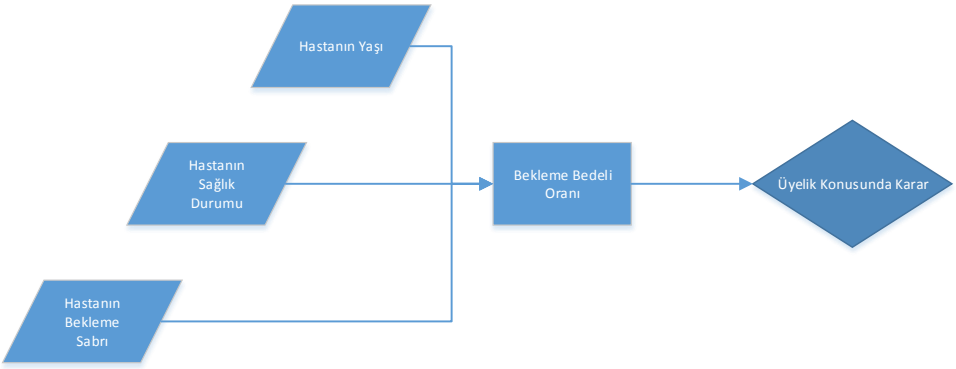
Üyelik sisteminin hasta açısından yararlarını belirlemek ve sağlanan yararların ilgili hasta için öncelikli olup olmadığını bilmek, hastanın bu sistemi tercih edip etmemesinde önemli rol oynayacaktır. Bu sebeple; aylık üyeliği olan bir hasta ve üyeliği olmayan bir hasta için ilgili hastane süreçleri, Şekil 4'te yer alan akış diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4. Üyelik sistemi hasta iş akışı

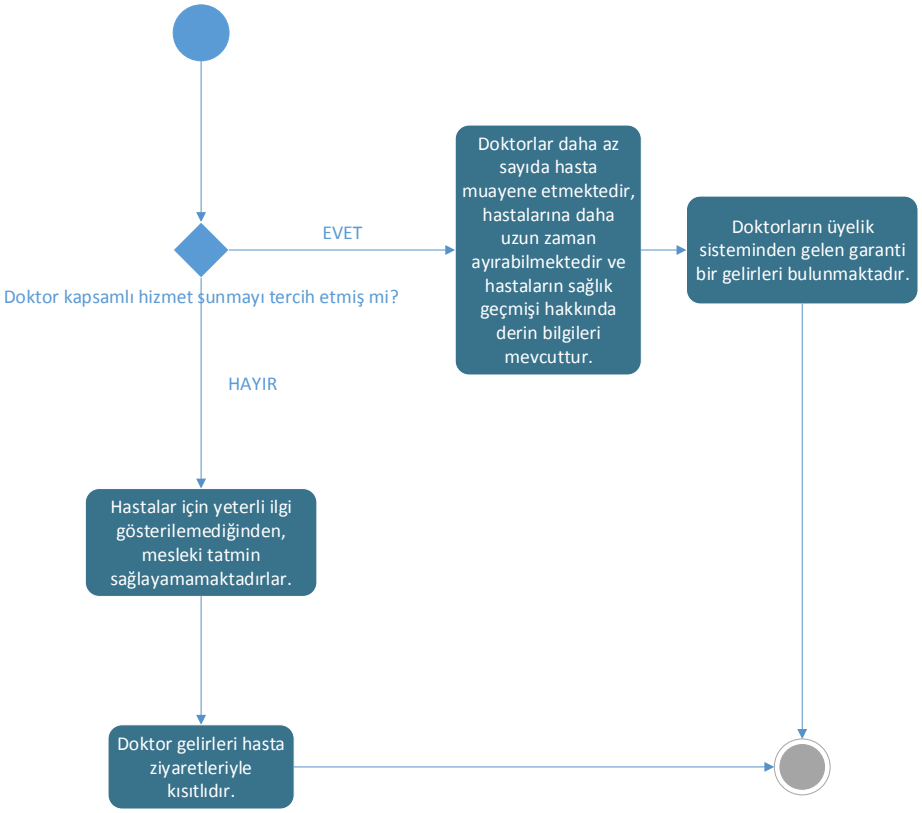
Hastanın sisteme üye olup olmama kararı; yaş, sağlık durumu ve muayeneye ayırabileceği zaman limitine göre değişkenlik göstermektedir (bkz. Şekil 5). Örnek verilecek olursa,

yaşlı ve farklı sağlık problemleri olan bir hasta beklemek yerine aylık bir ücret karşılığında öncelikli hizmet almayı seçebilir. Çünkü beklediği süre zarfında, o sırada yaşadığı sağlık problemi ağırlaşabilir ve diğer rahatsızlıklarını da tetikleyip durumunu daha ciddi bir hale getirebilir.



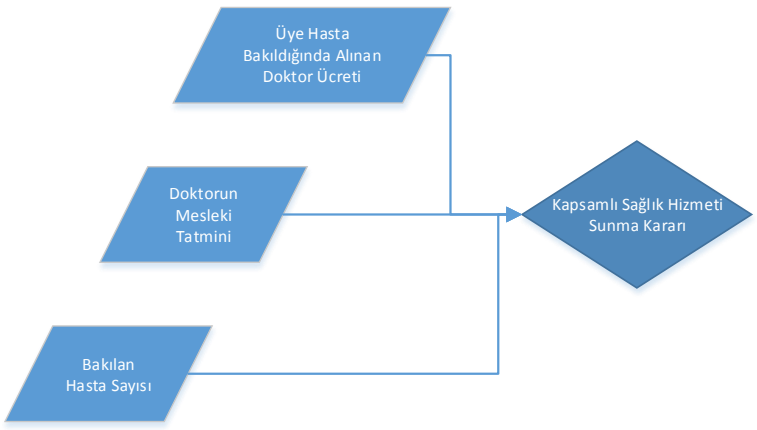
Şekil 5. Modelde hastanın üyelik kararını etkileyen faktörler

Sistemi tercih etmiş hastalara hizmet verecek doktorların, hastanedeki diğer hastalardan bağımsız çalışabilmesi gerekmektedir. Bu sebeple; sistemin üyesi olan hastalar gibi sisteme üye olan doktorlar da bulunmaktadır. Sistem hastalara sağladığı faydaların yanı sıra, bu sağlık hizmetini sunmayı tercih etmiş doktorlara da avantajlar getirmektedir. Sisteme üye olan ve olmayan doktor için geçerli durumlar Şekil 6'da yer alan akış diyagramında belirtilmiştir.



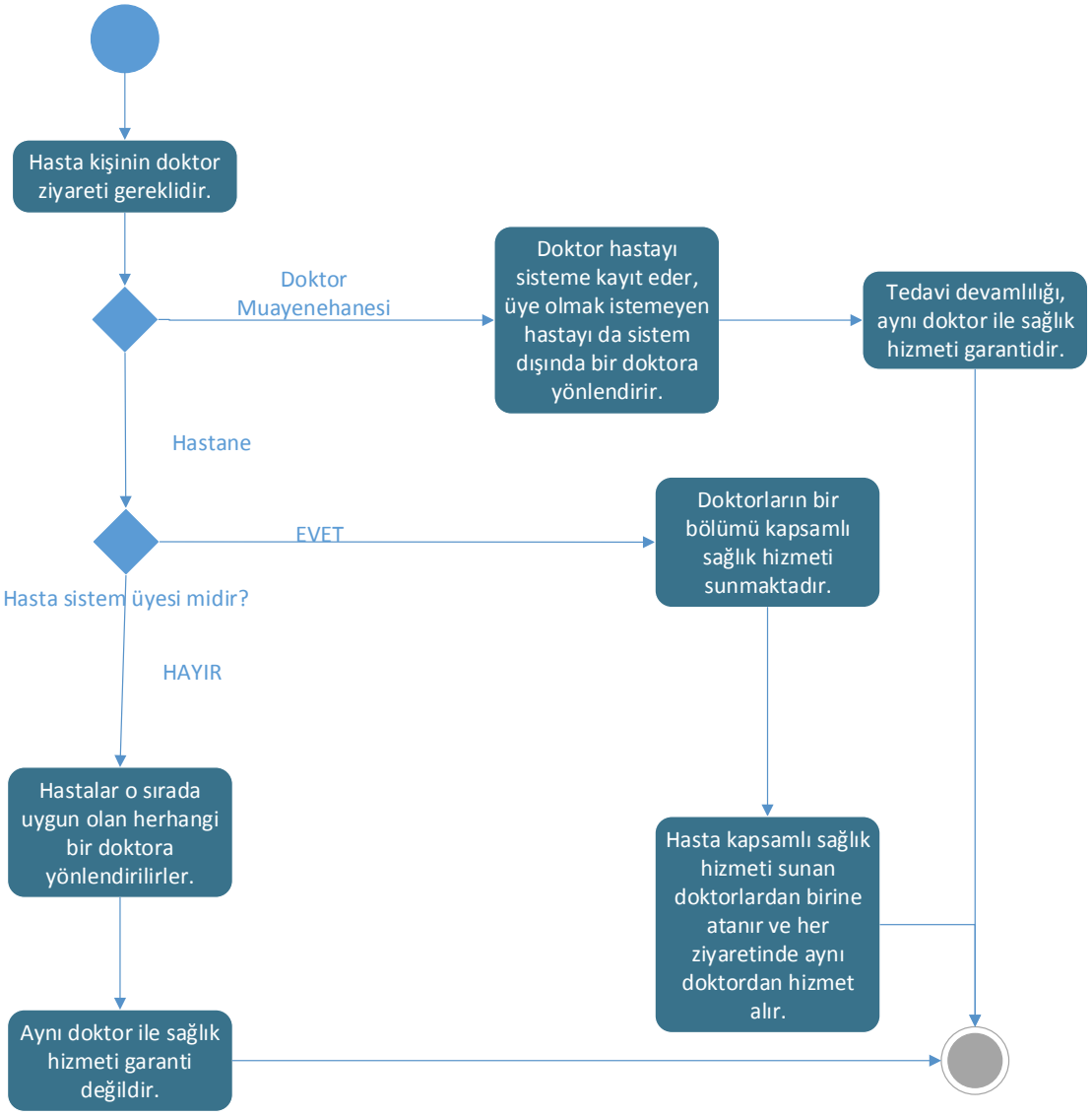
Şekil 6. Üyelik sistemi doktor iş akışı

Sisteme üye olmayı ve kapsamlı hizmet sunmayı seçen doktorların kararını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Hizmet karşılığı alınan ücret gibi maddi etmenlerin yanı sıra, yaşanan mesleki tatmin ve bakılan hasta sayısının azalması gibi doktor için önemli olan koşulların düzelmesi verilen kararda etkili olmaktadır (bkz. Şekil 7).



Şekil 7. Modelde doktorun üyelik kararını etkileyen faktörler

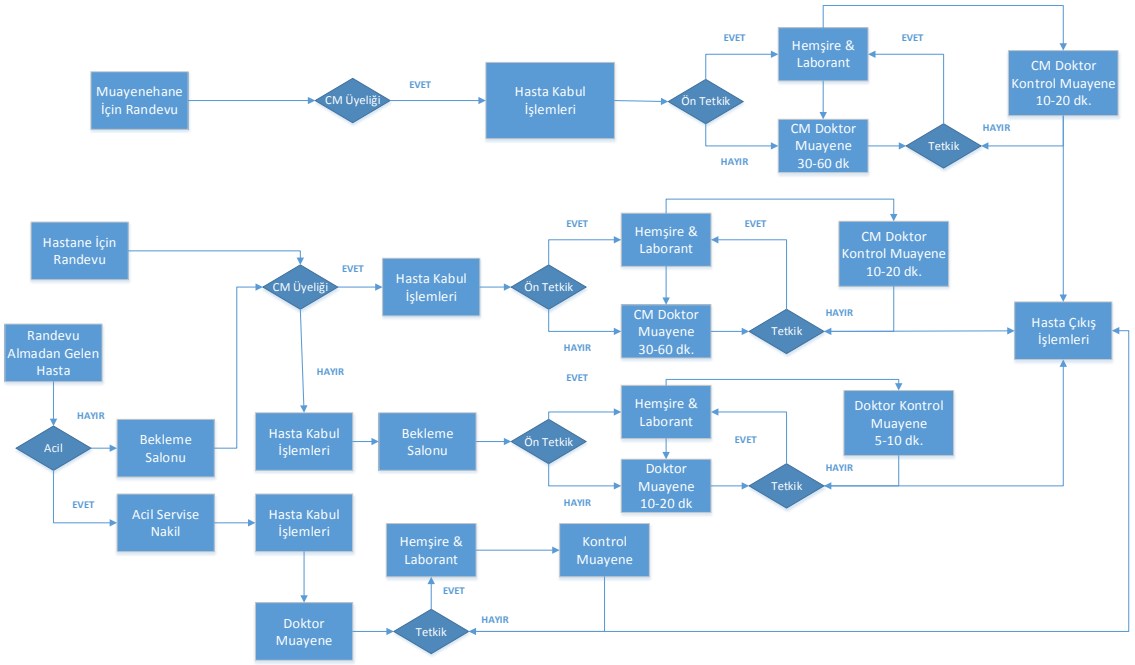
Sağlık hizmeti iki ayrı biçimde incelenebilir. Muayenehanede tek doktor tarafından sunulan hizmet ve hastanede bulunan birden fazla doktoru kapsayan sistem için işleyecek süreçler Şekil 8'de yer alan akış diyagramında tarif edilmiştir. Muayenehanede hizmet sunan doktorun üyelik sistemine kayıtlı olduğu ve muayenehaneye giden hastanın sisteme üye olmayı kabul ettiği varsayılmıştır.



Şekil 8. Sistemin genel işleyişi

3.2.3. Önerilen Model

Üyelik sistemi Concierge Medicine (CM) olarak adlandırılmıştır ve sistemde muayenehanesi olan doktorun CM hizmeti vermeyi tercih ettiği varsayılmıştır. İşleyişte iyileştimeler yapabilmek için; her hastanenin kendi istatistiki verilerinin analizi gerçekleştirilerek, uygun dağılımların bulunması ve Şekil 9'da yer alan simülasyon modelinin ARENA programı yardımıyla çalıştırılarak hastane ile ilgili gereksinim ve eksikliklerin saptanması gerekmektedir.



Şekil 9. Arena programında kullanılacak model yapısı

4. SONUÇ

Üyelik sistemini uygulayan PinnacleCare içinde, alınan olumlu sonuçlar Tablo 1'de listelenmiştir. Sistemin daha planlı ve işler hale getirilmesi sayesinde, uzmanların yoğunlukları azaltılmıştır. Böylece ihtiyaç halinde uzman sağlanma yüzdesinde artış görülmüştür. Üye hastaların sağlık geçmişine hakim doktorlar tarafından muayenehanesi sağlanmıştır, böylece testlerin tekrarı ile yaşanan vakit kaybı önlenmiş gereksiz cerrahi işlemlere başvurulmamıştır. Daha kapsamlı ve daha uzun süreli bir muayene imkanı sağlandığından, tanı ve teşhis stratejilerinde değişiklik yaşanmış ve tedavi planları iyileştirilmiştir.

Tablo 1. Üyelik sistemi ile alınan olumlu sonuçlar

SONUÇ	OLUŞMA SAYISI	YÜZDELİK DİLİM
Daha önce tavsiye edilen cerrahi işlemlerden kaçınılması	**18**	**1,79 %**
Tanıda değişiklik	**32**	**3,17 %**
Teşhis stratejisinde değişiklik	**75**	**7,44 %**
Daha önce tavsiye edilen cerrahi işlemlerde	**13**	**1,29 %**
Tedavi planında değişiklik	**209**	**20,73 %**
Sağlık merkezi hizmetlerinin mükemmele taşınması	**126**	**12,50 %**
Uzman sağlanan bir hizmet sunulması	**292**	**28,97 %**
Gereksiz testlerden kaçınılması	**10**	**1,00 %**
TOPLAM (İncelenen olay sayısı=1000)	**775**	**76,89 %**

5. KAYNAKÇA

[1] Bradlay C. Strunk and Peter J. Cunningham (2002), Treading Water: Americans' Access to Needed Medical Care, 1997-2001, *Center for Studying Health System Change, Tracking Report*, No. 1

[2] Gavirneni, S., Manikas, A., Kulkarni, V., Karageorge, A. (2013), Concierge Medicine: Adoption, Design, and Management

[3] Gavirneni, S., Kulkarni V. (2013), Concierge Option for a Service Offering: Design, Analysis, Impact, and Adoption

[4] http://www.conciergemedicinetoday.com

[5] Paranjape, R., Sadanand, A. (2010), Multi-Agent Systems for Healthcare Simulation and Modeling, Medical Information Science Reference: Hershey PA, ABD

[6] Robinson, S. (2011), Choosing the Right Model: Conceptual Modeling for Simulation

[7] Sturrock, D.T. (2011), Tips for Successful Practice of Simulation

BİR BİLGİ SİSTEMİ MODELİ VE HİTİT ÇİVİYAZISI İŞARETLERİNİN OKUNMASI

Tunç Aşuroğlu [(a)] , A. Ziya Aktaş [(b)]

[(a)] Başkent Üniversitesi, Bağlıca Kampüsü - Ankara, tuncasuroglu@baskent.edu.tr

[(b)] Başkent Üniversitesi, Bağlıca Kampüsü - Ankara, zaktas@baskent.edu.tr

ÖZ

Anadolu'da M.Ö. 1650 - 1200 yılları boyunca hüküm süren Hitit krallığı ve imparatorluğu o dönem dünyasının en büyük güçlerinden birisi sayılmaktadır. Hititlerin kullandığı Hititçe, Hint-Avrupa dil ailesinin bilinen en eski üyesidir. Hititler dünyada kütüphane kavramını uygulamaya koyan ilk toplumlardan biridir. Hititler çeşitli konulardaki metinleri Hitit çiviyazısı ile yaş kil tabletler üstüne yazıp tabletleri pişirerek kalıcı hale getirmişlerdir. Böylece yer altında gömülü bulunan kil tabletlerin çoğu hala okunabilir durumda kalabilmiştir.

Hitit çiviyazılı metinlerin okunması, çevrilmesi, yorumlanması ve gramer kurallarının kullanımı yaklaşık yüz yıldır "ele ve insana" dayalı olarak yapılan, uzun süre ve emek isteyen, pahalı bir uğraştır. Anadolu'da yerüstünde ve hâlâ yeraltında bulunan kil tabletler üstündeki çiviyazısı işaretlerini günümüz bilgi ve bilgisayar destekli tekniklerle okuyabilmenin sadece Anadolu değil tüm insanlık tarihi ve kültürü açısından önemli olduğuna inanıyoruz.

Çalışmamızda "Hititçe Bilgi Sistemi" kısaca, HIT-BILSIS adını verdiğimiz bilgi ve bilgisayar destekli bir bilgi sistemi modeli toplam yedi alt sistemden oluşmaktadır. Bu makalede bu alt sistemler tanıtılacak, imge işleme yöntemleri ile çiviyazısı işaretlerinin okunması, çevirisinin yapılması amacıyla yapılan bir çalışmanın özeti sunulacaktır. Hitit çiviyazısı işaretlerinin okunması için 10'dan fazla imge işleme algoritması başarıyla kullanılmıştır. Makalede bu çalışmalar hakkında da bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Çiviyazısı işareti okuma, Çiviyazısı işareti çevirisi, Hitit çiviyazısı, İmge işleme, Karakter Tanıma.

AN INFORMATION SYSTEM MODEL AND HITTITE CUNEIFORM SIGN RECOGNITION APPLICATION

ABSTRACT

In Anatolia the kingdom and empire of the Hittites had ruled nearly half a millennium during the years BC 1650-1200. It was considered one of the greatest world powers of that time. Hittite language that the Hittites used is the oldest member of the Indo-European language family. The Hittites were one of the first communities that had adopted the concept of library. The Hittites used cuneiform signs to write on wet clay tablets and baked them later to be permanent and durable.

The study of Hittite language grammar rules followed transliteration, transcription and translation phases manually on the Hittite cuneiform tablets. It takes a long time; it requires financial support and a special know-how and expertise to perform this job. Many more tablets are still waiting under and over ground in Anatolia to be read and translated. Being able to read the signs on cuneiform clay tablets using computer-aided techniques, we believe it would be a significant contribution not only to Anatolian but also to human history.

A computer-aided information system model named "Hittite Information System" consists of seven sub-systems. These sub-systems will be introduced in the paper. In order to recognize cuneiform signs with image processing techniques to perform the translation will also be summarized. More than 10 algorithms were used successfully in recognition of Hittite cuneiform characters. Some of the work we have been doing will be summarized in the article.

Keywords: Character recognition, Cuneiform character recognition, Cuneiform character translation, Hittite cuneiform script, Image processing.

1. GİRİŞ

Milattan önce 1650-1200 yılları arasında Anadolu'da hüküm süren Hititler o dönem dünyasının büyük güçleri arasında sayılmışlardır. Hititlerin kullandığı ve Hititçe diye bilinen dil, Hint-Avrupa (Indo-European) dil ailesinin bir üyesidir. Daha da ilginci, Hititçe bu dil ailesinin hâlâ okunabilir ve dil bilgisi (gramer) kuralları bilinen en eski bir örneğidir. Bu özellik Hititleri ve Hititçeyi başta ABD, Almanya ve İngiltere olmak üzere çeşitli Batı ülkelerinde ilginç ve tarihsel olarak değerli kılmaktadır.

Hititçe dilinin gramer kuralları ilk olarak 20. yüzyılın başlarında, 1915 yılında, Çek bilim adamı Bedrich Hrozny tarafından ortaya konduktan sonra, günümüze kadar Hitit çiviyazılı metinlerin okunması, çevrilmesi, yorumlanması ve yeni gramer kurallarının

kullanımı genel olarak “ele ve insana” dayalı olarak yapılagelmiştir. Metinlerin okunup gerekli çevirilerin yapılabilmesi özel olarak yetişmiş, deneyimli ve uzman kişiler gerektirdiği için uzun süre ve emek isteyen, pahalı bir uğraş olmuştur.

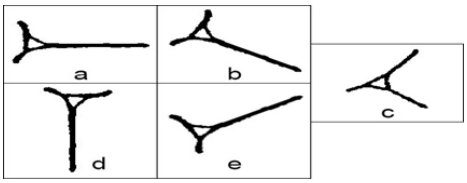
Literatürde Hitit çiviyazısı üzerine bilgisayar destekli olarak yapılan ilk çalışma 1988 yılında ODTÜ’de yapılmıştır [1]. Bilgisayar desteği ile Hititçe işaretlerin okunması ile ilgili bir çalışma 2014 yılında Başkent Üniversitesinde gerçekleştirilmiştir [2]. Bilgisayar desteği ile Hitit çiviyazısı üzerine yapılan en son tez çalışmalarından ikisi de 2015 yılında Başkent Üniversitesinde gerçekleşmiştir [3], [4]. Ayrıca, Hitit çiviyazısı bir semboller dizisi olduğu için, Sümerce tabletler üzerine olan çalışmalar ve Çince, Arapça, Japonca, Banglaca gibi Latin alfabesinden farklı alfabeler içeren diller üzerine yapılan bazı karakter tanıma ve okuma çalışmaları da önceki çalışmalar arasında sayılabilir [5], [6] ve [7]. Bu bildiride Hitit çiviyazısı tabletlerinin üzerindeki metinlerin bilgisayar destekli çağdaş görüntü işleme teknikleriyle okunmasını, tanınmasını ve anlaşılmasını sağlamayı amaçlayan bir çalışma özetlenmiştir. Önce Hitit çiviyazısının özelliklerinden bahsedildikten sonra Hititçe Bilgi Sistemi (HİT-BİLSİS) adında bir bilgi sistemi modelinden bahsedilip, Hitit çiviyazısı işaretlerinin okunmasında kullanılan imge işleme algoritmaları tanıtılacaktır. Daha sonra, örnek olarak seçilen çiviyazısı işaretlerine algoritmalar uygulanılıp elde edilen sayısal sonuçlar denemeler bölümünde gösterilecektir. Bildiri, özet ve sonuç bölümü ardından kaynakça ile son bulmaktadır.

2. HİTİTLER VE HİTİT ÇİVİYAZISI

Hititler dünyada kütüphane ve arşiv kavramını uygulamaya koyan ilk toplumlardan biri olarak da tanımlanabilirler. Özellikle devletlerarası antlaşmaları, din, hukuk, yönetim, tıp ve astronomi bilgilerini, ilahileri, duaları, destanları, mahkeme tutanaklarını, kral ve soyluların başarılarını anlatan metinleri içeren bu tabletlerin şimdiye kadar göreceli olarak az bir bölümü gün ışığına çıkarılabilmiş, daha da azı okunup değerlendirilebilmiştir. Çorum Boğazköy’de ele geçen Hitit çiviyazılı tabletler UNESCO tarafından 22 Ocak 2002 tarihinde Dünya Kültür Mirasında Dünya Belleğine (Memory of the World Register) kaydedilmiştir.

İnsanlık tarihinde bundan yaklaşık 5000 yıl önce başlangıçta Mezopotamya’da Sümerler tarafından icat edilen “resim yazısı” zamanla Akadlar tarafından bir başka yazı tipi olan çiviyazısına dönüştürülmüştür. Tarihin bu bilinen ilkyazı sistemi, Anadolu’da Akadlarla ticaret yapan Hititler tarafından “Hitit çiviyazısı” denilen bir yazıya dönüştürülmüştür. Çiviyazısı, kavramların grafik olarak gösterildiği ideogram (kelime işareti) ile hece işaretlerinin bir araya gelmesiyle oluşan sözcüklerin bulunduğu bir yazı sistemidir. Hitit çiviyazısında, yazıyı oluşturan temel işaretler özel olarak hazırlanmış yaş kil tabletler üzerine kamış veya benzeri aletlerle yazılmıştır. Kil tabletler üzerine metinler yazıldıktan sonra da pişirildiği için toprak altında binlerce yıl bozulmadan kalabilmiştir.

Hitit çiviyazısında toplam 375 adet farklı işaret bulunmaktadır [8]. Bu işaretlerin hepsi de en temel 5 işaret ile tanımlanmışlardır [9] [10]. Şekil 1 içinde Hitit çiviyazısına ait en temel beş işaret verilmiştir. Her bir işaret bir kelimeyi veya bir heceyi temsil ettiği gibi birkaç işaret birleşerek de bir kelimeyi oluşturabilir. En temel işaretlerden biri olan yatay işaret, çamur halindeki kil tablet üzerinde yazı aletinin eğik olarak kullanılması ile oluşturulan bir işarettir (Şekil 1a). Diğer temel işaretler bu işaretin farklı açılarda (-45°, -90°, +45°) uygulanması ile oluşturulmuş olan işaretlerdir (Şekil 1 b, d, e). İşaretlerin temel bileşenleri arasında farklı olan ve "köşe çengeli" olarak adlandırılan işaret ise (Şekil 1c) yazı aletinin çamur halindeki kil tablet üzerinde dikey olarak bastırılması ile oluşturulan bir işarettir.



Şekil 1. Hitit çiviyazısındaki en temel işaretler

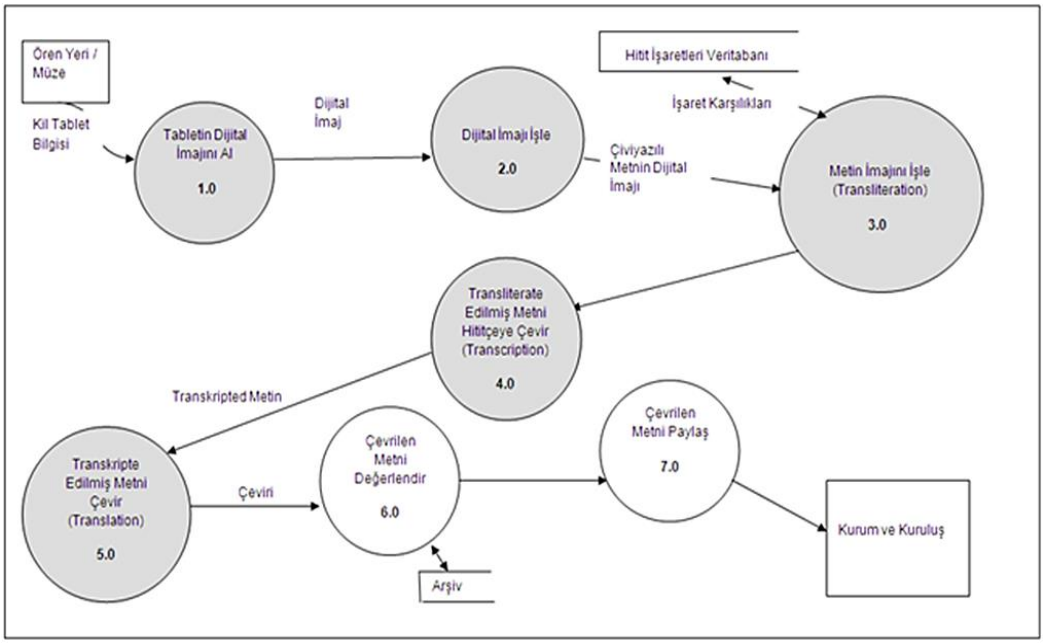
1989 yılında C. Ruster ve E. Neu adlı araştırmacılar HZL (Hethitisches Zeichenlexikon) adında Hitit çiviyazısı işaretlerini ve işaretlerin anlamlarını içeren bir sözlük çıkarmıştır [8]. Bu sözlükte işaretler numaralar verilerek indekslenmiştir. Bu numaraya işaretin HZL numarası adı verilmiştir. Hititçe üzerine yapılan çalışmalarda işaretlere HZL işaret numaraları üzerinden referans gösterilmektedir.

3. BİR BİLGİ SİSTEMİ: HİT-BİLSİS

Hititçe Bilgi Sistemi (HİT-BİLSİS) adını verdiğimiz bilgi ve bilgisayar destekli bilgi sistemi modelinin temel amacı, baştan sona bilgi ve iletişim teknolojileri (ICT, information and communications technologies) yardımıyla, kil tabletler üzerinde olan veya kâğıt ortamına aktarılmış bulunan Hitit çiviyazısı metinlerini işleyebilmektir. Süreç Hitit çiviyazısı işaretlerini dijital olarak okumakla başlar. Ardından onların Latin harf karşılıklarını bulan (transliteration); bu karakter dizilerini Hititçeye dönüştüren (transcription); Hititçeye dönüşmüş olan metinlerin de Türkçe, Almanca ve İngilizce çevirilerini (translation) ilgili kişi veya kuruluşlara çevrim-içi (on-line) ortamda iletebilen bir Bilgi Sisteminin geliştirilip işler hale getirilmesi konu edilen bilgi sistemi modelinin temel amacıdır.

Bir bilgi sistemi model çalışmalarında kullanılan güncel modellerden birisi UML yazılım paketi içindeki Kullanım Durum Diyagramıdır (Use Case Diagram) [11]. Ancak yirmi otuz yıldır kullanılmakta olan bir diğer model de Veri Akış Diyagramı (Data Flow Diagram) adıyla bilinmektedir [12]. Bu model daha kolay anlaşılabilir olması nedeniyle

bilgi ve bilgisayar mühendisliği veya bilgi ve iletişim teknolojileri, kısaca bilişim, sektöründe son yıllarda tekrar önem kazanmaya başlamıştır [13]. Bu nedenle, önerilen bilgi sistemi modelini tanımlayabilmek amacıyla Veri Akış Diyagramı kullanarak oluşturulan Genel Bakış Diyagramı, Şekil 2 olarak sunulmuştur.



Şekil 2. Hititçe - Bilgi Sistemi (HİT-BİLSİS) Genel Bakış Diyagramı

Şekil 2 içinde yer alan yedi temel süreç,

1.0 Ören yerinde veya müzede bulunan tabletin dijital imajının elde edilmesi;
2.0 Dijital imajdaki Hitit çiviyazısı işaretlerinin doğruya yakın okunup eldeki sözlük(ler)le karşılaştırılması;
3.0 Doğru olarak belirlenen işaret(ler)in Hititçe sözlük veri tabanından Latin harfleri ile karşılıklarının bulunması (alfabe dönüşümü - transliteration);
4.0 Bir önceki süreçte işaret(ler) için bulunan Latince harf, hece veya sözcüklerin Hititçe hece veya sözcüklere dönüştürülmesi (uyarlama – transcription);
5.0 Hititçeye dönüştürülen metnin Türkçe, Almanca veya İngilizce dillerine çevirisi (tercüme – translation)
6.0 Otomatik olarak çevirisi yapılan metnin konu uzmanları tarafından konu, içerik ve anlam bakımlarından değerlendirilmesi;
7.0 Elde edilen nihai metnin yurtiçi ve yurtdışı paydaş kişi ve kuruluşlarla paylaşılması.

olarak tanımlanmıştır. Bu bildiride Hititçe Bilgi Sisteminin (HİT-BİLSİS) 1.0 ve 2.0 numaralı süreçlerini kapsayan Hitit çiviyazısı işaretlerinin dijital imajının alınması ve işlenmesi ile ilgili yapılan çalışmalarımızdan bahsedilecektir.

4. HİTİT ÇİVİ YAZISI İŞARETLERİNİN OKUNMASI

Bu bölümde Hitit çiviyazısı işaretlerinin dijital imajlarının alınması ve bu işaretlerin okunmasında kullanılan imge işleme algoritmalarının kullanımına yer verilmiştir.

4.1. Hitit çiviyazısı işaretlerinin dijital imajının alınması

Hitit çiviyazısı işaretlerin dijital ortama aktarılması için Würzburg Üniversitesinin web sitesi bünyesinde bulunan Portal Mainz web sitesi kaynak olarak alınmıştır [14]. Çünkü bu web sitesinde çok sayıda tablet resmi bulunmaktadır. Çalışmada bu kaynakta bulunan tablet resimleri kullanılmıştır. Bu kaynakta bütün işaretleri içeren ve Sylvie Van Severen' in hazırladığı bir dijital işaret listesi de bulunmaktadır [14]. Bu liste Hitit çiviyazısında bulunan bütün işaretleri kapsayan ve HZL numaraları ile indekslenen yüksek çözünürlüklü işaret resimlerini içermektedir. Böylece işaretler için kullanılabilecek bir veri tabanı vazifesi görmektedir. Çalışmalar sırasında, tabletlerdeki işaretlerin karşılığı (hangi işarete denk geldiği) bulunurken bu dijital işaret listesi kullanılmaktadır.

4.2. Hitit çiviyazısı işaretlerinin okunmasında kullanılan algoritmalar

Bu çalışma sırasında kullanılan imge işleme algoritmalarının bazıları MATLAB (tool box) yazılım geliştirme ortamında [15] bulunan bazı fonksiyonların kullanılması ile hazırlanan algoritmalardır (Örnek, Algoritma 1). Örneğin, Algoritma 2 gibi algoritma ise doğrudan MATLAB Kütüphanesi içinden alınıp kullanılmıştır. 3-14 ile referans verilen algoritmalarla ilgili temel kaynaklar 16-27 ile verilmiştir. Bahsedilen algoritmalar Tablo 1 ile verilmiştir.

Tablo 1. Algoritmalar Özeti

Algoritma No.	Adı	Örnek Kaynak Numarası
1	Başkent Üniversitesi Algoritması	[4]
2	MATLAB Regionprops Kütüphanesi	[4]
3	SIFT Algoritması	[16]
4	SURF Algoritması	[17]
5	FAST Algoritması	[18]
6	BRISK Algoritması	[19]
7	MSER Algoritması	[20]
8	FREAK Algoritması	[21]
9	BRIEF Algoritması	[22]
10	ORB Algoritması	[23]
11	HARRIS Algoritması	[24]
12	Hausdorff Uzaklığı Algoritması	[25]
13	Hough Transform Algoritması	[26]
14	HOG Algoritması	[27]

Seçilen birkaç algoritmanın uygulama sonuçlarına bildirinin Denemeler kısmında yer verilmiştir. Aşağıda örnek olarak, bir algoritmanın, Algoritma 1'in kısa bir açıklaması yapılmıştır.

4.2.1. Algoritma 1

Bu algoritmada işaretler piksel sayıları (mxn) ile tanımlanan p sayıdaki bölgeye ayrılır. Bu algoritmanın doğru çalışabilmesi için öncelikle işarete bir ön işlem uygulanır. Bu ön işlem; tabletlerden ve işaret listesinden alınan RGB niteliğindeki (renkli) işaret resimlerini binary (ikili) resim formatına çevirmeyi amaçlar. Öncelikle RGB resimler MATLAB' ın rgb2gray fonksiyonuyla gri seviyeye çevrilir [15]. Elde edilen gri seviyeli resim için bir threshold (eşik değeri) değeri belirlenir ve eşiğin altında kalan değerler 0 yani siyah, eşiğin üstündeki değerler 1 yani beyaz piksel olacak şekilde ayrıştırılır. Bu işlemden sonra resim binary yani siyah-beyaz resme dönüştürülmüş olur. İşaret önişlemden geçtikten sonra yukarıda anlatıldığı gibi her biri 12x16'lık çözünürlükte olacak şekilde 9 eşit parçaya bölünür.

İşaret eşit parçalara bölündükten sonra her bir parça içindeki siyah piksel sayısı bulunur. Daha sonra Van Severen ve tabletten alınan çiviyazısı işaretlerinin birbirine denk gelen parçalarının içindeki siyah piksel sayılarının farkı bulunur ve bu fark resimdeki toplam piksel sayısına (48x36) bölünerek bir fark metriği elde edilir. Bu hata oranı metriği aşağıda (1) numaralı formülle hesaplanır:

$$Hata\ Oranı = \frac{|Parçaların\ siyah\ piksel\ sayılarının\ farkı|}{Parçadaki\ toplam\ piksel\ sayısı} \quad (1)$$

Bu algoritma ile ilgili detaylı bilgi Tunç [4] tarafından verilmiştir.

5. DENEMELER

Üzerlerinde örnek uygulama yapabilmek amacıyla görüntü basitliğine göre dört çiviyazısı işareti (HZL den 1, 8, 180 ve 218 numaralı işaretler) seçilmiştir. HZL numaraları, isimleri, işarette bulunan çizgi sayısı ve şekillere bağlı olan karmaşıklık dereceleri (en basit, basit, orta, zor) ve işaretlerin Van Severen işaret listesinde bulunan resimleri aşağıda Tablo 2 ile gösterilmektedir. İşaretlerin karşılaştırma amacıyla kullanılabilmesi için Vanseveren (V.S.) işaret listesinden işaretin resmi ve karşılaştırma amacıyla kullanmak üzere Portal Mainz' daki tablet resimlerinden bir tanesinin ekran görüntüsü alınıp Microsoft Windows işletim sisteminde bulunan 'paint' adlı programa aktarılıp işaretler (36 x 48) piksel boyutunda kesilerek çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca yine çalışmada kullanılan ve Tablo 3 ile verilen dört işaretin Portal Mainz' daki bir tabletten (Kbo 5.6 Vs. Kol. II. Z. 30 - 46) alınmış tablet resimleri, işaret numaraları, isimleri, zorluk dereceleri aşağıda Tablo 3 içinde gösterilmektedir.

Tablo 2. Van Severen (V.S.) işaret listesinden alınan işaret resimleri

HZL NO.	İSMİ (V.S.)	ZORLUK DERECESİ	RESİM
1	En basit	En Basit	
8	Basit	Basit	
180	Orta	Orta	
218	Zor	Zor	

Tablo 3. Tabletten alınan işaret resimleri

HZL NO.	İSMİ (Tablet)	ZORLUK DERECESİ	RESİM
1	En basit-Tablet	En Basit	
8	Basit-Tablet	Basit	
180	Orta-Tablet	Orta	
218	Zor-Tablet	Zor	

Tablo 4 içinde Algoritma 1'in Tablo 2 ve Tablo 3 'de bahsedilen işaretlere uygulanmasının sonuçları gösterilmiştir. Burada tablet işaretinden alınan bir resim ile dijital işaret listesindeki (V.S.) işaretler karşılaştırılmış ve alt bölüm 4.2.1 'de Denklem (1) ile tanımlanan hata oranı değerleri bulunmuştur. Bu karşılaştırmalar parça sayısı (p) 1, 9 ve 16 olacak şekilde uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 4 'de verilmiştir. Tablo 4 'de görülen hata oranı değerleri 0 ile 1 arasındadır.

Tablo 4. Resimlerin siyah piksel fark oranları

İŞARET İSMİ (Tablet)	İŞARET İSMİ (V.S.)	p=1 için	p=9 için	p=16 için
En basit-Tablet	En basit	0.0446	0.0521	0.1192
En basit-Tablet	Basit	0.0544	0.1024	0.1487
En basit-Tablet	Orta	0.0590	0.0903	0.1134
En basit-Tablet	Zor	0.0064	0.1030	0.1262
Basit-Tablet	En basit	0.0301	0.0816	0.0966
Basit-Tablet	Basit	0.0399	0.0405	0.0590
Basit-Tablet	Orta	0.0735	0.0920	0.0874
Basit-Tablet	Zor	0.0208	0.0631	0.0561
Orta-Tablet	Orta	0.0098	0.0880	0.0764
Orta-Tablet	En basit	0.0938	0.1123	0.1088
Orta-Tablet	Basit	0.1036	0.0781	0.0885
Orta-Tablet	Zor	0.0428	0.0775	0.0810
Zor-Tablet	Zor	0.1053	0.0897	0.0909
Zor-Tablet	En basit	0.1563	0.1152	0.1372
Zor-Tablet	Basit	0.1661	0.1065	0.1192
Zor-Tablet	Orta	0.0527	0.1140	0.1175

Tablo 4' den görüldüğü üzere bu algoritma orta ve zor karmaşıklıktaki işaretlerin basit karmaşıklıktaki işaretlerden ayrımını sağlamaktadır. Bu fark ölçütü veri tabanındaki

birkaç kademeli işaret aramalarında ön bir arama ölçütü olarak arama alanını daraltabilir. Aralarında çok fazla siyah piksel farkı olan işaretleri daha sonraki aramalara dâhil etmeyerek arama uzayını daraltıp diğer algoritmaların daha kısa bir sürede çalışması sağlanabilir.

İşaretlere Algoritma 12 ‘de bahsedilen Hausdorff Uzaklığı Algoritması ve Algoritma 14‘de bahsedilen HOG Algoritması uygulanmış ve sonuçlar Tablo 5 içinde verilmiştir.

Tablo 5. Karşılaştırılan işaretler ve hesaplanan Hausdorff uzaklığı ve HOG değerleri

İŞARET İSMİ (Tablet)	İŞARET İSMİ (V.S.)	HAUSDORFF UZAKLIĞI(H.U.)	HOG (ÖKLİD UZAKLIĞI)
En basit-Tablet	En basit	**25.049**	**34.393**
En basit-Tablet	Basit	42.340	39.175
En basit-Tablet	Orta	42.772	43.555
En basit-Tablet	Zor	46.518	42.363
Basit-Tablet	En basit	53.580	42.043
Basit-Tablet	Basit	**14.213**	**30.500**
Basit-Tablet	Orta	24.478	35.147
Basit-Tablet	Zor	25.315	31.792
Orta-Tablet	En basit	55.075	45.764
Orta-Tablet	Basit	19.271	33.477
Orta-Tablet	Orta	**16.745**	**26.692**
Orta-Tablet	Zor	23.955	27.139
Zor-Tablet	En basit	53.768	43.146
Zor-Tablet	Basit	22.870	30.443
Zor-Tablet	Orta	16.619	28.502
Zor-Tablet	Zor	**12.599**	**24.435**

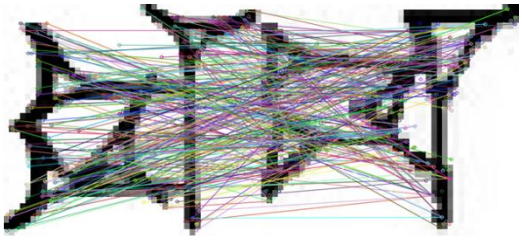
Tablo 5 içindeki sonuçlardan görüldüğü üzere tablette ve V. Severen (V.S.)’nin işaret listesinde aynı işarete denk gelen resimlerin Öklid ve Hausdorff uzaklığı değerleri en küçük çıkmıştır. Farklı işaretlerde değerin daha da arttığı gözlenmiştir. İşaretler birbirine ne kadar benzer olursa Öklid ve Hausdorff uzaklığı değeri o kadar az olmaktadır (Öklid ve Hausdorff uzaklıklarının tanımı Tunç [4] tarafından verilmiştir.). İşaretlerde farklılık arttıkça değer de artmaktadır. Yani karşılaştırılan işaretler arasında uzaklık değeri en küçük olan karşılaştırma değeri istenilen değerdir.

Son olarak 180 numaralı işarete çeşitli algoritmalar uygulanmış ve hata oranları bakımından sonuçlar Tablo 6 ’da verilmiştir. Burada ilk algoritma hariç diğer algoritmalar işaretler üzerindeki anahtar noktaların eşleşme oranındaki hataya göre değerlendirilmiştir. Tablo 6 ‘da görülen hata oranı değerleri 0 ile 1 arasındadır.

Tablo 6. Algoritma hata oranları

BU	SIFT	SURF	FAST	BRISK	FREAK	ORB	BRIEF	HARRIS
0.05	0.495	0.053	0.388	0.063	0.084	0.012	0.098	0.052

En iyi sonucu veren ORB algoritmasının 180 numaralı işarete uygulanması Şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 3. ORB algoritmasının uygulama sonucu

Bu sonuçlara bakarak ORB algoritmasının ve Tablo 5 ‘de verilen HOG ve Hausdorff uzaklığı algoritmalarının işaretlerin okunmasında ve karşılaştırılmasında doğrudan kullanılabilecek bir ölçüt olduğu söylenebilir. Algoritma 1 ile verilen BU algoritması ise bir ön karşılaştırma olarak veri tabanında arama uzayını daraltarak diğer algoritmaların daha etkin bir şekilde çalışmasını sağlayabilir. Çalışmada kullanılan algoritmaların HZL numarası 1 olan işaret için çalışma zamanları saniye cinsinden Tablo 7 ile verilmiştir.

Tablo 7. Algoritmaların çalışma zamanı (saniye)

Algoritma ismi	HOG	H.U.	BU	SIFT	SURF	FAST	BRISK	FREAK	ORB	BRIEF	HARRIS
Zaman (saniye)	0.02	0.01	0.14	0.32	0.24	0.08	0.36	0.47	2.46	0.23	0.17

6. ÖZET ve SONUÇ

Bu çalışmada Hititler ve Hitit çiviyazısı ile ilgili çeşitli özet bilgiler verilip Başkent Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümünde geliştirilmekte olan HİT-BİLSİS adlı bir bilgi modeli tanıtılmıştır. Daha sonra bu bilgi modelinin bir parçası olan tabletten çiviyazısı işareti okuma süreci ile ilgili çeşitli denemeler yapılmıştır. İşaretlerin okunmasında örnek olarak seçilen işaretlere imge işleme algoritmaları başarı ile uygulanmıştır. Doğrudan işaret okumada en düşük hata oranına sahip algoritmanın ORB algoritması olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi ORB algoritmasının gürültü, ışık yoğunluğu gibi etkenlere dayanıklı olması ve etkilenmemesidir. Çalışmada ayrıca işaret okuma esnasında algoritmaların çalışma zamanını kısaltacak bir ön eleme algoritması önerilmiştir. Son olarak, kullanılan algoritmaların çalışma performansları

saniye cinsinden verilmiş ve en düşük hata oranına sahip algoritma olan ORB algoritmasının en yüksek çalışma zamanına sahip olduğu gözlenmiştir.

Proje çalışmasının bundan sonraki evresinde toplam 375 tane Hitit çiviyazısı işaretleri üzerinde bazı algoritmaların uygulanması planlanmaktadır. Ayrıca Veri / Metin Madenciliği yöntemlerini kullanarak Hitit çiviyazısı tabletlerini içeriğine göre sınıflandırarak Din, Ticaret, Antlaşmalar, Aile Yaşamı gibi konuların tabletlerde sınıflandırılması ve tercümesi amaçlanmaktadır. Ayrıca çeşitli veri madenciliği ve görüntü işleme teknikleriyle kırık tablet parçalarının birleştirilmesi ile ilgili çalışmaların da yapılması amaçlanmaktadır.

7. KAYNAKÇA

[1] Gürsel, H. (1988), An Expert System for Cuneiform Interpretation, ODTÜ-BMB, Yüksek Lisans Tezi.

[2] Dik, E. C. (2014) Hitit Çiviyazısı İşaretlerinin Otomatik Çevirisi, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, BMB, 100s.

[3] Yeşiltepe, B. (2015) Hitit Çiviyazılı Metinlerin Okunmasında Uzman Sistem Uygulama Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, BMB, 54s.

[4] Aşuroğlu, T. (2015), Hitit Çiviyazısı İşaretlerinin Bilgisayar Desteği ile Okunması ve Veri Madenciliği Uygulama Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, BMB, 86s.

[5] Tyndall, S. (2012), Toward automatically assembling hittite-language cuneiform tablet fragments into larger texts, *50th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 2, 243-247.

[6] EDAN, N. M. (2013), Cuneiform Symbols Recognition Based on K-Means and Neural Network, *Journal of Computational Mathematics*, 10(1), 195-202.

[7] Sundar, K. A. ve John, M. (2013), A high precision printed character recognition method for Tamil script, *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC)*, 1-5.

[8] Rüster, C. ve Neu, E. (1989), Hethitisches Zeichenlexikon: Inventar und Interpretation der Keilschriftzeichen aus den Bogazkoy-Texten, O. Harrassowitz.

[9] Aktaş, A. Z. ve Gürsel, H. (6-8 Haziran 1988), Çiviyazısı Metinlerin Uzman Sistemler Yardımıyla Çözülmesi, *5. Türkiye Bilgisayar Kongresi*, Ankara.

[10] Karasu C. (2013), Hititçe ve Hitit Çivi Yazısı, Alparslan ve Alparslan, 84 – 93.

[11] Booch, G., Rumbaugh J. ve Jacobson I. (1999), The Unified Modeling Language User Guide, Addison-Wesley.

[12] Aktaş, A. Z. (1987), Structured Analysis and Design of Information Systems, Prentice- Hall, USA, Ch.6.

[13] Sommerville, I. (2011), Software Engineering, 9th Ed., Pearson.

[14] Würzburg University – Hethitologie Portal Mainz

http://www.hethport.uni-wuerzburg.de/HPM/hethportlinks.html Son erişim tarihi: 2.6.2015

[15] MATLAB

Htttp://www.mathworks.com/products/MATLAB Son Erişim Tarihi: 2.6.2015

[16] Lowe, D. G. (2004) Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International *journal of computer vision*, 60, 91-110.

[17] Bay, H., Tuytelaars, T., ve Van Gool (2006), SURF: Speeded up robust features, *8th European conference on Computer Vision (ECCV)*, 404-417.

[18] Rosten, E. ve Drummond, T. (2006), Machine learning for high-speed corner detection, *8th European conference on Computer Vision (ECCV)*, 430-443.

[19] Leutenegger, S., Chli, M., ve Siegwart, R. Y. (2011), BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints, *IEEE International Conference on Computer Vision*, 2548-2555.

[20] Matas, J., Chum, O., Urban, M., ve Pajdla, T. (2004), Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions, *Image and vision computing*, 22, 761-767.

[21] Alahi, A., Ortiz R., ve Vandergheynst P. (2012), FREAK: Fast retina keypoint, *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) IEEE Conference*, 510-517.

[22] Calonder M., Lepetit V., Strecha C., ve Fua P. (2010), BRIEF: Binary robust independent elementary features", *12th European conference on Computer Vision (ECCV)*, 778-792.

[23] Rublee, R., Rabaud, V., Konolige, K., ve Bradski, G. (2011), ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF, *IEEE International Conference in Computer Vision (ICCV)*, 2564-2571.

[24] Harris, C. ve Stephens, M., (1988), A combined corner and edge detector, *Alvey Vision Conference*, 147-151.

[25] Huttenlocher, D.P. (1993), Comparing images using the Hausdorff distance, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 15(9), 850-863.

[26] Chunhavittayatera S., vd. (2006), Image Registration using Hough Transform and Phase Correlation , *International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 973-977.

[27] Dalal, N. ve Triggs, B. (2005), Histograms of oriented gradients for human detection, *IEEE Society Conference on ComputerVision and Pattern Recognition (CVPR)*, 886-893.

SİMÜLASYON DESTEKLİ TATBİKAT SİSTEMLERİ

Başar Kasım [(a)], Lütfü Özçakır [(b)]

[(a), (b)] HAVELSAN A.Ş., Simülasyon Eğitim ve Test Sistemleri Genel Müdür Yardımcılığı, Mustafa Kemal Mahallesi 2120. Cadde N0: 39 06510 Çankaya / ANKARA

bkasim@havelsan.com.tr [(a)], ozcakir@havelsan.com.tr [(b)]

ÖZ

Günümüzde savaşlar, farklı askeri ve sivil birimlerin katılımıyla müşterek muharebe şeklinde gerçekleşmektedir. Komuta kontrol sistemleri, bilgi güvenliği saldırıları ve sosyal medya etkileri bu muharebe ortamının sınırlarını genişleterek harekat karmaşıklığını artırmaktadır. Bu karmaşık ortam, birimlerin kendi yeteneklerini, diğer birimlerle eş güdümü sağlayarak, üst seviyede kullanmasını gerektirmektedir.

Askeri tatbikatlar harbe hazırlık seviyesini üst seviyeye taşıyarak bu seviyede tutabilmenin araçlarındandır. Bu araç karar verici kadronun farklı taktik durumlarda ve birimler arasındaki eş güdümü sağlama amaçlı girdilerle yönlendirilen senaryolarla eğitilerek tecrübe seviyesinin artırılmasına hizmet etmektedir. Tatbikatın mümkün olan en az kaynağı kullanarak, en alt seviyede risk alarak, çevreye az zarar vererek ve aynı zamanda gerçek harekat ortamına en yakın şartlarda etkin şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Simülasyon destekli tatbikat sistemleri bahsedilen etkin ortamın oluşturulmasında kullanılmaktadır. Komuta kontrol yetenekleri gibi gerçek harp ortamında kullanılan sistemlerin, aynı veya benzer kullanıcı arayüzleri ve fonksiyonel davranışlarla tatbikat ortamında yer alması elde edilecek faydayı en üst seviyeye taşımaktadır.

Bu çalışmada simülasyon destekli tatbikat teorisi hakkında bilgi verilerek simülasyon destekli tatbikat sistemleri için bir sistem mimarisi önerilmektedir. Bu mimari içerisinde eğitim simülatörlerinin simülasyon destekli tatbikatlara katkısı sunulmaktadır. Komuta kontrol sistemlerinin simülasyon destekli tatbikat sistemleri kapsamındaki kullanımı ve birlikte çalışabilirliği de incelenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar Destekli Tatbikat, Harp Oyunu, Komuta Kontrol Simülasyonu, Simülasyon Destekli Tatbikat, Simülasyon – Komuta Kontrol Birlikte Çalışabilirliği

SIMULATION ASSISTED EXERCISE SYSTEMS

ABSTRACT

Today wars are realized in the form of joint combat with the participation of various military and civilian units. Command and control systems, information security attacks and the effects of social media increases the complexity of combat operations by expanding the boundaries of this operation environment. This complex environment requires every unit to use its capabilities by providing coordination with other units.

Military exercises are being used to move the level of preparedness for war to higher levels and to hold at this level. These tools serve to increase level of training and experience of the decision-makers using scenarios in different tactical situations and requiring coordination between different units. Exercise must be carried out using the least resources possible in practice, taking the risk to a minimum, less damaging to the environment and at the same time must be carried out effectively in conditions closest to the actual operational environment. Simulation assisted exercise systems are used in forming this environment. Using the same or similar user interfaces and functional behaviors of the real life command and control systems move the benefit obtained from computer assisted exercise systems to the highest level possible.

In this study, information about simulation assisted exercises theory is given. A reference system architecture that can be used for simulation assisted exercise systems are proposed. Roles of simulators in this architecture are presented. Use and interoperability of command and control systems under the simulation assisted exercise systems are also discussed.

Keywords: Command and Control Simulations, Computer Assisted Exercise, Simulation Assisted Exercise, Simulation – Command and Control Interoperability, Wargaming

1. GİRİŞ

Günümüz karmaşık muharebe ortamında başarı,

- Harp süreçleri ile askeri doktrinlerin etkin şekilde tasarlanarak gerek duyulduğunda eksiksiz uygulanmasını ve
- Harp sistemleri ile platformlarının en etkin şekilde kullanılmasını

gerektirmektedir. Muharebede yer alacak aktörlerin harp öncesinde gerçeğe en yakın ortamlarda, sistematik eğitim ve tatbikat süreçleri kullanılarak harbe hazırlık eğitimi alması bu gerekliliklerin yerine getirilmesi için önem taşımaktadır. Bu eğitim ve tatbikat sistemleri hem bireysel yeteneklerin hem de müşterek kuvvetler ve koalisyon kuvvetleri arasındaki işbirliği ve koordinasyonun geliştirilmesine yardım etmektedir.

Gerçek harp ortamlarında gerçekleştirilen tatbikatlar (geleneksel tatbikatlar), birliklerin aynı ortama taşınmasını, ulaşım / konaklama masraflarının karşılanmasını ve tatbikatta kullanılan gerçek ekipmanın bakım-idamesinin yapılmasını gerektirmektedir. Bunlarda süre geçişi gerçek zamanda olmakta, bir olayın gerçekleşmesi için gereken sürenin

hızlandırılması mümkün olmamaktadır. Ayrıca nükleer, kimyasal ve biyolojik tehditler kapsamında gerçekleştirilen tatbikatların gerçek muharebe ortamında yapılması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Tüm bu nedenler geleneksel tatbikatların yanında bilgisayar destekli tatbikat (BDT) ve harp oyunu sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Bu çalışmada simülasyon destekli tatbikatlar hakkında bilgi verilmektedir. İlk olarak bilgisayar destekli tatbikat ve harp oyunu sistemleri arasındaki farklar incelenecek ardından BDT uygulamaları geliştirmek amacıyla tasarlanan bir sistem önerilecektir. İlerleyen bölümlerde gerçek komuta kontrol sistemleri ile bilgisayar destekli tatbikat sistemlerinin birlikte çalışabilmesi amacıyla kullanılabilecek sistem seviyesi bir tasarım anlatılacaktır. Bu çalışma kapsamında özgün olarak sunulan tasarımda BDT uygulamalarında simülatör sistemleri kullanımı da irdelenmektedir. BDT kapsamında ele alınan haberleşme sistemleri ve medya simülasyonuyla ilgili temel bilgiler de bu çalışmada verilmektedir.

2. SİMÜLASYON DESTEKLİ TATBİKAT

BDT ve harp oyunu sistemleri eğitilen kadronun (örnek: pilotlar, komutanlar, hava savunma operatörleri).

- farklı taktikler uygulayan düşman unsurlar,
- kullanılan ekipmanın yetenekleri ile durumları,
- arazi ve hava şartları (dış etkenler)

gibi faktörleri hesaba katarak harbe hazırlık eğitimi alabilmeleri amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemler,

- eğitimin amaçlarıyla uyumlu faklı taktik durumların (olay durumları) oluşturulmasına,
- amaçlanan yetenekler elde edilene kadar bu taktik durumlar tekrarlanmasına ve
- tatbikata katılan birimler arasındaki koordinasyonu artırıcı senaryolar kullanılmasına

olanak vermektedir. BDT sistemlerinde eğitilen kitle farklı askeri seviyelerde karar vererek müşterek planlama ve eş güdüm gibi anahtar süreçleri işletmektedir. Bu sistemlerde eğitime ilave olarak yeni taktik / konseptlerin geliştirilmesi / denenmesi ve kriz zamanı tepki planlarının oluşturulması da mümkün olmaktadır. Benzer şekilde belirli askeri durumun analizi de BDT sistemleri ile mümkün olabilmektedir.

BDT dünya çapında yaygın olarak kullanımı olan bir terimdir. Bilgisayar destekli tatbikat sistemlerinde gerçek savaş ortamının taktik, stratejik, operatif ve hatta politik seviyedeki sanal dünya benzetimi çeşitli simülasyon ve simülatör sistemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Çoğu zaman bilgisayar ortamında çalışan bu simülasyon sistemlerinin sanal tatbikatlardaki önemi nedeniyle bu çalışma kapsamında “Simülasyon

Destekli Tatbikat" (SDT) terimi tanımlanarak makalenin bundan sonraki bölümlerinde bilgisayar destekli tatbikat terimi yerine kullanılacaktır.

2.1. Harp Oyunu ve Simülasyon Destekli Tatbikat Sistemleri

Harp oyunu ve bilgisayar destekli tatbikat terimleri çoğu zaman eş anlamlı terimler gibi kullanılmakla birlikte bunlar arasında çok temel farklılıklar bulunmaktadır. Harp oyunları askeri planlar üzerinde yoğunlaşmaktadır ve asıl amaç oyun kapsamında verilen hedefleri gözeterek harp oyununun kazanılmasıdır. SDT'de ise askeri prosedürlerin uygulanması / öğrenilmesi ve kabiliyet geliştirme ana hedeftir Diğer bir deyişle SDT'lerde askeri süreçlere alışkanlık kazanarak süreçlerin etkin şekilde uygulanmasının öğrenilmesi gerekmektedir. Bu yönüyle harp oyunlarından farklı olarak SDT uygulamalarında eğitilen kitlenin, özellikle komuta kontrol sistemi kullanıcı arayüzleri de dahil olmak üzere, gerçek hayatta kullandığı tüm sistemleri bire-bir kullanması vazgeçilmez bir gerekliliktir. Bu gereksinim SDT'de kullanılan ve gerçek dünyanın bilgisayar ortamında benzetimi olan simülasyon ortamı ile gerçek komuta kontrol sistemleri arasında bir veri alış veriş mekanizmasını zorunlu hale getirmektedir [1]. Harp oyunlarında ise eğitilen kitlenin direkt olarak simülasyon programlarının kullanıcı arayüzlerini kullanarak oyuna müdahale etmesi mümkündür.

Harp oyunu ve SDT arasındaki temel farklar Tablo-1'de özetlemiştir [1].

Tablo 1. Harp Oyunu ve SDT

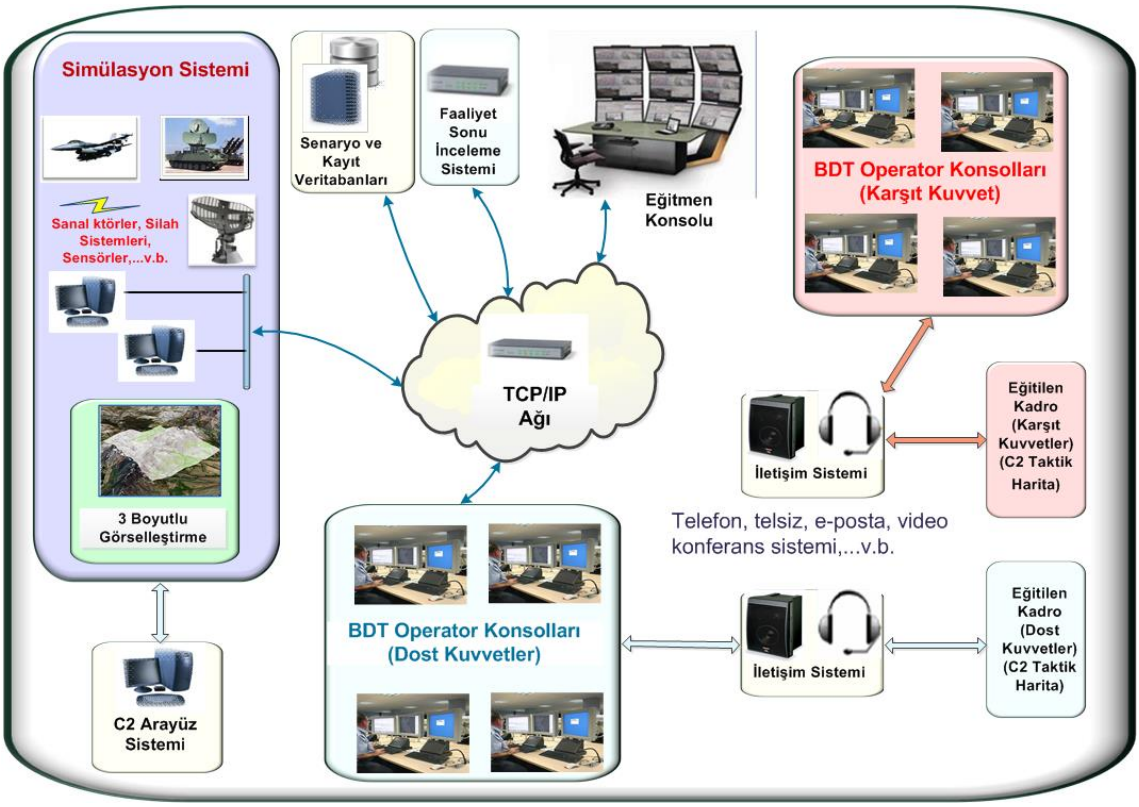
Kategori	Amaç, Konu	Katılımcılar
Harp Oyunu	Oyunu kazanmak Askeri planlar	Oyuncular, hakemler
Bilgisayar Destekli Tatbikat	Toplu eğitim, Askeri süreçler, kabiliyet geliştirme	Komutanları içerecek şekilde tüm karargah, SDT yönlendiricileri/değerlendiricileri

Harp oyunu uygulamalarında dost ve karşıt kuvvette yer alan eğitilen kitle direkt olarak simülasyon sistemi kullanıcı arayüzleri ve bu sistem tarafından oluşturulan taktik haritayı kullanarak harekatı icra ederken, SDT uygulamalarında gerçek hayat komuta kontrol sistemi arayüzleri ile iletişim araçları devreye alınmaktadır. Yine SDT uygulamalarında direkt olarak simülasyon sistemi ile olan girdi / çıktı işlemlerini SDT operatörleri gerçekleştirmektedir.

3. ÖRNEK SDT SİSTEMİ MİMARİSİ

Bu çalışma kapsamında önerilen simülasyon destekli tatbikat sistemi mimarisi Şekil 1'de verilmektedir. Bu kapsamda önerilen mimari, kullanılacak simülasyon sisteminin sadakat seviyesi ile çözünürlüğü ve/veya komuta kontrol sistemi kullanıcı arayüzlerinin görünümü gibi parametrelerden bağımsızdır. Bu parametreler mimari içerisinde

oynanabilecek senaryoların askeri seviyesini (taktik, operatif, stratejik, politik seviyeler) belirlemede önem kazanmaktadır.



Şekil 1. Simülasyon Destekli Tatbikat ve Harp Oyunu Mimarisi (Örnek)

Verilen mimari içerisindeki bileşenler şunlardır:

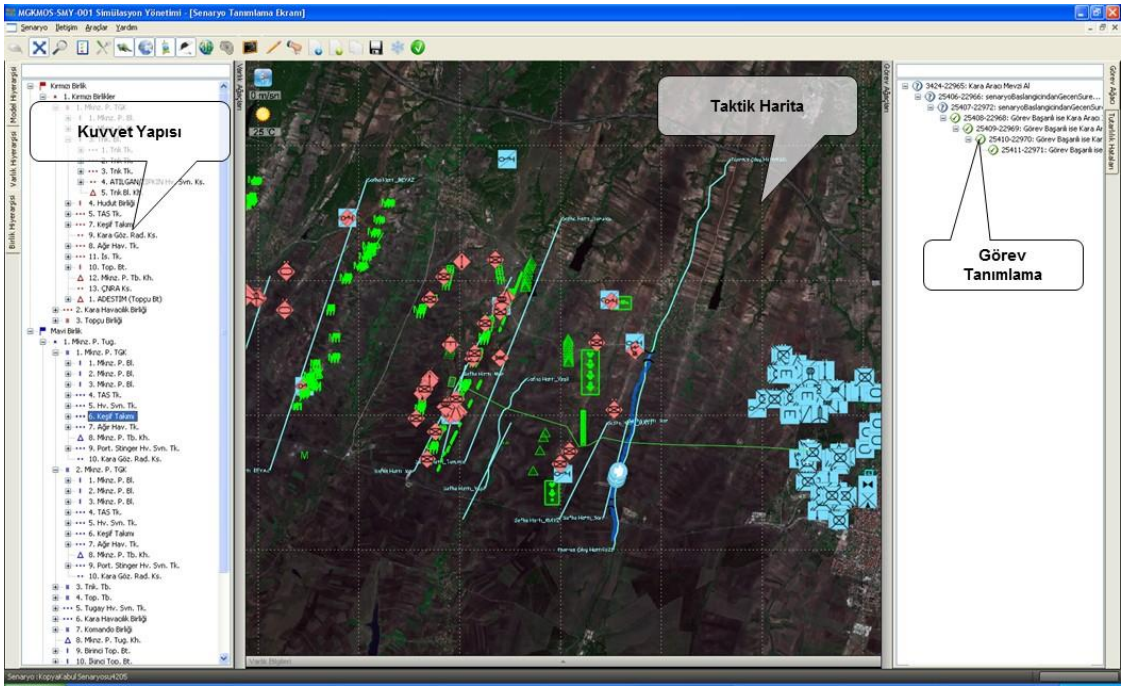
3.1. Simülasyon Sistemi

Gerçek savaş şartlarının "benzetimini" bilgisayar ortamında gerçekleştirecek simülasyon sistemi (sanal ortam) bilgisayar destekli tatbikatın önemli bileşenlerinden birisidir. Bu sanal ortama "taktik çevre", "sentetik ortam", "global dünya" veya "ground rule / truth" adı da verilmektedir.

Sanal harekat ortamı, gerçek harp ortamında yer alan platformların (kara araçları, deniz araçları, hava araçları), silahların, algı (sensor) sistemlerinin ve diğer varlıkların (örnek: deniz, bina, akarsu) bilgisayar ortamındaki temsilidir. Benzer şekilde harekat ortamında yer alan ve eğitilen kitle veya SDT operatörleri tarafından yönetilmeyen akıllı aktörler de kendi "sanal zekalarıyla" simülasyon sistemi içerisinde temsil edilmektedir.

SDT uygulamalarında eğitim hedeflerine ulaşmak amacıyla daha önceden belirlenip simülasyon sistemi üzerinden oynanan senaryolar ana olay ve tali olay listeleri yardımıyla zenginleştirilebilmektedir. Bu şekilde eğitilen kitlenin çok farklı taktik durumlarla karşılaşması ve bunlara karşı verecekleri tepkilerin iyileştirilmesi sağlanabilmektedir.

Şekil 2'de örnek bir simülasyon sistemi taktik haritası verilmiştir.



Şekil 2. Örnek Bir Simülasyon Sistemi Taktik Harita (ref. MGKMOS [2])

3.2. Komuta Kontrol Sistemi Arayüzleri

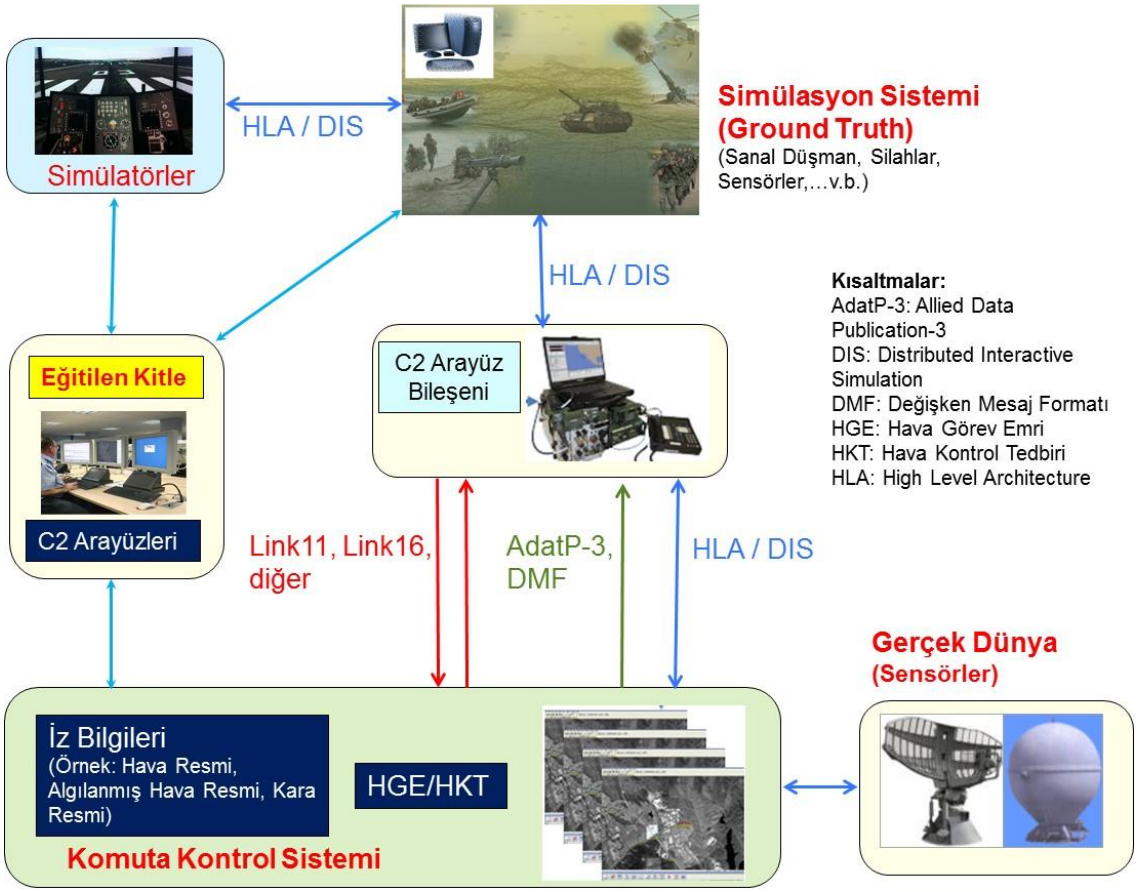
SDT uygulamalarında eğitilen kitlenin kullanımına sunulan kullanıcı arayüzlerinin ve askeri süreçlerin gerçek harekat ortamına mümkün olduğunca benzetimi bir gerekliliktir. Bu "Savaştaki gibi eğitim" olarak adlandırılan bir ilkedir. Özellikle komuta seviyesi ve alt karargah personelinin SDT akışını kendi komuta kontrol araçları üzerinden takip etmesi bu ilkenin gerçekleştirilmesi için en önemli gerekliliktir.

Önerilen mimari içerisinde verilen C2 arayüz bileşeni komuta kontrol sistemi ve simülasyon sistemi arasındaki veri alış verişinden sorumludur. Bu veri alış verişinin

- ADatP-3 (İng. Allied Data Publication 3) [3]
- Link11 ve Link16 [4]
- HLA (İng. High Level Architecture – İleri Seviye Mimari) veya DIS (İng. Distributed Interactive Simulation – Dağıtık Etkileşimli Simülasyon) [5]

gibi standartlar ve veri bağlantı protokolleriyle uyumlu şekilde gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Bu şekilde gerek komuta kontrol sistemi gerekse simülasyon sistemi iç tasarımında gerçekleşecek değişiklikler mimari içerisindeki diğer bileşenlerin tasarımında bir değişikliğe neden olması önlenecektir.

Şekil 3'te SDT uygulamalarında komuta kontrol sistemlerinin kullanımı amacıyla tasarlanmış bir sistem mimarisi verilmiştir.



Şekil 3. Komuta Kontrol ve Simülatör Sistemleri Arayüzleri

Bu komuta kontrol ve simülasyon sistemleri arasındaki veri alışverişi iki farklı şekilde gerçekleşebilir:

3.2.1. Komuta Kontrol Sisteminden Simülasyon Sistemine Doğru Veri Akışı

Bu alternatifte komuta kontrol sistemi üzerinde algılanan hedefler, eğitimi zenginleştirmek amacıyla SDT sistemine aktarılmaktır. Simülasyon sistemi bu hedefler için sanal platformları kendi senaryosu içerisinde yaratmakta ve bunları kendi taktik haritası üzerinde göstermektedir.

3.2.2. Simülasyon Sisteminden Komuta Kontrol Sistemine Doğru Veri Akışı

Bu senaryo, gerçek komuta kontrol sistemini sanal hedeflerle beslemek amacıyla kullanılmakta olup gerçek komuta kontrol sisteminin bir tatbikat moduna sahip olmasını gerektirmektedir. İlave olarak gerçek ortam platformlarının da (örnek: savaş uçakları, tanklar) bu sanal hedeflerle ortak tatbikat yapabilecek şekilde özelleşmiş görev bilgisayarı yazılımlarına sahip olmasını gerektirmektedir.

3.3. Simülatör Arayüzleri

Özellikle birey seviyesi eğitimin de içerildiği SDT uygulamalarında simülatörlerin de SDT ortamında kullanımı mümkündür. Bu alternatifte simülatörler taktik çevre içerisinde askeri hiyerarşide kendine atanmış görevleri yerine getirirken sistemin diğer aktörleriyle de etkileşime girmektedir. Bu şekilde hem komuta kadrosunun hem de senaryoya simülatör kullanarak katılan kadronun (örnek: pilot, sürücü) müşterek bir ortamda eğitimi sağlanmış olmaktadır.

Simülatörlerle sanal ortam arasındaki veri iletişimi HLA ve/veya DIS protokolleri üzerinden gerçekleştirilebilmektedir.

3.4. Operatör Konsolları

Eğitilen kitle tarafından verilen komutların simülasyon sistemine aktarılması ve bu sistemden gelen çıktıları da eğitilen kitleye ulaştırılması için aracılık eden yazılımlardır. SDT uygulamalarında bu konsollar SDT operatörleri tarafından kullanılmaktadır.

3.5. İletişim Sistemi

SDT uygulamalarında eğitilen kadro ile SDT kontrolörleri tarafından oynanan alt ve üst komuta kadrosu (HICON, LOCON) arasındaki iletişim ortamı büyük önem taşımaktadır. Eğitilen kadro bu iletişim ortamı sayesinde üst kademeden komutlarını almakta, alt kademelere komutlarını iletmektedir. Benzer şekilde verilen komutların simülasyon durumunda yarattığı değişimler de gerçek hayattakine benzer formatlarda raporlar halinde bu ortam üzerinden eğitilen kadroya iletilmektedir.

Telsiz, telefon, e-posta, metin mesajları ve internet mesajları gibi yöntemler iletişim ortamını oluşturmak amacıyla kullanılabilecek araçlardandır.

3.6. Eğitmen Konsolu

Simülasyon sisteminde kullanılacak eğitim senaryosunun hazırlaması, koşulan senaryoyu yönetme (izleme, denetleme, vb.), eğitim sonrası analiz ve faaliyet sonrası inceleme işlevlerini yerine getirmek üzere kullanılmaktadır. Eğitmen konsolunun ana görevleri şunlardır:

- Senaryo kontrolü (başlatma, duraklatma, sonlandırma işlemleri).
- Senaryo akışı gözlemlenmesi ve değiştirilmesi
- Eğitim sırasında taktik ortama enjeksiyonlar verilmesi
- Eğitime canlı sistem (Komuta Kontrol Sistemi, vb.) bağlantısının yapılması/iptal edilmesi

sistemi oluşturmak amacıyla kullanılan yöntemlerdir.

3.7. Veritabanları ve Faaliyet Sonu İnceleme Sistemleri

Eğitilen kadronun senaryo işletimi esnasında aldığı kararların sonuçlarının incelenebilmesi için faaliyet sonu inceleme sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem senaryonun tekrar gösterimine izin vermektedir. Veritabanları simülasyon sisteminde kullanılan varlıkların bilgileri ile senaryo oynatım kayıtlarının saklanmasından sorumludur.

3.8. Medya Simülasyonu

SDT işletimi sırasında senaryoya istihbarat bilgisi (doğru veya yanıltıcı) enjekte etmek ve eğitilen komuta kadrosu üzerinde psikolojik baskı üretmek amacıyla çeşitli medya ortamlarından yararlanılmaktadır. Sosyal medya, basılı gazete ve eğitim ihtiyaçları doğrultusunda kurgulanmış televizyon haberleri medya simülasyonu içerisinde yer almaktadır.

4. SONUÇ

Simülasyon destekli tatbikat ve harp oyunu sistemleri komuta kadrosunun maliyet etkin şekilde eğitilerek kabiliyetlerinin geliştirilmesine / artırılmasına hizmet etmektedir. Bu sistemlerde eğitimin başarısı eğitilen kadronun gerçek ortam şartlarına benzer simülasyon sistemleri kullanması ile artmaktadır. Bu ise eğitilen komuta kademesinin gerçek komuta kontrol sistemi arayüzleri kullanarak SDT senaryolarında yer almalarını gerektirmektedir. Komuta kontrol sistemleri ile simülasyon sistemleri arasındaki iletişim çeşitli veri bağlantı sistemleri, formatlı mesajlaşma sistemleri ve simülasyon protokolleri üzerinden veri çevirimi yapabilen komuta kontrol arayüzü yazılımları ile mümkün olabilmektedir.

Bu bildiride önerilen simülasyon destekli tatbikat mimarisi eğitilen kadronun gerçek hayat şartlarına benzer ortamda eğitim almasına hizmet etmektedir. Mimari içerisinde verilen C2 arayüz bileşeninin standart veri bağlantı protokolleri üzerinden veri alış verişi yapması sayesinde mimari bileşenlerden birinde meydana gelen değişikliğin diğer bileşenleri en az seviyede etkilemesi sağlanmaktadır. Önerilen mimari oynanabilecek senaryoların askeri seviyesi ile ilgili bir kısıt koymamakta, bu seviye simülasyon sistemi çözünürlüğü ve eğitilen kadronun kullandığı komuta kontrol sistemi kullanıcı arayüzleri tarafından belirlenmektedir.

Bildiride önerilen mimari yurt dışı kaynaklı bir askeri projede uygulanacaktır.

5. KAYNAKÇA

[1] Erdal ÇAYIRCI, Duusan MARINCIC (2009), Computer Assisted Exercise and Training, Wiley Publications

[2] MGKMOS, (Müşterek Görev Kuvveti Harekatının Modellenmesi ve Simülasyonu Projesi), ODTÜ – HAVELSAN ortak girişimi, www.havelsan.com.tr adresinden ulaşılabilir (Haziran 2015 tarihinde).

[3] ADatP-3 Part 1 (October 1987), NATO Message Text Formatting System (FORMETS) System Concept Description and Management, Brussels: NATO Headquarters

[4] Introduction to Tactical Digital Information Link J and Quick Reference Guide, www.adtdl.army.mil adresinden erişilebilir (Eylül 2015 tarihinde)

[5] 1516-2010 IEE Standart for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA), Framework and Rules, IEEE Standart Publication

21'İNCİ YÜZYILDA YAPISAL BİR DENİZ HARP OYUNU BENZETİM SİSTEMİ: YENİLENEN TANIM VE SEVİYE

Tarık Döğüşcü

Deniz Kuvvetleri Komutanlığı-
Taktik Geliştirme Doktrin ve Analiz Merkezi Komutanlığı (TADAMERKOM)
Gölcük/Kocaeli, doguscu.t5771@dzkk.tsk.tr

ÖZ

Günümüzde inanılmaz bir ivme ile gelişen ve ilerleyen teknoloji, bunu ihtiyacına göre kullanabilen kullanıcılarını aramaktadır. Aynı zamanda bu ilerleyiş, teknik açıdan bakıldığında, donanıma paralel olarak yazılım alanında da gelişmeyi zorunlu kılmaktadır. Yazılımların gün geçtikçe kalitesi artmakta, kapsamları detaylanmakta ve değişmektedir. Buna bağlı olarak da kullanıcıların beklentisi artmakta, sistemleri kullanım amaçları ve şekilleri farklılaşmaktadır. Bu spiral döngü içerisinde yapısal deniz harp oyunu benzetim sistemlerine ilişkin olarak bu bildiride "21'inci yüzyılda beklentileri ve ihtiyaçları karşılayacak şekilde bir Deniz Harp Oyunu Benzetim Sistemi" tanımlaması yapılmış ve özellikleri irdelenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında halihazırda kullanılan ve bilinen harp oyunu sistemlerinden elde edilen ortak ve genel özelliklerden bir çıkarım yapılmış, müteakiben yeniden tanımlanan yapısal deniz harp oyunu benzetim sistemlerinde olması öngörülen yetenekler açıklanmış ve gelecek için bir değerlendirmede bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Askeri Benzetim, Deniz Harp Oyunu, Deniz Harp Oyunu Benzetim Seviyesi, Deniz Harp Oyunu Benzetim Sistemi, Deniz Harp Oyunu Benzetimi Tanımı, Deniz Harp Oyunu Sistemi, Yapısal Benzetim Sistemi.

CONSTRUCTIVE NAVAL WARGAME SIMULATION SYSTEM IN 21TH CENTURY: THE RENEWED DEFINITION AND LEVEL

ABSTRACT

Nowadays, advanced technology which has been developing with an incredible acceleration searches users who is able to use this according to their necessity. At the same time, this progress technically forces software development in parallel to hardware. The quality of software has been increasing day by day and their scopes become detailed and change. Accordingly, users' expectations has been increasing, the

purpose and the way of using the systems have become different. In this spiral cycle related to the constructive naval wargame system, a new naval wargame simulation system definition has been done and examined special features which meet the 21st century expectations and needs in this paper. In scope of this study, an inference has been done from common and general special features of current and well-known wargame simulation systems and after this, anticipated talent of newly defined cunstructive naval wargame simulation systems has been explained and it has been made a comprehension for the future at last.

Keywords : Constructive Simulation System, Definition of Naval Wargame Simulation, Level of Naval Wargame Simulation, Military Simulation, Naval Wargame, Naval Wargame Simulation System, Naval Wargame System

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojideki hızlı gelişim ve değişim her alanda olduğu gibi harp oyunu benzetim sistemlerinde de kendini göstermektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte harp oyunu benzetim sistemi kullanıcıları, yeni ihtiyaçlar belirlemekte ve sistem beklentilerini artırmaktadır. Aynı zamanda kullanıma giren benzetim sistemleri sayesinde yeni kullanım amaçları belirlemekte ve daha önceden tanımlanmamış yeni özelliklere sahip sistemler istemektedir. Tüm bu durumlar, daha gelişmiş yeni nesil sistemler üretebilmek için proje geliştirilmesine yol açmakta, teknoloji de bu süreçte ilerlemektedir. Bu döngü içerisinde harp oyunu benzetim sistemleri mimarisinin ve özelliklerinin sürekli bir yenilenme ve değişim içerisinde olması kaçınılmaz bir sonuç olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu bildiride üzerinde duracağımız "harp oyunu benzetim sistemi" kavramını "harp oyunu" kavramından ayırmak odak noktasını anlamak açısından önemlidir. Zira, çoğunlukla birbiri yerine kullanıldığı görülmekle birlikte aslında "harp oyunu benzetim sistemi" ile "harp oyunu" kavramları aynı şeyi ifade etmez.

Resmi Askeri Terimler sözlüğünde harp oyunu; "Gerçek veya gerçek dışı durumları tasvir için tasarlanmış kural, veri ve yordamları kullanan, iki veya daha fazla karşıt kuvveti içeren askeri operasyonların benzetimidir."[1] şeklinde tarif edilmektedir.

Harp oyunu kavramı askerler için aslında yeni bir kavram değildir. Roma Döneminden bu yana askerlerin çeşitli planlar yapabilmek ve kararlar alabilmek için oyunlar oynadığı bilinmektedir.[2] Günümüzde yeni olan ise benzetim sistemleri ve onların özellikleridir. Bilinen en eski harp oyunlarından bu yana harp oyununa ortam yaratmak için çeşitli haritalar, nesneler, minyatürler, heykelcikler, işaretler, çizimler, durum levhaları, yazı tahtaları, vb. birçok değişik araç, gereç kullanılmıştır. Günümüzde ise bilgisayar dünyasının ilerlemesi ile bu tür yardımcıların yerini alan bilgisayar,

Bilgisayar Destekli Harp Oyunlarının (BDHO) geniş kullanım alanı sayesinde askeri alanda gün geçtikçe yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Askeri benzetim sistemlerini geniş anlamda canlı (live), sanal (virtual) ve yapısal (constructive) olarak üçe ayırmak mümkündür.[3] Bu bağlamda, BDHO icra etmek için kullanılan yapısal bir benzetim sistemi, harp oyunu ortamının yaratılması maksadıyla kullanılan bir araç olup harp oyunu senaryosunu ve oyuncuların harekat tasarılarını icra edebilmek, sonuçlarını değerlendirebilmek ve analiz edebilmek için bir çalışma ortamı sağlar.

Bu bildiride deniz harekatına yönelik yapısal harp oyunu benzetim sistemine odaklanılmış ve ikinci bölümde halihazırda bilinen kullanılan sistemlerin "genel özellikleri" bu çerçevede derlenmiş, üçüncü bölümde donanım ve yazılım açısından hızla gelişen teknolojinin yapısal deniz harp oyunu benzetim sistemlerine yönelik kullanıcı ihtiyaç ve taleplerinde yol açtığı değişim ve beklentiler anlatılmış, dördüncü bölümde kullanıcı beklentisindeki değişime uygun bir ihtiyaçlar kümesi oluşturulmuş ve sistemlerin gelecekte sahip olması muhtemel özelliklerinden yola çıkarak yeni bir "Yapısal Deniz Harp Oyunu Benzetim Sistemi Modeli" tanımlanmış ve son bölümde ise gelecek için bir değerlendirmede bulunulmuştur.

2. YAPISAL DENİZ HARP OYUNU BENZETİM SİSTEMLERİ İÇİN GENEL ÖZELLİKLER

Geleneksel harp oyunu benzetim sistemleri model çözünürlüğü bakımından ele alındığında; yüksek çözünürlüklü benzetim sistemlerinde/simülatörlerde[3] eğitilen kişinin yapacağı ve zaman alacak bir çok işin, sadece birkaç komut ile zaman almadan icra ettirilebildiği görülmektedir. Sistem, verilen komut sonrası yapılacak işleri ve yapılan işin ortaya çıkardığı sonuçları oluşturmakta ve kullanıcılarına sunmaktadır. Gerçekçilik seviyesi açısından ise; simülatör seviyesinden farklı olarak, gerçek dünyanın belli bir oranda çeşitli bilimsel modeller kullanılarak benzetimi ile sonuçlar üretilmektedir. Bu seviye geleneksel bir harp oyunu açısından kullanıcılarının amaç ve hedeflerine ulaşmalarına yeterli gelmektedir. Bu kapsamda sistemler, yüksek çözünürlükte model içeren birer simülatör olmamaları ve operasyonel/stratejik seviyede harp oyunu oynatma hedefleri nedeniyle bazı harekat nevilerinin planlanması ve icrasına ilişkin detaylı çalışan model ve yeteneklere sahip değillerdir.

Bu çerçevede, bilinen harp oyunu benzetim sistemi çalışmalarının [4-10] ortak özelliklerinden yola çıkarak ve bu hususlarla sınırlı kalmamak koşuluyla harp oyunu benzetim sistemlerini genel itibarıyle; karşılıklı etkileşimli/etkileşimsiz, tek kullanıcılı/çok kullanıcılı, zaman adımlı/olay adımlı, gerçek zamanlı ve gerçek zaman ölçekli, çok taraflı bir benzetim olarak tanımlamak mümkündür. Ayrıca, bu genel özelliklere ek olarak geleneksel bir harp oyunu benzetim sisteminin BDHO icrasında

kullanılabilmesi için sahip olması beklenen bazı önemli özelliklerini de aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- Bir harita altlığına sahip olmalı ve ilgilendiğimiz coğrafyayı içeren haritayı gösterebilmeli, bununla birlikte taktik resmi/tanımlanmış resmi sergileyebilmelidir.
- Kullanıcılar ile sistemin etkileşimini sağlayan "Grafik Kullanıcı Arayüzleri (GUI)" olmalıdır.
- Kullanıcının kumanda ettiği unsur(lar) için oyun sırasında dinamik olarak oluşacak taktik resmi ve tanımlanmış resmi kullanıcılara sunabilmelidir.
- Birden fazla kullanıcının aynı anda sistemde yer alabilmesi için bir Ağ (Network) yapısında oyun oynatabilmelidir.
- Tasarım seviyesine uygun unsur, silah, sensör, cihaz, davranış/hareket modelleri ile bunların etkileşim, seyir, angajman gibi faaliyetlerinin icra edilmesini sağlayan modellere sahip olmalıdır.

Verilmek istenen eğitime ve kullanıcı tiplerine bağlı olarak kendilerine özgü farklı ilave özelliklere sahip olmalarının yanısıra, özellikle DEHOS [6], NATO çapında yaygın olarak kullanılan JTLS (Joint Theater Level Simulation)[5, 7, 8] ve JCATS (Joint Conflict and Tactical Simulation)[8, 9] ile OneSAF [10] gibi çok bilinen harp oyunu benzetim sistemlerinin yukarıda belirtilen özelliklere sahip oldukları görülmektedir.

3. YAPISAL DENİZ HARP OYUNU BENZETİM SİSTEMLERİNDE KULLANICI İHTİYAÇLARINDAKİ DEĞİŞİM VE BEKLENTİLER

Harp oyunu benzetim sistemleri; amaçları bakımından maliyet-etkin bir eğitim yapmaya olanak sağlayan, harekat ihtiyacının denenmesi için ortam sunan ve karar vericilere taktik anlamda katkı veren sistemler olarak tarif edilebilir. Bu bağlamda maliyet-etkinlik, gerçek hayatta yapılamayacak hususların denenmesi, denenen hususların belli bir safhasından itibaren tekrar edilebilmesi ve sonuç olarak gerçek dünyanın sanal ortamda yaratılmış halinin kontrol edilebilir bir şekilde sunulması gibi genel harp oyunu benzetim sistemi beklentilerinin yeni tür sistemlerde de aynen olacağı açıktır. Öte taraftan teknolojinin hem yazılım hem de donanım alanında hızla ilerlemesi ve yeni buluşların günümüz hayatına girmesi doğal olarak harp oyunu benzetim sistemi kullanıcısında da yeni beklentilerin doğmasına neden olmuştur.

Harp oyununa ilişkin yapılan çalışmalar [5, 10, 11, 12] ve özellikle üzerinde durduğumuz BDHO icra etmeye olanak tanıyan sistemlerin incelenmesinden elde edilen ve bu sistemlerin kullanıcılarının geri besleme ve deneyim sonuçları ile mülakatlarından [13, 14] yapılan çıkarımlarla ortaya çıkan bu beklentilerin içerisinden en belirgin olanlarını şöyle sıralayabiliriz.

- **Sistemlerin Kullanım Seviyesi :** Geleneksel Harp Oyunu Benzetim Sistemleri (HOBS) için kullanım seviyesini tanımlamada taktik, operasyonel (operatif de denir) ve stratejik seviye sık kullanılan kavramlar olarak göze çarpmaktadır. Sistemin kullanım seviyesi, benzetim sistemini kullanacak kullanıcı tiplerini, sistemin sahip olacağı yetenekleri/özellikleri ve benzetimi yapılacak modellerin neler olacağını etkiler. Sistemden elde edilmek istenen sonuçları belirler. Teknolojinin getirdiği yenilikler sayesinde harp oyunu benzetim sistemlerinde kullanıcı tarafındaki en büyük değişimin "kullanım seviyesinde" olduğu göze çarpmaktadır. Günümüze kadar ayrı gibi düşünülen seviyeler artık iç içe girmekte ve kullanıcı açısından hibrit seviye kullanım talebinin arttığı gözlemlenmektedir.
- **Modellerin Çözünürlüğü :** Geleneksel harp oyunu benzetim sistemleri için kullanılan "Yüksek Çözünürlük (High Resolution) ve Yüksek Düzeyde Birleştirilmiş/Bütünleşik (Highly Aggregated)" [3] gibi model çözünürlükleri, benzetim sisteminde kullanılacak modellerin sadakat (fidelity) seviyesini ve tasarımlarını, sistemde yapılacak varsayım ve kabülleri, modellerde kullanılacak parametre tiplerini ve sayılarını doğrudan etkiler. Bu kapsamda, bir önceki maddede açıklanan harp oyunu benzetim sistemleri için hibrit seviye kullanım talebi, sistem içerisinde koşan modellerin de çözünürlük açısından hibrit olması sonucunu doğurmaktadır. Buradan hareketle, gelecek nesil harp oyunu benzetim sistemlerinde bazı modellerin yüksek çözünürlüklü ve detaylı, bazı modellerin ise yüksek düzeyde birleştirilmiş olabileceği bir çözüm olarak görülebilir. Yani sistem modelleri çözünürlük seviyesinde homojen bir yapıda olmayabilecektir.
- **Daha Gerçekçi Sonuçlar :** Geleneksel operasyonel/stratejik seviye harp oyunu benzetim sistemlerinde modellerin bazı kabüller ve hatalarla birlikte kullanıcıyı tatmin eden sonuçlar üretmesi genel olarak yeterli görülmektedir. Bu kapsamda, sistemlerin zaman zaman olasılığa dayanan ve gerçek ile uyumlu sonuçlar üreten model algoritmalarına sahip oldukları göze çarpmaktadır. Ancak, kullanıcı tarafından günümüzde yeni nesil sistemlerin gerçeğe uygunluktan ziyade "gerçeğe daha yakın sonuçlar üretmesi" aranan bir özellik olmuştur.
- **Daha Fazla Sayıda Kullanıcı :** Günümüzde gerçeğe yakın bir eğitim/tatbikat yapılabilmesi her yönüyle aranan bir özelliktir. Bu ortamı sağlamak için geliştirilen yeni nesil sistemlerin eski sistemlere oranla kullanıcı sayıları da doğal olarak artmaktadır. İnternet teknolojilerindeki gelişim sayesinde yüzlerce hatta binlerce kullanıcının aynı anda oyun oynayabildiği günümüz dünyasında, kullanıcı gecikmelerini ve kararlara etkilerini görebilmek için kullanıcı tipinin çeşitlendiği ve sayısının arttığı oyunlar daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak için yeni bir adım olarak görülmektedir.
- **Uzaktan Bağlantı :** Günümüzde gezginlik (mobilite) hayatın olağan akışı içine girmiş, bir çok iş internetin yaygınlaşması ve ağ kapasitesinin artması sayesinde gidilen yerden bağımsız olarak uzaktan bağlanılan programlar/web siteleri vasıtasıyla yapılabilir hale gelmiştir. Durum harp oyunu benzetim sistemleri için de farklı değildir.

21'inci yüzyılda özel bazı harp oyunu faaliyetleri hariç, onlarca/yüzlerce insanın bir harp oyununa iştirak etmek için kilometrelerce yol alıp faaliyetin icra edileceği mevkiye ulaşması ve belli bir süre görev yerinden uzakta kalması tercih edilen bir durum değildir. Bu sebeple, oynanan oyunlara farklı coğrafi bölgelerden iştirak edilebilmesi ve hatta katılımcının görev yaptığı Komutanlıklardan oyuna iştirak edebilmesi, bununla birlikte farklı coğrafi bölgelerde olan kişilerin oyun değerlendirme ve analizlerini yapabilmesi gibi yeni ihtiyaçların ortaya çıktığı görülmektedir.

- **Aranan Veriye Hızlı Erişim ve Detaylı Değerlendirme ve Analiz :** Gerçekçiliği ve kullanıcı sayısı yükselen yeni nesil sistemlerde, oyuncuların sistemi kullanarak gerçekleştirdiği hususların ve sistem modellerince üretilen verilerin arasından kayıt edilmesine ihtiyaç duyulanların sayısı ve boyutu çarpıcı biçimde artmıştır. Bir oyunun değerlendirme ve analiz amaçlı kayıt edilen verilerinin yanısıra oyunu bir başlangıç noktasından itibaren izleme ve hatta o noktayı başlangıç noktası kabul edip tekrar oyunu koşturma aranan özelliklerdendir. Bununla birlikte sistem büyüdükçe ve model çözünürlüğü arttıkça kayıt edilecek verinin sayısı ve büyüklüğü artmakta, kayıt için harcanacak süre ise kısalmaktadır. Ayrıca, kayıt edilmiş verilerin bir düzen içerisinde kolay ve hızlı erişilebilecek şekilde değerlendirme ve analiz grubunun kulanımına sunulması beklenen bir diğer özellik haline gelmiştir.
- **Simülasyon/Simülatörler İle Etkileşim :** Yeni nesil harp oyunu benzetim sistemlerinin bir diğer aranan özelliği başka bir simülasyon veya simülatör ile etkileşimli çalışabilmesidir. Aslında bu yeni bir kavram değildir. Sistemlerin etkileşimli çalışması için DIS [15] ve HLA 1516 [16] bu ihtiyaçtan çıkmıştır. Ancak kullanıcının farklı seviyelerdeki sistemleri aynı senaryo içerisinde kullanarak yüksek çözünürlüklü modellere sahip sistem tarafındaki kullanıcıya eğitim vermek istemesi ve aynı anda yüksek düzeyde birleştirilmiş modellere sahip sistem tarafında ise vereceği stratejik kararları etkileyecek hususları incelemek ve görmek, bu etkilere istinaden kullanıcının nasıl ve ne tür bir tepki vereceğini eğitmek istemesi yeni bir oluşumdur denebilir. Bu da harp oyunu benzetim sistemlerinin sadece plan ya da harekat tasarısını denemek ve eksik/güncellenmesi gereken yönlerini tespit etmek gibi olağan amaçlarına, "Aynı anda farklı seviyelerdeki kulanıcı tiplerine eğitim verme" amacının da eklenmekte olduğunu göstermektedir.
- **Gerçek Sistemler ile Etkileşim :** Harp oyunu benzetim sistemlerinin gerçeğe en yakın şekilde eğitim verme amacına yönelik kullanılabilmesi için kullanıcının gerçek hayatta kullandığı sistemi kullanarak sanal bir dünyadaki faaliyete iştirak edebilmesi ihtiyaç olarak göze çarpmaktadır. Burada yeni olan aslında "gerçek sistemler vasıtasıyla geniş katılımlı bir harp oyunu oynama" fikridir. Buradan hareketle Modelleme Simülasyon (M&S) ve Komuta Kontrol Bilgi Sistemlerinin (KKBS) birlikte çalışabilirliğini sağlamak üzere geliştirilmekte olan Muharebe Yönetim Dili (Battle Managament Language-BML) [17] ve türevleri Coalition Battle Management Language (C-BML) [18] ile Extensible Battle Management Language (X-BML) [19] gibi

çalışmalar, teknik açıdan bakıldığında bu amaca hizmet etmeyi hedeflemektedir. Komuta Kontrol Sistemi ile haberleşmek için kullanılan BML, bir bakıma gerçek ve simüle edilmiş birliklerin kullanabileceği bir standart olarak düşünülebilir. Gerçek sistemler ile etkileşimli bir harp oyunu ortamında çalışma, operatör veya sistem gecikmelerinin bile stratejik seviyedeki sonuçlarının görülmesine yol açacak ve kararlara varırken daha doğru/gerçek bir süreç işleyişi olmasını sağlayacaktır. Son derece gerçekçi sonuçların çıkması beklenen bu işleyişte operatör de eğitim alabilecektir.

4. YENİ BİR TÜR YAPISAL DENİZ HARP OYUNU BENZETİM SİSTEMİ

Geleneksel harp oyunu benzetim sistemlerinde modellerin sadakat (fidelity) seviyelerinin genellikle düşük olduğu göze çarpmaktadır. Bununla birlikte ağ ya da yazılım performansına yönelik özel algoritmalara ihtiyaç duymadıkları, çözünürlüğü düşük modellere ve olasılıksal veya bir zar atma şeklinde ifade edebileceğimiz karar verme mekanizmalarına sahip oldukları görülmektedir. Barbaros Harp Oyunu Sistemi (BAHOS), Türk Deniz Kuvvetlerinde ilk harp oyunu benzetim sistemi olarak 2009 yıllarına kadar kulanılan bu türe en güzel örneklerden birisidir. Bu yaklaşım stratejik seviyede bir harp oyunu ortamı yaratmak için yeterlidir. Bu birinci nesil diyebileceğimiz harp oyunu benzetim sistemi Milli bir deniz harp oyunu sistemi geliştirilebilmesi için adeta bir prototip görevi görmüştür. Buradan elde edilen bilgi ve tecrübe ile tanımlanan ihtiyaçlara istinaden milli yapısal bir deniz harp oyunu benzetim sistemi olan "Deniz Harp Oyunu Sistemi (DEHOS)" [6], TÜBİTAK TSK Savunma ve Uzay ARGE Projesi olarak METEKSAN Savunma Sanayi A.Ş. tarafından geliştirilmiş ve Türk Deniz Kuvvetlerinin her aşamasında geri besleme yaparak beraber hayata geçirdikleri bir proje olmuştur. DEHOS ve NATO ülkelerinde yaygın kullanım alanı olan JTLS'in son sürümleri ise ikinci nesil diyebileceğimiz harp oyunu benzetim sistemleri olarak nitelendirilebilir. Bu her iki sistem için de gerçek sistemler ile etkileşim hariç ve bazıları sınırlı seviyede olmak koşuluyla üçüncü bölümde belirtilen beklentileri belli oranlarda karşılayabildiklerini söylemek yanlış olmaz.

Günümüzde karar vericiler tarafından stratejik seviye olarak tanımladığımız bir harp oyunundan beklenen sonuçlardan daha gerçekçi ve detaylı sonuçlar beklenmektedir. Bu kapsamda, donanım ve yazılım teknolojilerindeki ilerlemeler de dikkate alındığında 21'inci yüzyılın deniz harp oyunu tanımını; "Deniz harbinin gereği tek gemi seviye benzetimi kısıtlı olarak içerisinde barındıran operasyonel seviye bir benzetim" olarak tanımlayabiliriz. Türk Deniz Kuvvetlerinin halihazırda kullandığı DEHOS, bu tanıma uygun bir sistem olarak geliştirilmiştir. DEHOS modellerin seviyesi açısından JTLS ile karşılaştırıldığında sensörlerin tespit/teşhisi, ortam şartlarının sensörlere etkisi gibi bazı modellerinde daha detaylı, çözünürlüğü yüksek ve taktik seviye denilebilecek bir deniz harp oyunu benzetim sistemidir. Günümüzde bilişim, donanım ve yazılım sektöründe

yaşanan gelişmeler bu detaylı modellemeye izin vermiş, model işleyişi ve sonuçları bakımından gerçekçiliği artan 21'inci yüzyıl harp oyunu için yeni operasyonel (operational/theater level) (operatif de denir) seviye böylece ortaya çıkmıştır. Tanımlanan bu yeni seviye eskisine oranla ürettiği sonuçlar bakımında daha doğru, modeller açısından daha detaylı ve modellerin işleyişi neticesinde ulaşılan sonuçlar açısından daha gerçekçi olmaktadır.

Öte yandan, operasyonel seviye için yapılan bu yeni tanımlama, taktik seviye simülasyonlar ve simülatörler için de seviyenin tekrar düşünülmesi ve tanımlanması ihtiyacını doğurmaktadır. Simülasyon/simülatör dünyasında gerçekçiliğin arttığı ve yazılım/donanım teknolojilerindeki ilerlemelerin sürekli olduğu bir çağda taktik seviye benzetimin tanımını değiştirebilecek projeleri yakın zamanda göreceğimiz açıktır.

Yeni tanımlanan seviyedeki harp oyunu mimari yapısı Türk Deniz Kuvvetlerinin muharip unsurlarının; Görev Kuvveti, Görev Grubu, Görev Birliği ve hatta Görev Elementi ya da Suüstü Muharebe Grubu (SMG) gibi değişken seviyelerde, tek gemi harekatı esas olacak şekilde bir senaryo içerisinde oynanabilmesine imkan vermektedir. Bu kapsamda, uzaktan erişim kabiliyeti olan ve kullanıcı sayısı çok büyüyen yeni ve birçok gelişmiş yeteneğe sahip yeni nesil harp oyunu benzetim sistemlerinde performans problemlerini aşmak için geleneksel istemci-sunumcu mimarisi ya da WEB teknolojilerinin halihazırda geldiği nokta tek başına çözüm olmayabilir. Bu sebeple yeni nesil sistemlerde Bulut Bilişim/Bulut Servis olarak Modelleme ve Benzetim [20], Servis olarak Benzetim (Simulation As A Service), Servis olarak Modelleme&Benzetim (Modelling&Simulation as a Service (MSaaS)) [21] gibi yeni çözümlerin araştırılması ve sistem tasarımlarında dikkate alınarak kullanılması ön plana çıkabilecek hususlar gibi görülmektedir. Ancak burada da güvenlik kriterlerini sağlamak ve kullanıcıyı tatmin eden bir güvenli mimari yapının gerçekleştirilebilmesi en önemli hususlardan biridir.

Güvenli oluşun yanısıra bunu idame edebilmek ve büyüyen karmaşık sistemi yönetebilmek de çok önemlidir. Günümüzde sistemler içerisinde sensörlerin kullanımının artması ve buna uygun yazılımların geliştirilmesi ile birlikte bağımsız/özerk sistemler (*Autonomous System; yapısal olmayan ve dinamik durumlar içerisinde çalışabilen sistemler*) ile otomatik veya otomatikleştirilmiş sistemler (*Automatic/Automated System; yapısal ve tahmin edilebilir ortam içinde işleyen sistemler*) arasında bir ayırım yapılacağı görülmektedir.[22, 23] Bu bağlamda, bağımsız/özerk sistemlerin kullanım yerinin gün geçtikçe artacağını söylemek yanlış olmaz. Bunun etkilerinin harp oyunu sistemlerinde de gözükmesi beklenen bir durumdur. Uzaktan erişim kabiliyetli çok kullanıcılı bir deniz harp oyunu benzetim sistemini kullanarak icra edilen ve gerçek bir görev maksadıyla denizde intikal halinde olan bir unsurun eğitim alabilmesi amacıyla iştirak edeceği bir oyun, bu tür sistemlerin alt yapısı ile daha yönetilebilir olacaktır. Şüphesiz ki bir ağ için iletişim katmanı hayati

roldedir. Bu tür harp oyunlarının tolere edilebilir ağ kopukluklarını/gecikmelerini kullanıcıya hissettirmeyecek ve sistemin olağan çalışmasını bozmayacak, kendini oyun, kullanıcı ve dış dünyadaki değişimlere adapte edebilecek özerk sistemler ile daha kolay icra edilebilmesi olasıdır.

Bu çerçevede, sürekli gelişen yazılım ve donanım teknolojilerine paralel olarak harp oyunu benzetim sistemini ilgilendiren ilerleme ve çalışmalar [7-10, 24-26] incelendiğinde, genel olarak gelecek nesil (üçüncü nesil) deniz harp oyunu benzetim sistemlerinin, geleneksel ve yeni tanımlanan deniz harp oyunu benzetim sistemi yeteneklerine ilave olarak aşağıda gösterilen yeni tür yeteneklere de sahip olacak şekilde tasarlanmasının bir ihtiyaç olarak ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Şüphesiz ki kullanıcı ihtiyaçları ve teknolojideki gelişim paralelinde bu yetenekler kümesine de yenilerinin eklenmesi mümkündür.

- **Kontrollü Bir Ortam :** Oyunun, düzgün ve hedefine/amacına yönelik oynanması için önemli bir yetenektir.
- **Jeneriklik, Jenerik Model ve Parametreler :** Sistemlerin kullanım ömürlerini arttırmak için önemli bir özellik olarak göze çarpmaktadır. Bu özellik sayesinde veri tabanında henüz yer almayan unsur/silah/sensör/cihazlar veri tabanında yaratılabilmekte ve senaryoda/oyunda kullanılabilmektedir.
- **Denizden Erişim :** Uzaktan erişimden ayrı tutmamız gereken bu önemli özellik, gerçekte sanal dünyada icra edilmekte olan bir oyuna gerçek dünyada denizde seyir halindeyken iştirak edilebilme özelliğini işaret eder. Bu özellik unsurun kendi eğitimini planlaması, senaryo girmesi, sanal eğitim için eğitim yardımcısı görevinde olan bir başka unsur ile beraber eğitim icra edebilmesi, değerlendirme-analiz ve kontrol fonksiyonlarını kendi unsuru üzerinden yapabilmesi olanağını unsura kazandırır.
- **Kullanıcı Arayüzlerini Farklı Dillerde Gösterebilme :** Kullanıcının benzetim sistemi ile etkileştiği yer arayüzlerdir. O halde, bu arayüzler oyuna girilirken seçilecek bir dilde gösterime sahip olacak bir altyapı ile tasarlanırsa kullanıcı profili çeşitlenecek ve kullanımı da o derece artacaktır. Kullanıcı istediği dilde oyunu açacak ve oyunu anlayarak kullanacak, dil problemi ortadan kalkacaktır.
- **Sayısal 3B ve/veya Fotoğraflı Gösterime Sahip CBS Altlığı :** Ortam şartları bilgilerine havi, deniz harekat ortamını gösteren, modellerin işleyebileceği yeterli çözünürlükte derinlik ve yükseklik verilerine sahip hızlı bir sayısal Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) bir başka vazgeçilmez yetenektir. Ancak, Üç Boyut (3B) gösterimlerinin yaygınlaştığı, uydu görüntüleri/gerçek fotoğraflar ile gösterim yeteneği olmayan bir harita altlığı günümüzde yeni nesil sistemler için yetersiz kalacaktır.
- **Jenerik Harita Yaratabilme veya Yaratılmış Jenerik Haritayı Kullanabilme :** Kullanıcıların sanal bir dünyada eğitim yapma ihtiyaçları her zaman gerçek haritalar kullanmayı gerektirmeyebilir. Eğitim hedeflerine uygun olarak tasarlanacak ortam şartlarına havi jenerik (gerçekte var olmayan) bir harita yaratabilme veya yaratılmış bir

jenerik haritayı kullanarak bir oyun oynatabilme yeteneği yeni sistemlerin bir diğer aranan özellikleridir.

- **Yapay Zeka ve Otonom Unsurlar :** Yeni nesil sistemlerde olması kuvvetle muhtemel özelliklerden bir diğeri sistem tarafından oynanan akıllı unsurlar ve akıllı oyunculardır. Sistemin yönettiği bu oyuncular, rollerine istinaden unsur ve yine kendisine bağlı oyuncuları yönetecek, bu sayede bir oyun senaryosu içerisinde eğitimin/oyunun amacına bağlı olarak sistem, faaliyetin icrasına destek olacaktır.
- **Ayarlanabilir Geçit Kapısı :** Günümüzde yapılan araştırmalar HLA'nın (Yüksek Seviye Mimari) simülasyonlar/simülatörler arasında etkileşimli çalışma için tek başına yeterli olmadığına işaret etmektedir. Bu bağlamda, sistemin modellerine istinaden kullanıcının ihtiyacına göre belirleyeceği bir FOM ve SOM oluşturabildiği, parametreler arası dönüşümleri ayarlayabildiği ve adeta bir modüler adaptör vazifesi görecek bir ayarlanabilir geçit kapısı, dış dünya ile etkileşim için önemli bir özelliktir. Gelecek nesil sistemlerin, birden fazla sistem ile aynı anda etkileşimli çalışabileceği dikkate alındığında bu geçit kapılarından aynı anda çalışabilen, birden fazla ve farklı ayarlamalar ile kullanılabilme ihtiyacı olacağı öngörülebilir.
- **Yüksek Güvenlik ve Sistem Yönetimi :** Sunumcu, istemci, ağ, veri, veri tabanı, vb. güvenlik hususları yeni nesil sistemlerin en önemli ihtiyaçları olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca, sistem büyüyüp yaygınlaştıkça siber ataklara ve hatta fiziksel ataklara daha açık olacağından kendini koruyan, güvenlik sorunu olduğunda bunu tespit edebilen ve durumu sistem yöneticisine hızla bildirerek gerektiğinde otomatik önlemler alabilen sistemlerin, sistemin kurulumu, yazılımları ayağa kaldırma ve sürüm değiştirme/yükleme, ağ kontrolü, vb. sistem yönetimine ilişkin yetenekleri olmasına ihtiyaç duyulacağı görülmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Teknolojinin hem donanım hem de yazılım alanında hızlı ve sürekli olarak ilerlemesi ve gelişmesi, yapısal deniz harp oyunu benzetim sistemlerine yönelik kullanıcı beklentisinde de değişime yol açmaktadır. Kullanıcı beklentilerinin, stratejik seviyeden taktik seviyeye kadar tüm kullanıcı tiplerinin aynı senaryoda oyun oynayabileceği bir yapıya gitme eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, günümüze kadar stratejik, operasyonel (operatif) ve taktik seviye gibi sınıflandırmaya tabi tutulabilen sistemler, artık kullanım amacına ve kullanıcının seviyesine bağlı olarak ve hatta bazen aynı oyun içerisinde/aynı senaryoda tüm kullanıcı tiplerinin oyun hedeflerine ulaşmasını sağlayacak bir "hibrit seviye" kullanım ihtiyacını karşımıza çıkarmaktadır. Bu ihtiyacın ilk etapta yeterli gelmese de "Deniz harbinin gereği tek gemi seviyesi benzetimi kısıtlı olarak içerisinde barındıran operasyonel (operatif) seviye bir benzetim" olarak nitelenebilecek yeni nesil deniz harp oyunu sistemleri ile karşılanmaya çalışılacağı anlaşılmaktadır. Bu sistemlerden sonraki gelecek nesil sistemlerde ise; oyun planlaması,

senaryonun sisteme girilmesi, oyun icrası ve değerlendirme-analiz ile kontrol fonksiyonlarının denizdeki bir unsurdan yapılabildiği, taktik seviyeden stratejik seviyeye kadar farklı kullanıcı tipleri ile aynı anda icra edilebilen ve gerçek sistemlerin eğitim modunda kullanılarak bir oyuna iştirak edebildiği bir yapı uzak olmayabilir. Bununla birlikte, yakın gelecekte sistem bütününde, senaryoda ve ağ iletişiminde yaşanan kısa süreli/geçici değişimlere, anlık kopukluklara ve tespit edilen olumsuzluklara kullanıcıya hissettirmeden kendini adapte edebilen ve oyunun icrasının sürekliliğini sağlayan daha bağımsız/özerk sistemlerin hayatımıza girmesi de muhtemeldir.

KAYNAKÇA

[1] The Official Dictionary of Military Terms, Haziran 1992, Joint Chiefs of Staff.

[2] Peter Perla, 1990, The Art of Wargaming, Naval Institute Press, Annapolis-Maryland.

[3] Erdal Çayırcı, 2009, Multi-Resolution Federations In Support Of Operational And Higher Level Combined/Joint Computer Assisted Exercises, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 1787-1797.

[4] Curtis L. Blais, 1998, Prototyping Advanced Warfare Gaming Capabilities For The 21ST Century Warfighter, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 841-848.

[5] Dr.R.J. Roland, Mrs.E.F. Roland, Mr.E.P.Kelleher, 1989, Approaches and Aspects of Implementing a Computer Wargame Simulation A Historical Perspective, Rolands & Associates Corporation, California.

[6] DEHOS Sözleşmesi: Savunma Sanayii Müsteşarlığı, TÜBİTAK ve METEKSAN Savunma Sanayii A.Ş. arasında imzalanan 15.06.2007 tarihli ve 107A001 numaralı "Deniz Harp Oyunu Simülasyon Altyapısı (DEHOS) Projesi" sözleşmesi.

[7] Joint Theater Level Simulation (JTLS, V 4.1.3.0) Executive Overview, 2013, Department of Defense Joint Staff J7, Suffolk, VA.

[8] Bowers A., 2003, Multi-Resolution Modeling in the JTLS-JCATS Federation. Technical report., MITRE Cooperation.

[9] 2014, Joint Conflict And Tactical Simulation (JCATS) Capabilities Brief, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA.

[10] Roger Smith, 2008, OneSAF: Next Generation Wargame Model, *OSD/ROK Defense M&S Workshop*, Korean Institute for Defense Analyses.

[11] Birnstiel Marc, Kämmerer Michael, Kern Stefan, May Thomas, Noeske Andreas, Reershemius Ingo, Seglitz Christoph, Walther Marc-André, Wargaming Guide To Preparation and Execution, 2004, Bundeswehr Command and Staff College Hamburg.

[12] Robert Lutz, Randy Saunders, Margaret Loper, Winter 2012-2013, The Live Virtual Constructive (LVC) Architecture Roadmap: Foundations from the Past and Windows to the Future, *A DoD Modeling&Simulation Journal*, 15-27.

[13] Karl D. Pfeiffer, Theresa Tamash, Measuring The Impact of Natural Environment Representation on Combat Simulation Outcomes, 2014, *The Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, Paper No:14305.

[14] David R. Pratt, Matthias Spruill, Games Versus Virtual Simulation: An Informal Survey, 2011, *SCS M&S Magazine*, 7-15.

[15] IEEE Std 1278, 1998, IEEE Standard for Distributed Interactive Simulation – Application Protocols. New York, NY: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

[16] IEEE 1516, 2000, Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules.

[17] Pullen, J., Corner, D., Wittman, R., 2012, MSDL and C-BML Working Together for NATO MSG-085, IEEE Spring Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL.

[18] José Ruiz, Lionel Khimèche, David Désert, Patrice Guillou, Winter 2012-2013, Improvement of Simulation Interoperability by Introducing The CBML Benefits Into The HLA World, *A DoD Modeling&Simulation Journal*, 36-43.

[19] XBML: Michael R.Hieb, Andreas Tolk, William P.Sudnikovich, J.Mark Pullen, 2004, Extensible Battle Management Language (XBML): A Methodology for Web Enabling Command and Control for Network Centric Warfare, *The 2004 Command and Control Research and Technology Symposium*.

[20] Erdal Çayırcı, Modelling And Simulation As A Cloud Service: A Survey, *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference*, 389-400.

[21] Erdal Çayırcı, Configuration Schemes For Modeling And Simulation As A Service Federation, 2013, *Transactions of the Society for Modeling and Simulation International Journal*, Volume 89-Issue 11-1388-1399.

[22] Paul Scharre, Michael C.Horowitz, 2015, An Introduction to Autonomy in Weapon systems, *Center for a New American Security (CNAS)*, Ethical Autonomy Working Paper.

[23] Jennifer Lewis, Joyner Livingston, 2014, Sensor Placement Optimization in LVC Environments For Training, Analysis, and Operational Applications, *The Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, Paper No: 14314.

[24] Robert Lutz, Randy Saunders, Margaret Loper, Winter 2012-2013, The Live Virtual Constructive (LVC) Architecture Roadmap: Foundations from the Past and Windows to the Future, *A DoD Modeling&Simulation Journal*, 15-27.

[25] Johnson H. and Tolk A., 2013, Evalutating the Applicability of Cloud Computing Enterprises in Support of Next Generation of Modeling and Simulation Architectures, *Spring Simulation Multi-Conference*.

[26] Jose-Ramon Martinez-Salio, Jose-Maria Lopez-Rodriguez, 2014, Future of LVC Simulation: Evolving Towards The MSAAS Concept, *The Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)*, PaperNo: 14072.

ASKERİ UYGULAMALARDA İNSAN DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

İbrahim Genç [a,b]

[a] İstanbul Medeniyet Üniv., Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kadıköy – İstanbul, ibrahim.genc@medeniyet.edu.tr

[b] Agena Bilişim ve Savunma Tekn. San. Tic. Ltd. Şti., Pendik–İstanbul, genc@AgenaBST.com

ÖZ

İnsan davranışlarının modellenmesi problemi, birey ve grupların edimleri ve karar verme süreçlerinin kantitatif temsili olarak ifade edilebilir. Konu, sistem mühendisliği, psikoloji, sosyoloji, hesaplamalı sosyal bilimler, veri toplama / işleme, bilgisayar bilimleri gibi alanlara yayılmış olmakla birlikte askeri uygulamaların farklı problemleri için farklı gereksinimler önem kazanmaktadır. Zihinsel gecikmeler, stres, rahatsızlık, insan etkileşimi açısından organizasyon içerisindeki davranış ve komuta kontrol hiyerarşisi, duygu ve davranış faktörleri, fiziksel aktivite, giyim, uyku, çevre ve gıda, vestibular denge sorunları ve algı zorlukları gibi unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kadar geniş ve kompleks bir alan içerisinde kavramsal model uzayı da amaç uzayı ve simülasyon uzayına göre şekillendirilmelidir. Bu çalışmada kavramsal model tasarımında izlenecek yol, genel olarak insan davranışı ve bunun modellenmesine yönelik yaklaşımlar ele alınmış ve askeri uygulamalarda nasıl kullanılabileceğine yönelik temeller tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: etmenler, insan davranışı, modelleme, simülasyon.

MODELING OF HUMAN BEHAVIOURS IN MILITARY APPLICATIONS AND A CONCEPTUAL FOUNDATION

ABSTRACT

Human behavior modeling is simply a quantitative representation of performance and decision making process of people and groups of people. Along with this is an interdisciplinary problem including but not limited to system engineering, psychology,

sociology, computational social sciences, data acquisition / mining, computer sciences, for wide range of military applications very different requirements come into prominence. Therefore a lot of arguments such as human mind reaction delays, stress, sickness, command and control interaction hierarchy in an organization, emotional and personality factors, physical activity, dressing, sleepiness, environmental conditions and nutrition, vestibular balance problems and perceptional difficulties should be considered. For such a huge and complex field, conceptual model space should be formed in accordance with mission space and simulation space. This work deals with a conceptual modeling approach, generically explains human behavior and its models, and also discusses the foundations of their usages in military modeling and simulation applications.

Keywords: agents, human behavior, modeling, simulation

1 GİRİŞ

Ülkemizde modelleme ve simülasyon (M&S) çalışmalarının akademi, özel şirketler ve ihtiyaç ve tedarik makamları katkılarıyla önemli bir aşama kaydederek dünya seviyesinde bir birikime ulaştığı; uçak simülatörleri, hava savunma, deniz harp, silah, radar / haberleşme cihazları, C4ISR çözümleri ve eğitim simülasyonları gibi çeşitli farklı simülasyon ürünlerinin ortaya konmuş olduğu görülmektedir. Özellikle taktik harp oyunu simülasyonları, çeşitli farklı cihaz, platform ve sistem simülasyonları, çevrimde donanım (hardware-in-the-loop) çözümleri, optimizasyona dayalı ve kural tabanlı karar destek sistemleri geliştirilmiş olmakla birlikte insan psikolojisini ve davranış biçimlerini ele alan uygulamalara rastlanamamıştır [1]. Literatüre bakıldığında ise; kullanıcıların simüle edilmiş karakterler ile etkileşimini esas alan; operasyon eğitimleri, bilgisayar grafiği, kinesiyoloji ve antropometri gibi geniş uygulama yelpazesi olan problemin güncelliğinin sürdüğü, bununla birlikte insan davranışlarının modellenmesi çalışmalarının özellikle son 20 yılda önemli bir yoğunluk kazandığı görülmektedir. Ne var ki bu süreçte Pew ve Mavor (1998, p.8) tarafından ortaya konan 'birey ve grupların eylem ve algılama işlevlerinin modellenmesinin insanoğlu tarafından henüz başarılamamış muhtemel en zor görev olduğu' [2] ifadesi 10 yıl sonra Zacharias (2008, p.20) tarafından tekrarlanarak durumun halen değişmediği ve bu alandaki çalışmaların henüz bebeklik dönemini yaşadığı ifade edilmektedir [3]. Diğer taraftan özellikle savunma uygulamaları açısından kritikliğinin bu dönem içerisinde çok daha iyi anlaşıldığını eklemektedir. Bunun da ötesinde Gunzelman ve ark. (2014) konuya ilişkin uzun araştırma tarihçesine rağmen eğitim simülasyonlarının potansiyelinden tam olarak yararlanabilmek için birçok açıdan önemli gelişmelere hala ihtiyaç duyulduğunu belirtmek gereğini duymaktadır [4].

Konu, sistem mühendisliği / modelleme, psikoloji, sosyoloji, hesaplamalı sosyal bilimler, veri toplama / işleme, bilgisayar bilimleri gibi alanlara yayılmış geniş bir yelpazeye sahip olduğundan gelişmenin sağlanabilmesi disiplinler arası çalışma gruplarının oluştu-

rulabilmesi ile bağlantılıdır. Bununla birlikte Askeri uygulamalar açısından farklı problemler için farklı gereksinimler önem kazanmaktadır. Zihinsel gecikmeler, stres, rahatsızlık genel faktörlerken, insan etkileşimi açısından organizasyon içerisindeki davranış ve komuta kontrol hiyerarşisi, duygu ve davranış faktörleri olarak örneğin kara operasyonlarında fiziksel aktivite, giyim, uyku, çevre ve gıda, deniz ve hava operasyonları için ise vestibular denge sorunları ve algı zorlukları göz önünde bulundurulmalıdır [5]. Teknolojik açıdan; fizyolojiyi, bilişsel duygusal süreçleri ve bireysel farklılıkları göz önünde bulunduran edim yönetici fonksiyonlar teorisi (YFT) [6], dinamik /oyun teorisi yaklaşımlı modeller [7]-[9], yapay zeka uygulamaları [10] yanı sıra özellikle etmen tabanlı modelleme hem bilişsel yaklaşımlara sağladığı destek, ad-hoc mimarilere uygunluk ve jenerik olabilme özelliği ile yoğun olarak çalışılmaktadır [11]-[16]. Burada belirtilmesi gereken önemli bir husus da özellikle son dönemde diğer yaklaşımların da (YFT, dinamik modeller, oyun teorisi vb.) etmen tabanlı yaklaşımı kullanmasıdır.

Çalışmada dikkat edilen diğer hususlar son dönemde literatürde sıkça vurgulanan yeniden kullanılabilirlik (reusability) ve karşılıklı işletilebilirlik (interoperability) üzerine olmuştur. İnsan davranış modellenmesinin başlı başına zor ve karmaşık olması yanı sıra insan psikolojisinin farklı yönler içermesi, insanın farklı ortamlarda farklı davranması da günlük hayatta karşılaşılan durumlar arasındadır. Doğrulama, geçerleme ihtiyaçlarının da göz önünde bulundurulması çeşitli detay, derinlik ve güvenilirlik seviyelerinde modellerin artırımsal (incremental) geliştirilmesini gündeme getirmekte, yeniden kullanılabilirlik vurgusunu artırmaktadır. Ayrıca, farklı davranış kalıpları, insana ilişkin farklı yönlerin (aspect) aynı model/ simülasyon içerisinde ele alınabilmesi gereksinimini doğurmaktadır. Kavramsal Modelleme (KM) yaklaşımında, tüm bu gereksinimlere yapısı gereği doğal bir destek veren Etmen Tabanlı Simülasyon Sistemi [17]-[19] çerçevesinde geliştirilecek model ve simülasyon yapısı benimsenmiştir.

Problemin genişliği ve kompleksliğine binaen öncelikle KM yaklaşımında takip edilecek yöntem ele alınmış ve Bölüm 2'de askeri simülasyonlarda KM metodolojisi değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımın tercih sebebi, bu çalışmada ele alınan insan davranışlarının modellenmesi probleminin bir simülasyon ürünü hedefi olmaksızın genel bir anlayış ortaya koyma kapsamında tutulmasındandır. Böylece çalışmanın safhaları ilerledikçe takip edilecek yol belirlenmiş olacaktır. Bölüm 3'te insan davranış modellerine ilişkin askeri simülasyon uygulamalarındaki gereksinim, çeşitlilik ve farklılıklar özetlenerek insan davranışlarının kavramsal modelinin temelleri ortaya konmuştur.

2 KAVRAMSAL MODEL YAKLAŞIMI

Proje yönetimi bakış açısıyla, KM, bir simülasyon geliştirilmesi sürecinde, tasarım ve gerçekleme başlamadan önce hataların düzeltilmesinin nispeten kolay, hızlı ve ucuz olduğu son adımdır. Aslında kavramsal modeller M&S ömür devrindeki aşamaların anahtar noktalarından birisidir. Zira, senaryo geliştirme, simülasyon yazılımının

gereksinimleri ve test planının hazırlanması gibi diğer işler ile doğrudan ilintilidir ve KM, M&S kullanıcıları ile askeri saha uzmanları ve yazılım/simülasyon mühendisleri arasındaki köprüyü oluşturur. KM sürecine ilişkin bir uygulama standardının bulunmaması ve kavramsal modelin içeriğine yönelik bir mutabakatın bulunmaması gibi belirsizliklere açıklık getirmek amacıyla NATO Araştırma ve Teknoloji Organizasyonu (RTO) Modelleme ve Simülasyon Grubu bünyesinde tesis edilen Askeri M&S için KM araştırma görev grubuyla KM'nin iyi uygulama örneği kılavuzu (best practice guidance) tanımlanmıştır [20]. Bu çalışmada takip edilen KM yaklaşımı [20]'de önerilen uygulama pratiği olup ileriye yönelik bir kılavuz olması açısından ana hatlarıyla aşağıda özetlenmiştir.

Gerçek dünya tasvirinden başlayarak, KM, simülasyon ürününün geliştirilmesi, koşturulması ve sonucunda analitik sonuçların elde edilmesi ile tamamlanan döngü içerisinde kavramsal modelin tanımı, kapsamı, paydaşları ve içeriği ile tüm yapı ifade edilmiş olur. Kavramsal model, kendisine referans vermeyen en kısa haliyle; temsil edilen şeyi soyut olarak sunan model olarak ifade edilebilir.

Kavramsal modelin geliştirilme sürecinde üründen ya da süreçten etkilenen kişiler olarak tanımlanabilen paydaşların belirlenmesi de faydalı ve gereklidir. Zira her birinin modelleme sürecine katkısı, süreçten beklentisi, bu süreçteki sorumlulukları ve ilgisi farklıdır. Ancak bu farklılıkların tümünün yansıtılması ile ortaya tam bir modelin çıkması mümkün olacaktır.

Bir kavramsal model; kalite, kullanışlılık (utility), şekilsellik (formality) ve soyutluk'tur (abstractness) şeklinde dört ana kategoride toplanabilecek özelliklere sahiptir [20]. Kalite; ortaya konan ihtiyaçların karşılanabilirliğindeki tamlığı gösterirken, kullanışlılık modelin maliyetine göre ortaya koyduğu fayda ile elde edilen memnuniyet ölçütüne karşılık gelir. Şekilsellik; standart, kanun ya da geleneksel kural ve usuller ile uyumluluğu ortaya koyarken, soyutluk kavramsal modelin temsil edilen şeyi nasıl soyutladığı ya da sembolize ettiğiyle ilgilidir.

İnsan davranışlarının kavramsal bir modelini oluştururken de bu uygulama esasları dikkate alınarak bir kavramsal model kompozisyonunun oluşturulmasında fayda vardır. Bu kavramsal model, alternatif model tiplerini kullanabilir. Bu model tipleri temel kavramsal bileşenlerden oluşur ki bunlar kavramsal model yapıları olarak adlandırılabilecek daha yüksek dereceden bileşik yapılar da olabilir. Temel kavramsal bileşenler aynı zamanda alternatif model tiplerine sahip olan formalizmi tanımlar. Bu tanımlı formalizmi destekleyen ve kavramsal modelin sahip olduğu gösterimi gerçekleyen bir de notasyon ortaya konulmalıdır.

Kavramsal modelin yukarıda belirtilen yapısal özellikleri yanı sıra geliştirilmesi sürecinde de amaç uzayı ve simülasyon uzayı tanımlanarak bu ikisini kapsayacak şekilde bir kavramsal model uzayının tanımlanması yoluna gidilmelidir. Bu süreçte

gereksinimler belirlenip, bilgi ihtiyaçları ortaya konarak bu ihtiyacı karşılayacak bilginin toplanması için kaynak araştırması yapılır ki buna önceki mevcut modellerin yeniden kullanımı da dahildir. Kavramsal modelin oluşturulmasına ise kavramsal modelin tasarımı için üst paragrafta belirtilen formalizm, notasyon, gösterim ve temel bileşenler belirlendikten sonra geçilmelidir.

Tüm detayları [20]'de tanımlanmış olan KM süreci için çalışmaya bir başlangıç oluşturabilmesi amacıyla seçimli bir basitleştirme uygulanmıştır. En uç varsayım, insan davranışlarının M&S'unda en zor ve karmaşık konulardan birisinin doğrulama ve geçerleme olduğu göz önünde bulundurularak KM açısından kritik olmasına rağmen bu adımın –daha sonra ele alınmak üzere – bu aşamada yok varsayılmasıdır.

3 İNSAN DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ

İnsan davranışlarının modellenmesi, birey ve grupların davranışlarının, edimlerinin ve karar verme süreçlerinin kantitatif temsili olarak ifade edilebilir [21]. Ancak bu hiç de kolay değildir. Birçok sistemin modellenmesinde kullanılan rasgelelik insanlar için geçerli olmamaktadır. Davranışlar beklenmedik veya tutarsız olarak nitelendirilebilir ancak rasgele değildir [14]. Ayrıca insanların bilgi seviyelerindeki ve yeteneklerindeki farklılıklar ile akıl yürütme yöntemleri yanında herkesin kendine has bir kişilik yapılanması vardır ve bu insanın içinde bulunduğu duruma, duygularına ve kişiliğine göre farklı davranmasına yol açar [23].

Diğer taraftan insan doğasını anlamaya yönelik olarak geliştirilmiş birçok kuram bulunmaktadır. Freud'la başlayan psikanaliz kuramı, Adler, Jung Rank, Fromm ve diğer bilim insanları tarafından geliştirilerek uygulanagelmiştir [24]. Bireyi anlamaya ve bozuklukları sağaltmaya yönelik bu yaklaşımlar başarılı olmakla birlikte modelleme açısından pek yardımcı olmamaktadır. Ayırıcı Özellik Yaklaşımı insanların 4000'den fazla sıfatla tanımlanabileceğini belirterek [25] insanları kişilik özelliklerine göre sürekli bir skalada adreslerken kişilerin 5-10 temel özelliği ile tanımlanabileceğini ifade eder. Catell, istatistik çalışmaları da dahil ederek, 16 temel özellikle 16 faktörlü kişilik testini sunmuştur [26]. Ayırıcı özellik ve faktör tabanlı yaklaşımlar psikolojik bir araç olarak kullanılan kişilik özelliği ölçümlerini ortaya koysa da davranışı doğru bir şekilde kestiremez. Ancak modelleme çalışmalarında, psikoloji alanında ortaya konmuş bu kuramlardan farklı derecelerde yararlanılmaktadır.

İnsan davranışlarının modellenmesi teknolojik bakış açısıyla ele alındığında yine bir çeşitlilik söz konusudur. Yapay zekâ bunlar arasında en köklü olanlardan birisi olup zeki varlıkları anlamaya dönük çabaları içerir ve psikoloji ile felsefeden farklı olarak, zeki varlıkların davranışlarını anlamanın ötesinde, onların taklit eden algoritmaların geliştirilmesi faaliyetlerini de kapsar [27]. Yapay zekâ yaklaşımında karşılaşılan önemli bir sorun bu yaklaşımın davranış modellemeden ziyade yüksek seviye bilişsel fonksi-

yonlara yoğunlaşmış olduğudur. Ayrıca yapay zekâ araştırmacılarını bilişsel araştırmacılardan ayıran en temel fark yapay zekâ ile mükemmel insan davranışı üretilmeye çalışılmakta insan hataları ele alınmamaktadır.

Sosyal modelleme ve simülasyon çalışmalarında en yaygın kullanılan teknolojilerin başında etmen tabanlı modelleme, akıllı etmenler ve çoklu etmenler gelmektedir. Literatürde yer alan çeşitli insan davranış modelleme sistemleri diğer tekniklerle birlikte etmen yaklaşımını da kullanmaktadır [15][22][28].

3.1 İnsan davranış modellerinin askeri uygulamalarda kullanımı

Simülasyonun askeri uygulamalarda kullanımının analiz, tedarik, eğitim ve karar destek gibi konular üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bunun yanında insan davranışının modellenmesiyle, kültürel değerler, karar verme, yorgunluk, yüksek sıcaklık, algı hataları ve buna benzer birçok özel kriterin askeri organizasyon ve operasyonlarda nasıl etki ettiği ile ilgilenilmekte ve simülasyon tabanlı eğitim uygulamalarında görülebilmekte ve operasyonel düzeltmeler planlanabilmektedir.

Askeri simülasyonların savaş durumu harekat sahası (battlefield) ve er/müfreze seviyesinde ele alındığı, sanal ortamda ve özellikle içine girilerek yürütülen simülasyon/simülatör eğitimlerinin, gerçek eğitimler kadar olmasa da ciddi bir pozitif etkisinin olduğu ve gerçek ortam eğitim sürelerinin azaltılmasını sağladığı belirtilmektedir [29]. Diğer bir yaklaşımla taktik seviye savaş oyunu simülasyonları da kullanılmaktadır. Özellikle taktik seviye simülasyonlarda mevcut yaklaşım senaryo hazırlama işleminde kırmızı ve mavi kuvvetlerin her ikisinin senaryosunun da simülasyon kullanıcıları tarafından belirlenmesiyken yeni eğilim bir tarafın bilgisayar tarafından üretilen kuvvetler ile donatılması ve yönetilmesidir. Bu noktada gerçekçi bir simülasyon koşumu için düşman davranışlarının, muhakeme ve karar verme yöntemlerinin doğru modellenerek simülasyona dahil edilmesi ihtiyacı doğmaktadır. Ayrıca makine öğrenmesi, BDI (belief-desire-intention, kanı-istek-hedef) etmenler, bilişsel modeller ve karar teorileri modele dâhil edilerek modelin adaptif olarak öğrenebilir ve gelişebilir olması sağlanabilmekte, böylece bilgisayar tarafından üretilen kuvvetlerin gerçekçi bir davranış ortaya koyması sağlanabilmektedir [30].

Askeri simülasyonlarda düzenli savaş dışında ele alınan diğer bir önemli konu terörizm ve anti-terörist tedbir ve faaliyetlerdir. Ancak burada karşılaşılan problemler terörizmin tanımının yapılmasının zorluğuyla başlamaktadır. Örneğin, bir ülkenin başka bir ülkeye uyguladığı şiddet, savaş olarak tanımlanmaktadır. Savaşta taraflar durumun farkındadır ve belirli kurallar çerçevesinde yürütülmektedir. Buna mukabil terörist ya da terörizm hiçbir kurala tabi değildir ve terörist gayet belirgin bir şekilde mülkiyete, topluma ve devlete karşı bir tehdit oluşturmaktadır [31]. Üzerinde anlaşılmış ortak bir tanımı olmaması bir yana [32], ülkelerin farklı kurumları da terörizmi farklı şekilde tanımlayabilmekte [33][34], ülkeler arasında da tanımlar farklılaşabilmektedir [35]. Ortak bir tanım

oluşturmak için Birleşmiş Milletler kapsamında yapılan çalışmalar sonuç vermemiştir [36]. Özellikle asker, polis gibi silahlı kuvvet birimlerine karşı yapılan saldırıların terör olarak nitelendirilip nitelendirilmeyeceği veya devlet terörü gibi kavramlar asıl ayrışma noktalarını oluşturmaktadır. Diğer taraftan akademik camiada ortak bir tanım yapılması yönünde çalışmalar literatürde yer almaktadır ve özellikle terörizmin şiddet içerdiği, sosyal ve politik amaçlar içerdiği, toplumda korku, güvensizlik gibi duygular yerleştirmeye çalıştığı gibi belirli kriterler ortaya konmuştur [37]. Burada karşılaşılan diğer bir zorluk terörist unsurların belirlenmesi, hareketlerinin kestirilmesi ve müdahale edilmesinde yaşanmaktadır. Dolayısıyla terörizmle ilgili simülasyonlarda eğitim amacı yanında erken uyarı, karar destek gibi amaçlar ağırlık kazanmaktadır [38]. Ayrıca simülasyon ortamında yer alan varlıkların davranışları da farklılık göstermektedir. Şöyle ki askeri unsurlarda görünen riskten kaçınma davranışı terörist unsurlarda görülmeyebilmektedir. Zira kendisi yakalansa ya da öldürülse bile amacı (toplumsal etki, zarar verme, korku uyandırma vb.) gerçekleşmiş olmaktadır. Diğer bir ifadeyle muhakeme mekanizması ve bedel işlevi (cost function) farklı olmaktadır.

3.2 İnsan Davranışlarının modellenmesinde örnek çalışmalar

İnsan davranışlarının modellenmesine yönelik kavramsal sistemler, insan karar verme işlemini matematik dönüşümlerden daha soyut kavramlar ile modelleyen yaklaşımlardır. Bunlara örnek olarak BDI yapılar, duygusal durum ve sosyal statü gibi kavramları ele alarak hızlı ve basit karar üreten hiyerarşiler verilebilir.

Literatürde yer alan sistemlerden biri; davranışsal kararları etkileyen fiziksel, duygusal, bilişsel ve sosyal faktörleri (Physical, Emotional, Cognitive, Social; PECS) içerir [39]. PECS referans model genel problem sınıfları için standart bir çözüm ortaya koyar ve bir şablon görevi görür. Genel referans modelin, gerçek sistemlerin özel durumlarına uyarlanması mimari yapıda bırakılmış bazı boşlukların doldurulması ile mümkün olmaktadır. Bunlar durum değişkenlerinin sayısı, tipi, bağımlı değişkenler, transfer fonksiyonunun yapısı, cebrik fonksiyon ve çıkış fonksiyonunun tanımlanması gibi şeylerdir.

PECS mimarisinin temel metodolojisi; bir sistemi, durum değişkenleri, durum denklemleri ve çıkış fonksiyonu ile karakterize eden sistem teorisidir. PECS etmeni içerisinde dış dünyayı algılayan sensör birimi yer alır. Ancak etmen dış dünyayı sensörden gelen doğrudan bilgi ile değil kendi algılama bileşeni üzerinden algılar. Bu yapı her insanın bir olguyu kendisine göre algılamasına benzer bir farklılaşmanın tanımlanmasına imkân tanır. Sosyal statü, bilişsel, duygusal ve fiziksel algı birimleri etmenin iç dinamiklerini oluşturur ve bunların sonuçlarına göre davranış birimi tarafından etmenin nasıl davranış sergileyeceği belirlenir. Etmenin yürütme biriminde o etmen için geçerli etkinlikler tanımlıdır ve davranış bu etkinliklerden biri şeklinde dış dünyaya iletilir. Bilişsel birimde, etmenin kendisine yönelik algısı, hafıza, çevre modeli, planlama ve yansıtma yetenekleri yer alır. Etmenin duygusal zekâsı da iç ve dış duygusal durumların hangi seviyelerde algılanabileceği ve oluşan duygu durumlarının etmenin

hareketine nasıl etkiyeceğinin bir ölçüsünü oluşturmaktadır. Etmen içerisinde çoğu zaman farklı durumlar yarış halindedir ve baskın olan duyguya göre hareket belirlenir. Modelin karmaşıklığına göre ele alınan duygular çeşitlendirilebilmekle birlikte Maslov'un tanımladığı alt seviye temel ihtiyaçlar [40] ve psikanalitik kuramlarda sıklıkla ele alınan kaygı ve korku türü duygular [24] çoğu zaman yeterli olmaktadır.

4 SONUÇ

İnsan davranışlarının modellenmesi, ele alınan gerçek dünya karşılığı itibariyle zor ve karmaşık bir problemdir. Yürütülecek modelleme ve simülasyon çalışmalarının başarıya ulaşabilmesi açısından KM en az diğer simülasyon çalışmalarında olduğu kadar önemli olup ciddiyetle ve sistematik bir şekilde ele alınmalıdır. Konu disiplinler arası bir doğaya sahip olduğundan sadece teknik yaklaşım yeterli olmayıp aynı zamanda sosyoloji, psikoloji ve bilişsel bilimler alanlarında da araştırma çalışmalarının yapılması gereklidir. Savaş alanı eğitim simülasyonlarının gerçekliği ve faydası ile savaş oyunu eğitim simülasyonlarının etkinliğinin artırılması açısından insan davranış modelleri uygulamalara dahil edilmelidir. Diğer taraftan terörist aktivitelerin modellenmesi ve simülasyonunun, bu unsurların anlaşılması, takibi ve erken uyarı ve karar destek sistemlerinin geliştirilebilmesi açısından çok daha kritik olduğu değerlendirilmektedir. Sosyal, psikolojik ve politik bileşenleri sebebiyle terör simülasyonlarının insan davranış modellerini içermeksizin yeterli olmayacağı anlaşılmaktadır. Karşılaşılacak diğer bir zorluk modellerin doğrulanması ve geçerlenmesi olup, geniş veri setleri gereklidir.

5 KAYNAKÇA

[1] ODTÜ TSK Modsimmer, (2014) Türkiye'deki MODSİM altyapı ve kabiliyetlerine yönelik olarak NATO Modeling and Simulation Group toplantısında Türkiye temsilcisi tarafından yapılan sunum, http://modsimmer.metu.edu.tr/system/files/modsim_turkey.pptx, erişim tarihi: Haziran 2015.

[2] Pew, R. W., & Mavor, A. S. (Eds.). (1998). *Modeling human and organizational behavior: Application to military simulations*. National Academies Press.

[3] Zacharias, G. L., MacMillan, J., & Van Hemel, S. B. (Eds.). (2008). *Behavioral modeling and simulation: from individuals to societies*. National Academies Press.

[4] Gunzelmann G,Gaughan C,Huiskamp W,van den Bosch K.,de Jong S.,Alexander T.,Bruzzone AG ve Tremori A., (2014), In search of interoperability standards for human behavior representations, *Interservice/Industry Training, Sim., and Education Conf. (I/ITSEC)*, ss. 14027/1-12.

[5] Lotens W., (2013), Technical Evaluation Report MSG-107 Meeting, *STO Meeting Proceedings on Human Behavior Modelling for Military Training Applications*, ss.T1-T10.

[6] Silverman B.G., Cornwell J., O'Brien K., (2003), Human Performance Simulation, in Ness, J.W., Ritzer, D.R., & Tepe, V. (Eds.), *Metrics and methods in human performance research toward individual and small unit simulation*. Washington, DC: Human Systems Information Analysis Center

[7] Pentaland A. ve Liu A, (1999), Modeling and Prediction of Human Behavior, *Neural Computation*, (11) ss.229-242.

[8] Herbert Gintis H., (2009), *The Bounds of Reason: Game Theory and the Unification of the Behavioral Sciences*, Princeton Univ. Press.

[9] Yang R., Tambe M., Jain M., Kwak, J-Y., Pita J. ve Yin Z., (2011), Game theory and human behavior: challenges in security and sustainability, *Algorithmic Decision Theory*, ss. 320-330.

[10] Lehman, J. F., Laird, J., & Rosenbloom, P. (2006). A Gentle Introduction To Soar, An Architecture For Human Cognition: 2006 Update. University of Michigan.

[11] Majid M.A, (2011), Human Behaviour Modelling: An Investigation Using Traditional Discrete Event And Combined Discrete Event And Agent-Based Simulation, PhD Thesis, University of Nottingham.

[12] Marsella S. ve Gratch J., (2001), Modeling the Interplay of Emotions and Plans in Multi-Agent Simulations, *In Proceedings of 23rd Annual Conf. of the Cognitive Science Society*.

[13] Li L. ve MacDonnell S., (2008), An Emotion-based Adaptive Behavioural Model for Simulated Virtual Agents, *The International Journal of Virtual Reality*, 7(3):59-64.

[14] Kennedy, W.G. (2011), Modelling Human Behavior in Agent-Based Models. *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Part 2, ss 167-179. M. Batty, A. Heppenstall, and A.Crooks (Eds.), Springer.

[15] Schmidt, B. ve Schneider, B. (2004). Agent-based modelling of human acting, deciding and behaviour – The reference model PECS, In *Proceedings of the European Simulation Multiconference*.

[16] Schmidt, B. (2000). *The modelling of human behaviour*. Society for Computer Simulation International.

[17] Hocaoğlu M.F., (2005) Adsif: Agent Driven Simulation Framework, *The Huntsville Simulation Conference*, 2005.

[18] Hocaoğlu M.F., (2011), Etsis: Etmen Tabanlı Simülasyon Sistemi, *4. Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı*.

[19] Hocaoğlu M.F., Ergin A.A. ve Genç İ., (2010), Etsis: Etmen Tabanlı Simülasyon Sistemi Ve Model Tabanlı Doğrulama Ve Geçerleme, *2. Yazılım Kalitesi ve Yazılım Geliştirme Araçları Sempozyumu*, ss.235-244.

[20] Boomgaardt J-J., Cernat M., Harrison N., Mojtahed V., Jenssen A.C., Reif B.M., Pascual O.J., Tackett G., Voogd J.,Waite W.F., (2012), *Conceptual Modeling (CM) for Military M&S*, NATO RTO Technical Report, TR-MSG-058.

[21] RTO-MP-MSG-107, (2013) Executive Summary, *STO Meeting Proceedings on Human Behavior Modelling for Military Training Applications*, ss.ES1-ES2

[22] Weaver R., Silverman B.G., Shin H. ve Dubois R., (2001), Modeling and simulating terrorist decision-making: A 'Performance moderator function' approach to generating virtual opponents, In *Proc. of the 10th Conference On Computer Generated Forces and Behavioral Representation, Orlando* (ss. 97-106)

[23] Burger J., (2006), *Kişilik Psikoloji Biliminin İnsan Doğasına Dair Söyledikleri*, (Çev. Erguvan Sarıoğlu İ.D.), Kaknüs Yayınları.

[24] Geçtan E., (1988), *Psikanaliz ve Sonrası*, (2012, 15. basım), Metis Yayınları.

[25] Allport. G., (1961), *Pattern and growth in personality*, NY: Holt, Rinehart & Winston.

[26] Catell H.E.P., (2001), The sixteen personality factor questionnaire, In W I Dorfman ve M. Hersen Ed., *Understanding psychological assessment*, ss.187-215, NY. Plenum.

[27] Hocaoğlu M.F., (2014), *Etmen Tabanlı Simülasyon*, Ders Notları (Basılmamış), İ.Ü. Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi.

[28] Lehman J.F., Laird J., Rosenbloom P., (2006), A Gentle Introduction To Soar, An Architecture For Human Cognition: 2006 Update, University Of Michigan.

[29] Reitz E. ve Seavey K.P., (2013), Effect of Pre-Event Skills Training on Virtual Environment Performance, *STO Meeting Proceedings on Human Behavior Modelling for Military Training Applications.*

[30] Roessingh J.J., ve ark. (2013), Modelling CGFs for Tactical Air-to-Air Combat Training Motivation-Based behaviour and Machine Learning in a Common Architecture, *STO Meeting Proceedings on Human Behavior Modelling for Military Training Applications.*

[31] Centre of Excellence Defence Against Terrorism (COEDAT), (2006), Course Report, Definitions, Dimensions and Categories Of Terrorism Course, erişim tarihi Haziran 2015, *http://www.coedat.nato.int/publication/course_reports/05-DDCT.pdf*

[32] Gregor B., (2013), "Definition of Terrorism Social and Political Effects", *Journal of Military and Veterans' Health*, Vol.21, No.2, ss.26-30.

[33] US Department of Homeland Security Homeland Security Act of 2002 Congress of USA Title 22 of the United States Code, Section 2656f [d]

[34] Federal Bureau of Investigation Reports and Publications 2005.

[35] 9. Australian Federal Government (1995) Criminal Code Act 1995 Part 5.3 Divisions 100-106

[36] Annan K. (2006) "Uniting against terrorism: recommendations for a global counter-terrorism strategy", *Report of the Secretary-General, UN General Assembly*, A/60/825.

[37] Schmid A., (2012), "The Revised Academic Consensus Definition of Terrorism", Perspective on Terrorism, Vol 6, No.2, (Reprinted from: A.P. Schmid (Ed.). Handbook of Terrorism Research. London, Routledge, 2011, pp.86-87)

[38] Dack L., Sanderson J., Allen J., Schranz N. ve Beautement P. (2009), Engaging with Complexity – Human Behaviour Representation, In *NATO RTO Meeting Proceedings of Current uses of M&S Covering Support to Operations, Human Behaviour Representation, Irregular Warfare, Defence against Terrorism and Coalition Tactical Force Integration*, (ss 6.1-6.8)

[39] Schmidt B., (2002), Modeling of Human Behaviour The PECS Reference Model, In *Proc. of the 14th European Simulation Symp*., A. Verbraeck & W. Krug eds. SCS Europe BVBA.

[40] Maslow A.H., (1943), A theory of human motivation, *Psychological Review*, 50, 370-396.

ETSİS TABANLI SİMÜLASYON KAVRAMSAL MODELİ VE SENARYOLARININ DOĞRULAMASI

M. Fatih Hocaoğlu[a,b], Halil Kolsuz[c], Erdem Reşber[d]

[a] İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 34700 Göztepe/İstanbul mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

[b] [d] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, Teknopark İstanbul 34912 Pendik/İstanbul, hocaoglu@agenabst.com

[c] Aselsan, 34844 Macunköy/Ankara, hkolsuz@aselsan.com.tr

ÖZ

Etmen tabanlı simülasyon sistemi EtSiS kavramsal modelin ve senaryoların doğrulanabilmesine imkan tanıyan bir kavramsal model dili ve standart senaryo gösterim yapısı sunmaktadır. Gösterim bir betik ile tanımlandığı için, doğrulama süreci kavramsal model geliştirme ve senaryo hazırlanma aşamalarının her ikisini de kuşatır. Çalışmada, uygulama sahasından bağımsız, kavramsal model ve senaryo doğrulama kurallarının tanımlanıp işletilmesine imkân veren, EtSiS tabanlı genel amaçlı bir kavramsal model ve senaryo doğrulama çerçevesi geliştirilmiştir. Uygulamanın ana amacı, varlıklar arasındaki etkileşimleri, atanan görevleri, model davranışlarını ve kavramsal dünyaya ilişkin betimlemeleri doğrulamak ve benzer şekilde doğrulanmış olan kavramsal modeli baz alarak oluşturulan senaryoların doğruluğunu, kapsayıcılığını kontrol etmektir.

Anahtar Kelimeler: Etmen Güdümlü Simülasyon, EtSiS, Hava Savunma Simülasyonu, Kavramsal Model Doğrulama, Model tabanlı doğrulama, Senaryo doğrulama

SIMULATION CONCEPTUAL MODEL AND SCENARIO VERIFICATION BASED ON AdSiF

Abstract

Agent driven simulation framework AdSiF provides a language that allows verifying conceptual models and also it provides a standardized data structure for scenario representation. Since the representation is defined by a script, verification process covers both development of conceptual model and scenario. In this study, an AdSiF

based application domain independent conceptual model and scenario verification process, which defines and executes generic script rules for conceptual model verification and scenario verification, is developed. The main purpose is to verify consistencies for interactions between entities, assigned missions, model behaviors, and the declarations related with the conceptual world and similarly, to check verification of the scenarios created based on the verified conceptual model and to validate how well scenarios cover the conceptual model.

Keywords: AdSiF, Agent driven simulation, Air Defense Simulation, Conceptual model verification, Model based verification, Scenario verification

1. GİRİŞ

Kavramsal model hazırlama aşaması simülasyon dünyasına ait tüm varlıkların, kavramların, kuralların, ilişkilerin, algoritmik çözünürlüğün, görev ve davranışların tasarlandığı kritik ve tasarıma önemli girdiler sağlayan bir safhadır. Kavram düzeyinde gelişen bir çalışma olması, sınırlarının çizilmesinde ve nesnelleştirilmesinde bazı zorlukları beraberinde getirmektedir. EtSiS (Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi-AdSiF (Agent driven Simulation Framework) kavramsal model bileşenlerinin her birini somut bileşenler olarak, bir betik dil ile tanımlar ve işletimini sağlar. Simülasyon senaryoları kavramsal modelde yeralan varlıklara ait parametre değerlerinin uygulama özelinde belirlendiği, ilişkilerin tanımlandığı, görev seçiminin yapılarak, ilişkili parametrik değerlerin belirlendiği kavramsal modelin işletilebilir bir oluşumu olarak ele alınabilir.

Çalışmada kavramsal model ve senaryo tasarımlarının doğruluğunu kontrol eden kuralların tanımlanmasına, işletimine ve doğrulama sonucunda elde edilen sonuca göre eylem seçimine ilişkin, uygulama sahasından bağımsız, bir yöntem önerilmiştir. Kural tanımlama için EtSiS tabanlı bir betik kural gösterimi geliştirilmiştir.

1. Etmen Tabanlı Simülasyon ve Kavramsal Model

Kavramsal model geliştirme yaklaşımları, farklı bakış açıları ve paradigmalar ile geliştirilen kavramsal model çerçeveleri (framework), yazılım mühendisliği ile olan ilişkisi, sahaya özel kavramsal model yaklaşımları ve kesikli olay simülasyon sistemleri için çalışmalar literatürde oldukça geniş bir yer tutmaktadır [1], [2]. Kavramsal model gerçek veya tasarlanan sistemin modelleyici algısını gösterir ve modelleyici algısını güçlendirmek, kullanıcı ile geliştirici arasındaki iletişimi sağlamak, tasarıma temel oluşturmak ve sistem isterlerini dokümante etmek gibi amaçları sağlar [3]. Kavramsal model geliştirme ile başlayan ve model geliştirme, işletim, analiz adımlarını içeren kuşatıcı bir süreç Robinson [4] tarafından sunulmuştur.

Sistem tanımlamada belirli paradigmalara göre gösterimler ve modellenmeler gerçekleştirilir. Bu çalışmada birden fazla paradigmanın tümleştirildiği bir paradigma olarak Durum tabanlı Programlama Paradigması (DtPP) modelleme yaklaşımının

esasını oluşturmaktadır. EtSiS kavramsal model bileşenlerini somut nesnel bileşenler olarak sunar. Her birinin bir etmen olarak tanımlandığı simülasyon modellerini, onlara ait dünya algılarını (kavramlarını) ve karar kuramlarını temsil eden mantık yapılarını, birbirleri ile etkileşimlerini ve iş/görev isteklerini belirten olay tanımlarını, ilişkili olarak davranışlarını ve görev yapılarını içeren bir kavramsal model tanımı için bir dil grameri sunar [5], [6]. Etmen tabanlı bir sistemde kavramsal model ve kavramsal model doğrulama, karar yapıları ve etmen modeli iç dünya tasviri bilgi yapılarının doğrulanmasını da içerir. Dünya tasvirine ilişkin bilgi yapıları, etmenin çevresinden edindiği bilgileri zaman etiketli olarak, bilgi tabanında tutması ile gerçekleştirilir. İlgili karar algoritmaları kurallar (predicate) olarak yine bilgi tabanında tutulurlar [6]. Kavramsal modellemede kural setleri, algıladığı bilgilerle genişlettiği bilgitabanını kullanarak karar vermesi ve davranış yönetimi (işletme, sonlandırma, askıya alma vs..) yapması amacıyla kullanılır. Bu ilişkilendirme kavramsal dünya tasvirinin ve ontoloji tanımının bir boyutudur [7], [8].

2. EtSiS: Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi

Geliştirilen kavramsal model ve senaryo doğrulama kontrolleri EtSiS dil yapısı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. EtSiS genel amaçlı, multi-paradigma bildirimsel betik dildir [5]. Dilin tekrar kullanılabilirlik ve karşılıklı işletilebilirlik konusundaki ana vurgusu, multi-paradigma desteği ve modellemecilere sağladığı etmen programlama yaklaşımıdır. EtSiS varlıkbilimsel (ontolojik) betimlemesinde nesne yönelimli programlama paradigması (NYP), mantık programlama, etmen-tabanlı programlama paradigması [10], [11] ve cephe tabanlı (aspect oriented) programlama paradigmalarını tümleştirir. Tümleştirmeyi durum tabanlı programlama olarak isimlendirdiği ve dünya betimlemesini, gramerini oluşturduğu bir paradigmada gerçekleştirir [5], [8].

EtSiS'de bir model $M = <e_i, S, A, Aa>$ olarak tanımlanır. Burada;

e_i; Modelin diğer modellerden, çevreden veya kendi iç dinamiği ile ürettiği ve yine kendisine yönlendirerek aldığı olaylar setini gösterir.

S: Modelin yürütmekte olduğu davranışlarda, aktif olarak işletmekte olduğu aktif durumlar kümesini, bir diğer ifade ile, modelin içerisinde bulunduğu durumları gösterir.

A: Sahip olduğu davranışlar (B) kümesini, bir diğer ifade ile, davranış cephelerini (aspects) gösterir.

Aa: Aktif olarak işletebileceği cepheleri gösterir.

Bir davranış $B = <G, e_i, S_b, e_o, \delta_{phases}, T_{phases}, D_{phases}>$ şeklinde tanımlanır ve burada;

G: Davranış giriş kısıtını,

Sb: Davranışı oluşturan ardışık durumlar kümesini,

eo: Davranışın ürettiği çıktı olaylarını temsil eder.

δphases; Davranışın {Aktif, İptal edilmiş, Askıya alınmış, Tamamlanmış, Tekrar aktive edilmiş} olarak belirlenmiş fazlarına ilişkilendirilmiş fonksiyonları,

Tphases,; Davranış fazlarına ilişkilendirilmiş davranış yönetmlerini (ilişkilendirildiği fazda ilişkilendirilen davranışları aktive eder, askıya alır, iptal eder, tekrar aktive eder)

Dphases; Davranış faz geçiş şartları tanımını gösterirler.

Davranışa ait bir durum; Sb =<G, δint, δout, δext, eo, tmp> olarak gösterilir ve G durum giriş kısıtını, δ_{int} durum iç geçiş fonksiyonunu, δ_{ext} harici geçiş fonksiyonunu ve δ_{out} çıkış fonksiyonunu, e_o, durum çıktı olaylarını, tmp ise diğer davranışlar ile kurulan temporal ilişkileri ifade eder.

3. Kavramsal Model ve Senaryo Doğrulama

Kavramsal model ve senaryo doğrulama, model tabanlı bir doğrulama süreci olarak ele alınır [12]. Kavramsal model ve senaryo doğrulamasının her ikisi de geliştirme aşamasında çevrim içi olarak yürütülür. Her biri bir önerme (predicate) yapısında tanımlanan doğrulama kuralları, kullanıcılar tarafından tanımlanır, senaryo geliştirme ve kavramsal model geliştirme araçlarına bir yazılım bağımlılığı kurulmadan işletilirler. Kuralların ihlal edilmeleri durumunda "*uyarı*" veya "*hata*" tipinde çıktılar üretilir. Üretilen çıktıların mesajları ve fonksiyonel karşılıkları bir betik yapı ile tanımlanır.

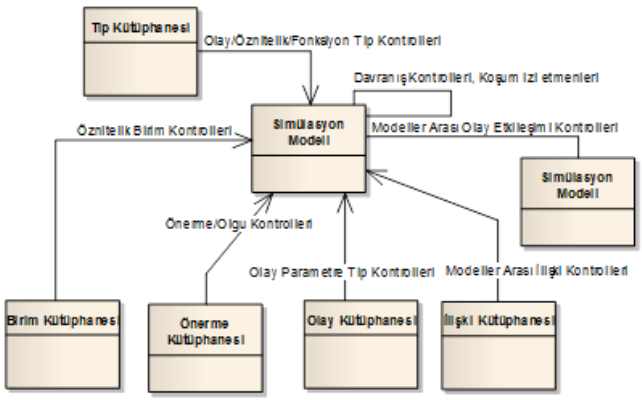
Senaryo doğrulamanın literatürde kaplama analizi tabanlı olarak yürütüldüğünü [13] ve eğilimin kavramsal modelin kapsanmasını sağlayıcı test senaryolarının, UML tabanlı olarak otomatik üretiminin sağlanması yönünde geliştiği görmekteyiz [14]. Bu çalışmada, ek olarak senaryo doğrulamada hazırlanan senaryonun problem sahasına ilişkin analiz amaçlarını sağlama derecesinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

3.1.Kavramsal Model Doğrulama

Kavramsal model, tanımlanan modelleri, davranışları, görevleri, model etkileşimleri ve çevrelerinin tanımlanması çerçevesinde gelişir. Dil teknolojilerinden bağımsız olan kavramsal model tasarımı [13] için, burada EtSiS (AdSiF) betik yapısı ile gösterim sağlanmıştır. Kavramsal model doğrulamada amaç, kurgulanan simülasyon dünyasının gerçek dünya ile olan uyumunu ve tasarımcının kavramsal tanımlamasını ne derece karşıladığını denetlemektir [15], [16], [17]. Kavramsal model doğrulaması aynı zamanda, kullanılan yazılım mühendisliği tekniklerinin geçerliliğini de doğrular. Bu çalışmanın temel yaklaşımını oluşturan model tabanlı senaryo ve kavramsal model doğrulama ve modellerin bir modelleme dili ile gösterimi, özellikle son yıllarda, yaygınlık kazanmıştır [18], [19]. Yapılan çalışmalarda, model tasarımlarında isterlerin sağlanma derecesinin doğrulanmasına dönük testlerin tasarlanması ve otomatikleştirilmesi hedeflenmektedir [20].

Modeller kavramsal dünyamızdaki aktörleri temsil ederler. Tümleşik modellerin ilişkiler yardımıyla birleştirilmesi ile de tümleşik modeller elde edilirler. Kavramsal modelin doğrulanmasında modeller merkezi bir noktada dururlar. Yapılan doğrulama kontrollerinin bilgi kaynakları Şekil 1'de görülmektedir ve statik doğrulama yöntemi [15] olarak uygulanmaktadır. Yapılan kontroller aşağıda maddeler halinde listelenmiştir.

- Tip kontrolleri; Olay ve özniteliklere değer atama tanımlamaları için tip uyumu kontrolleri gerçekleştirilir. Doğrulama modeller arası birim tutarlılığını, aynı ölçü sisteminin kullanılıp kullanılmadığını, kullanılan birimlerin birim kütüphanesinde var olup olmadığının kontrol edilmesini içerir. Farklı birim sistemlerinin kullanılması durumunda kullanıcı dönüşümler konusunda uyarılır. Birim kütüphanesi bu dönüşümlere ilişkin hesaplama tanımlarını içerir.
- Olay davranış kaplama; üretilen fakat bir davranış tarafından tetikleyici olarak kullanılmayan veya tetikleyici olarak kullanılmış fakat herhangi bir davranış tarafından üretilmemiş olayların kaplama kontrolleri gerçekleştirilir. Bir modelin diğer modellere ilettiği olayların iletildiği modeller tarafından işletildiğine dair kontroller, model davranış tanımlamaları üzerinden yürütülürken, iletilen olayların parametre tip uyumlulukları olay kütüphanesinden belirtimleri (declaration) üzerinden yürütülür. İletilen olayın parametre değer atamalarının doğru yapılıp yapılmadığı veya varsayılan değer kullanılıp kullanılmadığı doğrulama testi kapsamında ele alınır.



Şekil 1: Kavramsal Model Doğrulama Bilgi Kaynakları

- Durum/Fonksiyon Kaplama; Durumlar tarafından kullanılmayan fonksiyonların, davranışlar tarafından kullanılmayan durumların kaplama kontrolleri yürütülür.
- Temporal ilişki kontrolleri; Temporal ilişkili olarak birbiri ile ilişkilendirilmiş davranışların varlığının kontrolleri yürütülür. İlişkili davranışların aktif bir davranış listesi içerisinde olup olmadıklarının kontrolü ile sağlanır.
- Yapay zeka kontrolleri (fact ve önerme kontrolleri); Önerme kütüphanesinde tanımlanan fakat durumlar tarafından kullanılmayan olgular (facts) ve davranışlar tarafından kullanılmayan önermeler (predicates) kontrol edilir.

- Davranış Listeleri (Aspect) kontrolleri; Tanımlanan fakat herhangi bir davranış listesi içerisinde yeralmayan davranışların var olup olmadığı kontrolü gerçekleştirilir.
- İşletim (koşum) İzi Etmeni Kontrolleri; Belirtimi yapılan işletim izi etmenlerinin durum davranış belirtimleri içerisinde kullanılıp kullanılmadığının belirlenmesi amaçlanır. Önceki kontrol amacına benzer olarak, işletim izi etmeni belirtimleri ile durumlar içerisindeki kullanımlarının kapsama analizleri amaçlanır.
- İlişki Kontrolleri; Modeller arasında kullanımı tanımlanmış olan ilişkilerin, olay iletimi ve/veya davranış yönetiminde kullanılıp kullanılmadığının kontrolleri sağlanır.
- Abonelik Kontrolleri; Bir model tarafından yayınlanan (published) özniteliğe, bir başka modelin abone olup olmadığı kontrol edilir.
- Mantıksal ifade kontrolleri; Tanımlanmış mantıksal ifadelerin durum kısıtı, davranış kısıtı, güdüm şartı veya temporal ilişki şartı olarak kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilir.

Doğrulama boyunca yürütülen kaplama analizleri; fonksiyonel, parametrik ve kod kaplamalarını içerir.

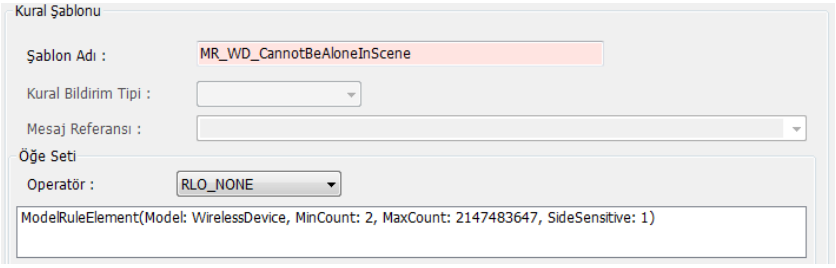
3.2.Senaryo Doğrulama

Senaryolar kavramsal modelden türetilmiş oluşumlar kümesi olarak değerlendirilebilir. Bir senaryoda varlık seçimleri, varlıkların görev seçimleri, görev parametreleri değerleri, model parametreleri değerleri ve bağlantılı tanımlamalar gerçekleştirilir. Bu kapsamda, bir senaryonun doğrulanması da senaryoyu oluşturan ana bileşenlerin doğrulanması ile sağlanır. Doğrulamada aşağıdaki başlıklar ele alınır;

- Gerekli Modellerin Kontrolü; Servis alınan modellerin, senaryoya servis alan modeller eklendiğinde, eklenip eklenmediğinin kontrolü yapılır (örnek; senaryoya radar eklendiğinde görüş hattı hesaplama sunucusunun varlığının kontrolü).
- İşletim Kayıtları; İşletim kayıt seçeneğinin seçili olması durumunda modellerin işletim etmenlerinin tanımlı olup olmadığı kontrolü yürütülür.
- Öznitelik Kontrolleri; Senaryo varlıkları arasında bağlantılı modellerin öznitelik değerlerinin doğru tanımlanıp tanımlanmadığı kontrolü yapılır (örnek; aynı birime ait telsiz frekans değerleri uyumu).
- İlişki Kontrolleri; Modeller arası gerekli ilişkilendirmelerin yapılıp yapılmadığı kontrol edilir (örnek; silah sistemi ile mühimmatların ilişkilendirilmesi).

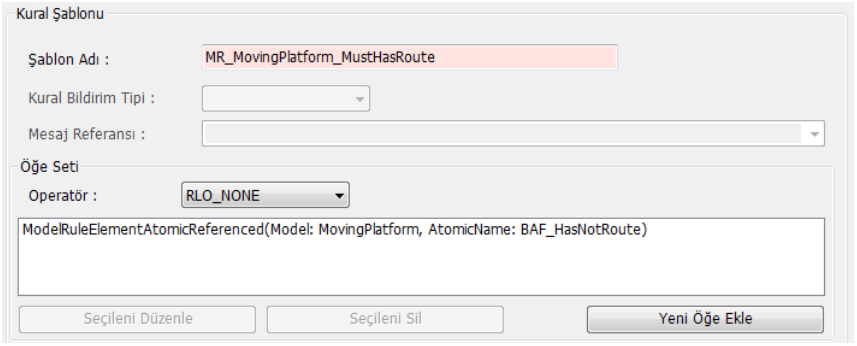
Senaryoya eklenen bir model eğer bir başka modelden bir hizmet alacak ise bu durumda gerekli modelin senaryoya eklenmesi otomatik olarak gerçeklenir. Gerekli modelin senaryodan silinmesi durumunda kayıt aşamasında kural kontrolleri işletilir ve gerekli

uyarı kullanıcıya gösterilir. İlgili kural gösterimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Örnek kuralda senaryoya bir radarın eklenmesi durumunda görüş hattı hesaplama sunucu modelinin senaryoya eklenmesi sağlanmaktadır.

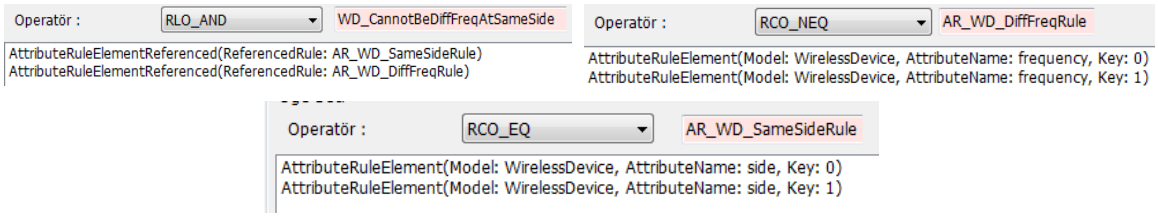


Şekil 2: Model Bağımlılıkları kontrolleri

İşletim kayıtları her model için işletim izi belirtimlerinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği ve ilgili işletim izi etmenlerinin davranış yapıları içerisinde kullanılıp kullanılmadığının kontrollerini içerir. İşletim izi etmeni olarak belirtimi yapılmış olmasına rağmen herhangi bir durum belirtiminde ve ilişkili olarak davranış içerisinde kullanılmayan bir iz etmeninin varlığı kontrol edilir [6], [21].



Şekil 3: Görev Doğrulama

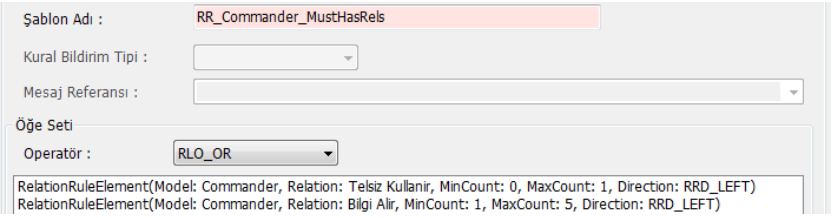


Şekil 4: Öznitelik Atama Doğrulaması

Senaryoya eklenen bir varlığa görev atamasının yapılıp yapılmadığının kontrolü Şekil 3'de görülen betik kural gösterimi ile kontrol edilerek doğrulanır. Gösterimde senaryoya dahil edilen bir savaş uçağının görev rotası tanımı olması gerektiği kontrol edilmektedir. Benzer kural tanımları ile görev ve ilgili görev parametre kontrolleri yürütülür.

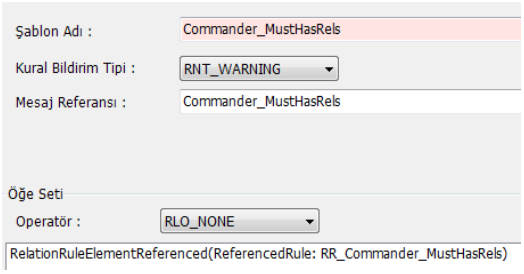
Senaryoya eklenen modellerin birbirleri ile olan öznitelik değer uyumlulukları kontrol edilerek gerekli uyarılar yapılır. Örnek olarak Şekil 4'de, aynı kuvvete ait telsiz frekanslarının farklı olamayacağını gösteren kural tanımlanmıştır. Senaryoya dahil

edilmiş olan bir modelin tanımlı ilişkilerinin kontrolü ile yapılan doğrulama adımı, ilişki doğrulaması olarak tanımlanır. Şekil 5'de görülen örnekte bir komutan modelinin ilişkileri kontrol edilmektedir. Herhangi bir iletişim modeli ile ilişkilendirilmemiş veya herhangi bir silah sistemi, komuta kontrol merkezi ilişkisi bulunmayan bir komutan modelinin, senaryoda bir işlev yürütmesinin mümkün olamayacağı temel fikri esaslı olarak doğrulama işlemi yürütülür.



Şekil 5: İlişki Kuralları Tanımlama

Geliştirilen kurallar için üretilecek mesaj ve seçilecek eylem tanımlaması gerçekleştirilir. Eylem tanımında `Commander_MustHasRels` isimli kuralın sağlanmaması durumunda verilecek mesaj Şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 6: Kural Mesajı

4. Örnek Uygulamalar

Çalışmada, EtSiS tabanlı olarak geliştirilen Hava Savunma Simülasyonu kavramsal modeli ve senaryo tanımlama uygulama örneği ile çözümün genel uygulanabilirliği gösterilmiştir.

4.1.Kavramsal Model Doğrulama

Hava savunma model kütüphanesi tanımlandıktan sonra yürütülen doğrulama işlemi ile Şekil 1'de görülen bilgi kaynakları uyumluluk kontrolleri gerçekleştirilir. Bölüm 3.1'de belirtilen kontroller gerçekleştirilir ve Şekil 7'de görüldüğü şekilde kavramsal model doğrulama sonuçları rapor olarak elde edilir.

Şekilde hatalı olay tanımlamaları, durum kaplama analizleri ve olgu (fact) kontrolleri görülmektedir.

4.2.Senaryo Doğrulama

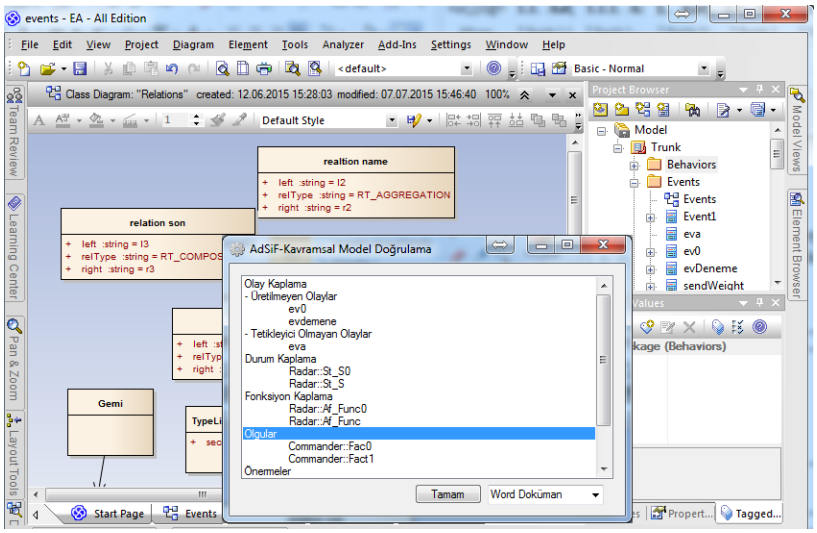
Yer konuşlu aktif hava savunma simülasyonu için geliştirilmiş basit bir senaryo örnek olarak ele alınmıştır. Senaryo varlıkları ve aralarındaki ilişkiler aşağıda listelenmiştir.

Mavi: {VarlıkXAdet→LançerX1, FüzeX5, Başlık SensörüX5, Harp BaşlığıX5, TelsizX2, RadarX1, KomutanX1}

Kırmızı: F16x1, Havadan Yere FüzeX4, RadarX1

Mavi İlişkiler; Komutan→*Ateşler*→Lançer, Lançer→*Sahiptir*→Füze, Füze→*Taşır*→{Başlık Sensörü, Harp Başlığı}, Radar→*İletir*→Telsiz, Komutan→*Kullanır*→Telsiz

Kırmızı İlişkiler; F16→*Taşır*→{Havadan Yere Füze, Radar}



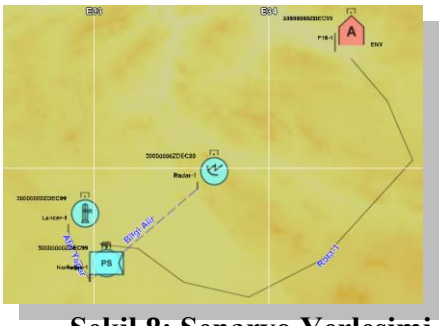
Şekil 7: Kavramsal Model Doğrulama

Senaryoda kırmızı savaş uçağı, tanımlı rotası üzerinde ilerleyerek, yer konuşlu hava savunma unsurunu imha etmek üzere görevlendirilmiştir. Yer konuşlu hava savunma unsuru ise tespit ettiği hedefi imha etme görevine sahiptir. Mavi tarafa ait radar kırmızı F16'yı tespit ettiğinde, "*İletir*" ilişkisi ile ilişkilendirilmiş olan telsizi kullanarak tespitini iletir. Radar tespitini, EtSiS betik yapısına uygun olarak, doğrudan telsize değil, kendisinin "*İletir*" ilişkisi ile ilişkilendirildiği varlığa iletimi sözkonusudur.

Telsiz tarafından alınan tespit yayınlanır ve komutanın "*Kullanır*" ilişkisi ile ilişkilendirildiği telsize mesajın gelmesi durumunda, mesaj ilişki üzerinden komutana iletilir. Komutan hedef değerlendirmesi yapar ve "*Ateşler*" ilişkisi ile bağlı olduğu lançere "Ateş" emri verir. Lançerin ateşleme emri füzeye yine ilişki üzerinden iletilir. Senaryo yerleşimi Şekil 8'de gösterilmiştir. Senaryonun burada kısaca özetlendiği şekilde işletilebilmesi için sağlanması gereken kurallar Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda kuralların doğal dil ifadeleri görülmektedir. Her bir kural tanımlanan arayüzler kullanılarak, işletilebilir bir betik yapıda tanımlanır.

Senaryoya her varlık eklemede, silmede ve varlık öznitelikleri değiştirildiğinde kural seti işletilir ve sağlanmayan kurallara ilişkilendirilmiş olan mesajlar yayınlanır. Bir lançerin senaryoya eklenmesi anında, lançerin füzelere sahip olması gerektiğine dair kural işletilir ve uyarı mesajı yayınlanır. Füzeler senaryoya eklenip lançer ile

ilişkilendirildiğinde uyarı kaldırılır. Füzelerin başlık sensörleri ve savaş başlıkları için uyarılar yapılır. Bu süreç senaryo tamamlanıncaya kadar devam eder. Eğer tanımlı kural bir hata mesajı olarak tanımlanmış ise, senaryonun işletimi esnasında kullanıcı uyarılır ve işletilmesi için ek bir onay istenir. Senaryo hazırlama esnasında yayınlanan hata ve uyarı mesajları Şekil 9'de görülmektedir.



Şekil 8: Senaryo Yerleşimi

	Model	Description
⚠	F16-1	Hareketli platform için rota atanmamış. {(MovingPlatform : Atomic[BAF_HasNotRoute] = true)}==> MovingPlatform_MustHasRoute
⚠	Komutan-1	Kural tanımındaki ilişki gereksinimi eksik veya geçersiz. {(Commander->Relation[Bilgi Alır Min=1 Max=5 Dir=RRD_LEFT])}==> Commander_MustHasRels
⊗	Telsiz-1	Bir kablosuz haberleşme cihazı herhangi bir tarafta tek başına yer alamaz. {(WirelessDevice->Count[Min=2 Max=2147483647 SideSensitive=true])}==> WD_CannotB...

Şekil 9: Kural İşletim Sonuçları

Tablo 1: Senaryo Kuralları

Kural	Kontrol Edilen Modeller	Mesaj
Öznitelik Değerleri	Mavi tarafta komutan ve Radara ilişkilendirilen telsizlerin haberleşebilmesi için aynı frekansta olması gerekir.	Hata
	F16 için bir rota ataması yapılmış olması gerekir.	Uyarı
İlişki Kontrolleri	Komutan bir haberleşme cihazı ile veya bir sensör ile ilişkilendirilmiş olmalıdır.	Hata
	Bir sensör (radar) bir haberleşme cihazı veya bir komutan ile ilişkilendirilmiş olmalıdır.	Hata
	Lançer Füzeye sahip olmalıdır.	Uyarı
	Füze başlık sensörüne sahip olmalıdır.	Uyarı
	Füze savaş başlığına sahip olmalıdır.	Uyarı
	Senaryoda bir tek haberleşme cihazı yeralamaz (haberleşme sağlayacağı bir diğer haberleşme modeli vardır).	Hata

5. SONUÇ

Kavramsal model üzerinde yapılan bir doğrulama ile tasarlanan simülasyon dünyasının tutarlılığı ve kaplaması doğrulanırken, senaryo doğrulamasında kavramsal modelde tanımlanan amaçların kurgulanan senaryo ile sağlanıp sağlanamayacağının doğrulanması gerçekleştirilir. Kavramsal modelin kaplanması, varlıklar arasında iletilen tüm olayların, hedef modelde bir karşılığının olup olmadığının kontrolü, davranış durumları veya davranış faz fonksiyonları tarafından çağrılan atomik fonksiyonların karşılıklarının mevcudiyetinin kontrolü, varlık ilişkileri, tip ve birim kontrolleri gibi geniş bir kuşakta gerçekleştirilir.

Kural geliştirme betiği ve arayüzü, herhangi bir uygulama alanı ile sınırlandırılmamıştır. Bu yönü ile süreç hem kavramsal model doğrulması hem de senaryo doğrulaması için jenerik bir tanımlamadır ve kullanıcılar tarafından tanımlanan kurallar ile genişletilmeleri, farklı uygulama alanları için kullanımları mümkündür.

Sunulan çözüm ile modellemecilerin kavramsal modelleme süreci boyunca her aşamada doğrulama ile tutarlı bir kavramsal model geliştirmeleri, analistlerin ise doğru analizleri yapabilecekleri senaryoları oluşturmaları sağlanabilecektir.

6. KAYNAKÇA

[1] S. Robinson, "Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements," J. Oper. Res. Soc., vol. 59, no. 3, pp. 278–290, 2008.

[2] D.-J. V. D. Z. (Editor) Stewart Robinson (Editor), Roger Brooks (Editor), Kathy Kotiadis (Editor), Conceptual Modeling for Discrete-Event Simulation. CRC Press, 2010.

[3] D. J. Van Der Zee and J. G. a J. Van Der Vorst, "Guiding principles for conceptual model creation in manufacturing simulation," Proc. - Winter Simul. Conf., no. Shannon 1975, pp. 776–784, 2007.

[4] S. Robinson, Simulation: The Practice of Model Development and Use, Second Edi. Palgrave Macmillan, 2014.

[5] M. F. Hocaoglu, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework," Hunstv. Simul. Conf. - HSC2005, 2005.

[6] Mehmet F. HOCAOGLU, "Agent based Simulation: Lecturer Notes," AUZEF, Istanbul University, Istanbul, 2014.

[7] M. F. Hocaoğlu, "Conceptual Model and Perdurantist Modeling with Reasoning," ASIM 2014, ASIM Symp. Simul. Tech. (ASIM SST), 2014.

[8] M. F. Hocaoğlu, "Conceptual Model and Perdurantist Modeling with Reasoning," Simulation Notes Europe, vol. 24, no. 2, pp. 95–104, 2014.

[9] Wooldridge, M., An introduction to MultiAgent Systems. John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

[10] Y. Shoham, "Agent-Oriented Programming." Technical Report STAN-CS-90-1335- Stanford University, 1990.

[11] Y. Shoham, "Agent-Oriented Programming, Artificial Intelligence," Artif. Intell., pp. 51–92, 1993.

[12] M. F. Hocaoglu, İ. Genç, and A. A. Ergİn, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework and Model Based Validation and Verification," in 2. Yazılım Kalitesi ve Yazılım Geliştirme Araçları Sempozyumu 2010, 2010.

[13] N. A. Karagöz, "Framework For Developing Conceptual Models Of The Mission Space For Simulation Systems," A PhD Thesis Submitted To The Graduate School Of Informatics Of The Middle East Technical University, Ankara, 2008.

[14] D. P. M. Swagatika Dalai Arup Abhinna Acharya, "Test Case Generation For Concurrent Object-Oriented Systems Using Combinational Uml Models," Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl., vol. 3, no. 5, pp. 97–102, 2012.

[15] D. A. Cook and J. M. Skinner, "How to perform credible verification, validation, and accreditation for modeling and simulation," in CrossTalk, 2005, no. 5, pp. 20–23.

[16] D. K. Pace, “Modeling and simulation verification and validation challenges,” Johns Hopkins APL Tech. Dig., pp. 163–172, 2004.

[17] “Defense Modeling and Simulation Office: Online M&S Glossary,” DoD 5000.59M. Washington: Department of Defense.

[18] P. Fritzson, Principles of Object-Oriented Modeling and Simulation with Modelica 2.1, Wiley-IEEE. Wiley-IEEE Press., 2004.

[19] E. Cellier, F. E., Kofman, Continuous System Simulation, Springer. Springer., 2006.

[20] W. Schamai, “Model-Based Verification of Dynamic System Behavior against Requirements,” Linköping Studies in Science and Technology, Dissertation No. 1547, 2013.

[21] M. F. Hocaoğlu, “AdSiF: Developer Guide” Agena Information & Defense System Ltd. www.agenabst.com, Istanbul, 2013.

İŞLETİM ZAMANLI KOŞUM ANALİZİ

M. Fatih Hocaoğlu [a, b], Erdem Reşber [b]

[a]İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

[b]Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, 34844 İstanbul Teknopark /İstanbul
erdem.resber@agenabst.com

ÖZ

Çalışmada, koşum zamanlı analiz, koşum yineleme ve enstantane kayıt yönetimi için kural tabanlı ve kullanıcı tanımlı bir çözüm geliştirilmiştir. İşletim zamanlı analiz çözümü, iki temel hedefe sahiptir. Bunlardan birincisi koşum sonrası analizlerin işletim zamanına taşınmasıdır. Burada amaç, tekrarlı koşum-analiz çevrimlerinden kurtularak, istatistik sonuçlara dayalı yürütülecek seçimlerin koşum zamanlı olarak gerçekleştirilmesi ve senaryo işletiminin yönetilmesi amaçlanır. Benzer şekilde, doğru istatistiklerin hesaplanmasına yetecek koşum uzunluğunun (ilişkili olarak küme sayılarının) hesaplanması koşum zamanına taşınacaktır. İkinci hedef ise, tanımlı şartların sağlanması durumunda veya kullanıcı tanımlı zaman çizelgelerine uygun olarak, koşuma ait enstantane kayıtların alınması ve ilgili zaman noktalarının yeni senaryo düzenlemeleri için hazırlanmasıdır.

Çalışma ile koşum sonrası analizler ve bu analizlere dayalı karar süreci, koşum zamanına taşınmış, elde edilen analiz sonuçları ile koşumun yönlendirilmesi sağlanmış ve koşum sonrası analizler ile tekrarlanan koşum çevrimleri otomatikleştirilmiştir. Çözüm Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi (EtSiS) tabanlı olarak geliştirilmiştir ve HLA dağıtık çoşum için özel bir uyarlama gerektirmemektedir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik koşum yönetimi, Enstantane kayıt, EtSiS, Koşum yineleme, Kural tabanlı işletim, Yığın koşum

EXECUTION TIME ANALYSIS

ABSTRACT

In this study, a user defined generic rule based solution is developed for run time simulation analysis and execution replication management and snapshot management. The run time analysis has two fundamental purposes. The first one is to carry post-data analysis into run time phase. By discarding necessity of execution-analysis cycle being repeated, taking actions and driving simulation execution based on statistical results in run time is the decisive aim to do that. Similarly, computation of execution length as enough as to calculate accurate statistics and number of bathes are carried into run time. The second purpose is to get simulation snapshots at scheduled time points and/or in the cases that user defined conditions are satisfied and to prepare the snapshots for new scenario definitions.

By this study, a novel approach is proposed to move post-data analysis and decision process based on the analysis results into simulation run time and to manage simulation execution regarding with the analysis results, and to automate simulation execution and analysis cycles. The solution is developed based on Agent driven Simulation Framework (AdSiF) and it does not need any customization for HLA based distributed simulation.

Keywords: AdSiF, Batch execution, Dynamic execution management, Replication, Rule based execution, Snapshot record

1. GİRİŞ

Etmen tabanlı simülasyon sistemi EtSiS'in simülasyon ve etmen programlama için sunduğu esnek geliştirme ve işletim ortamı, simülasyon modelleri ile işletim zamanlı etkileşimlerle senaryo yönetimine imkan sağlamaktadır.

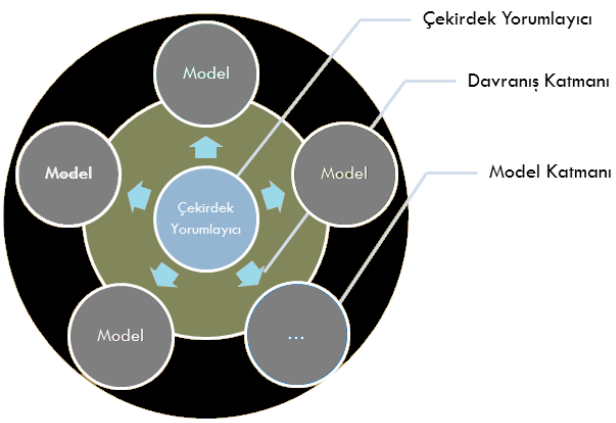
Bu makaleye konu olan çalışmada, modeller arası mesaj etkileşimleri ve modellerin öznitelikleri arasında kurulan abonelik mekanizması ile koşum yinelemele karalarının verilmesi ve yinelemelerin gerçeklenmesi, enstantane kayıtların alınması, yığın ve enstantane koşumlar için makro tanımlama imkanlarının sağlanması ve koşum zamanlı istatistiki analizlerin yürütülerek koşumun yönlendirilmesi için bir çözüm geliştirilmiştir. Literatürde işletim zamanlı analizleri, simülasyonda yürütülen fonksiyonların gerçek zamanlılık kısıtını sağlayıp sağlayamayacağını test etmek amacıyla işletim zamanını ölçmek amaçlı olarak kullanıldığını görmekteyiz. Bunun iyi örneklerinden biri Matlab/Simulink için geliştirilen ve simülasyon davranış işlemci zamanlarını ölçen En kötü durum koşum zamanı uygulamasıdır (worst-case execution time (WCET) analysis) [1]. WCET'den farklı olarak, simülasyon işletiminde hafıza kullanımının ölçülmesi ve analizine dönük daha genel amaçlı çalışmalar literatürde yer almaktadır [2]. Simülasyon tasarımlarının durum tabanlı sembolik işletimleri ile analiz

edilmesinin yine işletim zamanlı analiz kavramı içerisinde ele alındığı görülmektedir [3].

Bölüm 2'de simülasyon işletiminin modeller ile yönetilmesi kavramını ele alınmış olup, Bölüm 3'de koşum yineleme, enstantane kayıtların modellerin güdümüyle nasıl alındığı ve koşum zamanlı analiz açıklanmıştır. Bölüm 4'de yığın koşumlar ve enstantane kayıttan başlatılan koşumlar için makro tanımlamaları ele alınmıştır. Makale özelliklerin sağladığı avantajların tartışıldığı sonuç bölümü ile sonlandırılmıştır.

2. MODEL GÜDÜMLÜ SİMÜLASYON YÖNETİMİ

EtSiS mimari yapısı merkezinde bir yorumlayıcı bulunan ve üst katmanında davranışlar ile simülasyon ve etmen yönetim davranış yapılarının modellendiği bir yapıdadır [4]–[6]. Şekil 1'de yapı ana hatları ile görülmektedir. Şekilde çekirdek yorumlayıcıyı saran katman simülasyon yönetim algoritmalarının yine EtSiS'in kendi dil yapısı ile tanımlandığı katmandır. Sistemin merkezi bir yorumlayıcı ile davranış yönetimi, geliştirilen uygulamaların iş mantığına dayanmayan, jenerik bir dil ile yönetilmelerini sağlar. Bu simülasyon işletim algoritmalarının (kesikli veya sürekli), senkronizasyon algoritmalarının, olay yönetiminin EtSiS belirtimsel betik dili ile yönetilmesini sağlar ve EtSiS'i bir simülasyon ortamından hesaplama ortamı olmaya taşır. EtSiS kesikli olay zaman yönetiminde DEVS [7]'i kuşatan ve farklı olarak merkezi koordinasyona ihtiyaç duymadan paralel simülasyon işletimi sağlayan bir çözüme sahiptir. Paralel işletimde senkronizasyon için iyimser ve kötümser senkronizasyon algoritmalarının işletimine imkan sağlar ve kullanıcı tanımlı algoritmalara açık bir mimari sunar. Sürekli olay işletimlerinde sürekli zaman akışı kesikli bir uzaya resmedilir ve zaman adımları koşum boyunca değişken yapıda kullanılır. DEVS'den bir diğer öneli farklılık, modelleme ve işletim süreci durum tabanlı programlama paradigması (DtPP) kavramı üzerinde, bir dil formunda toplanmış ve çoklu programlama desteği DtPP bünyesinde birleştirilmiştir. Model katmanında yer alan modeller ise, simülasyon işletim davranış yapıları tarafından yönetilen, betik dil ile modellenmiş tasarımlardır ve altyapı, gerek çekirdek yorumlayıcı, gerekse de çekirdek yapı üzerinde bulunan davranış katmanı, ile modeller arasında herhangi bir bağımlılık kurmaz.

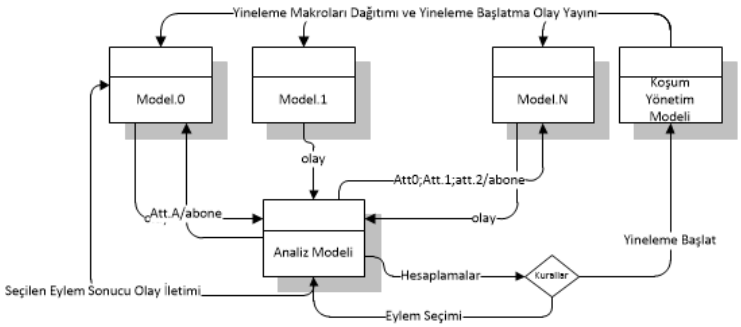


Şekil 1. EtSiS Mimari Gösterim

Anılan bu özellikler, simülasyon modellerinin ve etmenlerin farklı işletim algoritmaları ile işletiminin sağlanabileceğini ve bunun yalnızca davranış tasarımları ile çekirdek yorumlayıcının değiştirmeden yapılabileceğini gösterir. Örnek olarak, kuyrukta bekleyen olayların seçim kuralı, davranış işletim öncelikleri, dağıtık simülasyon uygulamalarında senkronizasyon algoritma seçimleri model iş mantıklarından bağımsız olarak yürütülür. Koşum yineleme kararları ve işletimleri ile enstantane kayıtları bu özelliğe büyük ölçüde dayanan fonksiyonel kullanımlardır.

3. ÇEVRİM İÇİ ANALİZ VE KOŞUM YİNELEME

Çevrim içi analiz modeli simülasyon içerisinde ilişkilendirilen tüm modellerin paylaştığı koşum verilerini işletim zamanlı olarak analiz eden bir etmendir. Veri paylaşımı olay iletimleri ve öznitelik aboneliği ile sağlanır. Olay gönderimleri ilgili değer değişimini gerçekleştiren durum geçişinde, duruma ilişkilendirilmiş olay ile iletilirken, öznitelik aboneliğinde iki farklı yöntem izlenir. Bunlardan ilki, tanımlı frekanslarda özniteliğin değerinin alınması, diğeri ise, özniteliğin değer değişimlerinde yeni değeri ileten bir olayın çizelgelenmesidir. Şekil 2'de görüldüğü şekilde modeller olay iletimleri ile hesapladıkları parametreleri iletirken, analiz modeli modellerin üzerinde hesaplama yürüteceği özniteliklerine abone olarak erişim sağlar. Analiz modeli içerdiği ve elde ettiği verileri analiz ettiği fonksiyonları yazılım eklentisi (plugin) olarak işletim zamanlı olarak yükler. Bu durum modelin farklı analizleri yürütebileceği fonksiyonların yüklenebileceği bir esneklik sağlar. Analiz modelinin işlemlerini e-tablo (elektronik tablo) tabanlı olarak yürütmesi ve MVC (Model, Viewer, Controller) tabanlı tasarımı uygulama sahasından bağımsızlığı destekler.



Şekil 2. Çevrim içi Analiz Modeli Etkileşimleri

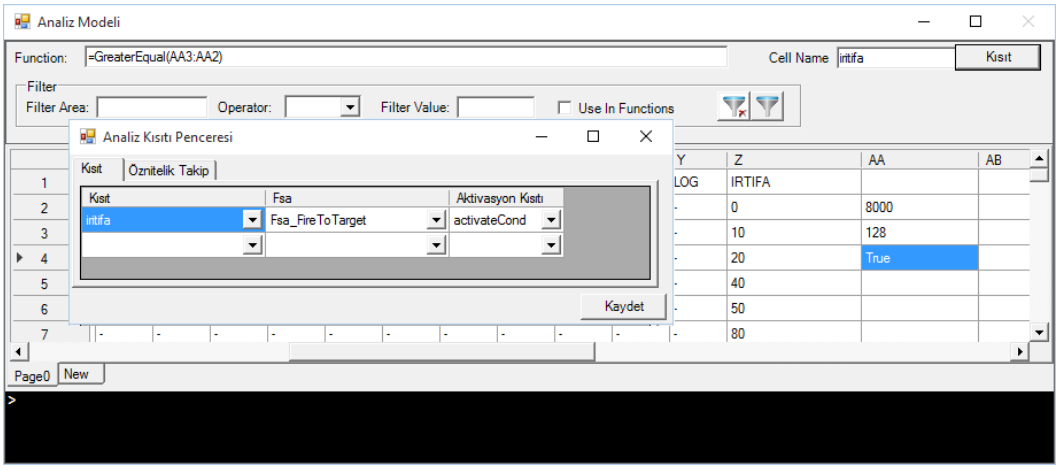
Çevrim içi analiz yeteneği koşum yineleme ve enstantane kayıtları alma yeteneklerini içerse de, koşum yineleme çizelgeleri ve makro tanımlamaları için ayrıca koşum yönetim modeli tanımlanmıştır. Koşum yönetim modeli koşum yinelemelerine ait makro tanımlamalarını, ilgili modellere dağıtımlarını, koşum yineleme olayının tüm modellere dağıtımını ve simülasyon koşum hızı ayarlama görevlerini üstlenir. Şekil 2'de görüldüğü gibi analiz modeli koşum yönetim modeline bir yineleme başlatma emri verir. Koşum yönetim modeli ilgili yineleme makrolarını modellere dağıtır ve koşumu yeniden başlatacak olayı yayınlar. Olayı alan tüm modeller Şekil 1'de görülen ve çekirdek yeteneklere erişen çekirdek üzerinde işletilen davranışları işleterek koşum yönetimini sağlarlar. Analiz modeli dahil simülasyon modellerinin tümü lokal koşumda tek bir proses olarak işletilir. Dağıtık koşumda ise kullanıcının dağıtımına bağlı olarak farklı makinelerde işletilirler.

3.1. Çevrim İçi Analiz

Çevrimiçi analiz koşum esnasında simülasyon senaryosunda yer alan modellerin ürettikleri ve kullanıcı tarafından seçilen değerlerin işletim zamanında toplanması ve tanımlı analizlere tabi tutulması ile gerçekleştirilir. Analizin üç aşaması vardır;

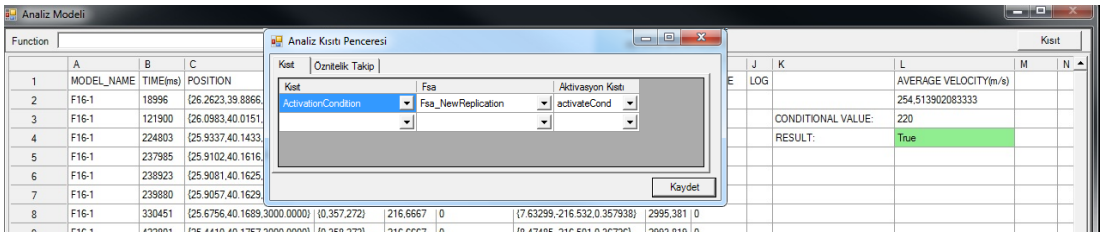
1. Üretilen verilerin seçimi,
2. Analiz hesaplamalarının tanımlanması,
3. Karar yordamlarının belirlenmesi,

Bir olay ile gönderilen ve analiz modeli tarafından alınan koşum verisi Şekil 3'de görüldüğü gibi adreslenen hücrelere yazılır. Şekilde bir uçağa ait yükseklik, pozisyon, hız, hasar seviyesi ve yakıt bilgileri görülmektedir. Koşum boyunca üretilen her yeni değer analiz modeline iletilir ve model arayüzünde yer alan e-tabloya yerleştirilir.



Şekil 3:Analiz Modeli E-Tablo

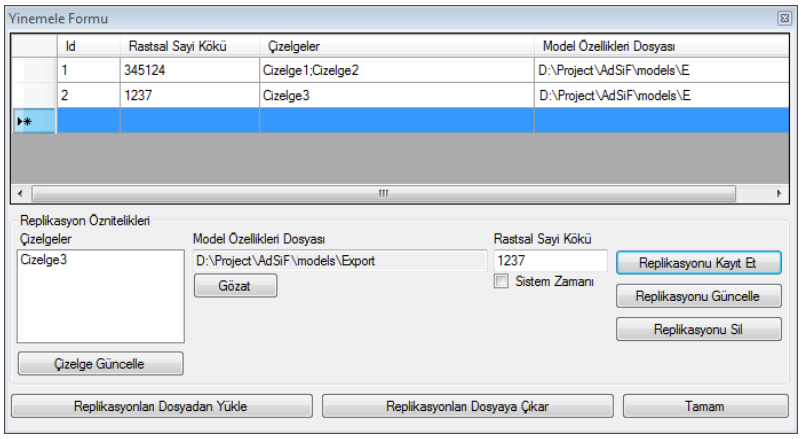
Tanımlamanın ikinci aşamasında tablo üzerinde seçilen hücrelere analiz fonksiyonları tanımlanır. Şekil 3'de irtifa verilerinin yazıldığı kolonun maksimumunun alındığı bir tanımlama görülmektedir (bkz. E-tablo hücre AA3 fonksiyon =Max(Z2:end)). Bu fonksiyon koşum esnasında e-tabloya eklenen her bir irtifa verisi için tekrar çalıştırılmakta ve güncel fonksiyon çıktısı karar yapılarında kullanılmaktadır. Benzer şekilde AA4 hücresinde tanımlanan kısıt ile uçağın AA2 hücresinde tanımlı irtifayı geçtiğinde hedefe ateş edilme davranışı işletimi görülmektedir. Karar yapıları belirli kuralların tanımı sonucu bir doğruluk değeri döndüren fonksiyon olarak tanımlanır. Kuralların davranış yapıları ile ilişkilendirilmeleri, davranışlara bir güdüm şartı olarak atanmaları ile sağlanır. Şekil 3'de hız ortalama değerlerinin L3 hücresindeki değerden büyük olması durumu için bir matematiksel kıyaslama operatörü tanımlanmıştır (Hücre L4). Tanımlanan operatör ilişkili davranışı yöneten bir kısıt olarak seçilmiş ve isim verilmiştir (*ActivationCondition* isim olarak atanmıştır). Şekil 4'de yeni bir koşum yineleme başlatılması için gerekli tanımlama yapılmıştır. Tanımlamada seçilen şartın sağlanması ile koşum yineleme davranış işletilecektir. Kısıt tanımlamada herhangi sınırlama bulunmamaktadır. İç içe yuvalanmış (nested) olarak mantıksal operatörler ve matematiksel operatörler kullanılabilirler.



Şekil 4:Analiz Modeli Kural Tanımlama

3.2. Koşum Yineleme

Koşum yineleme simülasyonda örnekleme hacmini artırarak, rastsal sayı kullanımından doğan dalgalanmaları elimine etmeye yetecek örnek hacmine ulaşmak için yürütülür [8], [9]. Yineleme sayısı koşum esnasında elde edilen istatistikler kullanılarak işletim zamanlı olarak hesaplanmıştır. Tanımlı koşum zamanı sonuna ulaşılması veya koşum sonlanma şartı sağlanması durumunda tüm modellere simülasyon yönetimi görevi üstlenen model tarafından yineleme mesajı gönderilir. Simülasyon yönetimi herhangi bir simülasyon modeli tarafından üstlenebileceği gibi bu amaç için geliştirilmiş bir model tarafından da yürütülebilen bir görevdir. Uygulamamızda yapısal olarak standart bir model tasarımına sahip bir simülasyon yönetim modeli geliştirilmiş ve tüm simülasyon uygulamalarında kullanılmak üzere kavramsal model kütüphanesine eklenmiştir.

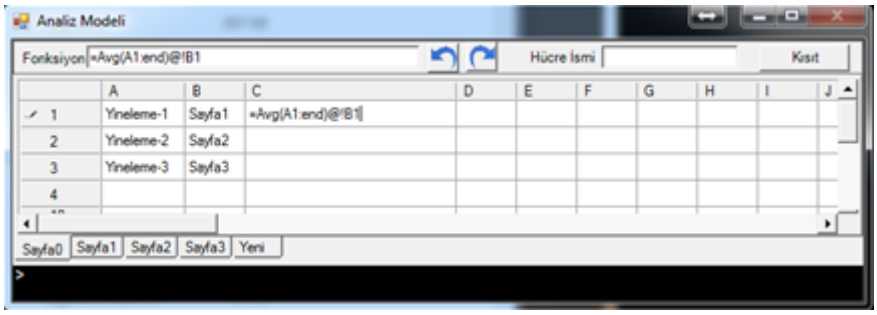


Şekil 5. Örnek Bir Yineleme Tanım Arayüzü

Yineleme işlemi ile simülasyon saati başlangıç zamanına çekilir, modellerin ajandasında yürüttüğü davranışlar sonlandırılır ve başlangıç durumu davranışları aktive edilir ayrıca model öznitelikleri başlangıç değerlerine getirilir ve modelin ilgili yineleme numarası ile ilişkilendirilmiş betikleri işletilir. Betik içeriğinde aşağıdaki eylemler yeralır;

- Olay çizelgeleri: Koşum yinelemesinde uygulanacak olay çizelgesi tanımlanır. Olay çizelgelemede amaç, tanımlanan zamanlarda, tanımlanan zaman aralıkları ile senaryo varlıklarına olay gönderimlerinin çizelgelenmesidir. Olay çizelgeleri, senaryoya koşum esnasında eklenecek varlıkların, eklenme zamanları ile çizelgelenmelerini de içerir.
- Dağılım ve rastsal sayı seçimleri: Koşum yinelemesinde kullanılacak rastsal sayı üretim tekniği ve davranışlara ait durumlar için kullanılacak, teorik dağılım ve parametre seçimleri tanımlanır.
- Model öznitelik tanımlamaları; Modellerin hangi yinelemede hangi özniteliklerinin hangi değerleri alacağı belirtilir.

İlgili tanımlamalar Şekil 5'de görülen arayüz kullanılarak gerçekleştirilir. Uygulamada simülasyona dahil edilmiş olan tüm modellere, koşum yineleme olayı gönderilir ve alınan olaya karşı bir davranış işletimi gerçekleştirilir. Yinelemelerin olay-davranış mekanizması ile yürütülüyor olması, tasarımcıya, farklı davranış tasarımları ile yineleme işlevlerini farklı bir semantik akış içerisinde tasarlayabilme imkanı verir.



Şekil 6: Koşum Yineleme Analizleri

Analiz modeli koşum esnasında her bir koşum yinelemesi için yeni bir e-tablo sayfası açar ve koşuma ait tüm koşum verilerini ve hesaplamaları ilgili sayfada tutar. Tüm koşum yinelemelerini içeren istatistiki hesaplamalar ise bir ana sayfa üzerinde koşum boyunca hesaplanarak görselleştirilir ve istatistiklere dayalı olarak tanımlanmış kurallar işletilerek ilişkilendirilen davranışlar yönetilir. İlişkilendirilen davranışlar yeni bir koşum yinelemesinin başlatılması, koşumun sonlandırılması, senaryo kaynaklarının değiştirilmesi (varlık ekleme, çıkarma), senaryo varlıkları öznitelik değerleri değiştirme, tanımlı olayların çizelgelenmesi ve kullanıcılar tarafından tanımlanmış herhangi bir davranış kümesi olabilir. Şekil 6'de koşum yineleme analizleri görülmektedir. Ana sayfadan da görülebileceği gibi, hangi yinelemenin hangi sayfada yer aldığı yazılmakta ve ilişkilendirilmiş sayfa değerleri kullanılarak analizler yürütülmektedir.

Standart uygulamalarda koşum sonrası analizler kapsamında ele alınan ve yürütülen koşumlardan elde edilen istatistiklere göre hesaplanan örneklem hacmine göre veya uzun koşumların kümeleme ortalamaları (batch-means) analizleri ile yürütülen kararların işletim zamanında gerçeklenmesi sağlanır.

4. ENSTANTANE KAYIT KOŞUMLARI VE YIĞIN KOŞUMLAR

Enstantane koşum kayıtları simülasyonun işletimi esnasında alınan ve farklı bir zamanda kayıt noktasından simülasyonu başlatmaya yetecek detayda bilgileri içeren kayıtlardır. Enstantane kaydı, yineleme uygulamalarında olduğu gibi, tanımlı zaman aralıklarında, tanımlı şartların sağlanması durumunda bir modelin yayınladığı ve senaryodaki tüm modeller tarafından alınan olay ile yürütülür. Olayın tetiklediği davranış ile her model ajandasında aktif olarak yürütmekte olduğu davranışlar ve model öznitelikleri otomatik olarak kaydedilir ve kullanıcı tanımlı özel veri kayıtları için ilgili yazılım arayüzleri işletilir.

Enstantane kayıtlar üzerinde senaryo tanımlama imkanı sağlayarak, işletimin şartları tanımlanmış özel bir anında alınan bir enstantane kaydının değiştirilerek, daha detaylı analizler yapılabilecek, "Olsaydı ne olurdu (What-if)" sorgulamalarının daha geniş bir yelpazede tasarımlar yapılmasına imkan sunar.

Yığın koşum birden fazla senaryonun ardışık olarak işletimini ifade eder. Her bir senaryonun işletimi kendi içerisinde yinelemeler yürütebilir. Yinelemelerin model güdümünde, işletim zamanlı alınan kararlarla yürütülebiliyor olması, yığın koşumlarda senaryo yinelemeleri için özel tanımlamalar yapılmasını gerektirmez. Yineleme ve yığın koşumların her bir senaryo koşumu için rastsal sayı seçimleri belirtilir.

Enstantane kayıtlarının yüklenmesi, kayıtların alınmasına benzer bir yapıda, olay etkileşimi ile gerçekleştirilmektedir. Modeller tarafından veya kullanıcı etkileşimi ile gönderilen enstantane yükleme olayı ile olayda belirtilen enstantane kaydı yüklenir ve işletilmekte olan senaryo ilgili zaman noktasına geçerek işletime enstantane zaman noktasından devam edilir.

Modellerin enstantane kayıt alma ve yükleme ve yineleme koşumları olay gönderimleri, tanımlı şartların gerçeklenmesi ve seçilen davranışların durum geçişleri ile sağlanır. Örnek olarak, bir hava savunma simülasyonunda lider uçağın vurulması bir yineleme kısıtı olarak tanımlanabilir ve bu durumda uçağın vurulması durumunda olay tüm modellere gönderilir ve senaryo başlangıç durumundan yeni bir yineleme olarak koşuma başlar.

5. SONUÇ

Çalışmada sunulan çevrim içi analiz modeli çözüm yaklaşımı ile, geleneksel olarak koşum sonrası gerçekleştirilen analizlerin çevrim içerisinde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Önceden veya işletim esnasında tanımlanan kurallar ile koşumun yönlendirilmesi, senaryo kaynaklarının değiştirilmesi, işletim esnasında varlıklara olay enjekte edilmesi ve iyi tanımlı karar yordamları ile senaryo yönetimi sağlanmıştır. Koşum yineleme sayısı, senaryo yinelemelerinde farklı rastsal sayı köklerinin kullanımı ve betik tanımları ile yineleme konfigürasyonlarının hazırlanması koşum zamanlı ve otomatikleştirilmiş bir formda gerçekleştirilebilmiştir.

Yığın koşumlar ile birden fazla senaryonun tek bir oturumda ardışık olarak yürütülmesi ve kullanıcı müdahalesine ihtiyaç duyulmadan yürütülmesi sağlanmıştır. Uzun senaryo koşum süreleri, özellikle analiz simülasyonlarında, müdahalesiz koşuma olan ihtiyacı artırmaktadır. Çözüm ile ihtiyacı çözmeye yönelik esnek ve kullanıcı tarafından genişletilebilir bir çözüm üretilmiştir.

Enstantane kayıtlar üzerinde senaryo tasarım değişiklikleri yapılarak yeni bir senaryo olarak işletilebilmeleri sağlanmıştır. Bu avantaj, simülasyon uygulamalarında sıklıkla beklenen "Olursa ne olur (what-if)" sorusunun cevabını aramada daha ileri bir noktaya,

belirli simülasyon durumlarında ve zaman noktalarında alınan kararların etkisini görmede daha etkili bir uygulama olmaktadır. Bu amaca hizmet etmek için tanımlı şartlar ve zamanlarda alınan enstantane kayıtları, senaryo tasarımına girdi olarak kullanılabilmektedir.

6. KAYNAKÇA

[1] R. Kirner, R. Lang, G. Freiberger, and P. Puschner, "Fully automatic worst-case execution time analysis for MATLAB/Simulink models," in *Proceedings - Euromicro Conference on Real-Time Systems*, 2002, pp. 31–40.

[2] J. Weidendorfer, M. Kowarschik, and C. Trinitis, "A Tool Suite for Simulation Based Analysis of Memory Access Behavior," in *Proceedings of the 4th International Conference on Computational Science ICCS*, 2004, vol. 3, pp. 440–447.

[3] T. Schule and K. Schneider, "Exact runtime analysis using automata-based symbolic simulation," in *First ACM and IEEE International Conference on Formal Methods and Models for Co-Design, 2003. MEMOCODE '03. Proceedings.*, 2003.

[4] M. F. Hocaoglu, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework," *Hunstv. Simul. Conf. - HSC2005*, 2005.

[5] Mehmet F. HOCAOGLU, "Agent based Simulation: Lecturer Notes," AUZEF, Istanbul University, Istanbul, 2014.

[6] M. F. Hocaoğlu, "AdSiF : Agent driven Simulation Framework," in *USMOS 2011- National Defense Application and Modeling & Simulation Conference -(in Turkish)*, 2011.

[7] T. G. K. B. P. Zeigler, H. Praehofer, *Theory of Modeling and Simulation*. Florida: Academic Press, 2000.

[8] D. M. N. Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, *Discrete-Event System Simulation*, 5th ed. Prentice Hall, 2009.

[9] M. F. Hocaoglu, "Artificial Neural Network Embedded in Simulation: An Example on Logging operations in Forestry." 1997.

ETMEN TABANLI SİMÜLASYON ONTOLOJİSİ

M. Fatih Hocaoğlu [a, b]

[a] İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İstanbul
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr

[b] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, 34912 İstanbul Teknopark /İstanbul

hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Bu çalışmada, etmenlerin simülasyonda var olmalarının ontolojik arkaplanı incelenirken, EtSiS'in etmen davranışına verdiği cevap irdelenmiştir. EtSiS'in kozmolojisi ve ontoloji tanımı ele alınmış, ontolojisini oluşturan her bir paradigmanın davranış yönetimi ile olan ilişkileri incelenmiştir. Muhakeme mekanizması, varlık sorgusu ve dual dünya tasvirinin davranış yönetimi ile olan ilişkileri bir çözüm yaklaşımı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Etmen, Etmen güdümlü simülasyon, EtSiS, Kozmoloji, Ontoloji

AGENT DRIVEN SIMULATION ONTOLOGY

ABSTRACT

In this study, while the fact that ontological background of accommodating agents in simulation studies is examined, the answer given by AdSiF- Agent driven Simulation Framework to the question is scrutinized. The cosmology that AdSiF lays down and AdSiF's ontological commitment and the relations of the paradigms constituting the ontology with behavioral management are examined and also the connection of reasoning mechanism, acquisitions for existence, and dual world representation with behavioral management are provided as a solution approach to agent driven simulation.

Keywords: AdSiF, Agents, Agent driven simulation, Cosmology, Ontology

1. GİRİŞ

Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi (EtSiS) içerdiği çoklu programlama paradigmalarını kuşatan ve tümleştiren durum tabanlı programlama paradigması ile ontoloji tabanlı modelleme için bir modelleme dili sunmaktadır. Dil ile ontoloji tabanlı modellemenin ana bileşenlerinden "Bu nedir?" sorusuna, mantık programlama ile ilişkilendirilmiş ve farklı cevap çözünürlüğü kademeleri için davranış yapılarının tanımlandığı bir çözüm sunulurken, bir diğer önemli bileşen olan, varlık ilişkileri için doğrudan davranış yapıları tanımlanmasına imkân veren bir ontoloji betimlemesi sunulmuştur.

Varoluşa ilişkin sorulara verilen cevaplar mantık programlama tabanlı olarak formüle edilmiş ve model davranış yapıları ile tümleştirilmiştir. Çözüm aynı zamanda varlığın geçmişine dönük kararların ve ilgili davranış modellerinin gerçeklenebilmesi için bir programlama ortamı sunmaktadır. Bununla, özellikle zaman gecikimli sistemlerde modelleme ve davranış yönetimi için bir dil ve ontoloji desteği sağlanmıştır. Çalışma hareket noktası olan EtSiS ontolojik betimlemesini, varlık felsefesi ile olan ilişkilendirilmesini, ortaya konulan dil tanımındaki karşılıklarını ve farklı programlama paradigmalarını tümleştirmiş olduğu durum tabanlı programlama paradigmasının ontoloji arkaplanını içerir. Ontolojik betimlemenin dil grameri ile tümleştirilmesi, yalnızca modelleme düzeyinde kalmayan, aynı zamanda işletim aşamasına kadar uzayan, etkin ontoloji tabanlı bir modelleme ve işletim aracı tanımlamıştır.

Etmen tabanlı modelleme ontoloji tanımı üç temel kavramın varlık davranış yönetimleri ile ilişkilendirilmesi üzerinde tanımlanmıştır. Bunlar, varoluş tanımına dönük, ne olduğu sorusuna alınan cevaplar, varlıkların aralarındaki kurulan ilişki tanımları ve dünya tasviri ve muhakeme yapıları olarak belirlenir. Bu çalışma ayrıca, bir etmenin ontolojisinde varolan amaç güdümü ve reaktif olma özelliklerinin nasıl modellendiğine ve ontoloji kavramının temel soruları ile nasıl ilişkilendirileceğine eğilmiştir.

Makalenin takip eden bölümlerinde ontoloji tanımı ve etmen tabanlı simülasyonun temel aldığı kavramların, uygulama karşılıkları ele alınacaktır.

2. Ontoloji

Ontoloji konusundaki felsefi yaklaşımlar iki temel soru etrafında şekillendiğini görmekteyiz [1]. Bunlardan ilki bir varlığa dönük "nedir?" [2] sorusu ve ikinci kısım ise, varlığın temel özelliklerine ve ilintili olarak ilişkilerinin sorgulanması olarak karşımıza çıkmaktadır [3]. Varlık tanımı, varlığın tanımlayıcı özellikleri ve ilişkileri kavramsal model ve kavramsal modelin dayandırıldığı paradigmalar ile sıkı bir şekilde ilişkilidir. Kavramsal model kurgusunda varlıkların farklı paradigma bakışları ile yorumlanması mümkündür. Bu bakış ile etmen tabanlı modellemede varlık betimlemesinin birden fazla paradigmayı kuşatan bir tanımlama bakışı ile ele alınması tasvirin esnekliğine ve tasarım güçlenmesine destek verecektir. Çalışmanın merkezini oluşturan EtSiS'in kavramsal model tanımlamasında varlık ontolojisi birden fazla

paradigma ile gerçekleştirilirken, tüm paradigmaların tümleştirildiği bir paradigma ve paradigmaya ait bir dil ile tanımlanmaları sağlanmıştır [4], [5]. Farklı paradigmaların birleştirilmesi bir ontoloji metriği olan ifade zenginliğini [1] güçlendiren bir özelliktir.

Simülasyonda bir varlık zaman ekseni, olay etkileşimleri, durumlar, durumlar ile oluşturulmuş olan davranışlar, bir muhakeme mekanizması ve muhakeme mekanizmasının girdilerini oluşturan bilgi yapılarına sahiptir. EtSiS'de varlığın semantik yapısı davranış yapıları ile temsil edilirler. Bir etmen programlama, simülasyon ve hesaplama altyapısı olarak EtSiS, iyi tanımlı bir gramere sahiptir ve gerek dil yapısından gerekse de ontolojik betimlemesinden kaynaklı bir seri tasarım kuralları, bir programlama paradigması ve tasarım şablonları sunar.

3. ETMEN TABANLI SİMÜLASYON ONTOLOJİSİ

Etmen tabanlı Simülasyon sistemi Sistemi (EtSiS) ontolojik betimlemesi aşağıdaki gibi ifade edilir.

"Bir varlık kendisini diğer varlıklardan ayırt eden özniteliklere ve bu özniteliklerin değerlerini yöneten eylemlere sahiptir. Varlığın yürüttüğü her eylem bir durum tanımı ile sarılırlar ve eylemler durumlar arası geçişler ile sağlanır. Durum geçişleri ve ilgili eylemler, anlamlı bir bütün oluşturacak şekilde yürütülürler ve bu anlamlı sıralama davranış olarak tanımlanır. Varlıklar bir çevre içerisinde bulunurlar ve diğer varlıklar ile olay etkileşiminde bulunurlar. Her varlık bulunduğu çevreyi algılar ve çevreye ilişkin bir iç tasvir oluşturur. Tasvir çevreye ait geçmiş bilgileri, doğru olduğu kabul edilen bilgileri ve bu bilgi yapısını esas alan karar yordamlarını içerir. Karar yordamları ile çevresi ile olan etkileşimleri yöneten ve kendi durumu tanımını belirleyen davranışları yönetir."

Bir varlığı bir diğerinden ayırt eden öznitelikler, varlığın, ontolojinin temel sorularından biri olan, "Bu nedir?" sorusunun, bir soyutlama seviyesinde cevabı olan, bir üst modelden türemiş olabilmesi, sahip olduğu eylem ve özniteliklere erişim prosedürlerinin tanımlanabilmesi, ontoloji betimlemesinin nesne yönelimli arka planını oluşturmaktadır. EtSiS ontolojik betimlemesi mantık programlama, nesne yönelimli programlama, etmen tabanlı programlama ve cephe tabanlı programlama paradigmalarını içerir ve tüm bu paradigmaları durum tabanlı programlama paradigmasında tümleştirir. Durum tabanlı programlama paradigması varlıklara ilişkin, durumları ve davranışlarına göre bir betimleme, bir sınıflandırma gerçekleştirir. Paradigmanın temel kavramlarını, durumlar, davranışlar ve davranış cepheleri (aspects) oluşturur. Varlığın, bir etmen olarak, çevresini gözlemlemesi ve kendisi için tanımlı bilgi yapılarının bilgi tabanında zaman eksenli olarak güncellemesi ve genişletmesi, bilgi yapısını kullanan karar algoritmaları ile ürettiği karar sonuçlarını kullanarak davranışlarını yönetmesi, mantık programlamanın durum tabanlı programlama ile olan tümleşiminin ana eksenini oluşturur.

Bir etmenin davranış yapısı ardışık durumlar ile oluşturulmuş davranışlar ve durum geçişleri ile yürütülen eylemler ile temsil edilirler. Bir davranışın yönetilmesi aşağıdaki faz geçişlerinin yönetilmesi ile ilgilidir, bunlar; 1) Aktive edilmesi, 2) İptal edilmesi, 3) Askıya alınması, 4) Tekrar işletilmesi ve 5) Tamamlanması olarak tanımlanır. Bir davranış olay etkileşimi ile aktive edilebilir. Aktive edilme faz geçişi dahil diğer tüm faz geçişleri bir başka davranış tarafından yürütülebilir ve etmenin bulunduğu ortam durum tanımlamalarına göre tanımlanmış şartların sağlanması ile sağlanabilir.

Cephe tabanlı programlama etmenin bulunduğu çevre veya kendi şartına bağlı olarak davranış karakteristiğini değiştirebilme yeteneğini tanımlar [6] ve davranışların farklı şart ve duruma göre kategorik olarak aktive edilmelerini yönetir. Bu şart değişimlerine bağlı olarak aktive edilen davranışlar kümesi etmenin bir davranış cephesini sergiler.

Bildirimsel programlama yaklaşımı ile EtSiS insan benzeri problem çözme yaklaşımının modellenmesinde önemli bir çözüm sağlamaktadır. Problem çözümünde yaklaşım bir varlığın ve ilintili olarak, varlığa ait bilgi yapılarının, ilişkilerinin, kısacası, ontoloji tanımının doğrudan bir algoritmik rutinler olarak değil, problemin, çözümün ve problemi çözecek olan varlığın tanımlanması tabanlı bir çözüm arayışı mevcuttur. Bu yapı mantık programlama yaklaşımı ile tam olarak örtüşür ve etmenleri tepki üreten varlıklar olmanın ötesine taşıyarak, bir amaç tanımlama ve amacı gütme yeteneği kazanmasına sahip olmasını sağlar. Bir etmenin amacının olması, etmen yazılımlarını yalnızca bir insan benzeri yazılım olmaktan öte, bir işi olan insan benzeri olmalarını sağlar. Amaç güdümü ve strateji uygulama etmenleri, klasik yazılımlardan daha fazla insan benzeri davranışa yaklaştırır ve otonom, reaktif olma özellikleri bu özelliği güçlendirir. Klasik yaklaşım ile geliştirilen bir yazılım, tanımlı prosedürleri takip ederek işletimi sonlandırır. Bir etmen ise, bir çevre içerisinde bulunduğu için çevresi varolduğu sürece, yürütecek bir amacı bulunmasa veya başarılmış olsa bile, kendisi için tanımlı olan olaylara ve durum değişimlerine reaksiyon gösterir. Çevresinde oluşan olaylara veya durum değişimlerine gösterilen reaksiyon (reaktif olma özelliği) davranış olarak modellenir ve davranış iletimi sonucunda durumsal farklılık (dolaylı etkileşim) ve/veya olay yayınlaması (doğrudan etkileşim) gerçeklenir [7].

4. Kozmoloji: Zaman ve Evren

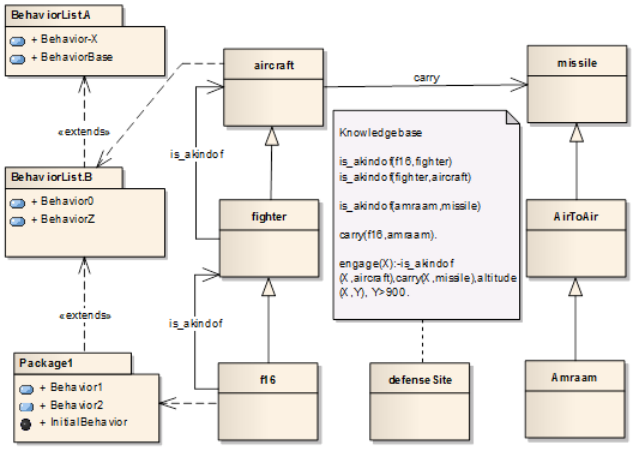
Zaman kavramı EtSiS'in etmen tabanlı ontoloji betimlemesinde özel bir yere sahiptir. Zaman kurgulanan kavramsal model bazında, tüm kavramsal model varlıkları tarafından oluşturulan bir boyuttur ve kavramsal dünyaya, Euclidean zaman tanımı gibi, bir varsayılan bilgi olarak dışardan giren bir bilgi değildir. Zaman kavramsal dünyayı oluşturan varlıkların devinimi ile göreceli olarak belirlenen bir bileşendir ve her kavramsal model, boş bir uzay ile başlar. Uzaya dâhil edilen bir varlığın durum geçişi ve bağlantılı olarak bir olay etkileşimi ile gerçekleştirdiği devinim uzayda zaman boyutunun oluştuğu zaman ve uzay tümleşik tanımına ulaşırız. Tanımlama izafiyet

teorisinin temelini oluşturan zaman tanımlamasıdır. EtSiS kavramsal uzayında varlıklar eylemlerini zamanın ilerleyişi ile gerçekleştirmezler, eylemlerle uzaydaki zamanın oluşumu sağlanır. Bu bakış ile, EtSiS zaman tanımının, izafi zaman teorisi esaslı olarak tanımlandığını söyleyebiliriz. Uzayda belirli bir durum tanımı içerisinde sonsuz zaman için bekleyen varlık veya varlıklar için bir ilk zamandan, şimdiki zamandan veya önceki zamandan bahsetmek mümkün olmaz. Bir zaman noktasının oluşumu ancak ve ancak varlıkların bir devinim göstermesine bağlıdır.

Bu kozmolojik tanımlama bizi, sürekli ve kesikli olay tasvirinde önemli bir tümleştirmeye taşır. Durum geçişleri uzayda bir olay oluşumu ile açıklanabilir ve tersine bir yorum ile olayların oluşumları varlıklarda durum geçişlerini tetikler. Bu iki yönlü bakış ile, varlığın kendi içindeki devinimi sebebiyle gerçekleştirdiği durum geçişleri, uzayda bir olaya karşılık gelirken (gerçek veya sanal), algılanan her bir olay ilgili varlıklarda durum geçişlerine sebep olur, -ki durum geçişleri durum tabanlı programlamada eylemlere ilişkin fazları içerir. Bir varlıktan bir eylem isteğinde bulunmayan sanal olaylar uzayda sadece zaman noktasına ilişkin tanımlama oluştururlar ve varlığın kendi iç dinamiği ile gerçekleştirdiği bir durum vektörü değişimi sözkonusudur. Bu bakış ile EtSiS ontolojisi sürekli veya kesikli olay tanımlamasından bağımsız olarak, her ikisini de kuşatan, bir üst zaman ve olay tanımı gerçekleştirir ve bu tanımlama ile sürekli olay düzenli durum geçişlerini evrende zaman noktalarına resmederken, evrende gerçekleştirilen zaman noktalarını kesikli zaman noktaları olarak tanımlar.

5. VARLIK SORGUSU İLE DAVRANIŞ YÖNETİMİ

Ontolojinin temel sorusu olan “Bu nedir?” sorusuna alınan her bir cevap, varlığın tanımlamasını bir üst soyutlama seviyesine taşır ve taşınan her bir soyutlama seviyesi için tanımlı bilgi yapıları, karar yordamları ve ilişkili üst seviye davranış tanımlamaları mevcuttur. Şekilden de görülebileceği gibi bir F16 için sorulan “Bu nedir?” sorusuna alınan cevaplar, modelin daha üst bir varlık tanımı ile tanımlanması ve her üst varlık tanımına daha alt seviye varlık davranış tanımında da geçerli olan, davranış tanımlamaları ile ilişkilendirilmiş olduğu görülmektedir. F16’nın ne olduğuna verilen ilk cevap, onun bir savaş uçağı (fighter) olduğu, savaş uçağının ne olduğuna verilen cevap ise onun bir hava aracı olduğu şeklindedir. Hava araçları seviyesinde tanımlanan *BehaviorList.B* davranış kümesi hava aracından türeyen tüm varlık tipleri için geçerlidir ve tüm hava araçları için tanımlı olan temel davranışları içerir. Benzer bakışla *Package1* isimli davranış kümesi F16 için tanımlanmıştır ve hava aracı seviyesinden alınan davranışları genişletir. Tanımlama modelin durumsal tanımlamalarının da daha üst soyutlama düzeyinde yapılabildiğini gösterir.



Şekil 1: Varlık Sorgusu ile Davranış Güdümü

6. AMAÇ GÜDÜMÜ VE TEPKİSEL DAVRANIŞLAR

Bir etmen olarak tasarlanan simülasyon modelleri bilgi tabanında güncellenen bilgi yapıları ve muhakeme yordamları (kurallar) ile davranışlarını belirli bir hedefi sağlayacak şekilde yönlendirirler. Bir amaç başarım şartı, iptal şartı, askıya alınma şartı, tekrar işletilme şartı ve bir grup seri ve paralel işletilen eylemler olarak tanımlanır. Eylemler serisi amacı sağlayacak bir plan olarak belirlenir ve planlama etmeni [8] olarak tanımlanan etmen tasarımı, her eylem sonucunda amaca yaklaşma derecesini ölçerek, alternatif planları değerlendirir. Değerlendirme ve planlama eylemleri mantık programlama paradigmasının etmen görev işletiminde üstlendiği bir görev parçasıdır. Bu aşamada EtSiS etmen tasarımı durum tabanlı programlama yaklaşımı ile, atomik çözünürlüğü belirleyen, her bir durum geçişi amaç değerlendirmesi ve planlama için iyi tanımlı bir faz tanımlamıştır [9]. Görevin yürütülmesi esnasında çevresinde gerçekleşen ve kendisini ilgilendiren olaylara karşı tepkisel davranışlar üretir ve bu davranışlar eğer yürütmekte olduğu göreve ilişkin davranışlar ile çelişmiyor ise paralel olarak yürütülürler. Bir çelişki olması durumu yeni bir planlamayı veya görev davranışlarını askıya alarak uygulama şartlarının tekrar sağlanmasını takiben (tepki davranışlarının işletiminin tamamlanması ile) işletilmelerine devam edilir. Bir amaç güdümü için genel amaçlı bir planlama davranış şablonu tasarlanabilir. Bu özellik varlık ontoloji tanımlamasında yeralan birden fazla paradigmayı tümleştiren durum tabanlı dil gramerinden gelmektedir. Tüm görev yapıları ve ilişkili şartlar (Activation, cancel, suspend, resume ve finish) EtSiS'in davranış gramerine uygun olarak gerçekleştirilir.

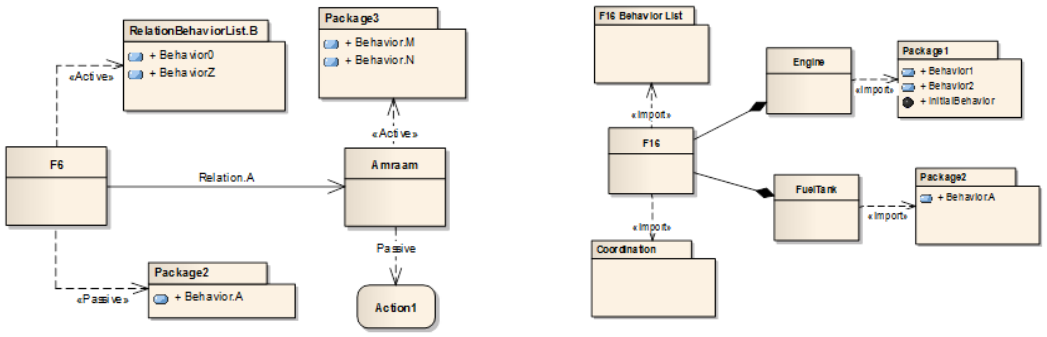
7. MUHAKEME İLE DAVRANIŞ YÖNETİMİ

Muhakeme bileşenleri çevreye ilişkin sahip olunan bilgiler (beliefs) ve önerme tanımlamaları (predicates) olarak ele alınır. Muhakeme önermelerin doğruluk değerlerinin ve/veya önerme çıktı parametrelerinin değerlerinin mantıksal veya matematiksel operatörler ile kullanılarak bir doğruluk değeri üretmesi ve bu doğruluk

değerlerinin davranış güdümünde istihdamı sağlanır. Varlık bilgilerine bir örnek Şekil 1'de görülmektedir. Bilgi yapısı f16'nın bir savaş uçağı, savaş uçağının bir hava aracı olduğu bilgisine (bu nedir sorusuna verilen cevaplar ile oluşturulmuş olan bilgi yapısı) ek olarak f16'nın ilişkide olduğu füze tipi (*carry(f16, amraam)* – F16 Amraam füzesi taşımaktadır. Amraam füzesi ise bir tür havadan havaya füze olarak tanımlanmıştır. Burada ilişki *carry* olarak tanımlanmıştır) bilgi tabanında yeralmakta ve bilgi yapısına dayalı olarak tanımlanmış angajman emri kuralı görülmektedir. Sözkonusu bilgi yapısı yere konuşlu savunma unsuru modeline (defenseSite) ait bir bilgi tabanı, diğer bir ifade ile, modele ait bir iç dual dünya tasviridir. Bilgi tabanı çevreden sensörler aracılığıyla veya önceden tanımlı bilgiler ile (beliefs) oluşturulur ve sensör bilgisinin doğruluk düzeyine bağlı olarak ve çıkarım mekanizması doğruluğuna bağlı olarak oluşturulur. Şekilde görülen kural "*Amraam füzesi taşıyan bir hava unsuruna angajman emri verilmesini içerir.*" Emir verilmesine ilişkin kuralın doğruluk değeri angajman davranışını tetikleyen güdüm koşulu olarak ilişkilendirilir.

8. İLİŞKİ KAVRAMI VE DAVRANIŞ YÖNETİMİ

Varlık ontolojisi, ilişki kavramını tümleşen, durumsal ve eylem ilişkisi olarak üç ilişki kategorisi altında ele alır. İki varlık arasında kurulan durumsal ve eylemsel ilişkiler, yönlüdür ve kurulma ve koparılma (kaldırılma) fazlarından oluşur. İlişkiler statik olarak tanımlanan ve değişmez yapılar değildir, bu sebeple, kurulma ve koparılma fazları varlıkların yaşam döngüsü içerisinde, defalarca gerçekleşebilir [3], [9], [10]. Şekil 2 (a)'da görüldüğü üzere, *Relation.A* isimli ilişkinin kurulması durumunda *RelationBehaviorList.B* isimli davranış seti aktive edilmektedir. Koparılması durumunda ise *Package2* isimli davranış kümesi yürütülmektedir. Benzer tanımlama ilişkinin diğer tarafında yeralan varlık için de yapılmıştır. İlişkinin kurulması durumunda *Package3* isimli davranış kümesi aktive edilmekte, koparılması durumunda ise *Action1* isimli atomik fonksiyon yürütülmektedir. Tanımlama görüldüğü gibi belirtimsel yapıdadır ve doğruda ontoloji tanımının uygulamaya olan yansımasıdır.



(a) (b)

Şekil 2: İlişki ve Tümleşik Model Tanımlama

Bir varlık birden fazla varlığın tümleşimi ile oluşabilir. Bu durumda birden fazla varlığı içeren ve bir anlamda tümleşik varlığı temsil eden varlık, iç yapısında içerdiği varlıkları ayrık olarak muhafaza etse de, onların dış dünya ile olan etkileşimlerini üstlenir. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de iç modellerin davranış yapılarını, bilgi tabanlarını ve ilişkili kural setlerini muhafaza ettikleri, olay dağıtımlarını ve zaman koordinasyonlarını iç modelleri çevreleyen, tümleşik model üstlenir. Şekil 2(b)'de yakıt tankı ve motorun ayrık modeller olarak tanımlanarak, f16 modeli ile tümleştirilmiş bir tanımlama görülmektedir. Motor ve yakıt tankı modelleri kendi davranış yapılarına sahiptirler fakat dış dünya ile etkileşimleri, bağlantılı olarak zaman yönetimleri F16 modeli tarafından yürütülmektedir. Bu işlemler F16 modeli davranış kümesi, *F16BehaviorList*'i genişleten *Coordination* davranış kümesi ile yürütülmektedir.

9. Diğer Ontoloji Dilleri ile Kıyaslama

AdSiF'in sunmuş olduğu modelleme ve simülasyon dil yeteneği ile ontoloji tabanlı modelleme yaklaşımı diğer, simülasyon paket ve dilleri ile ve ontoloji geliştirme metodolojileriyle değerlendirilmiştir. Değerlendirme kriterleri ve yorumlar aşağıdaki tablolarda ve tablo dipnotlarında kısaca özetlenmiştir .

Tablo 1: Ontoloji Geliştirme Metodolojileri

	DUET	OILEd	Onto Edit	Ontolingua	OntoSaurus	Prote'ge'	AdSiF
Mimari	P[1]	S	S,C	C	C	S	x2
Genişletilebilirlik	-	P	P	-	-	P	x3
Ontoloji depolama	-	D[4]	D/Vt	D	D	D, Vt	D, Vt
Bilgi Gösterimi	NYP Sınıf	DL(DAM+OIL)	F+FOL	F+FOL	DL (LOOM)	F+FOL+ MC[5]	SA+F OL+F
Metodoloji	R	-	O	-	-	-	EA
Muhakeme mekanizması	Hayır	FaCT	Ob	Hayır	Evet	PAL	x[6]
İşletilebilirlik	-	-	-	-	-	-	X

R: Rational Rose, EA: Enterprise Architect, O: Onto-Knowledge, Ob: Onto-Broker

Tablo 2: Simülasyon Paket/Dilleri

	DEVS	**Siman**	**Mozart/Oz**	**AdSiF**
Ontoloji	Yok	Yok	Yok	X
Zaman yönetimi	X	X	Yok	X[7]
Olay Yönetimi	X	X	Yok	X[8]

[1] P: Yazılım uzantısı (plugin), S: Standalone, C: Client/server
[2] Betik Dil, Plugin, Olay güdümlü, Katmanlı
[3] İşletim zamanlı ve Tasarım zamanlı
[4] D: Dosya, Vt: Veritabanı
[5] F: Frames, FOL: First Order Logic, MC: Meta class, SA: Durum otomatı
[6] Predicate logic, First order logic, Higher order logic
[7] Mevcut zaman yönetiminden farklı senkronizasyon ve zaman yönetim algoritmaları AdSiF'in programlama alt yapısı olan durum tabanlı programlama ile genişletilebilir. Farklı algoritmalar işletim zamanlı olarak değiştirilerek kullanılabilir. Değişiklik kararı bir yapay zeka algoritma ile muhakeme sonucunda ele edilebilir.

	DEVS	**Siman**	**Mozart/Oz**	**AdSiF**
Tümleşik Kavramsal Model Desteği	Yok	Yok	Yok	X[9]
Senaryo Doğrulama	Yok	Yok	Yok	X
Kavramsal model doğrulama	Yok	Yok	Yok	X
Yığın koşumlar	Yok	Yok	Yok	X
Yinelemeler	Yok	Yok	Yok	X
Desteklenen Paradigmalar	NYP	NYP	NYP	NYP, CtP, MP, EtP[10]
Sahip olduğu paradigma	x[11]	x[12]	x12	SOP
Model tabanlı Simülasyon Yönetimi	Yok	Yok	Mümkün[13]	X[14]
Rastsal Sayı	X	X	X[kodlama düzeyinde]	X[15]
Kaynak Kod	Yok	Yok	Yok	Var
iletişim	Model Kimliğine	Varlık iletimi	Mesajlaşma	X[16]
Soyutlama	Gen, Agg, Ass	Yok	Gen, Agg, Ass	Cla, Gen, Agg, Ass[17]
İşletim zamanlı genişletme	Yok	Yok	Yok	x[18]
Açıklık (expressiveness)	x[19]	sınırlı	x19	x[20]
Basitlik	x[21]	x[22]	x[23]	x[24]
Tamlık (Preciseness)	X	Hayır	X	X
Genişletilebilirlik	Java ve c++	C ve Fortran	Plugin	x[25]
İşletim zamanlı genişletme	Yok	Yok	Yok	x[26]
Doğrulama	Çevrim dışı	Çevrim dışı	Çevrim dışı	x[27]
Dil entegrasyonları	C++/Java	C/Fortran		C++, Piton, Prolog
Miras mekanizması	X[sınıf düzeyinde]	Yok	X	x[28]
Modülerlik	X -İyi	Yok	X-İyi	X- Yüksek[29]

[8] Mevcut algoritmaya ek olarak farklı olay seçim mekanizmaları yürütülebilir, farklı olay kuyruk seçim kuralları işletilebilir. Zaman yönetiminde olduğu gibi durum tabanlı programlama ile olay yönetim algoritmaları bir katman olarak geliştirilebilir.

[9] Case araçları ile sağlanan geniş bir süreç desteği mevcut

[10] NYP: Nesne Yönelimli Programlama, CtP: Cephe tabanlı Programlama, MP: Mantık Programlama, EtP: Etmen tabanlı Programlama

[11] Durumların programlanması

[12] Kendine ait yok

[13] Mümkün fakat hataya açıklık yüksek

[14] Modeller ile simülasyon koşum yönetimi mümkün

[15] Kütüphane mevcut, Plugin mimarisi ile genişletilebilir. Hesaplamalar model geliştirme ile betik düzeyinde tanımlı

[16] Model kimliği ile mesajlaşma, İlişkili varlıklarla mesajlaşma, Model tipi ile mesajlaşma

[17] Cla: Classification, Gen: Generalization, Agg: Aggregation, Ass: Association

[18] Fonksiyon ekleme, Öznitelik ekleme, Davranış ekleme, Yapay zeka alg. Ekleme

[19] Standart programlama özelliklerine sahip.

[20] Grafik programlamaya imkan vermesi sebebiyle görsel programlama imkanı sunar. Gelişmiş davranış durum diyagramları ile güçlü programlama ortamı sağlar

[21] Sunulan temel sınıf fonksiyonlarına erişim

[22] Keyword tabanlı programlama (sınırlı)

[23] Özel bir programlama dilidir

[24] Betik dil, modüler model geliştirme, gevşek bağımlı programlama

[25] C++ plugin, Piton arayüz imkanı

[26] Fonksiyon ekleme, Öznitelik ekleme, Davranış ekleme, Yapay zeka alg. ekleme

[27] Koşum zamanlı analiz ve doğrulama

[28] Sınıf, model ve Kütüphane düzeyli. Model iç tanımında durum, davranış ve davranış listeleri, kütüphane düzeyinde olay ve ilişki tanımlama seviyelerinde yüksek seviye miras mekanizması tanımlıdır.

[29] Model ve alt model düzeyinde ayrık ve zayıf bağımlılık

	DEVS	Siman	Mozart/Oz	AdSiF
Overloading	Sınıf seviyesinde	Yok	Sınıf ve fonk.	x[30]
Bilgi saklama	Sınıf seviyesinde	Yok	x[31]	x[32]
Hata yönetimi	Kullanıcıya bağlı	Sınırlı	Kullanıcıya bağlı	x[33]
Genel Programlama	Evet	Yok	Evet	Evet
Programlama Paradigmaları	NYP	Nesne tabanlı	NYP, Fonk.	x[34]
Ortogonality	x[35]	Yok	x[35]	Yüksek Destek
Özyinelemeli programlama	Yok	Yok	Var	x[36]
İşletim Sistemi	Windows	Windows	Windows, Linux	x[37]
Yazılım Arayüzleri	Var	Var	Var	Gelişmiş plugin
Hataya Açıklık	x[38]	Açık	x[39]	x[40]
YM Süreci	OOP	Yok	Yok	x[41]
Zaman gecikimli sistem modelleme	Yok	Yok	Yok	Var
Matlab Entegrayonu	Yok	Yok	Yok	Var
Koşum hızı regülasyonu	Yok	Yok	Yok	Var
Tasarım şablonu	NYP şablonları	Yok	Yok	x[42]

10. SONUÇ

EtSiS kavramsal model süreci boş bir uzay ile başlar. Zaman ekseni tanımını sürekli ve kesikli olay sistemlerinin her ikisini de kuşatacak şekilde, uzay-zaman (spacetime) göre yapan bir kozmolojiye sahiptir. Simülasyon dünyası boş bir uzay, zaman ekseni tanımı ve varlık tanımlaması ile başlatılır. Tanımlamanın bu kadar atomik düzeyde başlatılması uygulama sahalarından ve pratik durumların sınırlandırmalarından uzaklaşmış bir modelleme çözümü elde etmemizle sonuçlanır.

Ontoloji tabanlı modellemede bir varlık ontolojisi tanımlamanın ötesinde, tanımlama bileşenlerinin her biri, varlık için sorulan "bu nedir?" sorusuna alınan cevapların, varlıklar arası ilişkilerin, varlık durum tanımlarının ve varlığın dual dünya tasvirlerinin davranış yapıları ile ilişkilendirmesi kuşatıcı bir çözüm yaklaşımı sunmaktadır.

Modelleme yaklaşımının temelini oluşturan çoklu programlama paradigması ve programlama paradigmalarının arka planındaki dünya tasvirleri, modelleme ve dünya betimlemesi zenginliği sunmaktadır. Nesne yönelimli programlama, mantık

[30] Davranış, durum ve model seviyesinde + sınıf seviyesinde
[31] Dil tanımları ile belirlenmiş öznitelik ve fonksiyon sınırlı
[32] Sınıf yapılarında NYP'den gelen bilgi saklamaya ek olarak, model seviyesinde öznitelik ve davranış erişimleri erişim tip (public, protected, private) tanımlamaları ile sınırlandırılır.
[33] Hata logları, Koşum logları, Koşum akış görselleştirme
[34] NYP, Cephe (Aspect Oriented), mantık programlama, etmen tabanlı programlama, Durum tabanlı programlama
[35] Tasarımcı yeteneğine bağlı özel bir destek yok
[36] Davranışlar ve mantık programlama önerme yapıları kullanımı ile sağlanır.
[37] Çekirdek yorumlayıcı linux'da derlenmiştir.
[38] Temel fonksiyonların kullanımı ile kod geliştirildiği için hataya açıktır.
[39] Programlama yapıldığı için hataya açıktır.
[40] Atomik seviyeye indirgeniş programlama, soyut davranış yapıları ve iyi tanımlanmış bir geliştirme süreci, araç desteği ile en aza indirgenmiştir.
[41] Tanımlı Süreci var ve CASE araçlarında uygulanmıştır.
[42] Paradigmasına ait şablonlar, NYP şablonları

programlama, cephe programlama, etmen tabanlı programlama ve tüm bu paradigmaları birleştiren durum tabanlı programlama paradigması farklı dünya bakış şablonlarını birleştirerek, farklı bakışlar ile varlık modellemesini ve davranış yönetimini sağlar. Dünya tasviri ile oluşturulan bilgi tabanı ve ilişkili kural (predicate-önerme) yapılarından elde edilen kararlar ile davranışların yönetilmesi, benzer şekilde, varlık soyutluk seviyelerinin her birisine ilişkilendirilmiş davranış yapıları ve şartlara, durumlara bağlı varlıkların davranış cephelerini değiştirebilme, varlıklar arası ilişkilerin tanımlı fazları için eylem ve davranış aktivasyonları ontoloji tabanlı modellemede, ontoloji tanımından uygulamaya giden yol haritasını gösterir.

11. KAYNAKÇA

[1] N. Guarino, D. Oberle, and S. Staab, "What is an Ontology ?," S. Staab and R. Studer, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 1–17.

[2] W. V. O. Quine, "On What There Is," *Rev. Metaphys.*, vol. 2, pp. 21–38, 1948.

[3] M. F. Hocaoğlu, "Conceptual Model and Perdurantist Modeling with Reasoning," *Simul. Notes Eur.*, vol. 24, no. 2, pp. 95–104, 2014.

[4] M. F. Hocaoglu, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework," *Hunstv. Simul. Conf. - HSC2005*, 2005.

[5] M. F. Hocaoğlu, "AdSiF : Agent driven Simulation Framework," in *USMOS 2011- National Defense Application and Modeling & Simulation Conference -(in Turkish)*, 2011.

[6] M. F. Hocaoğlu, "Aspect Oriented Programming Perspective in Agent Programming," in *USMOS 2013- National Defense Application and Modeling & Simulation Conference -(in Turkish)*, 2013.

[7] M. F. Hocaoglu, İ. Genç, and A. A. Ergİn, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework and Model Based Validation and Verification," in *2. Yazılım Kalitesi ve Yazılım Geliştirme Araçları Sempozyumu 2010*, 2010.

[8] P. N. S. Russel, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 1995.

[9] Mehmet F. HOCAOGLU, "Agent based Simulation: Lecturer Notes," AUZEF, Istanbul University, Istanbul, 2014.

[10] M. F. Hocaoğlu, "Conceptual Model and Perdurantist Modeling with Reasoning," *ASIM 2014, ASIM Symp. Simul. Tech. (ASIM SST)*, 2014.

[11] X. Su and L. Ilebrekke, "A comparative study of ontology languages and tools," *Adv. Inf. Syst. Eng. 14th Int. Conf. CAiSE 2002*, pp. 761–765, 2002.

ETMEN TABANLI DAĞITIK ETKİLEŞİMLİ SİMÜLASYON

M. Fatih Hocaoğlu [a, b]

[a] İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
mfatih.hocaoglu@medeniyet.edu.tr
[b] Agena Bilişim ve Savunma Teknolojileri, 34912 İstanbul Teknopark /İstanbul,
hocaoglu@agenabst.com

ÖZ

Bu çalışmada, paralel simülasyonda işletim zamanlı senkronizasyon algoritması seçimini zeki olarak yürüten bir dağıtık simülasyon model kütüphanesi geliştirilmiştir. Etmen olarak tasarlanan simülasyon modeli (DS-a) ve senkronizasyon algoritmaları ile, bir ağ üzerinde herhangi bir merkezi koordinasyon bağımlılığı olmadan, işletim sağlanmıştır.

DS-a yönetimini üstlendiği simülasyon modellerinin simülasyon servislerini yürütürken, koşum performansını en iyileyecek senkronizasyon algoritmalarını kural tabanlı olarak seçmektedir. Simülasyon yönetiminin modeller aracılığı sağlanması önemli bir esneklik sağlamıştır. Etmen Tabanlı Simülasyon Sistemi (EtSiS) tarafından desteklenen çoklu programlama paradigmaları ile sağlanan güçlü programlama arkaplanı ve dağıtık simülasyonda dinamik olarak simülasyon senkronizasyonunun bir otonom etmen ile gerçekleştirilmesi, çalışmanın merkezi yenilikleri olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Durum tabanlı Programlama, EtSiS, Etmen, Paralel Simülasyon, Zeki algoritma seçimi

AGENT BASED DISTRIBUTED INTERACTIVE SIMULATION

Abstract

In this study, a simulation model library that choices synchronization algorithms for parallel simulation in execution time is developed. Using the model that is developed as an agent named DS-a and a series of synchronization algorithms, simulation executions are achieved on a network without any centralized coordination.

While DS-a provides simulation services to simulation models it is in charge of, it also choices simulation synchronization algorithms to maximize execution performance as rule based. Managing simulation execution by simulation models provides a distinguished flexibility. The powerful programming background that are provided by multi programming paradigms supported by Agent driven simulation framework – AdSiF and parallel simulation execution synchronization by an autonomous agent are the central concepts of the study.

Keywords: AdSiF, Agent, Intelligent selection, Parallel simulation, State oriented programming

1. GİRİŞ

Etmen tabanlı paralel simülasyon işletimi ve zeki algoritma seçiminin temel motivasyonu Etmen tabanlı Simülasyon Sistemi EtSiS'in [1]–[3] herhangi bir merkezi koordinasyona ihtiyaç duymadan (non-federated) ayrık olarak işletilen (stand-alone) simülasyon modellerinin paralel olarak işletilebilmeleri ve işletimde zaman senkronizasyonun etmen tabanlı olarak gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır [4]–[6].

Etmen tabanlı olmaktan beklenen amaç; zaman senkronizasyonu ve olay yönetimi için kullanılacak algoritmaların EtSiS davranış tanımlamaları ile yönetilmesi ve kural tabanlı olarak, farklı algoritmalar arasından seçim yapılabilmesini sağlamaktır. Literatürde ele alınan senkronizasyon algoritmaları farklı performans kriterlerini en iyilemektedirler [7]. Algoritma seçiminden amaç simülasyonun işletim performansını dikkate alarak performansını eniyileyecek algoritmanın işletim zamanlı olarak seçilmesinin sağlanmasıdır. Paralel simülasyonda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri kilitlenme (deadlock) tespiti ve çözümlenmesidir. İşletim performansında ve algoritma seçimlerinde kilitlenmenin enazlanması önemli bir seçim kriteri olarak ele alınmıştır.

Simülasyonun paralel ve kooridnatörsüz olarak işletimini yürütmesi için bir paralel işletim etmeni geliştirilmiştir. Geliştirilen model ile merkezi koordinatörlü federatif simülasyon işletimlerinden farklı olarak, bir network üzerinde herhangi bir merkezi koordinasyon bağımlılığı olmadan işletim sağlanmaktadır. Modelin kazandırdığı önemli katkılardan biri, simülasyon yönetiminin model katmanından yürütülebilme esnekliğidir.

EtSiS'in temel tasarım özelliği olan Etmen tabanlılık ve çoklu programlama desteğinin verdiği avantajlar dağıtık simülasyonda zaman yönetiminin dinamik olarak, bir otonom etmen kararı ile yapılabiliyor olması çalışmanın merkezi bir yeniliği olarak görülmektedir. Geliştirilen sistem simülasyon işletimi EtSiS'in sağlamış olduğu çekirdek yorumlayıcı ile sağlanmakta ve simülasyon modelleme yaklaşımında bir standart yapı sağlamaktadır. Sağlanan betik dil avantajları ile yeni modelleme yaklaşımlarının modellenmesine imkan sağlanmaktadır. Savunma alanında geliştirilen simülasyon çalışmalarının, ağırlıklı olarak HLA tabanlı olarak geliştirildiğini görmekteyiz. Son yıllarda DIS (Distributed Interactive Simulation)'e dönük bazı geri dönüşler dikkat çekmektedir [8], [9].

Takibeden bölümlerde, simülasyonda etmen güdümü, Paralel simülasyonda senkronizasyon algoritmaları ve bir etmen modeli ile yönetimi ve uygulama detayları yeralacaktır.

2. Simülasyonda Etmen Güdümü

Simülasyon işletiminde etmen güdümü simülasyon modellerinin dağıtık koşumu için koordinasyonlarının üstlenilmesi, kural tabanlı olarak paralel işletim senkronizasyon algoritması seçimi için gerekli performans kriterlerinin takibinin yapılması ve davranış yapısı olarak modellenmiş senkronizasyon algoritmalarının tanımlı şartlarda aktive edilmesi olarak belirlenmiştir. Algoritma seçimi simülasyon işletimi esnasında senkronizasyon algoritmalarının, karşılaşılan soruna uygun olarak, performansı en iyileştirecek şekilde değiştirilmesi sağlanır. Algoritma seçimi kural tabanlı bir muhakeme mekanizması ile yürütülür. Muhakeme altyapısı EtSiS'in muhakeme motoru kullanılarak gerçekleştirilir. Simülasyon işletiminde işletilen mesaj sayısı, en düşük frekansa sahip simülasyon bileşenlerinin sayısı ve frekans değeri ve modeller arası mesajlaşma ağının karmaşıklığı, kuralların tanımlanmasında önemli parametreler olarak kullanılmıştır. Kural örnekleri Şekil 1'de görülmektedir.

```
algorithm(MessageNumber, EntityNumber,'nullMessageAlg'):- MessageNumber < EntityNumber.
algorithm(lowerBound, constant,'rollBackAlg'):-lowerBound < constant.
```

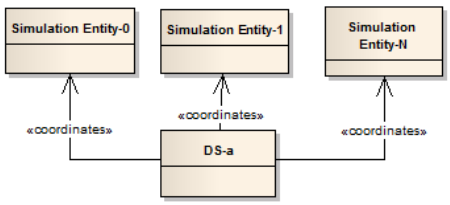
Şekil 1: Algoritma Seçim Kural Setleri

Örnekte işletim esnasında mesaj sayısının varlık sayısını geçmesi durumunda nullMessageAlg algoritmasının seçimi, minimum zaman adımı tanımlı sabit adımın altına indiğinde ise rollBackAlg algoritması seçimi öngörülmüştür. İşletim esnasında seçilen algoritma DS-a modeline ait ilgili davranış listelerini aktive eder. Algoritmalar arasında geçiş esnasında uygulanması gereken ön işlemler, aktive edilen davranış listesinin bir başlangıç adımı olarak yürütülür [1], [10].

3. Paralel İşletim Modeli

Paralel simülasyon işletim modeli (DS-a: Distributed Simulation- agent) ilişkilendirildiği modellerin simülasyon koordinasyonunu üstlenir. Koordinasyon zaman yönetimleri ve olay etkileşimlerinin yönetilmesini içerir. DS-a modeli davranış içeriği, simülasyon zaman yönetiminin, olay etkileşimlerinin ve algoritma seçimlerinin yapılmasına yöneliktir. Modelin davranışları standart olarak EtSiS yorumlayıcısı tarafından yorumlanır ve bu yorumlanan davranışlar seçilmiş olan paralel işletim senkronizasyon algoritmasına uygun olarak simülasyonun koordinasyonunu yürütür. Bu anlamda, EtSiS çekirdek yorumlayıcısının işlettiği davranış yapısı simülasyon işletim semantiğinden bağımsızdır ve işletim bir üst katmanda simülasyon işletim semantiğini yürütür ve en üst katmanda ise uygulama modellerinin semantik yapıları işletilir. Şekil 2'de DS-a modelinin simülasyon modelleri ile ilişkilendirilmesi görülmektedir. Aralarında "coordinates" ilişkisi kurulan modellerin yönetimi DS-a modeli tarafından üstlenilir. Kurulan ilişki ile EtSiS'in ontoloji tanımından gelen [11], ilişki kuralları işletim semantiği yürütülür ve modellerin görev devri otomatik olarak yürütülür. Görev devri bir tür model cephesinin (aspect) aktivasyonu olarak değerlendirilebilir. Zira, modeller ilişki kurulduğunda üstlendiği görevi davranış listelerini değiştirerek üstlenmektedir [1], [12].

Paralel simülasyon işletiminde temel yaklaşım zaman ilerlemesinin her modelin; 1) Olay kuyruğunda yeralan olay zamanlarını dikkate alarak gerçekleştirmesi, ve 2) İç/dış-durum (internal and external state transition) geçişlerine göre ilerleme zamanlarını belirlemesi, temel kuralları esas alınarak belirlenir.



Şekil 2: DS-a Model İlişkilendirme

Olaylar modellerin diğer modellerin bir davranışını tetiklemek (bir iş yapmasını istemek; etmen programlamada temel eylem kategorileri (speech action types) [13]) ve bilgi aktarmak (parametreler) amacıyla bir eylem gerçekleştirildiğinde oluşturulan ve eylemleri oluşturan durum tanımlamalarının sonlanması ile gönderilen, etkileşim nesneleridir. Çözümün dayandığı olay iletimi iki yöntemle sağlanır; Çekme tabanlı olay dağıtımı (Pull) ve İtme tabanlı olay dağıtımı (push) olarak belirlenmiştir.

Çekme tabanlı Olay Dağıtımı

Algoritma şu şekilde tasarlanmıştır; olay gönderen model ileteceği olayları bir listede tutar, istemci model eğer listesinde gönderici modele ait herhangi bir olaya sahip değilse istekte bulunur ve listede kendisine gönderilecek olayları çeker. Listeden çektiği

olayları zaman etiketli olarak, işletim sırasına koyar. Bu durum istemci modeli sonraki simülasyon adımlarında, aldığı olaylardan daha önce bir olay almayacağını garanti eder.

İtme tabanlı Olay Dağıtımı

Olay gönderici modelin, olayları doğrudan adres modellere iletmesi ile gerçekleşir. İstemci modelin bir olay isteğinde bulunması sözkonusu değildir. Burada kısaca ele alınan olay etkileşim yöntemleri farklı senkronizasyon algoritmalarında kullanılmaktadır.

Paralel işletimde aşağıdaki temel noktalar üzerinde durulur; 1) Gerçekleştirilen koşumların seri işletim sonuçları ile aynı olması, 2) Kilitlenmenin (deadlock) çözümlemesi ve 3) Şebeke gecikmelerinin yönetimi. Çözüm yaklaşımı Muhafazakâr (Conservative) ve İyimser (optimistic) çözüm yaklaşımları etrafında oluşturulmuştur.

Muhafazakar yaklaşımlar simülasyonun güvenli zamana kadar işletilmesi esasına dayanır ve güvenli zaman simülasyon ortamının paylaşıldığı diğer modellerden geçmişe dönük bir olay alınmayacağının garanti edildiği işletimlerdir.

İyimser yaklaşımlar, yüksek işletim hızı getirirken, beraberinde zaman zaman geri dönüşleri gerektiren durumlarla da karşılaşılır. Muhafazakar yaklaşımlar, performans olarak daha az etkin olsalar da, herhangi bir nedensellik (causality) problemi oluşturmazlar. İleri bakış (Lookahead) zamanın büyük olduğu sistemlerde muhafazakar yaklaşımlar iyi sonuç verirken, ileri bakış zamanın küçük kaldığı sistemlerde, genel olarak kötü ve hatta zaman zaman seri işletilen bir simülasyondan daha kötü performans sonuçları üretir. Özellikle, öncelikleri yüksek bileşenler olan simülasyon uygulamalarında ve sıfıra yakın, küçük frekanslı çözümler gerektiren bileşenleri olan simülasyon uygulamalarında [14], paralel işletime katılan makineye orantılı performans oldukça kötü etkilenir. Muhafazakar yaklaşımların tüm simülasyon modellerini herhangi bir nedensellik kısıt (causality constraint) problemi oluşturmamak için sıklıkla modelleri bloke ettiği için paralellikten ciddi ödünler verilir. Boş mesaj iletimi (Null message passing) yaklaşımında sıklıkla çok yoğun mesajlaşmanın getirdiği performans kayıpları ile karşılaşırız.

İyimser yaklaşım ise muhafazakâr yaklaşımın aksine herhangi bir güvenli zaman sınırlaması olmaksızın ilerlenilen ve geçmişe dönük bir olay alındığında ilgili zamana geri dönülen bir işletim olarak ele alınır. İyimser yaklaşımlar tam bir paralellik sağlarlar. Fakat nedensellik kısıtının sağlanmadığı durumlarda geri dönüş (rollback) ciddi bir performans kaybına sebep olur. Ayrıca, geri dönüş noktalarının kayıt altına alınması, hem performans kaybına sebep olur hem de ciddi bir programlama yükü getirir. EtSiS geridönüş noktaları için bir varsayılan çözüm sunar. Modele ait öznitelikler ve durum vektörü (davranış yapıları) istenilen zaman anı için kaydedilir ve istenildiğinde geri yükleme otomatik olarak sağlanır.

EtSiS'de simülasyon zamanı işletimi kesikli olay işletim esaslı olarak ele alınmaktadır. Yaklaşım sürekli olay işletimlerini kesikli bir uzaya resmederek yürütür ve bu koşum hızını artırırken bir çözünürlük kaybının önüne geçer. Sürekli zaman ve kesikli olay simülasyonlarının her ikisinde de ilerlenilecek zaman noktassı varlık zaman isteklerine göre belirlendiği için, koşum frekansı dinamik olarak belirlenir. Sürekli olay simülasyon uygulamalarında, zaman adımının modelin kendi dinamiğine, modellemeyi gerçekleyen denklem takımlarının çözüm adımı genişliğine göre belirlenmesi ve her modelin farklı bir zaman ilerleme adımı belirlemesi esasına dayalı olarak sürekli olay simülasyon işletimi sağlanır. Dinamik frekans burada iki noktada sağlanır. Bunlardan birincisi, simülasyona katılan modellerin birbirlerinden farklı zaman adımları yürütmesi ile oluşan dinamik frekans, diğeri ise, modelin simülasyon işletimi süresince gerçekleştireceği zaman adımlarının koşum boyunca dinamik değişiminin sağlanmasıdır. Burada ana nokta EtSiS'in koordinator merkezli mevcut çözümünde varolan dinamik frekanslı sürekli olay simülasyonu çözümünün, merkezi bir federatif yapı olmaksızın gerçekleştirme ve her simülasyon modelinin bir biri ile senkron fakat bağımsız koşumunun sağlanmasıdır.

3.1. Muhafazakâr Algoritmalar (Conservative Algorithms)

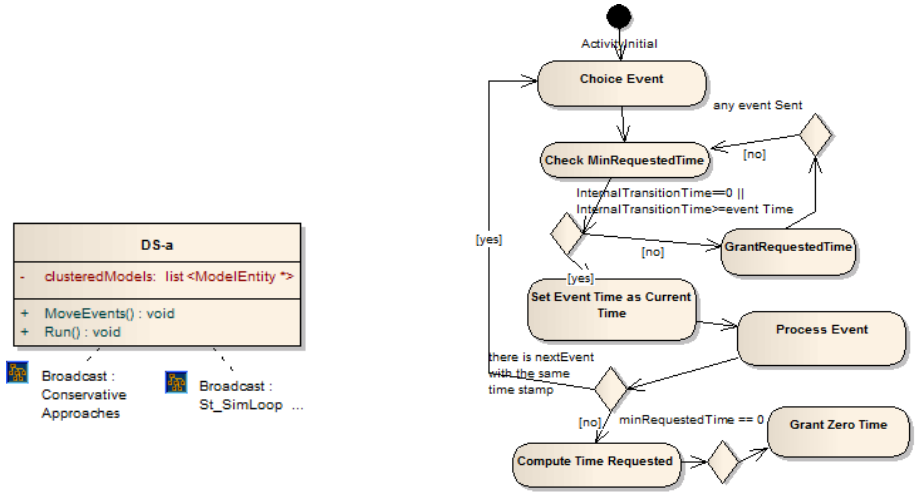
Muhafazakar çözüm algoritmaları alt bölümlerde ele alınmış olup, bunlar bir yönetici model tarafından yönetilmeyen ve yönetilen yaklaşımlar olarak iki ana kısımda düşünülebilir. Boş mesaj iletimi, senkron koşumlar ve sinyal protokolü muhafazakar algoritmalar kapsamında ele alınmışlardır [7].

3.1.1. Boş Mesaj İletimi

Boş mesaj iletimi (Null message passing) algoritması üç farklı yaklaşımla ele alınmıştır. Bunlardan birincisi mesajlaşma trafiği daha yoğun olan tüm modellere null mesaj gönderimi (Broadcast), ikincisi kuyruğunda olay eksiği olan modelin ilgili modelden boş mesaj isteği yapması (Demand based) ve üçüncü yaklaşım modeller arasında ilişkilendirmeye dayalı işletim (Causality) olarak ele alınmıştır. Muhafazakar simülasyon işletimi temel algoritması ve boş mesaj kilitlenme çözümünün oturtulduğu esaslar burada ele alınmıştır. Çözümün varsayımları ve ilerleme mantığı aşağıda sunulmuştur. Çözüme ait varsayımlar şu şekilde özetlenir; 1) Simülasyon modelleri olayları zaman etikeli olarak küçük zamandan büyük zamanlı olana doğru işletirler, 2) Simülasyon modelleri ve aralarındaki ilişkiler statiktir, 3) Her olay zaman etiketli olarak gönderilir (bu kısıt EtSiS ilişki yönetmi ile esnetilebilir fakat çalışmanın dışında tutulmuştur) ve 4) Şebeke gecikmesi yoktur, 5) En düşük zamanlı olay simülasyonun ilerleyeceği en düşük zamanı gösterir ve daha küçük zamanlı bir olayın gelmeyeceği varsayılır (lower bound on the time stamp (LBTS)).

3.1.1.1. Algoritma

Simülasyon modelleri zaman ilerlemelerini iki şekilde belirlerler; 1) İçsel geçiş (internal transition) ve 2) Olay zamanı. İçsel zaman geçişi durum geçişi ile durumlara tanımlanmış zaman parametresi ile belirlenir. İşletim adımları Şekil 3'de görülmektedir. Algoritma bir davranış formunda geliştirilmiş olup EtSiS yorumlayıcısı tarafından DS-a modeli davranışı olarak yorumlanarak işletilir. Şeklin ilk bölümünde DS-a modelinin koşum sırasında değişim yaptığı senkronizasyon algoritmaları davranış listeleri görülmektedir.



Şekil 3 Muhafazakâr Paralel Simülasyon İşletim Algoritması

Durum tanımlamaları ve yürütülen eylemler;

"Choice Event": Olay listesinden en küçük zaman etiketine sahip olan olay seçilir.

"Process Event": Seçilen olayın tetiklediği davranışlar çizelgelenir (EtSiS yorumlayıcı),

"Compute Time Request": Davranış işletimleri yürütülür ve zaman istekleri belirlenir. Zaman isteği olarak minimum zaman isteği aktif davranışlar üzerinden belirlenerek iletilir (EtSiS)

"Grant Time": Simülasyon modeline içsel geçiş zamanı verilir.

Karar Düğümleri:

EventList: *No event in the Queue*: Kuyrukta herhangi bir modele ait (kendisi dışında) olayın kuyrukta bulunmaması durumunda deadlock oluşur ve bu durumda iç geçiş zamanı da dâhil herhangi bir zaman ilerlemesi verilmez.

There is more event in the Queue: Zaman ilerlemesi gerçekleştirilmek üzere sonraki karar adımına ilerlenilir.

Time: *Time Request* < *Next Event Time*: İçsel geçiş zamanının kuyrukta bekleyen en küçük zaman etiketli olay zamanından daha küçük olması durumunda içsel geçiş zamanı kadar ilerleme sağlanır.

Time Request >= *Next Event Time*: Kuyruktaki olay işletilir ve olay zamanı ilerleme zamanı olarak verilir.

3.1.2. Kilit Çözümü

Boş mesajın tüm modellere yayınlandığı yayınlama (broadcast) yaklaşımı, kilide giren simülasyon modelinin ilgili modelden olay isteğinde bulunmasını gösteren istek tabanlı (demand based) çözüm ve aralarında olay etkileşimi tanımlanmış modeller arasında boş mesaj geçişinin kontrol edildiği bağımlılık tanımlı (causality definition) yaklaşımı ele alınmıştır.

Broadcast Yaklaşım; Yaklaşım model her içsel durum geçişinde (internal state transition) bir boş mesaj (null message) yayınlar. Bu mesaj tüm modeller tarafından alınır. Null mesaj gönderen modelin bir sonraki en yakın muhtemel olay gönderim zamanını içerecektir. Bu şekilde mesajı alan modellerin, gönderen modelden doğacak bir deadlock yaşamamaları garanti altına alınmış olur.

Demand based Yaklaşım; Yaklaşımın esasını kilit oluşumunun çözülmesi oluşturur. Eğer herhangi bir model olay kuyruğunda senaryoda bulunan bir modele ait olay bulunmaz ise deadlock oluşur. Deadlock recovery için model olay kuyruğunda kendisine ait olay bulunmayan modele, en yakın zaman isteğine ilişkin sorgu yürütür. Sorgu sonucu bir *null message* olarak döner. Yeni durumda olay kuyruğunda eksik olay olmayacağı için deadlock çözülür ve simülasyon ilerler.

Causality Definition Yaklaşımı; Bu yaklaşımda modeller arasında mesaj ilişkisi belirlenir ve aralarında herhangi bir mesaj iletimi olmayan modellerin güvenli zaman ilerlemesi için sonraki olay etkileşimi sonsuz zaman olarak belirlenir.

3.2. Merkezi Koordinasyon Tabanlı Çözümler

EtSiS simülasyon işletiminin modeller tarafından yönetimine imkan tanır. Bu amaçla farklı senkronizasyon algoritmalarının ve olay yönetim stratejilerinin kontrolünü yöneten bir model ile dağıtık simülasyon işletimi gerçekleştirilir.

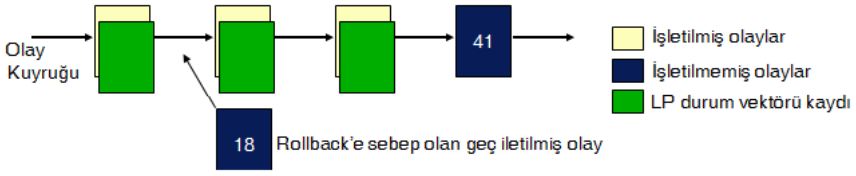
Merkezi koordinasyon tabanlı çözüm iki amaç için kullanılır; 1) Kilitlenme tespiti ve çözümü ve 2) Modellerin eşzamanlı işletiminin sağlanması (gerçek zamanlı uygulamalar için). Burada ele alınan model simülasyona yönetici rolü ile katılan ve yapısal olarak standart bir model olan "*Simülasyon Yönetim Modelidir*".

Signal Protocol; Signal protokol çözümü merkezi bir yönetim modeli tarafından işletilen bir algoritmadır. Yaklaşım global kilitlenme tespitinin gerçeklenmesi ve çözümünü hedefler. Merkezi Yönetim modeli kökünde kendisinin yeraldığı dallarında

ve yapraklarında simülasyon modellerinin bulunduğu bir ağaç yapısı oluşturur. Kilitlenme oluşumu aşağıdaki algoritma ile tespit edilir. Boş mesaj ağaç boyunca yayınlanır ve kilitlenme çözülür.

İyimser Yaklaşım: Geri Sarım Mekanizması (Rollback Mechanism); Rollback mekanizması tabanlı çözüm iyimser çözüm yaklaşımı olarak ele alınmıştır. EtSiS'in sağladığı enstantane kayıt mekanizması çözüm için önemli bir altyapı sağlamaktadır. İşletim şu şekilde sağlanmaktadır. Simülasyon modelleri diğer modellerden herhangi bir sonraki ilerleme zamanı sorgulamadan işletimlerine, ilerleme zamanlarının güvenli olduğu varsayımıyla, ilerlemektedirler. Geçmiş zamana dönük bir olay aldıkları durumda olay zamanına geri dönerler. Klasik bir durum olarak senaryo işletiminde simülasyon modelleri birbirlerinden farklı zamanlarda olacaklardır. Geri sarım algoritması işletimi Şekil 4'de şematik olarak gösterilmiştir. Simülasyon modeli olay etkileşimlerinde modelin yürütmekte olduğu davranışları, öznitelikleri ve kullanıcı tanımlı veriyapılarını bir durum vektörü listesi içerine zaman etiketli ve olay ilişkili olarak kaydeder. Kayıt işlemi

Şekil 5 (a)'da görülen davranış yapısı ile yönetilir. Olay ile tetiklenen davranışlar *BehaviorRollback* isimli davranışı *aktivasyon* fazında tetikleyen *BehaviorBase* isimli davranıştan türetilirler.

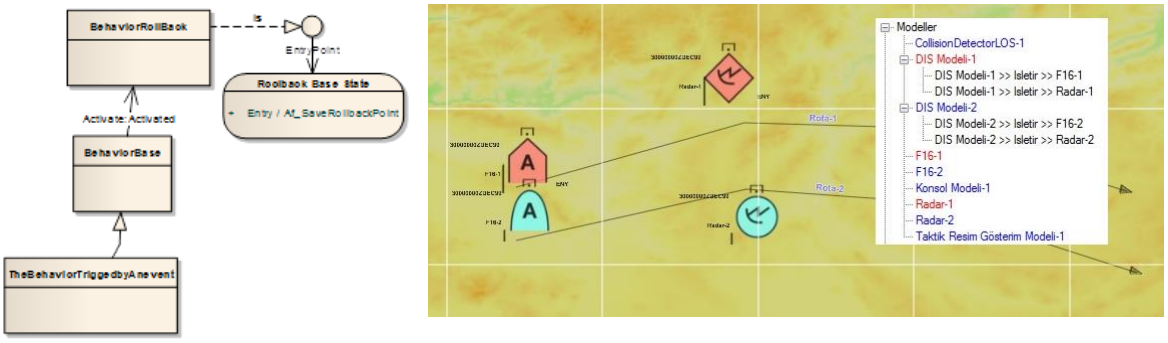


Şekil 4 Geri Sarım İşletimi

Türetilmenin bir sonucu olarak kök davranışa ait olan temporal ilişkili davranış ilişkisi yürütülür. Yürütülen davranış olay ilişkili ve zaman etiketli olarak durum vektörü kaydını oluşturarak listeye ekler. Şebekede geciken veya daha geri zamanda yeralan bir modelden olay gelmesi durumunda (18 zaman etiketli olay) simülasyon modeli durum vektörü listesinden en yakın zamanlı durumu geri yükler. Geri yükleme işleminde en yakın zamanlı durum vektörü simülasyon modeli durumu olarak yüklenir. Durum vektörü listesinden sonraki değerler çıkarılır. Alınan gecikmeli olay ile durum vektörü olay zaman etiketinin aynı olması durumunda bir önceki zaman durum vektörü yüklenir ve gecikmeli olay işletilecek zaman listesine alınır. Algoritma şebeke gecikmelerinden doğan geç mesaj iletimlerini de mevcut akış içerisinde çözer.

4. Senaryo Hazırlama

Senaryo hazırlama aşamasında dağıtık koşumu yapılacak olan modeller senaryoya dahil edilen DS-a modelleri ile ilişkilendirilir ve her bir DS-a modeli şebeke üzerindeki bir makineye atanır. İşletim başlatıldığında DS-a modelleri dağıtıldıkları makineler üzerinde işletime başlatılır ve her bir DS-a modeli kendisine ilişkilendirilmiş olan simülasyon modellerinin yönetimini üstlenir. Görev üstlenme DS-a ile modeller arasında kurulan ilişkinin davranış cephe aktivasyonu olarak gerçekleştirilir. DS-a modeli ilişkili modellerin zaman ve olay yönetimlerini üstlenen davranış listelerini aktive ederken, ilişkilendirilen modeller ise bu işlevlerin yürütülmesine ilişki sorgu ve isteklere cevap verecek davranış listelerini aktive ederler.



(a) (b)

Şekil 5 Geri Sarım Davranış Diyagramı ve Senaryo Tasarımı

5. Örnek Uygulama

Kavramın uygulanışının basit bir gösterimi için savunma alanından bir örnek seçilmiştir. Örneğimizde iki radar ve iki uçak modeli mevcuttur ve radarlar karşı kuvvete ait uçakları tespit etmektedirler.

Şekil 5 (b)'de ilgili senaryo yerleşimi görülmektedir. Bir radar ve bir uçak DIS Modeli olarak isimlendirilen ve dağıtık koşum işletimini gerçekleştiren model ile ilişkilendirilmiş ve aynı işlem karşı kuvvete ait varlıklar için de yürütülmüştür. Koşum esnasında her bir DIS modeli "İşletir" ilişkisi ile ilişkilendirildiği modelin zaman ve olay yönetimleri ile senkronizasyon işlemlerini üstlenir.

6. Sonuç

Geliştirilen çözüm ile modelleme katmanından simülasyon işletim algoritmalarına müdahale edilerek işletimin farklı senkronizasyon algoritmaları ile yönetilebileceği bir tasarım oluşturulmuştur. Çözümün sağlanmasında bir simülasyon ve etmen programlama ortamı olan EtSiS tarafından sağlanan dil ve çoklu programlama paradigmasının önemli bir desteği olmuştur.

Geliştirilen kural tabanı ve algoritma seçimleri model davranış betiklerinin yorumlanarak işletilebilir olması sebebiyle işletim zamanlı değişimleri mümkün kılınmıştır. Çözüm modeli ile bir dağıtık simülasyon yöneticisi geliştirmenin ötesinde, yeni koşum senkronizasyon algoritmalarının denenmesini sağlayacak bir programlama ortamı kazandırılmıştır ve simülasyon yönetimi uygulama katmanı ile ilişkilendirilmiştir. EtSiS çekirdek yorumlayıcısı yalnızca bir dil yorumlayıcısı olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonraki aşamasında farklı algoritma seçimleri için performans metrikleri oluşturulacaktır.

7. KAYNAKÇA

[1] Mehmet F. HOCAOGLU, "Agent based Simulation: Lecturer Notes," AUZEF, Istanbul University, Istanbul, 2014.

[2] M. F. Hocaoglu, "AdSiF : Agent Driven Simulation Framework," *Hunstv. Simul. Conf. - HSC2005*, 2005.

[3] M. F. Hocaoğlu, "AdSiF : Agent driven Simulation Framework," in *USMOS 2011- National Defense Application and Modeling & Simulation Conference -(in Turkish)*, 2011.

[4] M. F. Hocaoğlu, "Dağıtık Etkileşimli Simülasyonda (DIS) Etmen Tabanlı Zaman Senkronizasyon Yönetimi - Sistem Gereksinim Özellikleri Dokümanı." Tübitak Teydeb-AgenaBST Prj Kod: 7120778, İstanbul, 2012.

[5] M. F. Hocaoğlu, "Dağıtık Etkileşimli Simülasyonda (DIS) Etmen Tabanlı Zaman Senkronizasyon Yönetimi - Yazılım Gereksinim Özellikleri Dokümanı." Tübitak Teydeb-AgenaBST Prj Kod: 7120778, İstanbul.

[6] M. F. Hocaoğlu, "Dağıtık Etkileşimli Simülasyonda (DIS) Etmen Tabanlı Zaman Senkronizasyon Yönetimi - Çözüm Raporu." Tübitak Teydeb-AgenaBST Prj Kod: 7120778, İstanbul, 2012.

[7] R. M. Fujimoto, *Parallel and Distributed Simulation Systems*. Wiley Series in Parallel & Distributed Computing, 2000.

[8] T. L. Clarke, *Distributed Interactive Simulation Systems for Simulation and Training in the Aerospace Environment*. The ACM Guide to Computing Literature, 1995.

[9] A. Tolk, *Engineering Principles of Combat Modeling and Distributed Simulation*. Wiley, 2012.

[10] M. F. Hocaoğlu, "AdSiF: Developer Guide." Agena Information & Defense System Ltd. www.agenabst.com, Istanbul, 2013.

[11] M. F. Hocaoğlu, "Conceptual Model and Perdurantist Modeling with Reasoning," *Simul. Notes Eur.*, vol. 24, no. 2, pp. 95–104, 2014.

[12] M. F. Hocaoğlu, "Aspect Oriented Programming Perspective in Agent Programming," in *USMOS 2013- National Defense Application and Modeling & Simulation Conference -(in Turkish)*, 2013.

[13] Wooldridge, M., *An introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, 2002.

[14] D. J. Murray-Smith, *Continuous System Simulation*. Chapman & Hall, 1995.

PATLAMA SİMÜLASYONLARINDA GÖLGELEME ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Said Bedir[(a)], Atıl Erdik [(b)], Namık Kılıç [(c)]

[(a) (b) (c)] OTOKAR Otomotiv ve Savunma Sanayi A.Ş. Bilgisayar Destekli Mühendislik Müdürlüğü, 54580, Sakarya, sbedir@t.otokar.com.tr

ÖZ

Kara mayını gibi asimetrik tehditler zırhlı araçlara ciddi hasarlar verebilmektedir. Zırhlı araçlarda sayısal benzetim yöntemleri mayın patlamasının araç üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve aracın mayın dayanımının geliştirilmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Mayın patlaması esnasında oluşan şok dalgalarının gövde üzerine direkt olarak etkilediği bölgelerde hasar daha yüksektir. Bu nedenle bu bölgelere ek tasarım önlemleri alınmaktadır. Bu gibi durumlarda yapının mukavemeti arttırılmakta ya da yapıya belli şekiller verilerek basıncın dağıtılması sağlanmaktadır. Gövdeye etkiyen basınç, araca takılıp-sökülebilen kalkanlar ile gölgelenebileceği gibi, şasi ve yürür aksam parçalarıyla da sağlanabilmektedir. Bu çalışmada LS-DYNA sonlu elemanlar kodu ile gerçekleştirilen üç boyutlu sayısal benzetimlerle, çeşitli geometrik formlardaki objelerin patlama basıncını gölgeleme davranışları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gölgeleme, LS-DYNA, Mayın patlaması, Mayın koruma sistemleri, Sayısal benzetim, Sonlu elemanlar yöntemi

INVESTIGATION OF SHADOWING EFFECTS IN MINE BLAST SIMULATIONS

ABSTRACT

Asymmetric threats such as land mines may severely damage armoured vehicles. Numerical simulation methods are used in investigating mine blast effects on armoured vehicles and in developing mine resistance capability of armoured vehicles. There occurs more damage on regions which are directly affected by shock waves arising from land mine explosion. Thus, in order to prevent damage in these regions, either extra reinforcements are carried out or shock waves are dissipated through geometrical shapes such as mine protection kits, chassis, or subsystems. In this study, three dimensional numerical simulations are performed using LS-DYNA finite element code to investigate shadowing effects of geometrical shapes in decreasing blast loading.

Keywords: Finite element method, LS-DYNA, Mine blast, Mine protection systems, Numerical simulation, Shadowing

1. GİRİŞ

Kara mayını gibi asimetrik tehditler zırhlı araçlara ciddi hasarlar verebilmektedir. Araç altında patlayan mayınlar aracın hareket kabiliyetinin yitirmesi yanında içerisindeki mürettebatın da yaralanmasına veya ölmesine neden olmaktadır. Askeri araçların mayına karşı olan başarısı, içerisindeki mürettebatın hayatta kalıp kalmaması ile değerlendirilir.

Mayın patlamalarının zırhlı araç içerisindeki mürettebata zarar vermemesi için araç gövdesinde birçok önlemin alınması gerekmektedir. Araç gövdesinin belirli bölgeleri direkt olarak patlama basıncına maruz kalmaması için çeşitli tasarımsal önlemler alınmaktadır. Genellikle bu önlemler, yapının mukavemetlendirilmesi veya basıncın gölgelenmesiyle gövdeye olan etkisini azaltılması mantığına dayanmaktadır. Gölgelemeyle basıncın düşürülmesi, sonradan araca takılabilen kalkan ve kitler ile sağlanabileceği gibi şasi ve yürür takımların parçaları ile de basıncının gövdeye olan etkisi azaltılabilmektedir.

Mayın patlaması esnasında şok dalgalarının araca ulaşması (0.2-0.5ms gibi) kısa süreler içerisinde gerçekleşmektedir. Patlama esnasında şiddetli parlama ve alev oluşur. Bu durum, gelişmiş hızlı görüntü yakalama sistemlerinin patlama esnasında oluşan şok dalgalarının araç gövdesi ve bileşenleri ile olan etkileşimini görüntülenmesine engel olmaktadır. Güvenilir bir sayısal benzetim yöntemi ile mayın patlaması esnasında oluşan basıncın araç gövdesi ve bileşenleri ile olan etkileşiminin anlaşılması kolayca sağlanabilmektedir.

LS-DYNA sonlu elemanlar kodu ile mayın patlaması sırasında, yüksek basıncın araç gövdesinde ve bileşenlerinde meydana getirdiği deformasyon ve ivmelenmelerin anlaşılması sağlanmaktadır [1].

Bu çalışmada LS-DYNA sonlu elemanlar kodu ile gerçekleştirilen sayısal benzetimlerle, çeşitli geometrik formlardaki objelerin patlama basıncını gölgeleme davranışları incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında patlama yöntemi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, araç altındaki şaftların, aksların, salıncak kollarının, kenarları zemine bakan şasi ve yürür takımların, kümbet (içbükey) bölgelerin geometrik formlarını temsil eden objelerin mayın patlaması esnasında basıncı gölgelemesi ve yönlendirme kabiliyetleri araştırılmıştır.

2. SAYISAL BENZETİM YÖNTEMİ

Hedef yapıya dinamik basıncın uygulanması Ls-Dyna yazılımında iki temel yaklaşımla yapılabilmektedir. Bunlar Conventional Weapons (CONWEP) ve Arbitrary Lagrangian Eulerian (ALE) yöntemleridir [2].

CONWEP metodunda, önceden tanımlı basıncın zamana bağlı fonksiyonunun yapının yüzeyine (düğümlerine) uygulanması esasına dayanmaktadır. Önceden tanımlı basıncın

zamana bağlı fonksiyonu ABD ordusunun yaptığı patlama deneylerinden elde edilen deneysel formüllere dayanmaktadır [3].

CONWEP modeli, kısaca, Friedlander denklemi (2.1) olarak bilinen basıncın zamana göre davranışı olarak ifade edilebilir [3].

$$p(t) = (p_{max} - p_{atm})[1 - \frac{t-t_a}{t_d}]e^{-\frac{a(t-t_a)}{t_d}} \quad (2.1)$$

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 denklem (2.2) 'de verildiği üzere itkinin, 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 [4].

LS-DYNA yazılımında *LOAD_BLAST kartı ile CONWEP patlama modeli aktive edilebilmektedir [5].

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 [6]. Ayrıca, bu yöntem ölçeklendirilmiş mesafenin (scaled distance) 0.147 m/kg$^{1/3}$ < Z < 40 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 [6].

ALE yaklaşımında patlayıcı için *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN, ortam akışkanı olan hava için ise *MAT_NULL malzeme modeli tanımlanmaktadır. Eulerian

elemanların birbirleriyle olan ilişkisi *ALE_MULTI-MATERIAL_GROUP fonksiyonu ile sağlanmaktadır. Patlamanın oluşturduğu basınç dalgası ortam akışkanı içerisinden geçerek yapıyla etkileşime girmektedir. Akışkan-yapı etkileşimi (FSI) LS-DYNA yazılımında *CONSTRAINED LAGRANGE IN SOLID fonksiyonu kullanılarak sağlanmaktadır. Bu etkileşimle akışkan enerjisi yapıya aktarılarak yapıda oluşan gerilme, uzama, ivme vs. gibi fiziksel değerler hesaplanabilmektedir [2,5].

Patlayıcının patlaması esnasında ortaya çıkan reaksiyon ürünleriyle ilgili basınç-hacim-enerji davranışını doğru bir şekilde ifade etmek için Jones-Wilkins-Lee hal denklemi kullanılmıştır [7]. LS-DYNA yazılımında Jones-Wilkins-Lee hal denklemi *EOS_JWL_TITLE fonksiyonu ile tanımlanır [5].

$$P = A\left[1-\frac{w}{R_1V}\right]e^{-R_1V} + B\left[1-\frac{w}{R_2V}\right]e^{-R_2V} + \frac{wE}{V} \tag{2.3}$$

Burada; *P*, basınç, *V*, o anki basınçtaki patlayıcı malzeme hacmi, *E*, özgül enerji *A,B,R1,R2* ve *w* ise değişkenlerdir.

TNT için Dobratz ve Crawford, 1985, aşağıdaki parametreleri vermişlerdir [7];

Tablo.1 TNT'ye ait JWL parametreleri

A (MBar)	B (MBar)	R1	R2	w
3,71213	0,0323	4,15	0,95	0,3

Basınç dalgalarının ortam akışkanı içerisinde hareketinin sağlanabilmesi için ortam akışkanı olan hava modellenmektedir. Bu çalışmada, havanın hal denklemi için doğrusal polinom hal denklemi tanımlanmıştır. Doğrusal polinom hal denklemi LS-DYNA yazılımında *EOS_POLYNOMIAL ile tanımlanmaktadır [5].

$$P = C_0 + C_1m + C_2m^2 + C_3m^3 + (C_4 + C_5m + C_6m^2)E \tag{2.4}$$

Burada; $m = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$'dir. $\frac{\rho}{\rho_0}$, o anki yoğunluğun ilk yoğunluğa oranı, C ,sabittir.

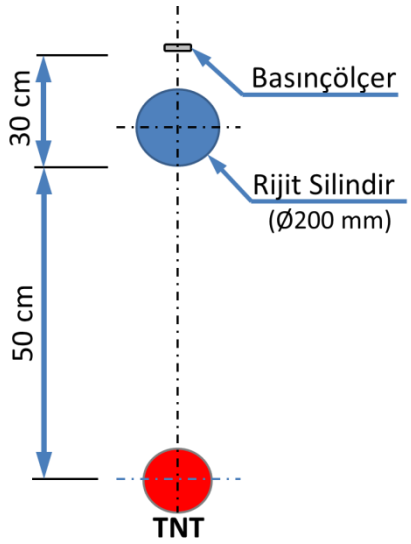
Gazlar için $C_0 = C_1 = C_2 = C_3 = C_6 = 0$, $C_4 = C_5 = \gamma - 1$'dir. Burada γ, özgül ısı oranıdır.

Tablo.2 Hava'ya ait doğrusal polinom parametreleri

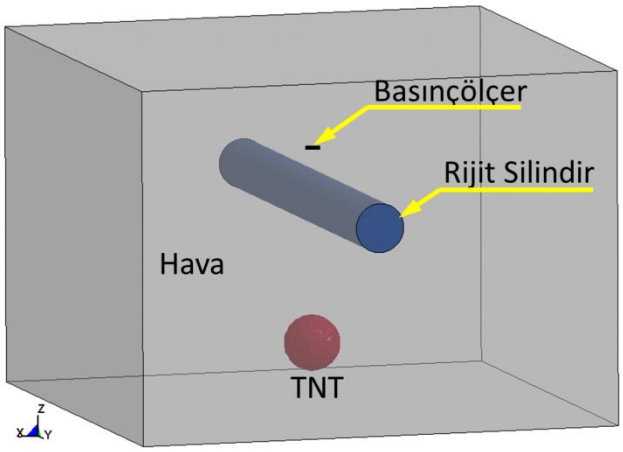
	$\rho_0(kg/m^3)$	γ	$C_{0\text{-}3,6}$	C_4	C_5
Hava	1,025	1,4	0	0,4	0,4

3. SAYISAL MODEL

Geometrik objelerin patlama basıncını gölgeleme ve yönlendirme etkilerini araştırmak için öncelikle CONWEP metodu ile ALE metodu karşılaştırılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere patlama noktasından 60 cm uzaklığa yerleştirilen rijit silindirin 10 cm uzağına basınçölçer yerleştirilmiştir. Patlayıcı, 10kg TNT eşdeğerinde ve küresel formda olup açık havada patlayacak şekilde tanımlanmıştır. Şekil 1'de tarif edilen patlama düzeneğinin ALE patlama analizi için hazırlanmış üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 2'de verilmiştir. CONWEP yönteminde *Load_Blast fonksiyonu kullanılarak küresel patlama tanımlanmıştır. Bu yöntemde ortam akışkanına ihtiyaç duyulmadığından hava ortamı modellenmemiştir.



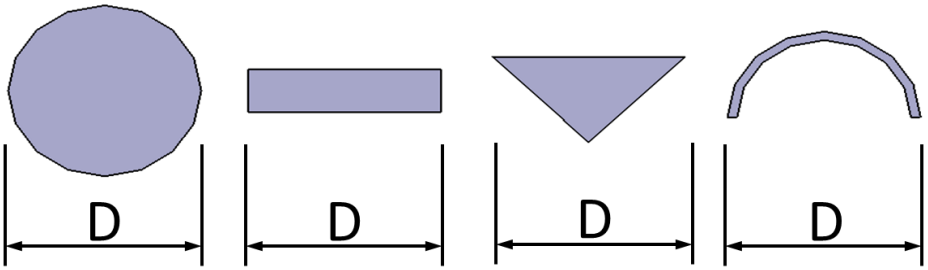
Şekil 1. CONWEP ve ALE patlama analizlerinde kullanılan düzenek



Şekil 2. ALE patlama analizi için hazırlanmış üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin izometrik görünüşü

ALE yöntemiyle modellenen üç boyutlu sayısal modelde yaklaşık 1,5 milyon hexagonal katı elemanı ve 1,8 milyon düğüm noktası bulunmaktadır. Hava ortamı hexagonal ALE elemanlarla modellenirken, patlayıcı LS-DYNA içerisinde bulunan "INITIAL VOLUME FRACTION GEOMETRY" fonksiyonu kullanılarak tanımlanmıştır. Rijit silindir katı elemanlarla modellenerek tüm serbestlik dereceleri tutulmuştur.

Patlama yöntemi belirlendikten sonra basıncı gölgeleme ve yönlendirme kabiliyetlerini araştırmak üzere araç altındaki şaftların, aksların, salıncak kollarının, kenarları zemine bakan şasi ve yürür takımların, kümbet (içbükey) bölgelerin geometrik formlarını temsil eden Şekil 3 'teki objeler patlama analizlerinde kullanılmıştır.

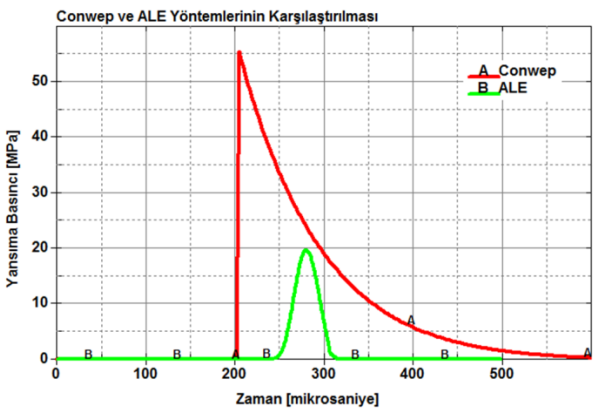


Şekil 3. Patlama analizlerinde kullanılan geometrik formlar

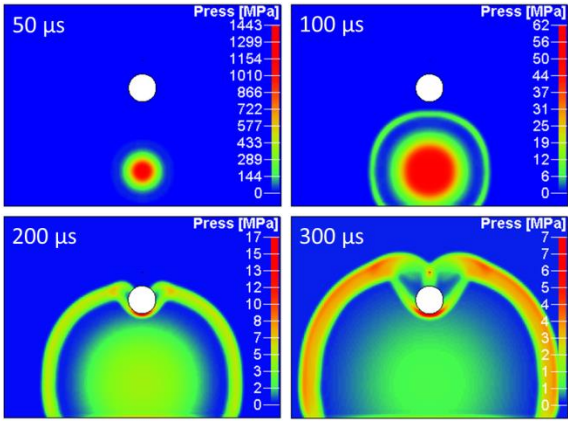
4. ANALİZ SONUÇLARI

4.1 Patlama Yönteminin Belirlenmesi

Bu çalışmada, ilk önce patlama yönteminin belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Şekil 1'de gösterilen düzenek hem CONWEP hem de ALE patlama yöntemi (Şekil 2) kullanılarak patlama analizleri yapılmıştır. Patlama esnasında Şekil 1'de gösterilen basınçölçerle yansıma basıncı (reflected pressure) ölçülmüştür. CONWEP yönteminde şok dalgalarının hareketi ve cisimlerin gölgeleme etkilerinin benzetilememesinden dolayı elde edilen basınç ALE yöntemi ile elde edilen basınçtan yaklaşık 3 kat daha yüksek çıkmıştır (Şekil 4). ALE patlama yönteminde ise basıncın ortam akışkanı içerisinde hareketi ve cisimlerle olan etkileşimi benzetilebildiği Şekil 5'da görülmektedir.



Şekil 4. CONWEP ve ALE yöntemleri ile elde edilen yansıma basınçları



Şekil 5. ALE patlama yönteminde silindirin basıncı gölgelemesi ve yönlendirmesi

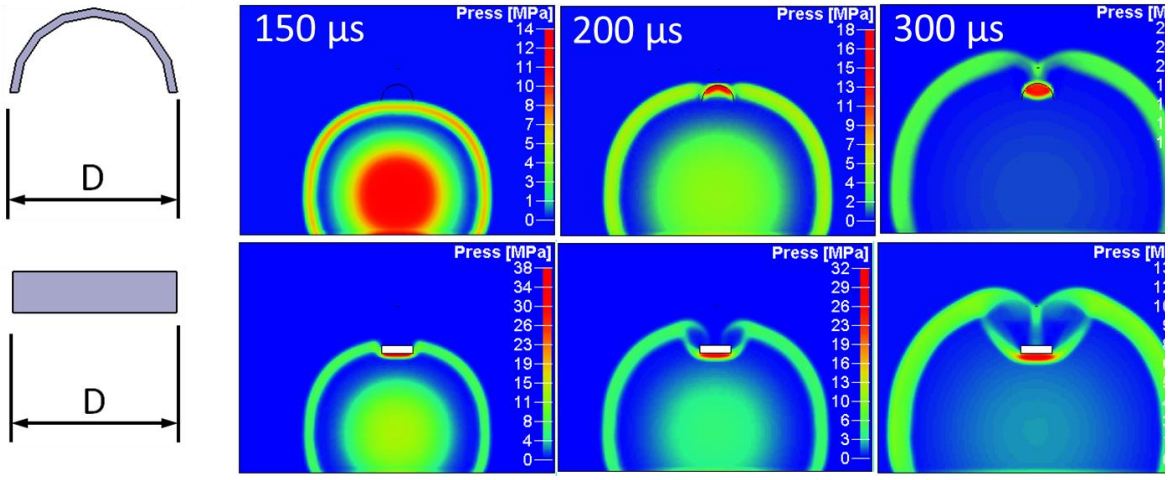
Silindirik objeye çarpan şok dalgası silindirin kenarından yönlenerek ilerlemiştir. Bundan dolayı, silindirin arkasında kalan bölgede basıncın düşük olduğu Şekil 5 ’ten anlaşılmaktadır.

Patlama esnasında cisimlerin basıncı gölgeleme ve yönlendirme etkileri ALE patlama yöntemiyle gerçekleştirilebileceği Şekil 4 ve Şekil 5’ten elde edilen bilgiler doğrultusunda anlaşılmıştır.

4.2 Geometrik Formlar Altında Patlama Analizleri

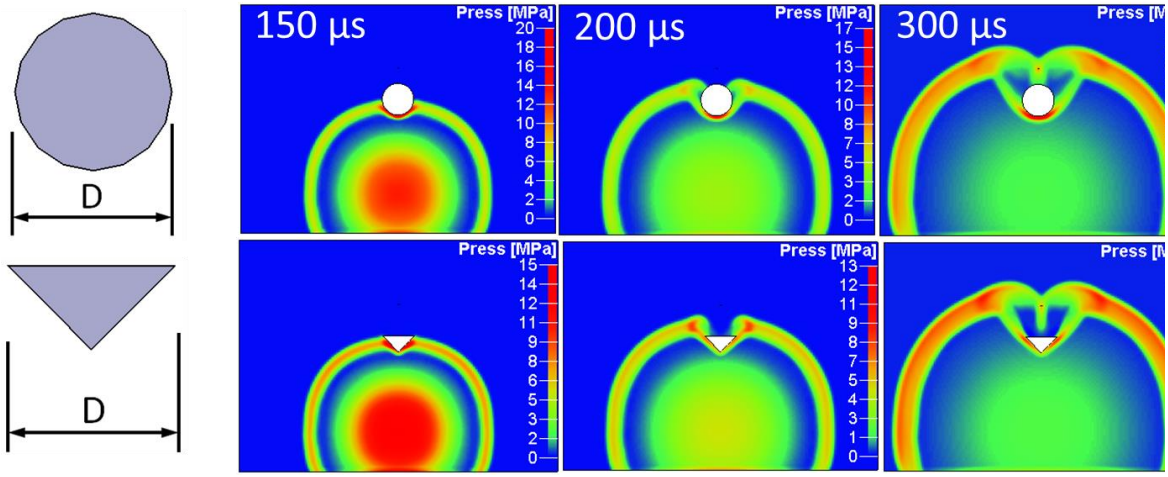
Patlama yöntemi belirlendikten sonra araç altındaki şasi ve yürür takımların kesitlerinin geometrik formlarını temsil eden daire, dikdörtgen, üçgen ve içbükey formundaki Şekil 3’teki objeler altında patlama analizleri yapılmıştır.

Şekil 6’da içbükey ve dikdörtgen formdaki objelerin altında yapılan patlama analizleri sonucunda basıncın hareketi ve geometrik formların gölgeleme davranışları verilmiştir. İçbükey ve dikdörtgen formdaki objelerin önünde basıncın yoğunlaştığı görülmektedir. Araç altında içbükey formda yapının olması, o bölgede ciddi basınç artışına ve bunun sonucunda tahribatın fazla olmasına neden olabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Patlama esnasında içbükey ve dikdörtgen formundaki objelerin basıncı gölgeleme ve yönlendirme davranışları

Şekil 7’de ise daire ve dikdörtgen formdaki objelerin altında yapılan patlama analizleri verilmiştir. Dairesel ve üçgen formdaki yapıların önünde basıncın fazla birikmeden yapının kenarlarından ilerleyerek uzaklaştığı anlaşılmaktadır. Özellikle, üçgen formdaki objeye çarpan şok dalgası ikiye bölünerek objenin etrafından ilerlemiştir. Şaft, aks ve kenarları zemine bakan şasi ve yürür takımların patlama esnasında basıncı bölerek araç gövdesini basıncın etkisinden bir miktar koruyabileceği görülebilmektedir.



Şekil 7. Patlama esnasında daire ve üçgen formundaki objelerin basıncı gölgeleme ve yönlendirme davranışları

5. SONUÇ

Bu çalışmada LS-DYNA sonlu elemanlar kodu ile gerçekleştirilen sayısal benzetimlerle, çeşitli geometrik formlardaki objelerin patlama basıncını gölgeleme ve yönlendirme davranışları incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında patlama yöntemi belirlenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, araç altındaki şaftların, aksların, salıncak kollarının, kenarları zemine bakan şasi ve yürür takımların, kümbet (içbükey) bölgelerin geometrik formlarını temsil eden objelerin mayın patlaması esnasında basıncı gölgelemesi ve yönlendirme kabiliyetleri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, CONWEP patlama yönteminde şok dalgalarının davranışı ve cisimlerin basıncı gölgeleme etkilerinin benzetilememesinden dolayı ALE yöntemi tercih edilmiştir. Çeşitli geometrik formlar altında yapılan patlama analizleri sonucunda içbükey ve dikdörtgen formdaki objelerin önünde basıncın yoğunlaştığı anlaşılmıştır. Araç altında içbükey formda yapının olması, o bölgede ciddi basınç artışına ve bunun sonucunda tahribatın fazla olmasına neden olabileceği anlaşılmıştır. Diğer yönden, dairesel ve üçgen formdaki yapıların önünde basıncın fazla yoğunlaşmadan yapının kenarlarından ilerleyerek yönlendiği tespit edilmiştir. Şaft, aks, kenarları zemine bakan şasi ve yürür takımların patlama esnasında basıncı bölerek araç gövdesini basıncın etkisinden bir miktar koruyabileceği anlaşılmıştır.

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] U.S. Army Manual TM5-855-1, Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons

[4] Randers-Pehrson, G, Bannister, K. A. (1997), Airblast Loading Model for DYNA2D and DYNA3D, ARL-TR-1310, Army Research Laboratory

[5] LSTC, (2012), LS-DYNA Keyword User's Manual, Volume I,

[6] Kılıç,S., Erdik, A. Kılıç, N, Bedir, S. (2015), Numerical Simulation of Armored Vehicles Subjected to Undercarriage Landmine Blasts, An International Journal on Shock Waves, Detonations and Explosions

[7] Dobratz, B. M., Crawford, P. C. (1985), LLNL Explosives Handbook Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants, Lawrance Livemore National Labaratory, University of California, Livemore, California

ÇOKLU SENSÖR İZ FÜZYONU YÖNTEMLERİNİN SİMÜLASYON YOLUYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

Evrim Anıl Evirgen

HAVELSAN, Komuta Kontrol ve Savaş Sistemleri GMY'lığı, Ankara,
eevirgen@havelsan.com.tr

ÖZ

Büyük ölçekli savunma sistemlerinde farklı kaynaklardan gelen iz bilgilerinin etkin ve doğru bir şekilde birleştirilmesi son yıllardaki önemli çalışma alanlarından biridir. Çoklu sensör iz füzyonu ile sensörlerin tekil sonuçlarından daha iyi bir sistem performansı elde etmek mümkün olmaktadır. Merkezi, dağıtık ve hiyerarşik olmak üzere çeşitli mimariler ve bu mimarilere uygun yöntemler bulunmaktadır. İz seviyesi füzyonda basit konveks birleşim, kovaryans kesiştirme, bilgi ilintisizleştirme ve kovaryans birleştirme gibi yöntemler öne çıkmaktadır. Bu çalışmada iz seviyesi füzyon yöntemlerini farklı senaryolarda karşılaştırma ve analiz için simülasyon yöntemlerinin kullanımı anlatılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Basit konveks birleşim, bilgi ilintisizleştirme, çoklu sensör iz füzyonu, kovaryans birleştirme, kovaryans kesiştirme, simülasyon

EVALUATION OF MULTI SENSOR TRACK FUSION METHOLOGIES BY SIMULATION

ABSTRACT

Effective and correct fusion of track data originated from different sources has been an important research area over the last years for large scale defence projects. Multi sensor data fusion can produce better system performance compared to the individual results of sensors. Central, distributed and hierarchical architectures and corresponding methodologies exist. Simple convex combination, covariance intersection, information decorrelation and covariance union are the most prominent techniques. In this paper, the usage of simulation methodologies to compare and analyze track fusion methods in different scenarios are described.

Keywords: Covariance intersection, covariance union, information decorrelation, multi sensor track fusion, simple convex combination, simulation

1. GİRİŞ

Modern komuta kontrol sistemlerinin görevlerinden biri optik, infrared, elektronik karşı tedbir sistemleri, otomatik tanıma sistemi ve radarlar gibi farklı sensörlerden gelen iz bilgilerini birleştirmedir.

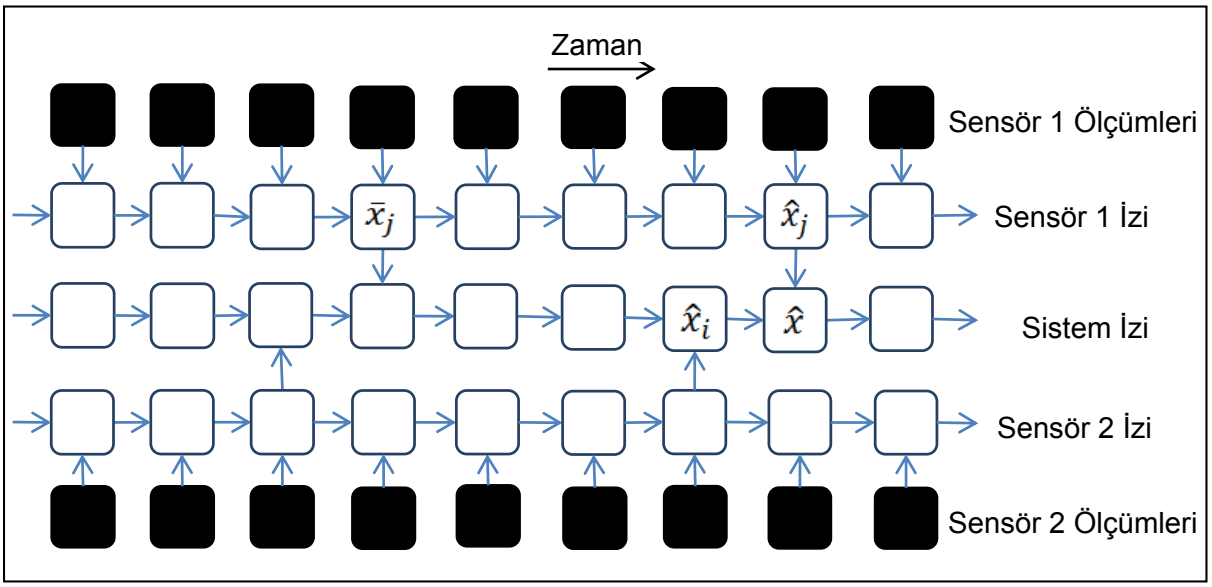
Büyük ölçekli sistemler için temel sorunlardan biri de veri birleştirmede uygulanacak yöntemdir. Bu sistemlerde sensörlerden alınan bilgi çoğunlukla iz verisidir. İz verisi içeriğinde hedefin pozisyon, rota ve sürati bulunmaktadır. Sensörlerden alınan verinin iz seviyesinde olmasının nedenleri arayüzlerin bu şekilde tanımlanmış olması ya da işlenmemiş ham verinin komuta kontrol sistemine beslenmesinin yol açabileceği karmaşıklıklar olabilir.

2. İZ SEVİYESİ FÜZYON YÖNTEMLERİ

İz seviyesi füzyonda karşılaşılan en önemli sorunlardan biri birbiriyle ilişkili kestirim hatalarıdır. Bunun iki nedeni olabilir [1]:

- Ortak öncel kestirimler (common prior estimates)
- Ortak süreç gürültüsü kaynaklı kestirim hataları (correlated estimation errors due to common process noise)

Aşağıdaki bilgi grafiği incelenecek olursa, füzyonu yapılacak $\hat{x}_i$ sistem iz durumu ve $\hat{x}_j$ sensör iz durumunun ortak önbilgilerinin daha önceki bir zamandaki $\bar{x}_j$ sensör izi durumu olduğu görülecektir.



Şekil 1. İz kestirimleri arası bağımlılıklar

Büyük ölçekli ve dağıtık sistemlerde aynı bilgi farklı yollardan aynı noktaya gelip farklı kaynaklardan geliyor izlenimi yaratabilir. Bu da füzyon ile elde edilen sonuçların olduklarından daha doğru olduğu izlenimini yaratabilir (rumor propagation) [2, 3].

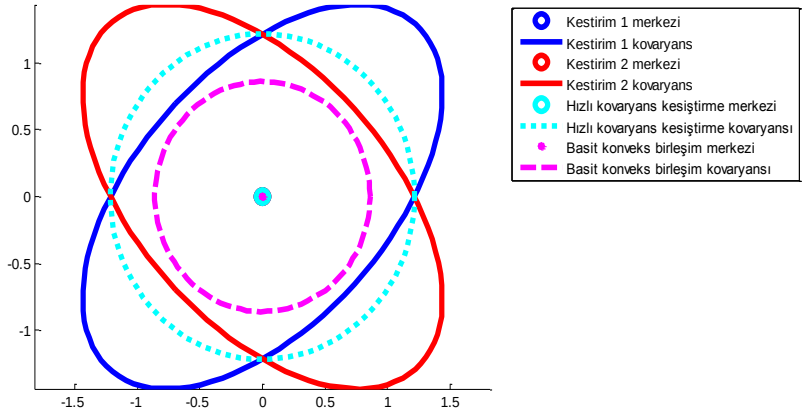
İz seviyesi füzyonda kovaryans kesiştirme (covariance intersection - CI) yukarıda bahsedilen problemlerin üstesinden gelmek için kullanılan bir yöntemdir [1]. Bu yöntemde farklı kaynaklardan alınan izler aşağıdaki şekilde birleştirilebilmektedir:

$$\text{Durum kestirimi: } \hat{x}_{CI} = P_{CI}[\omega P_1^{-1}\hat{x}_1 + (1-\omega)P_2^{-1}\hat{x}_2] \quad (1)$$

$$\text{Hata kovaryansı: } P_{CI} = (\omega P_1^{-1} + (1-\omega)P_2^{-1})^{-1} \quad (2)$$

Burada $\hat{x}_1$ ve $\hat{x}_2$ farklı kaynaktan gelen kestirimleri, P_1 ve P_2 ise bu kestirimlere ait kovaryans matrislerini göstermektedir.

Burada ω, P_{CI} için belirlenecek bir ölçütü (trace, determinant, gibi) en aza indirecek şekilde 0 ile 1 aralığında seçmek üzere bir optimizasyon yürütülmektedir.



Şekil 2. Kovaryans kesiştirme ve basit kovaryans birleşim karşılaştırması

Bu yöntemin avantajları:

- Basit ve kolay uygulanabilir olması
- İzler arası korelasyonun tahminine gerek olmadan uygulanabilir olması

Dezavantajları ise:

- Tutucu ve kötümser bir kovaryans matrisi tahmini yapması. Kovaryans kesiştirme, izler arası herhangi bir ilişkinin bulunmadığını varsayan basit kompleks birleşim (simple convex combination) yöntemine göre iki kat daha büyük bir kovaryans matrisi yani belirsizlik üretmektedir. Bunun nedeni basit kompleks birleşim yönteminde kestirimler arası ilintinin olmadığının varsayılmasıdır.

$$\text{Durum kestirimi: } \hat{\mathrm{x}}_{\mathrm{CC}} = \mathrm{P}_{\mathrm{CC}}[\mathrm{P}_1^{-1}\hat{\mathrm{x}}_1 + \mathrm{P}_2^{-1}\hat{\mathrm{x}}_2] \quad (3)$$

$$\text{Hata kovaryansı: } P_{CC} = (P_1^{-1} + P_2^{-1})^{-1} \quad (4)$$

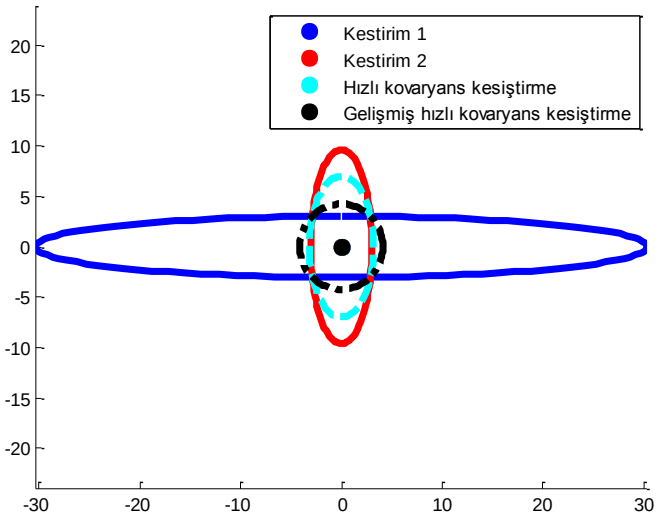
$$P_{CI} = 2P_{CC} \quad (5)$$

- Tutarlılığı (consistency) düşük durumlarda hatalı sonuçlar vermesi [4]

Literatürde bu yöntemin çeşitli türevleri de mevcuttur:

- Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Fast CI): ω seçimi için optimizasyon uygulanması yerine $\omega = trace(P_2)/(trace(P_1) + trace(P_2))$ şeklinde bir seçim yapan kapalı formda bir çözümün yeterli olduğunu belirten bir yöntemdir [5].
- Gelişmiş Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Improved Fast CI): Kovaryans matrislerinin majör eksenlerinin yönü ve büyüklüklerinin birbirinden çok farklı olduğu durumlarda hızlı kovaryans kesiştirme birini daha fazla ağırlıklandırmaya çalışarak doğru olmayan sonuçlar üretmektedir. Bunu engellemek için bu gibi durumlarda daha iyi sonuçlar üreten Gelişmiş hızlı kovaryans kesiştirme yöntemi önerilmiştir. Buna göre ağırlık aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. [6]

$$\omega = \frac{\det(P_1^{-1}+P_2^{-1}) - \det(P_2^{-1}) + \det(P_1^{-1})}{2\det(P_1^{-1}+P_2^{-1})} \quad (6)$$



Şekil 3. Hızlı kovaryans kesiştirme ve gelişmiş hızlı kovaryans kesiştirme karşılaştırması

Ortak önbilginin kestirilebildiği durumlarda bu bilgi dikkate alınarak füzyon yapılabilir. Bilgi ilintisizleştirme (information decorrelation) bu amaçla kullanılan bir yöntemdir [1]:

$$\text{Durum kestirimi: } \hat{x}_{ID} = P_{ID}(P_1^{-1}\hat{x}_1 + P_2^{-1}\hat{x}_2 - \bar{P}^{-1}\bar{x}) \quad (7)$$

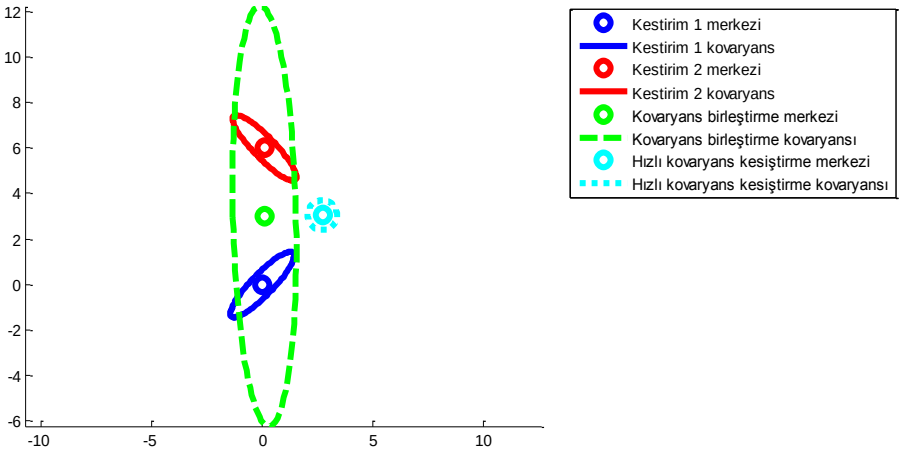
$$\text{Hata kovaryansı: } P_{ID} = (P_1^{-1} + P_2^{-1} - \bar{P}^{-1})^{-1} \quad (8)$$

Burada $\bar{x}$ ortak önbilgiyi, $\bar{P}$ ise önbilgiye ait kovaryans matrisini göstermektedir.

Kovaryans kesiştirme yönteminin yeterince doğru sonuçlar vermediği tutarsız kestirimlerin olduğu durumlarda uygulanabileceklerden biri kovaryans birleştirme (covariance union - CU) yöntemidir [4]. Bu yöntemle kovaryans kesiştirme yönteminin hatalı sonuçlar ürettiği, birbiri ile tutarlılığı az yani kovaryans elipslerinin az örtüştüğü ya da örtüşmediği durumlarda da füzyon yapılması mümkün olmaktadır. Kovaryans birleştirmede birleştirme sonucu oluşturulan kestirim (u) ve kovaryans (U) aşağıdaki denklemleri sağlayan minimum ölçüte (örneğin determinant) sahip kovaryans bulunacak şekilde hesaplanır:

$$U \geq P_1 + (u - \hat{x}_1)(u - \hat{x}_1)^T \quad (9)$$

$$U \geq P_2 + (u - \hat{x}_2)(u - \hat{x}_2)^T \quad (10)$$



Şekil 4. Kovaryans birleştirme ve kovaryans kesiştirmenin tutarlılığın az olduğu bir durumda karşılaştırması

3. SENSÖRLERİN MODELLENMESİ

3.1. Radar Sensörleri

Radar sensörleri mesafe ve açısal doğrulukları farklı olacak şekilde modellenmiştir. Radar sensörlerinin mesafe ölçümü doğruluklarının açısal doğruluktan daha fazla olacağı öngörülmüştür. Mesafe ölçüm doğruluğunun standart sapması 3 m, açısal ölçüm doğruluğunun standart sapması ise 0.3 derece olarak alınmıştır. Dolayısıyla radarın merkezinden uzak olan hedefler için hatalar daha yüksek olmaktadır. Modellenen her bir sensörün kendi içinde iki model bulunan etkileşen çoklu model (interacting multiple model) filtresi kullandığı öngörülmüştür [7, 8]. Etkileşen çoklu model (EÇM) filtrelerin ilk modeli düşük ivmeli ve düşük manevralı hareketler (örneğin düzgün doğrusal

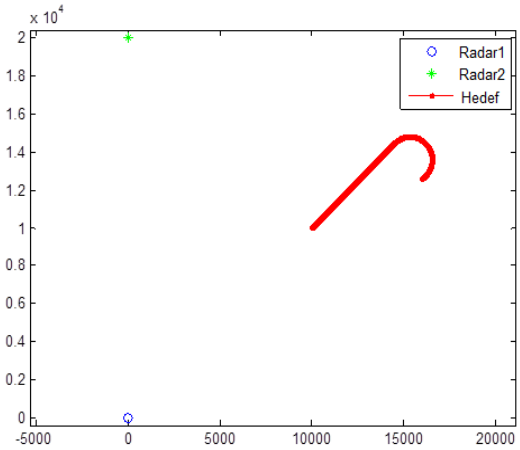
hareket) için uygunken diğer model ise yüksek ivmeli ve yüksek manevralı hareketler (örneğin hızlanma ya da dönüş hareketleri) içindir. Radar sensörleri çıktı olarak pozisyon, hız ve bunlara ilişkin kovaryans matrisi bilgisi üreterek füzyon sistemine vermektedirler. Radar sistemlerinin %100 tespit performansı ve 1 saniye tarama periyodu ile çalıştıkları varsayılarak modellenmişlerdir.

3.2. Otomatik Tanıma Sistemi (Automatic Identification System)

Otomatik tanıma sistemi (OTS) sensörü yalnız pozisyon ve hız bildirmektedir. OTS verileri içinde sensör doğruluğu 10 metreden daha iyi ya da 10 metreden daha kötü olarak bildirilmektedir. Simülasyonlar sırasında OTS izleri için kovaryans matrisi, %99 bulunma ihtimali dairesinin çapı 20 metre olacak şekilde sentetik olarak oluşturulmuştur.

4. SİMÜLASYONLAR

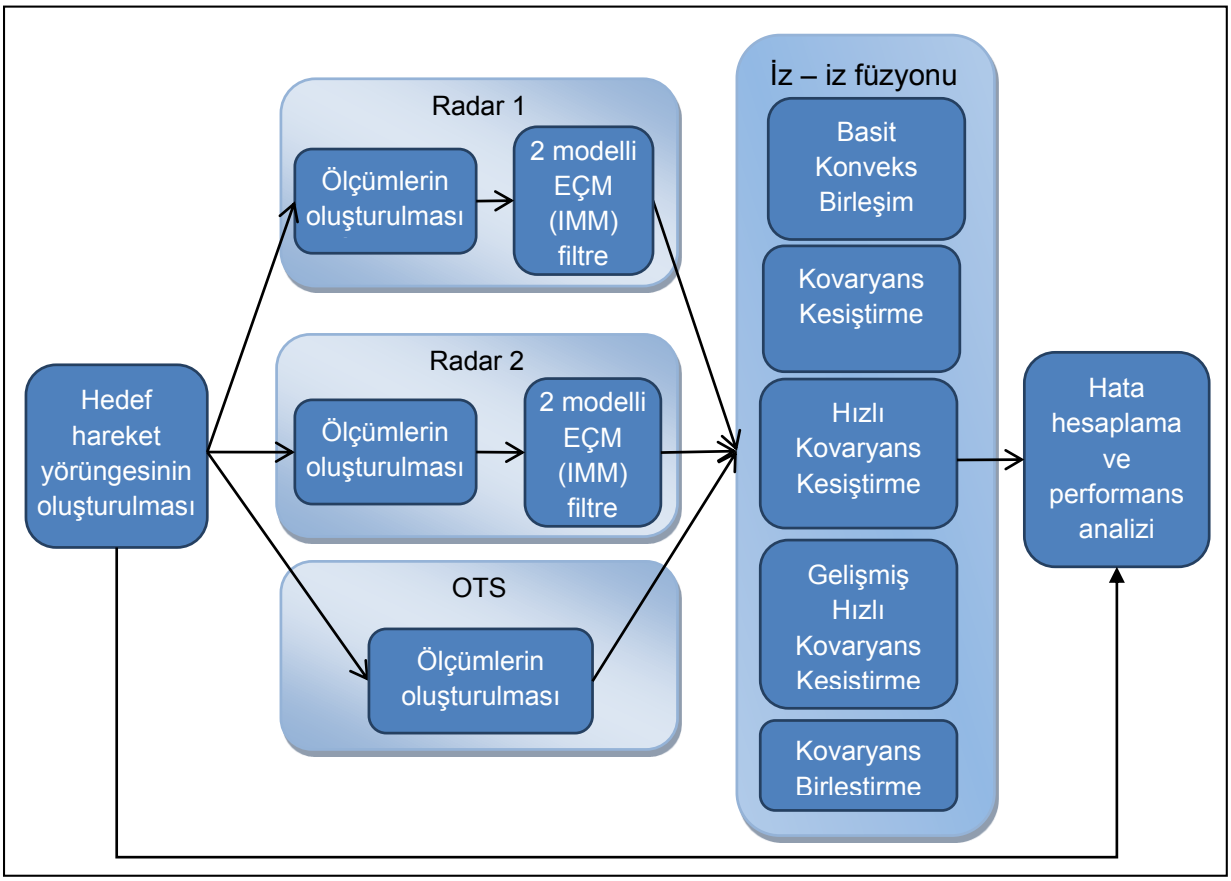
İlk radar (0, 0) metre koordinatında, ikinci radar (0, 20000) metre koordinatında bulunmaktadır. Hedefin ilk pozisyonu (10000, 10000) metre olarak seçilmiştir. Simülasyonlarda bir deniz hedefi 1000 saniye boyunca izlenmiştir. Hedef, bu sürenin ilk üçte birlik kısmında 0.04 knot/s sabit ivmeli ile hızlanma, ikinci üçte birlik kısmında 16 knot ile sabit hızlı düzgün doğrusal hareket, üçüncü üçte birlik kısmında ise sabit hızlı dönüş hareketi yapmıştır.



Şekil 5. Simülasyon senaryosu

Simülasyonda modellenen sistem Şekil 13'de görülen sistemdir. Yapıda füzyona girdi sağlayacak radar izleri arasında ortak öncel bilgi mevcut değildir fakat ortak süreç gürültüsü mevcut olacaktır. OTS izleri içinse kovaryans matrisi sentetik olarak oluşturulacağı için ortak bir önbilgi ya da ortak süreç gürültüsü mevcut olmayacaktır.

Herbir senaryo için 100 Monte Carlo simülasyonu koşulmuş ve buna göre kare-ortalama-karekök (KOK / RMS) hataları hesaplanmıştır.



Şekil 6. Simülasyon Düzeneği Blok Şeması

4.1. Radar – Radar İzlerinin Füzyonu

Simülasyonlar sırasında radarın aynı hedefi izlediği durumda hızlı kovaryans kesiştirme yöntemi en doğru sonuçları vermiştir. Bunun nedeni aynı izleme algoritmasını kullanan radarların birbiriyle tutarlı izler yaratması, bu durumda da kovaryans kesiştirme türevi yöntemler beklendiği üzere en doğru sonuçları vermiştir. Hızlı kovaryans kesiştirme hem optimizasyon ve iterasyon gerektirmeyen işlem yükü az kapalı formda (closed-form) bir çözümü olması, hem de kovaryans kesiştirme türevi yöntemler içinde en doğru sonucu üretmesi nedeniyle bu durum için en doğru seçim olarak gözükmektedir.

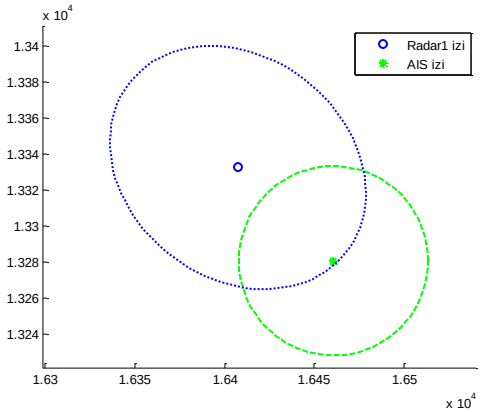
Tablo 1. Radar – radar iz füzyonu performansları

	Sensör İzlerinin Hatası (KOK - RMS)
Radar 1	38.9229
Radar 2	31.1587
	Radar – Radar İzlerinin Füzyonu Hatası (KOK - RMS)
Basit Konveks Birleşim (Simple Convex Combination)	22.8915
Kovaryans kesiştirme (Covariance Intersection)	27.9082
Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Fast Covariance Intersection)	22.3634
Gelişmiş Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Improved Fast Covariance Intersection)	22.6676
Kovaryans Birleştirme (Covariance Union)	25.6987

Bu simülasyon senaryosu için sonuçlar yakın olmakla beraber "Hızlı Kovaryans Kesiştirme" yöntemi en doğru sonucu üretmiştir.

4.2. Radar – OTS (AIS) İzlerinin Füzyonu

Simülasyonlar sırasında bir radar izinin OTS izi ile birleştirilmesi senaryosunda önceki senaryodan farklı olarak bazı zaman noktalarında izler arası uzaklık dolayısıyla kestirimler arası tutarlılığın az olduğu durumlar baş gösterebilmektedir.



Şekil 7. Radar – OTS izleri arasındaki tutarlılığın azaldığı durum

Bu durum beklendiği üzere kovaryans kesiştirme türü yöntemlerin hatalı sonuçlar üretmesine yol açmaktadır. Radar ve OTS izlerinin füzyonu için kovaryans birleştirme (covariance union) yöntemi ise doğru ve tutarlı sonuçlar üretmekte daha başarılı olmuştur.

Tablo 2. Radar – OTS iz füzyonu performansları

	Sensör İzlerinin Hatası (KOK - RMS)
Radar 1	38.9023
OTS	24.5085
	Radar – Radar İzlerinin Füzyonu Hatası (KOK - RMS)
Basit Konveks Birleşim (Simple Convex Combination)	82.5010
Kovaryans kesiştirme (Covariance Intersection)	84.6853
Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Fast Covariance Intersection)	79.7716
Gelişmiş Hızlı Kovaryans Kesiştirme (Improved Fast Covariance Intersection)	82.6299
Kovaryans Birleştirme (Covariance Union)	23.5387

Bu simülasyon senaryosu için diğer yöntemler gerçek değerden oldukça farklı sonuçlar üretirken "Kovaryans Birleştirme" yöntemi en doğru sonucu üretmiştir.

4.3. İz Füzyonunda Yöntem Seçimi

Kovaryans kesiştirme ve kovaryans birleştirme yöntemlerinin farklı durumlarda en iyi sonucu vermesi, sensör izleri arası tutarlılığa ilişkin bir ölçüt geliştirilmesi ve buna göre yöntem seçiminin yapılabileceği bir tekniğin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu ölçüte göre belirlenecek yöntemin uygulanmasının toplamda en doğru sonucu üreten yaklaşım olacağı değerlendirilmektedir. Bu amaçla iki farklı dağılımın istatistiksel yakınlığını hesaplamak için kullanılan Bhattacharyya mesafesi seçilmiştir: [9]

$$D_{\text{Bhattacharyya}} = \frac{1}{8}(\mu_1 - \mu_2)^T \Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{det\Sigma}{\sqrt{det\Sigma_1 det\Sigma_2}}\right) \quad (11)$$

$$\Sigma = \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \quad (12)$$

μ_1: İlk dağılımın ortalaması

μ_2: İkinci dağılımın ortalaması

Σ_1: İlk dağılımın kovaryansı

Σ_2: İlk dağılımın kovaryansı

İki iz arasında hesaplanan Bhattacharyya mesafesinin karşılaştırılacağı eşik değeri olarak da Ki-kare (Chi-square) dağılımında 6 serbestlik derecesi ve ilgili yüzdelik bulunma alanına karşılık gelen eşik değeri alınmıştır. Buna göre eşiğin altında kalan dolayısıyla yakınlık derecesi fazla olan izlerin füzyonu için hızlı kovaryans kesiştirme, eşiğin üstünde kalan dolayısıyla yakınlık derecesi az olan izlerin füzyonu içinse kovaryans birleştirme tekniği kullanılmıştır. Buna göre yapılan simülasyon sonuçları aşağıdadır:

Tablo 3. Füzyon yöntemi seçimi için eşik belirlenmesi

	Radar – Radar İzlerinin Füzyonu Hatası (RMS)	***Radar – OTS İzlerinin Füzyonu Hatası (RMS)***	***Genel Ortalama Hata (RMS)***
Hızlı kovaryans kesiştirme	22.3634	79.7716	51.06750
Kovaryans birleştirme	25.6987	23.5387	24.61870
Ki-kare %95 eşiği	22.1966	24.1115	23.15405
Ki-kare %90 eşiği	22.2107	23.9007	23.05570
Ki-kare %85 eşiği	22.2348	23.7972	23.01600
Ki-kare %80 eşiği	22.2704	23.7123	22.99135
Ki-kare %75 eşiği	22.3061	23.6690	22.98755
Ki-kare %70 eşiği	22.3483	23.6359	22.99210
Ki-kare %65 eşiği	22.4028	23.6084	23.00560
Ki-kare %60 eşiği	22.4717	23.5940	23.03285
Ki-kare %55 eşiği	22.5474	23.5793	23.06335
Ki-kare %50 eşiği	22.6297	23.5659	23.09780

	Radar – Radar İzlerinin Füzyonu Hatası (RMS)	***Radar – OTS İzlerinin Füzyonu Hatası (RMS)***	***Genel Ortalama Hata (RMS)***
Ki-kare %45 eşiği	22.7309	23.5567	23.14380
Ki-kare %40 eşiği	22.8406	23.5512	23.19590
Ki-kare %35 eşiği	22.9719	23.5472	23.25955
Ki-kare %30 eşiği	23.1205	23.5426	23.33155
Ki-kare %25 eşiği	23.2983	23.5421	23.42020
Ki-kare %20 eşiği	23.5171	23.5398	23.52845
Ki-kare %15 eşiği	23.8022	23.5387	23.67045
Ki-kare %10 eşiği	24.1535	23.5386	23.84605
Ki-kare %5 eşiği	24.6740	23.5387	24.10635

Simülasyon sonuçlarına göre hızlı kovaryans kesiştirme ve kovaryans birleştirme yöntemleri ayrı ayrı durumlarda iyi sonuçlar verse de genel performans açısından en iyi sonucu yakınlık derecesine göre karar veren, duruma uygun yöntem (füzyon yöntem seçimi için eşik değeri olarak %75 belirlendiği şekilde) sergilemektedir.

Simülasyonlar değişik sensör pozisyonları ve hata oranları için tekrarlanmış, %50 – %75 aralığı diğer simülasyon senaryolarında da doğrulanmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada sensörler izleri arası füzyon incelenmiş, hızlı kovaryans kesiştirme ve kovaryans birleştirme yöntemlerinin farklı durumlarda etkin oldukları gözlemlenmiştir. Buna göre Bhattacharyya mesafesinin eşik değeri ile karşılaştırılmasına göre karar veren uygun yöntem seçiminin en doğru sonucu verdiği simülasyonlar ile gösterilmiştir.

Simülasyon sonuçları daha önce Matzka ve Altendorfer [10] tarafından yapılan çalışma ile benzer sonuçlar vermiştir ve bu iki çalışma birbirlerini destekler niteliktedir.

Gardner [11] tarafından önerilen dağıtık veri füzyonu mimarisinde de kovaryans kesiştirme ve kovaryans birleştirme yöntemleri arasından duruma uygun olanının seçilerek beraber kullanılması yaklaşımı tavsiye edilmiştir.

Uhlmann [4] ve Castanedo [12] tarafından önerilen yöntemlerde ise eşik değerinin seçilmesinde kullanılabilecek ölçütlerden biri olarak Mahalanobis mesafesi belirtilmiştir. Mevcut çalışmada Mahalanobis mesafesi yerine Bhattacharyya mesafesi genel olarak daha güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle seçilmiştir.

Mevcut çalışmanın sonraki aşamasında sensör izleri ile sistem izleri arası füzyon yöntemleri de incelenerek karşılaştırma yapılması da planlanmaktadır.

Bu çalışmayı destekledikleri için HAVELSAN'ın Sahil Gözetleme Radar Sistemi Projesi ekibine teşekkür ederim.

6. KAYNAKÇA

[1] Chong, C. Y., Mori S. (2001), *Convex Combination and Covariance Intersection Algorithms in Distributed Fusion*, Proceedings of 4th International Conference on Information Fusion

[2] Chong, C. Y. (1998), Distributed Architectures for Data Fusion, *Proceedings of 1st International Conference on Information Fusion*

[3] Liggins, M. E. II, Chong, C. Y., Kadar I., Alford, M. G., Vannicola V., Thomopoulos S. (1997), *Distributed Fusion Architectures and Algorithms for Target Tracking*, Proceedings of the IEEE, 85 (1)

[4] Uhlmann, J. K. (2003), *Covariance consistency methods for fault-tolerant distributed data fusion*, Information Fusion Journal, 4 (3)

[5] Niehsen, W. (2002), *Information Fusion based on Fast Covariance Intersection Filtering*, Proceedings of 5th International Conference on Information Fusion

[6] Fränken, D., Hüpper, A. (2005), *Improved Fast Covariance Intersection for Distributed Data Fusion*, Proceedings of 8th International Conference on Information Fusion

[7] Blom, P. (1984), *An efficient filter for abruptly changing systems*, Proc. 23rd IEEE Conf. Decision and Control

[8] Blom, P., Bar-Shalom, Y. (1988), *The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients*, IEEE Trans. Automat. Contr., AC-33, 780-783

[9] Bhattacharyya, A. K. (1946), *On a Measure of Divergence between Two Multinomial Populations*, Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, 7 (4), 401-406

[10] Matzka, S., Altendorfer, R. (2008), *A Comparison of Track-to-Track Fusion Algorithms for Automotive Sensor Fusion*, Proceedings of IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems

[11] Gardner, S.B., (2005), *Horizontal Integration based upon: Decentralized Data Fusion (DDF), NetCentric Architecture (NCA), and Analysis Collaboration Tools (ACT)*, 10th International Command and Control Research and Technology Symposium

[12] Castanedo, F. (2013), A Review of Data Fusion Techniques, The Scientific World Journal Volume 2013

BİR ÖNCÜL FLY-BY-WIRE SİSTEM SİMÜLASYONU TASARIMI

Tolga İnal

TAI, TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş., Aviyonik ve Elektrik Mühendisliği Müdürlüğü, Fethiye Mah. Havacılık Bulvarı No:17 Akıncı, Kazan 06980 Ankara Türkiye, tinal@tai.com.tr

ÖZ

Hava aracı özgün geliştirme projelerinin önemli parçalarından biri olan uçuş kontrol bilgisayarı geliştirilmesi, tüm dünyada yaygın olarak, geliştirilen uçağa özgün Ironbird test ortamlarında gerçekleştirilmektedir. Uçağın uçuş yüzeylerine direkt komut veren bu sistemlerin emniyet kritiklik seviyelerinin çok yüksek olması, yerde geliştirilmelerini ve ilk testlerinin yerde yapılmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada 2015 yılında tamamlanmış, fly-by-wire bir uçuş kontrol bilgisayarı geliştirmesi projesinde sistem entegrasyon laboratuvarını (SEL) oluşturan donanım ve benzetim yazılımlarının geliştirilmesi, kurulan SEL'ının, Ironbird ortamı ile füzyonu ve bu füzyon işleminin simülayon yazılımlarına etkisi ve bu tip bir test ortamının tasarımı, geliştirilmesi, entegrasyonu ve test edilmesi konularında dikkat edilmesi gereken hususlar tartışılmaktadır. Ayrıca gerçek aviyoniklerle entegre edilmiş küçük ölçekli uçuş ve kokpit benzetimi sisteminin aviyonik mimarisi, donanımı ve yazılım yapısı, test ile geliştirme süreçleri anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Fly-by-wire, ironbird, sistem entegrasyon laboratuvarı, uçuş kontrol bilgisayarı.

A PRELIMINARY DESIGN OF A FLY-BY-WIRE SYSTEM SIMULATION

ABSTRACT

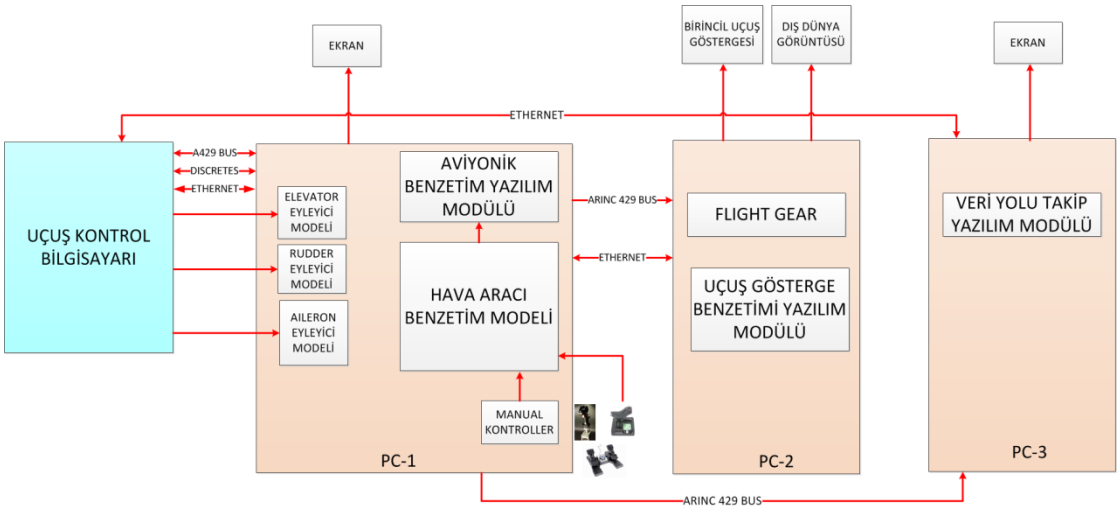
Flight control computers, one of the most important part of the indigenous aerospace platform development projects, are widely designed and developed via indigenous iron birds' of the platform. High safety criticality and design assurance levels of flight control systems, brings the essential situation of developing and designing these systems on ground. In this study, gained experiences on a fly-by-wire flight control computer development project, finished in 2015, regarding to system integration laboratory development, fusion of SIL and Ironbird environment, developed hardware and simulation software, test environment design, integration and tests are shared. Also, simulation and real avionics integration in a small scale flight and cockpit simulation environment including avionics architecture, hardware and software structure, test and development phases are discussed.

Keywords: Fly-by-wire, flight control computer, ironbird, system integration laboratory.

1. GİRİŞ

Uçuş kontrol bilgisayarları ve fly-by-wire sistemlerin geliştirme, entegrasyon ve performans testlerinin bire bir ölçekli Ironbird ortamlarında gerçekleştirilmesi, havacılık sektöründe özellikle Airbus ve Boeing gibi dev üreticiler tarafından başı çekilen yaygın bir uygulamadır. Hava aracı benzetim modelinin doğrulanması içinde önemli bir gereç olan Ironbird ortamlarının kurulumu karmaşık olmakla birlikte, bir o kadar da zahmetli bir iştir. Büyük üreticiler dahi bu tip kurulumları büyük kısmını altyüklenicilere devretmektedir. Bu tip ortamlar, ayrıca, ek donanımlar kullanılarak, kokpit işlevselliğinin testi, aviyoniklerin yer testleri ve hatta elektrik sisteminin testlerine olanak sağlamaktadır[1]. Bu ortamlar, hava aracı üreticisine uçuş testleri öncesinde kredi sağlamakta ve özellikle fly-by-wire uçuş kontrol bilgisayarlarının ilk uçuş öncesinde emniyetli uçuşa olanak sağlayacağı test edilebilmekte ve sertifikasyon otoritesine güven telkin edilebilmektedir.

Sistem entegrasyon laboratuvarlarının (SEL) kullanımı havacılık ve savunma sanayiinde Ironbird uygulamalarından daha geriye dayanmaktadır. Özellikle aviyonik ve elektrik sistemlerinin geliştirme ve entegrasyon testlerinin koşulduğu bu ortamların bu sistemlerin uçağa takılmadan önce doğrulandığı yegane ortamdır[2]. Yazılım geliştirme ve test içinde yoğun olarak kullanılan SEL ortamları, benzetimlerin yanı sıra gerçek ekipmanların kullanılması sayesinde uçak üzeri yer testleri öncesinde karşılaşılabilecek birçok problemin görülebildiği yegâne mühendislik test ortamıdır. Maliyetleri ironbird'lere göre nispeten düşüktür. Bu tip ortamlarda pilotların katılımı ile insan-makine arayüzü çalışmaları da gerçekleştirilmektedir.



Şekil 1. Uçuş kontrol bilgisayarı içeren SEL mimarisi örneği

Bu çalışmada fly-by-wire bir uçuş kontrol bilgisayarı geliştirmesi projesinde SEL'ını oluşturan donanım ve benzetim yazılımlarının geliştirilmesi, kurulan SEL'ının, Ironbird ortamı ile füzyonu ve bu füzyon işleminin simülayon yazılımlarına etkisi ve bu tip bir test ortamının tasarımı, geliştirilmesi, entegrasyonu ve test edilmesi konularında dikkat edilmesi gereken hususlar tartışılmaktadır.

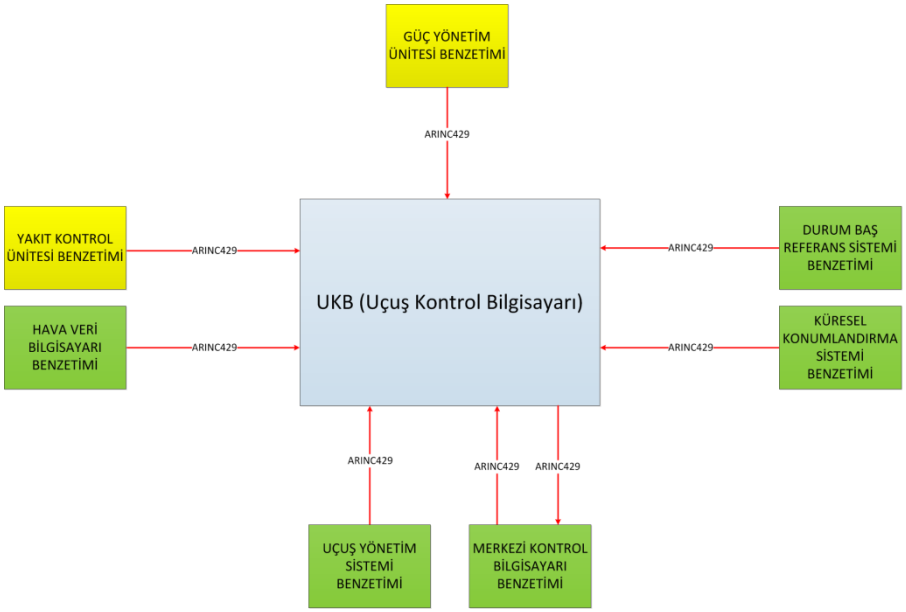
2. SEL AVİYONİK MİMARİSİ ve HAVA ARACI BENZETİM MODELİ ENTEGRASYONU

2.1. SEL aviyonik mimarisi

Sistemin temelinde, bir uçuş benzetimi yazılımından veya kullanılan aviyonik veri yolu kart arayüzünden alınacak çeşitli verilerin, ARINC 429 sinyallerine dönüştürülerek uçuş kontrol bilgisayarına sağlanması mantığı yatmaktadır. Sistem entegrasyon laboratuvarı, merkezinde 3 bilgisayar olacak şekilde planlanmıştır(Şekil.1). Uçuş kontrol bilgisayarına kaynaklık eden tüm çevresel aviyoniklerin verileri bu bilgisayarca benzetilmektedir. Uçuş kontrol bilgisayarına veri sağlayan çevredeki aviyoniklerin benzetilmesi, gerçek aviyonik ekipmanların oldukça maliyetli olmaları sebebiyle maliyet etkin bir çözümdür ve özellikle durum-referans ve entegre ataletsel küresel konum algılayıcı seyrüsefer sistemi gibi kimi aviyonik ekipmanların tabiatları gereği uçan platform ile hareket etmeleri gerektiğinden, bu tip ortamlarda benzetimlerinin kullanılması yaygın bir yaklaşımdır. Burada unutulmamalıdır ki geliştirilmekte olan SEL'ının kurulum amacı, klasik bir SEL kurulumundan farklı olarak, uçuş kontrol bilgisayarının geliştirilmesi ve doğrulanması olması sebebiyle, bu tip benzetim yaklaşımları kabul görmektedir. SEL'ının tek kuruluş amacının, aviyonik ekipmanların entegrasyonu olması gibi durumlarda, gerçek ekipmanlar tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Sisteme ARINC 429 veri iletimini sağlayabilecek bir arayüz kartı, PCI slotları üzerinden bağlanmıştır. Ayrıca uçağın benzetim modelinin uçurulabilmesi için USB(Universal Standart Bus) gibi ticari yaygın arayüzlere sahip uçuş kontrol levyesi, bir gaz kolu ve yön dümeni pedalları, SEL'ına eklenmiştir. SEL'ının tüm bağlantıları, tasarlanan cihazların tüm giriş çıkış uçları incelenerek, bir kablo ağı şeklinde üretilmiştir. Uçuş kontrol bilgisayarının entegre edileceği platformun dağınık bir aviyonik mimariye sahip olması sebebiyle, veri yolu mimarisi de dağınık olarak tasarlanmıştır.

2.1.1 Veri yolu mimarisi

Sistem ne kadar basit tasarlanırsa, kullanımı ve değişen durumlarda uyarlaması o kadar kolay olacaktır. Sistemin tasarımında, Ironbird ortamında hata enjeksiyonu olması sebebiyle, aviyonik mimari tam dağınık tasarlanmak zorunda kalınmıştır. Bu fiziksel ayrım, uçuş benzetim yazılımından testler esnasında aviyonik benzetim bazlı hata enjeksiyonlarının ayrı ayrı ve dilenirse çoklu kombinasyonlar şeklinde verilmesine olanak sağlamıştır (Şekil 2). Bu çözüm toplamda kullanılacak veri yolu bağlantısı sayısını arttırmaktadır ki, bu durum, dağınık aviyonik mimarilerde beklenen bir durumdur[3].



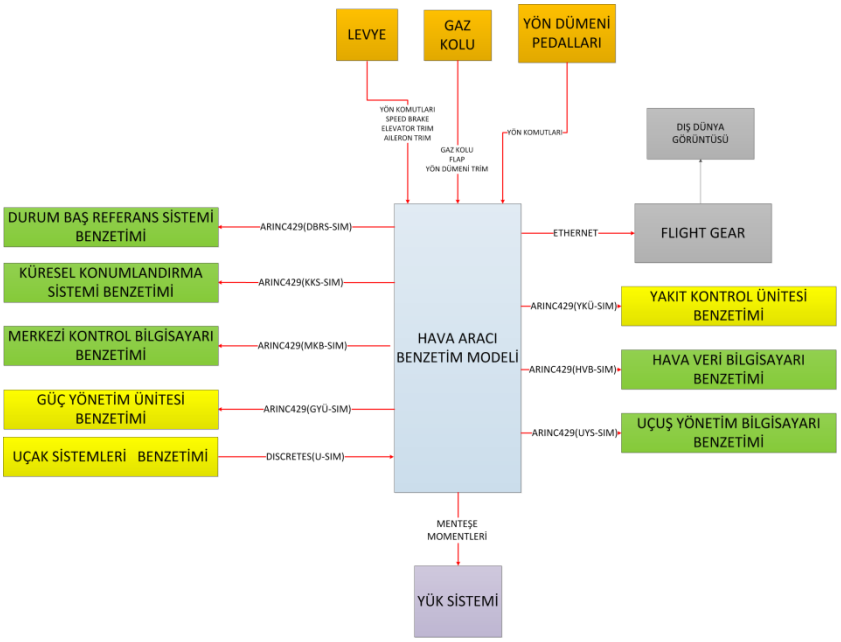
Şekil 2. Veri yolları mimarisi

Veri yolu mimarisi tasarlanırken dikkat edilmesi gereken noktalardan biride veri yolu kanalına aşırı veri yüklemekten kaçınmaktır. Düşük yoğunluklu veri yollarında hata olasılığı daha düşüktür. Kablo ağında her hangi bir hata olasılığına karşı da ayrıca, hava araçlarında kullanılan, gerçek, uçuş elverişli kablolar ve gerçek konektörler, yine hava araçlarında uygulanan yöntemlerle uygulanmıştır. Uçaktaki muhtemel kablo boyları tahmin edilerek üretilen kablo ağı bu uzunluklarda üretilmiş ve bu sayede özellikle voltaj tipi analog arayüzler için sinyal takat kayıplarının sisteme etkisi Ironbird ortamında aynı uçaktaki gibi incelenmiştir.

2.2. Hava aracı benzetim modeli entegrasyonu

Gerçeğe çok yakın bir hava aracı benzetim modeli, kuşkusuz, bu tip bir sistemin en önemli komponentlerinden biridir. Bu çalışmada, rüzgâr tüneli, CFD(computational fluid dynamics) yaklaşımları ve uçuş test verileri ile doğrulanmış ve gerçeğe çok yaklaştırılmış bir benzetim modeli kullanılmıştır. Benzetim modelinin gerçeğe yakınlığının yanı sıra, kullanılabilirliği ve benzetim ortamına entegrasyonu en önemli hususlardan biri olmakla birlikte, bir o kadar da tasarımcıları zorlayıcı bir aktivitedir[1]. Benzetimin kalbi konumundaki hava aracı benzetim modeli, aviyonik ekipman simülasyonları tarafından benzetilmesi gereken verilerin sağlayıcısıdır. Benzetim modeli çıktılarının standart bir hava aracında olması gereken şekilde; sağlanma sıklığı, birim dönüşümü ve değer aralığı uyumlandırılması aktiviteleri dikkatle yapılması gereken aktivitelerdir[4]. Özellikle geliştirilecek uçuş kontrol bilgisayarına sağlanan verilerin çok dikkatli analiz edilmesi ve uçakta var olacakları biçimlerinin birebir aynıları şeklinde tasarlanmaları, hem benzetim yazılımı, hem de uçuş kontrol bilgisayarı yazılımında kodlanacak veri yolu kodlayıcıları için çok büyük önem arz etmektedir. Benzetim modeli çıktıları sadece uçuş kontrol bilgisayarını besleyecek aviyonik simülasyonlara veri sağlamamakta, aynı zamanda uçuş esnasında kullanılacak PFD(Primary Flight Display) simülasyonu, uçak sistemleri arayüzleri(iniş takımı, flaplar vbgb) ve en önemlilerinden birisi olan dış dünya benzetim yazılımına ihtiyaç

duydukları parametreleri sağlamakta da kullanılmaktadır. Özellikle PFD için gerekli veriler; hava hızı çeşitleri, irtifa, açısal bilgiler ve durum verileridir[5]. SEL ortamı için bu tip verilerin adreslenmesi yeterli iken, SEL'ının Ironbird ortamına entegrasyonu aşamasında, ironbird'de bulunan yüzey yükleme sisteminin çalışabilmesi için benzetim modelinin menteşe moment çıktılarının, gerçek zamanlı olarak, yüzey yükleme sistemine uygun bir arayüz ile sağlanması gereklidir[4]. Şekil 3'de hava aracı benzetim modelinin her iki ortamda entegrasyonu sonucunda hangi benzetim komponentleri ve sistemlere veri sağladığı görülebilir(Şekil 3).



Şekil 3. Hava aracı benzetim modeli

Tablo 1'de benzetim modeli çıktılarının ADC(Air Data Computer) aviyonik benzetimine sağladığı veriler ve bu verilerin uçuş kontrol bilgisayarına sağlanmadan önce tabi olduğu değişimler gösterilmektedir. Sadece ADC için verilen bu örnek çok basit bir örnektir. Bu işin, tüm aviyonik benzetimler ve uçak sistemler için yapıldığı göz önüne alınırsa, işin büyüklüğü ve detayı kolayca zihinlerde canlanacaktır. Sadece uçuş kontrol bilgisayarına veri sağlayacak aviyonikler ve uçak sistemleri hesaba katıldığında, tüm sistemde, toplam benzetilen parametre sayısı 200 âdetin üzerindedir.

Tablo 1. Benzetilmesi gereken ARINC 429 etiketleri örneği.

ARINC 429 Etiketi	Model Adı	TX/RX	1 saniye de Yenilenme oranı	Parametre	Kimden	Kime
204	HVB	TX	16	Baro corrected altitude	HVB	PFD + Uçuş Kontrol Bilgisayarı
206	HVB	TX	8	Computed airspeed	HVB	PFD + Uçuş Kontrol Bilgisayarı
210	HVB	TX	8	True airspeed	HVB	PFD
205	HVB	TX	8	Mach number	HVB	PFD + Uçuş Kontrol Bilgisayarı
212	HVB	TX	16	Altitude Rate	HVB	PFD + Uçuş Kontrol Bilgisayarı
211	HVB	TX	2	Total air temperature	HVB	PFD + Uçuş Kontrol Bilgisayarı
213	HVB	TX	2	Static air temperature	HVB	PFD
203	HVB	TX	16	Pressure altitude(1013.25 mbar)	HVB	PFD
207	HVB	TX	8	Maximum allowable airspeed	HVB	PFD

3. SEL-IRONBIRD ENTEGRASYONU

Projenin başında, SEL olarak tasarlanan ve kurulan yapı, proje ilerledikçe Ironbird ortamının bir parçası olmak üzere bir modifikasyondan geçmiştir. Burada bahsedilen modifikasyonun kapsamı sadece bir yazılım modifikasyonu değildir. Ayrıca kablosundan, donanımlarına ve ek güç ihtiyaçlarına kadar SEL'nın yeni bir test ortamına dönüşmesidir. Bu dönüşüm zahmetli olmasının yanı sıra daha projenin en başında SEL'ının, ileride Ironbird sisteminin bir parçası olacağı dikkate alınarak tasarlanması gerekliliğini doğurmuştur. Bu anlamda en dikkate değer konu başlıkları yazılım mimarisi, elektrik güç ihtiyacı, ek arayüz gereksinimleri, ek kablo ihtiyaçları ve donanım yedekleme konularıdır. Bu tip projelerde, bu konuların, projenin en başından dikkate alınarak tasarım yapılması, SEL-Ironbird füzyon sürecinde, tasarımcılara süre, maliyet ve iş gücü kazancı olarak geri dönecektir[6].

3.1. Yazılım mimarisi

Bu bölümde, uçuş benzetim sistemi kapsamında SEL ve ironbird'de kullanılan benzetim yazılımlarının mimarisinden bahsedilecek, uçuş kontrol bilgisayarı yazılım mimarisinden bahsedilmeyecektir. Öncelikle ürün hayatına SEL yazılımı olarak başlayacak olan uçuş benzetim yazılımı mimarisi esnek olarak tasarlanmalı ve daha en baştan ileride geliştirmeye açık olacak modülleri içerisinde barındırmalıdır. Bu modüller, zamanı geldiğinde, SEL-Ironbird füzyonunda canlandırılarak kullanılmaya başlanacaklardır. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise kimi yazılım modüllerinin de sadece SEL'de kullanılmaları sebebiyle SEL-Ironbird füzyonunun ardından körlenmeleri gerektiğidir. Birçok farklı sistemi besleyecek ve aynı zamanda kullanıcıya hem kullanım arayüzü, hem de test arayüzü sağlayacak bu tip bir yazılım oldukça kapsamlı ve bir o kadar da geliştirmesi zor bir yazılımdır. Burada unutulmamalıdır ki, çoklu noktadan kontrol, bu tip bir yazılımın, çözmesi en zor problemlerinden sadece bir tanesidir.

3.1.1. Benzetim çerçeve yazılımı

Benzetim çerçeve yazılımı, 5 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar; Kumanda Modülü, Kullanıcı Arayüzü Modülü, Dış Dünya Görüntüsü Modülü, Aviyonik Benzetim Modülü ve Eyleyici Modelleri Modülü'dür.

Kumanda Modülü: SEL'de bulunan levye, gaz kolu ve yön dümen pedalları ile ironbird'de bulunan gerçek yüzeyler üzerindeki algılayıcılardan alınan komut bilgilerinin anlamlandırılmasını sağlayan bu modül, levye, gaz kolu ve yön dümen pedalı girdilerinin dönüşümlerini, kalibrasyonlarını ve ilgili komponente doğru adreslenmesini sağlayan bir modüldür. Kumanda sisteminde yer alan levye ile uçan platforma, yuvarlanma ve yunuslama hareketleri sağlanmakta, gaz kolu ile ivmelenme ve hız, yön dümen pedal yardımı ile de uçağın düşey ekseni boyunca yalpalama hareketi yapması sağlanmaktadır.

Kullanıcı Arayüzü Modülü: Kullanıcı arayüzü modülü, sistemin SEL olarak hayatına başlamasından itibaren kullanılacak bir modül olup, en önemli özelliği kullanım bazlı modüler yapısı sebebiyle kimi yazılım parçalarının sadece SEL'da, kimi yazılım parçalarının sadece Ironbird ortamında kullanılabilir olmasıdır. Kullanıcıya sistemi kullanmanın yanı sıra, aviyonik benzetimlerin çeşitli hatalarının benzetilmesi, aviyonik ekipman veri yollarının takibi, uçuş kontrol bilgisayarı ikazlarının takibi ve eyleyici, algılayıcı kaybı gibi fonksiyonlara olanak sağlayan bu modül, oldukça karmaşık olmasının yanı sıra, aynen uçaklarda kullanılan uçak el kitabına benzer şekilde detaylı bir kullanım kılavuzu ile birlikte geliştirilmesine dikkat edilmesi gereken bir modüldür. Direkt kullanıcıyı hedeflemesinden ötürü, kullanıcı dostu grafik kullanıcı arayüzleri tasarlanmasına dikkat edilmesi önerilmektedir.

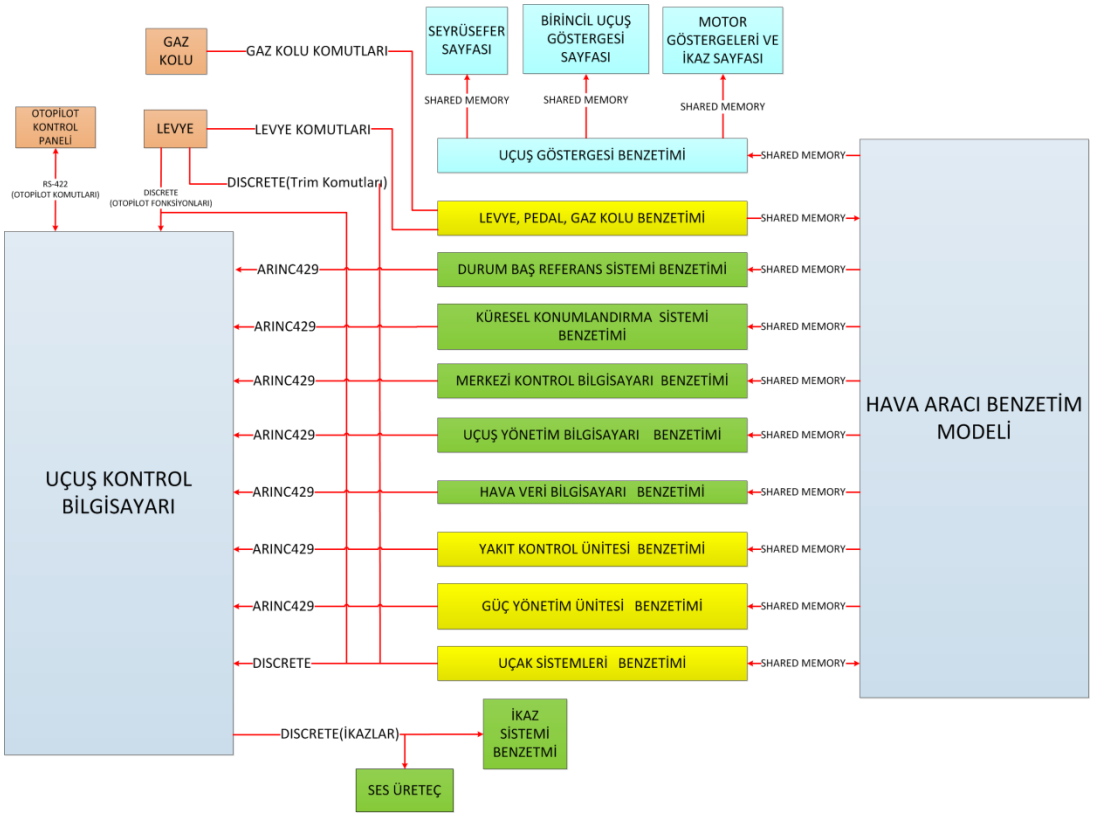
Dış Dünya Görüntüsü Modülü: Özellikle gerçek uçak simülatörlerinde kullanılan benzetim yazılımlarının maliyet ve bakımlarının yüksek oluşu, bu tip yazılımlar yerine açık kaynak kodlu veya ticari dış dünya benzetim araçlarının kullanımını arttırmıştır. Günümüzde en yaygın kullanılan dış dünya benzetim yazılımları; Flight Simulator, Xplane ve Flight Gear'dır. Bu çalışmada ücretsiz ve açık kaynak kodlu olması ve kendi benzetim modelinizin kullanılmasına olanak sağlaması sebebiyle Flight Gear tercih edilmiştir. Grafiksel kalite ve detay olarak diğerlerine göre biraz zayıf kalmaktadır. Dış dünyanın benzetimi amacıyla Flight Gear tarafından oluşturulan görüntü SEL'de bir monitöre, SEL-Ironbird füzyonu sonucu oluşturulan test ortamında bir projeksiyona yansıtılması ile sanal uçuş ortamı oluşturulmuştur. Flight Gear yazılımı, bu görüntüyü oluşturmak için hava aracı benzetim modelinden çeşitli veriler beklemektedir. Bu verilerin benzetim modelinden çıktıktan sonra Flight Gear'ın istediği format ve sıklıkta Flight Gear'a sağlanması işini dış dünya görüntüsü yazılım modülü yapmaktadır.

Aviyonik Benzetim Modülü: Benzetim yazılımının en gözde modüllerinden biri olan aviyonik benzetim modülü, uçak üzerinde kullanılacak olan aviyonik ekipmanların benzetimlerini içerir. Bu benzetimler, hava aracı benzetim modelinden aldıkları verileri aynen uçakta olacağı şekilde uçuş kontrol bilgisayarına sağlamak üzere standart aviyonik veri yolu bilgisine dönüştürür. Burada dikkat edilmesi gereken husus, aviyonik veri yolu parametreleri oluşturulurken uçakta kullanılan gerçek aviyoniklerin arayüz bilgisini birebir yansıtabilmektir[4]. Bu şekilde bir yaklaşım, uçuş kontrol bilgisayarının ileride uçağa takılması durumunda yapılacak delta çalışmanın süresini kısaltacaktır. Aviyonik benzetim modülleri oluşturulurken iki yaklaşım kabul görmektedir. İlk yaklaşım, aviyonik ekipmanın tüm fonksiyonları ile birebir modellenmesi, ikinci

yaklaşım ise aviyonik ekipmanın sadece sağladığı parametrelerin modellenmesi yani bir kabuk yazılım üretilmesi şeklindedir. SEL'ının kuruluş amacının sadece aviyoniklerin entegrasyonu olduğu projelerde, birinci yaklaşım uygulamak daha doğru iken, projenin ilerleyen fazlarında ironbird'ün bir parçası olacak ve sadece uçuş kontrol bilgisayarının entegrasyonu için kullanılacak bir SEL'da, ikinci yaklaşım her anlamda daha faydalı bir çözüm olacaktır. Aviyonik benzetim modellerinin şematik diyagramı Şekil.4'te verilmiştir.

Eyleyici Modelleri Modülü: Proje kapsamında geliştirilen SEL'ı sadece bir bilgisayar ağı üzerinde koşan yazılımlar grubudur. SEL ortamında, gerçek uçuş kontrol yüzeyleri, algılayıcılar ve yük yükleme sisteminin bulunmaması sebebiyle, uçuş kontrol bilgisayarı ve içerdiği algoritmaların geliştirme testlerinin SEL'da koşulabilmesi için, uçuş kontrol bilgisayarı sisteminde kullanılacak eyleyicilerin modellerinin oluşturulması ve benzetim yazılımına entegre edilmesi gereklidir. Eyleyici modeli kabaca uçuş kontrol bilgisayarında koşan yüzey sürücü algoritmasının yaptığı işi yapmaktadır. Ironbird sisteminde uçuş kontrol bilgisayarı sisteminin bir parçası olan gerçek eyleyicileri tasarlayan mekanik sistem tasarımcılarının sanal eyleyici modellerini de tasarlaması ve SEL entegrasyon testlerine katılması modelin doğruluğunun test edilmesi açısından büyük önem arz etmektedir[7]. Bu tip eyleyici modellerinin girdi ve çıktılarının ölçeği ve tipinin çok iyi belirlenmesi gerektiği, tüm sistem tasarımı düşünüldüğünde gözden kaçırılmaması gereken bir hususdur[8].

Bu tip yazılımlar, tek bir bilgisayarda koşabileceği gibi, performans kaygıları durumunda, çoklu bilgisayar kombinasyonlarında da çalıştırılabilirler. Bu tip çoklu PC(personal computer) yaklaşımlarında, yazılım modülleri arasında veri alışverişi sıklığı ve veri paketinin boyutuna göre hangi modüllerin aynı PC'de çalışacağını belirlemek, tasarımcıların gözden kaçırmaması gereken bir hususdur[3].

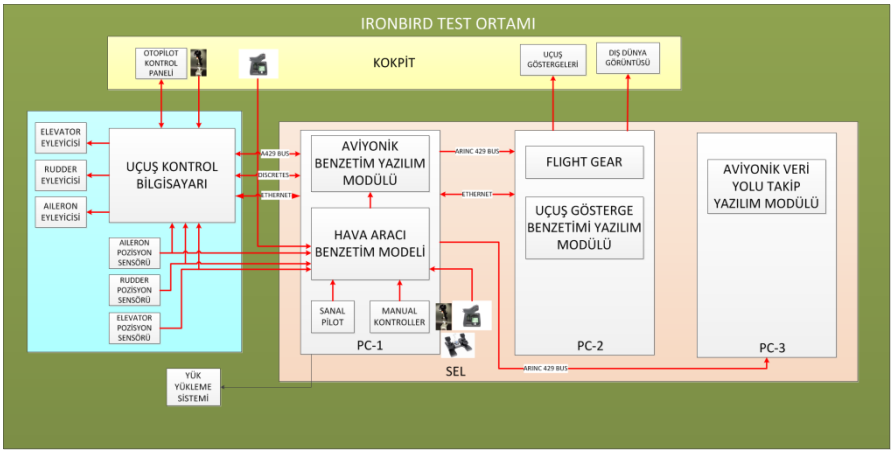


Şekil 4. Aviyonik benzetim modellerinin şematik gösterimi

3.2. Benzetim çerçeve yazılımı ile ironbird uygulaması

Proje kapsamında, sistem gereksinimleri ve fonksiyonel gereksinimlerden elde edilen bilgiler yardımıyla yazılım gereksinimlerinin oluşturulmuştur. Her bir sistemin ihtiyaç duyduğu giden ve gelen mesajlar ile bunların yenilenme oranları belirlenmiştir. Sisteme bağlanacak ünitelerin arayüzü ARINC 429 oluğu için bu arayüzler ile ilgili her bir kanal için bir nesne oluşturulmuştur. Simülasyona gelen kanallar ile ilgili ARINC 429 mesaj formatının çözülerek, mühendislik verisine çevrilmesi sağlanmıştır. Benzer şekilde benzetim modelinden çıkan kanallar içinde mühendislik verisinin ARINC 429 mesaj formatına dönüştürülmesi sağlanmıştır.

Gerçekleştirdiğimiz projede; üç bilgisayarlı PC konfigürasyonu tercih edilmiştir. Bu sebeple benzetim çerçeve yazılımı, bir PC'de koşarken, uygulama yazılımı başka bir PC'de koşmaktadır. Şekil 5'de final konfigürasyon olan Ironbird ortamında kullanılan PC konfigürasyonu ve üzerinde koşan yazılım modülleri görülmektedir. Bu sayede toplam sistem performansı yükseltilmiş ve sistemde testler esnasında PC performansı ile ilgili bir sıkıntı yaşanmamıştır.



Şekil 5. Final konfigürasyon Ironbird ortamında yazılım modül mimarisi

3.3. Ironbird

Sistemin kullanıma başlanmasında önce, kullanıcının tüm komponentlerin, kullanıma hazır olduğundan emin olmasının ardından, pilot komutlarının verileceği test ortamının seçimini zorunlu kılan ve ancak bu seçimlerin doğru yapılması sonucu çalıştırılabilen bir Ironbird gerçekleştirilmiştir. Kullanıcın dilediği uçuş anından başlayabilmesi için Ironbird ortamındaki gerçek uçuş yüzeylerinin test başlangıç (t=0) anındaki konumlarına set edilmeleri gereklidir. Ironbird test ortamında sistemin bu durumuna "trim state" adı verilmiştir. Sistem bu durumda uçuş kontrol bilgisayarının kontrol ettiği eyleyicileri kullanarak yüzeyleri istenen açılara getirmekte ve kullanıcı tarafından benzetim başladı komutu verilene kadar yüzeyleri o pozisyonda tutmaktadır. Bu durumda test edilecek uçuş kontrol bilgisayarı aynı zamanda Ironbird test düzeneğinin bir parçası olarak da kullanılmaktadır.

SEL'nın ironbird'e entegre edilmesi esnasında dikkat edilecek en önemli hususlardan bir tanesi de sistem kablolaması ve oluşturulan kablolamanın doğruluğunun test edilmesidir. İçinde birçok komponent barındıran ve çalıştırılmadan önce davranış biçimi hakkında az bilgi sahibi olunan bu tip hareketli sistemlere, elektrik takati verilmesinden önce, detaylı bir kablolama testi koşulmalı ve eğer mümkünse sisteme elektrik parça parça verilmelidir. Elektrik verilmesi esnasında sistem komponentlerinin davranışı sürekli olarak gözlem altında tutulmalıdır.

Ironbird'de bulunan test istasyonunda bulunan konsol ekranları üzerinden benzetimin başlatılması, durdurulması, test başlanacak trim koşullarının seçimi, hava şartlarının değiştirilmesi, uçak üzerine çeşitli yönlerden ani rüzgarların uçak üzerine uygulanması sağlanarak, algılayıcı kaybı, eyleyici kaybı ve aviyonik ekipman kaybı gibi senaryoların sisteme girdi olarak verilebildiği bir test ortamı gerçekleştirilmiştir.

4. UYGULAMA VE SONUÇ

Bu uygulamanın sonunda, hem gerçek RAHAT (Rafta Hazır) aviyonikleri, hem de benzetimlerini kullanarak, hem insan makine arayüzündeki en temel öğelerin yetkinliklerinin gösterimini mümkün kılan, hem de aviyonik entegrasyonun

doğrulanmasında yararlanılan ve en önemlisi fly-by-wire bir uçuş kontrol sisteminin geliştirme ve doğrulama testlerinin koşulabildiği bir Ironbird sisteminin tasarlanması ve imalatı tamamlanmıştır.

Tasarım sürecinin başında, hava aracının mimarisi detayları ile incelenmiş ve bu mimariye, proje amaçlarına, temel mühendislik prensiplerine ve görevlendirmelere uygun biçimde bir sistem gereksinimleri dokümanı yazılmış, görüşler ile düzeltilmiş ve yayınlanmıştır. Daha sonra bu gereksinimler ve hava aracı mimarisi ışığında, aviyonik donanımların da arayüz kontrol dokümanlarından yola çıkarak kablolama tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Sistemin öncelikle uçuş kontrol bilgisayarı dahil şekilde bir SEL ortamı olarak montajından sonra, yazılım hataları ile donanım hatalarını birbirinden izole etmek amacıyla, geliştirilen benzetim arayüz yazılımı devreye alınmadan evvel, hem kablolamanın testleri hem de donanımın kurum içindeki yazılım entegre edilmeden ticari yazılımlarla test edilmesi süreci gerçekleştirilmiştir. Böylece donanım ve kablolamanın yeterliliği yazılımın entegrasyonundan evvel doğrulanmıştır. Bu süreci takiben yazılım ve donanımın birlikte çalışabilirliği denenmiş, yazılımda ve donanımda çeşitli konfigürasyonlar ve düzeltmeler yapılmıştır. Ayrıca yabancı ya da yerli kullanıma hazırlık amacıyla, montaj, entegrasyon, kullanım ve arıza tespiti başlıklarını da içeren bir kullanma kılavuzu yazılmış ve yayınlanmıştır. Şekil 6'da sistemin entegre edildiği uçak gövdesini de içeren çalışır haldeki Ironbird test ortamı fotoğrafları görülmektedir.

Çalışmanın içeriğinden anlaşılacağı üzere, oldukça maliyetli bir iş olan Ironbird kurulumu ve fly-by-wire uçuş kontrol bilgisayarı geliştirilmesi, makul bir planlama ve in house yazılım geliştirilmesi ile olabilecek optimum bütçede gerçekleştirilmiştir.

Şekil 6. Ironbird test ortamı.

İleride yapılacak uçuş kontrol bilgisayarı geliştirme ve Ironbird test ortamı kurulumu gibi çalışmalara ışık tutacağını düşündüğümüz bu çalışmada edinilen deneyimler, halen şirket içi eğitimlerde, şirket bünyesinde çalışan diğer mühendislerle paylaşılmaktadır. Bu proje kapsamında, benzetim yazılım ve sistemlerinin mimarileri ile ilgili ciddi

tecrübe kazanılmıştır. Ironbird ortamı uçuş kontrol bilgisayarı ve oto pilot geliştirilmesi çalışmalarında halen aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

Teşekkür

Kolaylıkla tahmin edilebileceği gibi, bu ölçekte bir projeyi, çok sayıda mühendis hayata geçirmiştir. Burada tüm proje ekibinin isimlerini vermek, yer sıkıntısı sebebiyle mümkün değildir. Yazar başta yöneticileri olmak üzere, projede emeği geçen tüm TAI çalışanlarına teşekkürlerini sunar.

5. KAYNAKÇA

[1] V.R. Schmitt, G.D. Jenney, J.W. Morris. (1998), Fly-by-Wire: A Historical and design perspective, SAE Books.

[2] R.P.G Collinson. (2003), Introduction to avionics systems, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

[3] Y. Kaygusuz, K. Ozel, T İnal. (2011), Dağınık aviyonik mimariler için küçük ölçekli bir uçuş gösterge simülatörü tasarımı uygulaması, *Proceedings of Ulusal Simülasyon ve Modelleme Konferansı*, ODTÜ, Ankara.

[4] T. İnal. (2014), A Full scale ironbird application: footsteps of an autopilot, *Proceedings of 7th TAI Aviation and Avionics Seminar*, METU, Ankara.

[5] A. Helfrick. (2007), Principles of avionics, Avionics Communications Inc. Leesburg, VA, ABD.

[6] E. Kleemann, D. Dey, M. Recksiek. (2000), The Development of a civilian fly by wire flight control system, *Proceedings of ICAS Congress*.

[7] M.A. Bromfield, G.B. Gratton, M.S. Young. (2015), The Effects of stick force gradient on pilot mental demand, *Proceedings of AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, Kissimmee, Florida, USA.

[8] T. Berger, M.B. Tischler, S.G. Hagerott. (2015), Piloted simulation handling qualities assessment of a business jet fly-by-wire flight control system, *Proceedings of AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference*, Kissimmee, Florida, USA.

MODELLEME VE SİMÜLASYON KAVRAMININ TEKNOLOJİK VE SOSYOLOJİK ETKİSİNİN İRDELENMESİ

S. Vedat Karaarslan

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Üniversiteler Mah. Dumlupınar Blv. No:1, 06800 Çankaya/Ankara
kvedat@metu.edu.tr

ÖZ

Gerçek sistem ve erişimin kolay olmaması, yapılacak deneyin tehlikeli veya rahatsız edici olması, analitik çözüm tekniklerinin olmaması, sistemin çok yavaş veya hızlı olması ile ekonomik fayda sağlaması açısından devingen modellerle amaca yönelik deney yapmak olan simülasyon veya benzetim (Ören,1985),ekonomik açıdan ülkelerin kalkınması ve endüstriyel model tasarımına yönelik düşünsel yönden eğitime olumlu katkısı nedeniyle ilköğretimden itibaren bazı gelişmiş ülkelerde okullarda yardımcı ders materyalı olarak kullanılmaktadır. Diğer yandan sosyolojik açıdan insanlar, yaşamları boyunca çoğu kez gerçeği gizlemeye (dissimuler) çalıştıklarından yaşam, sanat, yeniden üretim bağlamında ekonomi ve teknolojik yönden bir zihinsel 'Simülasyon Evreni' sunar.(Baudrillard,1981) Buna göre bütün açıklık ve anlaşılırlığı ile bilgisayar yazılım dilleri ile kodlanıp görselliğe dönüştürülmesinden ve istendiğinde müdahaleye açık olmasından dolayı simülasyon, gerçekleşmesini istediğimiz kavramlar olarak gerçek,gerçekler ise sosyolojik yönden değiştirilemez kodlara sahip olduğu için simülasyon olarak algılanır.Bu açıdan simülasyon,sanatsal yönüyle sinema,sosyal ilişkilerde kitle iletişim araçlarıyla yaşam tarzlarını değiştirme,yeniden üretim düzeni içinde küreselleşme ile uluslararası üretim kaynaklarını artırma ve endüstriyel alanda yeniden gösterim olarak tanımlanır.Olmayanı varmış gibi gösterme yöntemi olan 'simülasyon' ve 'simülakr' olarak adlandırılan cansız maddelerin kendiliğinden veya canlıya benzer biçime dönüştürülerek model olarak görselleştirilmesinin toplumlar,dolayısıyla bireylerin gelişimine etkisi yadsınamaz.Bu makalede modelleme ve simülasyon kavramının eğitim ve öğretimde kullanımının düşünsel yönden tasarıma olumlu katkısı ve toplumsal yaşam felsefesi açısından gerçeklik ile ontolojik bağının disiplinler arası ilişkisi tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Benzetim, Dissimuler, Simülakr, Simülasyon, Ontoloji

INVESTIGATION OF THE SOCIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL EFFECTS OF MODELING AND SIMULATION

ABSTRACT

Simulation, which is experimenting with models when there is not a real system, the experiment is dangerous or disturbing, there is not an analytical solution technique or there is an economical benefit, is used by developed countries as teaching materials in schools. On the other hand, people, who try to hide the truth many times in their lives (dissimuler), present a mental 'Simulation Universe' (Baudrillard, 1981). According to this, simulation is sensed as reality because it can be changed using software when desired and reality is sensed as simulation because it has the sociologic codes which cannot be changed. In this sense simulation is used to change the lifestyles of the people by using mass communication tools and improve production sources. Simulation's, which means to show something that is not, and simulacre's, which is visualizing inanimate materials, effect on people's development cannot be denied. In this article the effects of modeling and simulation on education, design in a spiritual sense and life philosophy will be discussed.

Keywords: Simulation, Simulacre, Dissimuler, Ontology

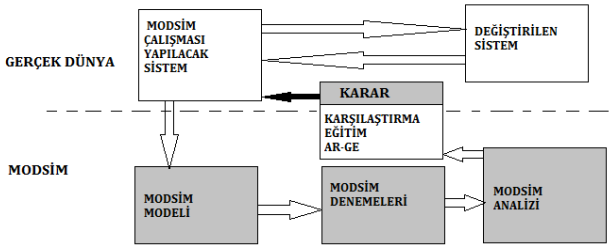
1. GİRİŞ

Disiplinler arası bir bilim dalı olarak teknolojik olduğu kadar sosyolojik alanlarda da birbiri ile ontolojik temelde bağı bulunan modelleme ve simülasyon (MODSİM) ya da benzetim bazı gelişmiş ülkelerde kritik teknolojiler sınıfında değerlendirilmektedir.[1] Özellikle yeni nesil telekomünikasyon altyapılarının giderek nesne tabanlı bir iletişim teknolojisine yönelmesi ile önümüzdeki on yıl içinde değişeceği düşünülen gerçek yaşam [2], simülasyon programlarındaki etmenlerin birbirleri ile etkileşimi sonucunda ortaya çıkan bütünsel davranış modeli ile benzer özellikler ve ontolojik bir ilişki ortaya koyarken MODSİM sistemleri gelişmiş ülkelerde eğitim alanında okullarda bir eğitim aracı olarak kullanılmaktadır.[3] Bir başka uygulama alanı olarak simülasyon kavramının sosyolojik kuramını tanımlayan ve oluşturan Baudrillard, 19.yüzyılda yüceltilen ‘anlam’ kavramının 20. yüzyılda yok edilerek gelişmiş ülkelerin bir ‘simülasyon evreni’ içinde gerçek yaşamlarını sürdürdüklerini bundan dolayı bu ülkelerdeki gerçek yaşamın esas olarak simülasyon, simülasyon amaçlı yapılan tüm çalışmaların ise ‘nesne kontrollü insan’ modelini ortaya koymasından ötürü gerçek olduğunu söyler. Gerek teknolojik gerekse sosyolojik tanımı gereği olarak her iki yaklaşım arasındaki ilişki, MODSİM sistemlerinin disiplinlerarası uygulanabilir bir yöntem olarak ontolojik yönden incelenmesi gerekliliğini ortaya koyar. Dolayısıyla

merkezinde insanın olduğu MODSİM sistemlerinin bir yandan eğitime, diğer yandan sosyolojik olarak yeni bir toplum düzenini ortaya çıkaracak olması açısından insan davranışlarının bu teknolojilere uyumluluğu açısından irdelenmesi gereken bir husus olarak görülmesi gerekliliği bu bildirinin ana temasını oluşturmaktadır.

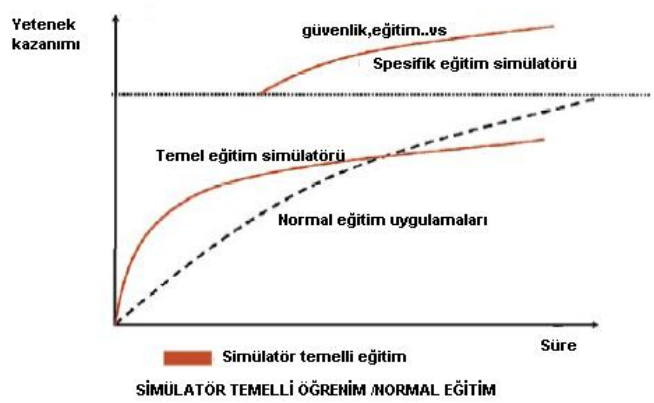
2. MODSİM TEKNOLOJİLERİNİN GEREKLİLİĞİ?

Teknolojik gelişme ve küresel rekabet ortamı firmaların ürettikleri ürün veya verdikleri hizmetin 'hızlı, etkili, kaliteli ve maliyeti düşük' olması gerekliliğini ortaya koyar. Kaliteli ve müşteri memnuniyetinin sağlanması firmaların diğer firmalar karşısında fiyat rekabetinde de öne çıkaracak bu tür çalışmalar çalışmalar, ürünlerin veya servislerin neler olduğundan öte bunların nasıl gerçekleştirildiği ile ilgilidir. Müşteri odaklı üretim yapılmadan müşteri beklentisinin üstünde fiyat, daha az çeşit ve kalitesizlik, şirketlerin ticari yaşamlarının sürdürmesine imkan tanımaz. Bu sorunların tamamını çözebilmenin yolu, sistemde hızlı ve yerinde değişiklikler yapmaktan geçer. Sistemdeki sorunların nedenlerini bulmak ve bunları ortadan kaldırabilmek için sistem içinde birbirinden bağımsız gibi görünüp fakat aslında bir bütün olarak çalışan tüm elemanların arasında nasıl bir ilişki olduğunu hangi parametrelere duyarlı olduğunu, belirli değişikliklere nasıl tepki verdiğini incelemek ve anlamak gerekir. Sistemini iyi tanıyan tecrübelerine dayanarak çözüm bulmaya çalışan mühendis ve yöneticiler bunu belirli sınırlar içinde yapabilirler ancak bu tip yaklaşımlar sistem üzerinde beklenilen olumlu etkiyi yapmayabilir ve eğer bir yatırım yapılmış ise bunun geriye dönüşü mümkün olmaz. Risk taşımayan, yatırım yapılmadan önce yapılabilecek değişikliklerin sonucunu bize gösterebilen ve sorunların tümünü önceden görebilmenin yolunu sağlayabilen teknolojik gelişmenin desteği ile MODSİM sistemleri çok önemli bir yer tutar. Bu yöntemin kısaca tanımı, teoriksel ya da fiziksel bir sisteme ait neden sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan modelleme teknolojisi olarak yapılabilir. Yöntem ile herhangi bir ürün veya hizmetin sonuç ve işleyişini tahmin etmek, gözlemi yapılan sonuçların nedenlerini ve yatırım öncesinde sorunlu alanları belirlemek, değişikliklerin etkilerini ortaya çıkarmak, değişikliklerin bulunmasını sağlamak, öneri ve fikirlerin verimsizliklerini belirlemek, yeni düşünce ve gelişmeleri teşvik etme ve planların bütünlüğü ile fizibilitesini test etmekte kullanılmaktadır. MODSİM uygulamaları gerçek dünyadaki herhangi bir olay ya da ürünün benzerinin sanal dünyada oluşturularak kıyaslama, Ar-Ge çalışması ve eğitim yapılarak üretimine **'karar'** verilmesini sağlayacak alt yapılara yönelik yapılır.



Şekil 1- Gerçek Dünya ve MODSİM ilişkisi (Jacoby&Kowalik, 1980)

MODSİM uygulamaları teknolojik yönden insan ve ekipman modellerinin görüntülendiği (savaş oyunları gibi) bilgisayar programları olarak yapısal (constructive), insan ve operasyonel şartların aslına uygun olarak oluşturulduğu simülasyon olarak canlı (live), insanın gerçek olarak içinde bulunduğu ekipman ve çevrenin sanal olarak görüntülendiği simülasyonlar.(uçuş simülatörleri veya insan kontrollü araç kullanımı) sanal (virtual) ve Local Area network (LAN) veya Wide Area Network (WAN) üzerinden High Level Architecture (HLA) standartları veya internet tabanlı standartlar kullanılarak simülasyon programı dağıtık veya ağ standartlı olarak uygulanabilir. Kısaca düşün–simülasyon **ve** modelleme yap-gerçekleştir kavramının karşılığı olarak ortaya çıkan disiplinlerarası çözümlerin tümünü ilgilendiren MODSİM bir üretim zincirinden çıkacak ürünün üretim öncesindeki düşüncelerin kullanılması ile ortaya çıkacak ürünün önceden risk analizinin belirlenmesi için uygulanacak en iyi yöntem olarak gerçek dünyanın sanal dünya kullanılarak tasarlanması olarak tanımlanır. Ürünün verim/kalite/gelirleri artırmasına yönelik etkenlerinin ve bu ürünleri sevk ve idare edecek eleman gereksinimini ortaya koyan kolaylıklar sağlayan MODSİM uygulamaları bu yönden bakıldığında üretimde ekonomiklik sağlar. Akış diyagramı çizilebilen her sisteme uygulanabilen MODSİM uygulamaları örneğin bir TV alıcısının parlaklığını artıracak bir komponentin ilavesinin önceden simülasyon ve modelleme uygulamaları ile tespit edilmesi, bir şehir planının yerleşim, trafik, çevre ve diğer etkenlere göre önceden belirlenmesi, bir metro sisteminin işletilmesine yönelik uygulamaların önceden belirlenmesi, depremlere karşı önlemler alınmasına yönelik uygulamaların kamu projeleri olarak uygulanması, nükleer programların uygulanmasında olası tehlikelerin önceden belirlenerek önlem alınması gibi alanlarda uygulanabilir. Oyun teknolojileri (gamification) sektöründe ise kullanıcıların eğitim ve öğretim amacıyla herhangi bir uygulamaya göre yazılmış PC veya video oyunları yeni bir kavram olarak eğlenirken öğren (edutainment) adı altında simülasyon oyunları uygulamasıdır. Kişiye yönelik simülatör kullanılarak yapılan eğitimin normal eğitim yapılan uygulamalardan çok daha hızlı yetenek kazanımı sağlaması, kullanıcının ekranda görmüş olduğu video ve işitsel olarak ses simülasyonlarına ‘bak ve hisset’ temelli olarak eğitilmesi amacını taşıması açısından normal eğitim uygulamalarından daha yüksek avantaj sağlar. (Şekil 2)



Şekil 2- Simülatör temelli ve normal eğitim uygulamalarının karşılaştırılması.

(Ac), simülatör olmadan bir sistemin kullanılarak o sistem üzerinde alınacak eğitimin maksimum süresi, (As) simülatör kullanılarak aynı performansın elde edilmesi için geçen süre ve (S) ise bir oturum için geçen simülatör süresi olmak üzere simülasyondan elde edilecek verimlilik TER (Transfer Effectiveness Ratio)

$$TER = \frac{A_C - A_S}{S} \qquad (1)$$

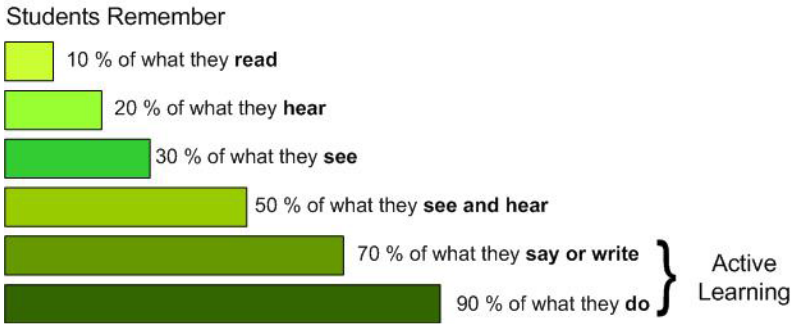
olarak belirlenir. [4] Örneğin bir uçağın kullanımı için simülatör kullanılmadan alınabilecek uçak üzerinde alınması gereken eğitim süresi Joint Aviation Authorities (JAA) verilerine göre 50 saat ise, aynı performansın simülatör kullanılarak elde edilmesi için alınması gereken eğitimin süresi 25 saat ise, bu durumda bir simülatörün 1 saat kullanım süresinde simülatörden (1) eşitliğinden (50-25/1)= 25 kat verim elde edilir.

Kurumsal İşletilebilir Mimarilerde olduğu gibi MODSİM uygulamaları örneğin herhangi bir kriz durumunda (terörist saldırı, deprem veya savaş durumu) kritik hizmetler vermekte olan organizasyonlar arasında güvenli ve hızlı olarak bilgilerin paylaşımını sağlayan uygulamalar olarak gerçekleştirilebilir. Kurumlar kendi ‘kurumsal mimariler’ ini ‘enterprise architecture’ oluşturarak Bilişim Teknolojileri gereksinimleri ile yatırım kararlarını belirleyerek bir olay karşısında kaynakların bu organizasyonlar arasında ilişkinin belirlenmesini kriz çıkmadan önce simülasyonunu yaparak kriz oluşumundan sonraki zararların minimize edilmesine yönelik önlemlerin alınmasını sağlar.

3. EĞİTİMDE MODSİM KAVRAMININ YERİ

Devingen (dinamik) modellerle amaca yönelik deney yapmak (Ören, 1985) olarak tanımlanan simülasyonun okullarda eğitim ve öğretim açısından bir gereç olarak kullanımı en yüksek aktif öğrenme yüzdesi olan %90 seviyesine ulaştırılmasından dolayı çok önemlidir. (Gladstone, Vallerand, 2006).

Tablo 1- Simülasyonun eğitimdeki önemi



(Gladstone, Vallerand, 2006).

Sadece okuma kişiye %10 öğrenim düzeyi sağlarken konuşma ve yazmaya dayalı öğrenme %70 ve işi deneysel olarak yapmak ise %90 oranında bir öğrenme düzeyini kişiye kazandırır. (Tablo 1)

Bilinmeyen bir coğrafyada yapılacak bir askeri operasyonda başarıya ulaşılmasında önemli yer tutan MODSİM uygulamalarında 'Aktif Öğrenme' seviyesine ulaşılmasına örnek olarak ABD ordusunun bu teknolojileri en fazla kullanan ülkelerin başında olmaları ile açıklanabilir. Birinci Körfez savaşında (1991) Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere kuvvetlerine ait Bradley ve Abrams tankları ile Irak Devrim Muhafızlarına ait T-72 tankları arasındaki çatışmada, T-72 tanklarının yok edilmesi ile sonuçlanan Battle of 73 Easting muharebesinde Amerikan ve İngiliz kuvvetlerinin başarısı, orduların hangi taktiği uygulayacaklarına yönelik uygulamaları daha önce çöl fırtınası (Desert Storm) adlı bir simülasyon oyununda oynamış olmalarıdır. [5] Yine Irak kuvvetlerinin 1993 yılında Suudi Arabistan sınırını kapatmaları üzerine Irak'ın karadan karaya fırlatılan Rus yapımı SCUD füzelerine karşı ABD deniz güçleri Faststrike füzeleri ile cevap verirken kara güçleri de SCUD yuvalarına karşı ATCM (Advanced Technology Cruise Misssile) füzeleri ile destek atışları yapıyor ve Zen Regard adlı bu operasyondaki başarıları da koalisyon güçlerinin bu harekatı daha önce MODSİM sistemleri üzerinden eğitim alarak tecrübe etmeleri sayesinde olmuştur. [6] Her iki simülasyon da DIS (Distributed Interactive Simulation) standartına dayalı ileri donanımlı bilgisayarlar ve yazılımlar, bilgisayar ağları, bilgisayar grafik ve teknolojileri ile ve muharebe alanında eş zamanlı (on-line- real) ve daha önce bu tip operasyonların yapıldığı (recorded for history) eğitim simülasyonlarının kullanımı ile gerçekleşmişti. DIS teknik olarak bir tank, uçak, gemi gibi unsurlar ile teçhiz edilmiş çeşitli yerlerdeki simülatörlerin örneğin savaş alanındaki gerçek dünyadaki eşlenikleri ile yüksek hızlı bir ağ altyapısı üzerinden etkileşim halinde bulunmalarını sağlayan bir standart olarak askeri personele sanal bir dünya yaratarak gerçek bir savaş alanının nasıl yönlendirilebileceğine yönelik olarak eğitim ve tecrübe kazanımlarını gerçekleştirmiştir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında bir MODSİM üssü olarak deneysel medya çalışmaları ile gerçekliği birleştirme üssü olarak seçilen Florida'nın Orlando kenti ile

ilişkili olarak MIT ve Stanford Araştırma Laboratuvarları, Program Executive Office for Simulation Training and Instrumentation (PEO STRI), Deniz Akademisi Modeling, Virtual Environments and Simulation (MOVES) ile eğlence sektörleri olarak Universal Stüdyoları, Canon ve Nickelodeon firmalarının Pentagon tarafından finanse edilerek 'savaş dışında her şey simülasyondur' [7] yaklaşımı ile MODSİM teknolojilerinin kullanımının ABD ordusundaki savaş alanındaki yukarıda izahını yapmış olduğumuz ordunun vurucu gücünün artırılması açısından önemlidir. [8]

MODSİM teknolojilerinin okul eğitimlerinde bir araç olarak kullanımı ABD' ndeki orta eğitim kurumlarında yayılımı bir teşvik politika ve stratejisi kapsamında yürütülmektedir. National Training and Simulation Association (NTSA), ABD' nde fen ve matematik eğitiminin krizde olduğunu ve bunun aşılabilmesi için Science, Technology, Engineering, Mathematics (STEM) [9] gibi alanlarda yapılması gereken çalışmaları rapor halinde yayımlamıştır. Amerikan öğretim elemanları girişimi olarak da bilinen bu program kapsamında 'The Interservice/Industry Training, Simulation and Education Conference (I/ITSEC)' konferanslarında [10] lise ve üniversite öğrencilerinin MODSİM alanında özellikle ciddi oyun teknolojilerinin uygulanmasına yönelik projeler teşvik edilerek, MODSİM teknolojilerinin orta eğitimde de kullanımı bu programlar kapsamında özendirilmektedir.[11]

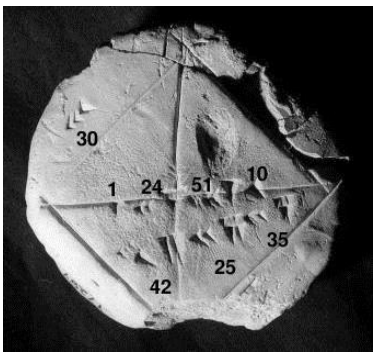
4. MODELLEME VE SİMÜLASYON KAVRAMININ KÖKENİ

İnsanlık tarihinde model oluşturma fikrinin başlangıcı günümüzden 34.000 yıl önceye tarihlenen Üst Paleolitik Çağ döneminde Almanya'daki Hohlenstein-Stadel'de bulunan mamut dişinden yapılmış aslan başlı insan vücutlu bir heykelciktir. [11] Üç boyutlu hazırlanan bu tip modellerin gölgelerinin mağara duvarlarına düşürülerek hareket oluşturmak üzere sekans halinde çizilen genellikle av sahnelerinin tasvir edildiği resimler, mağara sanatı olarak aynı çağa tarihlenen Güney Fransa'daki Chauvet Mağarası'nda duvara izleyene hareket hissi verilmek üzere çizilen at tasvirlerinin yanında, daha geç dönemlerde bulunan mağaralarda ise karşımıza nesnelerin kuramsal bilgisine bağlı kalınmaksızın desenleri çok da belirgin olmayan çizilen soyut modeller olarak karşımıza çıkar. [12]

Şekil 3. Chauvet Mağarası hareket izlenimi verilerek çizilen at sahnesi [13]

Bu mağaralarda çizilen resimlerdeki desenlerin gölge yansıtma ilkesi ile prehistorik çağ insanlar tarafından çizilmesi ile elde edilen ima yoluyla benzerlik gösterme anlamında simülatif görselliğin tarih öncesi insanlarda oluşturduğu anaformik etkinin hareket yakalama (motion capture) teknolojileri ile canlandırılarak görselleştirilmesi, modelleme ve simülasyon olanakları ile araştırılması önerilmektedir. [14] Tarih öncesinden günümüz modern toplumlarına kadar uzanan bu gösterge (semiyolojik) yaklaşım nesnenin bir model olarak canlıya dönüşmesi olarak tanımlanan simülakr'a dönüşmesi ile benzer özellikler taşır. Prehistorik insanın toplumsal düşünce tarzı ile bu tip modelleri mağara duvarlarında bir olayın simülasyonu [15] olacak şekilde çizmesi sosyolojik anlamda seçmiş olduğu nesnelere yüklemiş olduğu anlamın canlandırılması bir 'simulakr' dır.

Bir simülasyon programındaki matematikleştirmede olduğu gibi bilim devriminin önemli bir unsuru olarak görülen 'doğanın matematikleştirilmesi', antik çağ filozofları Platoncu ya da Pisagorcu bakışa dayandırılmışken kavramsal modeldeki varlıklar (entity) arasındaki fiziksel ve bazen de niteliksel ilişkiyi ortaya koyan $a^2+b^2=c^2$ gibi analitik geometri teorilerinin temeli bu dönemlerden de önce bir dik üçgenin kenarları arasındaki ilişkinin tanımını Babil kil tabletlerinde [16] görmek mümkündür.



Şekil 4. Babil Kil Tableti (YBC 7289, m.ö. 1900)

Bu tabletler içinde √2 tableti olarak bilinen (Şekil 4) kare bir geometrik şeklin bulunduğu tablette Babillilerin kullanmış oldukları 60 lık sayı sistemine göre 1;24,51,10 değerinin karşılığı √2 nin eşiti olan 1.414213562 değerine karşılık olarak 1. 414212963 değeri tablet üzerinde çivi yazılı olarak okunmuştur. Bu tablet üzerindeki karenin köşegenlerinin hesaplanması için $\sqrt{30^2+30^2} = 30\sqrt{2}$ elde edilir ki bunun da 60 lık sistemdeki karşılığı 42;25,35 tablet üzerinde okunmuştur. Buradan Babillilerin günümüzde bir üçgende dik kenarların karelerinin toplamının hipotenüsün karesine eşit ($a^2+b^2=c^2$) olması olarak bilinen Pisagor (m.ö. 570) teoremini yaklaşık 1300 yıl önceden bildikleri ve günümüzde çözümlerin istatiksel analizlerinin yapılması için gerekli olan karekök işlemine vakıf olduklarını ortaya koyar. [17]

Prehistorik dönemler ile birlikte antik çağ felsefe ekolunun temsilcilerinden Platon'un 'Platon Katıları' olarak adlandırılan çokyüzlülerinde doğayı tanımlamak üzere toprak, su, hava ve ateş olarak bilinen dört elementin geometrik modellerinde tanımlanmıştır. Antik çağ analitik geometricilerinden Öklid' in öğrencisi olan Pergeli Apollonius' un bir merminin uçuş hareketinin bir parabol olacağını ilk öneren kişi olarak günümüzde daire, elips, parabol ve hiperbol olarak adlandırdığımız ve modelleme ve simülasyon sistemlerinde kullanılan konveks çokyüzlü modellerdeki yüz, ayrıt ve köşe sayıları arasındaki kartezyen koordinatları teorisini [18] ilk kez ortaya koyan Descartes ve çok yüzlüleri sınıflandırarak katı cisimlerin dönme teoremini orta koyan Euler, aynı zamanda 6 serbestlik dereceli (Degree Of Freedom) bir simülatör sistemindeki hareket zarfı ile bir bilgisayar animasyonundaki katı cisim simülasyonundaki (rigid body simulation) hareketlerin matematiğini tanımlar. [19] Cismin özünü sertlik, ağırlık, renk değil ancak uzam olmaksızın cisim tanımlanamaz diyerek bilimsel olaylarda modellerin devinimlerinin matematiğini ilk kez ortaya koyan Descartes' in modelleme ve simülasyon sistemlerinin temeli olan analitik geometri veya koordinat geometrisini şekil, hareket ve uzam bütün cisimler başka bir cisim onun konumunu değiştirmediği sürece, bulunduğu durumda kalır, harekette olan her cisim, hareketine doğru bir çizgi doğrultusunda devam etmeye çalışır ve harekette olan bir cisim kendinden daha güçlü olan bir şeye rastlarsa, hareketinden bir şey kaybetmez, ancak harekete geçirebileceği kendinden daha zayıf bir cisimle karşılaşırsa, ona verdiği kadar kendi hareketinden kaybeder şeklinde modern bilimin ilk kavramsal tanımlarını yaparak kartezyenizm ilkesini ortaya koymuştur. Descartes' in bu teoremlerini örneğin bir su üstü platformunun matematiksel modelini tanımlamak için cismin x-, y-, z- eksenindeki pozisyonunu ve hareketini, platformun oryantasyonu ve dönme genel hareket denklemlerinin yazılması olarak modelleme ve simülasyon sistemlerinde görmek mümkündür. [20]

5. MODSİM KAVRAMININ SOSYOLOJİDEKİ ANLAMI

Teknik anlamı dışında simülasyon kuramı gizlemek (dissimuler), işlevini sahip olunan şeye sahip değilmiş gibi yapmak, simülasyon yapmayı ise (simüle etme) sahip olunmayan şeye sahipmiş gibi yapmaktır şeklinde tanımlanmaktadır. [21] Gerçek, Platon' un mağara alegorisine göre [22] yüzleri mağara duvarına sırtları mağara kapısına dönük olarak kapıyı görmeden yıllardır yaşamlarını sürdüren insanların mağara kapısından geçen nesnelerin duvara düşen gölgelerinden ibaret olmadığının anlaşılması kadar ' simülasyon' unda sonuç olarak 'mış' gibi yapmak (feindre) ya da gizlemenin gerçeklik ilkesine zarar vermeden ancak gerçekle gizlenmeye çalışılan arasında bir fark olarak ortaya çıkan bir anlamının olması gerekir. Teknik olmayan simülasyon 'gerçekle' 'sahte' arasındaki mesafeyi yok etmeyi çalışmak olarak tanımlanmakta örneğin bir hastalığın simülasyonunu yapan kişiyi kendinde bu hastalığa ait semptomlar görülen kişi olarak tanımlanır. Kelime kökeni olarak simülasyon, 14. Yüzyıldan bu yana kullanılmakta olan Latince taklit etmek anlamındaki 'simulare' den üretilmiş ve teknik

alanda [2 ve 3. bölüm] anlamı ‘benzetim’ teknik olmayan sosyolojik anlamı ise ‘sahte’ ‘yalancı’ olarak tanımlanır. (Ören, Elçi ve Köksal, 1985). Baudrillard' a göre simülasyon kuramının teknik anlam dışındaki sosyolojik tanımına göre 'simülasyon evreni' ‘yalancı-sahte evren’ olarak nitelendirilir. O'na göre simülasyon 'gerçekle-sahte' ve 'gerçekle-düşsel' arasındaki farkı yok etmeye çalışan ve tanım olarak yaşamın bütün gerçekleridir. Buna neden olan kanıt ise ideolojik, politik, felsefi, kültürel anlamda özelliğini yitiren ve tükenmişlik sendromuna giren maddi anlamda ekonomisi güçlü günümüz uygarlıklarının ‘maddi’ anlamda sahip olduklarını yitirmemek için bu tükenmişliği ‘dissimuler’ etmeye çalışması nedeniyle ‘simülasyon evreni’ de bu tükenmişliğin ‘gizlenmeye’ çalışıldığı bir evren olarak tanımlanmaktadır. [23]

Ciddi Oyun (serious game) teknolojilerinde kullanılan nesnelerin veya doğadaki cansız maddelerin bir model olarak canlı hale gelmesi olarak tanımlanan Simülakr (simulacre) ise zaten kendisi kopya olan bir maddenin kopyası olarak insanın bireysel davranışlarını etkileyen bir tanımlama olarak örneğin TV ekranından bir savaşı canlı olarak izleyen bir insanın TV yi kapattığı anda savaşın gerçekte devam ediyor olmasına rağmen kendisi için bittiğini düşünmesi olayı olarak tanımlanır. Bu durum 'gerçek yaşamın' simülasyon evrenine dönüştüğünün bir kanıtı olarak sosyolojik açıdan simülasyonun 'yalancı-sahte evren' olarak tanımlanmasının bir kanıtıdır. Bu tanımlamalara dayanarak insanların davranış modelini negatif etkileyecek sosyal medya ortamlarında adeta görsel resim ve iletişimin bir tezahürü olarak ‘gerçeğin’ bizzat kendisi olan 'piksellerin’ egemen olduğu yeni bir yaşam tarzının sanal ortamda gerçek yaşamın bir simülasyonu olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve bu simülasyon evreni içinde her şeyin sahte-yalan olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle daha çok sosyal medya üzerinden ortaya çıkan sanal ortamdaki piksel dünyası içinde yaşam tarzının benimsenmesi ‘gerçek’ olduğunu zannettiğimiz yaşamımız üzerinde dominant bir etki ile onu yönlendirir.

6. MODSİM KAVRAMININ SOSYOLOJİK ETKİSİ

Sosyolojik anlamda kullandığımız nesneler, işlevsel olarak otomatik hale gelerek insan bilincinin akıldışı olarak yansıtılması olarak tanımlanırken makineden makineye iletişim (M2M) 5G (5th Generation) mobil haberleşme sistemleri üzerinden IoT (Internet of Things) olarak bilinen ‘nesnelerin interneti’ dönemi 2020 yılından itibaren insan yaşamında gerçeklik olarak algılanmak istenen bir görünüm olarak sosyolojik açıdan simülakr tanımına uygun bir yaşam tarzının ortaya çıkmasına neden olacaktır.Bu süreç şizoid özelliklere sahip bir toplumsal yapıda hiperişlevlilik olarak nesnelerin anlamlarını yitirerek bir 'gadget' kuşağının ortaya çıkmasına neden olacağı öngörülmektedir.[24] Gerçeklik, burada artık sona ermiş ve hiper gerçeklik seviyesinde simülasyon ile gerçeklik iç içe geçerek iletişim aletleri olarak 5G teknolojisinin dayandığı ‘algılayıcılar’ ‘sensörler’ sayesinde simülakr haline gelmiştir. İnternet kullanıcı sayısının 2020 yılında 6 milyar kullanıcıya ulaşması 2030 yılında 90 milyar cihazın internete bağlanacak olması, doğadaki bütün ağaçların 2066 yılına kadar IP adresine sahip olacağı, kullandığımız çorapların kaç adet hangi renkte kaldığını çoraplara ait IP adreslerinden mağazaya kadar uzanan bir link üzerinden bilgilerin

aktarılması öngörülürken 5G teknolojisi ile ağa bağlanacak her bir nesne simülakr haline dönüşerek insanın bir 'cyborg' laşma sürecine girerek ‘tekillik’ ‘singularity’ kavramlarının nesne-insan etkileşiminde önem kazanacağı bir ortama ulaşacağı şimdiden anlaşılmaktadır.[25] Simülasyon ve gerçeklik sanal dünyada bugünden daha fazlasını 'nesnelerin interneti' olarak tanımlanan 5G sistemleri üzerinde yeni bir yaşam tarzı olarak her bir nesne simülakr olarak karşımıza çıkarak 'gerçeğin ilkesi’ olarak önümüzdeki on yıl içinde gerçek yaşam haline gelecek ve nesnelerin bu şekilde kişileştirilerek sahip olduğu temel özelliklerin dışsal zorlamalara boyun eğmesi sonucunda insanlığın kalabalıklar içinde yalnızlaşacağı öngörülmektedir.[26]

7. SONUÇ

Bu bildiride, MODSİM kavramının teknolojik tanımı, gerekliliği, eğitimde kullanımının önemi, sosyolojik tanımı ve gelecekte insan yaşamına etkisi tartışılmıştır. Teknolojik yaklaşıma göre ABD de MODSİM uygulamalarının Kongre kararı ile ulusal kritik sektör olarak tanımlanmasının bu sektörün öneminin vurgulanması, Türkiye’nin 2023 hedefi olarak hazırlanan Tübitak ‘Vizyon 2023 Projesi’ [27] raporu ‘tasarım teknolojileri’ başlıklı bölümde aynı kavramların vurgulanması ile paralellik göstermekte, bu açıdan MODSİM ‘ in orta eğitime yayılımının desteklenerek bir eğitim aracı olarak kullanımı ile kamu ve özel kuruluşlar başta olmak üzere bu alanda farkındalık oluşturulmasını teminen bir ulusal politika ve strateji belirlenmesi gereği bulunmaktadır. MODSİM standartları ile birlikte bu alanda etkin çalışmalar yapılarak sektörün ulusal seviyede gelişimi ve uluslararası rekabet şartlarına hazırlıklı olmaları ile MODSİM ürünlerinin üretici ve kullanıcıları arasındaki kavram ve terminoloji farklılıklarının giderilerek ulusal niteliğe haiz bir yetkilendirme ofisi ile desteklenmesi gereği bildiride önerilmektedir.

Sosyolojik açıdan ise simülasyon ve simülakr kavramlarının önerilen kuramsal tanımı ve anlamının global düzeyde nasıl algılanması gerektiği, 2020 yılından itibaren kurulmasına başlanılacak 'nesnelerin interneti' altyapıları üzerinden sunulacak servislerin insan yaşam tarzı üzerindeki sosyolojik etkisi ve MODSİM tabanlı uygulamalarda 'nesne' lerin ontolojik tanımlamalarının sosyolojik açıdan değerlendirilmesi önemlidir.

8. KAYNAKÇA

[1] https://www.govtrack.us/congress/bills/110/hres487/text

[2] Weber Rolf H, Weber Romana, Internet of Things, Springer, 2010.

[3] http://www.sri.com/sites/default/files/brochures/simulations-for-stem-learning-exec-summ.pdf

[4] Stanley N. Roscoe and Beverly H. Williges, Measurement of Transfer Of Training, Iowa State University Press, 1980.

[5] Jeffrey A. Appleget, The combat simulation of desert storm with application for contingency operations, John Wiley&Sons, Inc. 1995.

[6] Advanced Distributed Simulation Technology Zen Regard Experiment Tactical Scenarios Version 1.0, Steve Farrow, 1994

[7] Ed Halter ,From San Tzu to X Box: War and Video Games: 2006

[8] http://www.peostri.army.mil/

[9] http://www.iitsec.org/attendees/Documents/06STEM.pdf

[10] http://www.iitsec.org/Pages/default.aspx

[11] Fildişi At, Espelugues Mağarası, Lourdes, Ulusal Antikçağ Eserleri Müzesi, Saint Germain-En-Laye

[12] Lascaux Mağarası, Dordogne, Fransa

[13] Horses from the Hillaire Chamber, Chauvet Cave. Photo courtesy of the French Ministry of Culture and Communication, Regional Direction for Cultural Affairs, Rhône-Alpes region, Regional Department of Archeology.

[14] Bernard Davir, Jean Jacques Le Frere, İnsanlığın En Eski Muamması , Can Yayınları , İstanbul, 2013

[15] Güven Arsebuk, Tarih Öncesi Dönemden Bazı Yansımalar, Ege Yayınları, 2012

[16] Plimpton 322 Tableti, Columbia Üniversitesi, Yale Tablet, Susa ve Tel Dhibai Tabletleri

[17] Bill Casselmann, Mathematical Illsutrations, A Manual Of Geometry and Postcript, University of British Columbia, Cambridge University Press, 2005

[18] Stephen Gaukroger, Cartesian Logic, An Essay on Descartes's Conception of Inference, Clarendon Press, Oxford, 2002

[19] Rick Parent, Computer Animation, Algorithms&Techniques, Morgan Kaufmann Publisher, 2008

[20] Rene Descartes, Felsefenin İkeleri, Say Yayınları, İstanbul, 2001

[21] J.Baudrillard, Simulacra and Simulation, University of Michigan Press, 1994

[22] Platon, Devlet, Türkiye İş Bankası Yayınları, 2006

[23] Adanır Oğuz, Simülasyon Kuramı Üzerine Notlar ve Söyleşiler, Hayalet Kitap, 2008

[24] Jean Baudrillard, Nesneler Sistemi, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 2014

[25] Ray Kurzweil, The Singularity is Near, When Humans Transcend Biology, Penguin, 2006

[26] David Riesman, The Lonely Crowd, Yale University Press, 1950

[27] http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/Vizyon2023_Strateji_Belgesi.pdf

SABİT KARASAL NOKTADAN-NOKTAYA HABERLEŞME SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Polat Göktaş [a,b], Satılmış Topcu [b], Ezhan Karaşan [a], ve Ayhan Altıntaş [a,b]

[a] Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Bilkent Üniversitesi, 06800 Ankara, {pgoktas, ezhan, altintas}@ee.bilkent.edu.tr

[b] İletişim ve Spektrum Yönetimi Araştırma Merkezi (İSYAM), Bilkent Üniversitesi, 06800 Ankara, {pgoktas, topcu, altintas}@ee.bilkent.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, sabit karasal noktadan-noktaya sistemlerin tasarımı için yayılım tahmin modellerinin analizi ve gerçeklenmesi yapılmıştır. Literatürdeki farklı yayılım modellerinin simülasyon yöntemi ile incelenmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Detaylı olarak, Rec. ITU-R P.530 kanal ve Rec. ITU-R P.452 enterferans (karışım) modelleri analiz edilmiştir. NATO Band 3+ (1350-2690 MHz) ve NATO Band 4 (4400-5000 MHz) frekans bantlarında çalışan karasal mikrodalga LOS/NLOS (Görüş hattı açık/ Görüş hattı kapalı) radyo linklerin kullanılabilirliğinin hesaplanması ve enterferans modellenmesi ele alınmıştır. Ayrıca, kama kırınım kaybında, Bullington modeli hesabının LOS arazi hattı için kullanılması ve arazi hat profilindeki yansıma noktalarının bulunması için algoritmalar geliştirilmiştir.

TX (verici) ve RX (alıcı) istasyonların koordinat bilgileri, radyo linkin mesafesi, frekans, TX ve RX antenlerin yerden yükseklikleri ve kazançları, polarizasyon tipi, radyo kırılma indisi, deniz seviyesi yüzey kırıcılığı, yağmur zayıflaması için zaman yüzdesi, enterferans hesabı için zaman yüzdesi, hedef SNR (sinyal gürültü oranı), bant genişliği, arazi türü kategorisi, sayısal arazi yükseklik haritası ve iklimsel veriler gibi yayılım parametreleri kullanılarak çeşitli karasal mikrodalga LOS/NLOS radyo linkler için link ve enterferans simülasyon çalışmaları yapılmıştır. LOS/NLOS mikrodalga radyo linklerde sönümlenme kesintisini hesaplamak için yerden yansımanın etkisini dikkate alarak alıcıdaki güç seviyesinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Link analiz uygulamasının doğrulanması, örnek mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde ATDI ICS telecom yazılımı kullanılarak ve Türkiye coğrafyasında gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarından elde edilen ortalama güç verileri ile kıyaslanarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enterferans analizi, noktadan-noktaya haberleşme sistemleri, görüş hattı açık ve ufuk ötesi mikrodalga radyo linkler, link kullanılabilirliği, taktik radyo link cihazlar.

ANALYSIS OF FIXED TERRESTRIAL POINT-TO-POINT COMMUNICATION SYSTEMS

ABSTRACT

In this study, analysis and implementation of propagation prediction models for the design of fixed terrestrial point-to-point sytems are provided. Different propagation models in the literature are examined and comparisons are made. Rec. ITU-R P.530 channel and Rec. ITU-R P.452 interference model are analyzed in detail. The calculation of the link availability and interference modelling are investigated for fixed terrestrial microwave LOS/NLOS (line-of-sight/non line-of-sight) radio links operating in NATO Band 3+ (1350-2690 MHz) and NATO Band 4 (4400-5000 MHz) frequency bands. In addition, Bullington model is applied to calculate the diffraction loss for LOS paths, and a method to find reflection points on the terrain path profile is developed.

The microwave link and interference analysis for several terrestrial microwave LOS/NLOS radio links are performed using the propagation parameters such as TX (transmitter) and RX (receiver) station coordinates, path length, frequency, antenna heights above ground level, antenna gains, polarization, radio refractivity gradient, sea-level surface refractivity, time percentage for attenuation due to rain, time percentage for which the calculated basic transmission loss is not exceeded, target SNR (Signal to Noise Ratio), bandwidth, clutter information, digital terrain elevation data and climate data. A method for the calculation of the mean received power with the effect of the ground reflection is developed to determine the fade margin in the defined microwave LOS/NLOS radio links. The implementation of link analysis is verified by using the commercial ATDI ICS telecom software and the short-term field measurements carried out in Turkey for sample radio links.

Keywords: Frequency hopping radio link devices, interference analysis, line-of-sight and non line-of-sight microwave radio links, link availability, point-to-point communication systems.

1. GİRİŞ

Taktik saha haberleşmesinde kullanılan sistemlerin performansı, üzerinde bulunduğu arazinin özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle ilgili coğrafyada taktik sahanın elektromanyetik propagasyon özelliklerinin gerçeğe en yakın olarak modellenmesi zorunluluk olarak öne çıkmaktadır. Literatürde, radyo linklerdeki çok yollu sönümlenme mekanizması ve yol kaybı hesabı için, yaygın olarak Barnett-Vigants [1], [2], Morita [3] ve Rec. ITU-R P.530 [4] kanal modelleri önerilmektedir.

Türkiye coğrafyası için Barnett-Vigants modelinde jeoklimatik faktörü tek değer alırken, Morita modelinde dağlık, düzlük ve kıyıya yakın bölgeler için olmak üzere üç farklı değer alabilmektedir. Rec. ITU-R P.530 kanal modelinde ise Türkiye coğrafyası radyo kırılma indisi ve arazi engebesine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ericssonwide Internal Report dokümanında [5] ve Olsen-Tjelta makalesinde [6] ifade edildiği üzere, dünyanın birçok bölgesinde Rec. ITU-R P.530 kanal modeli karasal, dağlık ve dağlık olmayan linklerde düz-sönümlenme istatistiklerinde en başarılı performansı vermektedir.

Noktadan-noktaya (PTP) kablosuz haberleşme sistemleri için literatürde yer alan uluslararası standartlardaki elektromanyetik propagasyon modellerinin simülasyon yöntemi kullanılarak incelenmesi ve karşılaştırılması yapılmıştır. Detaylı olarak, ITU-R Çalışma Grubu 3 tarafından oluşturulan Rec. ITU-R P.530 [4] kanal ve Rec. ITU-R P.452 [7] enterferans modelleri analiz edilmiştir. Noktadan-noktaya kablosuz haberleşme sistemlerinde; yağmur ve atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama, yansımadan kaynaklanan çok yollu sönümlenmenin etkisi ve kama kırınım kaybı dikkate alınarak alıcıdaki güç seviyesi hesaplanmıştır. Mikrodalga radyo linkler için Rec. ITU-R P.530 kanal modeli tarafından önerilen en kötü aydaki ve yıllık ortalamadaki link kullanılabilirliği hesaplanmıştır. Ayrıca, kama kırınımından kaynaklanan zayıflamanın hesaplanmasında kullanılan Bullington modelinin görüş hattı olan (LOS) araziler için genişletilmesi ve arazi hat profilindeki yansıma noktalarının bulunması için yeni bir algoritma geliştirilmiştir [8], [9]. Elektromanyetik propagasyon kanal ve enterferans modelleri kullanılarak PTP taktik radyo link cihazları için frekans planlaması yapılabilmektedir.

Bu bildiride ITU-R P.530 kanal ve ITU-R P.452 enterferans modellerinin yayılım mekanizmaları anlatılmakta, literatürdeki başka modellerle kıyaslanmakta ve ATDI ticari yazılımı [10] ve değişik coğrafyalarda yapılmış ölçüm sonuçları [11] ile Türkiye coğrafyasında gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ile karşılaştırmaları sunulmaktadır.

2. MİKRODALGA LİNK ANALİZİ

PTP Kanal modelleme amaçlı literatürde pek çok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar içinde en öne çıkanı Rec. ITU-R P.530 modelidir ve yaklaşık olarak iki yılda bir yeni versiyonu yayımlanmaktadır. Bu modelde olası tüm elektromanyetik propagasyon mekanizmaları için ayrı ayrı tahmin yöntemleri tanımlanmıştır. Propagasyon mekanizmalarının birçoğu için ITU'nun başka birçok ilgili tavsiyelerine atıfta bulunulmaktadır. Propagasyon tahmin konusu esas olarak doğadaki çok sayıda parametreye bağlıdır ve bu parametreler zaman, iklim, coğrafya gibi verilerle değişen özelliklere sahiptir.

Rec. ITU-R P.530 kanal modelinde yer alan elektromanyetik propagasyon mekanizmaları aşağıdaki gibi listelenmiştir:

- Serbest uzay kaybı,
- Atmosferik gazlardan kaynaklanan sinyal gücünün zayıflaması,
- Yağmurdan kaynaklanan sinyal gücünün zayıflaması,
- Arazi profilindeki engeller sebebiyle oluşan kama kırınım kaybı,
- Yeryüzü yüzeyinden yansıyan yansıma noktalarından kaynaklanan kayıptır.

Yukarıdaki tüm faktörlerin frekans, uzunluk ve coğrafi konum açısından kendine has özellikleri vardır.

Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama, 10 GHz altındaki frekanslarda 0.01 dB/km'nin altındadır [12] ve bu nedenle NATO Band 3+ ve 4 frekans bantlarında ihmal edilecek kadardır. Rec. ITU-R P.530 kanal modelinde, atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflamanın 10 GHz üzerindeki frekanslarda maksimuma ulaşılacağı belirtilmektedir.

Yağmur damlacıkları, radyo sinyallerinin zayıflamasına neden olmaktadır. Yağmur kaybı; frekans, radyo link mesafesi, polarizasyon, yağmur zayıflaması için tanımlanan zaman yüzdesi ve yağmur miktarı ile değişmektedir [4], [13]. Yağmurdan kaynaklanan sinyal gücünün zayıflaması mikrodalga radyo linkin tanımladığı konuma bağlıdır. 5 GHz altındaki frekanslarda yağmur zayıflaması ihmal edilecek kadardır. Yağmur kayıpları polarizasyon ile değişmektedir ve yatay polarizasyon kullanıldığında kayıp miktarı artmaktadır [8], [14].

Mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde kırınımdan kaynaklanan kayıp değerinin hesaplanması için Rec. ITU-R P.526 tavsiye dökümanı [15] kullanılmaktadır. Bu kayıp değerinin hesaplanmasında kullanılan algoritma aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Eğer birinci Fresnel bölgesinin %60'nı kapsayan kısmında herhangi bir blokaj yoksa kama-kırınım kayıp değeri sıfırdır.
- Blokajlar birinci Fresnel bölgesinin %60'nı kapsayan kısmında ve karasal görüş çizgisinin (LOS) altında ise kırınım kaybı hesabında Delta-Bullington metodu kullanılmaktadır.
- Blokajlar karasal görüş çizgisinin (LOS) üzerinde ise Bullington, Epstein-Peterson veya Deygout metotlarından birisi kullanıcının seçimine göre kullanılmaktadır. (Blokaj sayısının ikiden fazla olduğu durumlarda sadece Bullington metodu kullanılmaktadır.)

Ayrıca, Bullington modeli hesabının LOS arazi için genişletilmesi [9] ve arazi hat profilindeki yansıma noktalarının bulunması için yeni bir algoritma geliştirilmiştir [14].

Mikrodalga radyo linklerinde serbest uzay kaybı dB cinsinden (1) nolu denklem ile hesaplanmaktadır [4]. Besleyici, konnektör ve diğer kayıp faktörleri de ilave kayıplar ile gösterilmektedir. Alıcıdaki güç seviyesi (2) nolu denklem ile hesaplanmaktadır [16].

Radyo linkinde yansıyan sinyallerin alıcıdaki güç seviyesindeki etkisi (3) nolu denklemde gösterilmektedir [16]. (4) nolu denklemde ise gürültü seviyesi formulü verilmektedir [17]. Sönümlenme marjini ise alıcıdaki güç seviyesinden gürültü seviyesi ve hedef SNR değeri çıkartılarak hesaplanmakta ve (5) nolu denklem ile gösterilmektedir [16].

$$FSL\ (dB) = 92.5+20\log f+20\log d \quad (1)$$

$$P_r\ (dBm) = TX_{güç}+G_{TX}+G_{RX}-\textit{İlaveKayıp}-(FSL+A_{gaz}+A_{yağmur}+A_{kırınım}) \quad (2)$$

$$P_{toplam}\ (dBm) = 10\log(10^{Pr/10}.(1-10^{-\min\{Ls\}/20})) \quad (3)$$

$$N\ (dBm) = kTB \quad (4)$$

$$A\ (dB) = P_{toplam}-N-SNR \quad (5)$$

Rec. ITU-R P.530 kanal modelinde en kötü ay için jeoklimatik faktör parametresi ve link kullanılabilirliği (6) ve (7) nolu denklemler ile hesaplanmaktadır [4].

$$K = 10^{-4.4-0.0027\times dN1}\times(10+s_a)^{-0.46} \quad (6)$$

$$p_w=100\times(1-(Kd^{3.4}(1+|\varepsilon_p|)^{-1.03}f^{0.8}\times10^{-0.00076h_L-A/10})) \ \% \quad (7)$$

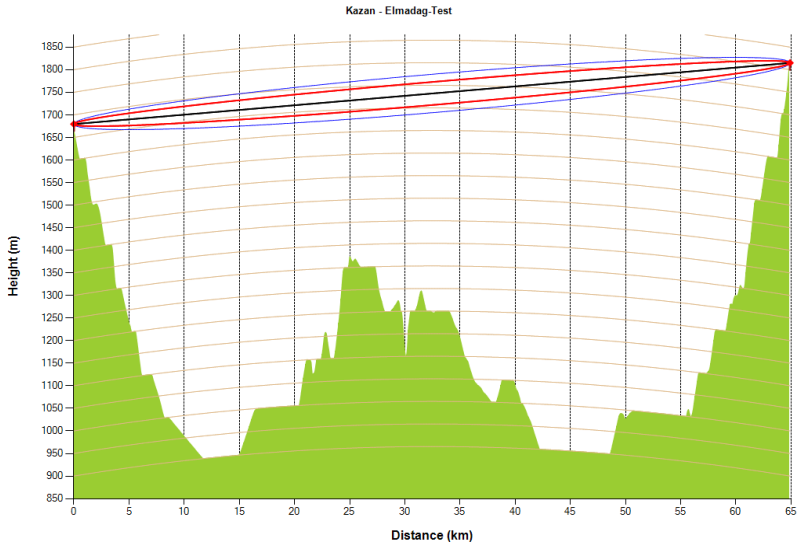
2.1. Simülasyon Sonuçları ve Kıyaslamalar

Verici ile alıcı istasyonlar arasındaki arazi hat profili 3×3 saniyelik çözünürlüğe (yaklaşık 100 metre) sahip DTED formatındaki Sayısal Arazi Yükseklik haritası kullanılarak edildi. Simülasyon çalışması olarak Ankara'da konumlandırılmış Kazan-Elmadağ mikrodalga LOS radyo linki ve Dikmen-Polatlı mikrodalga NLOS radyo linki kullanılmıştır. Tablo 1'de bu mikrodalga radyo linklerin girdi parametreleri gösterilmektedir. Şekil 1 ve 2'de örnek radyo linklerine ait arazi profilleri ve LOS çizgisi ile Fresnel bölge gösterilmektedir. Birinci Fresnel (F1) bölgesi mavi renk ile ve birinci Fresnel bölgesinin %60'luk kısmı (0.6 F1) kırmızı renk ile gösterilmektedir. Tablo 2'de ise linklerin çalışma sonuçları gösterilmektedir. Kazan-Elmadağ mikrodalga LOS radyo linki için ATDI ICS telecom yazılımı ile elde edilen link çalışma sonuçları ise Tablo 3'de gösterilmektedir. Ayrıca, link analizinin uygulanması, örnek mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde literatürde yer alan ölçüm verileri [11] ile kıyaslanarak yapılmıştır.

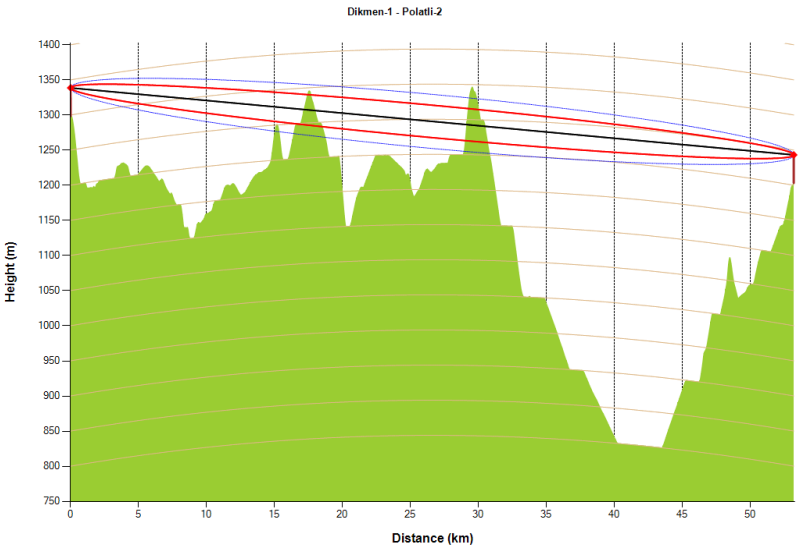
Tablo 1. Örnek mikrodalga radyo linkler için girdi parametreleri.

Parametre	**Kazan–Elmadağ R/L**	**Dikmen–Polatlı R/L**
TX İstasyon koordinat	40 N 18' 37.6" 32 E 36' 43.0"	39 N 51' 32.0" 32 E 49' 29.0"
RX İstasyon koordinat	39 N 48' 3.3" 32 E 59' 2.0"	39 N 36' 38.0" 32 E 17' 35.0"
Frekans (GHz)	2	2.690
Radyo link mesafesi (km)	64.90	53.19
TX/RX antenin yerden yüksekliği (m)	15	40

TX/RX antenin kazancı (dBi)	22	27.15
TX çıkış gücü (dBm)	25	30
Kablo kaybı (dB)	1+1	1+1
Bant genişliği (MHz)	40	20
Hedef SNR (dB)	6.95	4.95
HPBW (derece)	8	6
Polarizasyon tipi	Dikey	Yatay
Mevsim tipi	Kış	Kış
Toprak tipi	Orta Kuru Toprak	Kuru Toprak



Şekil 1. Kazan-Elmadağ mikrodalga radyo linkine ait arazi profili.



Şekil 2. Dikmen-Polatlı mikrodalga radyo linkine ait arazi profili.

Tablo 2. Örnek mikrodalga radyo linkler için çalışma sonuçları.

Parametre	**Kazan–Elmadağ R/L**	**Dikmen–Polatlı R/L**
Radyo kırılma indisi (N-units/km)	-236.65	-237.44
Arazi engebesi (m) (ortalama)	237.45	204.83
Yağış miktarı (mm/h) (ortalama)	29.35	27.64
Serbest uzay kaybı (dB)	134.77	133.04
Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.40	0.33
Yağmurdan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.13	0.23
Yansımadan kaynaklanan kayıp (dB)	3.67	0.00
Kırınımdan kaynaklanan kayıp (dB)	0.00	34.46
Alıcıdaki güç seviyesi (dBm)	-71.97	-85.76
Gürültü seviyesi (dBm)	-97.95	-100.96
Sönümlenme marjini (dB)	19.04	10.26
Link kullanılabilirliği (%)	**99.9931**	**99.9050**

Tablo 3. ATDI ICS telecom yazılımının link analiz sonuçları.

Parametre	**Kazan–Elmadağ R/L**
Serbest uzay kaybı (dB)	134.7
Atmosferik gazlardan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.40
Yağmurdan kaynaklanan zayıflama (dB)	0.20
Yansımadan kaynaklanan kayıp (dB)	3.00
Kırınımdan kaynaklanan kayıp (dB)	0.00
Alıcıdaki güç seviyesi (dBm)	-71.24

Tablo 2'e göre, Kazan-Elmadağ mikrodalga LOS radyo linki için %99.99 link kullanılabilirliği sağlanmaktadır. Dikmen-Polatlı mikrodalga NLOS radyo linkinde ise görüş çizgisi hattının üstünde iki blokaj bulunmaktadır. Bu mikrodalga radyo linki için link kullanılabilirliği kriteri, %99.99, sağlanamamaktadır. Tablo 3'de gösterildiği üzere; Kazan-Elmadağ mikrodalga LOS radyo linki için ATDI ICS telecom yazılımı ile elde edilen link çalışma çıktıları, Tablo 2'deki bu mikrodalga radyo linki için hesaplanan link çalışma çıktıları ile uyumludur.

3. SABİT KARASAL İSTASYONLAR ARASINDAKİ ENTERFERANS ANALİZİ

Rec. ITU-R P.452 modeli esas olarak enterferansa neden olan verici istasyonların enterferansa maruz kalan alıcı istasyonundaki hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans iletim hat kaybının hesaplamasını sağlamaktadır.

Eğer bir linki meydana getiren istasyonlardan biri üzerinde mikrodalga enterferans analizi yapılacaksa, linkin diğer ucundaki istasyon istenen gücü yayıyor, ve etraftaki diğer istasyonlar ise alıcı noktasında istenmeyen güç oluşturuyor demektir. Ayrıca, enterferans analizi yapılmak istenen istasyon herhangi bir linkin elemanı değilse alıcı noktasında istenen bir güce sebep olmamaktadır.

Açık havadaki enterferans hesaplama modülü; Karasal görüş çizgisi, Kama kırınım, Troposferik saçılma ve Oluklama enterferans yayılım mekanizmalarını kapsar. Ayrıca, arazi türü etkisinden kaynaklanan ek kayıplarda hesaplanmaktadır. Enterferansa bağlı toplam hat kaybı (8) nolu denklem [7] ile hesaplanmaktadır.

$$L\ (dB) = -5\log(10^{-0.2L_{bs}}+10^{-0.2L_{bam}})+A_{ht}+A_{hr} \quad (8)$$

Yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans hat kaybı ise (9) nolu denklem [7] ile hesaplanmaktadır.

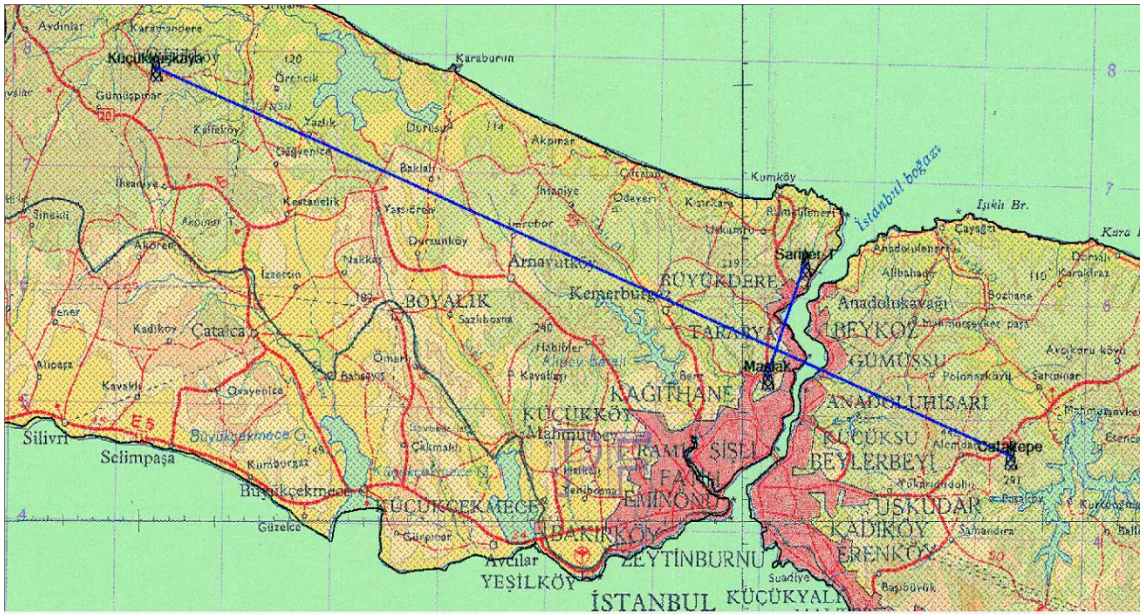
$$L\ (dB) = 208-20\log f-10\log Z_R-10\log C+10\log S+A_{gaz}-M \quad (9)$$

Enterferansa bağlı toplam iletim hat kaybının hesabı ise (10) nolu denklem [7] ile gösterilmektedir.

$$L_{iletim}\ (dB) = L-G_{TX}-G_{RX} \quad (10)$$

3.1. Simülasyon Sonuçları ve Kıyaslamalar

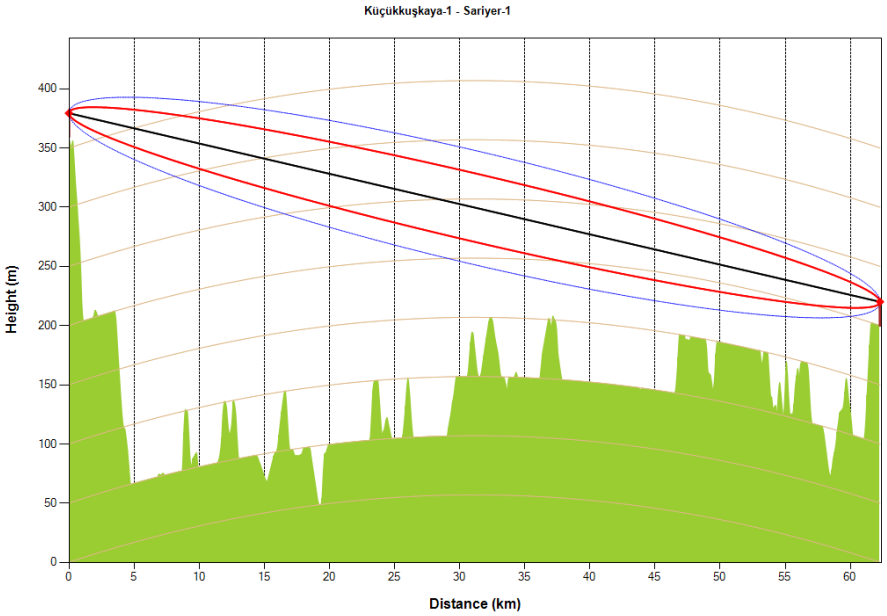
Simülasyon çalışması olarak İstanbul'da konumlandırılmış Sarıyer-Maslak mikrodalga LOS radyo linkine enterferansa neden olan Küçükkuşkaya ve Çataltepe verici istasyonları için hem açık havadaki hem de yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan enterferans analiz çalışmaları incelenmiştir. Şekil 3'de enterferans analizinin harita üzerindeki görünümü gösterilmektedir. Tablo 4'de İstanbul'da konumlandırılmış örnek mikrodalga radyo linkleri için enterferans girdi parametreleri verilmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'de enterferansa neden olan Küçükkuşkaya ve Çataltepe verici istasyonların enterferansa maruz kalan Sarıyer istasyonu arasındaki radyo linklerin arazi profilleri gösterilmektedir. Tablo 5'de ise enterferansa neden olan Küçükkuşkaya ve Çataltepe verici istasyonların enterferansa maruz kalan Sarıyer istasyonundaki hem açık havadaki hem de yağmur saçılmasındaki enterferans iletim hat kayıp değerleri verilmektedir.



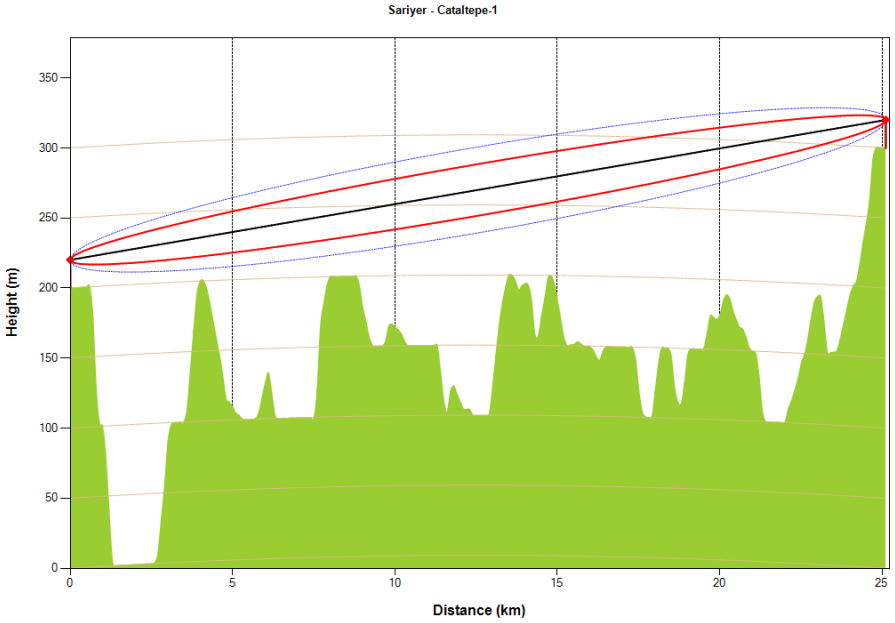
Şekil 3. İstanbul'da konumlandırılmış mikrodalga radyo linklerin harita üzerindeki görünümü.

Tablo 4. Enterferans analizi için örnek mikrodalga radyo linklerine ait çalışma girdileri.

Parametre	**Küçükkuşkaya–Çataltepe R/L**	**Sariyer–Maslak R/L**
TX İstasyon koordinat	41 N 20' 49.5" 28 E 21' 5.5"	41 N 11' 48.1" 29 E 04' 9.6"
RX İstasyon koordinat	41 N 02' 57.9" 29 E 17' 48.1"	41 N 06' 39.4" 29 E 01' 40.7"
Frekans (GHz)	2	
TX/RX antenin yerden yüksekliği (m)	20	
Enterferans analizi için zaman yüzdesi (%)	0.01	
TX&RX arazi türü	Kırsal alan	
Enterferans türü	Açık havada ve Yağmurdaki saçılmadan	
Polarizasyon tipi	Dikey	
Mevsim tipi	Yaz	
Toprak tipi	Orta Kuru Toprak	



Şekil 4. Küçukkuşkaya-Sariyer mikrodalga radyo linkine ait arazi profili.



Şekil 5. Sariyer-Çataltepe mikrodalga radyo linkine ait arazi profili.

Tablo 5. Enterferansa maruz kalan Sariyer istasyonundaki enterferans iletim hat kayıp değerleri.

Enterferansa neden olan istasyon	**Açık havada (dB)**	**Yağmurdaki saçılmadan kaynaklanan (dB)**
Küçükkuşkaya	155.80	183.07
Çataltepe	160.28	174.95

4. ÖLÇÜM SONUÇLARI

Türkiye coğrafyasında taktik saha radyo link cihazı verici kaynağı kullanılarak 2536 MHz frekansında 2015 Haziran-Ağustos ayları boyunca spektrüm analizörü ile noktadan-noktaya sistemin alıcıdaki güç değerleri kaydedilmiştir. Türkiye coğrafyasında gözlemlenen mikrodalga radyo linkine ait çalışma parametreleri Tablo 6'da verilmektedir. Spektrum analizörü ile kaydedilen ölçüm verilerinde sürekli olan bir periyodik kümülatif dağılım gözlenmiştir. Bu tarihler arasındaki ölçülen ortalama güç değeri ise -67.73 dBm olarak hesaplanmıştır. Recommendation ITU-R P.1546 [18] dokümanında Tablo 2'de sayısal sinyaller için standart sapma değeri 5.5 dB verilmektedir. Buna göre, ölçüm değerleri ile simülasyon sonucu arasındaki farklar %68,27 olasılıkla belirtilen standart sapmadan daha küçük olmaktadır.

Tablo 6. Türkiye coğrafyasında gözlemlenen mikrodalga radyo linkine ait girdi parametreleri.

Parametre	**Senaryo 1**
Çok yollu oluşum faktörü (%)*	0.118
Frekans (GHz)	2.536
Radyo link mesafesi (km)	10.652
TX antenin yerden yüksekliği (m)	25
RX antenin yerden yüksekliği (m)	15
TX/RX anten kazancı (dBi)	25
TX çıkış gücü (dBm)	30
TX/RX kablo kaybı (dB)	3.625/3.625
İlave kayıp (dB)	1
Bant genişliği (MHz)	8
Polarizasyon tipi	Dikey
Mevsim tipi	Yaz
Toprak tipi	Orta Kuru Toprak

*ITU-R P.530-15 dokümanında çok yollu oluşum faktörü § 2.3.1 başlığında hesaplanmaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada sabit karasal mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde hem kanal modelleri hem de enterferans modelleri incelenmiştir. NATO Band 3+ ve NATO Band 4 frekans bantlarında çalışan sabit karasal mikrodalga radyo linkler için radyo link ve enterferans analiz çalışmaları yapılmıştır. Link analiz uygulamasının doğrulanması, örnek mikrodalga LOS/NLOS radyo linklerinde ATDI ICS telecom yazılımı, literatürde yer alan ölçüm verileri ve Türkiye coğrafyasında gerçekleştirilen saha ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler ile kıyaslanarak yapılmıştır.

6. KAYNAKÇA

[1] W.T Barnett, "Multipath propagation at 4, 6 and 11 GHz," *Bell System Technical Journal*, vol. 51, no. 2, pp. 321-361, Feb. 1972.

[2] A. Vigants, "Space diversity engineering," *Bell System Technical Journal*, vol. 54, no. 1, pp. 103-142, Jan. 1975.

[3] K. Morita, "Prediction of Rayleigh fading occurrence probability of line-of-sight microwave links," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 18, pp. 810-821, Nov.-Dec. 1970.

[4] Recommendation ITU-R P.530-15, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems," *International Telecommunication Union*, Geneva, Sept. 2013.

[5] K. T. Vieira, "Comparisons of Barnett-Vigants method with ITU-R links data base," tech. rep., EAB/G-03:002609 Uae Ericssonwide Internal Report, Aug. 2003.

[6] R. L. Olsen and T. Tjelta, "Worldwide techniques for predicting the multipath fading distrubition on terrestrial line-of-sight (LOS) links: Comparison with regional techniques," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 1, pp. 23-30, Jan. 2003.

[7] Recommendation ITU-R P.452-15, "Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above 0.1 GHz," *International Telecommunication Union*, Geneva, Sept. 2013.

[8] P. Göktaş, *Analysis and implementation of prediction models for the design of fixed terrestrial point-to-point systems*. M.S. thesis, Bilkent University, Jan. 2015.

[9] S. Topcu, P. Goktas, E. Karasan, and A. Altintas, "A new approach to diffraction modelling for line-of-sight (LOS) paths," *IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications*, September 2015, Torino, Italy.

[10] ATDI ICS telecom software, http://www.atdi.com/ics-telecom/.

[11] M. Kvicera, *et al.*, "Short-term terrain diffraction measurements from L-to-Q-Band: Results and Analysis," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 7, pp. 3693-3701, July 2014.

[12] Recommendation ITU-R P.676-9, "Attenuation by atmospheric gases," *International Telecommunication Union*, Geneva, Feb. 2012.

[13] Recommendation ITU-R P.838-3, "Specific atteunation model for rain for use in prediction methods," *International Telecommunication Union*, Geneva, 2005.

[14] P. Göktaş, S. Topcu, E. Karaşan, ve A. Altıntaş, "Mikrodalga karasal radyo link analiz ve simülasyonlarının Rec. ITU-R P.530 tavsiyesine uygun olarak gerçeklenmesi," *VII. URSI-Türkiye Bilimsel Kongresi*, Elazığ, Türkiye, Ağustos 2014.

[15] Recommendation ITU-R P.526-13, "Propagation by diffraction," *International Telecommunication Union*, Geneva, Nov. 2013.

[16] P. Goktas, S. Topcu, E. Karasan, and A. Altintas, "Multipath fading effect on terrestrial microwave line-of-sight (LOS) radio links," *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting*, July 2015, Vancouver, BC.

[17] H. R. Anderson, *Fixed Broadband Wireless System Design*. John Wiley & Sons Ltd., 2003.

[18] Recommendation ITU-R P.1546-5, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz," *International Telecommunication Union*, Geneva, Sept. 2013.

SAVUNMA PLANLAMA VE ASKERÎ PROJELERİN TEDARİK SÜREÇLERİNDE MODELLEME VE SİMÜLASYONUN KULLANIMINA YÖNELİK DEĞERLENDİRMELER (SİMÜLASYON TABANLI TEDARİK)

Mustafa Dinç[(a)], Doğan Öztürk[(b)]

[(a,b)] Genelkurmay Başkanlığı İnönü Bulvarı Bakanlıklar, Çankaya/Ankara,
mdinc1972@gmail.com, dogan70@yahoo.com

ÖZ

Türkiye'de değişen güvenlik ortamına bağlı olarak, askerî projelerin tedarik süreçlerinde kritik modelleme ve simülasyon (MODSİM) teknolojilerinin potansiyel kullanım alanlarından, ihtiyaç makamı olarak TSK, tedarik makamları olarak MSB ve SSM ve yüklenici/geliştirici firmaların farkında olmaları stratejik seviyede, modern bir savunma planlama için büyük önem arz etmektedir. İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda, dünyada özellikle teknolojinin baş döndürücü bir hızla ilerlemesi ve buna paralel olarak MODSİM teknolojilerindeki gelişmeler dikkate alındığında, bir metodoloji olarak Simülasyon Tabanlı Tedarik (STT) yaklaşımının savunma projelerinde uygulanması ömür devri yönetimi ve projenin başarısı açısından çok sayıda avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar arasında savunma planlama, senaryo geliştirme, harekât ve görev analizi, konsept geliştirme, risklerin azaltılması, kaynak (personel, zaman, para ve malzeme) tasarrufu, daha hızlı kavramsal ve mühendislik tasarımı, sistem entegrasyon ve test döngüsünün kısaltılması, 3 boyutlu (3B) sanal görselleştirme, 3B yazıcı ile prototip geliştirme sayılabilir.

Literatürde, STT uygulamalarına yönelik çok sayıda alınan ders ve iyi uygulama örnekleri mevcuttur. Ancak MODSİM teknolojilerinin uygun yerde kullanılmamasından dolayı her askerî proje tedarik sürecinde de her zaman beklentileri karşılamayacağı da bir gerçektir. Burada MODSİM teknolojilerinin doğrulama ve geçerlemeye tabi tutulmuş olması ve hangi sadakat seviyesinde kullanıldığı önemli etkendir.

Anahtar Kelimeler: Savunma Planlama, Simülasyon Tabanlı Tedarik, Askerî Simülasyonlar, Mühendislik Simülasyonları, Modelleme ve Simülasyon.

DISCUSSIONS FOR USING M&S IN DEFENCE PLANNING AND ACQUISITION PROCESSES OF MILITARY PORJECT (SIMULATION BASED ACQUISITION)

ABSTRACT

In Turkey, neither Turkish Armed Forces as a user and requirement, nor acquisition authorities, nor companies are aware enough for the potential uses of Modeling & Simulation technologies in the acquisition processes of defense planning and military projects. In the 21st century, in the world, a rapid development in the technology and in

parallel to the developments in M&S technology, implementation of Simulation Based Acquisition (SBA) approach on the defense project offers many advantages in terms of life cycle management and the success of the project. These include defense planning, scenario development, operations and mission analysis, concept development, reducing risks and resources (personnel, time, money and material), faster conceptual and engineering design, reduction of system integration and test cycle, virtual visualization, prototyping with three-dimensional (3D) printers.

In literature, there are a lot of lessons learned and best practices for SBA. However, it does not mean that SBA will always meet expectation and best fit for every military project during acquisition cycle. For that reason, it is important to apply verification and validation to M&S technologies and use appropriate level of fidelity.

Keywords: Defense Planning, Simulation Based Acquisition, Simulation Test-bed, Battle Lab, Modeling and Simulation.

1. GİRİŞ

Güvenlik ortamına yönelik stratejik ve akademik çalışmalara genel olarak bakıldığında; geleceğin güvenlik ve harp ortamının farklı şekilde tanımlandığını görmekteyiz. Tüm bu tanımlarda ifade edilen nitelendirmeler dikkate alındığında; geleceğin güvenlik ve harp ortamını "belirsizlik", "karmaşıklık" ve "hızlı değişim" ile karakterize etmek mümkün olacaktır. 2000'li yılların ilk yarısında ABD'nin Savunma Bakanlığını yapan Donald Rumsfeld'in ifade ettiği şekliyle [1], "bilinen bilinmeyenlere (known unknowns)" ilave olarak "bilinmeyen bilinmeyenler (unknown unknowns)" de eklenmesi ile bu belirsizlik, karmaşıklık ve değişim hızının boyutlarının logaritmik olarak arttığı anlaşılmaktadır. Bu ortam kimi yazarlar/bilim adamları tarafından kaotik [2] olarak da tanımlanmaktadır.

Bu alanda yapılan çalışmalar ve özellikle ulusal güvenlik, ulusal savunma ve ulusal askerî stratejiler, geleceğin güvenlik ortamında söz konusu belirsizlik, karmaşıklık ve hızlı değişimine uyum sağlamayı ve baş edebilmeyi hedeflemektedir.

İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda, dünyada özellikle teknolojinin baş döndürücü bir hızla ilerlemesi ve buna paralel olarak MODSİM teknolojilerindeki gelişmeler dikkate alındığında, bir metodoloji olarak STT yaklaşımının savunma projelerinde uygulanması ömür-devri yönetimi ve projenin başarısı açısından çok sayıda avantajlar sunmaktadır.

2. ESNEKLİK-ÇEVİKLİK, TRANSFORMASYON VE SAVUNMA PLANLAMA

Askerî literatürde, yeni bilgi çağının özellikleri ile beraber gündeme gelen asimetrik savaş ve akabinde ifade edilmeye başlayan hibrit (melez) savaş kavramları ile birlikte, "esneklik ve çeviklik (agility)" gittikçe önemi artan ve daha sık rastladığımız bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

Günümüz ve geleceğin askerî organizasyonlarının, güvenlik ortamının artan karmaşıklığı içerisinde harekât icra edebilen, yeni çıkan tehditler ile belirsizliklere karşı koyabilen ve değişime zamanında ayak uydurabilen, "esnek ve çevik organizasyonlar"

olmalarını gerekli kılmaktadır. Böyle bir organizasyon yapısına sahip olmak ise, öncelikle gelecek öngörüsüne sahip olmayı gerekli kılmaktadır (Global Strategic Trends Out to 2045, 2014) [4]. Ancak, konu geleceği tahmin olunca, bu konuda çokça referens yapılan Hollanda'lı ünlü bilim adamı Bohr'un "Öngörmek zordur, özellikle bu öngörü gelecek ile ilgili ise" sözleri akla gelmektedir. Askerî yaklaşımlar da dikkate alındığında; esneklik ve çeviklik; askerî organizasyonların değişimi anlaması, benimsemesi ve buna göre değişime, değişim hızından daha çabuk bir şekilde, karmaşık ve belirsiz güvenlik ortamı koşullarında uyum sağlama kabiliyeti olarak tanımlanabilir (Öztürk, 2012) [5].

Bu çalışma; askerî organizasyonların, günümüz ve geleceğin güvenlik ortamını iyi anlayarak, kontrol etmekten ziyade ona uyum sağlamasında "çeviklik ve esneklik" ise ancak, inovasyon ile kurumsal öğrenmeyi de içine alan kapsamlı bir "dönüşüm (transformasyon)" ile mümkün olacaktır.

Snider ve Watkins (2002), askerî dönüşüm ile ilgili çalışmalara yönelik üç ana akımdan bahsetmektedir [6]. Davis (2009) ise bunlardan ikisini ele almıştır [7]. Bahse konu ana akımlar: "Askerî Konularda Devrim (Revolution in the Military Affairs (RMA)", "Kamusal Kurumlar Teorileri" ve "Sivil-Asker İşbirliği Teorileri"dir. RMA'daki dönüşüm anlayışı daha çok savaşın değişen doğasına bağlı olarak teknolojik gelişmelere vurgu yapmaktadır. Bu anlayışa; barutun kullanılması, Alman Ordusunun Dünya Savaşı sırasında tankları ve radyo teknolojisini kullanması, zırhlı araçların ve uçakların kullanılması, bilgi harbi, uçak gemileri, nükleer silahların kullanılması örnek verilebilir (Lira, 2004) (Boot, 2006) (Kagan, 2006) (McNaugher, 2007) (Davis, 2009) [8, 9, 10, 11, 7]. TSK açısından ise, en iyi örneklerden birisi F-16 savaş uçaklarının tedarik edilmesi sürecidir.

Literatürde, dönüşüme ilişkin sınıflandırmalar yapıldığını da görmekteyiz. En çok kabul gören sınıflandırmalardan birisi, Amir ve Merry (1986) tarafından ileri sürülen "Birinci Derece Değişim" ve "İkinci Derece Değişim" ayrımıdır [12]. Bu sınıflandırma, aynı zamanda "Küçük Ölçekli Değişim" ve "Büyük Ölçekli Değişim" olarak da ifade edilmektedir. Buna bağlı olarak, değişik bilim adamları tarafından farklı sınıflandırmalar da yapılmakla birlikte; genel anlamda, sınıflandırmaların "küçük ölçekli" ve "büyük ölçekli" olarak gruplandığını söyleyebiliriz.

Dönüşümün farklı tanımlarındaki boyutları ve sınıflandırmalardaki yaklaşımlara bakıldığında; aslında gerçek anlamda dönüşüm denilen kavramın ve gerçek hayattaki dönüşümün bütüncül olarak, bunların hepsini içeren organizasyonların küçük veya büyük, soyut veya somut her alanına etkisi olan bir olgu olduğu ortaya çıkmaktadır. Nitekim Lira (2004) da, dönüşümün hem soyut, hem de somut değişimi içermesi gerektiğini ileri sürmektedir [8]. Farklı açıdan, benzer yaklaşımı destekleyecek şekilde; Vlahos (2003), dönüşüm için, "düşmanlar + yeni teknoloji = yeni savaşlar" denklemini kullanmaktadır [13].

Bu nedenledir ki, başarılı bir dönüşüm, gelecek öngörüsünü de içeren bütüncül ve stratejik bir bakış açısı gerektirmektedir. Diğer taraftan, RMA anlayışında belirtildiği üzere teknolojinin rolü ve önemi bu süreçte her zaman kayda değer seviyede olacaktır. Ne var ki, hayata geçmesi ve kalıcı olması istenen bir dönüşümün kültürel boyutunun göz ardı edilmemesi de gerekmektedir. Tüm bu yönleriyle ele alındığında, esnek ve

çevik bir askerî organizasyonun, kültürel değişimi de içeren, teknolojiyi esas alan dönüşümü sağlaması için kullanılan yöntem "savunma planlama"dan başka bir şey değildir.

"Savunma Planlama" veya daha kapsamlı ifadesi ile "Savunma Plan ve Yönetimi", dönüşüm döngüsünün tamamına hitap etmektedir (Şekil-1).

Şekil-1. Savunma Plan ve Yönetimi Kapsamı

Diğer alanlarda olduğu gibi, *Savunma Planlama* konusunda da, literatürde çok farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Ancak, geçmişte ve bugün en çok kullanılanlar dikkate alındığında; bu yaklaşımları "kadro temelli", "tehdit tabanlı" ve "yetenek tabanlı" olmak üzere üç temel anlayış altında özetlemek mümkün olacaktır. Her ne kadar son olarak Ukrayna Krizi ile tehdit tabanlı anlayışa dönüş yorumlarına rastlanılsa da; günümüzde, birçok modern ülke Silahlı Kuvvetleri tarafından da kullanılan "yetenek tabanlı planlama" en yaygın kullanılan model olarak karşımıza çıkmaktadır.

3. YETENEK TABANLI SAVUNMA PLANLAMA

Savunma planlama konsepti içerisinde, "*yetenek*" tabiri, yalın bir kelimeden daha fazlasını ifade etmektedir. Goss (2005) "öngörülen koşullar ve performans standartları dâhilinde, belirli bir görevi yerine getirebilme becerisi" olarak tanımlamıştır [14]. Neal ve Wells II (2011)'e göre ise, yetenek "belirli mesafedeki ve tehdit altındaki çevresel koşullarda etkinliği sağlayabilmek için gerekli olarak araçların tümüdür" [15].

Bu kapsamda, en çok kabul gören sınıflandırma NATO tarafından yapılmış ve bir yeteneğin sekiz alt bileşeni olduğu belirtilmiştir. İngilizce kelimelerinin kısaltmaları olarak "DOTMLPFI" şeklinde ifade edilen bu sekiz unsur; D (doctrine-doktrin), O (organization-teşkilat), T (training-eğitim), M (material-malzeme), L (leadership-liderlik), P (personnel-asker), F (facility-tesisler) ve son olarak I (interoperability-birlikte çalışılabilirlik)'dır.

Her ne kadar, ülkelere ve organizasyonlara göre bazı farklılıklar olsa da, genel anlamda NATO'nun süreci, yetenek tabanlı planlamayı açıklamaya yeterli olacaktır. Genel olarak, bu planlama beş adımdan oluşmaktadır (Şekil-2).

3.1 Stratejinin Belirlenmesi

Bu safhada politik-askerî ve stratejik seviyede güvenlik ve harp ortamına yönelik güvenlik, savunma ve askerî stratejiler ile ülkenin güvenlik hedefleri çizilir. Bu

hedeflerin çizilmesinde, önceki harekâtlardan alınan dersler, gelecek öngörüsü, tehdit değerlendirmesi ve askerî /politik güvenlik algısı dikkate alınır.

3.2 İhtiyaçların Belirlenmesi

Yetenek tabanlı planlamanın en önemli safhasıdır. Bu safhada stratejik seviye direktifin ve güvenlik/harp ortamının askerî olarak analizi ile askerî görevler belirlenir. Müteakiben, askerî görevleri yerine getirmek için gerekli yetenek ihtiyaçları tespit edilir. Yetenek ihtiyaçlarının mevcut yetenekler ile karşılaştırılması sonucunda; yetenek boşlukları, yetenek fazlalıkları ve devam etmesi gereken yetenekler ortaya çıkarılır. Belirlenen yetenek ihtiyaçlarına yönelik yapılan risk değerlendirmesi ile de yetenek ihtiyaçları önceliklendirilir.

3.3 Hedeflerin Belirlenmesi ve Paylaştırılması

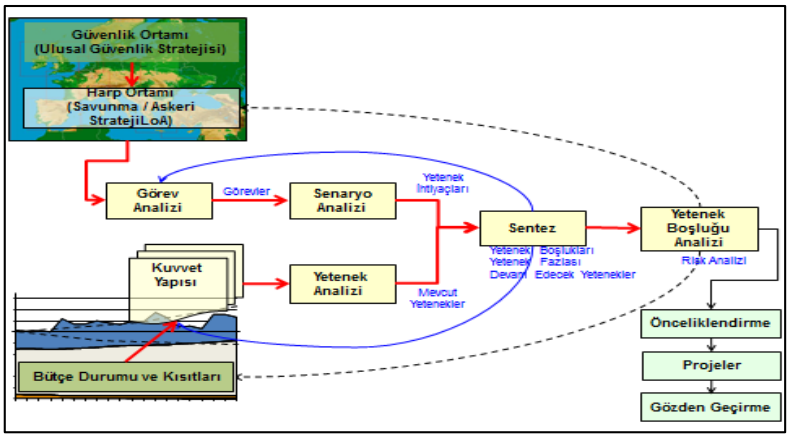
Bu safhada, yetenek ihtiyaçları, elde edilmesi gereken yetenek hedeflerine dönüştürülür ve DOTMLPFI alt bileşenlerinin tamamı belirlenir. Aynı zamanda, yetenek hedeflerinin hangi kurum/birim tarafından elde edileceği tespit edilir.

3.4 Yeteneklerin Elde Edilmesi/Uygulaması

Belirlenen yetenek hedefleri ve tüm bileşenleri tedarik, temin ve elde edilir.

3.5 Gözden Geçirme

Sürekli bir faaliyet olan bu safhada ise, yetenek boşluklarının elde edilmesi ve kuvvet yapısı ile göreve etkileri, sürekli olarak kontrol edilir ve gözden geçirilir.



Şekil-2. Yetenek Tabanlı Savunma Planlama Süreci (NATO'dan Uyarlanmıştır)

Yetenek Tabanlı Planlama esas itibariyle belirsizlikle mücadele etme yöntemidir. Bunun başarılmasında da, muhtemel senaryolar ve senaryolardan oluşan senaryo uzayının doğru ve gerçekçi belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sayede, muhtemel senaryolara karşı bir ülkenin yeteneklerinin optimizasyonu sağlanmış olacaktır.

4. SAVUNMA PLANLAMA VE MODSİM

Askerî organizasyonların, günümüz ve geleceğin güvenlik ortamına hazırlanmaları; belirsizlik, karmaşıklık ve hızlı değişim ile baş edebilmeleri; esnek ve çevik bir yapıya

kavuşmaları; bu sayede gerçek ve sürekli bir dönüşümü gerçekleştirmeleri tüm safhaları ve boyutlarıyla yeteneği esas alan savunma plan ve yönetim anlayışıyla mümkün olacaktır. Böylesi karmaşık ve belirsizlikle dolu bir sürecin planlaması, yönetilmesi ve takip edilmesi mümkün olan her noktada teknolojiden azami istifadeyi gerekli kılmaktadır. Bu nedenledir ki, savunma plan ve yönetim modeli kapsamındaki çalışmalar; stratejiden başlayıp, sistemin envanterden çıkışına kadarki tüm süreçte, MODSİM teknolojisinden istifadeyi bize zorunlu kılmaktadır.

İçinde bulunduğumuz 21. yüzyılda, dünyada teknolojinin baş döndürücü bir hızla ilerlemesi ve buna paralel olarak MODSİM teknolojilerindeki gelişmeler dikkate alındığında, STT yaklaşımının savunma planlama ve askerî projelerde kullanılması çok sayıda avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar arasında bütüncül savunma planlama, senaryo geliştirme, harekât ve görev analizi, konsept geliştirme, maliyet tahmini, simülasyon tabanlı ömür devri yönetimi, riskleri azaltma, kaynak (personel, zaman, para ve malzeme) tasarrufu, daha hızlı kavramsal ve mühendislik tasarımı, 3 boyutlu (3B) sanal görselleştirme, 3B yazıcı ile prototip geliştirme, sistem entegrasyon ve test döngüsünün kısaltılması sayılabilir.

Bilgisayar, yazılım ve donanım teknolojilerindeki son yıllardaki gelişmeler sürdükçe MODSİM teknolojileri de bize farklı çözümler sunmaya ve ufuklar açmaya devam edecektir. Simülasyonlar genel olarak, bağımsız veya gerçek bir sistemle birlikte entegre olarak kullanılmaktadır. ”*Bağımsız Simülasyonlar*” genellikle eğitim, tatbikat, karar destek, planlama, test, analiz, tahminde bulunma, konsept geliştirme ve deneme, mühendislik tasarımı, 3B sanal görselleştirme, prototip geliştirme, hipotez testi, alternatiflerin değerlendirilmesi veya eğlence amaçlı kullanılırlar. Diğer taraftan, “Entegre *Simülasyonlar*” ise bir sistemi desteklemek, güçlendirmek veya değerlendirmek için kullanılan uygulamalardır [16].

Bir simülasyonda kullanılan modeller istenirse çok ayrıntılı tanımlanıp, sadakat seviyesi (fidelity) arttırılabilir. Modellerin ayrıntısı veya gerçeğe yakınlığı arttıkça simülasyonun çalıştırılması veya hesaplanması için gerekli olan işlemci gücü daha fazla artar. Ancak günümüzde bu durum bazı istisnalar (NP –Nondeterministic Polynomial time. hard) dışında büyük oranda sorun olmaktan çıkmış olup, artık simülasyonların ihtiyaç duyduğu karmaşık hesaplamaları çok hızlı bir şekilde yapabilecek yüksek kapasiteli bilgisayarlar kullanılmaktadır. Üstelik bu bilgisayarlar oldukça ucuzlamış durumdadır.
ABD Senatosu 2007 yılında MODSİM teknolojilerini “millî kritik teknolojiler” arasında kabul ederek önemli bir karara imza atmış ve daha da ileri giderek MODSİM teknolojilerini tedarik süreçlerine dâhil etmiştir [20]. Bu karar günümüzde STT’nin gelişmesine ve kurumsallaşmasına büyük katkı sağlamıştır.

Günümüzde ABD dışında diğer gelişmiş ülkeler de MODSİM teknolojilerinden hem askerî hem de sivil uygulamalar ve projelerde artık çok daha fazla yararlanıyorlar. Dünyada özet olarak, tedarik süreçlerinde MODSİM teknolojilerinden yararlanma gerekçeleri arasında şunlar bulunuyor:

- Savunma ve güvenlik ihtiyaçlarındaki hızlı değişimler,
- Daha büyük çaplı ve bütçeli savunma programları,
- Askerî sistemlerin karmaşıklaşması (sistemler sistemi),
- Tedarikçilerin uzmanlaşması ve çeşitliliği ve rekabet,

- Teknolojilerin çoğalması,
- Savunma bütçelerindeki kısıtlamalar [17].

Türkiye'de ise hâlihazırda geliştirici/yüklenici firmalar STT yöntemine uygun olarak mühendislik uygulamalarında; bilgisayar destekli tasarım, fizik ve matematik modelleme, sanal modelleme ve görselleştirme, bilgisayar destekli üretim, veri yönetimi çalışmalarında çok çeşitli simülasyon programlarını etkin olarak kullanmaktadır. Ancak bu tip programların kullanılması genellikle ticari amaçlı olup, daha çok firmaların inisiyatifinde ve ihtiyaçlarına göre şekillenmektedir. Mevcut savunma proje süreçlerinde önceden belirlenmiş standart bir STT yöntemi kullanılması yönünde, ne ihtiyaç makamı ne de tedarik makamı tarafından geliştirici firmalara bir yaptırım veya talep yoktur. Daha da önemlisi STT yöntemi simülasyon ve simülatör projeleri de dâhil olmak üzere bildiğimiz kadarıyla askerî hiçbir proje sözleşmesinde yer almamaktadır.

Bu makalede, 1990'lı yıllardan itibaren başta ABD olmak üzere gelişmiş ülkeler tarafından tedarik sürecinde etkin olarak kullanılan STT yöntemiyle, ihtiyaç makamı olarak TSK, tedarik makamları (MSB ve SSM) ve geliştirici firmalar tarafından uygulanabilirliği incelenecek, daha sonra STT yönteminin uygulanmasına ait görüş ve çözüm önerilerimize yer verilecektir.

5. SİMÜLASYON TABANLI TEDARİK NEDİR?

Bilgisayar işlemci hızı ve kapasitesindeki son yıllardaki muazzam artış, aynı şekilde MODSİM teknolojilerine de yansımış ve karar verme ve analiz süreçlerinin kısalmasını, karmaşık sistemlerin daha hassas bir biçimde modellenmesini ve diğer modellerle etkileşimlerini daha yüksek bir hassasiyet ile sağlamıştır. Bu ise, MODSİM teknolojilerinin geniş bir yelpazede, farklı disiplinlerde daha yaygın olarak kullanılmasına zemin hazırlamıştır.

Savunma proje tedarik süreçlerinin tamamını kapsayan çevrimin her aşamasında, ilk aşamada ihtiyaç makamı olarak TSK tarafından senaryo oluşturma, harekât ihtiyaç analizi, görev analizi, konsept ve yetenek geliştirme, ikinci aşamada ihtiyacın doğrulanmasından fizibilite analizi ve projenin kabulüne, daha sonra kavramsal tasarım, matematik modelleme, sanal görselleştirme ve prototip geliştirme, son aşamada da bakım ve güncellemeye kadar tedariğin her adımında simülasyon teknolojilerinden faydalanmak suretiyle kullanılmasına STT yöntemi diyoruz [16]. Tedarik edilecek sistem ve silahlar karmaşıklaştıkça ve büyük proje bütçelerine sahip oldukça, simülasyon teknolojileri kaçınılmaz bir şekilde başta ihtiyacın belirlenmesinden, yeni konseptlerin denenmesine ve yeteneklerin oluşturulmasına kadar tedarik sürecinin her aşamasında kullanılabilecek önemli bir teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca STT yöntemi ile, tedarik aşamasında kullanılan simülasyonlar tekrar kullanılarak, diğer tedarik projelerindeki simülasyonlarla veya gerçek sistemlerle entegre, birlikte çalışabilir ve etkileşimli olarak kullanılması önemli bir avantaj sunmaktadır.

STT'nin ana amacı, tedarik sisteminin ana paydaşları olan ihtiyaç makamı, tedarik makamı ve geliştirici firma personelinin daha entegre ve daha iyi bir işbirliği ve koordinasyon içerisinde çalışmalarını sağlamaktır. STT yönteminin bu amaca uygun olarak kullanılmasıyla; 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 artacak ve böylece, gelecekte karşılaşılması muhtemel problemler asgariye indirilebilecek, kaynaklar daha maliyet-etkin kullanılabilecektir. STT yöntemi ile ihtiyaç makamı/kullanıcı, tasarım timinin bir personeli gibi çalışmakta ve tasarımı, prototip geliştirme ve seri üretim aşamasına gelmeden çok önce yönlendirebilmekte ve değişiklik yapabilmektedir [17]. Bu yaklaşım sayesinde simülasyon sistemleri, sanal ve 3B yazıcı modelleri vasıtasıyla ihtiyaç makamı ve kullanıcının, ihtiyaç duyduğu sistem/silah ile etkileşme girmesi ve bu sistemi görsel olarak kolaylıkla algılayabilmesi sağlanmaktadır. Tasarım timi, alan uzmanının girdilerini anında tasarıma yansıtabilmekte ve sonuç olarak daha kaliteli ve yüksek performanslı ürün, daha az maliyet ve daha kısa sürede geliştirilebilmektedir.

Aynı zamanda, STT yaklaşımı ile geliştirici firma tasarım timine, sanal olarak modellenen ortamda sistem üzerinde yüzlerce farklı alternatifi ile sınırsız deneme ve test yapma imkânı sağlarken, optimum çözüme çok kısa zamanda ve maliyet-etkin olarak ulaşmasını sağlar. Yine STT yöntemi dinamik ve esnek bir yapı sunarak, alternatif ürünleri test etmek için gerçek bir prototip üretmek yerine, sanal ve 3B yazıcı ile yüzlerce değişik tasarım alternatifinin analiz edilmesi mümkün olmaktadır.

Sonuç olarak, etkileşimli adımlara ayrılmış bir tedarik süreci, STT yaklaşımının temelini oluşturur ve "Tedarik Ömür Devri Süreci"nde simülasyon teknolojilerini kullanmak suretiyle geliştirilen konseptin test edilmesi, muhtemel tedarik seçeneklerinin daha doğru olarak karşılaştırılması, üretimin ve yerleştirmenin planlanması, operasyon esnasında destek ve elden çıkarma gibi adımlarda doğru kararlar vermek ve toplam maliyeti düşürmek de mümkündür [17].

6. ASKERÎ MAKSATLI SİMÜLASYONLAR

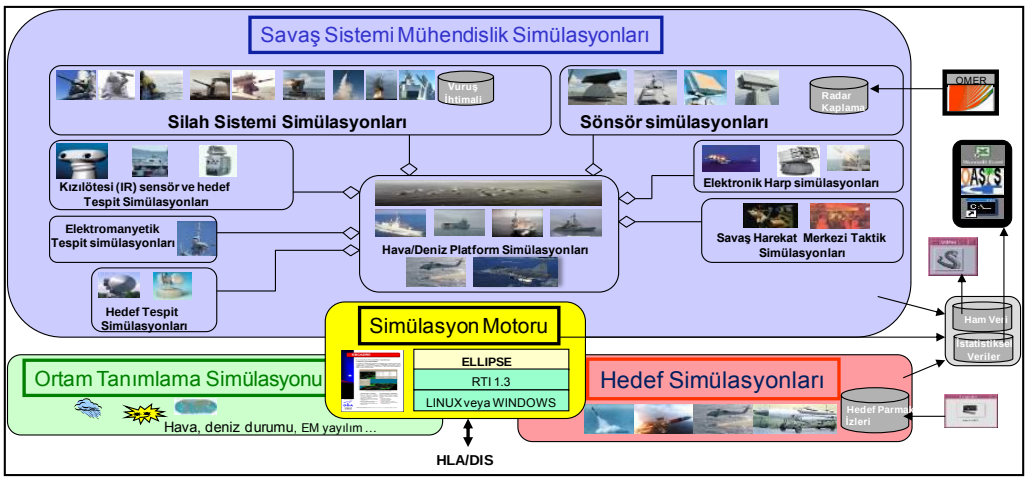
Simülasyon teknolojileri sadece görsel sonuçlarıyla değil aynı zamanda yaptıkları optimizasyon hesaplamalarıyla optimal çözümlere yaklaşmamıza yardımcı olurlar. Simülasyonlarla tedarik aşamasında ihtiyacın türünü, ölçüsünü ve tipini belirleriz. Tedarik için teklif edilen muhtemel sayıda, tipte ve türde bir sistemi satın almaya gerek kalmadan, sanal ortamlarda sınayarak verilen teklifin ne kadar doğru olduğunu anlayabiliriz. Ancak şu hususu hiçbir zaman akıldan çıkarmamak gerekir ki, STT için bir simülasyon altyapısı ve bu altyapının oluşturulması için ilave kaynak (para, zaman, malzeme ve personel) gereklidir. Bu durum başlangıçta ilave proje maliyeti getirmesine rağmen, STT'nin uygun şekilde ve etkin kullanılması ile proje toplam maliyeti üzerinde önemli kaynak tasarrufu sağlayacak ve proje risklerini önemli ölçüde azaltacaktır.

Tedarik modelindeki değişim ihtiyaç ve tedarik makamları ile savunma firmaları olarak tüm paydaşların, münferit mühendislik simülasyonları kullanmaları yerine, hedef ve tehditleri, araziyi, ortam şartlarını, atmosferi ve dost sistemleri içeren mühendislik veya parametrik düzeyde karar-destek simülasyonlarının kullanılması STT konseptine uygun bir yapılanmayı gerektirir.

STT yöntemi içinde özellikle ihtiyaç ve tedarik makamı tarafından konsept geliştirme, kavramsal tasarım ve harekât ve görev analizi gibi konularda kullanılmak üzere bir simülasyon altyapısına (battle-lab) ihtiyaç vardır. Başlangıçta bu altyapının kurulması

proje için ilave kaynak (para, zaman ve personel) gerektirir. Daha sonra bu altyapının STT yönetime uygun olarak mevcut proje ve diğer projelerde de kullanılmasıyla bilgi birikimi oluşturma, birlikte çalışabilirlik, tekrar kullanılabilirlik, ölçülebilirlik ve verimlik açısında önemli avantajlar sağlaması aşikârdır. Ayrıca sistem ihtiyacının belirlenmesinden tedariğe ve kullanıma kadar geçen sürenin kısalması, bu süre içinde sistemin teknolojik olarak eskimesi riskini de azaltır [18]. Şekil 3'te örnek bir askerî simülasyon altyapısı gösterilmiştir.

Bu altyapıların öncelikle doğrulama ve geçerlemeye tabi tutularak, gerçek dünyadaki sistemleri istenilen sadakat seviyesinde benzetilmesi sağlanır. Ayrıca sahadan gelen gerçek test verileri ile simülasyon altyapısının veri tabanı güncellenerek, yeni teknolojilerle uyumlu hâle getirilmesi, daha sonra da farklı projelerin gerçekleştirilmesinde simülasyon altyapısı olarak kullanılması sonucu sistemin sürekli geliştirilmesi sağlanır, böylece kullanıcıların sisteme olan güvenini önemli oranda artırır.



Şekil 3. Askerî Maksatlı Simülasyon Altyapısı [19]

7. STT YÖNTEMİNDE PAYDAŞLAR

Savunma planlama kapsamında STT yönteminin paydaşları (Şekil 4):

- İhtiyaç makamı ve kullanıcı olarak TSK,
- Tedarik makamları Milli Savunma Bakanlığı (MSB) Modernizasyon ve Ar-Ge Daire Başkanlıkları ve Savunma Sanayii Müsteşarlığı (SSM) ve
- Yüklenici/geliştirici firmalardır.

STT yöntemi uygulanması ile kullanıcı/ihtiyaç makamı, tedarik makamı ve geliştirici arasında çok yönlü dinamik bir işbirliği ve koordinasyon öngörülmektedir.

8. STT İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ

Bu makalede kullanılan tedarik kavramı; senaryo geliştirme, harekât, görev ve yetenek ihtiyaçlarının belirlenmesi; konseptlerin araştırılması, geliştirilmesi ve tanımlanması; gereksinim analizi; sistem analizi; tasarım, geliştirme ve pilot üretim; test ve değerlendirme; seri üretim; işletme ve bakım ile kullanımdan çıkartma süreçlerini

içermekte, kısacası bir sistemin fikir olarak doğmasından kullanımdan çıkarılmasına kadar geçen tüm safhaları kapsamaktadır. Tüm bu tanımlar ışığında STT yöntemi ise, bir sisteminin konsept veya kavram olarak doğuşundan envanterden çıkarılması dahil tedarik sürecinin tüm safhalarında yapılacak analiz çalışmalarında MODSİM sistem ve teknolojilerinin kullanılması olarak tanımlanabilir [17]. Ucuz ve kritik bir teknoloji olarak değerlendirilen MODSİM teknolojileri, teknoloji üreten ülkelerin savunma tedarik süreçlerinin her safhasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5'de STT için önerilen mimari gösterilmiştir. Bir projenin ömür devrini kapsayan her aşamasında bütüncül bir yönetim yaklaşımıyla, tüm paydaşların içinde olduğu dinamik bir model yaklaşımı ortaya konulmuştur. STT kapsamında, planlama, karar destek, tedarik, analiz, deney, test ve değerlendirme, bilgi toplama ve tatbikat ve eğitim bütünüyle ele alınmaktadır. Proje geliştirme süreci üç ana aşamada değerlendirilmektedir Her üç aşama da bir döngü içinde ele alınmıştır. Bu aşamalar:

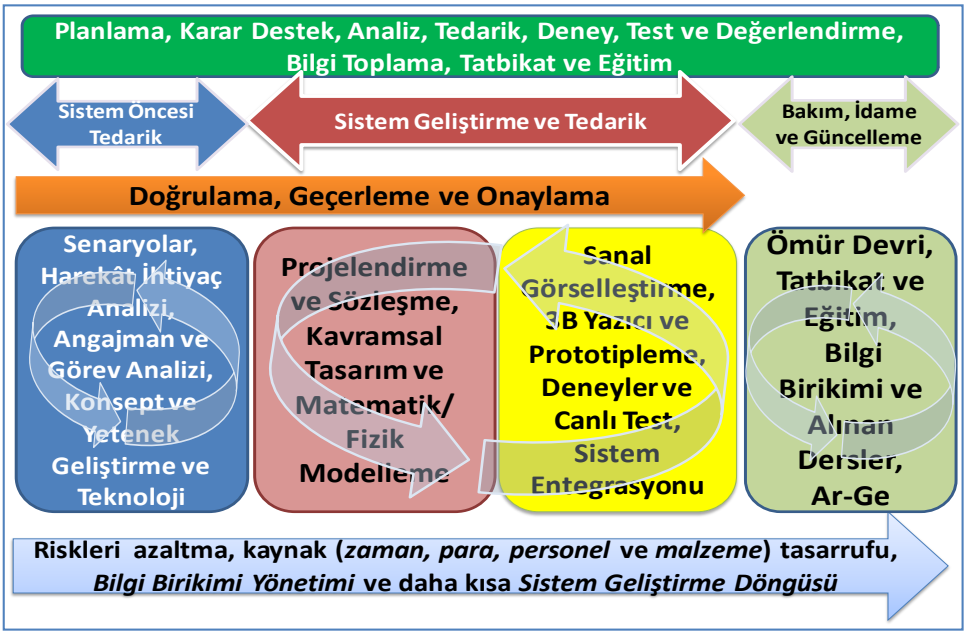
- Sistem öncesi tedarik,
- Sistem geliştirme ve tedarik,
- Bakım, idame ve güncellemedir.

Önerilen STT modelinde, senaryo geliştirme, harekât ihtiyaç analizi, angajman ve görev analizi, konsept ve yetenek geliştirme ve güncel teknoloji alt başlıklarından oluşan sürecin ilk aşamasında kullanıcı ve ihtiyaç makamı olarak TSK etkin role sahiptir. Projelendirme ve sözleşmenin imzalanması, kavramsal tasarım ve matematik/ fizik modelleme, mühendislik simülasyonları, sanal görselleştirme, 3B yazıcı ile modelleme, prototip üretme, deney ve canlı testler ve sistem entegrasyonu gibi alt başlıklardan oluşan sürecin ikinci aşamasında tedarik makamı ile birlikte geliştirici firma/firmalar devreye girer ve etkin rol alırlar. Ömür devri yönetimi, garanti, bakım-idame, tatbikat ve eğitim, bilgi birikimi ve alınan dersler, Ar-Ge alt başlıklarını kapsayan son aşamada ise öncelikli olarak firma/firmalar olmak üzere tüm paydaşlar etkin rol alırlar.

Teknolojinin hızla gelişmesi sonucu ortaya çıkan sanal görselleştirme simülasyonları (VBS3 –Virutal Battle Space vb.) ve 3B yazıcılar ve bu STT yöntemi içinde önemli avantajlar sağlar. Sanal simülasyon yazılımları silah/sistemlerin 3B modellerinin geliştirilmesinde hâlihazırda kullanılmaktadır. Ancak ciddi oyun yaklaşımı ile geliştirilen VBS3 gibi sanal simülasyonlar taktik seviyeye kadar 3B ortamlarda konsept gösterimde kullanılmaktadır ki bu kavram dünyada oldukça yendir. İhtiyaç makamı ile firmalar arasında işbirliği ve koordinasyonu bu simülasyon araçları çok kolaylaştırmaktadır. Harekât analizi ve konsept geliştirme safhasında tanımlanan konseptler, sanal simülasyonlar aracılığıyla kullanıcı ve tasarımcı tarafından incelenerek, önerilen konseptlerin ihtiyacı ne oranda karşıladığı saptanabilir, farklı görev ve çatışma seviyelerindeki senaryolara uygun konseptlerin iyileştirilmesi sağlanabilir. Benzer şekilde 3B yazıcılar ise, silah/sistemlerin hızlı ve maliyet etkin bir şekilde farklı ebatlarda prototip modellerinin üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Ayrıca 3B yazıcılar ile tersine mühendislik uygulamaları ile mevcut ürünlerin 3B modelleri kolaylık üretilebilir ve yeni geliştirilecek ürünlerde kullanılabilir.

Önerilen bu yöntemde, iki adet simülasyon altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Birincisi, ihtiyaç makamı olarak TSK tarafından harekât ihtiyaç analizi, angajman ve görev

analizi, konsept ve yetenek geliştirme kapsamında kullanılacak bir simülasyon altyapısıdır. İhtiyaç duyulan ikinci altyapı ise belirli savunma projelerinde (Anka, Atak helikopteri, Altay tankı, MİLGEM vb.) geliştirici firmalar tarafından hâlihazırda kullanılan mühendislik simülasyon altyapılarıdır. Bu simülasyon altyapıları bir veya birden fazla sayıda olabilir, farklı seviyelerde ve dağıtık ortamda kullanılabilir.



Şekil 5. Simülasyon Tabanlı Tedarik için Mimari Önerisi

Son olarak, bu STT modeli ile ömür devri aşamalarından herhangi birinde ortaya konulan tasarım veya ürünlerin diğer safhaya aktarılmasına ve böylece devamlılığın ve tekrar kullanılabilirliğin arttırılması ile kaynak tasarrufu sağlanması hedeflenmektedir.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Geleceğin güvenlik ve harp ortamını "*belirsizlik*", "*karmaşıklık*" ve "*hızlı değişim*" ile karakterize etmek mümkün olacaktır. Bu ulusal güvenlik ve harp ortamına uyum sağlamak için savunma planlama politikaları da buna uygun olarak ele alınmalıdır. Savunma planlama kapsamında STT yaklaşımı askerî proje süreçlerinde esneklik ve çeviklik sağlamaktadır. Başta TSK olmak üzere Türkiye'de MODSİM kritik teknolojilerinden daha fazla ve etkin yararlanabilmesi için kullanıcıları, ihtiyaç ve tedarik makamlarının sürekli ve doğru bir şekilde bilgilendirilmesi gereklidir. Bu teknolojileri iyi anladığımız takdirde ihtiyaçlarımızı karşılamak için daha özgün çözümler bulabileceğiz. Bu şekilde savunma sanayiimizin küresel rekabet ortamında güçlenmesine yardımcı olacaktır. Burada dinamik bir etkileşim ve analiz ortamı sağlamayı hedefleyen STT yöntemi, tedarik sürecinde uygulanabilir bir konsept olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sonuç olarak, STT yaklaşımı, TSK, tedarik makamları ve firmalar tarafından bir politika olarak ele alınmalı, kurumsallaştırılmalı ve projelerin tüm paydaşları tarafından tedarik süreçlerinin her aşamasında uygulanmalıdır. Böylece bütüncül ve sistematik

STT yapısı oluşabilsin. Dünyadaki diğer örnekleri de dikkate alarak ülkemize özgü bir STT modeli ortaya çıkarmak bu aşamada karşımızda bir ödev olarak durmaktadır.

10. KAYNAKÇA

[1] Rumsfeld, D. (2011), Known and Unknown: A Memoir featuring The Honorable Donald Rumsfeld, Heritage Foundation.

[2] Hite, J. Jr. (1999), Learning in Chaos-Improving Human Performance in Today's Fast-Changing, Volatile Organizations, Houston, Texas: Gulf Publishing Company.

[3] Behrendt, P. (2013), PLA on the March Military Transformation and Modernization in the PRC, Revolutions, Vol. 1, Issue 1, pp. 292-296.

[4] Global Strategic Trends out to 2045 (2014), DCDC Strategic Trends Programme.

[5] Öztürk, D.(2012), Agile Knowledge Management; A Review, Reconceptualization, and Extension to Military Applications, Old Dominion University (Norfolk, Virginia, ABD), Doktora Tezi.

[6] Synider D.M. ve Watkins G.L. (2002), The Future of the Army Profession, Boston: McGraw-Hill Publishing, pp.3-5.

[7] Davis P.K. (2009), Military Transformation? Which Transformation, and What Lies Ahead?, RAND Corporation.

[8] Lira, L.L. (2004), To Change an Army: Understanding Defense Transformation, 2004 ISSS /ISAC Annual Conference, 28-30 Ekim 2004.

[9] Boot, M. (2006), War Made New: Technology, Warfare, and the Course of History, 1500 to Today, Gotham Books.

[10] Kagan, F.W. (2006). Finding the Target: The Transformation of American Military Policy, Encounter Books.

[11] McNaugher, T.L. (2007). The Real Meaning of Military Transformation: Rethinking the Revolution, Foreign Affairs.

[12] Amir L. ve Merry U.(1986). Organizational Transformation: Approaches, Strategies, Theories, New York: Praeger Publishers, pp. 5.

[13] Vlahos, M. (2003). Perspectives on Military Transformation: Towards a Global Security Force, Nisan 2003.

[14] Goss, T.J. (2005). Building A Contingency Menu: Using Capabilities-Based Planning For Homeland Defense and Homeland Security, Naval Post Graduate School, Monterey, CA, ABD, Yüksek Lisans Tezi.

[15] Neal, D.J. ve Wells II, Linton (2011). Capability Development in Support of Comprehensive Approaches: Transforming International Civil-Military Interactions, ACT.

[16] İşler,V., (2010), Bir Konuk ile Söyleşi, Savunma Sanayii Gündemi Dergisi.

[17] İpekkan, Z., (2010), Simülasyon Tabanlı Tedarik Yönteminin Savunma Tedarik Sürecinde Kullanımı, *Savunma Sanayii Gündemi Dergisi*.

[18] MEVLÜTOĞLU, A., (2010), Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Tedarik Süreç Yönetiminde Kullanılması ve Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi, *Savunma Sanayii Gündemi Dergisi*.

[19] Bujon E., Hansen, N.K., Tedarik ve Mühendislik için Modelleme ve Simülasyonun Kullanımı, Fransa Sunumu, *35. NATO Modelling and Simulation Group (NMSG)* Estonya Toplantısı, 2015.

[20] Acquisition, *M&S Journal*, Winter Edition, 2013-2014, Volume 8 Issue 4.

VERİ MODELLEMEDE YENİ BİR BOYUT: BÜYÜK-VERİ

□ GELİŞTİRME STRATEJİSİ VE BİR UYGULAMA □

Lütfi KÖSE[(a)], A. Ziya AKTAŞ [(b)]

[(a)]Comodo Inc, Çankaya- Ankara, ltfi@ymail.com

[(b)]Başkent Üniversitesi, Bağlıca Kampusu-Ankara, zaktas@baskent.edu.tr

ÖZ

Büyük-Veri için gereken veriler bloglar, sosyal medya, elektronik postalar, sensörler, fotoğraflar veya videolar gibi geleneksel olmayan büyük boyutlarda ve çok çeşitli kaynaklardan derlenir. Böylelikle, kurum ve kuruluşlar müşterileri, rakipleri veya ortakları için daha fazla kestirimde bulunabilirler. Geleneksel olmayan böyle bir veri yığını daha önce sorulmamış sorulara cevap olabilir ve yarar sağlayabilir.

Büyük-Veri uygulamalarında en yüksek yarar ve doğru kullanım amaç edinilmelidir. Bu nokta Büyük-Veri uygulaması geliştirme stratejisinin önemini göstermektedir. Makalede Büyük-Veri ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra bu alanda kullanılabilecek bir strateji önerilecek, onu izleyerek yapılan bir geliştirme çalışması özetlenecektir.

Anahtar Kelimeler: Büyük-Veri, Büyük-Veri tanımları, geliştirme modeli, strateji, yaşam-döngüsü, uygulama.

A NEW DIMENSION IN DATA MODELING: BIG-DATA

□ DEVELOPMENT STRATEGY AND AN APPLICATION □

ABSTRACT

Data in a Big-Data are gleaned from nontraditional sources such as blogs, social media, emails, sensors, photographs, video footage, etc. Therefore they are typically unstructured and voluminous. Yet, they hold the promise of giving enterprises deeper

insight into their customers, partners, and businesses. Such data can provide answers to questions that they were not asked earlier. What's more, companies benefit from a multidimensional view of their businesses when they add insight from Big-Data to the traditional types of information they collect and analyze.

Enterprises must learn to understand how best to use Big-Data. This point implies importance of Big-Data Development Strategy. In the article after general information about Big-Data, a strategy is proposed and an application development is summarized.

Keywords: Applications, Big-Data, definitions, development model, life-cycle, strategy.

1. GİRİŞ

Büyük-Veri (Big-Data) sözcüğü nispeten yeni sayılabilecek bir yeni kavramı tanımlamak amacıyla kullanılmaktadır. Verinin artan boyutu, çeşitliliği ve kullanımındaki hızlılık ihtiyacı Büyük-Veri tanımlanmasında ve alt yapısının geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. Ancak her yeni trend için olduğu gibi yanlış uygulama, ihtiyacın doğru belirlenememesi ve eksik teknik bilgi, bu alanda zaten yüksek olan başarısızlık oranının yükselmesine neden olmaktadır.

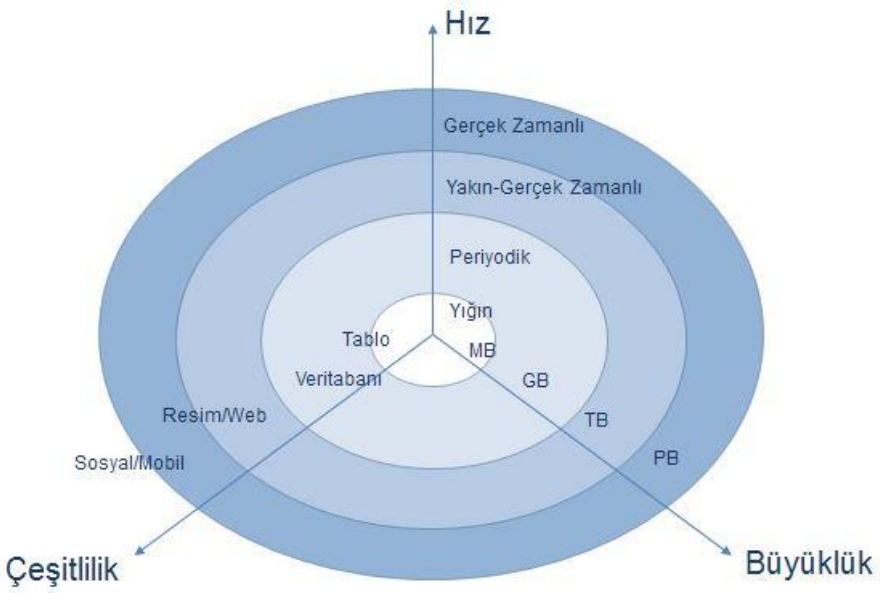
Büyük-Verinin tanımları, karakteristik özellikleri, bir geliştirme stratejisi önerisi, ve bir uygulama geliştirme çalışmasının özeti makalenin temel bölümlerini oluşturmaktadır.

2. BÜYÜK-VERİ NEDİR?

Büyük-Veri, kelime yapısı itibari ile verinin boyutunun büyüklüğünü ifade etse de konu tam olarak da öyle değildir. Büyük olmayan ve çeşitliliği olan veri yığınları da Büyük-Veri kavramını karşılarken, çeşitliliği az olan büyük hacimli veri yığınlarını da böyle bir terimle nitelendirmek de doğru olmamaktadır. Kısaca, Büyük-Veri dediğimiz zaman üç boyutlu bir veri yapısından söz edilir: Büyüklük (Volume), Çeşitlilik (Variety) ve Hız (Velocity). Bu üç boyut Şekil 1 ile gösterilmiştir.

Veri yığınlarının artan boyut ve çeşitliliğini, işlenmesindeki hız ihtiyacını göz önünde tutarak Büyük-Veri tanımını ilk olarak 2012 yılında D. Laney yapmıştır [1].

Çok çeşitli Büyük-Veri tanımları ve modelleri olmasına rağmen, temelde 3V (Volume, Variety, Velocity) modeli genel olarak kabul görmektedir.



Şekil 1. Büyük-Veri ve 3V Modeli (Volume, Variety, Velocity)

2.1. Büyük-Veri Tanımı

Büyük-Veri, geleneksel veri işleme yöntemleri başarılı olmadığında kullanılabilecek bir yaklaşımdır. Büyük-Veri terimi ile yapısal olsun olmasın(Çeşitlilik), zaman hassasiyeti olan(Hız) ve göreceli olarak büyük hacimli(büyüklük) özellikleri olan verilerin donanım üzerinde dağıtık ve parallel olarak eş zamanlı işlenmesi amaçlanmaktadır.

2.2. Büyük-Veri' nin Temel Kavramları

2.2.1. Büyük-Veri' nin kilit özellikleri

Büyük-Veri için üç kilit özellik olarak şunlar sayılabilir:

- Büyüklük (Volume),
- Hız (Velocity),
- Çeşitlilik (Variety).

Aşağıda bu özellikler kısaca özetlenecektir:

a) Büyüklük

Internette artan ticaret siteleri ve ticari işlemler internet trafiğini fazlasıyla artırdı. Mobil Uygulamalar ve sosyal ağlar bu artış miktarını inanılmaz boyutlara ulaştırdı. J.P. Dijcks makalesinde makina üretimi olan verilerin de bu hacim artışına katkıda bulunduğuna değinmiştir [2].

b) Hız

Verilerin işleme hızı zamanla algoritma iyileştirilmeleriyle artmaktadır ama bu gelişimler hacim ve çeşitliliğin artışını kapatıp öne geçecek durumda değildir. Buna kullanıcı sabırsızlığı da eklenince veri işlemedeki beklenti hızlı olması yönünde zorlayıcı boyuta gelmiştir. Dijcks makalesinde sosyal medya ortamının bu hıza yetişen örnekler sunduğunu belirtmektedir. Bu da insanları sabırsız yapmakta ve hız beklentisini daha da çok artırmaktadır [2].

c) Çeşitlilik

Metin, ses, görüntü, hareketli görüntü gibi alanlarda veri çeşitliliği her gün artmaktadır. Geleneksel ve geleneksel olmayan veri tipleri farklı yönetim yöntemlerine ihtiyaç duyar. Büyük-Veri tamda bu noktada bu iki tipi aynı anda yönetebilme kabiliyetine sahip bir kavram olarak öne öne çıkmaktadır [2].

2.2.2. Büyük-Veri ’nin ek özellikleri

GİRİŞ Bölümünde de söz edildiği gibi literatürde 3V modeline ek olarak bir hayli diğer model ve ek özellik tanımları mevcuttur. Bunlar arasında özellikle şunlar sayılabilir:

- Değer (Value)
- Değişkenlik (Variability)
- Gerçeklik (Veracity)
- Karmaşıklık (Complexity)

a) Değer

Verinin değeri ekonomik önem taşır ve veri sınıflandırmada önemli bir ayrıntıdır. Neyin önemli neyin önemsiz olduğu bilgisi stratejiyi belirleme yolunda büyük bir avantaj sağlamaktadır [2].

b) Değişkenlik

Srinivas’ a göre ise Değer kavramı çok önemli değildir, önemli olan verinin

Değişebilir olduğu gerçeğidir. Verinin değişilirliğini kabul etmek uygulamaların daha esnek olmasını sağlar. Verinin değeri ve çeşitliliğini sabit kabul etmemek esastır [3].

c) Gerçeklik

Jawell de Değer tanımı yerine Gerçeklik tanımı üzerinde durmuştur. Verinin gerçek olmasının güvenirliği ve model oluşturmayı kolaylaştırdığını savunmuştur [4].

d) Karmaşıklık

SAS Topluluğuna göre ise Karmaşıklık, Büyük-Veri tanımında en önemli faktördür. Karmaşıklıktan kasıt, veriyi elde etmedeki karmaşıklık ve kullanmadaki karmaşıklığa denk gelmektedir [5].

2.3. Büyük-Veri' yi oluşturan temel veri kaynak tipleri

Büyük-Veri üreten veri kaynakları arasında şunlar sayılabilir:

- **Geleneksel şirket içi veriler**, bu veri kümesi tipleri müşteri bilgisi, kullanıcı bilgisi gibi temel kişisel verileri kapsar.
- **Makina üretimi/sensör verileri**, bu veri kümesi tipi ise kurgulanmış bir makina üretimi verileri ve fiziksel sensörlerin ürettiği periyodik veya anlık verileri içermektedir.
- **Sosyal medya verileri**, bu veri kümesi tipi sosyal medya tarafından üretilen ve mobil verinin de dâhil olduğu grubu kapsamaktadır.

2.4. Bazı firmaların Büyük-Veri' ye bakışları

Sağlayıcı firmaların Büyük-Veri kavramına bakış açısı ürün grupları ile paralellik göstermektedir. Aslında benzer çözümlerin hemen hepsi açık-kaynaklı çözümler ile sağlanabilmekte ise de Büyük-Veri projelerinin önemli özelliklerinden birisi de destek ve sürdürülebilirliğin projede hayati rol oynamasıdır. O yüzden sağlayıcı şirket çözümleri de maliyetli olmalarına rağmen proje ölçeği doğrultusunda tercih edilmektedir.

- IBM'in çözüm önerisinde yazılım ve donanımda bulunmakla birlikte 4V modeli temel alan çözümler sunmaktadır. 3V (Volume, Velocity, Variety) kavramına ek olarak Gerçeklik (Veracity) kavramına vurgu yapılmaktadır [4].

- INTEL' in çözümü daha üst seviye ve iş ortaklarının sistem geliştirmesine olanak veren bir çözümdür, donanım desteği ile katkı sağlanmaktadır [6].
- ORACLE' ın çözümü de hem donanım hem de yazılım barındırmaktadır. V modelinde bir çözüm sunmak yerine iş modeline göre çözüm sunma anlayışı hâkimdir [3].
- MICROSOFT' un çözümü Azure ismini verdiği Bulut platformu ile bütünleşik haldedir; geliştirme araçları da Büyük-Veri kavramına uygun biçimde yayınlanmaya başlamıştır. Donanım değil servis tabanlı çözümleri sunmayı tercih etmişlerdir [3].

3. BÜYÜK-VERİ'YE NEDEN İHTİYAÇ VAR?

Değişen ve gelişen dünyada klasikleşmiş yöntemlerin yerini her zaman daha iyi ve gelişmiş yöntemler almaktadır. Özellikle Bilgisayar Mühendisliği gibi süreçlerin hızla değişip iyileştirilebildiği bir alanda bu kaçınılmaz olacaktır. Veri boyutları görece büyüdü; veri çeşitliliği arttı ve işleme hızlarının iyileşmesi herkes tarafından beklenti haline geldi.

Bu beklentinin doğru olarak karşılanabilmesi için ihtiyacın doğru tespiti ve doğru stratejinin seçimi daha da önemli bir hal almıştır.

3.1. Büyük-Veri ile İhtiyaç Haline Gelen Yönelimlerin Kontrol Edilmesi

Büyük-Veri kavramının hem beslediği hem de beslendiği üç yönelim vardır [7,8]:

- Tüketim
- Enstrümantasyon
- Keşfetme

a) Tüketim

Büyük-Veri kavramı hem tüketim sonucu oluşan verinin değerlendirilmesi için ortaya çıktığı düşünülebildiği gibi hem de bireylerin tüketimi artırması için yönlendirme yapmak üzere kullanıldığı ikilemini aynı anda doğrulamaktadır.

b) Enstrümantasyon

Veri yığınlarından karar destek yazılımları oluşturulması enstrümantasyona örnek olarak verilebilir.

c) Keşfetme

Samanlıkta iğne aramak gibi görülse de önceleri çöp olarak görünen veri yığınları içerisinde bilgi aramak keşfetmenin zorlu amacını ortaya koymaktadır. Bu konu üstünde çok fazla analitik çalışma vardır; düzensiz veri yığınlarından bile şaşırtıcı sonuçlar görmek artık normal bir şey haline gelmiştir.

4. BİR BÜYÜK-VERİ UYGULAMA GELİŞTİRME STRATEJİSİ ÖNERİSİ

Büyük-Veri uygulamalarında en önemli konu izlenecek stratejinin düzgün biçimde ortaya konması ve ihtiyacın belirlenmesi konusudur. Maalesef henüz bu amaçla kullanılabilecek belirgin ve başarılı bir yol haritası, bir strateji, mevcut değildir.

4.1. Neden Stratejiye İhtiyaç Var?

Genellikle, yeni olmakla birlikte, uygulanan projelerin çoğundaki başarısızlık nedeni Büyük-Veri ihtiyacının olup olmamasının saptanamaması ve adımların belirlenmeden yola çıkılmasıdır.

4.2. Büyük-Veri Uygulama Stratejileri

Makale konusu olan çalışmalar sırasında literatürde var olan üç örnek stratejiye bakarak yeni bir strateji önerisi geliştirmek mümkün ve yararlı görülmüştür.

Örnek-1(Genel Yaklaşım)

Dört adımda Büyük-Veri strateji modeli öneren bu önermenin adımları,

1- Öncelikle iş modelinizi ve bu modelin gerekliliklerini belirleyin;
2- Projenizin plan ve kapsamını bu doğrultuda belirleyin;
3- Teknik gereklilik dokümanları oluşturun ve amaçlara uygunluğunu sorgulayın;
4- Komple bir iş değeri başarımı oluşturmaya çalışın, bütüne odaklanın,

olarak sıralanabilir [9].

Örnek-2 (Veri odaklı Yaklaşım)

Altı adımda Büyük-Veri strateji modeli öneren bu önermenin adımları ise şöyle verilmiştir [10]:

1- İş vizyonu belirlemeyle başlayın ve destekleyici girişimleri önemseyin.

2- Belirlediğiniz vizyonun ortaya çıkması için nasıl bir veriye ihtiyacınız var onu belirleyin.
3- Tam bu noktada amaca ulaşmak için gerekli olan veriyi planlayın, tasvir edin.
4- Şimdiki durumu ihtiyaç olan duruma göre değerlendirip kıyaslayın.
5- Gereksinimlerinizi plana göre tarafsız olarak değerlendirin.
6- Uzun süreli bir iş olduğunu unutmayın; sürekliliği sağlamaya çalışın; iş modeli sürekli veri üretebiliyor mu? kontrol edin.

Örnek-3 (İş Odaklı Yaklaşım)

Dört adımda Büyük-Veri strateji modeli öneren bu önermenin adımları şunlardır[11]:

1- Teknoloji ve iş ihtiyacını dengede tutmaya çalışın;
2- Tek tip Büyük-Veri teknolojisi yok, bunun farkına varın;
3- Belki işinizin sadece bir bölümü Büyük-Veri kavramı ile değerlendirilebilir; genele yaymaya her zaman çalışmayın;
4- Planlarınız uzun süreli olmalı.

4.3. Bir Büyük-Veri Strateji Modeli Önerisi

Sunulan üç örnek modelin eksikleri ve iyi olduğu noktalar var. Ancak, bunların hiçbiri tek başına yeterli görülmediğinden onları değerlendirerek oluşturulan önerimiz Tablo 1 olarak verilmiştir.

5. BİR UYGULAMA

Önerilen stratejinin örnek uygulamasında problemimiz Duygu Analizi (Sentiment Analysis),Büyük-Veri ve BÖLÜM 4 içinde öneri olarak verilen stratejiyi kapsamaktadır. Duygu Analizi; örnek olarak alınan metinden ya da değerlendirilebilir veriden belirli yöntemler ile (biz kelimelerin olumlu ya da olumsuz kökünü kullandık); tavrın belirlenmesi esasına dayanır. Uygulamada Crowdflower sayfasında bulunan Airline Twitter Sentiment Dataset [12] kullanılmıştır [13].

5.1. Problemin Tanımı

Problemin tanımında aslında ihtiyaçlardan yola çıkıldı. Geciken uçuşlar ve bunların ardından müşterilerin tutumları ve yorumlarını gerçek zamanlı alabilmek birçok hava

yolu şirketince değerli bir bilgi haline gelmiştir. Gerçek zamanlı olarak müşteri değerlendirmesi büyük bir veri kümesi ve hız gerektireceği için mevcut sistemler ile hızlıca değerlendirilemez haldedir.

Tablo 1. Bir strateji önerisi

1. İşe vizyon belirlemeyle başlayın ve destekleyici girişimleri önemseyin;
2. Belirlediğiniz vizyonun ortaya çıkması için nasıl bir veriye ihtiyacınız var onu belirleyin;
3. Tam bu noktada amaca ulaşmak için gerekli olan veriyi planlayın, tasvir edin.
4. İş modelinizi ve bu modelin gerekliliklerini belirleyin;
a)Tek tip Büyük-Veri teknolojisi yok, bunun farkına varın;
5. Şimdiki durumu ihtiyaç olan duruma göre değerlendirip kıyaslayın;
6. Gereksinimlerinizi plana göre tarafsız olarak değerlendirin;
7. Projenizin plan ve kapsamını bu doğrultuda belirleyin:
a)Teknoloji ve iş ihtiyacını dengede tutmaya çalışın;
b)Belki işinizin sadece bir bölümü Büyük-Veri için uygun olabilir; genele yaymaya her zaman çalışmayın;
c)Planlarınız uzun süreli olmalı.
8. Teknik gereklilik dokümanları oluşturun ve amaçlara uygunluğunu sorgulayın;
9. Komple bir iş değeri başarımı oluşturmaya çalışın, bütüne odaklanın;
10. Uygulama geliştirmeye başlayabilirsiniz;
11. Uzun süreli bir iş olduğunu unutmayın, sürekliliği sağlamaya çalışın, iş modeli sürekli veri üretebiliyor mu? Kontrol edin.

5.2. Önerilen Stratejinin Adımlarının Uygulanması

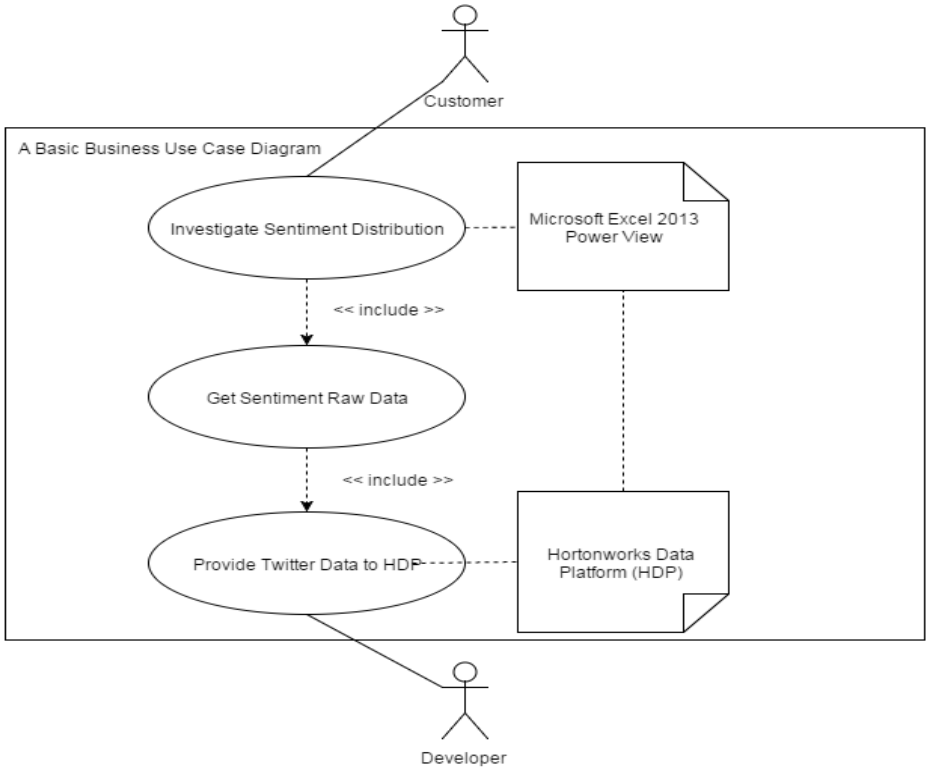
Önerilen stratejinin adımlarını izleyerek,

- Birinci adım olarak vizyonumuzu belirledik, bu vizyon dahilinde kullanıcılardan elde edeceğimiz verilerin arz-talep ilişkisi için önemli olduğunu ileride bunu hava yolu şirketlerine sağlayabileceğimizi planladık, ayrıca geciken uçuşların hangi aktarmalarda yeni gecikmelere yol açacağını kullanıcılara sağlayabileceğimizi gelecek planları dahil etme kararı aldık.
- İkinci adım olarak belirlediğimiz vizyonu ortaya çıkaracak veriyi saptadık. Bu noktada Twitter verisi bizim uygulamamız için çok uygun göründü. Örnek veri parçası Şekil 2 ile verilmiştir.

@VirginAmerica it was amazing, and arrived an hour early. You're too good to me.	Los Angeles
@JetBlue won't see my money again after their poor service should have stuck with virgin america what was i thinking trying jetblue???	London/NYC

Şekil 2. Örnek Twitter Verisi

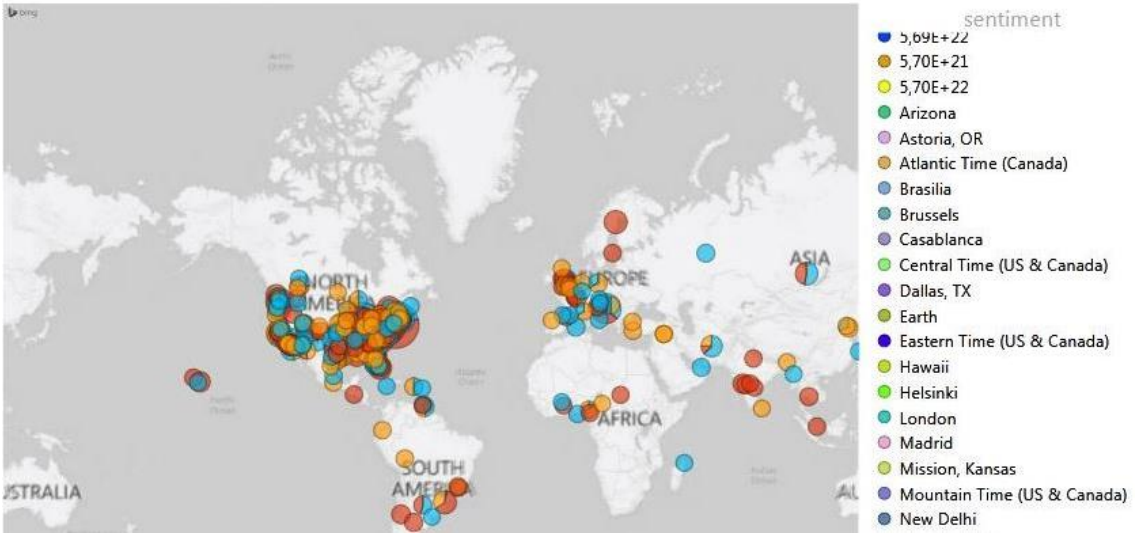
- Üçüncü ve dördüncü adımda, Şekil 3 ile verilen İş kullanım modelini belirledik[13].



Şekil 3. İş kullanım modeli

- Beş, Altı ve Yedinci adımlarda ihtiyaç analizi yaptık yani nelere ihtiyacımız vardı onları hazırladık:
  - Hortonworks Hadoop, Oracle Virtual Box, Twitter Veri Kümesi, Hive Script, gösterim içinde Microsoft Excel ve Harita plug-in yazılımları temel ihtiyaçlarımızdı. Bunları sağladık.
- Yedi, Sekiz, Dokuz ve Onuncu adımlarda uygulama planı ve uygulamayı tamamladık. Planımızı;
  - Oracle Virtual Box üzerine Hortonworks Hadoop kurulumu,
  - Veri kümesinin Crowdflower adresinden indirilmesi,
  - Veriyi işleyecek Hive Script inin kodlanması,

- Script çalıştıktan sonra çıkan sonucun Microsoft Excel Power Harita plug-in yazılım ile gösterilmesi ve sonucun yorumlanması olarak yaptık. Sonuç Şekil 4 ile gösterilmiştir.



Şekil 4. Duygu Analizi Dağılımı

- On birinci yani son adımda da uygulamamızı sürekli kontrol edip veri akışını ve iş devamlılığını kontrol ettik.

5.3. Değerlendirme

Günümüzde bir hayli Büyük-Veri projesi yola çıkıp fazla kaynak kullanımı veya yanlış ihtiyaçtan dolayı başarısız olmaktadır [2]. Bu çalışmada uygulamayı ve sonucu stratejiyi takip ederek önceden öngörebildik ve gerçekleştirdik. Bir bakıma stratejimizi öncelikle kendimiz denemek olanağı bulabildik.

6. SONUÇ

Özellikle son yıllarda hızla artarak çok çeşitli kaynaklardan farklı türde ve değişken nitelikte çok büyük boyutlu verilerin toplanıp depolanması ve bu veri yığınlarının işlenip hızla yararlı bilgilerin elde edilebilmesi amacıyla yapılan çalışmalar kısaca "büyük-veri / big - data" dediğimiz bir oluşumu yarattı.

Bu bildiride konu ile ilgili genel bilgiler verildikten sonra, böyle bir veri yığını üzerinde çalışarak işe yarar / ihtiyaç duyulan yeni bilgilerin edinilmesi için yardımcı olabilecek bir strateji önerisi yapıldı. Ardından da sosyal medyada –Twitter- ortamındaki bir veri

yığını üzerinde yapılan bir uygulamanın sonuçlarına yer verildi. Böylece büyük-veri alanında bir uygulama örneği oluşturulmuş oldu.

KAYNAKÇA

[1] Laney, D. (2012), The Importance of 'Big Data': A Definition, Retrieved from http://www.gartner.com/resId=2057415.

[2] Dijks, J.P. (2013), Oracle: Big Data for Enterprise, Retrieved from: http://www.oracle.com/us/products/database/big-data-for-enterprise-519135.pdf.

[3] Srinivas, G.J.(2012), Big Data On Microsoft Platform, Retrieved from: http://download.microsoft.com/download/A/F/B/AFB1DCA8-7C6F-476B-8159-214500E7A613/Big_Data_On_Microsoft_Platform.pdf.

[4] Jawell, D., R.D. Barros, S. Diederichs, L.M. Duijvestijn, M. Hammersley(2014), Performance and Capacity Implications for Big Data, Retrieved from: http://www.redbooks.ibm.com/redpapers/pdfs/redp5070.pdf.

[5] SAS Community (2012), Big Data Meets Big Data Analytics, Retrieved from:http://www.sas.com/content/dam/SAS/en_us/doc/whitepaper1/big-data-meets-big-data-analytics-105777.pdf.

[6] IntelCommunity (2015), Getting Started With Big Data, Retrieved from:http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/guides/big-data-get-started-reference-guide.pdf.

[7] Collins, E. (2014), Intersection of The Cloud and Big Data, Network, IEEE (Volume:1 , Issue: 1), ISSN :ISSN :2325-6095, pp 84-85.

[8] Collins, E.(2014), Big Data in the Public Cloud, Published in: Cloud Computing, IEEE (Volume:1 , Issue: 2), ISSN : 2325-6095, pp 13-15.

[9] Infochimps Community(2015), How to Do a Big Data Project, Retrieved from: http://www.infochimps.com/resources/how-to-do-a-big-data-project-a-template-for-success/

[10] Oates, D.(2015), 6 Essential Steps to Define your Big Data Strategy, Retrieved from: http://www.experian.co.uk/marketing-services/article-6-steps-to-define-your-big-data-strategy.html.

[11] Bennett, M.(2014), Planning Your Big Data Strategy: Five Keys To Success, Retrieved from: http://blogs.forrester.com/martha_bennett/14-08-15-planning_your_big_data_strategy_five_keys_to_success.

[12] Crowdflower Community, Airline Twitter Sentiment, Retrieved from: http://www.crowdflower.com/data-for-everyone, 2015

[13] Köse, L., "Büyük-Veri ve Bir Büyük-Veri Uygulaması", Y. Lisans Tezi, BAŞKENT Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ağustos, 2015. Danışman: Prof. Dr. A. Ziya Aktaş.

İNSANSIZ HAVA ARACINDA ISIL ANALİZ SONUÇLARININ UÇUŞ TESTLERİ İLE DOĞRULANMASI

Erdem Örselli

TUSAŞ A.Ş., İnsansız Hava Aracı Sistemleri Grup Başkanlığı, ANKARA,
eorselli@tai.com.tr

ÖZ

TUSAŞ'ın geliştirmekte olduğu Özgün Türk İnsansız Hava Aracı ANKA, MALE (Medium Altitude Long Endurance – Orta İrtifa-Uzun Süre Havada Kalış) olarak bilinen sınıfta yer alan bir insansız hava aracıdır. İçinde karmaşık birçok sistem barındıran ANKA hava aracında gövde içi sıcaklıklar Çevresel Kontrol Sistemi (ÇKS) ile yönetilmektedir. Bu sistem tasarlanırken Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yazılımlarından faydalanılmakta ve ısıl analizler ile elde edilen sıcaklık verileri uçuş testlerinden elde edilen veriler ile doğrulanmaktadır. Bu bildiri kapsamında ANKA Blok-A hava aracı uçuş verileri, ısıl analiz verileri ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiş; kullanılan modelleme yöntemleri ve sınır şartlar verilirken yapılan kabullerin uygunluğu hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca, aynı hava aracı ile yapılmış önceki uçuşlardan gelen bilgi birikiminin doğrulama analizlerinin başarısı üzerindeki etkisi anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hesaplamalı akışkanlar dinamiği, İnsansız hava aracı, Isıl analiz, Hava aracı modelleme, Uçuş testi

VALIDATION OF THERMAL ANALYSES WITH FLIGHT TESTS ON UNMANNED AERIAL VEHICLE

ABSTRACT

Indigenous Turkish Unmanned Aerial Vehicle ANKA, which is developed by TAI (Turkish Aircraft Industries) is a MALE (Medium Altitude Long Endurance) class UAV (Unmanned Aerial Vehicle). The temperature inside the fuselage is controlled by the Environmental Control System (ECS) in ANKA aerial vehicle which has many complex systems. In the development stages of this system Computational Fluid Dynamics (CFD) software is used and the calculated temperature data is verified with the data

obtained from the flight tests. In this paper a comparison of the calculated and measured temperature data is presented along with the evaluation of the modeling approach, boundary conditions and the assumptions used. In addition, the effect of know-how acquired from the previous flights of the same aerial vehicle is given on the success of the verification analyses.

Keywords: Air vehicle modeling, Computational fluid dynamics, Flight test, Thermal Analysis, Unmanned aerial vehicle

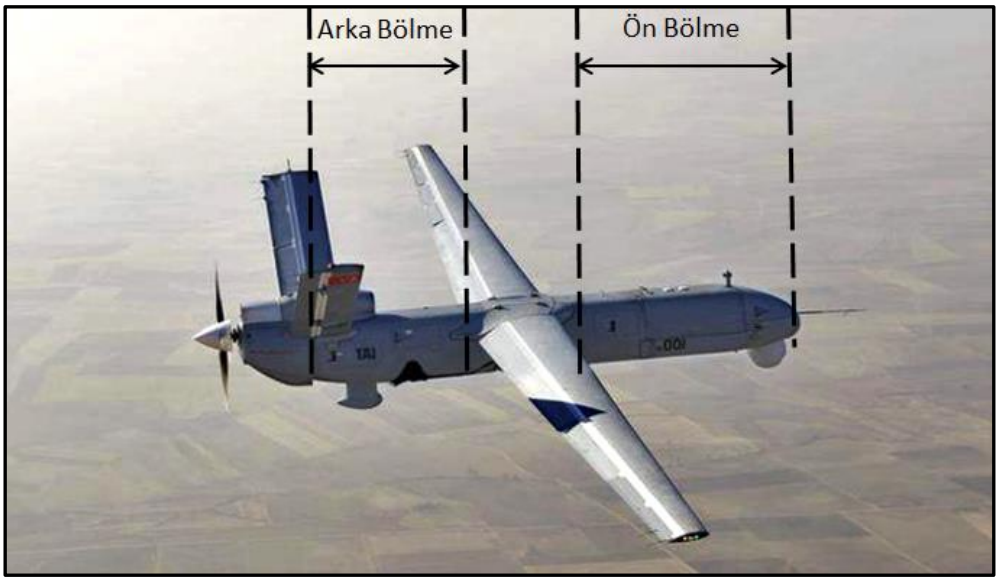
1. GİRİŞ

ANKA hava aracı bünyesindeki sistemlerden birisi olan ÇKS ile hava aracının karşılaşabileceği en zorlu sıcaklık koşulları altında gövde içinde yer alan aviyonik ve elektrik ekipmanların sağlıklı olarak çalışması sağlanmaktadır. ÇKS, sahip olduğu hava alıkları, soğutucu ve ısıtıcı özellikli fanlar ile gövde içinde gerekli sıcaklıkta havanın dolaşımını ve gerektiğinde dış ortama atılmasını sağlamaktadır.

Isıl Analizler yardımıyla tasarlanan ÇKS'nin sıcak hava koşullarında hava aracı yerdeyken ve uçuş halinde seyri sırasında alınan veriler ile doğrulaması yapılmaktadır. Bu süreç içindeki adımlardan biri olan uçuş test sıcaklık verileri ile ısıl analiz verilerinin karşılaştırılmalı sunumu bu bildiride verilmektedir.

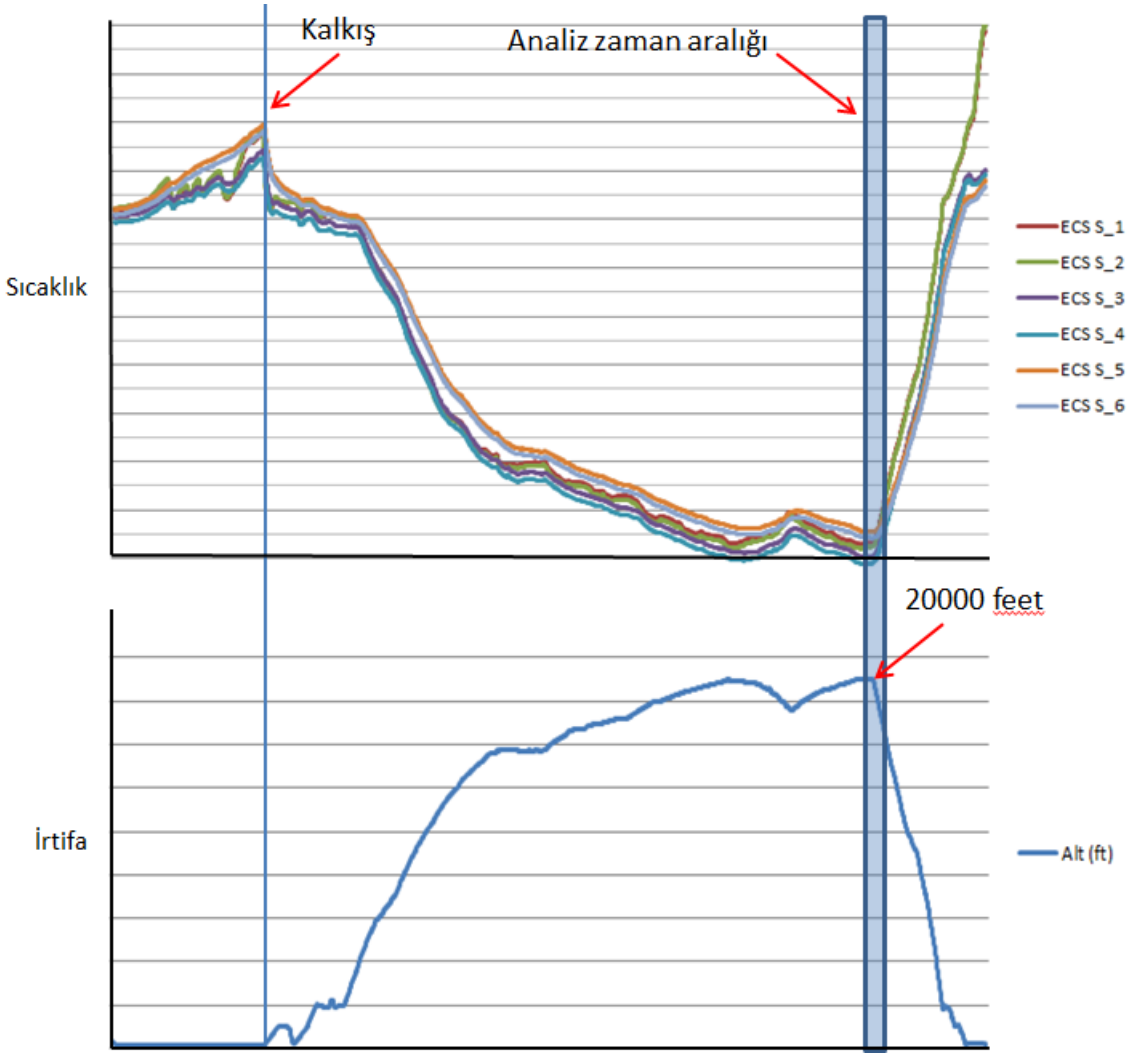
2. UÇUŞ TEST VERİLERİ

Söz konusu uçuş testi ile deniz seviyesinden 20000 feet yükseklikte sıcaklık verileri toplanmıştır. Sıcaklık ölçümleri hava ve duvar sıcaklığı olarak iki ayrı sistem tarafından kaydedilmiştir. Gövde içi hava sıcaklığı ÇKS'ye ait sıcaklıkölçerler tarafından toplanırken gövde içi duvarların sıcaklık ölçümü için ise bu amaçla yerleştirilmiş uçuş test sıcaklıkölçerleri kullanılmıştır. Söz konusu bölmeler Şekil 1'de gösterilmiştir.



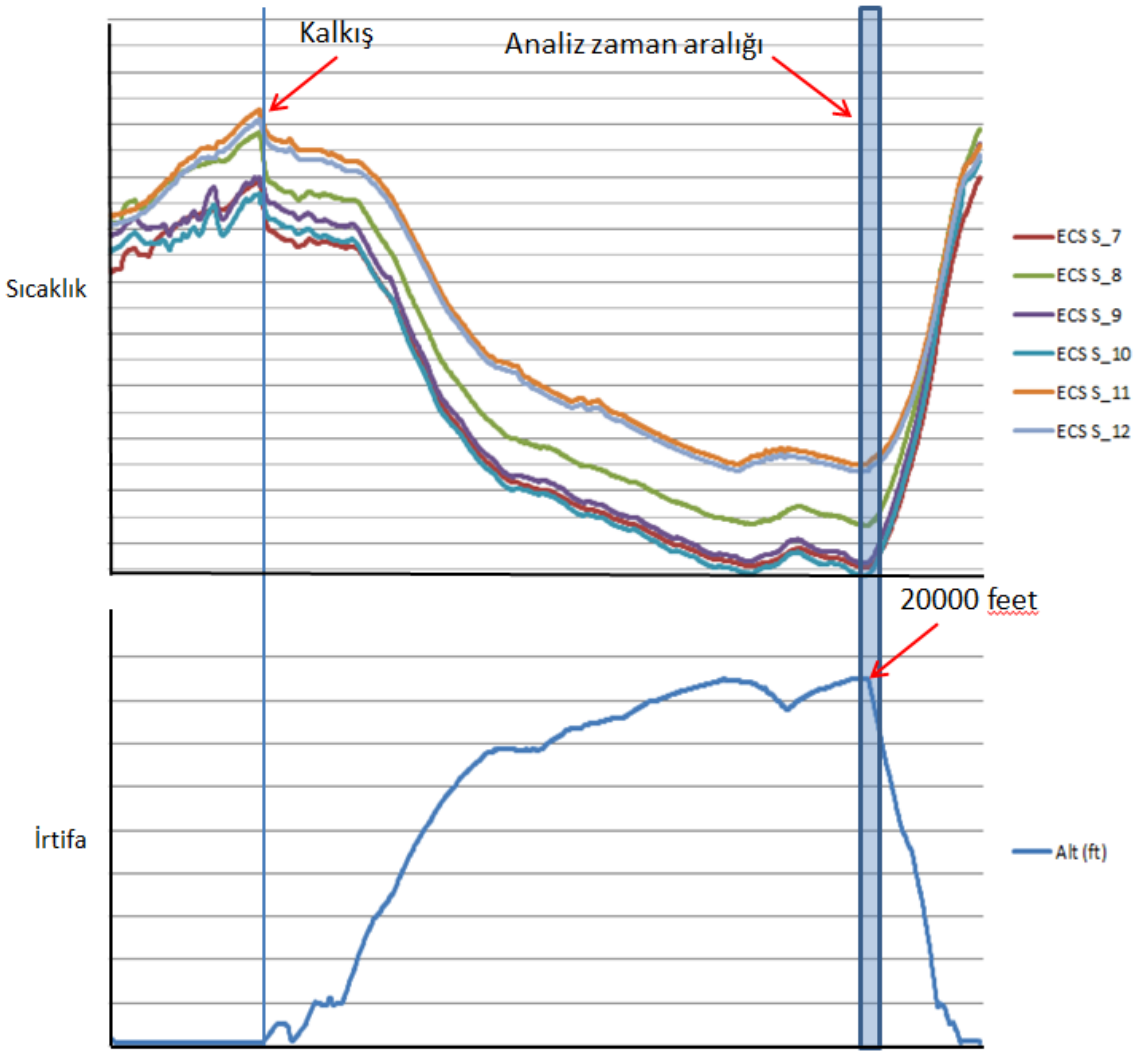
Şekil 1. ANKA hava aracı bölmeleri [1]

Uçuş test profili ve karşılık gelen hava aracı gövde içi sıcaklık değişim eğilimi Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir. Verilere göre kalkış sonrası 20000 feet irtifaya tırmanılmıştır. Bu yükseklikte sıcaklıkların durağan seyrettiği süre için (yaklaşık 7 dakika) sonraki başlıklarda detayları verilecek olan doğrulama ısıl analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Zamana bağlı ön bölme sıcaklık değişim eğilimi ve irtifa seyri, [2]

Not: ECS S_1'den 6'ya kadar olan veriler ön bölme sıcaklıkölçer verileridir. Projenin gizlilik derecesi sebebiyle grafik üzerinde tüm detaylar yer almamaktadır.



Şekil 3. Zamana bağlı arka bölme sıcaklık değişim eğilimi ve irtifa seyri, [2]

Not. ECS S_7'den 12'ye kadar olan veriler arka bölme sıcaklıkölçer verileridir. Projenin gizlilik derecesi sebebiyle grafik üzerinde tüm detaylar yer almamaktadır.

3. ANALİZ MODELİ VE YÖNTEMİ

Isıl analiz çalışmalarında model girdisi olarak ekipmanların yaydıkları ısı değerleri ve bölmelerdeki duvar sıcaklıkları kullanılmıştır. Bu değerlerden ekipman ısı yayım bilgileri üretici firmalardan sağlanırken duvar sıcaklıkları için bu bildirinin konusu olan uçuş testinin verileri kullanılmıştır.

Birbirinden bağımsız bölmeler olması sebebiyle hava aracının ön ve arka bölmeleri için ayrı ayrı modeller hazırlanmıştır. Analiz modellerinde hava aracı gövdesi içinde yer alan aviyonik/elektrik ekipmanlarla birlikte ve ÇKS'ye ait soğutma fanları da yer almaktadır. Gövde içi hava akışını daha iyi çözmek amacıyla ekipman modelleri üzerinde hava giriş-çıkışları ve varsa fanları da ayrıca modellenmiştir. Ayrıca bölmelerde dış ortamdan girecek havanın modellenebilmesi için hava giriş ve çıkışları da yer almaktadır.

Yukarıda verilen bilgilerle hazırlanan katı modeller için GAMBIT ve TGRID yazılımlarında sayısal çözüm ağı (mesh) oluşturulmuştur. Sayısal çözüm ağını ekipman yüzeylerindeki sınır tabaka ile birlikte oluşturabilmek için [4] no'lu referans dokümanda tavsiye edildiği üzere önce GAMBIT'te yüzey ağı; sonrasında ise TGRID'de hacim ağı oluşturulmuştur. Bu işlem sonrasında her bölme için yaklaşık 7 milyon hücrelik çözüm ağı elde edilmiştir. Elde edilen çözüm ağı daha sonra FLUENT yazılımı ile bir sonraki başlıkta verilen sınır koşulları ile analiz edilmiş ve bölmelerdeki sıcaklıklar hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonraki paragraflarda verilmektedir.

4. SINIR KOŞULLARI VE VARSAYIMLAR

Isıl analizlerde ön ve arka bölmeler için yaklaşık 7 milyon adet çözüm noktasından oluşan çözüm ağı kullanılmıştır. Duvar sıcaklıkları ve gövde içi sıcaklıklar için Şekil 2 ve Şekil 3 üzerinde belirtilmiş olan "Analiz zaman aralığı" süresindeki stabilize olduğu kabul edilen değerler esas alınmıştır.

4.1. Sınır koşulları

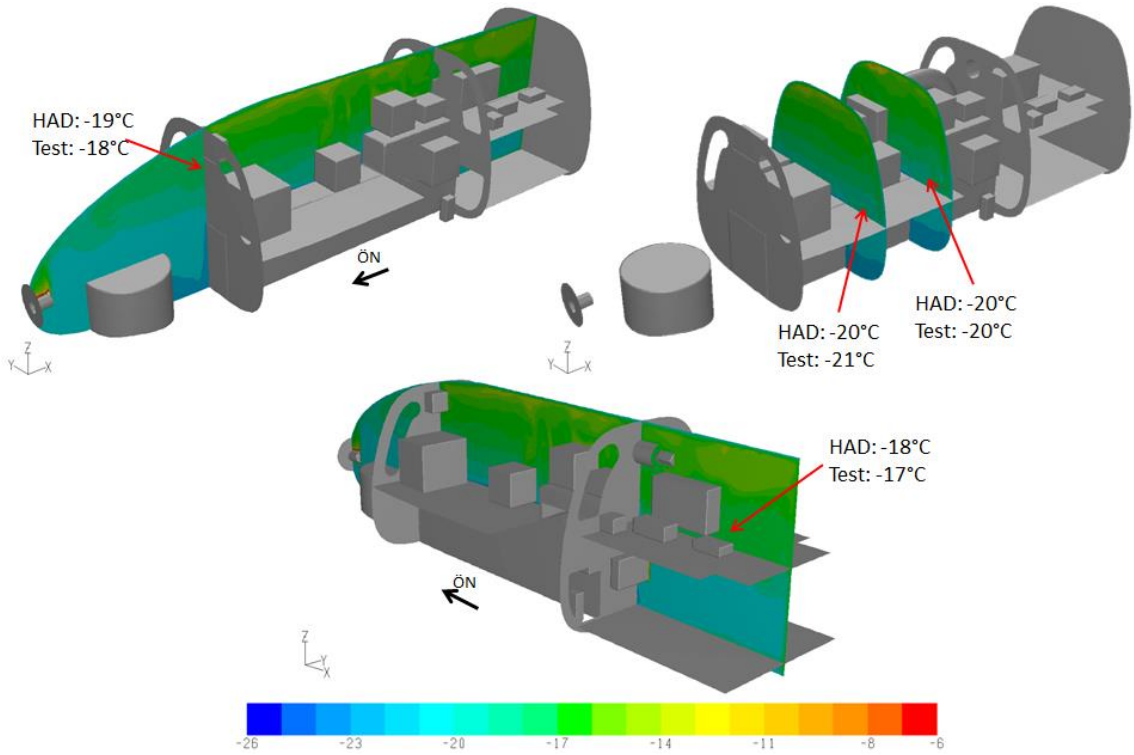
- Duvar sıcaklıkları ve ortam basıncı uçuş test verilerinden alınmıştır
- Uçuş esnasında çalışan ekipmanlar için ekipman üreticilerinden alınan ısı yayım değeri bilgisi kullanılmıştır.
- ÇKS fanları ve gövde içi ekipman fanları çalışmamaktadır.

4.2. Varsayımlar

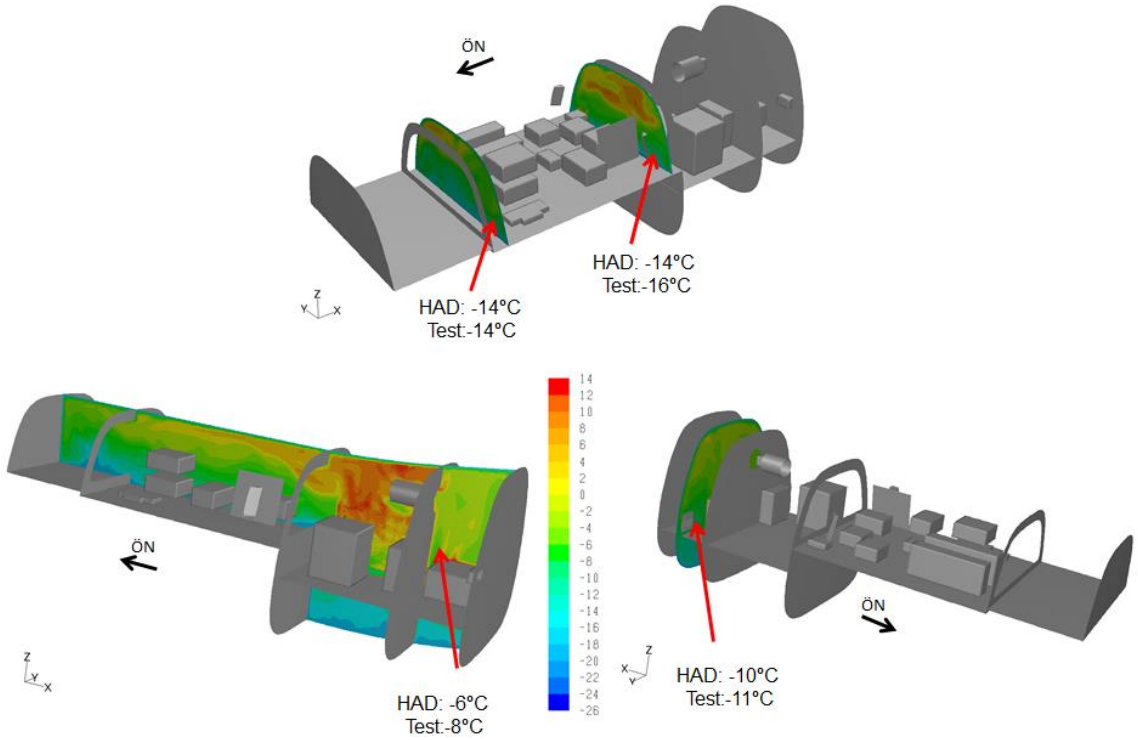
- Bölmelere hava giriş-çıkışı olmaması sebebiyle gövde içinde laminar akış olacağı kabul edilmiştir [3].
- Hava aracı dış kabuk sıcaklığının her yerde aynı olacağı varsayılmıştır.

5. ANALİZ SONUÇLARI

Analiz sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5'de yer almaktadır. Şekiller üzerinde her iki bölme için dörder adet Test/HAD noktası ile uçuş testinden alınan sıcaklıklar ve analiz sonucu hesaplanan sıcaklıklar karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Ön bölme sıcaklık dağılımı ve uçuş test sonuçları



Şekil 5. Arka bölme sıcaklık dağılımı ve uçuş test sonuçları

6. SONUÇ

Isıl analizler sonucu hesaplanan sıcaklıkların uçuş verileriyle 1-2°C mertebesinde uyuştuğu gözlenmiştir. Elde edilen test/analiz verisi arasındaki uyumluluk, gövde içindeki laminar akış yaklaşımının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. Bu yaklaşım ile türbülans modellerindeki hata payı modele yansıtılmamış ve gerçeğe daha yakın bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçtan hareketle, kullanılan çözüm yöntemi, çözüm noktası sayısı ve sınır şartlarının bu tip gövde içi hava akışı çözümleri için uygun olduğunu göstermiştir.

Bu bildiride sunulan çalışmanın bir benzeri aynı hava aracı ile gerçekleştirilen daha eski tarihli uçuş verileri ile de yapılmıştır [2]. Hesaplanan sıcaklıkların test verilerinden 6 ila 9°C yüksek çıkması üzerine hava aracı yapısal olarak incelenmiş ve ön/arka bölmelerde bulunan hava giriş kapakçıklarının tam kapanmayarak gövde içine hava girişine izin verdiği anlaşılmıştır. Bunun sonucunda hava giriş kapakçıklarının sızdırmazlığı mümkün olduğunca iyileştirilmiştir. Yeni durumda aradaki farkın 1-2°C mertebesine inmesi, yapılan iyileştirmenin doğrulama analizlerinin başarısı üzerine etkisinin olumlu olduğunu göstermiştir.

7. KAYNAKÇA

[1] www.tai.com.tr

[2] Anka Hava Aracı Uçuş Test Verileri

[3] Ansys Fluent 16 User Guide

[4] Lanfrit, M. (2005), Best practice guidelines for handling Automotive External Aerodynamics with FLUENT, Fluent Deutschland GmbH

SONLU ELEMANLAR MODELİ KULLANARAK, YAPISAL YAY TİPLİ İNİŞ TAKIMLARI İÇİN DÜŞÜRME TEST SİMÜLASYONU YAPILMASI

Özgür Dokuyucu [(a)], E. Tolga İnsuyu [(b)]

[(a)] TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Fethiye Mahallesi Havacılık Bulvarı No:17 06980 Kazan - Ankara, odokuyucu@tai.com.tr

[(b)] TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Fethiye Mahallesi Havacılık Bulvarı No:17 06980 Kazan - Ankara, tinsuyu@tai.com.tr

ÖZET

Uçuş testlerinden önce hava aracı iniş takımları, tasarımın ve yapısal bütünlüğün korunumunu doğrulamak üzere test edilmek zorundadır. "Düşürme testi" olarak tanımlanan bu testler çok zaman alan, zahmetli ve pahalı testlerdir. Düşürme testleri yerine en uygun alternatif ise gerçek testlerle karşılaştırılarak doğrulanmış bilgisayar destekli simülasyonlardır. İniş yüklerini sönümlemek için pnömatik, hidrolik ya da oleo-pnömatik şok emici kullanan iniş takımları için düşürme testi simülasyon modeli oluşturmak, bu tip şok emicilerin doğrulanmış matematik modelleri üreticiler tarafından sağlanabildiği için kolaydır. Ancak yapısal yaylı tipte iniş takımına sahip hava araçları için doğrulanmış geleneksel bir simülasyon metodu bulunmamaktadır. Bu çalışmada, yapısal yaylı tipte iniş takımına ait düşürme testi simülasyon modeli "VI-Aircraft" programı kullanılarak ve yapısal yayı sonlu eleman olarak modellenerek oluşturulmuş ve simülasyon sonuçları gerçek testlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar gerçek testlerden en çok %7 farklıdır, bu da oldukça gerçekçi bir simülasyon modeli oluşturulduğuna işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Düşürme testi simülasyonu, MSC-PATRAN, VI-Aircraft, yapısal yaylı tip iniş takımı, yapısal yay sonlu elemanlar modeli.

STRUCTURAL SPRING TYPE LANDING GEAR DROP-TEST SIMULATION MODEL, USING FINITE ELEMENT MODEL

ABSTRACT

Aircraft landing gears must be tested before flight tests to confirm the design and structural integrity. These “drop tests” are very expensive, time consuming and demanding. Computer simulation is the best alternative to real drop tests but only after validation and verification of the simulation model. For landing gears using pneumatic, hydraulic or oleo-pneumatic shock absorbers; creating the simulation model is straight forward because the mathematical models are available and modifications of the parameters are easy. However for the aircrafts which have structural spring type landing gear, a conventional simulation modelling method does not exist. In this study a structural spring type landing gear simulation model is generated using VI-Aircraft software with finite element structural spring and simulation results are compared with the real drop-test results. The results are with maximum %7 error, which means the simulation is very accurate.

Keywords: Structural spring type landing gear, drop test simulation, structural spring finite element model, VI-Aircraft, PATRAN.

1. GİRİŞ

Bu bölümde yapısal yay tipli iniş takımları, düşürme testleri ve düşürme test simülasyonları hakkında temel bilgi verilmektedir.

Yapısal yaylı tipte iniş takımı tüm iniş takımı tipleri arasında en basit tasarımdır. İniş takımı hava aracı gövdesine bağlı metal ya da kompozit malzemeden üretilmiş yapısal bir parça şeklindedir. Yay ve sönümleme sabitini parça geometrisi ve malzeme özellikleri belirlemektedir. Şekil 1 de ANKA hava aracına ana iniş takımı resminde görüleceği üzere hafif hava araçları için basit ve mantıklı bir tasarım seçimidir. Yapısal yay ipinde iniş takımlarına sahip diğer hava araçlarına; Cessna 162, Cessna 182, Piper PA-38 örnek olarak verilebilir. Yapısal yaylı tipte iniş takımı çelik ya da alüminyum yerine kompozit malzemeden üretilerek büyü ölçüde bir ağırlık azaltılması mümkündür. Simulasyonlarda kompozit malzemeden üretilmiş bir iniş takımı modeli kullanılmıştır.

Şekil 1. Kompozit yapısal yaylı tipte ana iniş takımı, ANKA hava aracı

Düşürme testleri iniş takımı tasarımını ve mukavemet analizlerini doğrulamak amacıyla yapılmaktadır. Bu testlerde hava aracı; farklı ağırlık ve iniş çökme hızları konfigürasyonları için test ağırlığı ve düşürme yüksekliği değiştirilerek test edilebilmektedir. Düşürme testlerinde; yük faktörleri (çarpma ivmeleri), yer tepkisi yükleri, esnemeler ve kritik olarak belirlenen parçalar üzerindeki yükler ölçülebilmektedir. Ölçülen değerler detay parça mukavemet analizlerine girdi oluşturmaktadır. Hava aracında kullanılacak iniş takımının birebir aynısı test düzeneğine monte edilerek farklı iniş ağırlıkları ve çökme hızlarını sağlayacak şekilde serbest bırakılarak kuvvet algılayıcıya bağlı plaka üzerine düşürülmektedir. Tüm iniş koşulları test edildikten sonra parçalar tahribatlı ya da tahribatsız muayeneler ile incelenerek, iniş takımları tasarım ve yapısal mukavemet analizleri doğrulanmaktadır. Test düzeneği, testler ve sonrasında yapılacak muayene işlemleri çok zaman alan, zahmetli ve pahalı işlemlerdir. Hafif hava araçları için bile test düzeneğinin üretilmesinden test muayenelerinin tamamlanmasına kadar geçen süre aylar mertebesinde olabilmektedir. Şekil 2'de ANKA hava aracına ait düşürme testi düzeneği görülmektedir.

Şekil 2. Düşürme testi düzeneği, ANKA hava aracı

Düşürme testleri sayısını azaltmanın ya da düşürme testlerinden tamamen kurtulmanın yolu düşürme test simülasyon modelleri oluşturulmasıdır. VI-Grade firması tarafından geliştirilen "VI-Aircraft" programı düşürme testleri simülasyonlarında havacılık otoriteleri tarafından en fazla tercih edilen yazılımdır. Pnömatik, hidrolik ya da oleo-pnömatik şok emicileri olan iniş takımlarına ait matematiksel modeller VI-Aircraft programına kolayca işlenerek düşürme test simülasyonları gerçekleştirilebilmektedir.

Ancak yapısal yaylı tipte iniş takımına sahip hava araçları için doğrulanmış geleneksel bir simülasyon metodu bulunmamaktadır. Uygulanan en genel yöntem; gerçek test verilerini kullanarak simülasyon modelini düzeltmeyi ve doğrulamayı temel almaktadır. Örneğin; VI-Aircraft programında yapısal yay modeli iki ya da daha fazla parçaya bölünür ve bu parçalar programda "Bushing" adı verilen özel bağlantı elemanları ile

birleştirilir. Bu bağlantı elemanları her üç eksende de (x,y,z) yay ve sönümleme sabitlerine sahiptir. Bu sabitler, gerçek test sonuçlarını sağlayacak şekilde düzeltilerek gerçek test sonuçlarına çok yakın değerler veren simülasyon modelleri oluşturulabilir. Yapısal yay ne kadar çok parçaya bölünür ise gerçek test sonuçları ile simülasyon sonuçları arasındaki hata azalmaktadır. Yukarıdan anlaşılacağı üzere bu yöntemde simülasyon modelinin doğrulanması amacıyla gerçek düşüme testleri yapılması gerekmektedir.

Romeo Di Leo ve arkadaşları [3] AP.68 TP-300 hava aracına ait metal yapısal yayın sonlu elemanlar modelini, yapısal yay üzerinde gerçekleştirilen statik yapısal testlerle karşılaştırmışlardır, yapısal yay sonlu elemanlar modeli ile yapılan statik testler arasında 21% e varan farklar bulunmaktadır. Metal yapısal yaya ait oluşturdukları sonlu elemanlar modelini kullanarak, MSC-ADAMS programı ile düşürme test simülasyonları gerçekleştirmişler ve gerçek düşürme testleri ile 1% ve 11% arasında değişen farklar bulmuşlardır.

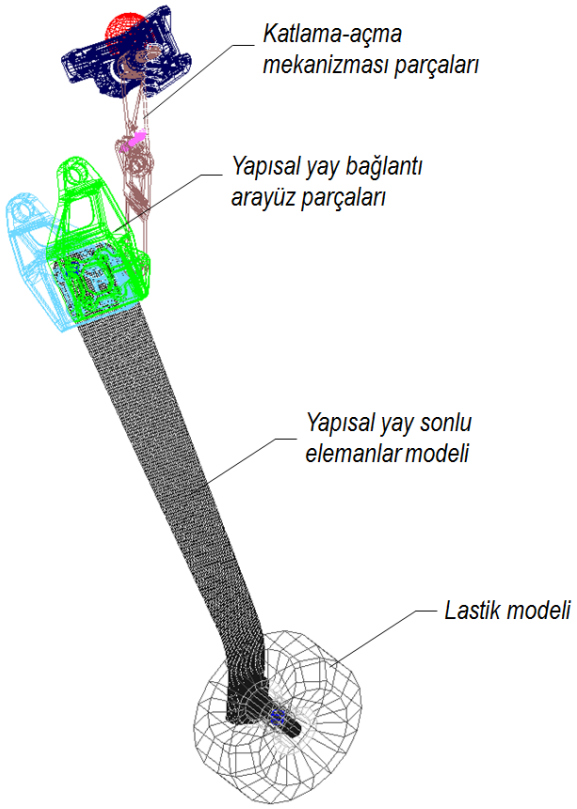
Literatürde GA-ASI Predator B UAV için yapılmış çalışmada [4], düşürme testi simülasyon sonuçları ile gerçek düşürme testleri arasında korelasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı buna benzer bir örnek teşkil etmektedir.

2. SİMULASYON MODELİ

Bu bölümde, oluşturulan simülasyon modeli tarif edilmektedir. Yapısal yaylı tipte olan iniş takımı konfigürasyonu Şekil 3 teki gibidir.

2.1. VI-Aircraft modeli

Simülasyon modelinde tüm parçalar hava aracında kullanılanların birebir aynısıdır. Lastik modeli üretici firmanın kuvvet-esneme test verileri ve lastik özellikleri kullanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon süresini azaltmak amacıyla sadece kompozit yapısal yay sonlu eleman olarak MSC-PATRAN yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur.



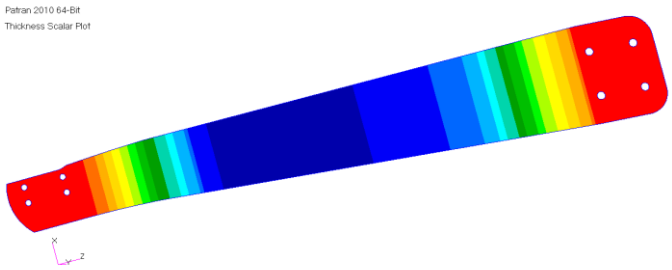
Şekil 3. VI-Aircraft düşürme testi simülasyon modeli, ANKA hava aracı

Simülasyon modelinde kullanılan tüm bağlantı tipleri hava aracı ile birebir aynı alacak şekilde oluşturulmuştur. Yapısal yay sonlu eleman modeli tutucu parçalara "interface part" olarak tanımlanan ara yüz parçası ile bağlanmıştır.

2.2. Kompozit yapısal yay sonlu elemanlar modeli

Kompozit yapısal yay sonlu elemanlar modeli MSC-PATRAN yazılımı kullanılarak ve birebir kompozit dikme üretim resimleri kullanılarak hazırlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli "shell" elemanlar kullanılarak ve 191 farklı dizilim sonlu elemanlar modeline tanımlanmıştır. Sonlu elemanlar modeli hazırlandıktan sonra "mnf" formatında kayıt edilerek VI-Aircraft programında kullanılabilir esnek yapısal yay modeli haline getirilmiştir. MSC-Patran programında yaratılan esnek yapısal yay modeli VI-Aircraft programına transfer edilirken üzerinde hiçbir değişiklik ya da düzeltme yapılmamıştır. Şekil 4'de oluşturulan kompozit yapısal yay için kalınlık dağılımı ve modelde yer alan elemanlar ve sayıları verilmiştir.

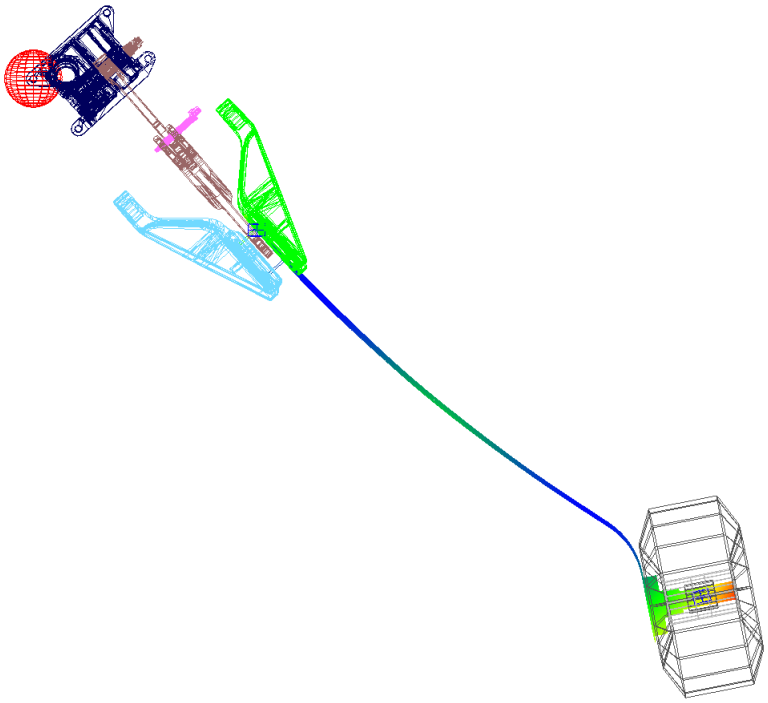
```
M O D E L   S U M M A R Y

NUMBER OF GRID     POINTS   =    38562
NUMBER OF SPOINT   ENTRIES  =        1

NUMBER OF CBAR     ELEMENTS =       56
NUMBER OF CHEXA    ELEMENTS =    19564
NUMBER OF CPENTA   ELEMENTS =      128
NUMBER OF CQUAD4   ELEMENTS =    13632
NUMBER OF CTRIA3   ELEMENTS =       36

NUMBER OF RBE2     ELEMENTS =       56
NUMBER OF RBE3     ELEMENTS =        2
```



Şekil 4. MSC-Patran yapısal yay sonlu elemanlar modeli özeti

3. SİMULASYON VE GERÇEK DÜŞÜRME TESTLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA

Bu bölümde simülasyon modeli ve gerçek düşürme testleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere hava aracının karşılaşabileceği en yüksek çökme hızında, maksimum hata farkı %7 dir. Test konfigürasyonları ve sonuçlar aşağıda tablolanmıştır.



Şekil 5. VI-Aircraft düşürme testi simülasyonundan bir görüntü, ANKA hava aracı

Tablo 1. Gerçek testler ve simülasyon test sonuçları karşılaştırması (Değerlerin ticari olarak hassas olmaları sebebiyle, belirtilen birimler cinsinden oranlanarak verilmiştir.)

Test no	Çökme hızı (ft/sec)	Yer tepkisi (xT birim N)			Yük faktörü (xY birim m/s²)			Düşürme ağırlığın dikey eksende esneme (xE birim mm)		
		Düşürme testi sonucu	Simulasyon sonucu	Fark (%)	Düşürme testi sonucu	Simulasyon sonucu	Fark (%)	Düşürme testi sonucu	Simulasyon sonucu	Fark (%)
1	4.5	1.000	1.000	0	1.000	1.000	0	1.000	1.008	-0.8
2	5.2	1.127	1.143	-1.5	1.075	1.091	-1.5	1.133	1.135	-0.2
3	5.75	1.230	1.206	1.9	1.141	1.119	1.9	1.266	1.235	2.4
4	6	1.301	1.248	4.1	1.178	1.144	2.9	1.266	1.281	-1.2
5	6.25	1.336	1.285	3.9	1.213	1.166	3.9	1.367	1.324	3.1
6	6.5	1.383	1.322	4.4	1.250	1.188	5	1.398	1.367	2.2
7	7	1.514	1.411	6.8	1.331	1.241	6.8	1.500	1.470	2
8	8.4	1.587	1.475	7	1.563	1.453	7	1.570	1.552	1.2

4. SONUÇ

Anlatılan düşürme testi simülasyon model oluşturma metodu ile:

- Benzer yapısal yaylı tipte iniş takımları için, gerçek düşürme testleri yapma ihtiyacı minimize edilmiştir. Üretim resimlerine göre hazırlanmış sonlu

elemanlar modeli kullanılması durumunda maksimum %7 hata ile sonuçlar hesaplanabilmektedir.

- Sonuçlardan hatanın; esnemeler, çökme hızı ve yer yükü arttıkça arttığı görülmektedir. Esnemelerin parça boyutunun %10 unu aştığı durumlarda VI-Aircraft programından dolayı hata artmaktadır. Buna engel olma için esnek parça iki ya da daha fazla parçaya bölünmelidir. Çalışmanın devamı bu konu ile alakalı olacaktır.
- Çalışmada simülasyon süresini azaltmak amacıyla sadece kompozit yapısal yay sonlu eleman olarak oluşturulmuştur. Tüm iniş takımı parçaları esnek modellenirse gerçek test sonuçları ile olan fark minimuma inecektir.

5. KAYNAKÇA

[1] Ladislao Pazmany, "Landing Gear Design for Light Aircraft," May 1986

[2] VI-Grade, VI-Aircraft 13.0 Documentation

[3] Romeo Di Leo, Angelo De Fenza, Marco Barile, Leonardo Lecce (2014), Archive of Mechanical Engineering 10.2478/meceng-2014-0017

[4] Phu Nguyen, Stanley Mak, Jose Panza (2006), 47th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Confere, AIAA 2006-1762

YAZAR DİZİNİ

ACAR Devrim Barış 85
AKINCI Berna 337
AKSOY Serkan 156
AKSÖZ Ahmet 49
AKTAŞ A. Ziya 361, 518
AKYOL Mehmet Sadık 210
ALTINTAŞ Ayhan 494
ALTUN Özgür 337
ANUL Gökhan 132
ARKIN ERGÜNEŞ Hikmet Ferda 210
AŞUROĞLU Tunç 361
AYNA Mutlu Ahmet 337
AŞANSÜ Tolga 132
BABADAĞI Övünç 25
BAĞCI Hakan 200
BALCISOY Selim 262
BATMAZ Anıl Ufuk 132
BAYSAL Hulusi 210
BEDİR Said 449
BİLGİLİ Ertuğrul 274
BİRCAN Arıl 274
BOZYİĞİT Müslim 325
BÖLÜKBAŞ Fuat 144
BULUT Ahmet Can 200
BURHAN Mukaddes 168
CAN Abdülkadir 25
ÇAKIR Uğur 37
ÇAKMAKÇI Şendoğan 316
ÇAPLI Levent Berke 61
ÇAVDAR Ahmet Birol 210, 274
ÇEKİNMEZ Aybüge 230
ÇELİK Ediz 179
ÇELİK Koray 316
ÇIRIKA Barış 132
ÇUHADAR İsmet 49
ÇULHACI Elif 349
DEMİREZEN Mustafa Umut 85
DİNÇ Mustafa 506
DOKUYUCU Özgür 539
DÖĞÜŞCÜ Tarık 292, 383
DÖKEROĞLU Tansel 97
DUMAN Hüseyin 230
DURSUN Mahir 49
EGE Emre 120
ERCİNGÖZ Ali 97
ERDİK Atıl 449
EROL Serpil 188

ERTOĞAN Melek 250
ERTUĞRUL Şeniz 250
EVİRGEN Evrim Anıl 458
GENÇ İbrahim 395
GÖKTAŞ Polat 494
GÜÇLÜ Kadriye 37
HASANOĞLU Mert 73
HOCAOĞLU M. Fatih 325, 405, 417, 427, 438
İNAL Tolga 470
İNSUYU E. Tolga 539
İŞLER Veysi 97
KABACA Emre 316
KALEBEK Aylin 37
KARA Ahmet 200
KARAARSLAN S. Vedat 482
KARAŞAN Ezhan 494
KARTAL KARADENİZ Seda 120
KASIM Başar 210, 274, 373
KAVAKOĞLU Caner 25
KAYA İbrahim 73
KAYGUSUZ Yasin 337
KAYILI Serkan 108
KESKİN Emre 316
KILIÇ Namık 449
KILIÇASLAN Cenk 1
KOLSUZ Halil 405
KÖKTÜRK Tolga 108
KÖSE Lütfi 518
KÜÇÜKAYAN Yusuf Gökhan 85
LEBLEBİCİOĞLU M. Kemal 120
MANTAR Ferat 274
MERZİFONLUOĞLU Arzu 316
NARGÜL Abdullah Samet 37
ÖRSELLİ Erdem 530
ÖZAKIN M. Burak 156
ÖZÇAKIR Lütfü 373
ÖZKAYMAK Serkan 25
ÖZKİL Altan 61, 168
ÖZKÖK Ahmet 97
ÖZTÜNA Necdet Engin 37
ÖZTÜRK Doğan 506
ÖZYURT Çağlar Hakkı 316
REŞBER Erdem 325, 405, 417
SARIKAYA Kadir 285
SAYIN Hüseyin 144
SOLTER Hürcan Gökçe 144
SOYKAN Bülent 188
SÖĞÜT M. Ziya 218
SÜRME Uğur Melih 37
ŞAHAN Ercan 179

ŞENTÜRK M. Dağcan 156
TOKA Mert 262
TOPCU Satılmış 494
TULUMOĞLU Şafak 210
TÜRK A. Serdar 156
USLU Suat 304
UYAR Soner 337
UYSAL Murat Paşa 218
ÜLGEN Halil İbrahim 37
ÜNALAN Rahmi 274
ÜREK Burhan 13
YAĞLICI Murat Tevfik 349
YARIMBIYIK Arif Emre 238
YEŞİL Cemal 304
YILDIRIM Uğur Ziya 13
YILMAZ Arif Kamil 85
ZİHNİOĞLU Alper 250
ZORBA Orkun 25