



USMOS 2005 BİRİNCİ ULUSAL SAVUNMA UYGULAMALARI MODELLEME VE SİMÜLASYON KONFERANSI

BİLDİRİ KİTABI

Genelkurmay Başkanlığı
Savunma Sanayii Müsteşarlığı
ODTÜ-TSK MODSİMMER

2-3 HAZİRAN 2005
ODTÜ KÜLTÜR VE KONGRE MERKEZİ
ANKARA

USMOS 2005, 2-3 Haziran 2005, ODTÜ, Ankara

Basım Yeri

Altan Matbaacılık, Ankara

0.312 230 57 41

ÖNSÖZ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi – Türk Silahlı Kuvvetleri Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi (ODTÜ-TSK MODSİMMER), Genelkurmay Başkanlığı, Savunma Sanayii Müsteşarlığı ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi eşgüdümünde, 2003 yılında “Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) Çalıştayı” ve “Savunma Uygulamalarına Yönelik Modelleme ve Simülasyon Semineri”ni gerçekleştirmiştir. 2004 yılında, ODTÜ ve TSK’nın işbirliğiyle ikincisi yapılan “SAVTEK: Savunma Teknolojileri Kongresi”nin bir oturumu da MODSİM konusuna ayrılmıştır.

Anılan faaliyetlerin katılımcıları ve düzenleyicileri tarafından yapılan değerlendirmeler ışığında, savunma alanına yönelik modelleme ve simülasyonun öneminin giderek arttığı ve teknoloji edinme hususunda yurt içi potansiyelin de mevcut olduğu gözlemlenmiştir.

Bu gözleme dayalı olarak, savunma alanındaki MODSİM sistem ihtiyaçlarının milli olarak karşılanması için gerekli teknolojilere yönelik bilgi birikiminin paylaşılması maksadıyla ulusal bir konferans düzenlenmesine ve bu konferansın iki yılda bir düzenlenen “SAVTEK-Savunma Teknolojileri Kongresi” ile dönüşümlü yapılmasına karar verilmiştir.

“Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı”nın temel hedefi, Türk Silahlı Kuvvetlerinin öncelikli faaliyet alanları arasında yer alan “Modelleme ve Simülasyon” konusundaki mevcut bilimsel ve teknolojik birikimin ulusal düzeyde paylaşılması ve geliştirilmesidir. İlgili kamu veya özel kurum ve kuruluşların katılım ve destekleri bu hedefe ulaşmada önemli ve hızlandırıcı bir etken olacaktır.

Konferans süresince 6 ardışık oturumda toplam 28 bildiri sunulacak, ayrıca kamu / özel kurum ve kuruluşları MODSİM sistem ve teknolojilerine yönelik görsel takdimler yapacaklardır. Konferansın açılış oturumunu takip eden ikinci oturumda “Savunma Tedarik Sürecinde Modelleme ve Simülasyon Teknolojilerinin Yeri” konulu panel icra edilecektir. Konferansın son oturumunda ise, TSK MODSİM ihtiyaçlarının karşılanması kapsamında bugüne kadar gerçekleştirilen uygulamalardan örnekler sunulacaktır. Diğer oturumlarda MODSİM ana temalı çeşitli bildiriler sunulacaktır.

Bu konferansın düzenlenmesini olanaklı kılan Genelkurmay Başkanlığı, Savunma Sanayii Müsteşarlığı ve Orta Doğu Teknik Üniversitesine; konferans davetli konuşmacıları NATO Araştırma ve Teknoloji Teşkilatı Direktörü Prof. Dr. Ahmet ÜÇER ve ODTÜ Endüstri Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Halim DOĞRUSÖZ’e; bilgi ve deneyimlerini bizimle paylaşan değerli panel konuşmacılarına; bildiri sunan değerli araştırmacı katılımcılara; Program Komitesi üyelerine ve konferansı doğrudan ve dolaylı olarak destekleyen kamu / özel kurum ve kuruluşlara katkılarından dolayı şükranlarımızı sunuyoruz.

Saygılarımızla.

Prof. Dr. Müslim Bozyiğit
ODTÜ-TSK MODSİMMER Md.
Düzenleme ve Yürütme Kurulları Adına

KONFERANS KURULLARI

Koordinasyon Kurulu

Prof. Dr. Müslim Bozyiğit (ODTÜ, MODSİMMER Müdürü)
Y.Müh. Alb. Ziya İpekkan (Projeler Genel Koordinatörü)
Doç. Dr. Levent Kandiller (ODTÜ, MODSİM Programı Başkanı)
Y. Doç. Dr. Halit Oğuztüzün (ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği)
Doç. Dr. Elife Ünal(SSM, Ar-Ge Şube Müdürü)

Yürütme Kurulu

Prof. Dr. Müslim Bozyiğit (MODSİMMER)
Doç. Dr. Levent Kandiller (MODSİM Programı)
İlknur İnam (SSM)
Dz. Y. Müh. Bnb. Orhun Molyer (BİLKARDEM)
Y. Doç. Dr. Halit Oğuztüzün (ODTÜ Bilgisayar Mühendisliği)
Utkan Eryılmaz (MODSİMMER)

Program Komitesi

Nafiz Alemdaroğlu (ODTÜ)	Ünsal Kalaycıoğlu (ASELSAN)
Ferda Nur Alpaslan (ODTÜ)	Bilgin Kaftanoğlu (ODTÜ)
Taner Altınok (KKK)	Levent Kandiller (ODTÜ)
Ömer Anlağan (TÜBİTAK)	Sinan Kayalığıl (ODTÜ)
Ümit Atalay (İnnova)	Orhun Molyer (BİLKARDEM)
Semih Bilgen (ODTÜ)	Halit Oğuztüzün (ODTÜ)
Müslim Bozyiğit (MODSİMMER)	Nur Evin Özdemirel (ODTÜ)
Erdal Çayırıcı (İTÜ)	Faruk Polat (ODTÜ)
Onur Demirörs (ODTÜ)	Cevat Şener (ODTÜ)
Ali Doğru (ODTÜ)	Barbaros Tansel (Bilkent Üni.)
Utkan Eryılmaz (ODTÜ)	Hakkı Toroslu (ODTÜ)
Akif Esendemir(ODTÜ)	Elife Ünal (SSM)
Ufuk Gemalmaz (HAVELSAN)	Çağatay Ündeğer (STM)
Mustafa İlhan Gökler (ODTÜ)	Samim Ünlüsoy (ODTÜ)
Ali Haydar Göktoğan (ACFR)	Fatoş Yarman Vural (ODTÜ)
Ferda Güler (ROKETSAN)	Altan Yavaş (BİLKARDEM)
Alper Güneri (ROKETSAN)	Adnan Yazıcı (ODTÜ)
Ziya İpekkan (BİLKARDEM)	Orhan Yıldırım (ODTÜ)
Veysi İşler (METEKSAN)	

DESTEK VEREN KURULUŞLAR



İÇİNDEKİLER

Önsöz	i
Konferans Kurulları	iii
Destek Veren Kuruluşlar	v
İçindekiler	vii
<i>Davetli Bildiriler:</i> Modsim Teknolojilerinin TSK İhtiyaçlarına Yönelik Kullanımı	1
C4ISR (Komuta, Kontrol, Muhabere , Bilgisayar, İstihbarat, Gözetleme ve Keşif) Görev Uzayının Kavramsal Modellenmesi	3
Küçük Ölçekli Harekatın Modellenmesi ve Simülasyonu	9
Taktik Seviyede Tehdite Dayalı Mühimmat Planlanması için Modelleme ve Simülasyon	19
Eğitim, Mimari Tasarım, Optimizasyon ve Konsept Geliştirmede C4ISR Simülasyon Aracı	29
<i>İkinci Oturum:</i> Karar Destek Amaçlı Modelleme ve Simülasyon	39
Topçu Roketlerinin Atış Kontrol Sistemleri için Yeni Nesil Balistik Çözücü	41
Balistik Füze Yörüngesi Kestirim Usulleri ve Hesaplayıcısı	49
Harekat Alanında Muharip Jet Uçaklarının Hava Görev Emrinin Modellenmesi.....	61
Dinamik Mühimmat İkmal Sistemi Optimizasyon Çalışması	81
Savaş ve Barış Zamanında Optimize Lojistik Yönetimi Sistemi	91
<i>Üçüncü Oturum:</i> Simülasyon Altyapıları	101
Simülasyon Sistemleri için Kavramsal Model Geliştirmeye Model Tabanlı Bir Yaklaşım	103
Simülasyon Sistemlerinde Esnek Senaryo Altyapıları.....	115
HLA İçin Modelleme, Otomatik Kod Üretme, İzleme Ve Sınama Araçları	127
HLA Tabanlı Benzetimlerde Federasyon Tümlleştirme Otomasyonu için Bir Mekanizma.....	137
TSK Bilgi Sistemleri Ortak Entegrasyon ve Simülasyon Altyapısı.....	145

<i>Dördüncü Oturum: Modelleme ve Simulasyon Tabanlı Tedarik</i>	155
Modelleme ve Simulasyonun Karmaşık İnsansız Hava Araçları Ar-Ge Projelerindeki Rolü	157
Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi	167
Kızılötesi Pasif Güdümlü Mermi Elektronik Harp Etkinlik Analizi Prototip Yazılımı	177
Güdümlü Mermiye Karşı Savunma (GMKS) Tedbirleri Kapsamında Simülasyon Tabanlı Dekoy Atım Etkinlik Değerlendirmesi	187
Al ₂ O ₃ Seramik - Cam Elyaf Takviyeli Polyester Katmanlı Kompozit Zırh Sisteminin 7,62 Mm Zırh Delici Mermiler için Sayısal ve Analitik Balistik İncelemesi	195
Ana Muharebe Tankı Namlu, Kule, Gövde ve Süspansiyonunun Modellenmesi, Simülasyonu ve Namlunun Stabilizasyon Denetimi	205
<i>Beşinci Oturum: Eğitim ve Öğretim Amaçlı Simulasyon</i>	215
Dağıtık Görev Eğitim ve Dağıtık Görev Operasyon Modelleme ve Simülasyon Uygulamaları	217
Keskin Nişancı Yetiştirilmesinde Hafif Silah Simülatörlerinin Eğitime Olan Katkısının Değerlendirilmesi ve Psikoteknik Değerlendirme Cihazlarının Keskin Nişancı Seçiminde Kullanılabilirliğinin İncelenmesi	227
PC Tabanlı Helikopter Uçuş Simülatörlerinde Alçak İrtifa Taktik Uçuş Eğitimi İçin Gereken Pencere Dışı Görsel Bileşenlerin Özellikleri	237
Topçu Atış Timi Simülasyonu	247
Kaideye Monteli Stinger Eğitim Simülatörü	257
<i>Poster Sunumları</i>	267
Kara Havacılığındaki Pilot Eğitiminde Gerçek Hava Aracı ve Tam Uçuş Simülatörleri Arasında Uçuş Eğitim Oranlarının Bulunması	269
Programlanabilir Gölgelemdiricilerle Gerçek Zamanlı Alan Derinliği Efektü ...	277
Dördüncü İlave Hareketli Dingile Hareket İleten Mekanizmada Direksiyon Hareketine Bağımlı Dinamik ve Mukavemet Analizleri	283
Yazar İndeksi	293

Davetli Bildiriler:

**MODSİM Teknolojilerinin
TSK İhtiyaçlarına Yönelik Kullanımı**

C4ISR (KOMUTA, KONTROL, MUHABERE , BİLGİSAYAR, İSTİHBARAT, GÖZETLEME VE KEŞİF) GÖREV UZAYININ KAVRAMSAL MODELLENMESİ

Semih BİLGİN^(a), Onur DEMİRÖRS^(a), Kayhan İMRE^(b), Veysi İŞLER^(c),
Alpay KARAGÖZ^(d), Orhun MOLYER^(e), Aşkın ERÇETİN^(e)

^(a) Enformatik Enstitüsü, ODTÜ, ANKARA, {bilgen,demirors}@metu.edu.tr

^(b) Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, Beytepe, ANKARA,
ki@hacettepe.edu.tr

^(c) Meteksan Sistem A.Ş., ODTÜ Teknokent Silikon Bloklar Kat:1 No:7, ANKARA,
veysi.isler@meteksan.com.tr

^(d) Bilgi Grubu, ODTÜ Teknokent, ANKARA, alpay.karagöz@bg.com.tr

^(e) Gnkur. BİLKARDEM Başkanlığı, ANKARA, {omolyer, aercetin}@tsk.mil.tr

ÖZ

Bilgi teknolojilerindeki ilerlemeler, modelleme ve simülasyon uygulamalarının sağladıkları yararları arttırmakta ve bu nedenle son zamanlarda daha sık gündeme gelmektedirler. Modelleme ve simülasyon projeleri karmaşık olup önemli zorlukları içermektedirler. Bu zorluklar arasında birlikte çalışabilirlik ve farklı kaynaklardan edinilen alan bilgilerinin bütünleştirilmesi bulunmaktadır. Örneğin C4ISR gibi bir görev uzayının modellenmesi ve simülasyonu birden çok farklı geliştirme gruplarınca değişik zaman dilimlerinde uzunca bir sürede gerçekleştirilebilecek niteliktedir. Bu bildiride sözü edilen zorluklarla baş edebilmek için kavramsal modellemenin önemi tartışılacaktır. Kavramsal modellemenin simülasyon uygulamalarında daha etkin ve verimli bir şekilde kullanılabilmesine yardımcı olabilecek yazılım araçlarının gerekliliği açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Modelleme ve Simülasyon, C4ISR, Kavramsal Modelleme

CONCEPTUAL MODELLING OF C4ISR MISSION SPACE

ABSTRACT

Advances in information technologies has resulted in increasing the usefulness of modeling and simulation applications and hence they are recently more popular. Modeling and simulation projects are complex, difficult and they include challenges such as interoperability of components and integration of domain knowledge from various sources. For instance, conceptual modeling of mission space as C4ISR involves more than one developer teams at different times and may require too long time. In this paper, there will be a discussion on overcoming the mentioned difficulties and challenges by making use of conceptual modeling. Besides, a set of tools will be described for efficient and effective use of conceptual modeling in simulation applications.

Keywords: Modeling and Simulation, C4ISR, Conceptual Modeling

1. GİRİŞ

Bütünleşik askeri yapılardan oluşan C4ISR (KOMUTA, KONTROL, MUHABERE , BİLGİSAYAR, İSTİHBARAT, GÖZETLEME VE KEŞİF) sistemleri bilişim teknolojilerinin ilerlemesinin de etkisiyle son yıllarda daha fazla önem kazanmışlardır. Fiziksel ve bilgiye dayalı bileşenlerden oluşan C4ISR sistemlerinin analizi, tasarımı, maliyet etkinliğinin ölçümü, sistemin ince ayarlarla optimize edilmesi oldukça zor ve karmaşıktır [1]. Bu sistemleri oluşturan her bir bileşeni ve bunların birlikte çalışabilirliği için gerekli olan özellikleri tasarlamak ve sınamak gerekir.

C4ISR sistemlerinin simülasyonlarını yapmak yoluyla yukarıda sözü edilen karmaşıklıkla daha rahat baş edebilmek mümkündür. C4ISR sistemlerinin simülasyonları sayesinde değişik istisnai senaryoların sanal ortamda icrası ve sonuçlarının gözlemlenmesi, doktrin geliştirme, değişik mimarilerin sınanması, personelin eğitimi, yeni bir bileşenin istisnai veya tipik bir durumda denenmesi maliyet etkin olarak yapılabilir [2] [3].

Bu bildiride, TSK'nın Modelleme ve Simülasyon Master Planı doğrultusunda simülasyon uygulamalarını en etkili biçimde gerçekleştirebilmesi için gereken modelleme altyapısını oluşturabilecek yaklaşım, yöntem ve araç niteliklerini belirleme amaçlı bir proje önerisinden söz edilecektir. C4ISR-KAMA olarak adlandırılan projede günümüzde sıcak olan modelleme ve simülasyon araştırmalarından biri olan kavramsal model geliştirme sorunlarını ülkemizdeki ihtiyaçlara uygun, özgün, geçerli ve kullanışlı çözüm çalışmaları planlanmaktadır.

Bu sayede, Türk Silahlı Kuvvetlerinin simülasyon uygulamalarında kullanıcılar arasında ortak bir modelleme yaklaşımı ve ortak veri ambarı oluşturulması için gereken Kavramsal Model Geliştirme Aracı (KAMA) prototipi geliştirilecektir. Bu araç, çeşitli amaçlara yönelik olarak simülasyon çalışması yapacak kişi ve kuruluşların yapacakları kavramsal model geliştirme çalışmalarında hem ortak bir yaklaşım ve dil kullanmalarını sağlayacak, hem de farklı simülasyon ve modelleme çalışmalarında nesne ve ilişkilerin her defasında yeniden modellenmesi gereğini ortadan kaldıracaktır. Böylece bir yandan zaman ve emek kazanımına, diğer yandan da bütünlük olanağı elde edilerek modelleme ve simülasyon çalışmalarının anlam ve etkilerinin önemli biçimde yükseltilmesine yol açacaktır.

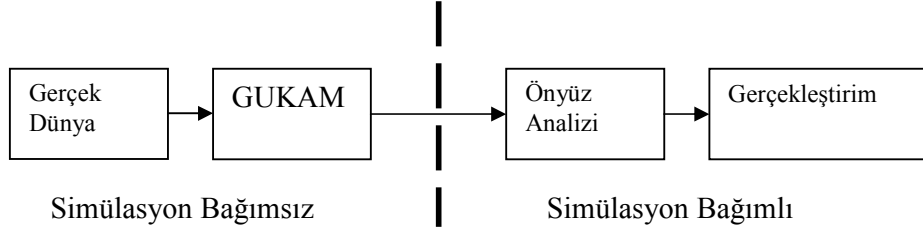
C4ISR-KAMA Projesinin, ODTÜ bünyesinde yer alan MODSİMMER'in liderliğinde oluşturulan bir proje grubunca yürütülmesi önerilmektedir.

Bildirinin sonraki bölümlerinde projenin temel parçaları hakkında açıklamalar yer almaktadır: Görev Uzaı Kavramsal Modeli, Ortak Veri Ambarı, Kavramsal Model Geliştirme Aracı. Ayrıca proje süresince çalışması planlanan bazı araştırma konuları da özetlenmektedir.

2. GÖREV UZAYI KAVRAMSAL MODELİ

Simülasyon geliştirme projelerinde Görev Uzaı Kavramsal Modeli (GUKAM)'ne dayalı bir yaklaşım bir çok avantaja sahiptir. GUKAM gerçek dünya askeri operasyonlarının soyut olarak ifade edilmesini sağlar. Bu doğrultuda askeri süreçlerin, varlıkların, etkileşimlerin ve ilişkilerin tanımlanması ve gösterimi için de araçlar sunmak zorundadır. GUKAM'ın gerekliliğini daha iyi anlayabilmek için simülasyon geliştirme sürecindeki yerine bakmakta yarar vardır. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi GUKAM simülasyon geliştirme sürecinde simülasyon bağımsız adımlardan birini

oluşturmaktadır. Bu akışa göre geliştirilecek olan simülasyonun daha soyut bir temsili, kavramsal model olarak oluşturulur ve bu model simülasyona temel oluşturmanın yanında orta vadede daha farklı amaçlar için de kullanılabilir.

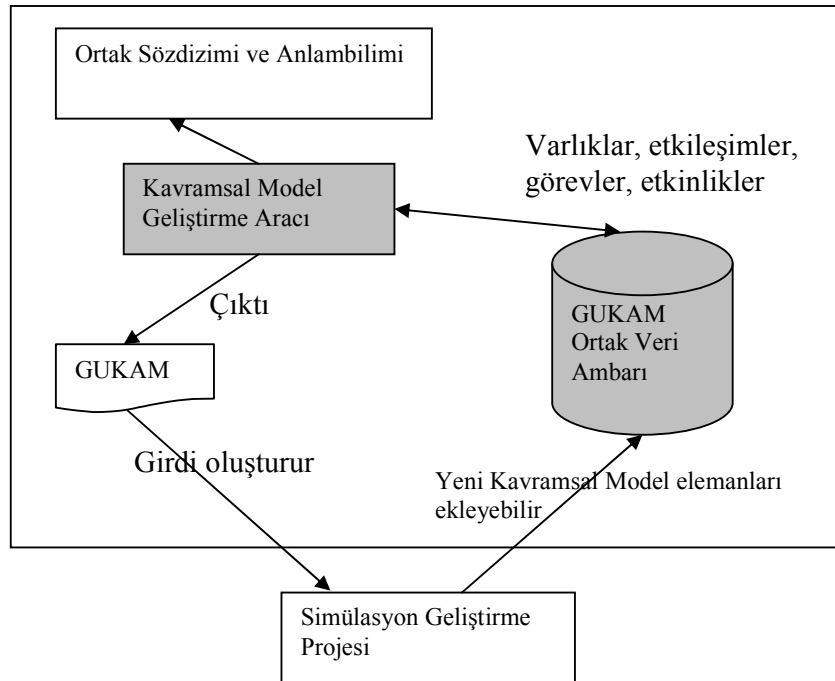


Şekil 1. Simülasyon Geliştirmede GUKAM'ın Yeri

GUKAM geliştirme araçları temel olarak aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır:

1. Gerçek dünyadaki askeri operasyonların tutarlı gösterimleri olan kavramsal modelleri geliştirmeyi sağlayan yazılım aracı
2. Alan uzmanlarınca sahip olunan bilgiyi almayı ve saklamayı, bu bilgiyi kullanarak tutarlı modeller oluşturmayı ve bütünleştirmeyi amaçlayan, bu bilgilerin onaylanmasını, bilgilere erişimi, farklı ortamlardaki simülasyon geliştiriciler tarafından kullanımını destekleyen ortak veri ambarı

GUKAM tutarlı ve yetkin modelleme ve simülasyon gösterimleri oluşturmak için ortak bir başlangıç noktası sağlayacaktır. Dolayısıyla, GUKAM modelleme ve simülasyon geliştiriciler için ortak ve merkezi bir Modelleme ve Simülasyon kaynağının yanında ileride simülasyonların birleştirilmesinde kullanılacak bir yöntem de sunacaktır. Aşağıdaki şekil GUKAM kavramını ve içerdiği araçları betimlemektedir.



Şekil 2. Proje Kapsamı

Tüm simülasyonları model tabanlı bilgi işleme sistemleri olarak düşünebiliriz. Geliştirilen modellerde mümkün olduğu kadar tutarlı, doğru ve gerçeğe yakın bir gösterim hedefi vardır. Bu hedefe ulaşmak için gereken temel öğelerden biri ortak bir sözdizimi ve anlambilim üzerinde anlaşmaya varılmasıdır. Simülasyon geliştirme projelerinde daha önceden belirlenmiş ortak kurallara ve sözlüklere uygun olarak oluşturulacak kavramsal modeller sonraki aşamalarda birleştirme ve bakım kolaylığı yararını getirecektir.

Bu proje kapsamında dünyada ve Türkiye’de kullanılmakta olan ortak sözdizimi ve anlambilim kuralları incelenecek ve bunlar temel alınarak ya da gerekirse yeni bir yapı oluşturularak kavramsal model geliştirmek için gerekli altyapı hazırlanacaktır.

3. GUKAM ORTAK VERİ AMBARI

Geliştirilecek prototipin temel bileşenlerinden biri GUKAM Ortak Veri Ambarıdır. Görev uzayı modelleri ve yapısal bileşenleri –varlıklar, etkileşimler, görevler ve etkinlikler-, bu modelleri geliştirmek için kullanılacak veri ve veri yetkilisinin kaynağı, bu veri ambarında saklanır. Veri ambarında saklanacak öğeler arasında, simülasyon için gereken nesneler ve aralarındaki ilişkiler bulunacak, örneğin birlikler ile savunma ve karşı saldırı altyapıları ile birlikte doktrinler de modellenilebilecektir. Somut olarak örneğin füze savunması ele alınacak olursa, (A) Karşı Saldırı (düşmanın füze rampalarına saldırı, vb), (B) Aktif Savunma (gelen füzelerin havada karşılanıp yok edilmesi, vb), (C) Pasif Savunma (tesislerin sağlamlaştırılması, gizlenmesi, vb) ve (D) Bütünleşik Savunma (değinilen her üç doktrin en iyi bileşiminin saptanması) gibi ilişkiler de KAMA aracılığıyla modellenip saklanarak erişime açılabilir. Simülasyonların ortak verileri ve kuralları kullanmaları ileride birleştirme çabalarını kolaylaştıracaktır. Projeler gerçekleştirildikçe veri ambarındaki model elemanı sayısı artacak, niteliği zenginleşecek ve bir süre sonra belirli bir olgunluğa erişecektir. Bu aşamadan sonra simülasyon geliştiricilerin yeni ya da güncellenmiş model elemanlarına ihtiyaç duymaları durumunda Veri Ambarına veri girişi yapılabilmesi için gerekli arayüzler sağlanacaktır. Ortak Veri ambarının internet üzerinden sorgulanmasını sağlayacak arayüz proje kapsamında hazırlanacaktır

Daha önceden geliştirilmiş olan modellerle simülasyonlar arasında uyumsuzluk oluşmaması için değişen model elemanları değişikliklerle birlikte sürüm bilgisini de saklamalı ve istenilen zamanda istenilen sürüme ulaşılması sağlanmalıdır.

Veri ambarında kaynak ve veri tanımlama ve araması yapılacak kavramların bir kısmı şunlardır: C4ISR-KAMA veri elemanları, operasyonlar, çevre faktörleri, araçlar ve insan faktörleri.

Aşağıda ayrıntıları verilen kavramsal model geliştirme aracı, GUKAM ortak veri ambarından ilgili bilgileri aldıktan sonra, ortak sözdizimi ve anlambilimine uygun olarak ilgili kavramsal modeli oluşturur ve simülasyon geliştirme projelerine ve/veya GUKAM ortak veri ambarına girdi sağlar. Bununla beraber, simülasyon geliştirme projeleri de veri ambarına kavramsal model girdisi sağlayabilir.

4. KAVRAMSAL MODEL GELİŞTİRME ARACI

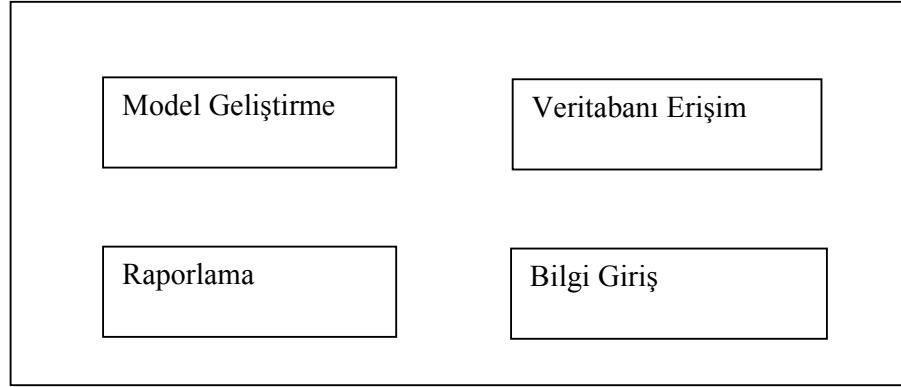
Kavramsal Model Geliştirme Aracı Şekil 3’te de gösterildiği gibi 4 ana bileşenden oluşur. “Model Geliştirme” bileşeni kavramsal model elemanlarını kullanarak ve sürükle-bırak yöntemiyle diyagramlar oluşturmayı sağlar. Birden fazla diyagram aynı modelin farklı görüntülerini sunmak amacıyla kullanılabilir. “Model Geliştirme”

model elemanlarını ve aralarındaki ilişkileri düzgün ve okunaklı bir biçimde temsil etmelidir.

“Bilgi Giriş” bileşeni, kavramsal model elemanlarının kaydedilmesini sağlayacaktır. Girilen verilerin tutarlı olmasını sağlamak amacıyla önceden belirlenen kurallar çerçevesinde verileri doğrulama imkanı sağlamalıdır. Bu bileşen çoğunlukla alan uzmanları tarafından kullanılacağı için arayüzler kolay anlaşılır olmalı ve kullanıcıyı yönlendirir nitelikte olmalıdır.

Kavramsal model ile ilgili çeşitli seviyelerde raporlar üretme olanağı “Raporlama” tarafından sağlanacaktır. Bu seviyeler raporda istenen detay düzeyine bağlı olarak çözünürlüğe göre veya kullanıcının yetkisine göre belirlenebilir.

GUKAM ortak veri ambarında veriler sürekli olarak birikmeye ve genişlemeye devam edecektir. Simülasyon geliştiriciler “Veritabanı Erişim” aracılığıyla kontrollü olarak bu verilere erişebilecek ve model elemanlarını kullanabileceklerdir. Bu erişimin ağ üzerinden yapılması erişim kolaylığı sağlayacaktır.



Şekil 3. Kavramsal Model Geliştirme Aracı

Kavramsal Model Geliştirme Aracı simülasyon projelerinde yüklenici kurum, alıcı kurum, alan uzmanları tarafından kavramsal model geliştirme amacıyla kullanılabilir. Yüklenici kurum tedarik sürecini desteklemek, alıcı kurum simülasyon geliştirme aşamalarında kullanmak ve alan uzmanları kavramsal modelin oluşturulması için gereken alan bilgisini girmek için bu aracı kullanılabilir.

5. ARAŞTIRMA KONULARI

Proje kapsamında aşağıdaki araştırma konularının bilimsel çalışmalarda ele alınması da planlanmaktadır:

- Görev uzayı tanımlama süreçlerinin incelenmesi, TSK için en uygun sürecin belirlenmesi;
- GUKAM için ortak sözdizimi (*syntax*) ve anlambilim (*semantics*) kurallarının belirlenmesi;
- GUKAM’da kullanılacak simülasyon varlıklarının, etkinliklerin, görevlerin ve etkileşimlerin (*entities, actions, tasks, interactions*) nasıl temsil edileceğinin saptanması;

- Varlık, etkinlik, görev ve etkileşimler arasında zaman, uzam (*space*) ve ayrıntı düzeyi bakımından birlikte çalışabilme sorunlarının giderilmesine yönelik yaklaşım ve yöntemler;
- Model doğrulama ve geçerleme yaklaşım ve yöntemleri;

6. SONUÇ

Proje sonunda beklenen yararlar aşağıda özetlenmiştir.

- Modelleme ve Simülasyon (M&S) uygulamalarında ortak altyapı öğelerinin kullanımıyla tekrar kullanılabilirliğin, birbirleri ile çalışabilirliğinin ve değişen gereksinimlere uyarlamanın kolaylaştırılması,
- Kavramsal düzeyde model tanımlama yoluyla C4ISR sistemlerinin tedarik sürecinin desteklenmesi,
- M&S uygulamalarını geliştiren birimlerin görev uzayı bilgi ihtiyaçlarının belirlenmesi ve geçerli, onaylanmış ortak bilgi kaynaklarına (görev tanımları, simülasyon öğeleri tanımları, gibi) erişiminin sağlanması ile uygulama üretkenliğinin ve niteliğinin artırılması,
- M&S uygulamalarının kapsamalarının belirlenmesinde ve maliyetlendirmede kolaylık sağlayacak alt yapının oluşturulması ve proje kontrolünün kolaylaştırılması,
- M&S uygulamalarında görev uzayı tabanlı geçerleme yöntemlerinin oluşturulmasına destek sağlayarak ürün niteliklerinin artırılması ve
- M&S uygulamalarının uluslararası standartlara uygun geliştirilmesinin sağlanması ile uygulama geliştiren firmaların uluslararası pazar payının artırılmasıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Hocaoglu, M. F., Firat, C., “Exploiting Virtual C4ISR Simulation in Training Decision Makers and Developing New Concepts: TUBITAK's Experience”, *C3I and Modelling & Simulation Interoperability*, 09/10 October 2003, Antalya, TURKEY (2003).
- [2] Roberts J.D., Dobbs V.S., “Simulation to C4I Interoperability for Planning and Decision Support”, *Fall Simulation Interoperability Workshop*, SISO, 2001, Orlando, FL
- [3] Griffith J., Sielski K., Frye H., “C4ISR Handbook”, *the Integrated C4I Architecture Division, Architectures Directorate, Office of the Assistant Secretary of Defense*, 1998, Washington D.C.

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ HAREKATIN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

E.KAPUSUZ^(b), S.GİRGİN^(a), M.TAN^(a), E.ÇİLDEN^(a), M.BALCI^(a), E.GÖKTÜRK^(a),
V.KOÇ^(b), A.COŞAR^(a), A.YAVAŞ^(c), Ç.ÜNDEĞER^(c), F.POLAT^(a)

^(a) Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara

^(b) ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Merkezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531 Ankara

^(c) Gnkur. BİLKARDEM Başkanlığı, Ankara

ÖZ

Bu makalede küçük birlik hareketinin etmen tabanlı olarak simülasyonu için geliştirilen SAVMOS sisteminin mimari yapısı anlatılmaktadır. SAVMOS hem analiz hem de eğitim amaçlı kullanım özelliğine sahiptir. Sistem analiz modunda tanımlanan dost ve düşman taraf senaryolarını kapalı olarak koşturmakta ve faaliyet sonrası inceleme için veri toplayabilmektedir. Bu verilerin değerlendirilmesi ile taktik, kuvvet yapısı, silah sistemleri ve algılama sistemlerinin etkinliği analiz edilebilmektedir. Eğitim modunda ise kullanıcı (eğitilecek lider personeller) gerçek zamanlı olarak simülasyonla etkileşerek emri altındaki birlikleri sevk ve idare edebilmektedir. Böylece gelişen beklenmedik durumlar ve yapay enjeksiyonlara karşı lider personelin eğitimi sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: modelleme ve simülasyon, etmen tabanlı sistemler, yarı otonom kuvvetler

MODELING AND SIMULATION OF SMALL SCALE CONTINGENCY OPERATIONS

ABSTRACT

In this paper the architecture of an agent based simulation system for small size contingency operations called SAVMOS will be described. The system can be used for both analysis and training purposes. In the analysis mode scenarios for two opponent forces can be defined, executed, monitored and during the execution relevant data can be collected for further analysis and decision making. During the after-action review, tactical plan, force structure, weapon systems and sensing equipments can be analyzed. In the training mode, a commander has the ability to command and control his/her syntactic troops to achieve a specific mission by interacting with the simulation in real-time. Thus it will be possible to assess the quality of his decision under unexpected situations caused by injections.

Keywords: Modeling and simulation, agent based systems, semi-automated forces.

1.GİRİŞ

Günümüzde küçük ölçekli hareket ihtiyaçları (düşük yoğunluklu çatışma, meskun mahal ve bina içi operasyonları, barışı koruma operasyonları, arama kurtarma operasyonları) askeri operasyonların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Küçük ölçekli hareketin simülasyonu yüksek çözünürlükte ve etmen tabanlı olarak modellenmelidir. Mevcut ve temin edilebilen askeri simülasyon sistemleri JANUS [1], JTLS [3], MODSAF [5], JCATS [2] bu anlamda ihtiyacı karşılayamamaktadır. 1996'da başlayan OneSAF (One Semi-Automated Forces) projesiyle tek er seviyesinden tabur seviyesine kadar etmen tabanlı modelleme esas alınmış [7] olup

2006 yılında tamamlanması planlanmaktadır [6]. OneSAF mevcut CGF (Computer Generated Forces) sistemlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmeyi hedeflemektedir.

Bu bildiride küçük ölçekli küçük birlik hareketinin modellenmesi ve simülasyonu için ODTÜ Modelleme ve Simülasyon Merkezi'nde geliştirilen SAVMOS sistemi anlatılmaktadır. SAVMOS kol hareketi ve karakol/tesis savunmasına yönelik analiz ve eğitim fonksiyonlarını gerçekleştirmek üzere tasarlanan bir sistemdir. Analiz maksatlı kullanımda hedef simülasyon koşturumu sırasında hiçbir kullanıcı etkileşimine gerek kalmayacak detay seviyesinde küçük birlik hareket planının oluşturulması ve hareket planı simülasyonunun gerçekleştirilerek planın başarımının değerlendirilmesidir. Eğitim maksatlı kullanımda hedef bir eğitmenin belirlediği sınırlama ve kısıtlar çerçevesinde eğitilen personelin küçük birlik hareketinde yer alan sanal kuvvetlere komuta ve kontrol etmeleri ve başarımlarının değerlendirilmesidir.

SAVMOS sisteminin analiz maksatlı kullanımına yönelik mimari tasarımı ve temel bileşenleri bu bildiride anlatılmaktadır. SAVMOS sisteminin eğitim maksatlı kullanımında da analiz sistem mimarisinin temel yapısı korunmuş, eğitim sürecinin yönetilmesi ve komuta kontrol amaçlı kullanıcı etkileşimi için yeni sistem bileşenleri eklenmiştir. Bu nedenle SAVMOS analiz sistem mimarisi sistemin genel çekirdeğini oluşturmaktadır.

SAVMOS sisteminin en önemli özelliklerinden birisi HLA [4] uyumlu bir sistem olarak tasarlanmasıdır. Dağıtık bir simülasyon sistemi olan SAVMOS'un temel bileşenleri arasındaki haberleşme ihtiyaçlarını RTI altyapısı ile karşılamaktadır. Simülasyonun gerçekleştirilmesinde kullanılan dağıtık simülasyon bileşenlerinin her birisi de federe düzeyinde HLA uyumludur ve ilerde gerek duyulursa doğrudan ya da bazı revizyonlarla HLA uyumlu federasyonlarda kullanılabilirler.

Bildirinin 2. kısmında SAVMOS sistem mimari yapısı ve temel bileşenleri verilmektedir. Kapalı olarak çalıştırılıp analiz edilecek senaryo girişinin yapıldığı Senaryo Tanımlama Sistemi 3.kısımda yer almaktadır. 4. kısımda federasyonu oluşturan federeler anlatılmaktadır. 5.kısımda da sonuçlar yer almaktadır.

2. SAVMOS MİMARİSİ

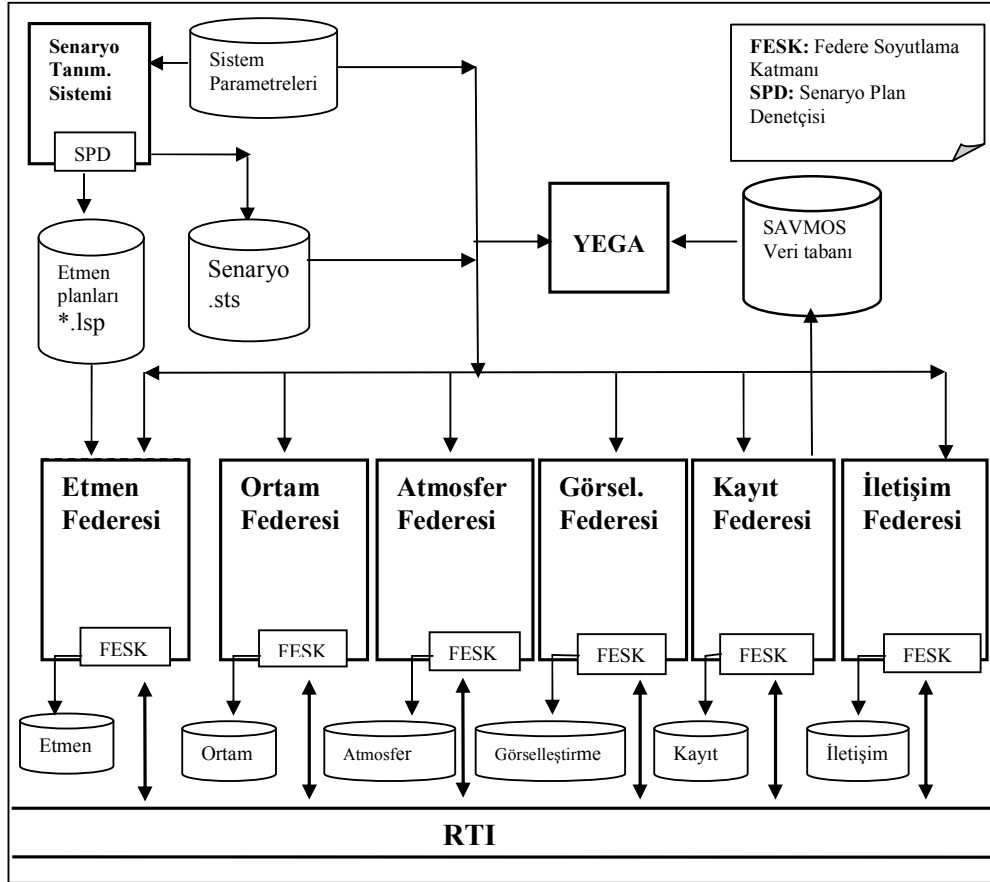
SAVMOS sistemi etmen tabanlı olarak geliştirilmiş olup *ortam* ve *etmen* olmak üzere iki sistemden meydana gelir. Ortam algılama ve müdahale ile ilgili tüm fiziksel simülasyon fonksiyonaltelerinin gerçekleştirildiği alt sistemdir. Etmen ise tek er veya grup ölçeğinde karar verme fonksiyonunu yerine getirir. Simülasyon zamanı eşit uzunlukta simülasyon zaman birimlerine ayrılmıştır ve her bir zaman biriminde etmen ortamdan algısını alır ve durum farkındalığını oluşturur, ve görev ile farkındalık bilgisiyle birlikte bir sonraki adımdaki primitif aksiyonunu belirler ve ortama bildirir. Ortam bu aksiyonun temsili ortamdaki fiziksel simülasyonunu gerçekleştirir ve sonucunda yeni bir duruma (global state) geçebilir. Etmen ve ortam arasındaki etkileşim bu şekilde devam eder. SAVMOS sisteminin, etmen tabanlı yaklaşımdan esinlenilerek ortamı simüle eden bir federe ve etmenlerin karar mekanizmalarını simüle eden bir(kaç) federenin RTI aracılığıyla birlikte çalışması ile meydana gelen bir simülasyon sistemi (federasyon) olarak tasarlanmıştır.

Bu tasarımda etmenlerin hareketlerinin ortam durumu üzerine etkileri ortam federesinde simüle edilmekte, etmenlerin ortam durumunu algısına karşılık karar verme süreçleri de etmen federesinde simüle edilmektedir. Örneğin bir etmen ilerleme

aksiyonunu seçerse, bu aksiyonu ortam federesine gönderecek, etmenin yeni konumunu simüle ettiği fizik kurallarına göre ortam federesi hesaplayacaktır.

SAVMOS analiz fonksiyonu sistem mimarisi Şekil 1’de gösterildiği gibidir. Sistemin iki temel çevrim dışı bileşeni ve altı adet çevrim içi bileşeni olmak üzere toplam 8 adet temel bileşeni bulunur. Şekilde RTI köprüsüne bağlantısı olmayan Senaryo Tanımlama Sistemi (STS) ve Yeniden Gösterim ve Analiz (YEGA) elemanları sistemin çevrim dışı bileşenleridir. STS senaryo koşumu öncesi hazırlıklarda, YEGA ise senaryo koşumu sonrası analiz ve değerlendirme faaliyetlerinde kullanılırlar. Şekilde RTI bağlantıları olan sistem elemanları çevrim içi elemanlardır ve senaryo koşturumu sırasında aktif olurlar. Bu elemanlar ve temel görevleri aşağıda listelenmiştir:

- *Ortam federesi*: Temsili ortamın fiziksel simülasyonu ve personel algılarının hesaplanması
- *Etmen federesi*: Personellerin algılarını değerlendirerek karar verme süreçlerinin simülasyonu
- *Görselleştirme federesi*: Koşturulan senaryoyu 2 ve 3 boyutlu olarak görselleştirme
- *İletişim federesi*: Telsizle ve sesle iletişimin simülasyonu
- *Atmosfer federesi*: Hava durumu, güneş ve ay simülasyonu
- *Kayıt tutma federesi*: Simülasyon verilerinin veritabanına aktarılması



Şekil 1. SAVMOS Sistem Mimarisi

SAVMOS sisteminde STS ile hazırlanan bir senaryonun kapalı çalıştırılması için asgari olarak Ortam ve Etmen federelerine ihtiyaç duyulur. Ortam federesi ortamdaki bütün personelin (etmenlerin) algılarını hesaplayarak RTI üzerinden yayınlar. Etmen federesi her simülasyon döngüsünde aldığı algılardan etmen bazında durum değerlendirmesi yaparak RTI üzerinden etmenlerin gerçekleştirmesi gereken temel davranışları yayınlar. Ortam federesi bu temel davranışların fiziksel ortamda nasıl sonuçlar doğuracağını hesaplar, etmenlerin algılarını bu değişen duruma göre tekrar hesaplar ve RTI üzerinden yayınlar. Böylece bir simülasyon döngüsü gerçekleşmiş olur. Eğer senaryoda iletişim araçları kullanılıyorsa, atmosfer koşulları senaryo için önemli ise yalnızca ortam ve etmen federeleri tarafından simülasyonun koşturulması durumunda elde edilen veriler gerçekçi olmayacaktır. Bu nedenle çevrim içi sistemde gerektiğinde atmosfer ve iletişim federeleri de yer alırlar. Sistem, değişik personelin karar verme süreçlerinin birden fazla etmen federesi arasında dağıtılarak simüle edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle çevrim içi sistemde ihtiyaç duyulursa birden fazla etmen federesi de yer alabilir.

Görselleştirme ve kayıt tutma federelerinin sistem içerisindeki rolleri girilen bir senaryodaki öğelerin simülasyonu ile ilişkili değildir ve koşturumun takip edilmesi ve veri kaydı tutulması gibi destekleyici işlevleri bulunur. Bu nedenle bu federelerin federasyona dahil olup olmamasının koşturulan bir senaryonun sonucuna hiçbir etkisi bulunmaz.

Çevrim içi sistem elemanlarının hepsinde RTI ile bilgi alışverişinde bir ara katman olarak Federe Soyutlama Katmanı kullanılmıştır. Her federede bu soyutlama sınıflarından türetilmiş sınıflar kullanarak federeye özel RTI arabirimleri geliştirilmiştir. SAVMOS federasyonunda zaman etiketli (time stamped) simülasyon gerçekleştirilmektedir. Federasyona katılan her federe hem zaman ayarlayıcı (time regulating) hem de zaman sınırlı (time constrained) federelerdir. Her federenin zaman artırma aralığı eşittir.

Bir simülasyon döngüsünün simülasyon zamanı ile 500ms.'ye denk geldiği varsayılmıştır. Bu değerin seçilmesindeki temel etken bu sürenin insan algılama süresi için mantıklı bir değer olmasıdır (psikolojide okuma deneylerinde temel algılama zamanı 400ms olarak alınır). Ortam federesi bir simülasyon döngüsünde etmen davranışlarını gerçekleştirerek etmen algılarını hesaplar, diğer simülasyon döngüsünde ise etmen federesinin bu algıları değerlendirerek temel davranışları hesaplamasını beklediğinden bir algılama işlemi gerçekleştirmez. Etmen federesi de bir simülasyon döngüsünde ortam federesinde hesaplanan algıları beklerken RTI üzerinde yayınlanan davranış bilgisini güncellemez, başka işlemler gerçekleştirir (gerçek zamanda güzergah planlaması gibi).

SAVMOS federasyonu Senaryo Tanımlama Sistemi arayüzleri kullanılarak tanımlanmış bir senaryo dosyasının çalıştırılmasını sağlamaktadır. Sistemin her elemanı STS tarafından hazırlanmış bir senaryo dosyasını ve sistem parametrelerini yükler. Bazı federeler senaryo dosyasında yer alan bütün bilgi detaylarını yüklerken (örneğin ortam federesi), bazı federeler senaryo dosyasını daha az detay içeren üst seviye sınıfların nesnelerini yükler (örneğin atmosfer federesi). 3 boyutlu görselleştirme yapan sistem bileşenleri STS, YEGA, Görselleştirme federesidir (eğitim modunda kullanılan bileşenler KomFed ve YönFed de üç boyutlu görselleştirme yapar, fakat bu bileşenler burada ele alınmamıştır). Bu bileşenler senaryo dosyasını bütün detayları ile yüklerler. Etmen federesi senaryo ve sistem parametreleri dosyalarının yanında her personelin senaryo planı dahilinde ne

yapacağına ilişkin bilgilerin yer aldığı Lisp dosyalarını yükler. Sistemin her bileşeni senaryo yüklemek için aynı senaryo doküman paketini kullanırlar.

Kayıt tutma federesi ODBC aracılığıyla MySQL veritabanı üzerinde dinamik olarak tablolar yaratır ve istenirse koşturulan senaryonun herhangi bir zaman aralığında RTI üzerinde yayınlanan simülasyon verilerinin istenen kısmının istenen aralıklarla veritabanına aktarılmasını sağlar. YEGA bu veritabanından verileri çekmek ve yeniden gösterimi ile raporlamasının yapılmasını sağlamak üzere geliştirilmiş bir SAVMOS sistem bileşenidir.

Sistem genelinde XML ve SEpxr formatı karmaşık verilerin paketlenmesinde tercih edilmiştir. Sistem parametreleri, çevreleyen kutu editörü tarafından oluşturulan çevreleyen kutu bilgileri, senaryo dosyaları, ortam federesi tarafından hesaplanan etmen algıları hep XML formatında gönderilirler. XML formatında veri transferi daha fazla bilgi akışını gerektirdiğinden gerçekleşen olaylara ilişkin bilgiler, etmen federe(ler)i tarafından belirlenen etmen temel davranışları ise SEpxr formatında paketlenerek sistemde yayınlanırlar.

3. SENARYO TANIMLAMA SİSTEMİ (STS)

STS kol hareketi ve karakol/tesis emniyeti ve savunması kapsamında önemli öğeler kullanılarak bir temsili ortam oluşturulmasına olanak sağlar. Tanımlamalar çoklu çözünürlüklü bir arazi modeli üzerinde gerçekleştirilir. Yükseklik verisi bulunan herhangi bir arazi kesimi üzerinde tanımlama yapmak mümkündür. Simülasyonun başlangıç zamanı tanımlanabilir. 29 çeşit temsili yapay ve doğal temsili ortam elemanı parametrik olarak tanımlanabilir:

- Doğal nesneler (çalı, ağaç, kaya, göl, akarsu),
- Değişik yüzey örtüleri (orman, çalılık, kayalık),
- Karakol/tesis tanımlanmasına yönelik yapay nesneler (karakol binası, cephanelik, nöbetçi kuleleri, nöbetçi kulübeleri, mevziler, tel engeller, duvar engelleri, mayın tarlaları, yapay aydınlatmalar, sesli ikaz sistemleri, tünel),
- Arazi yükseklik verisinin değiştirilmesi (mevziler, avcı boy ve yatma çukurları, irtibat hendekleri),
- Diğer yapay nesneler (bina ve köprü)
- Nokta bazlı zamansal hava durumu tanımları

STS'de temsili ortamın incelenebilmesi için araçlar bulunur: Üç boyutlu temsili ortam görüntüleme aracı, değişik silah ve algılama cihazlarının arazide etkin olduğu bölgeleri gösteren kapsama aracı ve 2 boyutta mesafe ölçüm olanakları, üç boyutta mesafe gösterimi. STS, senaryoda yer alacak personel parametrelerinin ayrıntılı olarak tanımlanmasına olanak sağlar:

- Personel uzmanlıklarının belirtilmesi
- Değişik silah tiplerine göre silah kullanma becerilerinin tanımlanması
- Algılama becerisinin tanımlanması

STS kol hareketi ve karakol tesis emniyeti ve savunmasına ilişkin taktiklerin değişik alternatifleri ile birlikte girilmesine olanak sağlar. Taktiğin ifade edilmesinde kullanılmak üzere sanal noktalar, güzergahlar, bölgeler, ateş ve gözetleme sahaları, tehlikeli bölgeler ve araziye yerleştirilen donatılar (silah, mühimmat ve algılama sistemleri) tanımlanabilir. Değişik ateş etme ve ilerleme tekniklerini de kapsayan 23 çeşit temel davranış tanımlanabilir. Temel davranışlar, koşullarla ilişkilendirilerek hangi durumda hangi davranışın gerçekleştirileceği tanımlanabilir. Bu özelliği ile STS değişik taktiklerin ifade edilmesine olanak sağlar. Dost birlikler, düşman birlikler,

koordinasyon, ortam ve zamana ilişkin 20 temel koşul ifadesi tanımlanabilir. Koşul ifadelerinde o ana kadar sistemde tanımlanmış temsili ortam elemanlarına, gruplara, müdahale ve algılama sistemlerine referans verilebilir. Temel koşul ifadeleri “ve”, “veya” bağlaçları ile bağlanarak karmaşık koşullar (durumlar) ifade edilebilir. Davranışların tek tek birey bazında tanımlanmasına gerek yoktur, tanımlamalar gruplar bazında değişik çözünürlüklerde yapılabilir. Yapılan tanımlamalar daha sonra bir çevirici yardımıyla tek er düzeyine indirgenir. Davranış tanımlarında ayrıntıya inilmek istenmesi durumunda tek er bazında da tanımlama yapma olanağı bulunmaktadır. Kapalı koşturum sırasında grupların hangi durumlarda ne şekilde alt gruplara ayrılacağı ve üst gruplarla birleşeceği tanımlanabilir. Planların grup bazında grafiksel çizgeler olarak gösterilmesini ve incelenmesini sağlayan bir araç bulunur. Görev tanımlamalarındaki hataları bulan bir senaryo plan denetçisi bulunur.

STS, senaryonun kapalı koşturum sırasında bazı koşulların oluşması durumunda sonlandırılacağına tanımlanmasına olanak sağlar. Görevler, grupların zayıat oranları, koşturum süresi ve gruplarda kalan mühimmat miktarı bazında 5 çeşit temel sonlandırma koşulu bulunur. Bu koşullar “ve”/“veya” bağlaçları ile bağlanarak karmaşık sonlandırma koşulları ifade edilebilir.

4. FEDERELER

4.1 Ortam Federesi (OrFed)

Ortam federesi çoklu çözünürlüklü arazi yükseklik verisini yüklemek, senaryodaki varlıkların fiziksel bilgilerini ortama aktarmak, ve arazide bulundukları konumları arazi verisi ile ilişkilendirmek işlevlerini sağlar. Etmen federesi tarafından yayınlanan etmen temel davranışlarını simüle eder ve etmen bilgilerini hesaplayarak yayınlar (etmenin konumu, algısı, yorgunluğu, üzerinde taşıdığı ekipmanlar, sağlık durumu ve algısı). Bunlara ilaveten koşum esnasında gerçekleşen olayları ve simülasyon zamanını yayınlar.

Ortam federesi her simülasyon adımında sırası ile şunları gerçekleştirir:

- Her etmen için etmen federesinden yayınlanan s-ifadeleri şeklinde paketlenmiş temel davranış paketini alır. Bir etmenin bir simülasyon zamanı içinde birden fazla temel davranış gerçekleştirmiş olması muhtemel olduğundan (yürürken ateş etme gibi) davranışlar bir davranış adı-davranış parametreleri listesi şeklinde gelir. Örnek: ((dön 30) (ilerle)).
- Etmenlerin üzerinde taşıdığı nesnelere ilişkin bilgileri günceller (örneğin mühimmat adedi, ya da silahların tutukluluk durumu).
- Davranışların tümünün gerçekleştirilmesinin ardından her etmenin algısını hesaplayarak algı paketini oluşturur. Algı paketi FOV ve LOS algoritmalarının uygulanması sonrasında tespit edilen, teşhis edilen ve tanınan her etmene ilişkin bilgilerin bulunduğu bir liste şeklindedir. Bu listede etmenin kendi durumuna ilişkin algısı, atmosfer ve yer koşullarına ilişkin algısı, diğer etmenlere ilişkin algıları ve nesne algıları bulunmaktadır.
- Simülasyonda gerçekleşen olayları (ateş olayları, mühimmat patlamaları, işaret fişegi atılması, vurulma olayları, hasar olayları) ve olaylar hakkındaki bilgileri yayınlar.

Yukarıda verilen algı paketinde yer alan etmenin kendine ilişkin algılarının bir etmenden diğer etmene farklılık gösterebileceği, hatalar içerebileceği varsayımına dayanarak konmuştur. Aslında bu bilgilerin gerçek değerleri RTI üzerinde yayınlanan etmen bilgisi içinde yer almaktadır.

Bunların yanında ortam federesi eğitim modunda yapılan enjeksiyonlara ilişkin yayınlanan RTI etkileşimlerine (interaction) kaydolarak bu etkileşimlerde verilen değişikliklerin ortamda gerçekleştirilmesini sağlar (örneğin bir grup etmenin sağlık durumunun ölü iken sağlıklıya çevrilmesi gibi).

4.2. Etmen Federesi (EtFed)

Etmen federesinin simülasyon ana döngüsü ortam federesininkiyle aynıdır. Etmen federesi her simülasyon adımında sırası ile şunları gerçekleştirir:

- Görselleştirme federesi tarafından yayınlanan simülasyon durumu bilgisini alır. Simülasyonun koşturulur durumda olup olmamasına göre etmenlerle ilgili işlemlere devam eder ya da bu işlemleri keser.
- HLA üzerinde yeni etmen listesi keşfedildikçe kendisine ait etmen listesine bir etmen daha ekler.
- İşlem sırası kendisindeyse
 - etmen listesindeki her etmen için ortam federesinden aldığı algı paketini açar.
 - Algısına göre durum farkındalığı oluşturur ve senaryoda kendisine belirtilen göreve uygun Lisp komutlarını gerçekleştirir. Hangi etmenin hangi sırayla hangi temel davranışları gerçekleştireceğini belirler. Etmenin davranış listesini s-ifadeleri şeklinde doldurur.
 - Bütün etmenlerin davranış listelerini yayınlar.

4.3. Görselleştirme Federesi (GörFed)

Görselleştirme federesi çoklu çözünürlükteki temsili ortamın iki ve üç boyutta görselleştirilebilmesi ve çeşitli görsel işitsel efektlerin gerçekleştirilmesini sağlar. Görselleştirme federesinin simülasyon ana döngüsü etmen ve ortam federesininkilerle aynıdır. Görselleştirme federesi her simülasyon adımında:

- Ortam federesi tarafından yayınlanan simülasyon zamanı bilgisini, etmen bilgilerini (coğrafi konum, id, yorgunluk) ve olay bilgilerini alır.
- Kamera bilgisini günceller.
- Atmosfer federesi tarafından yayınlanan kamera noktası hava şartlarını alır.
- Yeni bir etmen nesnesi keşfederse HLA üzerinde kendi etmen listesine bir yenisini ekler, etmen modelini görselleştirmek üzere yaratır.
- Temsili ortamı 2B ve 3B olarak görselleştirir.
- Simülasyon durumunu (simülasyonun koşuyor olup olmadığı) diğer federelere yayınlar.

4.4. Atmosfer Federesi (AFed)

Atmosfer federesi ortamdaki gökyüzü ve hava durumu simülasyonunu gerçekleştirir. Bu amaçla bir adet gökyüzü nesnesi ve senaryoda tanımlanan hava durumu istasyonu sayısı kadar hava durumu nesnesi yayınlar. Atmosfer federesi senaryoda okuduğu hava istasyonları bilgilerinden yola çıkarak senaryo girişi sırasında tanımlanan çalışma alanını hava istasyonlarına göre bölütler ve araziye belli bir hava durumunun geçerli olduğu bölgelere ayırır (istasyon sayısı kadar bölge oluşturur). Atmosfer federesinin ortam federesi tarafından yayınlanan simülasyon zamanı nesnesine kaydolması sağlanmıştır. Atmosfer federesi senaryoda girilen hava istasyon noktaları için verilen zamansal hava durumu değişimlerine ilişkin bilgilerden ve kaydolduğu simülasyon zamanı bilgisinden yola çıkarak o simülasyon adımıda geçerli olan hava durumunu hesaplar. Hesaplanan güncellenmiş hava durumu değerlerini ilgili hava durumu nesnesinde yayınlar. Gökyüzü simülasyonu kapsamında atmosfer federesi güneşin gökyüzündeki konumu (yer ve yükseklik) ve ayın gökyüzündeki konumu (yer ve yükseklik) ile ayın ne kadarlık yüzeyinin aydınlık olduğuna ilişkin bilgileri yayınlamaktadır. Atmosfer federesi gerçekçi gökyüzü simülasyonunu ortam federesi tarafından yayınlanan simülasyon zamanına ve senaryo çalışma alanının ortasına denk gelen konuma göre gerçekleştirir.

Atmosfer federesi RTI üzerinde keşfettiği kamera nesnelerinin konum bilgisine kaydolarak bu noktalardaki görselleştirilebilir hava şartlarını (yağış tipi, bulutluluk, yağış miktarı, sis) günceller. Bunların yanında atmosfer federesinin eğitim modunda bir görevi, yapılan enjeksiyonlara ilişkin RTI etkileşimlerine (interaction) kaydolarak enjeksiyonlarda hava şartları için istenen değişiklikleri geçerli kılmaktır.

4.5. Ses ve Telsizle İletişim Federesi (SETIF)

Ses ve telsizle iletişim federesi, sesli ve telsizli mesaj aktarımının simülasyonunu gerçekleştirir. Temel olarak hangi etmenin hangi etmenlere mesaj ulaştırabildiğini hesaplar ve etmen bazında bu mesajların yayınlamasını sağlar. Etmenler hakkına bilgilere ulaşabilmek için senaryo dosyasını, telsizlerle ilgili parametrelere erişebilmek için sistem parametreleri dosyasını yükler. RTI üzerinden yayınlanan etmen nesnelerini keşfederek MESAJ özelliğinin yayınlanma hakkını üzerine alır. Etmen nesnelerinin davranışlarına ilişkin özelliklerine kaydolur.

SETIF'in simülasyon ana döngüsü etmen ve ortam federesininkilerle aynıdır. SETIF her simülasyon adımıda:

- Ortam federesi tarafından yayınlanan simülasyon zamanı bilgisi ile etmen nesnelerinin davranışlarına ilişkin özelliğine (ACTION) kayıtlıdır. Her etmenin davranış listesinde yer alan sesle veya telsizle mesaj gönderme davranışlarının davranış parametrelerinde yer alan mesaj gönderme aracı (ses, telsiz) ile gerçekleştirilmesini simüle eder:
 - Bu simülasyonda mesaj içeriğinin uzunluğuna ve telsizle gönderiliyorsa kullanılan kanalın dolu olup olmadığına bakar.
 - Mesajın ulaşabildiği etmenlerin MESAJ listesine ulaşan mesajları ekler.
 - Telsizle mesaj gönderilmesi durumunda eğer kanal dolu ise mesajı gönderen etmenin mesaj listesine mesajın gönderilemediğine ilişkin bir bilgi ekler.
- Simülasyon durumunu (simülasyonun koşuyor olup olmadığı) takip eder ve simülasyon sonlandırılırsa ayrılır.

5. SONUÇ

Etmen tabanlı olarak geliştirilen SAVMOS sistemi hem analiz hem de eğitim maksatlı olarak gerçekleştirilmiş olup özgün ve milli bir çalışmadır. Analiz maksatlı kullanımda SAVMOS sistemi tanımlanan dost ve düşman hareket planlarını kapalı olarak koşturabilmekte ve böylece dost hareket planının taktik, kuvvet yapısı, silah, mühimmat ve algılama sistemleri açısından değerlendirilebilmesine olanak tanıyan verileri sağlayabilmektedir. Eğitim maksatlı kullanımda kol/karakol komutanı ile tim/unsur komutanlarının sistemle gerçek zamanlı etkileşerek simüle edilen hareket ortamında eğitilmelerini sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] *JANUS V2.0.6D Documentation, Volume 4: Software Algorithms, TRADOC Analysis Center – WSMR, July 2000.*
- [2] *JCATS Version 2.0 Executive Summary, May 2000.*
- [3] *JTLS Version 2.4 Executive Overview, January, 2002.*
- [4] Kuhl, F., Weatherly, R., Dahmann, J. 'Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to High Level Architecture', Prentice Hall, 2000.
- [5] *MODSAF 5.0 Functional Description Document, Advanced Distributed Simulation Technology II (ADST II), 1999*
- [6] <http://www.onesaf.org>
- [7] *OneSAF Operational Requirements Document Version 1.1, 2000.*

TAKTİK SEVİYEDE TEHDİTE DAYALI MÜHİMMAT PLANLANMASI için MODELLEME ve SİMÜLASYON

İbrahim AKGÜN ^(a), Levent KANDİLLER ^(b), Orhun MOLYER ^(c),
Nur Evin ÖZDEMİREL ^(d), İsmail Hakkı TOROSLU ^(e)

^(a) GnKur. BİLKARDEM Başkanlığı, iakgun@bilkent.edu.tr

^(b) O.D.T.Ü., Endüstri Mühendisliği, kandil@ie.metu.edu.tr

^(c) GnKur. BİLKARDEM Başkanlığı, omolyer@tsk.mil.tr

^(d) O.D.T.Ü., Endüstri Mühendisliği, nurevin@ie.metu.edu.tr

^(e) O.D.T.Ü., Bilgisayar Mühendisliği, toroslu@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Bildiride taktik seviyede dost kuvvetler açısından kara muharebenin modellenmesi için yarı-dinamik bir yaklaşım anlatılacaktır. Yaklaşım, heterojen kuvvetler arasındaki muharebe, safhalar ve alt muharebelere bölünmüştür. Bir safhadaki her alt muharebe için üç model kullanılmaktadır: hedef tahsisi için bir optimizasyon modeli, bu tahsisler altında safha hedeflerinin gerçekleşip gerçekleşmediğini tahmin eden simülasyon modelleri, ve bir safhadan ötekine silah ve mühimmat maliyetlerini/etkinliklerini güncelleme modeli. Bu modeller, kullanıcıya muharebeyi kazanmak için gerekli silah ve mühimmat gereksinimlerini ve ilgili tahsisleri belirlemesine yardımcı olan bir karar destek sistemi çerçevesinde, birbirleriyle etkileşim halindedir.

Anahtar Kelimeler: Karar Destek Sistemleri, Kara-kara Muharebeleri, Muharebe Modelleme, Modelleme ve Simülasyon, Silah ve Mühimmat Planlama,

MODELLING AND SIMULATION FOR THREAT BASED AMMUNITION PLANNING AT TACTICAL LEVEL

ABSTRACT

We propose a semi-dynamic approach to tactical level land combat modelling from the allied forces' viewpoint. Our approach decomposes a battle between heterogeneous forces into stages and mini battles. For each mini battle in a stage, we use three models: a mathematical programming model for optimizing force allocations, simulation models for predicting whether or not the stage targets are reached under the allocations, and a model for weapon cost/effectiveness update from one stage to the next. These models interact with each other within the framework of a decision support system to help the user with allocation decisions as well as prediction of force requirements to win the battle.

Keywords: Combat Modelling, Decision Support Systems, Modelling and Simulation, Land Combat, Weapon and Ammunition Planning.

1. GİRİŞ

Bildiride, bilimsel yöntemleri kullanmak suretiyle Kara Kuvvetleri Komutanlığı'nın tehdide yönelik olarak kara-kara muharebelerinde kullanacağı silah ve mühimmatın gerçekçi bir planlamasını yapmak üzere hedeflenen Kammos-2 projesi takdim edilmektedir. Bu projede, ihtiyaç duyulan mevcut analitik model/metodolojiler

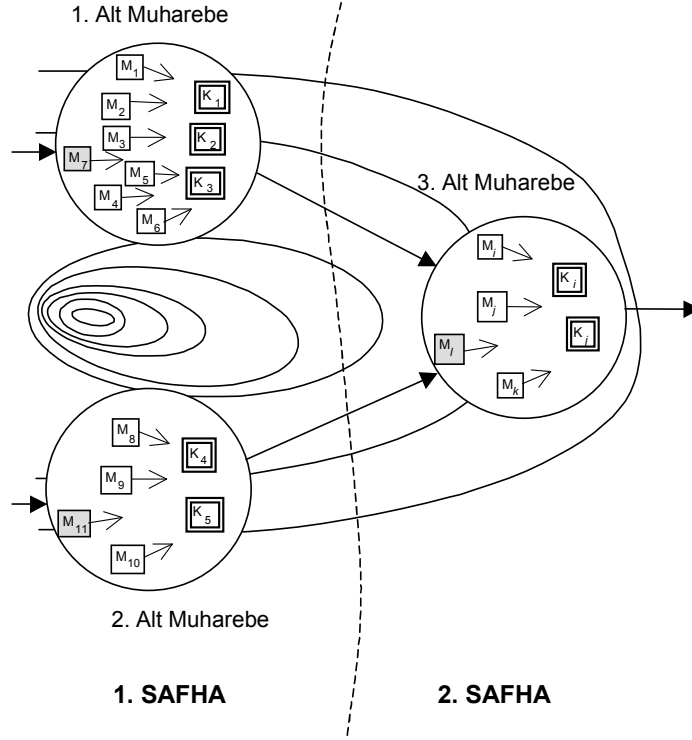
kullanılarak ve/veya yeni model/metodolojiler geliştirilerek ve bu model/metodolojiler arasında gerekli iletişimler sağlanarak TSK'ye özgü bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen metodolojinin ana amacı, tehdit unsurlarının niteliği ve niceliğini dikkate alarak, dost kuvvetlerin belirlenecek kara-kara muharebe senaryoları altında gerçekleştireceği muharebelerin modellenmesi ve simülasyonlarının yapılması, bunun sonucunda da düşmanı imhaya yönelik optimal dost kuvvet yapısının silah ve mühimmat kombinasyonlarının göz önüne alınarak belirlenmesidir.

Bu projenin kapsamında, nicelik ve nitelik olarak verilmiş bir tehdidi yok etmek amacıyla muhtemel dost kara-kara muharebe senaryoları ışığında, hava durumu, arazi koşulları vb. gibi kontrol edilemeyen faktörleri de göz önüne alan, statik silah ve mühimmat maliyet/etkinlik değerlerini kullanan ve bu değerleri muharebedeki gelişmelere paralel olarak güncelleyen, dinamik yapıda birbirleri ile konuşan model ve/veya metodolojilerin bir araya getirilmesi ile, dost ve düşman kayıplarını belirleyen yeni bir metodolojinin geliştirilmesi yer almaktadır. Projede geliştirilen bu yeni metodolojiyi temel alan bir karar destek sistemi geliştirilmiş, karar destek sisteminin prototip yazılımları hazırlanmış ve karar destek sistemi örnek taktik seviye kara-kara muharebe senaryolarında uygulanmıştır. Geliştirilen karar destek sistemi ile çeşitli konularda duyarlılık analizlerinin yapılması mümkün olmuştur.

2. MODELLEME YAKLAŞIMI

2.1. Genel Yaklaşım

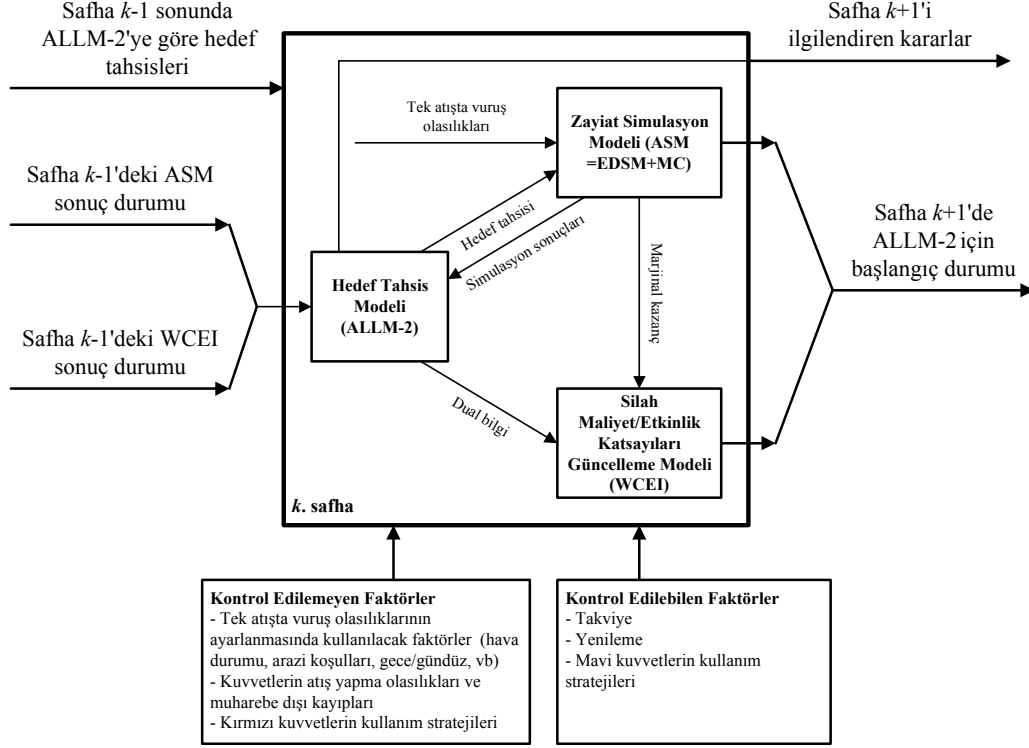
Muharebelerin en önemli özelliği dinamik bir yapıya sahip olmalarıdır. Muharebenin esasını teşkil eden düşman kuvvetler, dost kuvvetler gibi temel unsurlar olarak adlandırılabilirler. Muharebe süresi içinde hem nitelik hem de nicelik olarak değişimlere uğrarlar. Bu değişim anılan unsurların personel sayısı ve etkinlikleri, ateş gücü, beka, hareket kabiliyeti, silah sayısı ve etkinlikleri bazında değişiklikler olarak karşımıza çıkar. Bu değişimlere ek olarak hava durumu, arazi ve diğer dış koşullar gibi çeşitli alanlarda da olabilecek değişikliklerin muharebenin sonucu üzerine önemli etkilerde bulunacağı değerlendirilmektedir. Bu nedenle kara-kara muharebelerinin modellenmesi ve simülasyonuna yönelik olarak yürütülecek çalışmaların ve geliştirilecek model ve/veya metodolojilerin dinamik yapıda olması esas alınmış, dinamik yaklaşımlar kullanılması planlanmıştır.



Şekil 1. Kara-kara muharebesinin etkileşimli alt muharebeler sistemi olarak temsili

Bu bildiride kara-kara muharebesi birbirleriyle etkileşimli alt muharebelerle tanımlanmaktadır. Tanımlanan alt muharebeler bağımsız veya birden fazla alt muharebe birbirleri ile bağımlı olarak icra edilir. Her iki durumda da muharebelerin kırmızı ve mavi kuvvetler arasında değişik arazi ve hava koşullarında gerçekleşebileceği varsayılmıştır. Bağımsız alt muharebe sonuçlarını müteakiben yeni alt muharebeler ortaya koyabileceği gibi ayrıca koordineli olarak yürütülen birden fazla alt muharebe sonuçları da yeni bir alt muharebe durumu ortaya koyabilir. Alt muharebelerin gerçekleştirilmesi esnasında ortaya çıkan safhaların, zaman, coğrafi yapı veya önceden tanımlanmış olaylar bazında senkronize edilmesi planlanmıştır. Bu tip bir yaklaşımla, yani her kara-kara muharebesinin safhalara bölünmesi ile, her safhada alt muharebelerin birbirleri ile olan etkileşimleri dikkate alınarak müteakip planlamanın yapılması mümkün olmuştur. Kara-kara muharebesinin etkileşimli alt muharebeler sistemi olarak temsil edilmesi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kara-kara muharebesinin bir safhasında yer alan bir alt muharebe için önerilen modelleme yaklaşımı Şekil 2'de sunulmuştur. Modellemesi yapılan bir alt muharebenin temel girdileri bir önceki safhadaki alt muharebelerin sonuçlarından elde edilmektedir.



Şekil 2. Alt muharebe modelleme yaklaşımı

Hedef Tahsis Modeli (ALLM-2), ve Zayıt Simülasyon Modeli (ASM) takip eden bölümlerde açıklanmıştır.

2.2. Hedef Tahsis Modeli (ALLM-2)

Temel amacın maliyet etkin silah ve mühimmat planlaması olduğu göz önüne alındığında, ALLM-2'de mavi tarafın silah ve mühimmat kombinasyonlarının, kırmızı tarafın silah sistemlerine tahsis edilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Burada silah sisteminden kastedilen, üzerinde bir veya birden fazla silah bulunabilen sistemlerdir. Örneğin tank bir silah sistemi olarak düşünülebilir. Tankın üzerindeki top ve makinalı tüfek ise ayrı silahlar olarak ele alınır ve bağımsız olarak farklı hedeflere (karşı tarafın farklı silah sistemlerine) tahsis edilebilir. Aynı modelin, kırmızı tarafın silah ve mühimmat kombinasyonlarının, mavi tarafın silah sistemlerine tahsisi için kullanılması da mümkündür. Mavi silah ve mühimmat kombinasyonlarının kırmızı silah sistemlerine tahsisi için ALLM-2 formülasyonu aşağıda verilmiştir:

$$\min \quad CC \sum_{e=1}^E cs_e X_e + \sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} \sum_{k \in K_{ei}} \sum_{f=1}^F cm_k m_{eikf} X_{eikf} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} \sum_{k \in K_{ei}} b_{eikf} X_{eikf} \geq \alpha_f \quad f = 1, \dots, F \quad (2)$$

$$X_e \geq \sum_{k \in K_{ei}} \sum_{f=1}^F X_{eikf} \quad e = 1, \dots, E, \quad \forall i \in I_e \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_{ei}} \sum_{f=1}^F X_{eikf} \leq w_e \quad e = 1, \dots, E, \quad \forall i \in I_e \quad (4)$$

$$\sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} \sum_{f=1}^F m_{eikf} X_{eikf} \leq h_k \quad \forall k \in KK \quad (5)$$

$$p_{eif}^{\min} \alpha_f \leq \sum_{k \in K_{ei}} b_{eikf} X_{eikf} \leq p_{eif}^{\max} \alpha_f \quad e = 1, \dots, E, \forall i \in I_e \quad f = 1, \dots, F \quad (6)$$

$$X_e \geq r_{ee'} X_{e'} \quad e, e' = 1, \dots, E \quad (7)$$

$$\sum_{k \in K_{ei}} X_{eikf} \geq t_{eiff'} \sum_{k \in K_{ei}} X_{eikf'} \quad e = 1, \dots, E, \forall i \in I_e \quad f, f' = 1, \dots, F \quad (8)$$

$$X_e, X_{eikf} \geq 0 \quad e = 1, \dots, E, \forall i \in I_e, \quad \forall k \in K_{ei}, f = 1, \dots, F \quad (9)$$

Amaç fonksiyonu (1) kullanılan silah sistemi maliyeti (birinci terim) ve mühimmat maliyeti (ikinci terim) toplamını en aza indirir. CC parametresi tüm silah sistemleri için sabit kabul edilen ve kullanıcının geliştirilen sistemi kullanma amacına göre belirleyeceği bir kontrol parametresidir. Eğer kullanıcı bu parametreye 0 değeri verirse, sadece mühimmat planlaması yapar; eğer daha yüksek değerler verirse silah ve mühimmat planlaması yapılır. Parametreye 1'e yakın değerler verilirse ağırlıklı olarak silah planlaması yapılır.

(2), (3) ve (4) numaralı kısıtlar zorunlu kısıtlardır. Kısıt (2) zayıf hedeflerini, yok edilmek istenen kırmızı silah sistemi sayısı cinsinden belirler. Kısıtta kullanılan b_{eikf} değerleri birebir muharebede ASM kullanılarak bulunmaktadır. Kısıt (3) amaç fonksiyonunda silah sistemi maliyetini hesaplayabilmek amacıyla, bir silah sisteminin tahsis edilen toplam sayısını belirler. Bu sayı, silah sistemi üzerindeki farklı silahların her biri için modelin karar vereceği tahsis miktarlarının en büyüğü olarak belirlenir. Örneğin, belli bir tankın topundan 10 adet, makinalı tüfeğinden ise 6 adet tahsis edilmişse, tahsis edilen toplam tank sayısı 10 olacaktır. Bu tankların 4'ü sadece topu ile, 6'sı ise hem topu hem de makinalı tüfeği ile atış yapacaktır. Kısıt (4) ise alt muharebede kullanılabilecek silah sistemleri için envanter kısıtıdır.

(5), (6), (7) ve (8) numaralı kısıtlar opsiyonel kısıtlardır. Kısıt (5) alt muharebede kullanılabilecek mühimmat için envanter kısıtıdır. Kısıtta kullanılan m_{eikf} değerleri birebir muharebede ASM kullanılarak bulunmaktadır. Kısıt (6) hedef bölüşümü ("target apportionment") kısıtıdır. Bu kısıt, bir kırmızı silah sisteminin zayıf edilmek istenen miktarının en az ($p_{eif}^{\min}$ parametresi ile belirlenen) belli bir yüzdesinin istenilen mavi silah ile yok edilmesini sağlar. Aynı yüzde için ($p_{eif}^{\max}$ parametresi ile belirlenen) bir üst sınır da getirilebilir. Örneğin, yok edilmek istenen 10 kırmızı ZMA'nın en az 3'ünün ($p_{eif}^{\min} = 0.3$) en fazla ise 5'inin ($p_{eif}^{\max} = 0.5$) mavi bir tankın topu tarafından zayıf edilmesi bu kısıt ile mümkün olur. Belli bir f kırmızı silah sistemi için yazılacak

kısıtların tutarlılığının sağlanması için parametre değerleri $\sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} p_{eif}^{\min} \leq 1$ ve

$\sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} p_{eif}^{\max} \geq 1$ koşullarını sağlayacak şekilde seçilmelidir. Kısıt (7) atıcı bağımlılığı

(“shooter interdependence”) kısıtıdır. Bu kısıt, tahsis edilen mavi silah sistemleri arasında olabilecek bağımlılıkları gözönüne alarak birliğin bütünselliğini korumayı amaçlar. Bir mavi silah sisteminin belli bir miktarı kırmızı hedeflere atandığında, başka bir mavi silah sisteminin de en az ($r_{ee'}$ parametresi ile belirlenen) belli bir miktarının atanması bu kısıt ile sağlanır. Tahsis edilen miktarlar arasındaki bağımlılık hedeften bağımsız olarak ifade edilir. Örneğin, 1000 mavi piyade tüfeği atanmışsa en az 10 mavi tankın da atanması ($r_{ee'} = 0.01$) bu kısıt ile sağlanır. Kısıt (8) ise hedef bağımlılığı (“target interdependence”) ilişkilerini kurar. Belli bir kırmızı hedefe bir mavi silahın belli bir miktarı atandığında, bu miktarın en az ($t_{eff'}$ parametresi ile belirlenen) belli bir yüzdesinin ikinci bir kırmızı hedefe de atanması bu kısıt ile sağlanır. Örneğin, bir mavi tankın topundan 10 adet kırmızı tanklara atanmışsa, aynı mavi tank topundan 3 adet de kırmızı anti-tanklara atanması ($t_{eff'} = 0.3$) istenebilir.

ALLM-2 için alternatif bir amaç fonksiyonu (1') olabilir.

$$\min \sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} \sum_{k \in K_{ei}} \sum_{f=1}^F MWEI_{eikf} X_{eikf} \quad (1')$$

Burada amaç toplam silah ve mühimmat maliyeti yerine tahsis edilen silah ve mühimmat kombinasyonlarının toplam etkinliğini en aza indirmektir. Amaç fonksiyonu olarak (1') kullanıldığında, (2)-(9) numaralı kısıtlar aynen geçerlidir. Bunlara ek olarak, orijinal amaç fonksiyonu (1) silah ve mühimmat maliyetleri için aşağıdaki opsiyonel bütçe kısıtına dönüştürülebilir.

$$CC \sum_{e=1}^E cs_e X_e + \sum_{e=1}^E \sum_{i \in I_e} \sum_{k \in K_{ei}} \sum_{f=1}^F cm_k m_{eikf} X_{eikf} \leq MB \quad (10)$$

Bu model bir doğrusal programlama modelidir ve geleneksel paketlerle çözümü mümkündür.

2.3. Zayıt Simülasyon Modeli (ASM)

Zayıt simülasyonu için iki farklı model geliştirilmiştir. Bu modeller, sadece beklendik değer veren kesikli zamanlı simülasyon modeli (EDSM) ile, hem beklendik değer hem de varyans bilgisi üreten Monte Carlo (MC) simülasyon modelidir.

2.3.1. EDSM

Zayıt simülasyonunun hem b_{eikf} ve m_{eikf} hesaplamalarında hem de ALLM-ASM çevriminde defalarca çalıştırılması gereği nedeniyle, oldukça hızlı olan yeni bir model, EDSM, geliştirilmiştir. EDSM Binom süreçleriyle salvolar üzerinde çalışmakta, ancak deterministik değerler verdiğinden varyans bilgisi sunmamaktadır.

EDSM'in temel mantığını bir muharebe durumunda göstermeye çalışalım. X_{eikf}^t , t 'inci salvoda, e mavi silah sistemi üzerinde bulunan ve k mühimmatını kullanan i silahının, f kırmızı silah sistemine tahsis edilen miktarı, p_{eikf} ise aynı mavi silahın aynı kırmızı silah sistemine karşı tek atım imha olasılık değeri (SSKP'si) olsun. Mavi silahın kırmızı silah sistemine direkt atış yaptığını düşünürsek, kırmızı hedeflerden herhangi birine atış yapan ortalama mavi silah sayısı X_{eikf}^t / Y_f^t olarak bulunur. Bir

kırmızı hedefin bu mavi silahların hiç biri tarafından yok edilmeyerek sağ kalma olasılığı $(1 - p_{eikf})^{X_{eikf}^t / Y_f^t}$ olur. Bu durumda, sadece bu mavi silah tipinin atışı altında,

kırmızı silah sisteminin bir sonraki salvoda kalan miktarı $Y_f^{t+1} = Y_f^t (1 - p_{eikf})^{X_{eikf}^t / Y_f^t}$ olur. Kırmızı silah sistemine ateş eden birden fazla mavi silah tipi bulunması durumunda, sağ kalan miktar hesaplanırken, farklı mavi silah tiplerinden kaynaklanan sağ kalma olasılıkları çarpılır. Yukarıdaki örnekte, mavi silahın kırmızı silah sistemine direkt atış yerine alan atışı yaptığını düşünelim. ξ_{eikf} , f kırmızı silah sisteminin, e mavi silah sistemi üzerinde bulunan ve k mühimmatını kullanarak alan atışı yapan i silahının etki alanına girme olasılığı olsun. Bu durumda, bir kırmızı hedefin bu mavi silahların hiç biri tarafından yok edilmeyerek sağ kalma olasılığı $(1 - \xi_{eikf} p_{eikf})^{X_{eikf}^t}$ olur. Dolayısıyla, kırmızı sistemin bir sonraki salvoda kalan miktarı $Y_f^{t+1} = Y_f^t (1 - \xi_{eikf} p_{eikf})^{X_{eikf}^t}$ olarak bulunur.

EDSM'in temel varsayımları, (1) atışlarda hem atan silahın hem de hedefin birbirinden bağımsız seçilmesi, (2) direkt atışta atış dağılımının koordineli yapılması (atış yapacak aynı tipten silahların hedeflerine eşit sayıda dağıtılması) ve (3) direkt ve alan atışlarında aynı salvo içinde "overkill" varken, bir salvodan diğerine "overkill" olmamasıdır. Buna göre, aynı salvoda bir silah tarafından yok edilmiş bir hedefe başka silahlar da atış yapar (ve mühimmat harcar), ancak bir salvoda yok edilmiş bir hedefe sonraki salvolarda atış yapılmaz.

ALLM-2'den çıkan hedef tahsis miktarları EDSM'de sayı bölme olarak değerlendirilebileceği gibi zaman bölme olarak da değerlendirilebilir. Bunun yapılabilmesi için, ek girdilere ihtiyaç vardır. Sadece zaman bölen veya hem sayı hem zaman bölen silahların bulunduğu bir alt muharebede ise, EDSM'in durma koşuluna karar verebilmek için bir zaman bölme algoritmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu algoritma ile, zaman bölen silahlar için ALLM-2 tahsis oranlarına uymak koşuluyla, zaman bölen her silahın hedeflerinden her birine kaç salvo atış yapacağı ve muharebenin toplam kaç salvo süreceği belirlenir.

2.3.2. MC

Monte Carlo (MC) simülasyon modeli EDSM'e paralel bir mantıkla geliştirilmiştir ve aynı varsayımlara dayanır. EDSM'den temel farkı, muharebe sonunda kalan kuvvet seviyeleri ve kullanılan mühimmat miktarları için, beklendik değerlere ek olarak varyans tahmini de üretebilmesidir.

Başlangıçta ALLM-2'den gelen tahsislere göre hedeflere atış yapan silah sayılarının tamsayı olup olmadığı kontrol edilir. (EDSM'de bu sayıların tamsayı olmaması bir sorun teşkil etmemektedir, ancak MC'de tamsayı olmaları gerekir.) Bir silahın farklı hedeflere tahsis edilmiş olan kesirli (fraksiyonel) kısımlarının, simülasyon boyunca bu hedeflerden hangisine atış yapacağına, sıfırla bir arasında üretilen rassal sayılar kullanılarak karar verilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra her salvo için tekrarlanacak olan çevrime girilir. Her salvoda, öncelikle bir silahın atış yayıp yapmayacağı, silahın angajman olasılığı sıfırla bir arasında üretilen bir rassal sayı ile karşılaştırılarak belirlenir. Silahın atış yapacağı belli olduktan sonra, bir salvodan diğerine "overkill" olmaması varsayımına uygun olarak, o silahın atanmış olduğu hedef silah sistemi tipinin henüz tükenmemiş olması koşulu aranır. Direkt atış durumunda, koordineli atış varsayımına uygun olarak, atış yapacak silahlar hedefler arasında eşit sayıda dağıtılır.

Örneğin, belli bir silah tipinden 10 adet, 4 adet hedefe tahsis edilmişse, EDSM’de her hedefe 2.5 silah atış yapar. MC’de ise silahların hedeflere dağılımı şu şekilde yapılır. Önce 10 silahın 8’i her hedefe ikişer adet olmak üzere tahsis edilir. Sonra, geriye kalan 2 silahtan birincisi, birinci ve ikinci hedeflerden birini, ikinci silah ise üçüncü ve dördüncü hedeflerden birini rassal olarak seçer. Yapılan her bir atışın başarılı olup olmadığına silahın hedefe karşı SSKP’si yeni bir rassal sayı ile karşılaştırılarak karar verilir. Alan atışı durumunda, bir hedefin alan atışı yapan bir silahın etki alanına girip girmediği, etki alanına girme olasılığı üretilen bir rassal sayı ile karşılaştırılarak belirlenir. Giriyorsa, silahın hedefe karşı SSKP’si yeni bir rassal sayı ile karşılaştırılarak hedefin zayı olup olmadığına karar verilir. Her iki atış tipi için, atışlar tamamlandıktan sonra harcanan mühimmat miktarı güncellenir. Sonraki basamakta, silah sisteminin muharebe dışı kayıp olasılığı üretilen bir rassal sayı ile karşılaştırılarak sistemin zayı olup olmadığına karar verilir. Bu işlemler her bir mavi ve kırmızı silah için tekrarlanarak salvo bitirilir. Aynı salvoda “overkill” olabilmesi varsayımına göre, bir silah tarafından seçilen ve yok edilen bir hedefe aynı ya da farklı tipte başka bir silahın ateş etmesi mümkündür.

Yukarıda açıklanan simülasyon sürecine dayanarak MC’nin iki farklı sürümü geliştirilmiştir. MC 2.0 ve MC 3.0 arasındaki fark şöyle açıklanabilir. MC 2.0’da bir salvonun başlangıç koşulları tamamen önceki salvonun bitiş koşulları ile belirlenir. Yani bir salvo sonunda sağ kalan tüm silah sistemleri olduğu gibi sonraki salvoya aktarılır. MC 2.0’ın bir replikasyonu için tüm salvoların simülasyonu bu şekilde tamamlandıktan sonra ikinci replikasyona geçilir. MC 3.0’da ise önce bir salvonun tüm replikasyonları yapılır. Bu replikasyonların sonunda elde kalan silah sistemi sayıları için bulunan beklendik değer tahminleri bir sonraki salvoya girdi olarak kullanılır. Bir sonraki salvo başında her silah sisteminden elde bulunan miktar, o silah sisteminin önceki salvo sonundaki beklendik değer tahmini olarak alınır. Bu silah miktarları ALLM-2’nin tahsis oranlarına uygun olarak yeniden hedefler arasında dağıtılır ve sonraki salvonun simülasyonuna geçilir. MC 2.0 için replikasyon sayısına yukarıdaki yöntemle karar verildikten sonra MC 3.0’ın her salvosu için aynı replikasyon sayısı kullanılır.

2.4. ALLM-ASM Çevrimi

ALLM-ASM çevriminin temel amacı, mavi zayıat hedefi (α_f) parametrelerini ayarlayarak, öncelikle bu hedeflere her iki modelde de erişilmesini ve diğer kısıtlara uyulmasını (olurluğu) sağlamak, sonra da olurluğu bozmadan amaç fonksiyonu değerini (alt muharebede kullanılan mavi silah ve mühimmatın toplam maliyetini veya toplam silah etkinliğini) en aza indirmektir. Kırmızı taraf için benzer bir çevrim kullanılmamaktadır. Kırmızı silah ve mühimmatın maviye tahsisinde, çevrimin başında kırmızı taraf için tek bir kez çözülen ALLM-2 sonuçlarına veya kullanıcı tarafından girilen tahsis miktarlarına sadık kalınacaktır. ALLM-2 ile EDSM arasındaki çevrim tamamlandığında, ASM’nin ikinci modeli olan MC’nin 2.0 ve 3.0 sürümleri çalıştırılır. MC 3.0 muharebe sonunda kalan silah sistemi sayıları ve harcanan mühimmat miktarları için beklendik değer tahminlerini, MC 2.0 ise risk analizi için gerekli varyans bilgilerini üretir. Bu bilgiler kullanılarak güven aralıkları kurulur ve EDSM sonuçları ile karşılaştırılır.

2.5. Maliyet veya Etkinlik Parametrelerini Güncelleme Modeli (WCEI)

ALLM-ASM çevrimi tamamlandığında, çevrimdeki son ALLM-2 çözümü ve son EDSM koşumu sonuçları temel alınarak, WCEI modeli ile amaç fonksiyonu katsayıları güncellenir. LLM modelinde kullanılan (1) ve (1’) amaç fonksiyon

katsayıları, silah ve mühimmatların statik özelliklerine göre belirlenmiştir. Bu statik değerlerin muharebe süresince olabilecek değişiklikler hesaba katılarak yarı dinamik hale getirilmesi safhalar bazında planlamayı düzenleyecektir. Ek olarak, silah ve mühimmatların muharebe sonundaki güncellenmiş maliyet veya etkinlik değerleri yeni yarı dinamik göreceli değerler olarak ortaya çıkarak, silah ve mühimmatlar üzerindeki senaryo etkilerini ortaya koyar. WCEI ile yapılan güncellemede bir silah sistemi veya mühimmatın birim maliyetinin (veya bir silah ve mühimmat kombinasyonunun etkinliğinin) artması, o silah veya mühimmatın kullanıldığı alt muharebenin kazanılmasında kritik bir öneme sahip olduğunu gösterir. Amaç fonksiyonunda kullanılan maliyet veya etkinlik parametrelerinin artması durumunda, o silah veya mühimmatın sonraki alt muharebelerde tahsis edilme şansı azalacak ve böylece kaynakların kritik önem taşıdıkları alt muharebelerde kullanılması sağlanacaktır. Statik silah ve mühimmat maliyet/etkinlik katsayılarının alt muharebeler arasında güncellenmesi, ALLM-2 ve EDSM'den edinilecek bilgiler doğrultusunda yapılır.

3. KARAR DESTEK SİSTEMİ

KDS menülerinde olabilecek modelleme seçenekleri tasarlanırken, öncelikle tek bir alt muharebe için modellerin tek başına çalıştırılma seçenekleri ve bunların yapılabilmek koşulları düşünülmüştür. Bu seçenekler ve bir alt muharebenin tipi (çift yönlü veya tek yönlü olması) gözönüne alınarak, alt muharebe için modellerin tek başına veya artarda (otomatik olarak) çalıştırılma seçenekleri tasarlanmıştır. Bir alt muharebe için seçenekler genel olarak tek bir alt muharebe, bir safhadaki tüm alt muharebeler veya senaryodaki tüm safhaların tüm alt muharebeleri için geçerlidir. Bir alt muharebede hedef tahsisi yapılırken, o alt muharebede yer alan birliklerin aynı olan silah ve mühimmat kombinasyonları bir havuzda toplanarak hedeflere atanır. Alt muharebe sonunda elde kalan silah sistemleri, sonraki safha başında ait oldukları birliklere, bu birliklerin başlangıç silah sistemi sayıları ile orantılı olarak dağıtılır. Safhalar arası geçişlerde kullanıcıya, alt muharebelere katılmak üzere yeni birlik ekleme seçeneği tanınır. Kuvvet kaybına uğrayan birliklerin bütünlenmesi de yeni birlik eklemek yoluyla yapılır.

ALLM-2 modelinde olursuzluk durumu ortaya çıktığında, kullanıcının müdahale etmesi ve model parametrelerini olurluğu sağlayacak şekilde değiştirmesi gerekir. KDS bu müdahalede kullanıcıya destek sağlar.

Raporların tümü MS Excel ortamında üretilir. Excel'in seçilmesindeki temel nedenler, kullanıcıya raporları MS Office araçlarıyla işleyebilme olanağı vermesi ve grafik çiziminde kolaylık sağlamasıdır.

MS Access üzerine Delphi uygulamalarıyla geliştirilmiş olan sistem iki türde veriyi kullanmaktadır. Bunların ilki kullanıcılar tarafından bazen değiştirilecek oldukça statik, ikincisi ise senaryoyu tanımlayacak dinamik verilerdir. Bu şekilde KAMMOS-2 simülatörü için 3 adet temel girdi ögesi belirlenmiştir: SİLAHLAR–statik, BİRLİKLER –statik, SENARYO–dinamik. SİLAHLAR ögesinin altında hiyerarşik bir yapıda silah sistemleri grupları; onun altında silah sistemleri, silah sistemlerinin altında silah sisteminin üstünde yer alan silahlar ve en altta da mühimmatlar yer almaktadır. SİLAHLAR ögesi ile ilişkilendirilecek diğer önemli bir kavram ise SSKP kavramıdır. SSKP silahın (silah sisteminin her bir alt silahı açısından) kullanabildiği her bir mühimmat için hedefteki silah sistemine etki miktarını göstermektedir. SSKP bilgileri bu tür ilişkiyi tanımlayacak şekilde SİLAHLAR ögesi ile ilişkilendirilerek her bir silah sistemi – silah - mühimmat - hedef silah sistemi kombinasyonu için

tanımlanmıştır. SSKP ile ilgili diğer önemli bilgi ise SSKP'yi etkileyen muharebe koşullarını tanımlayan faktörlerdir. SSKP faktör değerlerinin silah sistemi – silah - mühimmat kombinasyonlarına karşılık SSKP etkileme katsayılarını tanımlamak için gerekli arayüzler ve veri tabanları geliştirilmiştir. BİRLİKLER ve SİLAHLAR öğeleri birbirleri ile eşleştirilmiş olduklarından senaryo tanımının birlik cinsinden yapılabilmesi ve birlik bilgileri üzerinden muharebelerde kullanılacak silah ve mühimmat bilgilerine ulaşılması ile senaryo tanımı çok daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. KAMMOS-2 simülatöründe SİLAHLAR ve BİRLİKLER statik veri öğelerinden çıkarılan girdi bilgileri ve SENARYO öğesini tanımlayan dinamik veriler kullanarak senaryolar tanımlanmaktadır. Kullanıcı birden çok senaryoyu, senaryolara ayrı isimler vererek oluşturabilmekte ve saklayabilmektedir. KAMMOS-2 simülatöründe nesnesel ve 'parça tabanlı' (component oriented) yazılım geliştirme yaklaşımı uygulanmıştır.

EĞİTİM, MİMARİ TASARIM, OPTİMİZASYON VE KONSEPT GELİŞTİRMEDE C4ISR SİMÜLASYON ARACI

M. Fatih HOCAOĞLU^(a), Cüneyd FIRAT^(a), Faruk SARI^(a), Nurşen SARI^(a),
Şeref PAŞALIOĞLU^(a), Savaş ÖZTÜRK^(a), Ramazan CENGİZ^(a),
Erdem S. İLHAN^(a), Ahmet Arif ERGİN^(a), Aşkın Erçetin^(b), Çağatay Ündeğer^(b)

^(a) TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Bilişim Teknolojileri Enstitüsü
{fatih.hocaoglu, cuneyt.firat, faruk.sari, nursen.sari}@bte.mam.gov.tr

^(b) Gnkur. BİLKADEM Başkanlığı, ANKARA, aercetin@tsk.mil.tr

ÖZ

Bu makalede, TÜBİTAK MAM tarafından geliştirilmekte olan C4ISR mimari modelleme ve simülasyon aracı incelenmiştir. Geliştirme sürecinde C4ISR kavramının algılanışı ve tümleşik bir simülasyon aracının geliştirilmesi için ortaya konan çözüm yaklaşımları ana hatlarıyla ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: C4ISR, Etmenler, Füzyon, Framework, Simülasyon

A C4ISR TOOL FOR EDUCATION, ARCHITECTURAL DESIGN, OPTIMIZATION AND CONCEPT DEVELOPMENT

ABSTRACT

In this paper, a C4ISR modeling and simulation framework being developed by TÜBİTAK Marmara Research Center is examined. Perception on C4ISR concepts in development process and solution procedures put forward to develop an integrated simulation framework are explained briefly.

Keywords: C4ISR, Agents, Fusion, Framework, Simulation

1. GİRİŞ

Son zamanlarda, tümleşik bir askeri yapı olarak C4ISR (*Command, Control, Communication, Computers, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance*) bilgi mühendisliği ve bilgi teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak daha fazla önem ve ilgi kazanmaktadır. C4ISR sistemleri fiziksel dünya bileşenleri ve karar yapımı ve katılımcı bileşenler arasındaki mesaj iletişimi gibi bilgi esaslı bakışların her ikisini de birleştirir. Fiziksel dünya ve bilgi dünyası katmanlarının her ikisinin bir araya getirilmesi kullanıcılara savaş oyunlarını, komuta-kontrol analizlerini, taktik kavram geliştirmeyi ve yönetim tecrübesi edinimini içeren ve bunlarla sınırlı kalmayan oldukça kapsamlı ve yetkin bir savunma simülasyonu ortamı hazırlama imkanı verir. Simülasyon literatüründe, bilgi ve fiziksel varlıkların akışlarının birbirlerine zıt yönlerde olduğu bilinir. Askeri alanın tümleşik ve karmaşık olması sebebiyle, personel eğitimine ek olarak, C4ISR kavram geliştirme problemleri karmaşık senaryolar üzerinde tecrübe edinimini zorunlu kılar. Bu tür senaryoların sanal ortamlarda benzetiminin yapılması gerçek C4ISR sistemleri ve personeli ile tümleştirilmesi problemi için oldukça maliyet etkin bir çözümdür [1].

Simülasyon bakış açısıyla, bilgi katmanı modellemesi fiziksel katman modellemesinden daha farklı özellikler barındırır. Bilgi tiplerindeki farklılıklar, eşanlılık, bilginin olasılıklı doğası ve operasyonel düğümler arasındaki akışı, tüm

bunlara ilave olarak, tümüyle otomatikleştirilmiş veri füzyonu ve karar mekanizmalarının geliştirilmelerindeki imkansızlık bilgi katmanı modellemesindeki zorlukları belirleyen faktörlerden yalnızca birkaçıdır. Tüm bu zorlukların aşılması, iyi formüle edilmiş matematik programlama modellerine ek olarak yüksek düzeyli otonom ve bilgi yoğun bileşenlerin geliştirilmesine bağlıdır. Probleme uygulanmış pratik bir uygulama, karar mekanizmasında ve bilgi yoğun görevlerde insanı istihdam eden, koşum zamanında insanla tümleşik sanal gerçeklik simülasyon çözümleridir ve bu insanlarla C4ISR simülasyon sistemlerinin planlanmasında önemli bir faktör olmuştur.

TÜBİTAK MAM C4ISR modelleme ve mimari işletimleri için esnek, tekrar kullanım düzeyi yüksek, modüler ve etkileşimli simülasyon sistemleri geliştirmektedir. Bu makale, geliştirme sürecinde edinilen tecrübeleri, elde edilen ürünün kısa bir tanıtımı ve ileriye dönük bir projeksiyonu sunar. İlk önemli vurgu dağıtık ve tekrar kullanımlı bileşenlerin geliştirilmesidir ve bu amaç tüm sistemin HLA/RTI (*High Level Architecture/Run-Time Infrastructure*) arakatman yazılımı üzerine kurulması ve iyi soyutlanmış bir simülasyon çerçevesi mimarisi ile başarılmıştır. Dışsal simülasyon ve yazılım bileşenlerinin simülasyon senaryosuna dahil edilmesi veya çıkarılması, senaryo tasarımı aşamasında ve hatta senaryo koşumu aşamasında mümkün kılınmıştır. Diğer bir önemli vurgu olan açık olma ise, modüler bir yapıda, iyi arayüz etkileşimlerine sahip bileşenlerin geliştirilmesine sağlanan destektir. Bu destek, semantik yapılarından soyutlanmış modeller yapılarında ve modellere iç bağımlılığı olmayan bir simülasyon çerçevesi tarafından sağlanmaktadır.

Sistem kavram geliştirme, analiz ve eğitim amaçlarına hizmet verir. Askeri kavramların geliştirilebilmesi, C4I ve SR amaçlı bileşenlerin ve aralarında operasyonel bilgi akışlarının belirtildiği mimari yapıları içeren farklı senaryoların denenebilmesi ile mümkün olabilmektedir. Senaryo sonuçlarının değerlendirilebilmesi ve senaryo tasarımlarına girdi sağlanması amacıyla sonuçların sorgulandığı ve analiz edildiği bir analiz aracı sistemin analiz fonksiyonu altında ele alınır. Analiz iki yönlü olarak incelenmiştir. Klasik yaklaşımla, simülasyon çıktı verilerinin analizi gerçekleşir ve ikinci yönde, esnek olarak tanımlanmış kriterlere göre bileşen davranışlarının optimize edilmesi amaçlanır. Üstelik, eğitim alan personelin komuta-kontrol kararları ve eylemlerinde zayıf kaldıkları ve güçlü oldukları yönleri de görme imkanları sunulmaktadır.

Takip eden bölüm sistemin esaslarını ve özelliklerini sunar.

2. C4ISR SİMULASYONLARI İÇİN ESASLAR

C4ISR'ın arkasındaki temel kavram geliştirmek ve sistemdeki varlıkların kendi özellikleri üzerine yoğunlaşmak yerine, aralarındaki etkileşimleri modellemektir. Bu nedenle, C4ISR simülasyon sistemleri için ana motivasyonu, pek çok tekil ve etkileşimli bileşeni bir ortak tümleşik sanal ortamda modelleyebiliyor olmak şeklinde belirlenir. Tümleşik bakış vurgusu personel karar yapımına ek olarak mimari kavram analizleri modelleme isterlerini takip eder. Komuta-kontrol süreci modellemesi katmanlı olarak ele alınır ve katmanları çoklu-sensör ve çoklu-kaynak veri füzyon, karar destek mekanizması, tüm komuta-kontrol personeli karar mekanizması ve otonom düşman davranış ve karar mekanizması modellemelerini içerir. Bilginin tümleştirilmesiyle, kullanıcı ve analistler bileşenlerin operasyonel başarımları, onların tümleştirilme düzeyleri ve üretilen veri kalitesine ilişkin kararlar verebileceklerdir. Bu aynı zamanda, bileşenler arasında akan bilgiye ilişkin olarak bağlantı etkinliği ve performansının göz önüne alınmasını da içerir.

C4ISR senaryoları sanal ortamlarda hazırlanıp koşturuldukları için, eğitim ve gerçek varlıkların denenmeleri gerçek sistemlerin sanal çevrelere arayüz etkileşimleri ile bağlanmaları çerçevesinde ele alınır ve modüler, etkileşimli yapıların kullanımını güçlendirir. Bu, sistem bileşenlerinin farklı durum ve şartlar altındaki performans isteklerini dikkate almayı ve sistem tedarik politikalarının geliştirilmesinde sanal çevre simülasyon testlerin ön plana çıkarılmasını gerekli kılar.

Stratejik ve taktik C4ISR sistem provalar farklı operasyonel durumlara ait senaryo içerikleri tarafından beslenen pek çok sistem bileşenine ihtiyaç duyar. Barış zamanı operasyonel durumların geliştirilmesi kısmen mümkün olabilmektedir. Günümüzde pek çok gerçek dünya bileşeni sanal ortamlarda oldukça detaylı modellenabilmektedir. Sonuçta, C4ISR modelleme ve simülasyon çevreleri gerçek dünya karşılıklarına benzerliği oldukça yüksek modeller önermekte ve bu stratejik ve taktik provaları içeren sanal C4ISR içeriklerinin oluşturulmasında önemli bir eleman olmaktadır. Stratejik ve taktik sınırlamalar ülkeden ülkeye değişen doktrinlere, jeopolitik özelliklere ve kuvvet organizasyonuna göre değişiklikler gösterir. Sanal simülasyon dünyalarının bu farklılıklara uyaranabilmesi önemli bir istektir.

3. C4ISR SİMÜLASYON ORTAMININ AMAÇLARI

Bir C4ISR modelleme ve simülasyon ortamı geliştirme projesi, halen TÜBİTAK MAM tarafından yürütölmektedir. Bu proje kapsamında, çeşitli C4ISR mimarileri için, ISR görevleri göz önüne alınarak, modelleme, simülasyon ve analiz yetenekleri geliştirilmektedir. Yazılım mimarisi açısından bakıldığında, sistem RTI üzerinde HLA federeleri olarak çalışan çeşitli tipte bileşen modellerinden oluşmaktadır. Bileşen modelleri modüler ve iyi tasarlanmış arayüzlere sahiptirler, böylece farklı senaryoların işletilebilmesine olanak sağlanmaktadır. Sistem, hem fiziksel katman hem de bilgi katmanı için uygun olan Komuta Kontrol (C2), Haberleşme, Bilgisayar, ve ISR bileşen modellerinin tanımlanmasına ve kullanılmasına izin vermektedir. Sistemin temel özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

Kullanıcı, senaryo bölgesi üzerine bileşen yerleştiren ve bu bileşenlerin teknik ve taktik (operasyonel) yeteneklerinin belirlenebildiği bir aracı kullanarak, tümleşik bir operasyonel (taktik) plan oluşturabilir. Böylece, senaryo fiziksel katmanının yapılandırılması sağlanmaktadır. Senaryo üzerine yerleştirilen bileşenler çeşitli tipte sensörler, haberleşme sistemleri, C2 sistemleri ve silah sistemleridir. Kullanıcının yapabileceği diğerk bir tanımlama, bilinen bir komuta kontrol yapılanması altında, bileşenlerin mimari ve taktik açısından tümleştirilebilmesini içermektedir. Mimariye ilişkin teknik, taktik (operasyonel) ve sistem bakış açılarına ait organizasyonel özellikler ile ilgili tanımlamalar yapılabilecektir. Böylece, bilgi katmanına ilişkin atamalar elde edilmiş olacaktır.

Sistem, statik ve dinamik olarak sensörlerin konumlandırma optimizasyonu, kapsama alanı optimizasyonu ve çoklu-sensörlü rota planlama yapabilen araçlara sahiptir. Kullanıcı, optimizasyona girdi olarak maliyet işlevini (*cost function*) ve başarıml ölçütleri için kısıtlamaları tanımlayabilmektedir. Bu ölçütler senaryo tarafından işletilecek görevler göze alınarak tanımlanabilir.

Sensörlerden elde edilen tespit (*detection*), kimliklendirme (*identification*) ve sınıflandırma (*classification*) verileri, kaynaştırma (*fusion*- füzyon) modelleri kullanılarak tümleştirilmektedir. İki çeşit veri füzyonu yaklaşımı kullanılmaktadır: Sensör ve bilgi (yorumlanmış veri) füzyonu. Bu yetenek sayesinde, füzyona uğramış veriler ışığında oluşturulan taktik resmin C2 personeline sunulması durumunda,

füzyon kavramının karar vericilerin işlerini nasıl etkilediği de incelenmiş olacaktır. Ayrıca, çeşitli füzyon yaklaşımları ve tekniklerini denemek mümkün olacaktır.

Çeşitli koşullar altında farklı C4ISR mimarilerinin analiz edilmesi, mimarilerin gerçek zaman başarımı, taktik ölçütler, veri formatı, yeterlilik gibi parametrelerin ölçümüne katkıda bulunacaktır. Böylece, barış zamanında, mevcut organizasyonun etkinliği gözden geçirilerek, beklenmedik durumlar için hazırlıklı olunacaktır.

4. SİMÜLASYON ORTAMININ ANA BİLEŞENLERİ

Simülasyon ortamı, “Senaryo Tasarımı”, “Simülasyon Çerçevesi”, “Analiz”, “Optimizasyon”, “Otonom Varlıklar”, “Haberleşme”, “Sensörler”, “Füzyon”, “Harita Arayüzü” ve “Harita Simülasyon Bileşeni” temel bileşenlerinden oluşmaktadır.

4.1 Senaryo Tasarımı

Senaryo Tasarım aracı kullanıcıların senaryo tanımlayabilmelerine izin vermektedir. Senaryo tanımlama işlemi DTED (*Digital Terrain Elevation Data*) formatında bir haritanın seçilmesi ile başlar. Simülasyon bileşeni araç kutuları, kullanıcının herhangi bir bileşeni seçerek harita üzerine yerleştirmesine olanak sağlar. Araç kutularındaki bileşenler, hareketli ve hareketsiz platformlar, haberleşme cihazları, komuta kontrol birimleri, insan gücü (düşman dahil olmak üzere), atış destek birimleri, sensör sistemleri ve kilometre taşı, binalar, sınır çizgileri, gözetleme kuleleri, mayın alanları vb. gibi insan yapısı unsurlar olarak sıralanabilir. Bütün bu bileşenler genel amaçlı (*generic*) olarak tasarlanmış olup, kullanıcının değiştirebileceği özniteliklere (*attributes*) sahiptirler. Böylece, bir askere tabanca atmak gibi, bileşeni diğer bir bileşeni eklemek, rota ve bölge tanımları gibi kullanıma hazır senaryo bileşenleri oluşturmak ve bunları ilgili bileşenlere alt bileşen olarak atamak mümkün olmaktadır. Senaryo tasarımının belki de en kritik tanımlaması, hangi bileşenin ne amaçla kullanılacağını ve bu amacının nasıl gerçekleştirileceğinin belirlendiği görev bildirimleridir. Bileşenlerin *ne amaçla* kullanıldığı, görev-iş-etkinlik (*mission-task-activity*) ağaç yapısında modellenmektedir. Her bir görev ve bu göreve ait işler kendi “başarı sınırlamalarına” ve bu işlerin her bir metodu da kendi “uygulanabilirlik sınırlamalarına” ve bir sürece sahiptir. Bu süreç ile, metotların uygulandığı yapı, yani bileşenlerin kullanım amacının *nasıl* gerçekleştirileceği belirlenmektedir. Senaryo motoru, yapılan bütün bu tanımlamaları girdi olarak kabul edip işletimi gerçekleştirmektedir.

4.2 Simülasyon Çerçevesi

Simülasyon çerçevesi bir simülasyon motoru, senaryo motoru (etmen) ve hafıza yöneticisi içerir. Simülasyon motoru dışsal bir veri yapısı olarak hazırlanan ve grafik arayüz kullanımı ile tanımlanan davranış yapılarının simülasyon bileşenleri tarafından işletilmesinden, mesaj dağıtımından, senaryo koşum kayıt işlemleri ve bir seri simülasyon işletim görevlerinden sorumludur.

Senaryo motoru, simülasyon ortamını izleyerek bileşenlerin görev tanımlamalarını çözümleyen bir yönetici etmendir (*agent*). Temel olarak, işin uygulanabilirlik koşullarını kontrol eder ve ilgili simülasyon bileşenine, “ne yapılacağını” bildiren mesajlar göndererek ve geri dönen başarı sonucunu alarak işletim sürecini yürütür. Bir görevin tanımlanması veya otonom bir varlığın görev ve karar süreçlerinin tanımlanması kullanıcıya sağlanan bir grafik arayüz ile gerçekleştirilmektedir. Otonom varlıkların davranışı yine aynı etmen tarafından kontrol edilir.

4.3 Mimari Tanımlama Araçları

Senaryoyu bir C4ISR yapısı içinde oluşturabilmek için, bütünlüğü korumak açısından mimari tanımlama bileşenleri tasarlanmıştır. Mimari bileşenler üç ana başlık altında toplanmaktadır: Taktik (Operasyonel), Teknik ve Sistem Bakışları. Taktik bakışta, yüksek seviyeli operasyonel bilgiler ortamdan elde edilir, operasyonel düğümler tanımlanır ve simülasyon bileşenlerinin organizasyonel ilişki grafiklerinde ve operasyonel düğüm bağlantı diyagramlarında nerelere ait oldukları belirlenir. C2 hiyerarşileri ve komutanın sorumluluk alanı organizasyonel ilişki grafiklerinde tanımlanmaktadır.

Sistem bakışında senaryo dahilindeki bileşenlerin birbirleri ile etkileşimleri, diğer bir ifade ile, birbirlerine sağladıkları arayüzlerin ve teknik bakışta ise etkileşim kurallarının tanımlanması gerçekleşir. Sistem bakışı sistemleri görevlerle ve iletişim cihazlarını operasyonel düğümler arasında tanımlanmış mesajlarla eşleştirmeyi amaçlar. Teknik bakış bir bileşen tarafından uygulanacak eylemin uygunluğunun kontrolü ve bir görevin gerçekleştirilmesi için uygun cihazın ve mümkünse de daha uygun alternatifinin seçilmesi için bir seri arayüzler tanımlar.

4.4 Analiz Aracı

Analiz amaçları girdi ve çıktı verileri analizleri olmak üzere iki sınıfta ele alınırlar. Girdi verileri analizinde amaç simülasyon işletimi esnasında kullanılacak, ağırlıklı olarak zaman değerlerinin, hesaplanması ve dosyalanarak simülasyon işletiminde kullanıma sunulmasıdır. Çıktı verileri analizinde koşum sırasında kaydedilen kullanıcı tanımlı veri yapıları üzerinde sorgulamalar yapmak ve sorgulama sonucunda elde edilen verileri tablolar haline getirerek temel istatistiksel hesaplamaları ve istatistiksel anlamlılık testlerini gerçeklemek gibi görevler gerçekleştirilir. Testlerin amacı, kullanıcının tasarladığı senaryolar arasındaki farklılığın anlamlılığını, rastsal değişimleri elimine ederek ortaya koymaktır. Kullanıcı tanımlı veri yapıları hem bileşenlere ait öznel değerlerini hem de simülasyon işletiminde hesaplanan simülasyon mantıksal zamanı, simülasyon durum bilgisi gibi değerlerin kullanılması ile esnek bir yapıda arayüz kullanımı ile tanımlanabilir. Sistemin analiz amaçlı kullanımı çıktı verileri üzerinde yapılan analizlerle doğrudan ilişkilidir.

4.5 Optimizasyon

Sistem sabit sensör sistemlerinin yerleşimi, hareketli sensör sistemleri için rota planlaması ve hareketli-sabit sensör sistemleri için başa-baş analizlerini hedefleyen statik ve dinamik optimizasyon modellerini içerir.

Optimizasyon algoritmasının temel girdilerini, optimizasyonun yapılacağı bölge sınırları ve harita çözünürlüğü, harita üzerinde tanımlanan önem ve konuşlanabilirlik matris bilgileri, hedef tipi bilgileri ve tespit/teşhis/tanıma olarak belirlenen kapsama tipi oluşturur. Bunların dışında önem derecesi ile bağlantılı olarak herhangi bir noktanın gözetleme sıklığı da belirtilir.

Yerleşim optimizasyonunda amaç sabit sensörlerin maliyet etkin olarak en iyi kapsamayı sağlayacak yerleşimlerinin belirlenmesi olarak tanımlanır. Probleme sensör sayı ve tipi kullanıcı tarafından tanımlanıp sınırlandırılabilirken, bütünüyle optimizasyon probleminin konusu olarak da bırakılıp optimizasyon aracından çözüm sonucu olarak beklenebilir. Statik optimizasyon, sabit sensörler için yerleşim noktaları hesaplamının ötesinde, hareketli sensörler için uğrak noktalarının belirlenmesi görevini de üstlenir. Uğrak noktası, belirli periyotlarla ziyaret edilmesi gerekli olan

kritik olarak belirlenmiş, belirli bir konuşlanabilirlik değeri olan coğrafi noktalar. Çözüm koşum öncesinde gerçekleştirildiği için statik optimizasyon problemi olarak ele alınır. Hareketli platformların taşıdıkları sensör tipine göre uğrak noktalarına atanması ve uğrak noktalarından gözlenen bölgenin önem derecesine ve ziyaret edilme periyotlarına göre rotalarının belirlenmesi de senaryo koşumu öncesinde gerçekleşir.

Harita üzerinde farklı önem dereceleri tanımlaması, stratejik önemleri kıyaslamalı olarak farklı olan bölgeler için önem taşımaktadır. Kullanıcı/modellemeci harita üzerinde bölgeler tanımlayıp bölgelere farklı önem dereceleri atayabilmekte ve her bir alt bölge birer simülasyon bileşeni gibi davranarak, bir sensör tarafından görüldüğünde önem derecesini düşüren ve zaman içerisinde, tanımlanan davranış şablonu ve zamanlamasına bağlı kalarak, önem derecesini tedrici olarak yükselten davranışlar sergiler. Bir platformun rotası üzerinde olduğu halde, simülasyon işletimi esnasında rastsal olarak gelişen bir olay sonucunda platform geçişine olanak veremiyor olması durumunda ve/veya değişen önem derecesi sebebiyle, optimizasyon bileşenine harita alt bölge bileşeni tarafından gönderilen bir mesaj ile rota hesaplamaları güncellenerek optimizasyonun senaryo koşumunda dinamik olarak işletimi sağlanmaktadır.

Çözüm tekniği olarak Genetik Algoritmalar (GA) ve polytope algoritması kullanılmıştır. Global optimizatör olan GA, çözümü kabul edilebilir bir düzeye kadar getirmekte ve polytope algoritmasına mevcut çözümü girdi olarak sunmaktadır. Polytope algoritması aldığı çözümü yerel olarak iyileştirerek daha iyi bir çözüme taşımaktadır. Kullanım konseptinin amacı GA'dan gelen yavaşlığı polytope algoritması ile bir miktar ortadan kaldırmak, GA'dan alınan yaklaşık çözümü daha detaylı çözüme hızlı bir şekilde taşımaktır.

4.6 Sensör Modelleri

Tüm simülasyon modellerinde olduğu gibi sensör modellemede de genel modelleme yaklaşımı, fiziksel varlığın denklem tabanlı olarak etki modellenmesinin yapılması esas alınmıştır.

Sensör tiplerine bağlı olarak, sensör modelleri ortamdan, özellikle düşman kaynaklardan bilgi toplar ve bilgileri haberleşme cihazları aracılığı ile komuta katmanlarına gönderir ve komuta katmanları, veri füzyonu algoritmaları ile çeşitli kaynaklardan gelen bilgileri kaynaştırarak karar verir. Simülasyon kapsamında ele alınan sensör tipleri: Radar, Gündüz ve Termal Kamera, Yapay Açıklıklı Radar / Hareketli Hedef İşaretleme (SAR/MTI) ve gömülü sensörler (sismik, elektromagnetik, IR).

4.7 Harita İşlemleri

Harita işlemleri iki birim tarafından yürütülmektedir. Bu birimler “Harita Arayüzü” ve “Harita Simülasyon Bileşeni” olarak isimlendirilir.

Harita Arayüzü temel işlevleri kullanıcının simülasyon senaryo alanını seçmesi, bu alanı değişik harita formatlarında görüntülemesi, üzerindeki coğrafi bilgileri sorgulaması, senaryo oluşturulurken bileşenlerin yerleşiminin düzenlenmesi ve seçilen bir nokta için görülebilirlik hesabının yapılmasıdır. Bu işlevler simülasyonun koşumundan önce senaryo tanımlama aşamasında kullanılmaktadır. Ek olarak simülasyonun koşumu sırasında bileşenlerin hareketlerinin ve diğer bileşenlerle olan ilişkilerinin gösterilmesinde de bu birim kullanılır. Harita Arayüzü kullanıcının

simülasyonla etkileşiminde önemli bir yere sahiptir. Tasarımında yüksek yoğunlukta bilgi iletebilmeye imkan sağlaması ve kullanım kolaylığı sunması amaçlanmıştır. Bu birim görüntüleme ve bilgi sorgulaması yaparken kendisine sunulan harita veritabanını kullanır. İşlevlerinin büyük bir kısmını simülasyon koşumundan önce gerçekleştirir ve koşum sırasında da aktiftir.

Simülasyonun koşumu sırasında bazı bileşenler harita verisinde sorgulamalar yapma ihtiyacı duymaktadır. Ayrıca, Harita Arayüzü üzerindeki ikonların yerlerinin güncellenmesi ve bazı simülasyon bilgilerinin de buraya yansıtılması gerekmektedir. Bu noktada, Harita Arayüzünün simülasyonla olan ilişkilerini düzenleyen bir “Harita Simülasyon Bileşeni” geliştirilmiştir. Bu bileşen detaylı bir davranış şablonuna sahiptir. Temel işlevi simülasyonun koşumunda haritayla ilgili bilgilere ihtiyaç duyan ve haritaya bilgilendirme notları gönderen bileşenlerin bilgi alışverişini yönetmek için iyi tanımlanmış bir formatta mesajlaşma sağlamaktır. Bu anlamda harita bileşeni harita veritabanına sahip olan ve bu bilgileri kullanıcıya sunan harita arayüzüyle diğer simülasyon bileşenleri arasında arayüz görevini yerine getiren bir simülasyon bileşenidir. Bu birim işlevlerini simülasyon koşumu sırasında yerine getirir.

4.8 Füzyon

Savaş alanındaki tüm varlıkları, konumları, hareketleri ve o varlıklara ait özelliklerin tespit/teşhis/tanıma amaçlı olarak taktik resim üzerinde sergilemek ve yeni kararlar oluşturabilmek savaş alanında önemli bir üstünlük sağlamak anlamına gelmektedir. Dağıtık sensör ağları tespit edilen hedeflerin doğru bir şekilde konumlandırılması, teşhis ve gözetleme amaçlı olarak son zamanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu modern sistemler kapsadıkları bölgedeki her elemanın sağladığı verilerin (algılama, nitelikler, izler) bir merkezde tümleştirildiği bir çok sensör elemanından oluşmaktadır. Her sensör veri füzyonu olarak adlandırılan birleşik karar sürecine katkı sağlar. Çok sensörlü veri füzyonunun temel amacı, çeşitli platformlar tarafından toplanmış bilgilerin gösterildiği ve yeni bilgilere ulaşıldığı savaş alanına ait “Taktik Resim” denen büyük resmi çıkarmaktır.

Gözetleme sistemlerinde genellikle sensörlerden gelen iki tip veri üzerinde özellikle durulur. Bunlardan birincisi algılanan nesnenin konumu,hızı ve yönü; diğeri ise hedefe ait kimlik bilgilerinin (sınıfı, tehdit durumu, kimliği) saptanmasıdır. C4ISR kapsamında tasarlanan simülasyon sisteminde de algılanan tehditlerin tespit, teşhis ve tanıma işlemlerinin yürütülebilmesi için kural tabanlı bir tümleştirme sistemi geliştirilmiştir. Proje kapsamında tehdit algılamaları için tasarlanan sensörler radarlar, gömülü sensörler, kameralar, yapay açıklıklı radar (YAR- SAR), IFF ve kullanıcı istihbarat bilgileridir. Bu sensörlerden her biri farklı tiplerde veriler üretmektedirler.

Geliştirilen Füzyon paketi komuta kontrol veritabanı bilgilerini ve sensörlerden gelen verileri kullanan kural tabanlı bir araçtır. Geliştirilen modülün en önemli özelliği karar kurallarının kullanıcı tarafından kolayca tanımlanması ve sisteme dahil edilmesine olanak tanımasıdır. C4ISR projesinde de dinamik kullanıma açık bir tümleştirme işlemi tasarlanması gerektiğinden sisteme yeni kuralların ve kuralların işletimi ile ilgili gerekli eklentilerin yürütme anında yapılabilmesine olanak sağlayan kural işletimine dayalı kural tanımlama ve işletme aracı geliştirilmiştir. Araç önceden tanımlanmış kuralları istenilen veritabanı üzerinde işletebilir ve ilgili sonuç işlemlerinin yapılmasını sağlar. Sisteme bağlı herhangi bir sensör eklendiğinde veya ele alınması gereken herhangi bir yeni veri tipi eklendiğinde buna ilişkin yeni düzenlemeler kural tanımlama aracı sayesinde yapılabilir.

Hazırlanan paket üç değişik tip kullanımı içermektedir. Bunlar, 1) Son Kullanıcı (Operatör): Arayüz aracılığıyla tanımlanmış olan herhangi kuralı bir veritabanı üzerinde uygulayabilir ve sonuçları kullanıcı arayüzünde görebilir, 2) Geliştirici: Mevcut tanımlanmış “predicate”leri (karşılaştırma fonksiyonları) kullanarak yeni kurallar tanımlamak ve veri veritabanı üzerinde uygulamak isteyen kullanıcılara yöneliktir. Kural tanımlamak isteyen bir kişi kural tanımlama aşamalarına uyarak istediği yeni bir kuralı tanımlayabilir ve 3) Uzman Geliştirici: Eğer tanımlanmak istenen kural mevcut predikatelerle tanımlanamıyorsa, sisteme kullanıcının kendi tanımladığı predikateler tanıtılabilir. Yeni tanımlanacak kural için yeni bir predicate yazılacaksa bu predicate Prolog ifadeleriyle ilgili veritabanına eklenir. Bu ekleme sonucunda istenilen kural tanımlama işlemi 2. madde de ifade edilen kural tanımlama aşamalarıyla gerçekleştirilir.

Füzyon aracı karar mekanizması arayüzünden bağımsız ele alındığında insan modelleri ile tümleştirilip otonom olarak karar veren, elde ettiği bilgileri tümleştiren yapılar elde edilebilmektedir.

4.9 Haberleşme Modelleme

C4ISR SGKS MOS haberleşme işlemleri kapsamında haberleşme donanım bileşenleri ve haberleşme ortamı modellenmiştir. Haberleşme modeli verici birim, haberleşme ortamı ve alıcı birim olarak üç alt sisteme ayrılmıştır. Bu alt sistemlerden haberleşme ortamı, verici ve alıcı birim arasındaki görülebilirlik ve sinyal kaybı hesaplarını gerçekleştirerek haberleşmenin gerçekleşmesini sağlamaktadır. Kayıp hesaplamaları yapılırken ilgili frekanslardaki yayılım algoritmaları kullanılmış, görülebilirlik hesaplarında ise direkt görüş hattı hesabı uygulanmıştır. Haberleşme donanım bileşenleri kapsamında ise veri aktarımında oluşan cihaz içi gecikmeler, aktarılan verinin boyutu ve veri yolunun özellikleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Verinin aktarılması aşamasında ise haberleşme ortamı bileşeni görülebilirlik ve kayıp hesaplarını gerçekleştirerek ilgili alıcıya aktarımı direkt ya da röleler vasıtasıyla gerçekleştirir. Haberleşme modeli içindeki tüm bileşenler simülasyondaki diğer bileşenler ile etkileşimli olarak gerçek bir haberleşme sistemini birebir olarak uygularlar. Bu bileşenlerin kullanıcı ile etkileşimi ise işlevsel olarak gerçek donanımlar ile uyumlu arayüzler ile sağlanır. Haberleşme modeli kapsamında geliştirilen bileşenler: Taktik Veri Haberleşme Telsizi, Koordinasyon Çevrim Telsizi, HF telsiz, RF Görüntü Göndermeç / Almaç, Röle, Uydu, Sahra Telefonu, TAFICS.

5. HLA UYUMLULUK

Her bir senaryo RTI ara katmanı (*middleware*) üzerinde koşan farklı bir HLA federasyonu şeklindedir. Bu yapıyı desteklemek için, sensör, haberleşme, platform, insan gücü ve C2 bileşenleri federasyonlar olarak temsil edilmektedirler. İşletim sırasında bileşenler dinamik olarak nesne/öznitelik/etkileşim yayınlayabilirler (*publish*) ya da abone (*subscribe*) olabilirler.

Sistem gerçek zaman ve mantıksal zaman kiplerinde çalışabilir şekilde düzenlenmiştir. Ayrı bir koordinatör federesi, zaman eş zamanlaması işlerini yönetmektedir. Ayrıca ön-işlem, işletim, son-işlem ve yeniden işletim işlevlerini de koordinatör federesi üstlenmiştir.

Federeler katmanlar şeklinde yapılandırılmışlardır. Model hesaplamaları ve federe arayüzlerinin her biri arayüzler aracılığı ile birbirleri ile etkileşen ayrı modüller olarak tasarlanmıştır.

Federe halindeki bileşen modelleri farklı işlemcilerle kurulabilirler. Böylece, karmaşık bir senaryo işletildiğinde, daha yüksek başarımlar elde edilebilecektir. Ayrıca, federeleri farklı işlemcilerde çalışacak şekilde parçalayarak, eğitim özellikleri de iyileştirilebilir. Federe kullanıcı arayüzleri bu yeteneği desteklemektedir. Sonuç olarak her bir C2 federe kullanıcısı/operatörü, kendi bilgi tabanını kullanarak taktik resmi görüntüleyebilir.

6. KULLANIM KAVRAMLARI

Geliştirilen simülasyon aracının özellikle 1) Eğitim, 2) Prova, 3) Analiz ve 4) Optimizasyon olmak üzere dört temel alanda kullanılması planlanmaktadır.

Eğitimin amacı, kullanıcıların bazı temel sensör kullanım kavramlarına aşinalık kazanmalarınıdır. Deneme ise daha çok kullanıcıların taktik analiz ve taktik planlama yeteneklerinin geliştirilmesi amacı ile planlanmıştır.

Analiz modülündeki esas vurgu başarımların analizi üzerindedir. Amaç, kullanıcılardan doğabilecek farklılıkları ortaya koymak ve kullanıcıların kaydettikleri ilerlemeleri izleyebilmektir.

Optimizasyon planlama amaçlı gerçekleştirilmektedir. Planlama, belirli bir bölge üzerine sensörlerin konuşlandırılması ve belirli kısıtlamalar altında maksimum kapsamanın elde edilebilmesi amacıyla hareketli sensörlere ilişkin yol planlamasının yapılması işlerindendir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmanın temel karakteristiği, bilgi katmanını simülasyonunu gerçek dünyanın fiziksel varlıklarının modellerinin simüle edildiği katmanla bir araya getirebilmek için gösterilen çabadır. Bu çaba, C4ISR kavramlarının yapmak istedikleri ile de örtüşmektedir.

Geliştirilen simülasyon aracı 1) Melez simülasyon modelleri: ayrık ve sürekli birlikte, 2) Fiziksel modelleme yerine “etkisel” modelleme, 3) HLA-tabanlı dağıtık simülasyon, 4) Optimizasyon modülü, 5) Veri füzyonu uygulamaları ve 6) Hem taktik hem de eğitim amaçlı analiz yeteneği özelliklerine sahiptir.

KAYNAKÇA

- [1] Roberts J.D., Dobbs V.S., “Simulation to C4I Interoperability for Planning and Decision Support”, *Fall Simulation Interoperability Workshop, SISO, 2001, Orlando, FL*
- [2] Griffith J., Sielski K., Frye H., “C4ISR Handbook”, *the Integrated C4I Architecture Division, Architectures Directorate, Office of the Assistant Secretary of Defense, 1998, Washington D.C.*
- [3] “C4ISR Architecture Framework Version 2.0”, *C4ISR Architecture Working Group, December 1997*

İkinci Oturum:
Karar Destek Amaçlı Modelleme ve
Simülasyon

TOPÇU ROKETLERİNİN ATIŞ KONTROL SİSTEMLERİ İÇİN YENİ NESİL BALİSTİK ÇÖZÜCÜ

Umut DURAK ^(a), Koray DAYANÇ ^(a), Doç.Dr.Yük.Müh.Alb.Faruk ELALDI ^(b)

Prof.Dr.Ömer ANLAĞAN ^(c)

^(a) TÜBİTAK-SAGE, PK.16 Mamak ANKARA, {udurak, kdayanc}@sage.tubitak.gov.tr

^(b) K.K.K'lığı, K.H.O ANKARA, felaldi@kho.edu.tr

^(c) TÜBİTAK, TÜBİTAK Kavaklıdere ANKARA, omer.anlagan@tubitak.gov.tr

ÖZ

Temelde, tüm atış kontrol problemleri, “İstediğim hedefi vurmak için mühimmatı silahımdan nasıl atmalıyım?” sorusunun değişik türevleridir. Roketler için atış kontrolü de bu kapsamda atmosferin, silahın, mühimmatın ve hedefin koşullarına dayanarak fırlatıcıya yan ve yükselişin bağlanması olarak tanımlanabilir. Atış kontrol sistemleri, atış koşullarını tespit eden alt sistemler, bu koşullarda hedefi vuracak yan ve yükselişi hesaplayan balistik algoritmalar veya çözücüler ve hesaplanan atış esaslarını silaha bağlayacak sistemlerden oluşurlar. Makalede, NATO bünyesinde Türkiye'nin liderliğinde geliştirilmekte olan yeni nesil roket balistik çözücüsü tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atış Kontrolü, Balistik Çözücü, Mühimmat Uçuş Benzetimi, NABK, Roket Sistemleri.

NEXT GENERATION BALLISTIC SOLVER FOR FIRE CONTROL SYSTEMS OF ROCKETS

ABSTRACT

Basically, all the fire control problems are the different variations of the question, “How should I fire in order to hit my target?”. Then this question for rockets is to determine the quadrant elevation and azimuth for the launcher for the defined metro, weapon, rocket and target conditions. Fire control systems are fundamentally composed of systems to acquire environment and target data, ballistic solver that finds the quadrant elevation and azimuth and the systems to orient the launcher. This paper discusses the next generation ballistic solver developed in NATO for rocket systems.

Keywords: Ballistic Solver, Fire Control, NABK, Rocket Systems, Trajectory Simulation

1. GİRİŞ

1990'lı yılların ortasında A.B.D'nin Aberdeen Proving Ground (A.P.G)'de bulunan Atış Cetvelleri Merkezi (FTAB) ve Norveç'in Forsvarets Forsningsinstitut (FFI) sahra topçusunun teknik ateş idaresi için yeni nesil bir balistik çözücü çalışmalarına başlamıştır. Askeri uygulamalarda geniş kabul görmüş, ADA dili ile geliştirilecek, standart ve jenerik bir balistik çözücü fikri NATO Kara Grubu 4, Alt Grup 2 üyeleri tarafından ilgi ile karşılanmıştır. Çalışmalar NATO Artillery Ballistic Kernel (NABK) adı verilen yazılımın algoritmasının geliştirilmeye başlaması ile ve kodlanması hızlanmıştır[1].

NABK'in geliştirilmesi ve daha sonra devam eden genişleme ve bakım süreçlerinde paylaşılabirlik ve yeniden kullanılabilirlik kavramları temel alınmıştır. Ülkeler, milli ihtiyaçları doğrultusunda yazılıma yeni işlevsellikler eklemişlerdir. Bu süreçte sahra topçusu hedefi ile başlayan "Artillery Ballistic Kernel" genişletilerek tüm silahların ihtiyacına yönelik olacak şekilde "Armaments Ballistic Kernel" adını alarak çalışmalar sürdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında NATO bünyesinde bütünlüğe yönelik büyük bir adım atılmış, NATO mühimmat değiştirilebilirliğini destekleyen, NATO ülkelerince kullanılan ortak bir balistik çözücü ortaya çıkarılmıştır.

Türkiye çalışmalara ilk olarak 1997 yılında katılmıştır. Yazılımın ilk sürümünün hazırlanmasında geliştirilme faaliyetlerine katkı sağlanmış ve Kara Kuvvetleri envanterinde bulunan silah sistemlerinin bu yazılım ile kullanılabilmesini sağlayacak çalışmalar yürütülmüştür [2][3].

NABK'in hizmet verdiği silah sistemlerinin genişletilmesi sürecinde roket sistemlerine ait atış kontrol ihtiyacının da NABK tarafından çözülebilmesi için bir çalışma başlatılmıştır. Roketler için NABK olarak isimlendirilen bu çalışma, roket uçuş simülasyonu için modelleme çalışmaları ile başlamıştır. Oluşturulan model STANAG 4355 - The Modified Point Mass And Five Degrees Of Freedom Trajectory Models ile belgelenmiştir[4]. 2003 yılında başlayan geliştirme çalışmaları tamamlanma aşamasına gelmiştir. Roketler için NABK Türkiye'nin liderliğinde, İngiltere ve A.B.D'nin katkıları ile yürütülmektedir. Türkiye'de bu çalışma K.K.K'lığı koordine ve kontrolünde, TÜBİTAK-SAGE ve ROKETSAN A.Ş. tarafından yürütülmektedir. TÜBİTAK-SAGE NABK yazılımında roketler için gerekli güncellemeleri gerçekleştirirken; ROKETSAN A.Ş. tarafından yazılımın test araçları geliştirilmektedir.

2. NABK

NABK yazılımı dört ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar sırası ile Atış Kontrol Girdileri Katmanı, Hareket Denklemleri Katmanı, Hesaplama Katmanı ve Atış Görevi Katmanıdır.

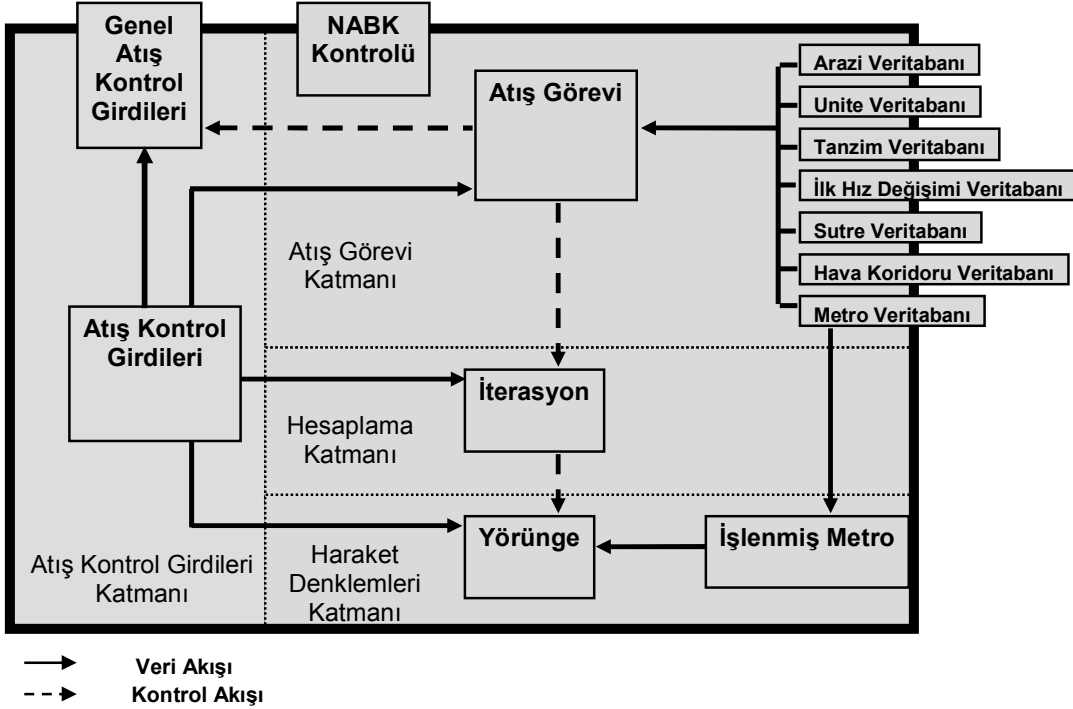
Atış Kontrol Girdileri Katmanı atış görevinde balistik çözüm için gerekli tüm aerodinamik ve balistik verilere ulaşmayı sağlar. Bu katman girdileri üç temel biçimde işler. İlk biçim tüm verilerin program çalıştığında metin tabanlı dosyalardan okunmasıdır. İkinci yaklaşım tüm verilerin geliştirilen araçlar yardımı ile derleme öncesi kodun içine gömülmesidir. Bu sayede derlenmiş kod, desteklediği tüm sistemlerin verilerine sahip olur. Ayrıca önemli bir problem olan veri güvenliği

problemi de bu şekilde aşılabılır. Kullanılan son yöntem ise verilerin bir kısmının koda gömülüp bir kısmının metin tabanlı dosyalardan okunduğu karma yöntemdir.

Hareket Denklemleri Katmanı, tanımlı bir mühimmatın, tanımlı bir silahtan yapılan tanımlı bir atışı için yörünge hesaplar. Bu katman Roketler için NABK çalışmasının tamamlanması ile, üç serbestlik dereceli nokta kütle, geliştirilmiş nokta kütle, güdümlü nokta kütle ve beş serbestlik dereceli roket yörüngeleri hesaplayabilecektir.

Hesaplama Katmanı atış kontrol probleminin çözülmesinden sorumludur. Bu katman Hareket Denklemleri Katmanını kullanarak bir çok yörüngeyi hesaplatmak suretiyle hedefi vuracak atış esaslarını hesaplamak için iterasyonlar yapar. Atış Görevi Katmanı ise Hesaplama Katmanı kullanarak ateş idaresini yapmaktan sorumludur. Bu katman kullanılarak Metro, Emniyet Hudutları, İlk Hız Değişimleri, Hava Koridoru ve Sutare gibi unsurlar atış kontrolüne dahil edilir.

NABK'in bu katmanlı yapısı ve bu katmanlar arasındaki ilişkiler Şekil 1'de verilmiştir.



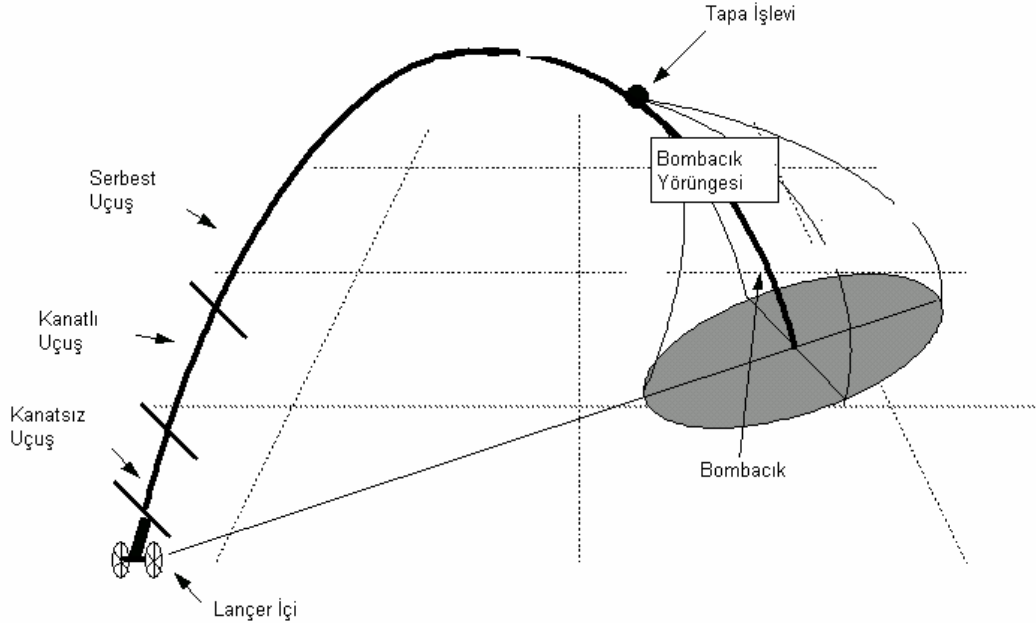
Şekil 1. NABK Yazılımı İşlevsel Yapısı

Bu katmanlı yapı, kullanım amacına bağlı olarak farklı seviyelerde yeniden kullanıma olanak sağlar. Bu yapı, NABK'in çıkış noktası olan, NATO ülkelerinin farklı gereksinimlerinin karşılanması için kullanabilecekleri bir çekirdek algoritma geliştirme vizyonunun ürünüdür. Eski örneklerinden oldukça farklı olarak, yazılım mühendisliği alanındaki gelişmelerin yansıtıldığı tasarımı sayesinde NABK, farklı gereksinimlere farklı seviyelerde yeniden kullanım ile çözüm sunan bir balistik çözüm platformu haline gelmiştir. Roketler için NABK çalışması sonucunda, NATO ülkelerinin tamamı roketler için de yeni nesil bir çözücüye sahip olacaklardır. Bu sayede roket sistemlerinin

geliştirilmesinde ve kullanımda laboratuvar düzeyindeki uçuş benzetimlerinden, adedi atış cetveli hazırlayan yazılımlara, lançer atış kontrol sisteminden, taktik ateş idare sistemlerine kadar hepsi aynı balistik çözümü kullanır hale gelecektir. Bir çok platformda aynı yazılımı kullanır hale gelmek, bakım ve işletme maliyetlerini en aza indirecektir. Bunun yanında farklı gruplar tarafından, farklı ihtiyaçlara yönelik gerçekleştirilen balistik hesaplamaların birbiri ile tutarlı olması sağlanacaktır.

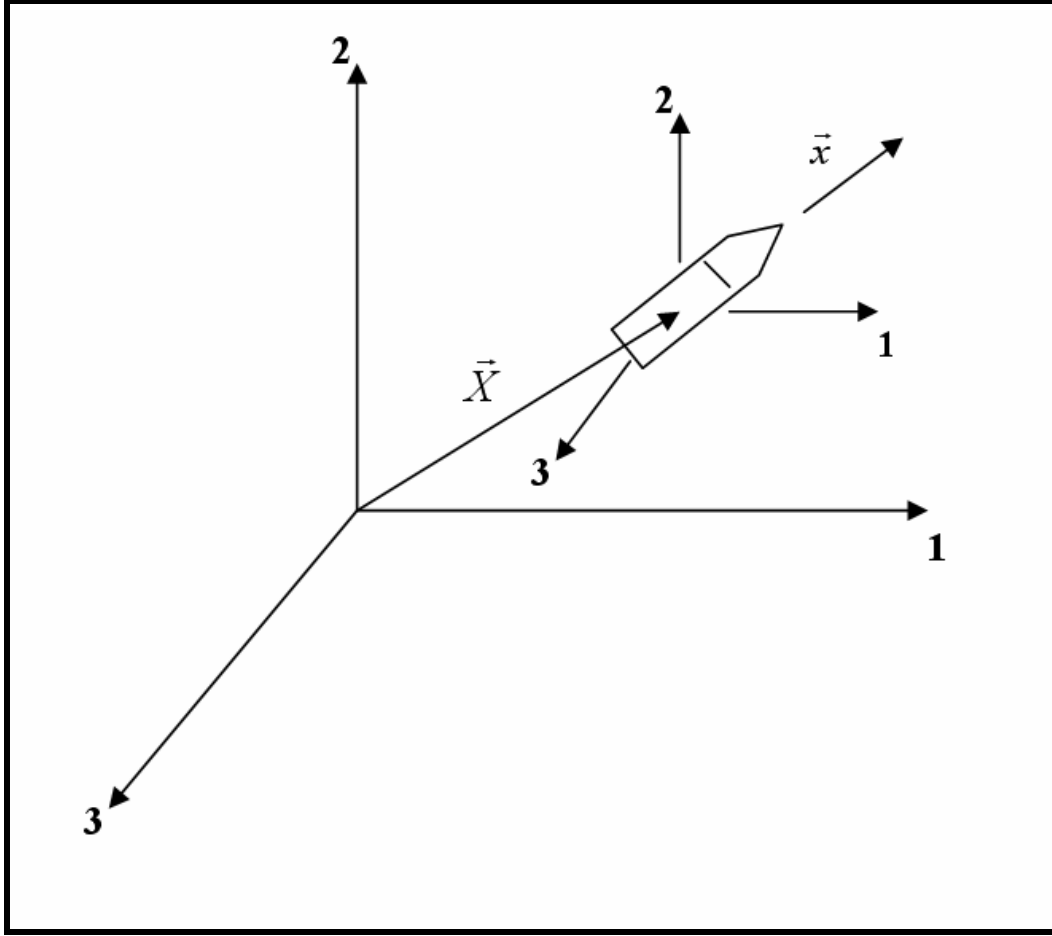
3. ROKETLER İÇİN NABK MODELİ

Roket yörüngesi modellenirken mühimmatların hareket denklemleri dört ayrı fazda tanımlanmıştır. Bu fazlar Lançer İçi, Kanatsız Uçuş, Kanatlı Uçuş ve Serbest Uçuştur. Bu fazlar, roket uçuşunun farklı modelleme yaklaşımları gerektiren evrelerini en iyi şekilde tanımlayabilmek için kullanılmıştır. NABK'in fazlı yapıya sahip roket yörüngesi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. NABK Roket Yörüngesi

Lançer İçi fazı roket motorunun ateşlenmesi ile başlayıp, roketin lançerden çıkması ile sonlanır. Bu fazda sürükleme, itki ve sürtünme kuvvetleri modellenmiştir. Bu fazı izleyen Kanatsız Uçuş fazı, roketin lançerden çıkıp kanatlarını açıncaya kadar olan hareketini tanımlar. Kanatlı Uçuş ve Kanatsız Uçuş fazları için tanımlanan hareket denklemleri aynıdır. Fark, kanatların açılması ile değişen dış geometridir. Dış geometrideki değişim hareket denklemlerinin çözülmesinde kullanılan veri kümesinin de değişmesini gerektirir. Bu iki fazdaki uçuşu tanımlayan hareket denklemleri beş serbestlik dereceli olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemlerde Şekil 3'te sunulan eksen takımlarını kullanarak, Çizelge 1'de listelenen kuvvetler ve momentler tanımlanmaktadır.



Şekil 3. Eksen Takımları

Çizelge 1. 5 Serbestlik Dereceli NABK Modelinde Kullanılan Kuvvet ve Momentler

Kuvvetler	Momentler
Sürüklenme Kuvveti	Takla Momenti
Kaldırma Kuvveti	Yunuslama Sönümlleme Momenti
Magnus	Magnus Momenti
Yunuslama Sönümlleme Kuvveti	Dönü Sönümlleme Momenti
Roket Motoru İtkisi	Kanat Açısı Momenti
Yerçekim	Eksenel Jet Sönümlleme Momenti
Dünya Dönüş Etkisi	Yanal Jet Sönümlleme Momenti

Tapa işlevine kadar tanımlanan Roket uçuşunda son faz Serbest Uçuştur. Bu faz, roketin, motorun yanması tamamlandıktan sonra yaptığı itkisiz uçuşunu temsil eder. Kanatlı Uçuş fazı, roket motorunun yanması tamamlandıktan sonra, yanma ile ilgili

fiziksel etkilerin tamamen ortadan kalkmasına imkan verecek şekilde bir süre daha sürer. Daha sonraki yörünge Serbest Uçuş fazında daha basit bir model ile tanımlanır. Bu model, sadece sürüklenme, yerçekimi ve dünya dönüşü etkilerinin göz önünde alındığı, nokta kütle modelidir.

Tanımlı modeller ile ilgili ayrıntılar ve ilgili denklemler STANAG 4355 “The Modified Point Mass And Five Degrees Of Freedom Trajectory Models,”de verilmiştir.

4. ROKETLER İÇİN NABK GELİŞTİRİLMESİ

Roketler için NABK’in başlamasından itibaren Türkiye bu çalışmada aktif ve yoğun görev almıştır. Matematiksel modelin geliştirilmesi sürecinde gözden geçirme faaliyetlerine katılan Türkiye, yazılım geliştirme aşamasının liderliğine talip olmuştur. Türkiye Çalışma Gurubu içerisinde aktif olarak çalışan TÜBİTAK-SAGE, daha önceki FMCAD – Bilgisayar Destekli Uçuş Mekanikliği Tasarımı [5] projesinde kazandığı deneyimler ile ülkeye bu geliştirme faaliyetlerini yürütme şansını sağlamıştır.

K.K.K’lığı koordinesinde ve bilimsel katkıları ile başlayan ve sürdürülen bu çalışmada TÜBİTAK-SAGE NABK yazılımında yapılacak geliştirme faaliyetlerini, ROKETSAN A.Ş. roketler için geliştirilecek yazılımın test edilmesi için gerekli araçların geliştirilmesini üstlenmişlerdir.

Yapılan çalışmalar sonucunda 2004 yılının şubat ayında yayımlanan 6. sürümünde 200bin satır olan NABK yazılımına 10bin satır yeni kod eklenmiş, STANAG. 4355 ile tanımlanan modelin gerçekleşmesi sağlanmıştır. İki sene süren geliştirme faaliyetleri boyunca, Roketler için NABK yazılım gerekleri belirlenmiş, bu gereksinimler uyarınca arayüz ve detaylı tasarımlar yapılmıştır. Daha sonra geliştirilen kod uluslararası ana çizgiye entegre edilmiştir.

Geliştirilen yazılımın doğrulaması için A.B.D ekibinin 1960’lı yıllardan bu yana kullandıkları H-TRAJ kodunun kullanılması yöntemi seçilmiştir. ROKETSAN A.Ş. tarafından geliştirilen araç yardımı ile test senaryoları yaratılabilmekte, bu senaryolar H-TRAJ programı ile çalıştırılabilmekte ve NABK yazılımının test ortamı olan Autotest yazılımı için girdiler hazırlanabilmektedir. Bu sayede geliştirilen roket yazılımı, topçu mermileri, havanlar gibi diğer mermiler ile birlikte test edilebilmektedir. Autotest programı farklı atmosfer, silah-hedef rakımı, yakıt sıcaklığı, silah enlem boylamı, yan ve yükselişi için H-TRAJ ile bulunan sonuçlara karşı, NABK’i aynı koşullarda çalıştırarak test eder. İki programdan beklenen uyum menzilde 1 metre, uçuş zamanında 0.1 saniye mertebesindedir.

5. SONUÇ

Roketler için NABK projesi ile durağan kararlı güdümsüz roketler için kullanılabilecek yeni nesil bir balistik çözücü geliştirilmiştir. Bu geliştirme çalışması ülkemiz açısından iki önemli sonuç doğurmuştur. İlk olarak Roketler için NABK’in tamamlanması ile, BAİKS 2000 ve FIRTINA Ateş Kontrol Sistemlerinde NABK kullanımı ile başlayan muharebe sahasında kullanılan balistik çözücülerdeki standartlaşma çalışması roket sistemlerini kapsayacak şekilde genişletilmektedir[6]. İkinci olarak üzerinde durulacak sonuç, ülke olarak NABK gibi NATO kapsamında geniş kullanımı olan bir araç üzerinde büyük çaplı değişiklikler yapma yetkinliğinin kazanılmış olunmasıdır. Bu

sayede milli ihtiyaçların NABK yazılımına daha iyi yansıtılması mümkün olabilecektir. Bu gün roketler ile başlayan NABK geliştirme faaliyetleri, yarın söz konusu olabilecek tank, gemi gibi diğer platformlar için, NABK’i milli ihtiyaçlara göre şekillendirerek ve özgün sistemler yaratmak açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

TEŞEKÜRLER

Bu makalenin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı TÜBİTAK-SAGE ve ROKETSAN A.Ş.’ye teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- [1] Sowa J.A., Lieske, R.F., Matts J.A., Miller J.L.,(1997), *Ballistic Kernels Sharable Fire Control and Ballistic Simulation Software, Firing Tables and Aeroballistics Branch Information Report, FTAB-IR-32.*
- [2] Dündar B.,(2000), *Nato Artillery Ballistic Kernel, Ateş Desteği Otomasyonu – 2000 Sempozyumu, Polatlı, Ankara*
- [3] Özemre M.,(1998), *Nato Artillery Ballistic Kernel Yazılımının Topçu Otomasyon Çalışmalarının Bünyesinde Roketler için kullanılması, Topçu ve Hava Savunma Sempozyumu, Polatlı, Ankara*
- [4] STANAG. 4355, *The Modified Point Mass And Five Degrees Of Freedom Trajectory Models, Draft Edition 5.0A, 2003.*
- [5] Mahmutyazıcıoğlu M., Tiftikçi H., Korkmaz Ş., (1999), *FMCAD-Flight Mechanics Computer Aided Design Software, 37th Aerospace Sciences Meeting & Exhibit, Reno, NV.*
- [6] Çamoğlu Z., (2003), *Batarya Ateş İdare Komputer Sistemi, Aselsan, Yıl: 16, Sayı 67.*

BALİSTİK FÜZE YÖRÜNGESİ KESTİRİM USULLERİ VE HESAPLAYICISI

Ali AKGÜL ^(a), Sartuk KARASOY ^(a)

^(a)ROKETSAN Roket Sanayii ve Ticaret A.Ş., P.K.:30, 06780, Elmadağ-ANKARA

{aakgöl, skarasoy}@roketsan.com.tr

ÖZ

Erken uyarı ve füze savunma sistemlerinde; füzelerin takip edilmesi ile tehdit altındaki bölgenin uyarılması ve düşman füzenin anti balistik füzelerle imha edilmesi amacıyla ihtiyaç duyulabilecek bilgiler için yörünge kestiriminden faydalanılmaktadır. Ayrıca, çeşitli ülkeler tarafından deneme amaçlı fırlatılan füzelerin tespiti ile potansiyel füze kabiliyetleri ve füze rampalarının yerleri belirlenebilir [1-3].

Bu çalışma kapsamında geliştirilen teknikler sayesinde, balistik füze yörüngesinin bir parçasının bilinmesi durumunda, yörüngesinin tamamını tahmin edebilen bir program (Balistik Füze Yörüngesi Kestirim Usulleri ve Hesaplayıcısı - *BAYKUSH*) geliştirilmiştir. *BAYKUSH* programı gerçek zamanlı ve uçuş sonrası kestirim yapabilme özelliğine sahiptir. Geliştirilen program, erken uyarı sisteminin bir parçası olabilir. Tehdit balistik füze havada iken muhtemel hedef bölgesi tahmin edilerek gerekli tedbirlerin oluşturulması için zaman kazanılmış olur. Bu bildiride, *BAYKUSH* programında uygulanan teknikler ve programın testlerine yönelik yapılan çalışmalar anlatılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Balistik Füze Yörüngesi, İhbar/İkaz Sistemleri, Yörünge Kestirimi, Uçuş Simülasyonu, Balistik Katsayısı.

BALLISTIC MISSILE TRAJECTORY PREDICTION TOOL

ABSTRACT

It is important to detect ballistic missile launches in time and accurately for effective counter measures. Trajectory estimation plays an important role in early warning system and anti-tactical ballistic missile systems for tracking and guidance. Early detection could allow for warnings to be dispatched to the predicted impact areas and would also permit interdiction of the missile launchers. The detection of launches is also important in alerting defensive systems, such as anti-tactical ballistic missile batteries, against these attacks, as early as possible [1], [2], [3]. A trajectory prediction program was developed to predict the full trajectory (partially tracked by a satellite or a radar) of a tactical ballistic missile. Dynamic model, filtering of measurements, geocentric earth model and atmosphere model were applied and the details of the models and test results are presented.

Keywords: Ballistic Missile Trajectory, Early Warning System, Trajectory Prediction, Flight Simulation, Ballistic Coefficient.

1. GİRİŞ

Yörünge kestirimi, balistik bir füzenin uçuşu sonrasında yapılabildiği gibi, gerçek zamanlı olarak da yapılabilmektedir. Balistik füzenin yörüngesinin belirli bir parçasının; uydu, ihbar-ikaz uçakları ve/veya yer radarları ile takip edilmesi esnasında yörüngesinin tamamının kestirilmesi mümkündür. Bu yörüngeden de faydalanılarak tehdit oluşturan füzenin fırlatma bölgesi ve muhtemel hedef bölgesi belirlenebilir. Genel olarak; takip edilen füzenin izlediği yörüngenin bilinen değişik zamanlarına ait durum vektöründen fırlatma ve hedef bölgesi kestirilmektedir. Durum vektörünün entegrasyonu ile yörüngenin bilinmeyen kısmının tahmini mümkündür. Bu entegrasyon, yörünge yeryüzü ile kesişene kadar devam etmekte olup kesişme noktaları fırlatma ve hedef noktalarıdır.

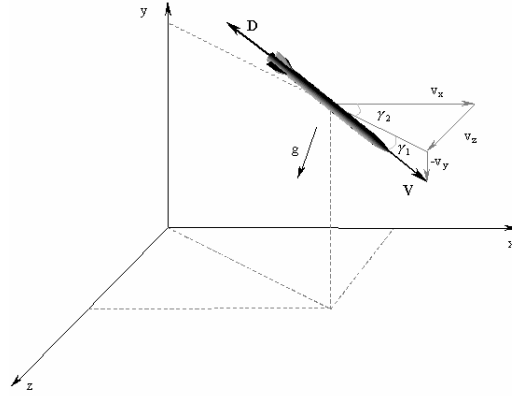
İlerleyen kısımlarda dinamik füze modellemesi, kestirim algoritması, balistik katsayısı yenileme modeli ve *BAYKUSH* programın testlerine yönelik yapılan çalışmalar yer almaktadır.

2. DİNAMİK FÜZE MODELİ

Bu çalışmada balistik füze, 3 serbestlik dereceli nokta kütle olarak modellenmiştir. *BAYKUSH* programı, yörüngenin bilinen kısmından elde ettiği verileri kullanarak, içerisinde barındırdığı 3 serbestlik dereceli uçuş simülasyonu ile tüm yörüngeyi tahmin edebilmektedir. Bir füzenin uçuş simülasyonunun yapılabilmesi için o füzenin; itki-zaman, kütle-zaman eğrilerinin ve uçuş boyunca üzerine etkiyen aerodinamik kuvvet ve moment katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Balistik füzeler, ideal balistik yörüngeyi takip ettiklerinden dolayı üzerine etkiyen kuvvetlerin, serbest uçuş sırasında sürüklenme kuvveti ("*Drag Force*") ve yerçekimi kuvvetinden oluştuğu varsayılabilir.

Yerçekimi ivmesi, füzenin dünya üzerindeki konumu ile bağıntılıdır. Sürüklenme kuvveti füzenin dış geometrisi ve uçuş koşulları ile değişmekte olup, ancak aerodinamik analiz araçları ile hesaplanabilmektedir. Füzenin ağırlığı (m), füze kesit alanı (S) ve sürüklenme kuvveti katsayısının (C_D) simülasyon yapılabilmesi için bilinmesi gereklidir. Ancak bu parametrelerin takip edilen füzenin yörünge bilgilerinden faydalanılarak ayrı ayrı hesaplanabilmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, füze dinamik modellemesi ile füze yörünge parametrelerinden, bu 3 katsayının fonksiyonu olan bir katsayı hesaplanabilir. Bu katsayı literatürde Balistik Katsayısı ("*Ballistic Coefficient*" $\beta = S \times C_{D0} / m$) olarak tanımlanmaktadır [1-3]. Balistik füzeler, balistik yörüngeleri boyunca 0 derece hücum açısı civarında uçtuklarından dolayı, sürüklenme kuvveti katsayısı $C_D|_{\alpha=0} = C_{D0}$ şeklinde gösterilir.

Hareket denklemlerinin kullanıldığı eksen takımı ve dinamik füze modeli Şekil-1'de gösterilmektedir [1-2]. D : sürüklenme kuvvetini, g : yerçekimini, V : füze hızını, v_x , v_y , v_z sırası ile x , y ve z yönündeki füze hızı bileşenlerini, γ_1 : dikey düzlemdeki uçuş yolu açısını ve γ_2 : yatay düzlemdeki uçuş yolu açısını göstermektedir.



Şekil 1. Dinamik Füze Modeli

2.1. Hareket Denklemleri

Yörünge hareket denklemleri,

$$-D \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 - mg_x = ma_x \quad (1)$$

$$-D \sin \gamma_1 - mg_y = ma_y \quad (2)$$

$$-D \cos \gamma_1 \sin \gamma_2 - mg_z = ma_z \quad (3)$$

a_x , a_y ve a_z : füze ivmesinin x , y ve z bileşenlerini, g_x , g_y ve g_z : yerçekimi ivmesinin x , y ve z bileşenlerini ve m : füze ağırlığını göstermektedir. Dikey ve yatay düzlemdeki uçuş yolu açıları, (4) ve (5) numaralı denklemlerle yörünge parametrelerinden hesaplanır.

$$\gamma_1 = \tan^{-1} \left(-\frac{v_y}{\sqrt{v_x^2 + v_z^2}} \right) \quad (4)$$

$$\gamma_2 = \tan^{-1} \left(\frac{v_z}{v_x} \right) \quad (5)$$

Sürüklenme kuvvetinin açık gösterimi ($D = 1/2 \rho V^2 SC_{D0}$) (1) numaralı denklemde yerine konulduğunda (6) numaralı denklem elde edilir.

$$-\frac{1}{2} \rho V^2 \frac{SC_{D0}}{m} \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 - g_x = a_x \quad (6)$$

Sürüklenme kuvveti; havanın yoğunluğu (ρ), füzenin hızı, füze kesit alanı (S) ve sürüklenme kuvveti katsayısı (C_{D0}) ile değişmektedir. (6) numaralı denklemde S , C_{D0} ve m dışındaki tüm parametreler takip edilen balistik füzenin yörüngesinin bilinen parçasından yararlanılarak elde edilebilir. Balistik yörünge kestirimi için gerekli olan füzeye ait parametrelerden S , C_{D0} ve m yerine bu parametrelerle tanımlanan balistik katsayısı (7) kullanılmaktadır.

$$\beta = \frac{SC_{D0}}{m} \quad (7)$$

Balistik katsayısı yörünge parametrelerinin fonksiyonu olarak (6) numaralı denklemden elde edilir (8).

$$\beta = \frac{a_x + g_x}{-\frac{1}{2}\rho V^2 \cos \gamma_1 \cos \gamma_2} \quad (8)$$

2.1. Yörünge Kestirim Algoritması

Herhangi bir zaman periyodunda, yörünge hareket parametrelerinden (zaman, konum ve hız) oluşan durum vektörü, bir önceki periyotta bilinen durum vektörünün entegrasyonu ile hesaplanmaktadır.

Durum vektörü,

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \quad (9)$$

durum denklemleri,

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{F}(t, \mathbf{X}) \quad (10)$$

veya

$$\mathbf{F}(t, \mathbf{X}) = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ -(\rho/2)(x_4^2 + x_5^2 + x_6^2)\beta \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 - g_x \\ -(\rho/2)(x_4^2 + x_5^2 + x_6^2)\beta \sin \gamma_1 - g_y \\ -(\rho/2)(x_4^2 + x_5^2 + x_6^2)\beta \cos \gamma_1 \sin \gamma_2 - g_z \end{bmatrix} \quad (11)$$

Takip edilen Balistik Füzenin yörüngesinin tamamı, yörünge yeryüzü ile kesişene kadar, durum vektörünün ileriye ve geriye doğru zamanda entegrasyonu ile elde edilebilir (12).

$$\mathbf{X}_t = \mathbf{X}_{t_0} \mp \int_{t_0}^t \mathbf{F}(t, \mathbf{X}) dt \quad (12)$$

BAYKUSH programında, balistik füzenin yörüngesinin tamamının tahmin edilebilmesi için gerekli olan parametreler, füzenin yörüngesinin bilinen parçasından hesaplanır. Füzenin konum bilgisinden:

- $\gamma_1 - \gamma_2$ açıları,
- “WGS-84 Dünya Modeli” [4] kullanılarak, füzenin irtifası ve yerçekimi ivmesinin bileşenleri,
- Füze irtifasından, “U.S. Standart Atmosfer Modeli (1976)” kullanılarak havanın yoğunluğu,

- Füze hızı ölçülemiyorsa, konum bilgisinden “*Least Squares*” [7] süzgeçleme yöntemi ile füze hızı
- Füze ivmesi ölçülemiyorsa, konum bilgisinden veya füze hızından “*Least Squares*” süzgeçleme yöntemi ile füze ivmesi hesaplanmaktadır.

2.3. Sayısal Entegrasyon

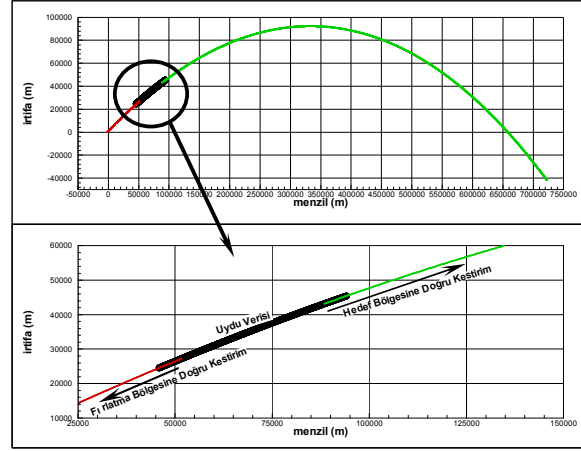
Herhangi bir zaman periyodundaki yörünge parametreleri bir önceki zaman periyodunda bilinen durum vektörünün entegrasyonu ile hesaplanır. $k-1$ zaman periyodundaki füze ivme bileşenleri, (13) numaralı denklem yardımıyla, füze konum ve hız parametrelerinden elde edilir. Bir sonraki k zaman periyodundaki konum ve hız bileşenleri ise (14) numaralı denklemle hesaplanır. Entegrasyon öz-yinelemeli olarak zamanda geriye ve ileriye doğru füze irtifası sıfır olana kadar devam ettirilir. Yeryüzü ile kesişim noktaları sırası ile füzenin fırlatma ve hedef noktalarıdır.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_{k-1} = \begin{bmatrix} -(\rho/2)(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)\beta \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 - g_x \\ -(\rho/2)(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)\beta \sin \gamma_1 - g_y \\ -(\rho/2)(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)\beta \cos \gamma_1 \sin \gamma_2 - g_z \end{bmatrix}_{k-1} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & dt \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ v_x \\ v_y \\ v_z \\ a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}_{k-1} \quad (14)$$

dt zaman adımını ifade etmektedir.

Takip edilen Balistik Füzenin yörüngesinin bir parçası ve bu yörünge parçası kullanılarak elde edilen füze yörüngesinin tamamı, fırlatma ve hedef noktaları Şekil-2’de gösterilmiştir.



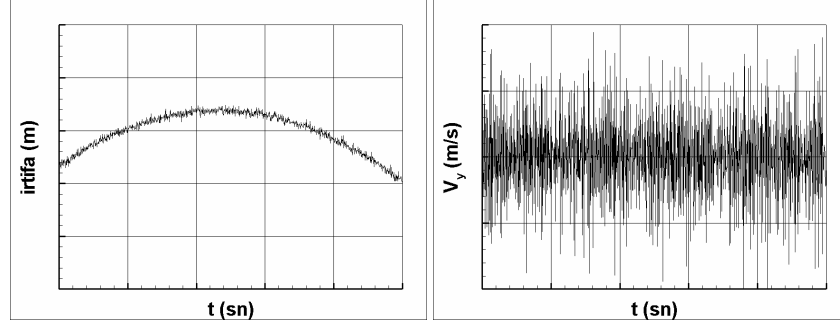
Şekil 2. Yörünge Kestirimi

2.4 Süzgeçleme Gereksinimi

Uydu, ihbar-ikaz uçakları ve/veya yer radarlarından elde edilen balistik füzeyle ait ölçüm verileri çeşitli etkenlerden dolayı gürültü içerebilmektedir. Bu verilerin uygun algoritmalarla süzgeçlenmesi gerekmektedir. *BAYKUSH* programında, bu işlem için “*Least-Squares*” (LSE) tekniği uygulanmıştır. Uydu veya radarlarla Balistik füzenin takibi sırasında, konum ve/veya hız ve/veya ivme bileşenleri ölçülebilir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda (haberleşme linklerinde oluşabilecek aksaklıklar veya ölçüm sisteminin bu kabiliyetinin olmaması), hız ve/veya ivme bileşenleri balistik füzenin bilinen yörünge konum bilgisinden hesaplanır (yörünge kestirimi için konum bilgisinin varlığı şarttır). Elde edilen füze konum parametreleri kullanılarak LSE ile zamana bağlı bir fonksiyon tanımlanır. Tanımlanan bu fonksiyonun zamana göre 1nci ve 2nci türevleri sırasıyla hız ve ivme bileşenleridir (15). Hız ve ivme bileşenlerinin de ölçülmesinin mümkün olması durumunda, tahmin edilen yörünge hassasiyeti artacaktır.

$$x_t, t = t_0, \dots, t_f \Rightarrow \text{Süzgeçleme} \Rightarrow x(t) \Rightarrow \begin{matrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \\ \ddot{x}(t) \end{matrix} \Big|_{t=t_0, \dots, t_f} \quad (15)$$

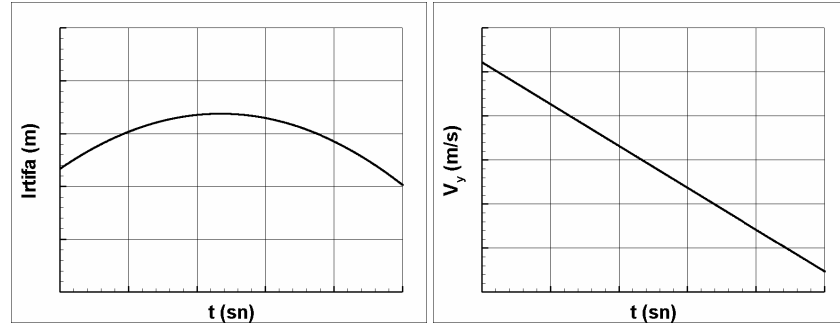
Şekil-3’ de, ölçüm hatalarını ve çeşitli etkenlerden kaynaklanan gürültüleri içeren füze irtifası ve bundan yararlanılarak sonlu farklar yöntemi kullanılarak elde edilen füze hızı gösterilmektedir. Füze hızının ölçülemediği böyle bir durumda süzgeçlenmemiş füze konumundan hesaplanan füze hızı değerleri kullanılarak yörünge kestirimin yapılması mümkün değildir.



Şekil 3. Gürültü İçeren Füze İrtifası ve Sonlu Farklar Yöntemi İle Hesaplanan Hız

Yörünge tahminin doğruluğu, ölçüm parametrelerindeki gürültünün yok edilmesi ile ilişkilidir. Şekil-4’ de, “*Least Squares*” süzgeçleme tekniği ile süzgeçlenmiş füze irtifasının zamana göre değişimi ve füze hızının ölçülemediği böyle bir durumda sonlu farklar yöntemi ile elde edilen füze hızı gösterilmektedir.

Gürültülü füze konumundan elde edilen füze hızı yörünge kestiriminde kullanılamazken, süzgeçlenmiş füze konumundan elde edilen füze hızı yörünge tahmini için kullanılabilir.



Şekil 4. Süzgeçlenmiş Füze İrtifası ve Sonlu Farklar Yöntemi İle Hesaplanan Füze Hızı

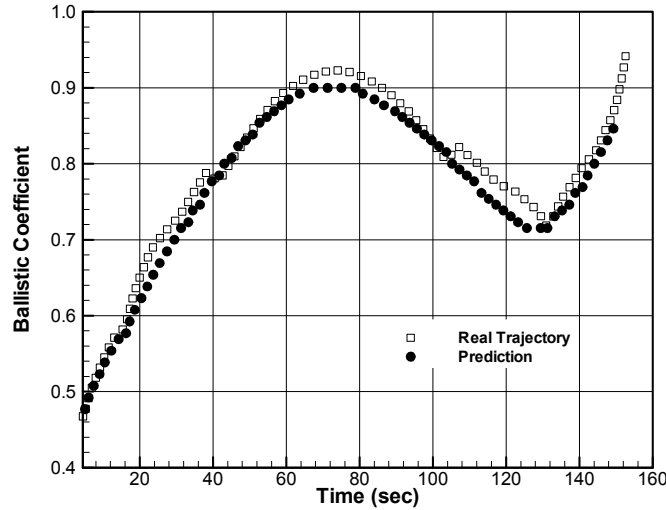
2.4 Balistik Katsayısı Yenileme Modeli

Yakıtsız uçuş esnasında balistik yörüngeyi izleyen bir füze üzerinde, sürüklenme kuvveti ve yerçekimi kuvveti en önemli etkileri oluşturmaktadır. Dolayısı ile sürüklenme kuvvetinin doğru tahmini ve uçuş boyunca değişiminin belirlenmesi, kestirimin hassasiyetini etkilemektedir. Balistik yörünge kestiriminde, sürüklenme kuvveti katsayısı yerine balistik katsayısı kullanılmaktadır. Balistik katsayısı; bir Balistik Füzenin aerodinamik sürüklenme kuvveti katsayısı, füzenin ağırlığı ve kesit alanı ile ilişkili bir katsayıdır. Menzilde çok etkili olduğundan dolayı bu katsayının doğru hesaplanması önemlidir. Serbest uçuş sırasında füzenin kütlesi ve geometrisi değişmeyeceğinden dolayı bu katsayıyı değiştiren en önemli parametre, sürüklenme kuvveti katsayısıdır. Bu katsayı füze aerodinamiği ile ilişkili olup füzenin dış geometrisi ve uçuş koşulu ile değişen bir karakter göstermektedir. Füzenin bilinen yörünge parçasına ait konum, hız ve ivme parametreleri kullanılarak, o anki uçuş koşulları için balistik katsayısının hesaplanması dinamik füze modeli kısmında anlatılmıştı. Uçuş koşulları ile birlikte

balistik katsayısı değişmektedir. Bundan dolayı, kestirim esnasında, tahmin edilen yeni yörünge noktaları için bu katsayının kendini yenilemesi gerekmektedir.

Yörünge kestirimine yönelik olarak literatürde rastlanan çalışmalarda, bilinen yörünge parçasından elde edilen balistik katsayısının, yörünge tamamının kestirilmesi için kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, uçuş boyunca değişen balistik katsayısı yerine (Şekil-5) değişimin gözardı edilerek sabit bir değer alınması yörünge kestiriminin hassasiyetini azaltacaktır.

Balistik katsayısı sürüklenme kuvveti katsayısının değişimi ile orantılıdır. *BAYKUSH* programında, uçuş koşullarına göre balistik katsayısının yenilenmesine yönelik bir model geliştirilmiştir. Bu model, sürüklenme kuvveti katsayısının, Mach sayısı ve irtifa ile değişimini içerir bir veri bankasını kullanmaktadır. Bu amaçla, tipik bir balistik füzenin sadece gövdesine ait (herhangi bir çıkıntı ve kanat takımı olmaksızın) sürüklenme kuvveti katsayısı geniş bir uçuş rejimi için *Missile DATCOM* [5] programı yardımıyla hesaplanmıştır.



Şekil 5. Balistik Katsayısının Uçuş Boyunca Değişimi

Yörünge tahmininde, balistik katsayısı yenilemesi (16) numaralı denklem yardımıyla yapılmaktadır. $(\beta/C_D)^S$: takip edilen füzenin bilinen yörünge parçasından elde edilen balistik katsayısına karşılık hesaplanan oran parametresini, C_D^* : yenilemenin yapılacağı uçuş koşulu için veri bankasından elde edilen sürüklenme kuvveti katsayısını ve β^* : o zaman periyodu için hesaplanacak yörüngede kullanılmak üzere yenilenmiş balistik katsayısını ifade etmektedir.

$$\beta^* = \left(\frac{\beta}{C_D} \right)^S \times C_D^* \quad (16)$$

Tipik bir balistik füzenin gerçek yörüngesinden elde edilen balistik katsayısının, yörüngesinin bir parçası kullanılarak tamamının kestirilmesi sırasında hesaplanan

balistik katsayısının uçuş boyuncaki değişimin karşılaştırılması Şekil-5’ de gösterilmiştir. Bu grafikte gösterilen balistik katsayısı değerleri, balistik katsayısının maksimum değeri ile boyutsuzlaştırılmıştır.

3. TESTLER

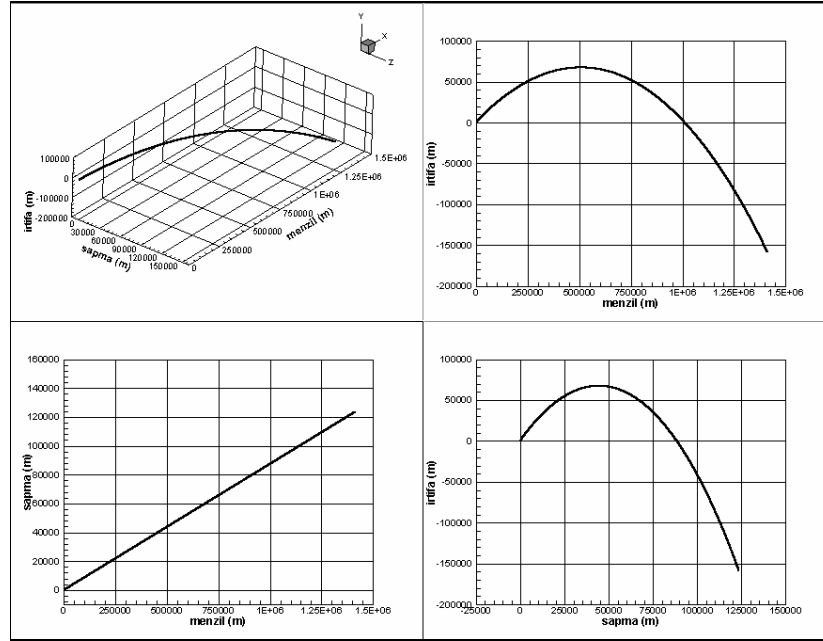
3.1. Balistik Test Füzeleri

Taktik Balistik füzelere ait yörüngelere, gizlilik unsurundan dolayı literatürde rastlanması mümkün değildir. Bununla birlikte programın testlerine yönelik balistik füze yörüngelerine ihtiyaç duyulmuştur. ROKETSAN A.Ş.’ ye ait simülasyon programları kullanılarak, 5 farklı menzile sahip balistik test füzelerine ait balistik yörüngeler elde edilmiştir. Ölçüm sisteminden ve diğer etkilerden kaynaklanabilecek gürültüyü simüle edebilmek için yörünge parametrelerine Gaussian-gürültü dağılımı eklenmiştir [7]. Balistik füzenin gerçek zamanlı uydu takibini simüle edebilmek için, test-füzesi yörüngeleri küçük parçalar halinde *BAYKUSH* programına girdi olarak gönderilmiştir. Bu yörünge parçalarından yörünge tamamlanma tahmini *BAYKUSH* programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Balistik Test Füzelerine ait uçuş parametre özellikleri Çizelge.1’ de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Test Füzelerine Ait Uçuş Parametreleri

Maksimum Menzil (km)	173 - 1410
Maksimum İrtifa (km)	37 - 142
Uçuş Süresi (sn)	190 - 382
Maksimum Hız (m/sn)	1150 - 4450

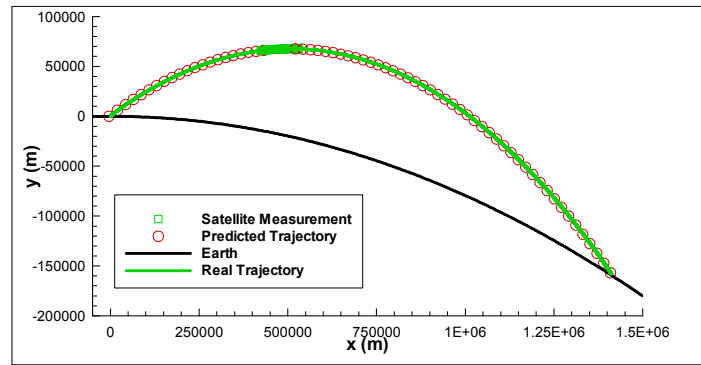
5 Balistik Test Füzesi için test çalışmaları yapılmış, tüm test füzeleri için maksimum menzillerinin %1 hata payı içerisinde fırlatma ve hedef bölgesi tahmini sağlanmıştır. En uzun menzilli olmasından dolayı Balistik Test Füzesi-5’ e ait yörünge kullanılarak elde edilen veriler bu kısımda verilmiştir. Şekil-6’ da Balistik Test Füzesi-5’ e ait yörünge gösterilmiştir.



Şekil 6. Balistik Test Füzesi-5 Yörüngesi

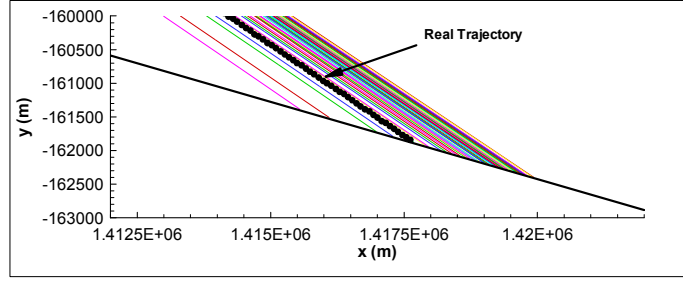
3.2. Yörünge Kestirimi

Test Füzesi yörüngesi, uydu takibini simüle edebilmek için küçük parçalara ayrılarak paketler halinde *BAYKUSH* programı tarafından alınmış ve her veri paketine karşılık yörünge parçasının tamamının tahmini yapılmıştır. Şekil-7’ de, test füzesi yörüngesi, ölçüm sisteminden gelen veri paketini simüle eden bir yörünge parçası ve bu yörünge parçası kullanılarak *BAYKUSH* programı tarafından tahmin edilen yörünge gösterilmiştir.

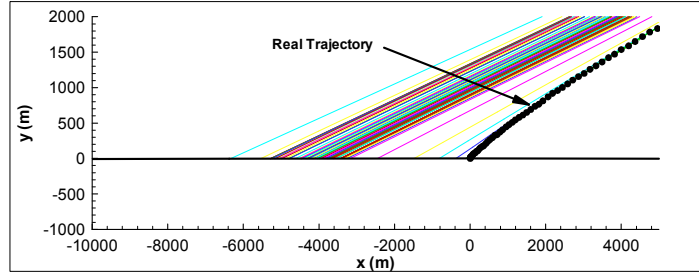


Şekil 7. Yörünge Kestirimi

Her veri paketine karşılık *BAYKUSH* programı tarafından tahmin edilen yörüngelerin hedef bölgesi civarındaki gösterimi Şekil-8’ de ve fırlatma bölgesi civarındaki gösterimi Şekil-9’ da verilmiştir. Yörünge tahmininde, *BAYKUSH* programının ihtiyaç duyduğu hesaplama süresi 1 saniyeden daha küçüktür.



Şekil 8. Hedef Bölgesi Kestirimi



Şekil 9. Fırlatma Bölgesi Kestirimi

4. SONUÇ

Bu çalışmada, erken uyarı ve füze savunma sistemlerinin parçası olabilecek bir balistik füze yörüngesi kestirim programı (*BAYKUSH*) geliştirilmiştir. Bu program kullanılarak, 5 farklı balistik test füzesi yörüngesi için testler yapılmıştır. Balistik Test Füzeri için yapılan testlerde, maksimum menzillerinin %1 hata payı içerisinde fırlatma ve hedef bölgesi tahmini sağlanmıştır.

Bu çalışma; izlenen füzelerin tanımlanmasına (“*System Identification*”) ait yapılacak bir çalışmaya temel oluşturabilir. *BAYKUSH* programı tarafından izlenen füzelerin sadece yörüngesi değil, yörüngesi boyunca hız ve ivme profilleri ile balistik katsayısı da belirlenmektedir. Hız ve ivme profilleri ile balistik katsayısı bir füzelerin tanımlanmasında kullanılabilir. Motorun aktif olduğu yörünge boyunca balistik katsayısı, füze hızı ve ivmesinin incelenmesi sonucunda; kütle değişimi, motor yanma zamanı, motor büyüklüğü ve toplam darbe miktarı hakkında tahmin yapmak mümkün olabilir.

Ayrıca, bilinen taktik balistik füzelere ait bilgiler (yörünge, hız-ivme profilleri, balistik katsayısı ve kademe sayısı) bir bilgi bankasında toplanabilir, takip edilen füzeye ait tahmin edilen parametreler bu bilgi bankası ile karşılaştırılarak izlenen füzelerin tanımlanması yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, kullanıcı ara-yüzü oluşturulmasındaki çalışmalarından dolayı, Koray Taylan’ a, teknik destek ve test füzesi yörüngelerinin oluşturulmasındaki katkılarından dolayı: Alp Marangoz, Ercan Örcü ve Ayça Yetere’ ye ve son olarak bu bildiriye okuyup önerilerde bulunan Erhan Tarhan ve Uğur Kakaşçı’ ya teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Lee, S.C., Huang, C.Y., Liu, C.Y., “Trajectory Estimation for Tactical Ballistic Missiles in Terminal Phase Using On-Line Input Estimator”, *Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(A)*, Vol. 23, No. 5, 1999, pp.644-653
- [2] Lee, S.C., Liu, C.Y., “Trajectory Estimation of Reentry Vehicles by Use of On-Line Input Estimator”, *Journal of Guidance Control and Dynamics*, Vol. 22, No. 6, Nov.-Dec. 1999, pp.808-815
- [3] Crumpton, K.S., “The Effects of Filter and Coordinate Frame Selection on the Accuracy and Efficiency of Tactical Ballistic Missile Parameter Estimation and Prediction”, *Ph.D. Thesis, University of Colorado*, 2000
- [4] Robert M. Rogers, “Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems”, *AIAA Education Series*
- [5] Burns, K. A., Stoy, S. L., Vukelich, S. R., “Missile DATCOM: User Manual – 1997 Fortran 90 Revision”, 1998
- [6] “U.S. Standard Atmosphere, 1976”, *U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.*, 1976
- [7] William H. Press, “Numerical Recipes”, *QA297.P7.1989, Cambridge University Press*
- [8] Akgül A., Karasoy S., “Development of a Satellite Borne Tactical Ballistic Missile Trajectory Prediction Tool”, *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Space Technologies - RAST2003*, pp. 589-592, TL787 R3 2003

HAREKAT ALANINDA MUHARİP JET UÇAKLARININ HAVA GÖREV EMRİNİN MODELLENMESİ

Tuğrul GÜRDAL^(a), Kemal LEBLEBİCİOĞLU^(b)

^(a) Hv.K.K.lığı, Eğt.D.Bşk.lığı, Eğt.Glş.Koor.Şb. M.lüğü, ANKARA, tug13rul@yahoo.com

^(b) ODTÜ, Elektrik Elektronik Müh. Böl., ANKARA, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Gerek sahip olduğu üstün teknolojinin maliyeti ve kaybedilenin yerine konulmasının zorluğu, gerekse harekata katkısı tartışılmaz olan hava unsurlarını etkin kullanmak, hareket alanında istenilen etkiyi sağlama yönünde önemli katkılar yapar. Bu yüzden hava unsurlarını doğru, zamanında ve etkin kullanma, tartışmasız bir zorunluluk olarak ortaya çıkar. Hava unsurları açısından hareket alanının oldukça süratli değişen çehresi de diğer yandan bir problem olarak ortaya çıktığında; planlama faaliyetleri oldukça önem kazanır. Bu çalışmada, istenilen kısıtlar doğrultusunda hedef-kaynak eşleşmesini sağlayan planlamanın gerçekleştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Kısıtlı planlama süresinde, aynı hareket alanı için karar vericilerin farklı isteklerini baz alarak mümkün olan en kısa sürede, farklı, en iyi atamaları oluşturmak ve karar vericilerin önüne, alternatif planlar olarak koyabilmek amaçlanmıştır

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, tam sayılı programlama, planlama, atama, böl ve sınırla algoritması, genetik algoritma.

AIR TASKING ORDER GENERATION OF FIGHTER IN THE THEATRE OF OPERATION

ABSTRACT

Using the air units which, both the cost of the high technology owned by and the difficulty of replacing the missed one, and have the indisputable benefit to the operation, efficiently, makes very important contribution to the provision of desired effect in the theatre of operation. For this reason, using the air units on he right time, appropriately and efficiently, appears as an unquestionable obligation. Because of the arousing of quickly changing aspect of the theatre of operation for the air units, the scheduling process becomes very important. This study focuses on the achievement to obtain the schedule that matches the targets with resources, subject to the desired constraints. In the limited planning time, accepting the decision-makers' desires as basis for the same theatre of operation, it is intended to form different and as good as possible assignments and to offer these as the alternative plans to the decision-makers as soon as possible.

Key words: Optimization, pure integer programming, scheduling, assignment, branch and bound algorithm, genetic algorithm.

1. GİRİŞ

Hava unsurlarının vurucu gücünün yüksekliği, harekate sağladığı destek ve hava unsurlarının ve hareketinin maddi boyutu, kısıtlı olan hava gücünün mümkün olan en yüksek etkinlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Bunu sağlamanın yolu ise, planlama safhasını iyi değerlendirmektir.

Planlama safhasının iyi değerlendirilmesi, kısıtlı olan hava gücünü doğru yerde, doğru zamanda ve istenilen etkinlikte kullanmaktır. Bunu sağlamanın en etkin yolu ise, kaynakları tek elden değerlendirip, planlamayı bir elden yapmaktır. Planlama işlemine uluslar arası literatürde Air Tasking Order (ATO), Türk Hava Kuvvetlerinde ise Hava Görev Emri (HGE) adı verilir.

Bu noktadan hareketle, bir maksimizasyon problemi olarak modellenen HGE hazırlama problemi, Böl ve Sınırla Algoritması (BSA) ve Genetik Algoritma (GA) teknikleri kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır.

2. HGE HAZIRLAMA SÜRECİ

Planlama safhası iki basamaklı olarak düşünülebilir. İlk basamakta, hareket alanında gerçekleştirmek istenenin ne olduğu ortaya konur. Yapılmak istenenin daha genel anlamda ortaya konduğu bu basamak, stratejik seviyede planlama olarak isimlendirilebilir. İkinci basamakta ise, stratejik basamakta belirlenen amaçların nasıl gerçekleştirilebileceği, eldeki kaynakların bu amacı gerçekleştirmek için nasıl kullanılabileceği belirlenir. Bu basamağa da taktik seviyede planlama denir. Taktik seviye, stratejik seviyede genel hatları ortaya koyulan planın, detaylarının belirlendiği bölümdür.

3. MATEMATİKSEL MODELİN OLUŞTURULMASI İÇİN KURULAN YAPI

Problemin matematiksel modeli anlatılmadan, modelin oluşturulmasını sağlayan yaklaşımların yapısının açıklanması daha uygun olur.

Problem, çözüm tekniklerini uygulamadan önce, çözümde kullanılacak hedef değeri bilgisini elde eder. Bu bilgiyi üretmek için iki farklı bilgiden istifade edilir:

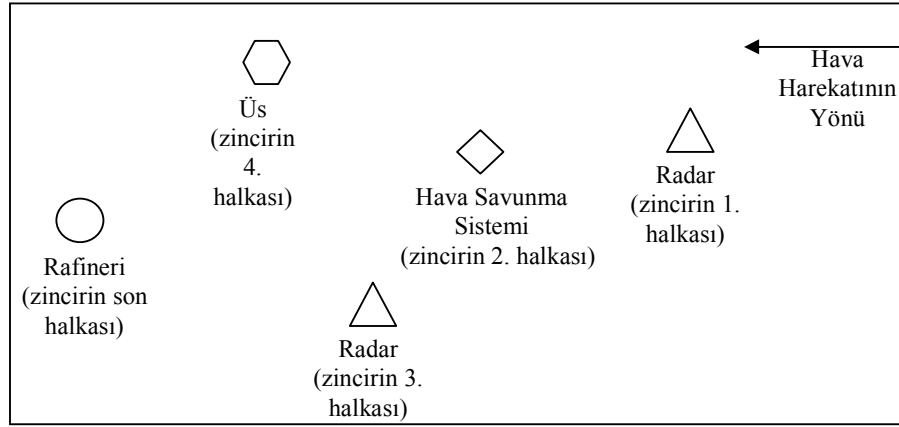
- Değeri hesaplanacak hedefe ait özellikler (hedef önceliği (priority), DMPI (Desired Mean Point of Impact) sayısı vb.),
- Değeri hesaplanacak hedefin içinde bulunduğu hedef grubuna ait özellikler.

Hedefe ait özellikler, planlama öncesinde farklı noktalardan elde edilip saklanmış bilgilerdir (istihbarat bilgileri). Bu bilgiler hedefin değerinin hesaplanmasında ikinci öncelikli öneme sahiptirler.

Hedefin içinde bulunduğu hedef grubuna ait özellikler ise, hedefin değerinin belirlenmesinde asıl baz alınan verilerdir. Bu nedenle, hedefler tek tek bir takım özelliklere sahipken, gruplar halinde de bir takım özelliklere sahiptirler.

3.1 Zincir Yapısı

Bu çalışmada hedef grupları zincir ve grubu oluşturan her bir hedef de bu zincirin birer halkası şeklinde düşünülmüştür. Bu şekilde bir zincir yaklaşımı, aslında hedefler arasındaki öncelik (precedence) ilişkilerini oluşturmak için kurulmuştur. Aynı zincirde yer alan hedefler arasında, zincirin ilk halkası olan hedef, incelenen zincir için önceliği en yüksek olan halka; zincirin son halkası ise, önceliği en düşük halka demektir. Örnek bir halka yapısı Şekil-1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Beş halkalı örnek bir zincir yapısı

Yapı oluşturulurken, problemin yapısı gereği öncelik ilişkileri iki farklı şekilde tanımlanmıştır:

3.1.1 Aralarında zaman bağı olmayan (klasik) öncelik ilişkileri

Aralarında zaman bağı olmayan, klasik, öncelik ilişkileri, iki hedef göz önüne alındığında, hangisine önce planlama yapılması gerektiğini belirten, öncelik ilişkisidir.

3.1.2 Aralarında zaman bağı olan öncelik ilişkileri

Aralarında zaman bağı olan öncelik ilişkileri, iki hedef göz önüne alındığında, aralarında zaman bağı olmayan öncelik ilişkileri yapısı geliştirilerek kurulur. Yani, yine hangi hedefe önce planlama yapılması gerektiği önceliği yüksek olandan başlanması şeklinde belirlenir. Bu karara ilaveten, aralarında zaman bağı olan öncelik ilişkili hedef grupları, bloklar şeklinde düşünülerek, bir hedefmiş gibi planlama yapılması sağlanmaya çalışılır. Bu şekilde bir yaklaşım, birbirleri arasında bu zaman bağı bulunan öncelik ilişkisi olan hedeflere planlamanın aynı planlama sürecinde yapılmasını sağlamayı amaçlar.

Program öncesindeki hazırlık safhasında istenilen hedeflerin değerleri hesaplanırken; aralarında zaman bağı olan hedeflerden önceliği düşük olanlar, tamamıyla önceki hedefin değerine göre; olmayan hedefler kısmen önceki hedefin değerine, kısmen de kendilerine ait özelliklerine göre değerlendirilirler.

4. MATEMATİKSEL MODEL

Problem, bir maksimizasyon problemi olarak modellenmiştir.

4.1 Parametreler

- F** : Elimizdeki bütün filolar kümesi,
U : Elimizdeki bütün uçaklar kümesi,
U : Elimizdeki bütün hedefler kümesi,
K : Elimizdeki bütün uçak yük konfigürasyonları kümesi,
HD_j : j hedefinin İlk Değerlendirme Safhası sonrasında hesaplanan hedef değeri,
MSF_{M, j} : i filosunun bulunduğu M meydanı ile j hedefi arasındaki mesafe,
MNZL_{i a k p} : i filosundaki, a uçağının, k konfigürasyonu ile p profilindeki menzili,
İE_j : j hedefine yapılması istenen tahribat oranı (etki),
E_{i a j} : i filosundaki a uçağının tahribat oranı (etki),
ZTHS_n : n zincirindeki toplam hedef sayısı,
C_p : zincirde yer alan iki hedeften, öncelik ilişkisinde önce olan hedefe planlama yapılmadan, öncelik ilişkisinde sonra olan hedefe planlama durumunda uygulanacak ceza değeri,
C_z : zincirde yer alan ve aralarında zaman bağı bulunan öncelik ilişkili iki hedeften, öncelik ilişkisinde önde yer alan hedefe planlamada zaman kısıdına uyulmaması veya zaman kısıdı olmasına rağmen planlama yapılmaması durumunda uygulanacak ceza değeri,
C_s : zincirde yer alan ve aralarında zaman bağı bulunan öncelik ilişkili iki hedeften, öncelik ilişkisinde önde gelen hedefe planlama yapıp, sonra gelen hedefe planlama yapılmaması durumunda uygulanacak ceza değeri,
ZC_{j t} : t anında, i filosundan, j hedefine yapılan planlamanın zincir bağına uygun olmaması durumunda oluşacak ceza değeri,
RWR_j : j hedefinin RWR ihtiyacı,
EKT_j : j hedefinin ECM ihtiyacı,
RWR_i : i filosunun RWR kabiliyeti,
EKT_i : i filosunun ECM kabiliyeti,
HIZ_{i a} : i filosundaki a uçağının hedefine giderken uçacağı seyrissefer hızı,

US_{iaj} : a uçağının i filosunun bulunduğu meydandan j hedefine gitmesi için gereken uçuş süresi,

GHU_{tia} : t anında, i filosundaki a uçağının göreve hazır olma durumu,

FGHU_{ti} : t anında, i filosundaki göreve hazır uçak sayısı,

GGU_j : j hedefe planlaması gereken uçak sayısı,

GU_{tia} : t anında, i filosundaki a uçağının görevde olma durumu,

FTU_{ti} : i filosundaki toplam uçak sayısı,

FGU_{ti} : t anında i filosunda görevdeki uçak sayısı

4.2 Karar Değişkenleri

4.1 numaralı denklemde, herhangi bir planlama olabilmesi yani değişkenin 1 değerini alması için; 4.2 numaralı denklemde i filosunun bulunduğu meydan ile j hedefi arasındaki mesafenin, i filosundan k konfigürasyonunda, p profilinde a uçağının menziline küçük ya da eşit olması kısıdı sağlanmaktadır. 4.3 numaralı denklem ise, i filosundan j hedefinde planlanan a uçaklarının toplam etkisi, j hedefinde oluşturulmak istenen etkiden büyük ya da eşit olması kısıdı ifade edilmektedir.

$$x_{t i j a k p} = \begin{cases} 1 & \begin{array}{l} t \text{ anında, } i \text{ filosundan, } j \text{ hedefine,} \\ k \text{ konfigürasyonunda, } p \text{ profilinde,} \\ a \text{ uçağının a tanması yapılmışsa} \end{array} \\ 0 & \begin{array}{l} a \text{ uçağına belirtilen zamanda} \\ \text{herhangi bir atama yapılmamışsa} \end{array} \end{cases} \quad (4.1)$$

$x_{t i j a k p}$ 'nin 1 olması için :

$$MSF_{M_i j} \leq MNZL_{i a k p} \quad \forall i \in F, \forall j \in H, \forall a \in U \quad (4.2)$$

$$\sum_{a \in i} E_{i a j} \geq \bar{I}E_j \quad \forall j \in H \quad (4.3)$$

Zincir yapısında arzu edilen planlama, zincirin halka sırasına uyulmasıdır. Bu sıraya uyulmaması durumunda, oluşacak ceza değerini belirlemek için kullanılan formülasyon:

$$h_j = \begin{cases} 1 & j \text{ hedefine yapılmış bir planlama varsa,} \\ 0 & j \text{ hedefine herhangi bir planlama yapılmamışsa,} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$P_{\theta j} = \begin{cases} 1 & \text{zincirde } j \text{ hedefinden önceki hedefe} \\ & \text{planlama yapılmamışsa,} \\ 0 & \text{zincirde } j \text{ hedefinden önceki hedefe} \\ & \text{planlama yapılmışsa,} \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\text{ÖHZ}_{\theta j} = \begin{cases} 1 & \text{zincirde } j \text{ hedefi ile önceki hedef arasındaki} \\ & \text{zaman bağı kısıtına önceki hedefe planlama} \\ & \text{yapılırken uyulmamış ise,} \\ 0 & \text{zincirde } j \text{ hedefi ile önceki hedef arasındaki} \\ & \text{zaman bağı kısıtına uyulmuş veya } j \text{ hedefi} \\ & \text{zincirin ilk halkası ise,} \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\text{ÖHC}_j = (P_{\theta j} \cdot C_p + \text{ÖHZ}_{\theta j} \cdot C_z) \cdot h_j \quad j \in H \quad (4.7)$$

şeklinde. 4.4 numaralı denklemde, j hedefine planlama yapılması durumunda h değişkeni 1 değerini alır. 4.5 ve 4.6 numaralı denklemlerde, zincir yapısında j hedefinden önceki hedefe planlama durumuna göre P ve ÖHZ değişkenlerinin değeri belirlenmektedir. Zincir yapısında; j hedefinden önceki hedeflerden kaynaklanan cezayı hesaplamak için kullanılan 4.7 numaralı denklemde, zincirde j hedefinden önce yer alan hedefler ile j hedefi arasında zaman bağı olmayan öncelik ilişkilerinden planlama yapılmayanlarının sayısı ile ceza puanının çarpımı ve yine aynı zincirde j hedefinden önceki hedefler ile j hedefi arasında zaman bağı bulunan öncelik ilişkisi olanların sayısı ile ceza puanı çarpımının toplamı bulunmaktadır.

Zincir yapısında başka bir arzulanmayan planlama ise, aralarında zaman bağı öncelik ilişkisi bulunan iki hedeften ilkinde planlama yapılması fakat ikincisine planlama yapılmaması durumudur. Bu durumda uygulanacak ceza değeri için formülasyon aşağıdaki gibidir:

$$\text{SHZ}_{sj} = \begin{cases} 1 & \text{zincirde } j \text{ hedefine planlama} \\ & \text{yapılmış ancak aralarında} \\ & \text{zaman bağı bulunan sonraki} \\ & \text{hedefe planlama yapılmamış ise} \\ 0 & \text{zincirde } j \text{ hedefine planlama} \\ & \text{yapılmış aralarında zaman bağı} \\ & \text{bulunan sonraki hedefe planlama} \\ & \text{yapılmış veya } j \text{ zincirin son hedefi ise} \end{cases} \quad j \neq 5 \quad (4.8)$$

$$\text{SHC}_j = \text{SHZ}_{sj} \cdot C_s \quad (4.9)$$

4.8 numaralı denklemde, sonraki hedefe planlama yapıp yapılmaması SHZ değişkeninin değerini belirlemektedir. 4.9 numaralı denklem ise planlama için uygulanacak ceza değerinin hesaplandığı eşitliktir.

Bütün zamanlama cezalarını bir araya toplamak ve toplam zaman ceza değerini bulmak için; 4.10 numaralı denklemde de gösterildiği gibi j hedefi için oluşan önceki zaman cezasını ve sonraki zaman cezası toplanır.

$$ZC_j = SHC_j + ÖHC_j \quad (4.10)$$

Atamanın gerçekleştirilmesi için sağlanması gereken bir başka kısıt ise, herhangi bir anda herhangi bir filoda göreve hazır uçak sayısının, hedefte istenen etkiyi oluşturmak için gereken etki değerinden büyük ya da eşit etkiyi oluşturacak sayıda olmasıdır. 4.11, 4.12 ve 4.13 numaralı denklemler bu kısıtları ifade etmektedir.

$$GHU_{tia} = \begin{cases} 1 & t \text{ anında, } i \text{ filosundaki } a \text{ uçağı görev için uygunsa} \\ & t \text{ anında, } i \text{ filosundaki } a \text{ uçağı görevde veya göreve} \\ 0 & \text{hazırlanıyorsa} \end{cases} \quad (4.11)$$

$$FGHU_{ti} = \sum_a GHU_{tia} \quad \forall i \in F \quad (4.12)$$

$$FGHU_{ti} \geq GGU_j \quad \forall j \in H, \forall i \in F \quad (4.13)$$

4.14 ve 4.15 numaralı denklemlerde, herhangi bir anda görevdeki uçak sayıları ifade dilmektedir.

$$GU_{tia} = \begin{cases} 1 & t \text{ anında, } i \text{ filosundaki } a \text{ uçağı görevde veya} \\ & \text{göreve hazırlanıyorsa} \\ & t \text{ anında, } i \text{ filosundaki } a \text{ uçağı görev için} \\ 0 & \text{uygunsa} \end{cases} \quad (4.14)$$

$$FGU_{ti} = \sum_a GU_{tia} \quad \forall i \in F \quad (4.15)$$

$$EKT_j = \begin{cases} 1 & j \text{ hedefinde istenen etki için EKT gerekiyorsa} \\ 0 & j \text{ hedefinde istenen etki için EKT gerekmiyorsa} \end{cases} \quad (4.16)$$

$$RWR_j = \begin{cases} 1 & j \text{ hedefinde istenen etki için RWR gerekiyorsa} \\ 0 & j \text{ hedefinde istenen etki için RWR gerekmiyorsa} \end{cases} \quad (4.17)$$

4.16 ve 4.17 numaralı eşitliklerde, j hedefinin EKT ve RWR değerleri belirlenmektedir.

$$RWR_i = \begin{cases} 1 & i \text{ filosunun RWR kabiliyeti varsa} \\ 0 & i \text{ filosunun RWR kabiliyeti yoksa} \end{cases} \quad (4.18)$$

$$EKT_i = \begin{cases} 1 & i \text{ filosunun EKT kabiliyeti varsa} \\ 0 & i \text{ filosunun EKT kabiliyeti yoksa} \end{cases} \quad (4.19)$$

4.18 ve 4.19 numaralı eşitliklerde ise, i filosunun dolayısıyla i filosundaki bütün uçakların EKT ve RWR kabiliyetleri belirtilmektedir.

$$US_{ija} = 2 \cdot \frac{MSF_{M_{ij}}}{HIZ_{ia}} \quad (4.20)$$

4.20 numaralı denklemde, planlanan uçağın uçuş süresi hesaplanmak istenmektedir. Bu süre hedefe gidiş süresi ile meydana iniş süresinin toplamına eşittir.

4.3 Matematiksel Model

Amaç fonksiyonu, LHP olarak üç basamaklıdır. Amaç fonksiyonun ilk bölümü olan 4.21 numaralı denklem ile planlama yapılan hedeflerin değerlerinin maksimum olması amaçlanmaktadır. İkinci bölümde, 4.22 numaralı denklem, yapılan planlamanın oluşturacağı zaman cezası değeri minimum yapılmaya çalışılmaktadır. 4.23 numaralı denklemde ise yapılan planlama için uçulan mesafenin minimum olması sağlanmaya çalışılmaktadır. 4.24 numaralı denklem, herhangi bir anda, elimizdeki toplam uçak sayısının o anda görevde olan uçaklar ile göreve hazır olan uçakların sayısı kadar olacağını göstermektedir. İkinci kısıt olan 4.25 numaralı denklem ise, herhangi bir anda bir filodan planlanabilecek uçak sayısının o anda filoda bulunan göreve hazır uçak sayısından fazla olamaz. 4.26 ve 4.27 numaralı denklemler ile; planlama yapılan hedef ile kullanılan filonun EKT ve RWR kabiliyetlerinin eşit olması sağlanmaktadır.

Amaç Fonksiyonu

$$\max \sum_j HD_j \cdot h_j \quad (4.21)$$

$$\min \sum_{i,j,a,t} ZC_j \cdot x_{tijakp} \quad (4.22)$$

$$\min \sum_{i,j,a,t} MSF_{M_{ij}} \cdot h_j \quad (4.23)$$

Kısıtlar

$$FTU_{ti} = FGHU_{ti} + FGU_{ti} \quad \forall i \in F \quad (4.24)$$

$$\sum_{i,j,c} \sum_a x_{tijakp} \leq FU_{iat} \quad (4.25)$$

$$EKT_j = EKT_i \quad \forall j \in H, \forall i \in F \quad (4.26)$$

$$RWR_j = RWR_i \quad \forall j \in H, \forall i \in F \quad (4.27)$$

5. PROBLEMİN ÇÖZÜLMESİ

Problem iki aşamada çözülmektedir. Birinci aşama kaynakların hedeflere optimum tahsisinin gerçekleştirildiği atama bölümü, ikinci aşama ise oluşturulan atamaya göre zaman planlamasının kullanıcıdan alınan ve veri tabanındaki bilgilere göre oluşturulması ve oluşturulan planlamaya eklenmesidir.

5.1. Atama Bölümü

Atama bölümünde, optimum hedef-kaynak eşlenmesi sağlanmaya çalışılır. Bu çalışmada, çözüme ulaşmak için BSA ve GA çözüm teknikleri kullanılmıştır. Çözümde, atama bölümünde BSA ve GA'nın kullanılışı Şekil-2'dedir.

5.1.1 Çözümde Kullanılan BSA Algoritmaları

Bütün çözümlerin bir çözüm ağacında çeşitli basamaklardaki dallarda yer aldığı düşünülerek, bu çözüm ağacı dolaşımak sureti ile en iyi çözüme ulaşılmak istenmiştir. Yani başka bir deyişle, tüm çözümler bu çözüm ağacında yer aldığına göre, ağacın tamamı dolaşılırsa, en iyi çözüme de kesinlikle ulaşılır. Bu nedenle çalışmada temelde birbiri ile aynı dallanma stratejisine sahip olan iki farklı BSA kullanılmıştır.

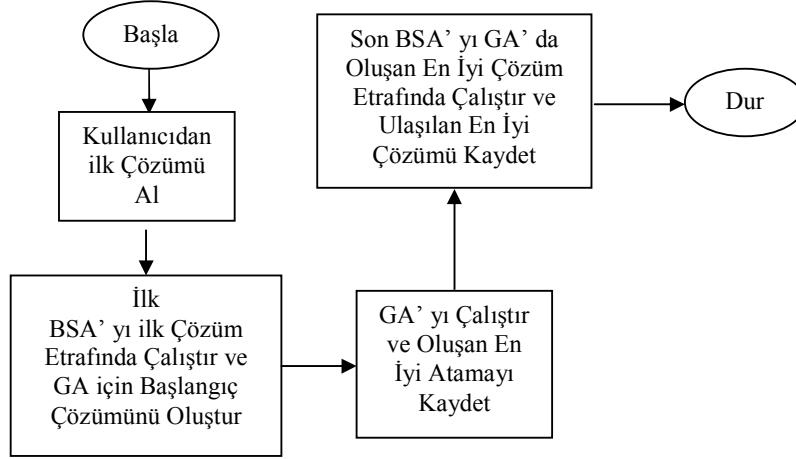
5.1.1.1 BSA'nın Çalışmaya Uyarlanması

Çalışmanın geniş ölçekli bir optimizasyon problemi (large-scale optimisation problem) olması sebebiyle çözüm ağacının çok büyük olması, bu ağacın kabul edilebilir zaman diliminde dolaşılmasını imkansız kılmaktadır. Bu nedenle, ağacın dolaşılması sırasında, girilmesi gereksiz olan dallarda arama yapmanın önüne geçilerek, aynı süre içinde çözüm uzayında daha fazla dolaşabilmek mümkün kılınmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada istenilen dallanma kontrolünü gerçekleştirmek için hedefler arası öncelik ilişkilerini ve belli bir ana çözümü temel alan iki buluşsal (heuristic) kullanılmıştır.

5.1.1.2 Hedefler Arası Öncelik İlişkilerini Temel Alan Buluşsal

Kullanılan buluşsal, çözüm ağacı dolaşılırken, herhangi yeni bir dala geçmeden

geçilecek dalın kısıtlanması ve bu sayede çözüm ağacında gereksiz olacak dallanmaların önüne geçmeyi amaçlar. Bunun için iki farklı şekilde dallanma kontrolü yapılır.



Şekil 2. Atama Bölümünde BSA ve GA' nın Kullanılışı

İlk durumda, bulunulan dal bir zincirin son hedefine planlamayı gerçekleştiriyorsa, bir sonraki dallanma planlama yapılabilecek tüm hedeflere değil, henüz planlama yapılmamış hedeflerin oluşturduğu zincirlerin ilk hedefleri ile sınırlanır.

İkinci durumda ise, bulunulan dal herhangi bir zincirin ara hedeflerinden biri olan hedeflerden birine planlama yapılan dal ise, bir sonraki planlama dalı yalnızca, zincirde bu hedeften sonra yer alan hedefe gerçekleşecek şekilde sınırlanır.

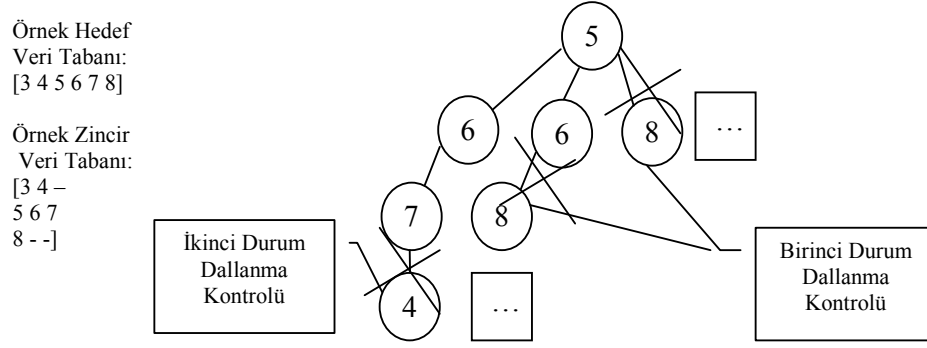
Bu iki buluşsal da, olası bütün dallanmaları gerçekleştirmek yerine, daha kontrollü bir biçimde çözüm ağacını dolaşmayı sağlayarak, aynı çalışma süresi içerisinde daha fazla sayıda farklı ana dal dolaşarak, çözüm uzayında daha fazla farklı bölgeye gitmeyi gerçekleştirmeyi sağlamak için kullanılır. Şekil-3'te hedefler arası öncelik ilişkilerini temel alan buluşsal gösterilmektedir.

5.1.1.3 Belli Bir Ana Çözüm Etrafında Dallanmayı Temel Alan Buluşsal

Bu çalışmada kullanılan iki BSA'da da bu buluşsal farklı tolerans oranlarında kullanılmıştır. Bu buluşsalda, dallanma gerçekleştirilmeden önce, başlangıçta belirlenmiş bir atama ile o an bulunulan daldaki atama, planlama yapılmış hedefler için kullanılan kaynaklar açısından birebir karşılaştırılarak; belirlenmiş atama ile o anki atama arasındaki fark belirlenmekte ve bu fark istenilen oran dahilinde olduğu sürece bulunulan dalın alt dallarında planlamaya izin verilmekte, bu fark istenilen oranı geçtiği anda ise, eldeki atamanın uygun (feasible) atama olmasına rağmen istenilen atama olmadığı düşünülerek, başka dallardaki atamalarda aramaya devam edilmektedir.

Bu sayede, çözüm ağacında yer alan tüm dalların dolaşılmasının önüne geçilir ve çözüm ağacında yalnızca başlangıçta belirtilen çözüme istenilen oranda yakın olan ağaçlar dolaşılır. İstenilen oran artırıldıkça, çözüm ağacında dolaşılacak dal ve alt dal sayısı da artırılacak azaltıldıkça da çözüm ağacında dolaşılacak dal sayısı azaltılacaktır. Nitekim

eğer bu oran sıfır olursa çözüm ağacında ulaşılabacak çözüm, BSA'nın başlangıcında belirtilen çözümün kendisidir.



Şekil 3. Hedefler Arası Öncelik İlişkilerini Temel Alan Buluşsal

Çizelge 1. Belirli Bir Çözüm Etrafında Dallanma Buluşsalı

Belirtilen Çözüm		İncelenen 1nci Çözüm		İncelenen 2nci Çözüm		İncelenen 3ncü Çözüm	
Planlama Yapılan Hedef	Kullanılan Filo	Planlama Yapılan Hedef	Kullanılan Filo	Planlama Yapılan Hedef	Kullanılan Filo	Planlama Yapılan Hedef	Kullanılan Filo
6	1	6	1	6	4	6	5
4	1	4	1	4	3	4	5
2	1	2	5	2	1	2	0
12	2	12	3	12	2	12	0
23	2	23	2	23	5	23	0
15	2	15	2	15	5	15	4
21	2	21	0	21	2	21	4
65	2	65	2	65	2	65	4
78	3	78	3	78	4	78	3
32	3	32	3	32	3	32	3
29	3	29	1	29	3	29	3
25	3	25	3	25	3	25	Dallanılmadı
12	4	12	4	12	4	12	Dallanılmadı
101	4	101	4	101	4	101	Dallanılmadı
105	0	105	4	105	0	105	Dallanılmadı
657	0	657	2	657	1	657	Dallanılmadı
1	0	1	0	1	2	1	Dallanılmadı
20	5	20	5	20	4	20	Dallanılmadı
5	5	5	5	5	3	5	Dallanılmadı
İzin Verilen Fark :	11	Olusan Fark :	6		9		12

Çizelge 1’de belirli bir çözüm etrafında dallanmayı alan buluşsalın farka bağlı olarak nasıl kontrol gerçekleştirdiği bir örnek ile gösterilmektedir.

5.1.1.4 İlk BSA

Atamanın ilk aşamasında kullanılır. İlk BSA’ nın kullanılmasının nedeni, GA’ da kullanılacak başlangıç nüfusunu (initial population) oluşturmaktır.

Kullanıcının belirteceği başlangıç çözümünü temel alarak, bu çözüm etrafında son BSA’ya oranla daha geniş bir toleransta dolaşır. Bu aşamada kullanıcıdan başlangıç

çözümünün alınması, çok geniş olan çözüm uzayının kullanıcının arzulanacağı bölümde arama yapmayı gerçekleştirmek içindir. Kullanıcı özellikle belli bazı hedefler ile filoları eşleştirmek ve planlamanın geri kalanını bu temel üzerine kurmak istiyorsa, bunu gerçekleştiren bir başlangıç çözümünü ilk BSA'ya verir ve dallanma bu eşleşmenin izin verilen aralık dahilinde dışına çıkarak arama yapar.

GA'ya hazırlanan çözümler, GA'nın üreteceği sonuçlarda önemli rol oynayacağından, bu çözümlerin farklı olması, programın performansını etkilemek adına gereklidir. Çözüm uzayının büyüklüğü sebebi ile ilk BSA'nın durma kriterine ulaşıldığında dolaşılacak bölge, hala tüm çözüm uzayının ufak bir bölgesidir. Tüm çözüm uzayında mümkün olduğunca farklı bölgelerde dolaşarak, başlangıç nüfusu olarak oluşturulacak atamaların çeşitliliğini artırmak için, ilk BSA belli iterasyon sayılarında çalışmasına yeniden başlamakta ve her yeniden başlayışta çözüm uzayına farklı bir bölgeden girerek dolaşmasını sürdürmektedir. İlk BSA sonucunda GA için gereken başlangıç nüfusu olan 50 farklı atama oluşturulmaktadır.

5.1.1.5 Son BSA

Atamanın üçüncü aşamasında kullanılır. GA sonucunda üretilen en iyi çözümü temel alarak, çözüm uzayını dolaşır ve GA tarafından üretilen çözümden daha iyi bir çözümü ilk BSA'dan daha düşük toleransa sahip bir aralıkta arar. İlk BSA'nın tolerans aralığından daha düşük bir aralıkta arama gerçekleştirildiğinden, son BSA aynı sürede ilk BSA'ya göre daha hızlı şekilde çözüm uzayını dolaşır.

5.1.2 Çözümde Kullanılan Genetik Algoritma

Çözüm uzayının izin verilen zaman süresinde BSA kullanılarak dolaşılamayacak kadar büyük olması, kabul edilebilir iyilikte ve kabul edilebilir bir çözümü üreten bir yöntemin kullanılmasını gerektirmiştir. Çalışmada bu amaca hizmet edebilecek yöntemlerden biri olan GA, bu nedenle kullanılmıştır.

5.1.2.1 Genetik Algoritmanın Çalışmaya Uyarlanması

Çalışmada, standart GA tekniğini problemin yapısına uygun hale getirmek için GA tekniğinde yer alan alt tekniklerde bazı değişiklikler yapılmıştır. Her bir alt GA tekniği ve bu çalışmaya uyarlanma şekli aşağıda anlatıldığı gibidir.

5.1.2.2 Birey (Chromosome) Yapısı

Çalışmada öncelikle, ilk BSA'da oluşturulmuş atamalar GA'da kullanılabilecek uygun yapıda bireylere dönüştürülmektedir. Bu çalışmada kullanılan birey yapısı tamsayılardan (integer) oluşan birey yapısına dayanmaktadır. Birey içerisindeki bir eleman (genotype), problemdeki bir uçağı temsil etmektedir. Bu durumda bireyin büyüklüğü, planlamaya dahil olan toplam uçak sayısı kadardır. Bireydeki bir eleman, üç farklı bilgi içerecek şekilde tasarlanmıştır. İlk alt eleman hedefin numarasını, ikinci alt eleman kullanılan listede hedefin bulunduğu indeks bilgisini, üçüncü alt eleman ise planlamada kullanılan konfigürasyon bilgisini gösterir. Şekil-4'te çalışmada kullanılan örnek birey yapısı gösterilmiştir.

12-Planlama Yapılan Hedef 60-Hedefin Veri Tabanındaki İndeksi 1- Planlamada Kullanılan Konfigürasyon													
12	21	5	7	10	1	34	26	19	45	15	6	8	
60	8	23	2	19	7	90	6	26	21	87	23	34	
1	2	1	3	2	1	4	2	3	1	2	1	3	

Şekil-4 : Çalışmada Kullanılan Birey Yapısı

Çalışmada uyum fonksiyonu olarak, matematiksel modeldeki amaç fonksiyonu değerlerinden, incelenen atama (birey) için uçulması gereken mesafe oranı farkı alınmıştır.

Çalışmada, uyum değerleri hesaplanmış bireylerin arasından çaprazlama (crossover) işlemine tabi tutulacak bireyleri belirlemek için rulet seçim (Roulette Wheel Selection) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, nüfustaki her bireyin çaprazlama işlemi için seçilme olasılığı mevcutken; bu olasılık, bireyin uyum değerinin büyüklüğüne bağlı olarak artmaktadır.

5.1.2.3 Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama işlemi ile probleme daha iyi çözümler olduğu düşünülen bireyler işleme sokulur. Bu çalışmada çok noktadan çaprazlama (multi-point crossover) tekniğini temel alan fakat klasik çok noktadan çaprazlama tekniğinden farklı bir çaprazlama tekniği kullanılmaktadır. HGE probleminin doğası gereği, bir hedefe yalnızca bir filonun kaynakları (uçakları) kullanılarak planlama yapılır. Klasik çaprazlama tekniğinden farklı bir çaprazlama tekniği kullanılmasının nedeni de budur.

Çalışmada rasgele olarak seçilen kırılma noktası yerine, değişim için bir filo belirlenmekte ve bu filoya ait uçakların bireylerde karşılık gelen ilk ve son indeksleri, kırılma bloğu başlangıç ve bitiş noktaları olarak alınmakta ve çaprazlama blok halinde yapılmaktadır. Şekil-5'te, örnek bir çaprazlama tekniği gösterilmektedir. Çaprazlama sonucunda 50 olan nüfus sayısı, yeni oluşturulan çocukların (offsprings) da eklenmesiyle 100'e çıkar. Çaprazlama işlemi tamamlandıktan sonra, çaprazlama öncesinde çaprazlamaya sokulan nüfus ve çaprazlama esnasında oluşan yeni bireyler arasından nüfus sayısının beşte üçü oranında birey en iyi uyum değerine sahip olmasına göre, geriye kalan beşte iki oranında birey ise rasgele seçilmektedir.

5.1.2.4 Mutasyon (Mutation)

Çalışmada, aramada lokal optimuma düşülmemesi için mutasyon safhası oldukça önem kazanmaktadır. Lokal optimumda kalmanın önüne geçmek için, bu çalışmada seçilen mutasyon oranı, standart GA yöntemlerinde genel olarak kullanılan mutasyon oranından daha fazladır.

Çalışmada, standart GA yönteminde kullanılan mutasyon işleminden farklı, temelde aynı yöntemi kullanan iki farklı mutasyon yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan mutasyon işleminin standart mutasyon işleminden temel farkı, tıpkı çaprazlama işleminde olduğu gibi mutasyonun da blok halinde yapılmasıdır.

Seçilen İlk Birey

Filolar:

1			2				3					4				5			6					
12	21	5	7	10	1	34	26	19	45	15	6	8	11	13	14	15	16	17	18	20	22	23	24	2
60	8	23	2	19	7	90	6	26	21	87	23	34	99	98	97	96	95	94	93	92	91	89	88	1
1	2	1	3	2	1	4	2	3	1	2	1	3	1	2	2	3	1	4	2	1	2	4	3	3

Seçilen İkinci Birey

Filolar:

1			2				3					4				5			6					
90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
1	2	1	3	2	1	4	2	3	1	2	1	3	1	2	2	3	1	4	2	1	2	4	3	3

Üretilen İlk Çocuk

Filolar:

1			2				3					4				5			6					
12	21	5	87	86	85	84	83	19	45	15	6	8	11	76	75	74	73	17	18	20	22	23	24	2
60	8	23	43	44	45	46	47	26	21	87	23	34	99	54	55	56	57	94	93	92	91	89	88	1
1	2	1	3	2	1	4	2	3	1	2	1	3	1	2	2	3	1	4	2	1	2	4	3	3

Üretilen İkinci Çocuk

Filolar:

1			2				3					4				5			6					
90	89	88	7	10	1	34	26	82	81	80	79	78	77	13	14	15	16	72	71	70	69	68	67	66
40	41	42	2	19	7	90	6	48	49	50	51	52	53	98	97	96	95	58	59	60	61	62	63	64
1	2	1	3	2	1	4	2	3	1	2	1	3	1	2	2	3	1	4	2	1	2	4	3	3

Şekil 5. Çalışmada Kullanılan Çaprazlama Yöntemi

HGE probleminin doğası gereği, mutasyon işlemine tabi tutulması için seçilen bireyde yer alan elemanlardan (uçaklardan) bir hedefe planlanmış olanlar, blok halinde değiştirilmelidir ve matematiksel modelde yer alan 4.25 numaralı denklem gereği bu değişim için gereken müsait uçak sayısı, hedefe planlanması istenen uçak sayısından küçük veya eşit olmalıdır.

İlk mutasyon işleminin ilk basamağında, seçilen bireyde hangi filonun mutasyon işlemine tabi tutulacağı, incelenen bireyde planlama yapılmamış eleman (uçaklar) sayısı, filo bazında en fazla olan ilk olacak şekilde sırayla aday olur. Daha sonra bu filodaki uçakların özellikleri ile planlama yapılabilecek hedefler incelenir ve mutasyona aday bir hedef belirlenir. Belirlenen hedef o an incelenen aday filodan herhangi bir hedef çıkarılmadan eklenebiliyorsa eklenir.

Eğer aday hedef yoksa, tekrar bir aday filo rasgele olarak seçilir ve bu filonun uçakları kullanılarak planlama yapılan bir hedef, planlamadan çıkarılır. Planlama yapılmamış hedeflerden, aday filo kullanılarak planlama yapılabilecek olanlar içinden, aday bir hedef belirlenir ve aday filoya yerleştirilmeye çalışılır.

İkinci mutasyon işleminin ilk mutasyon işleminden farkı, değişim yapılacak aday hedeflerin belirlenmesi basamağındadır. Hedefler arasındaki öncelik ilişkileri gereği, planlamaya eklenen yeni bir hedef, planlamanın değerinin doğrusal artması gibi bir sonucu sağlamamaktadır. Hatta, eğer öncelik ilişkilerine aykırı bir planlama yapılıyorsa, planlamanın değeri düşmektedir. Bu durumda, bireylerde ileriki nesillerde iyileşmeyi sağlamak maksadıyla, aralarında zaman bağı bulunan hedef gruplarının (alt zincirlerin) bireyden komple çıkarılıp yerine uygun (feasible) başka bir zaman bağı bulunan hedef grubunun planlamaya yerleştirilmesidir. İstenilen çıkarma işlemi yapıldıktan sonra, yerleştirme işlemi, o an incelenen birey göz önüne alınarak bireydeki planlamaya müsait kaynaklar ile aday hedef alt grubunun en iyi eşlenmesi BSA algoritması kullanılarak oluşturulur ve uygun bir eşlenme gerçekleştiriliyorsa, bu planlama, mutasyona uğramış birey olarak nüfusa eklenir. Şekil-6'da genel mutasyon yönteminin nasıl gerçekleştirildiği örnek bir birey üzerinde gösterilmektedir.

GA, tüm safhalarında uygun (feasible) çözümler üretecek şekilde tasarlanmıştır.

5.2 Zaman Planlaması Bölümü

Atama bölümünde kaynaklar ile hedefler arasında en iyi eşleşme gerçekleştirildikten sonra, zaman planlaması bölümünde kullanıcıdan alınan ve öncelik ilişkilerine göre hesaplanan bilgiler, oluşturulmuş planlamaya eklenir ve bir sorti planlaması tamamlanmış olur.

5.3 Dinamik Atama

İlk atama göz önüne alındığında, bütün kaynaklar (uçaklar) planlamaya müsait olduğundan tüm ilk planlama boyunca, eldeki kaynak sayısının herhangi bir an için kontrol edilmesi gerekli değildir. Ancak; ikinci ve sonrasında planlama yapılmak istendiğinde, planlamaya dahil olan kaynakların tamamı, planlandıkları hedeflere bağlı olarak farklı zamanlarda başka bir göreve hazır hale geleceklerdir. Bu da, iki ve sonrasındaki planlamalarda atama bölümleri oluşturulurken herhangi bir anda yapılan planlamanın uygun olup olmadığının, diğer kısıt kontrollerine ilaveten yapılması gerekliliğini ortaya koyar.

Mutasyon Öncesinde

Filolar:

1

2

3

4

5

6

90 89 88 7 10 1 34 26

82 82 82 79 78 77

13 14 15 16

72 71 70

69 68 67 66

40 41 42 2 19 7 90 6

48 48 48 51 52 53

98 97 96 95

58 59 60

61 62 63 64

1 2 1 3 2 1 4 2

3 3 3 1 3 1

2 2 3 1

4 2 1

2 4 3 3

Mutasyon Sonrasında

Filolar:

1

2

3

4

5

6

90 89 88 7 10 1 34 26

65 65 65 79 78 77

13 14 15 16

72 71 70

69 68 67 66

40 41 42 2 19 7 90 6

70 70 70 51 52 53

98 97 96 95

58 59 60

61 62 63 64

1 2 1 3 2 1 4 2

1 1 1 1 3 1

2 2 3 1

4 2 1

2 4 3 3

Şekil-6 : Genel Mutasyon Yöntemi

Çözüm teknikleri öncesi hazırlık safhalarını tamamlamak ve kullanılan çözüm tekniklerini gerçekleştirmek için oluşturulan program, MATLAB programlama dili ile kodlanmıştır. Bu çalışmada, problemin doğasından dolayı, daha önceden oluşturulmuş olan BSA ve GA yöntemlerini kullanan araç paketleri (toolboxes) kullanılmamış, istenilen yöntemleri problemin kısıtları doğrultusunda gerçekleştiren yeni BSA ve GA yöntemleri oluşturan kod yazılmıştır.

					0	0	0	...	09:59
					3	0	0	...	10:00
					3	3	0	...	10:07
					7	3	0	...	10:12
					8	3	0	...	10:25
					8	5	0	...	10:45
					8	5	1	...	11:23
					8	6	1	...	11:45
İlk Planlamada Planlamaya				Saat	8	6	2	...	12:00
Dahil Filo Sayısı					8	6	5	...	12:04

6. SONUÇ

HGE hazırlama problemi özellikle hareket ortamındaki zaman tahdidi göz önüne alındığında oldukça önemli bir konu olarak karşımıza çıkar. Hızlı ve etkin bir planlama gerçekleştirmek, değişiklik durumunda, değişikliğe adapte olmuş atamayı çabuk olarak elde edebilmek bu noktada planlayıcılara ve karar vericilere avantaj sağlar ve hareket ortamını daha iyi değerlendirmelerine olanak tanır.

Bu çalışmada HGE, global olduğu garanti edilmeyen ancak kabul edilebilir bir sürede kabul edilebilir iyilikte planlamayı hazırlayan bir yaklaşımla otomatik hale getirilmeye çalışılmıştır. İlk olarak, var olan hedef veri tabanında yer alan hedeflerden hangilerine planlama yapılması gerektiği belirlenmiş, daha sonra da bu belirlemeye zaman planlaması eklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] ARİFOĞLU, T. ve C. KUBAT. *Matlab ve Mühendislik Uygulamaları*, İstanbul, Alfa Kitap Evi, 2003.
- [2] BAPTISTE, P. ve C. LE PAPE. "Resource Constraints for Preemptive Job-Shop Scheduling", *Constraints* 3, 1998, 263-287.
- [3] BEASLEY, D. ve diğerleri. "An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals", *University Computing*, 15(2), 1993, 58-69.
- [4] BEASLEY, D. ve diğerleri. "An Overview of Genetic Algorithms: Part 2, Research Topics", *University Computing*, 15(4), 1993, 170-181.
- [5] CALHOUN, M. Kevin. *A Tabu Search for Scheduling and Rescheduling Combat Aircraft* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Ohio, Department of the Air Force Air University, 2000.
- [6] CASTRO, D. R. D. S. *Optimization Models for Allocation of Air Strike Assets with Persistence* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi), Monterey, Naval Postgraduate School, 2002.
- [7] GOODALE J. C. Ve G. M. THOMSON. "A Comparison of Heuristics for Assigning Individual Employees to Labor Tour Schedules", *Annals of Operations Research*, 128, 47-63, 2004.
- [8] HKT 379-1 Hava Kuvvetleri Temel Doktrini, Hv. Bas. Ve Neş. Md. Lüğü, Ankara, 1999.
- [9] HKY 143-1 (A) Taktik Hava Harekatı Talimnamesi, Hv. Bas. Ve Neş. Md. Lüğü, Ankara, 1999.
- [10] HKY 368-1 (A) Harekat Planlama Esasları Yönergesi, Hv. Bas. Ve Neş. Md. Lüğü, Ankara, 2002.
- [11] HKY 379-1-1 Hava Kuvvetleri Temel Doktrini Yardımcı Yayını, Hv. Bas. Ve Neş. Md. Lüğü, Ankara, 1995.
- [12] MT 145-1 TSK Müşterek Harekat Talimnamesi, Genelkurmay Basımevi, Ankara, 2001.

- [13] MY 145-1 Kara-Deniz-Hava İşbirliği Yönergesi (İşbir), Genelkurmay Basımevi, Ankara, 1989.
- [14] PINEDO Michael. *Scheduling Theory, Algorithms and Systems*, New Jersey, Prentice-Hall, 1995.
- [15] WINSTON, L. Wayne. *Operations Research Applications and Algorithms* (3. Baskı), California, Duxbury Pres, 1994.

DİNAMİK MÜHİMMAT İKMAL SİSTEMİ OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

Yusuf AKARDERE ^(a), Kemal LEBLEBİCİOĞLU^(b)

^(a) KKK,39ncu Mknz. P. Tüm. Topçu A. 4ncü Topçu Tb. Lefkoşa, KKTC, yusuf_akardere@yahoo.com

^(b) ODTÜ, Elektrik Elektronik Müh. Böl., Ankara, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Bir askeri hareket süresince mühimmat istekleri, yüksek varyansa sahip olabilen değişkenlerdendir. Belirsizlikler içeren bir askeri harekât boyunca, mühimmat ikmalinin koordinesi ve stratejik transfer kaynaklarının planlaması oldukça karmaşık bir süreçtir. Burada önemli olan husus; sabit olmayan, belirsiz istekleri karşılayabilecek etkin bir askeri ikmal sisteminin tesis edilebilmesidir. Bu çalışmada, hiyerarşik ikmal zincirindeki depolardan yapılacak optimum mühimmat transferlerini ortaya koyan bir model geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Probleme, global optimuma yakın çözümler üreten bir çözüm prosedürü ortaya konulmuştur. Kara Kuvvetleri birliklerinin barış zamanında veya herhangi bir askeri hareket esnasında ihtiyaç duyacağı mühimmat ihtiyacını, bu birliklerin hareket etkinliklerini kısıtlamadan karşılarken mevcut depolarda optimum miktarda ve tipte mühimmat bulundurulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Envanter Yönetimi, Lojistik, Mühimmat İkmali, Optimization, Stok Yönetimi

DYNAMIC AMMUNITION SUPPLY SYSTEM OPTIMIZATION RESEARCH

ABSTRACT

Demand for supplies, such as ammunition during a military operation is a random variable that may be subject to high variance. Coordinating the distribution of ammunition and scheduling strategic transportation resources during military contingency operations is a complex process. The challenge is to design an efficient military supply chain that satisfies uncertain, non-stationary demands. This research focuses on the development of a modeling framework that determines the optimal ammunition transfers to depots in military supply chain. We provide a solution procedure to the problem that performs very close to global optimal. We aim to keep minimum ammunition stocks in supply depots while responding army units' demand for ammunition during peace time or war time, without limiting their tactical activities.

Key words: Ammunition Supply, Inventory Management, Logistics, Optimizasyon, Stock Management

1. GİRİŞ

Mühimmat tedariki ve depolanması Kara Kuvvetleri Komutanlığı bütçesi içerisinde önemli bir yer tutar. Geleceğin muharebe sahasını iyi tahayyül etmek ve Kara Kuvvetlerinin vizyonunu sağlıklı bir şekilde ortaya koymak, bütün faaliyetlere yön verme açısından son derece önem arz etmektedir. Bu husus göz ardı edildiğinde ve tehdidin iyi algılanmadığı durumlarda, aşırı emniyet düşüncesiyle yapılan tedarik zamanla gereksiz stoklara neden olmaktadır.

Mühimmat ikmalinin gayesi; birliklerin ihtiyacı olan mühimmatı, taktik harekât planlarına tam zamanında azami destek sağlayacak şekilde ve yerde hizmete elverişli olarak bulundurmaktır.

Muharebe hizmet desteğinin planlama ve koordinasyonu için harekât alanında lojistik sistemin tesisi ve işletilmesini düzenleyen genel prensipler, hareket alanında bulundurulmasına yetki verilen stok seviyeleri ve bulundurulması emredilen ikmal maddelerinin en düşük düzeyde tutulmasını gerektirmektedir.

Mühimmat depolarında bulundurulacak olan mühimmat stok seviyelerini belirlerken göz önünde bulundurulması elzem olan husus birliklerin depolarında muharebe zafiyeti yaşamalarına sebep olmayacak mühimmat seviyesini bulundurmaktır. Mühimmat stoklarındaki azalma Türk Kara Kuvvetlerinin harekât etkinliğini zayıflatmamalıdır. Türk Kara Kuvvetlerinin harekât etkinliğini zayıflatmadan mühimmat stok seviyelerinde azami indirime gidebilmek için etkili stok yönetimine ihtiyaç vardır. Bunun yanı sıra, iyi bir ikmal sistemi gereksiz fazlalıklara meydan vermemelidir.

Gerek Türkiye’de gerekse yurt dışında yapılan pek çok çalışmada, ikmal sistemleri ve stok seviyelerinin belirlenmesi konularıyla ilgilenilmiştir. Hadley ve Whitin 1963 yılında dinamik istek problemlerine yönelik ilk çalışmalardan birini yapmışlardır. Çalışmalarında Poison dağılımına uygun olduğu bilinen sonlu envanter problemi çözümünü formüle etmişlerdir.

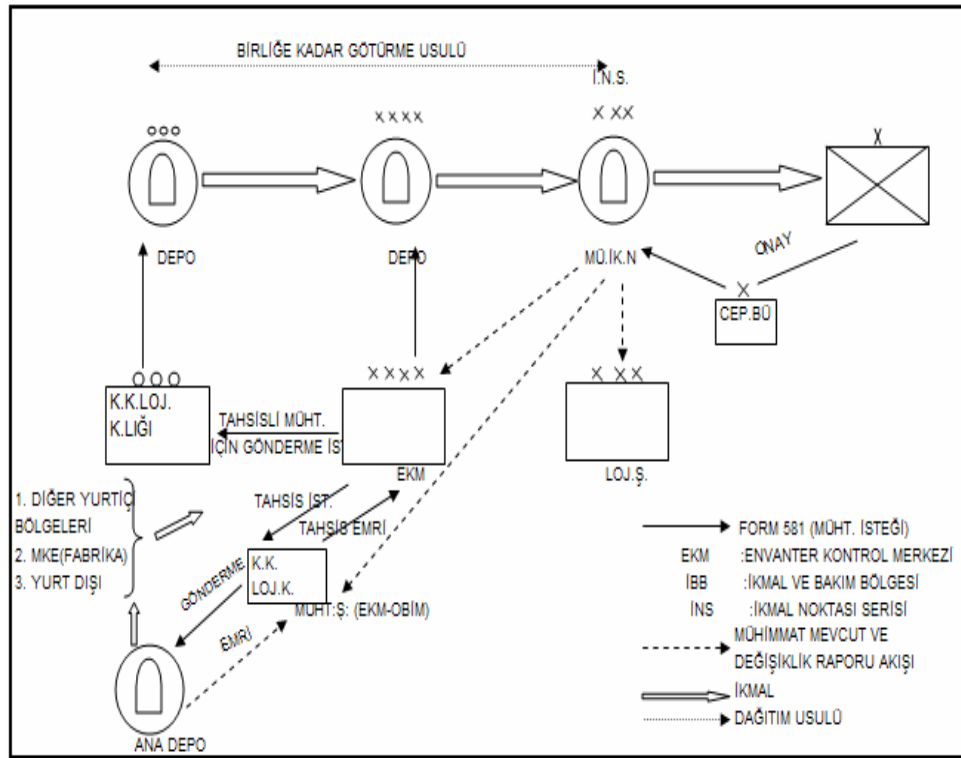
Karlin 1960 yılında yaptığı çalışmada, klasik Arrow-Harris-Marshak dinamik envanter modelinin bir uzantısı olan, istek dağılımı zamana göre değişkenlik gösteren, dinamik bir sistemi analiz etmiştir. Bu modelin temel karakteristiği zamana göre farklılık gösteren optimal envanter seviyelerini kantitatif usuller ile belirlenmesidir.

Kurt M. Bretthaver ve Murray J. Cote bir üretim sisteminde uzun dönem kapasite planlamasıyla ilgili çalışmada doğrusal olmayan programlamadan faydalanmışlardır. Üzerinde çalıştıkları üretim sistemindeki üretim kapasiteleri zamana göre değişiklikler göstermektedir. Çalışmada, kapasite değişiklerinin zaman ve miktarının belirlenmesi probleminin çözümü için iki doğrusal olmayan programlama modeli sunmuşlardır. Modellerin birisi toplam kapasite maliyetini minimize ederken diğeri kapasite maliyetlerini etkileyen kısıtlara bağlı kalarak ağırlıklı toplam üretim zamanları minimize etmektedir. Konveks olmayan problemde global optimum çözüme ulaşabilmek amacıyla dal sınır ve dış yaklaşma tekniklerini kullanmışlardır (Kurt M. Bretthaver ve Murray J. Cote,1995).

Yew Soon 2003 yılında askerî ikmal sisteminin stokastik yapısıyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Belirsiz ve sabit olmayan isteklerin mevcut olduğu askerî ikmal zincirinin

optimizasyonunu konu alan bu çalışmada senaryo tabanlı stokastik programlama yaklaşımını kullanmıştır. Bu çalışmada istek senaryolarında belirlenen zaman periyodundaki geçişlerin Markov Zincirlerine uygun olduğunu kabul etmiştir.

2. MÜHİMMAT İKMALİ



Şekil 1. Mühimmat İkmali Akış Şeması

Mühimmat ikmalinden gaye, ihtiyaç duyulan mühimmatı, ihtiyaç miktarında, istenen yerde ve zamanda bulundurmak olduğundan dağıtım ve transfer oldukça önem kazanmaktadır. Mühimmat ikmali, hiyerarşik yapıdaki üst depoların kendilerine bağlı alt depolara talep ettikleri mühimmat miktarının transferi şeklinde işlemektedir (Şekil 1).

Barişta mühimmat ikmalı, tatbikat ve eğitim atışlarında kullanılacak mühimmat ile, eksilen stok seviyelerinin tamamlanması için yapılır. Bariş dönemindeki ikmal ihtiyaçları savaş durumuyla karşılaştırıldığında oldukça düşük miktarlardadır. Birliklerin ihtiyaç duyacakları mühimmat miktarlarını tahmin etmek savaş durumuna göre çok daha kolaydır.

Savaşta mühimmat ikmalinin esası, Kıta Cephane Yüklerinden yapılan kontrollü sarfların bütülenmesidir. Savaş zamanında birliklerin ihtiyaçlarını tahmin etmek diğer bir deyişle kıta cephane yüklerindeki eksilmeleri tahmin etmek maksadıyla bir dizi

hesaplamalar yapılmaktadır. Birliklere icra ettikleri harekât çeşidine bağlı olarak tahsis edilecek namlu başı mühimmat miktarı ve birliklerin silah sayısı gibi değişkenler bu hesaplamaların yapılmasına esas teşkil etmektedir.

3. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde açıklanacak model, temel optimizasyon modeli olup sistemin tümünün optimizasyonu için kolordu depoları, ordu depoları ve Lojistik Komutanlığı seviyesi için ayrı ayrı çalıştırılmaktadır. Örneğin; Kara Kuvvetleri Komutanlığına bağlı 4 ordunun ve her orduya bağlı 3 kolordunun mevcut olduğu bir sistemde bu modelin, 12 defa kolordu depoları için, 4 defa ordu depoları için ve 1 defa da Lojistik Komutanlığı için olmak üzere toplam 17 defa çalıştırılması sonucunda tüm sistem optimize edilecektir.

3.1 Setler ve İndisler

K : Alt depolar seti, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

T : Optimizasyonun yapıldığı günler seti, $t \in \{1, 2, \dots, T\}$

İ : Mühimmat Tipleri Seti, $i \in \{1, 2, \dots, I\}$

3.2 Değişkenler

$M_{i,t}^U$: t günü üst depodan transfer edilen i tip mühimmat miktarı

$M_{i,0}^D$: Başlangıçta depoda bulunan i tip mühimmat miktarı

$M_{i,t}^{A_k}$: t günü k alt deposunun talep ettiği i tip mühimmat miktarı

g_i : i tip mühimmatı depoda bulundurma maliyeti

$K_{üst}$: Depoda normal maliyetle bulundurulabilecek mühimmat ağırlık miktarı üst sınırı(kg.)

p: Depoda bulundurma üst sınırını aşma üssel maliyet sabiti

L_i : Üst depodan i tip mühimmat transfer maliyeti

E : Sabit maliyetler

3.3 Bağlı Değişkenler

3.3.1 Bir sonraki gün depoda bulunacak mühimmat miktarı

$$M_{i,(t)}^D = M_{i,(t-1)}^D + M_{i,t}^U - \sum_k^K M_{i,t}^{A_k} \quad (1)$$

3.3.2 Depoda mühimmat bulundurma maliyeti

$$C_{i,t}^D = \begin{cases} M_{i,t}^D \cdot g_i & , M_{i,t}^D \leq K_{üst} \\ (K_{üst} \cdot g_i) + (M_{i,t}^D - K_{üst})^p & , diğer durumlar \end{cases} \quad (2)$$

3.3.3 Üst depodan mühimmat transfer maliyeti

$$C_i^U = (M_{i,t}^U * L_i) + \min((M_{i,t}^U * L_i), 1) * E \quad (3)$$

3.4 Amaç Fonksiyonu

$$\min \sum_t \sum_i (C_{i,t}^D + C_{i,t}^U) \quad (4)$$

3.5 Kısıtlar

$$M_{i,t}^D \geq \sum_k M_{i,t}^{A_k} \quad (\forall i \in \dot{I}, \forall t \in T, \forall k \in K) \quad (5)$$

$$M_{i,t}^U \geq 0 \quad (\forall i \in \dot{I}, \forall t \in T) \quad (6)$$

$$M_{i,t}^A \geq 0 \quad (\forall i \in \dot{I}, \forall t \in T) \quad (7)$$

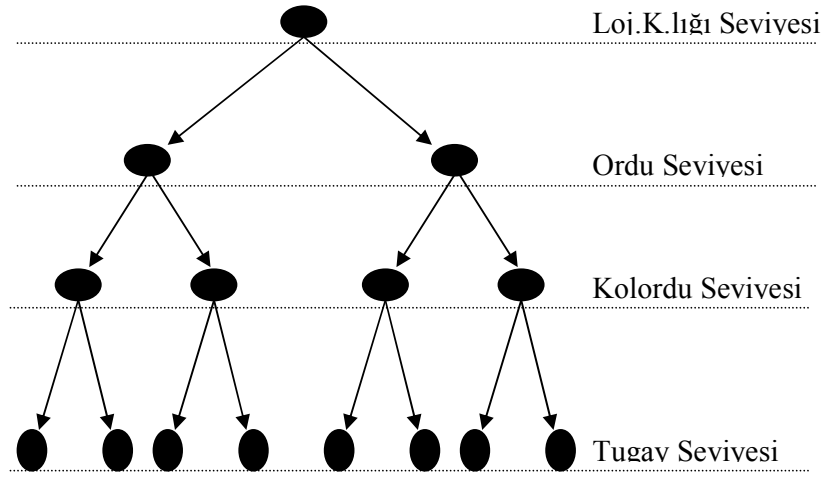
3.6 Formülasyonun Açıklaması

Bir sonraki gün depoda bulundurulacak mühimmat miktarı (1); bir önceki gün depoda kalan mühimmat miktarı ile o gün üst depodan transfer edilen mühimmat miktarlarının toplamından yine o gün içerisinde alt depolara transfer edilen toplam mühimmat miktarının çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Her deponun belirli bir depolama kapasitesi mevcut olup bu kapasitenin tonaj olarak bir üst sınırı bulunmaktadır (Küst). Depoda mühimmat bulundurma maliyeti (2), depoda mevcut mühimmatın toplam ağırlığının deponun tonaj kapasitesini aşıp aşmamasına göre farklılık göstermektedir. Mevcut mühimmatın toplam ağırlığı bu sınırı aşmadığı durumlarda depoda bulundurma maliyeti, her cins mühimmatın toplam ağırlığı ile yine her cins mühimmatın depoda bulundurulması maliyetinin çarpımına eşittir. Sınırın aşılması durumunda ise depoda bulundurma maliyeti; üst sınıra kadar olan mühimmat ağırlığı ile mühimmat bulundurma maliyetinin çarpımına, üst sınırı aşan mühimmat ağırlığı üzeri p kadar maliyetin eklenmesiyle elde edilecektir. Üst depodan mühimmat transfer maliyeti (3) transfer yapılıp yapılmamasına bağlıdır. Eğer bir transfer yapılacaksa maliyet; üst depodan transfer yapma sabit maliyetine, transfer edilen her cins mühimmat miktarı ile yine her cins mühimmatın taşıma maliyetinin çarpımı sonucu elde edilen maliyet eklenmesiyle hesaplanacaktır.

Amaç fonksiyonu (4) T günlerinde İ mühimmatlarını depoda bulundurma maliyetleri ve üst depodan transfer etme maliyetlerinin toplamının minimize edilmesini ifade etmektedir. Birinci kısıt (5) T günlerinde depoda bulunması gereken İ mühimmatlarının tüm alt depoların toplam isteğine eşit veya daha fazla olmasını gerektirmektedir. İkinci kısıt (6) ve dördüncü kısıt (7) ise üst depodan yapılacak transferlerin ve alt depoların taleplerinin sıfıra eşit veya daha fazla olmasını gerektirmektedir.

4. SİSTEMİN OPTİMİZASYONU

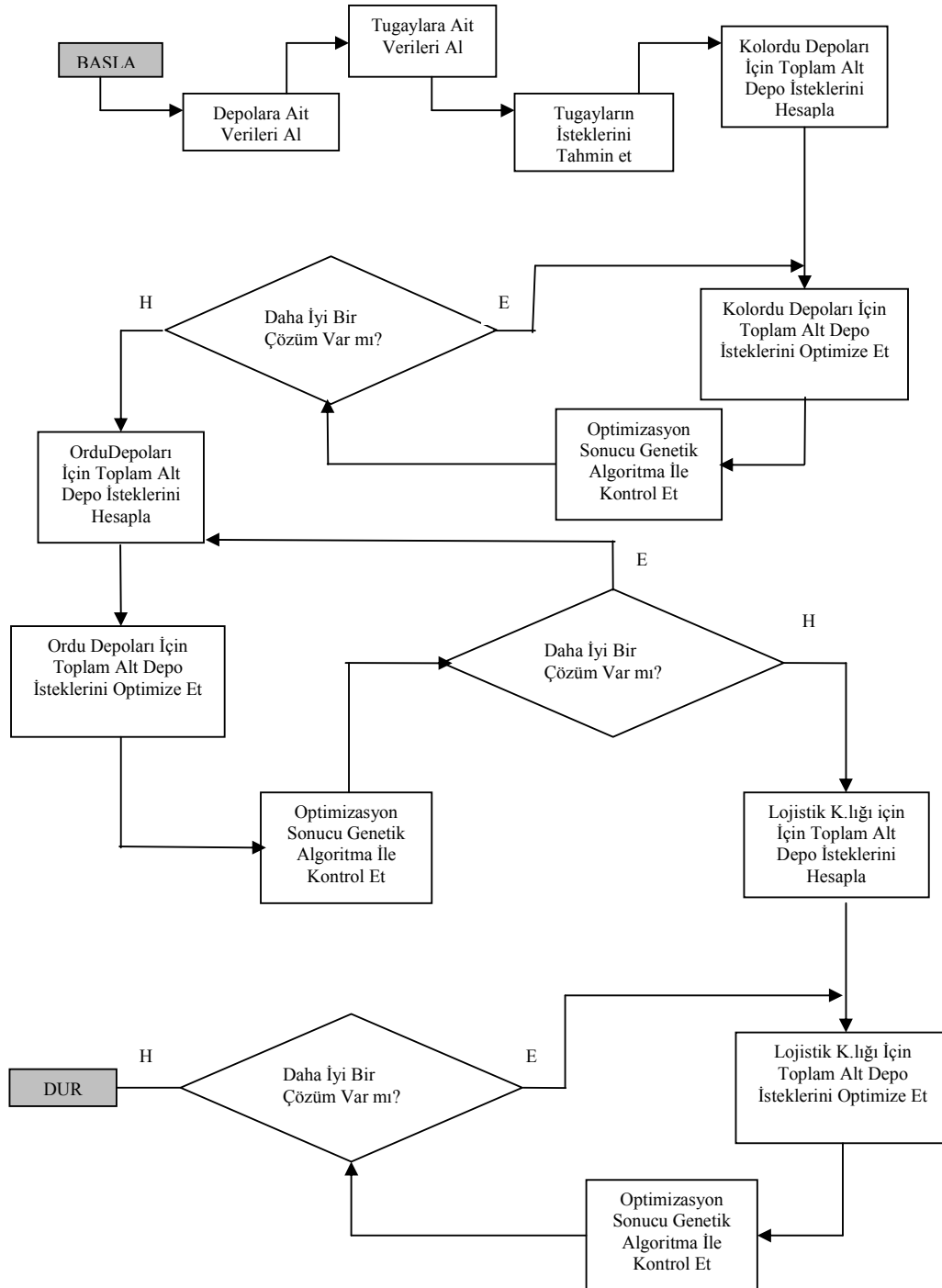
Bu çalışmada yapılmak istenen optimizasyon bir maliyet optimizasyonudur. Şebeke yapılı dağıtım sistemlerinde maliyeti düşürmenin önemli anahtarlarından bir tanesi hiyerarşik malzeme dağıtım zincirini bir bütün olarak kontrol etmektir. Sistemin bir bütün olarak optimize edilebilmesi için 3 seviye halinde, birbirine bağlı optimizasyonlar yapılması gerekmektedir.



Şekil 2. Mühimmat İkmal Seviyeleri

İkmal sistemi bir bütün olarak dikkate alınıp ikmal depolarındaki stok miktarları buna göre belirlenmeye çalışılırsa stok maliyetlerinde önemli miktarda bir düşüş sağlamak mümkün olacaktır. Ancak sistemin bir bütün olarak dikkate alınmasının oldukça zor olması, talep tahminlerinin ana merkezden değil de lokal dağıtım merkezlerinden yapılması gibi ilave tedbirler gerektirmektedir. Bu çalışmada yapılan hesaplamalarda da mühimmat talep tahminleri her depo seviyesinde lokal olarak yapılmaktadır.

Kara Kuvvetleri Mühimmat İkmal Sisteminde farklı seviyelerde depolama yapılmaktadır. Tüketici ile yani muharip birliklerle karşı karşıya olan depo seviyesindeki stok sistemine bağlı olarak, mühimmat miktarı transfer etme miktarına düşerse veya transfer etme zamanı gelirse, bu depo seviyesinde yeni bir transfer isteğinde bulunmaktadır. Bu transfer istekleri bu deponun bağlı olduğu üst depolama seviyesi tarafından dikkate alınmaktadır.



Şekil 3. Sistem Optimizasyonu Akış Diyagramı

Yapılan transferlerle birlikte istenilen mühimmat, bir depolama seviyesinden bir alt depolama seviyesine gönderilir ve bunun doğal sonucu olarak mühimmat gönderen seviyenin stokları eksilir. Alt depoların eksilen stoklarını tamamlayan depolar kendi stoklarını tamamlayabilmek için aynı süreci işletir. Sistemdeki en üst depolama seviyesi ise kendi eksilen stoklarını tamamlayabilmek için ihtiyaç duyacağı mühimmatı iç ve dış üretim kaynaklarından tedarik eder.

Program kodu çalıştırıldığında öncelikle tugayların mühimmat isteklerine yönelik hesaplamalar yapılmakta, müteakiben kolordu deposu seviyesinde optimizasyon tamamlanmakta ve kolorduya ait tugaylara yapılacak mühimmat transferlerinin günü ve miktarları belirlenmektedir. Tüm kolordular seviyesinde optimizasyonların tamamlanmasıyla birinci seviyede optimizasyon da tamamlanmış olmaktadır. Birinci seviyede optimizasyon yapılacak depoların fazla oluşu nedeniyle bu seviye en uzun işlem zamanını alan seviye olmaktadır. Birinci seviye optimizasyonunun tamamlanmasıyla ikinci seviye optimizasyon yani ordu depoları seviyesinde optimizasyon safhasına geçilmektedir. Kolordu depoları için yapılan optimizasyonlardan faydalanılarak ikinci seviyede optimizasyon yapılmaktadır. Bu seviyede yapılacak optimizasyonların sayıca az olması nedeniyle işlem süresi nispeten daha kısa sürmektedir. Ordu depoları için yapılan optimizasyonun tamamlanması ile birlikte son seviye olan üçüncü optimizasyon seviyesine gelinmektedir. Bu seviyede ise sadece bir adet optimizasyon Lojistik Komutanlığı seviyesinde yapılmakta ve böylece tüm sistemin optimizasyonu tamamlanmaktadır.

Çalışmada klasik envanter tahsis probleminin dinamik bir versiyonu ele alınmıştır. Dinamik transfer modeli ile iki kararın verilmesine çalışılmıştır. Bu kararlardan birincisi yapılacak transferlerin zamanları, ikincisi ise transfer edilecek mühimmatın miktarlarının ne olacağıdır. Dinamik problemi çözüme ulaştıracak bir algoritmaya yer verilmiş, ayrıca problemi global optimuma çok yakın sonuçlar verecek şekilde çözen bir çözüm prosedürü sunulmuştur.

Problemlerin çözümünde, Matlab kodu olarak hazırlanmış hazır kod parçaları (SolvOpt(SOLver for OPTimization)) ile birlikte yine Matlab'a ait genetik algoritma araç kutusundan faydalanılmıştır. Genetik algoritma ile çözüm lokal optimumlardan kurtarılırken, çözücü (SolvOpt (SOLver for OPTimization)) ile işlem süresinin kısaltılmıştır. Çözüm algoritması çok sayıda m.dosyası şeklinde kodlanmış, bir ana program kodu vasıtasıyla fonksiyon, komut ve veri içeren m.dosyaları kontrol altına alınmıştır.

5. SONUÇ:

İkmal sistemi optimizasyonu uygulamaları barış zamanı ve savaş zamanı olmak üzere iki farklı durum için yapılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucu elde edilen mühimmat transfer tipleri ve miktarları matrisleri üç farklı kategori teşkil etmektedir. Bu kategorilerin oluşumuna etki eden faktör, taşıma maliyeti (özellikle sabit maliyetler) ile bulundurma maliyetlerinin dengesi olmuştur. Maliyet kalemlerinden depolama maliyetinin, taşıma maliyetine oranla çok yüksek olduğu uygulamalarda optimizasyon algoritması, depoda malzeme bulundurulmasını önlemek amacıyla, alt depoların

isteklerinin günlük olarak karşılandığı çözümler üretmektedir. Toplam maliyete etki eden taşıma maliyeti ve depolama maliyetinin dengeli olması durumunda ise optimizasyon algoritması belirli aralıklarla transferlerin yapıldığı çözümler üretmektedir. Bu transfer aralıklarının azalıp çoğalması da yine taşıma ve bulundurma maliyetlerinin birbirlerine oranına göre değişmektedir. Bulundurma maliyetinin nispeten yüksek olduğu durumlarda transfer aralıkları azalırken transfer miktarları düşmektedir. Bulundurma maliyetlerinin nispeten düşük olduğu durumlarda ise transfer sayıları azalmakta ve transfer edilen mühimmat miktarları artmaktadır.

Bu çalışmada tedarik planlamasına iştirak eden seviyelerde planlamaya yardımcı olabilecek bir stok kontrol uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama ile barış zamanında veya harp zamanında ihtiyaç duyulacak mühimmat miktarına ilişkin öngörülerde bulunabilmektedir. Bu öngörüler ve edinilen tecrübeler doğrultusunda; yurt içinde üretilebilme ve yurt dışından tedarik edilebilme durumu dikkate alınarak, asgari yeterli miktarda mühimmat stoklanması, bu mühimmatın merkezi bölgelerde depolanması ve gerektiğinde bu stokları transfer ederek, istenilen yer ve zamanda ihtiyaç duyulan mühimmatın hazır bulundurulmasına imkân verecek bir stok planlaması yapılabilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] BEDDOES, M.W., *Logistical Implications of Operational Maneuver From The Sea*(Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Naval Post Graduate School,1997.
- [2] BERTAZZI L. ve Maria Grazia Speranza. "Minimizing Logistic Costs in Multistage Supply Chains", *Naval Research Logistics*, Cilt 46, Sayı 4,1999, 399-417.
- [3] GUE, Kevin R. "A Dynamic Distribution Model For Combat Logistics", *Computers and Operations Research*,Cilt 30, Sayı 3, 2003, 367-381.
- [4] HUNG W. Y., Kucherenko S.,Samsatli N.J.,Shah N. "A Flexible and Generic Approach to Dynamic Modelling of Supply Chains", *Journal of the Operational Research Society*, Cilt 55, Sayı 8, 2004, 801-813.
- [5] JANSEN D.R., Van De Vorst, Van Weert A. "Multi-compartment Distribution in the Catering Supply Chain", *International Transactions in Operational Research*, Cilt 5, Sayı 6, 1998, 509-517.
- [6] Kara Kuvvetleri Lojistik Faktörler Yönergesi (KKY 54-5). Genelkurmay Başkanlığı Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, 1994.
- [7] Kolordu Ve Orduda Muharebe Hizmet Desteği (KKT 54-2). Genelkurmay Başkanlığı Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, 1995.
- [8] Muharebe Hizmet Desteği (KKT-100-10). Genelkurmay Başkanlığı Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, 1991.
- [9] NASH S.G. ve A. SOFER, *Linear and Nonlinear Programming*, Singapore, McGraw Hill, 1996.
- [10] SHERBROOKE, Craig C., *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi Echelon Techniques*, Wiley, New York, 1992.
- [11] SolvOpt Main Page. The Solver for Nonlinear Opimization Problems, <www.unigraz.at/imawww/kuntsevich/solvopt>
- [12] THE MATH WORKS. Optimization Toolbox for Use with MATLAB, <[http://www.mathworks.com./](http://www.mathworks.com/)>.
- [13] Tugay ve Tümen de Muharebe Hizmet Desteği (KKT-54-1). Genelkurmay Başkanlığı Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Ankara, 1994.

SAVAŞ VE BARIŞ ZAMANINDA OPTİMİZE LOJİSTİK YÖNETİMİ SİSTEMİ

Kerem MUTLU^(a), Aykut SET^(a), Cem BAYTOK^(a)

^(a)ODESA Bilişim Teknolojileri Ltd., Bilkent Cyberpark, ANKARA

{kmutlu, aykut, cem}@odesa.tc

ÖZ

Savaş ve barış zamanında birliklerin ihtiyacı olan mühimmat ve malzemeler, mobil veya sabit lojistik merkezlerinden ulaştırılmaktadır. Yüksek operasyon verimliliği sağlayabilmek için ise birliklerin ihtiyaçlarının önceden doğru olarak tahmin edilmesi, belirlenen ihtiyaçlara göre optimum lojistik merkezlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu lojistik merkezlerinin konumları ne olmalı, hangi birliklere hangi malzemeleri göndermeli ve ne zaman sevkiyat yapılmalı gibi sorular için optimize planlar hazırlanmalıdır. Ayrıca birliklerin taleplerinin tüm verilerden yararlanılarak tahmin edilmesi ve tutulan envanter miktarlarının olasılıkları da göz önüne alarak optimize edilmesi gerekmektedir.

Yalnız hareket lojistiğinin doğası gereği, optimize lojistik sisteminin barış zamanının yanı sıra savaş zamanında da etkin çalışan bir sistem olması için ürettiği planları dinamik olarak yenileyebilen ve yeni gelen talepleri optimum olarak karşılayabilen bir sistem olması gerekmektedir. Böylece hareket sırasında meydana gelebilecek acil ihtiyaçların minimum maliyet ve eforla karşılanması sağlanacaktır.

Bu çalışmada; bahsedilen dinamik, adapte olabilen bir optimizasyon sisteminin, sivil sektörde gelişmekte olan tedarik zinciri optimizasyonu uygulamalarının adaptasyonu ile gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harekat Lojistiği Yönetimi, Optimizasyon, Tedarik Zinciri Yönetimi

OPTIMIZED LOGISTICS MANAGEMENT SYSTEM FOR WAR AND PEACE TIME

ABSTRACT

Equipments and munitions that needed by military units in time of war and peace are supplied by mobile or stationary logistics centers. To obtain high operation efficiency, it is necessary that unit requirements are forecasted correctly and logistics centers are located optimally upon these forecasted requirements. The optimized plans should be prepared answering questions like, where these logistics centers should be located, which equipments should be sent to each unit, and when the transportation should take place. Moreover, the demand forecasts should be based on all past data and the optimization should consider stochastic inventory cases.

Due to the nature of operations logistics, beside being an effective sistem for peace time scenarios, the optimized logistics system should also work in time of war effectively via

having the ability of updating the plans dynamically. As a result, any urgent demand during an operation would be supplied by minimum cost and effort.

In this study, it is shown that as mentioned above a dynamic and adoptable optimization system can be obtained by adopting a developing supply chain optimization application for private sector.

Keywords: Logistics, Logistics Management System, Military Logistics, Operations Logistics, Optimization, Supply Chain Management

1. GİRİŞ

“Lojistik bir ordunun can damarıdır. Savaş yöntemlerinin değişmesi tedarik yöntemlerinin değişmesini de etkilemektedir”[8]. Bu bağlamda, zaman ve teknoloji ilerledikçe orduların lojistik ihtiyaçlarının nasıl karşılanacağı ve ekonomik çözümlerin nasıl elde edileceği de değişmektedir. “Özellikle tedarik zincirlerinin genişlemesi, kompleksleşmesi, globalleşmesi ve dinamikleşmesi sonucunda tüm lojistik faaliyetlerinin bilgisayar sistemleri olmadan bütün olarak optimizasyonu, değişikliklere en iyi adaptasyonu ve koordine edilmesi zorlaşmıştır. Benzer bir şekilde, artan mühimmat çeşitleri, gelişen ve globalleşen hareketler, hareket lojistiğinin de kompleksleşmesini ve bütünü gören planlama ihtiyacını doğurmaktadır. Eldeki bütün kaynakların daha etkili ve ekonomik bir şekilde kullanılması ise, daha etkili ve optimizasyon içeren planlamaların yapılması ile kolaylaşacaktır”[5]. Bu değişimler ve özel sektör için sürekli gelişim içerisinde olan tedarik zinciri yönetimi ile ilgili bilgisayar uygulamaları dikkate alındığında, askeri lojistik yönetimi uygulamaları için de günümüz gereklerine uygun optimize lojistik yönetimi sistemlerinin geliştirilebileceği gözlemlenmiştir.

ABD ve NATO bünyesindeki silahlı kuvvetlerde, raftan hazır alım teknolojilerin - COTS (commercial off the shelf)- kullanımının yaygınlaşması, ülkemiz için de benzer tercihleri ön plana çıkarmaktadır. Özellikle, sivil uygulamalar ile özdeş veya büyük benzerlik içeren iş süreçlerinde, COTS kullanımı silahlı kuvvetler için idame edilmesi kolay, ekonomik ve etkin bir kullanım tarzıdır. Sivil alandaki tedarik zinciri, silahlı kuvvetlerdeki lojistik sistem ile benzerlikler içermektedir. Bu benzerliğin en önemlisi, silahlı kuvvetler için Entegre Lojistik Destek bileşenlerinin çoğunun, sivil alandaki tedarik zinciri kapsamında yer almasıdır. Bunlar içerisinde bakım, ikmal, ulaştırma, depolama, tedarik faaliyetleri; Halen dünyada “Gelişmiş Planlama ve Optimizasyon” sistemleri veya “Tedarik Zinciri Optimizasyonu” sistemleri adları altındaki sistemler ile optimize bir şekilde planlanmaktadır.

Tedarik zinciri yapısı; özel sektör ve askeri uygulamalar için de yapı itibarı ile benzerlik arz etmektedir. Dolayısı ile özel sektör için geliştirilen bilgisayar uygulamaları küçük adaptasyonlar ile askeri uygulamalar için kullanılabilir. Bu çalışmada bu savımızı doğrulayacak açıklamalar ve örnek uygulamalar yer almaktadır. Örnek uygulamaların gösterileceği yazılım paketi olarak özel sektör için geliştirilmiş Op-Tr yazılımı kullanılmıştır. [7] Çalışmanın amacı; savaş ve barış zamanları için değişmekte olan askeri stratejilere paralel olarak gelişmekte olan tedarik zinciri karar destek sistemlerinin adaptasyonu ile optimize lojistik yönetimi sistemlerinin

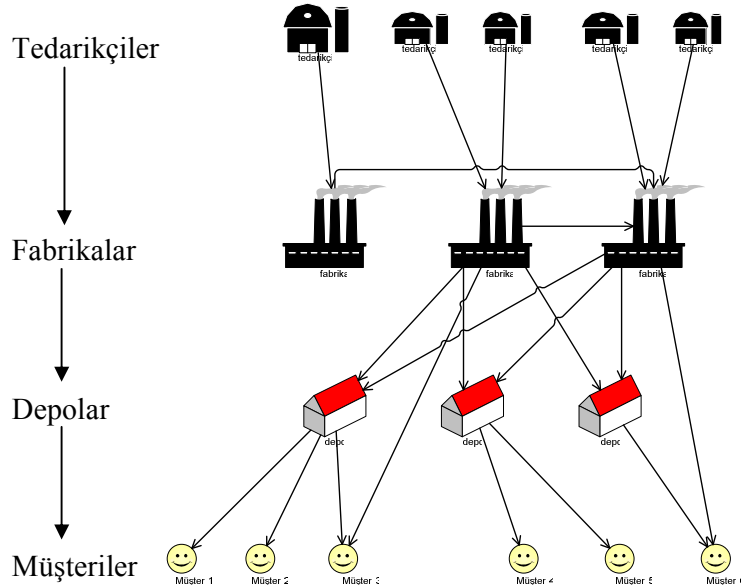
geliştirilebileceğini ve bu sistemlerin kullanılmasının ne gibi faydalar sağlayacağını göstermektir.

Aşağıda sunulan bölümlerin içerikleri özetlenirse: 2. bölümde tedarik zinciri ve lojistik yönetimi problemleri tanımlanmıştır. 3. bölümde bu problem çözümleri için ne gibi yöntemlerin uygulandığı ve iki problemin benzerliklerinin ve farklılıklarının karşılaştırması yer almaktadır. 4. bölümde çalışmalar için kullanılan yazılım paketinin ve yeteneklerinin kısaca anlatılmasının ardından örnekleme için kullanılacak yapı ve veriler tanımlanacaktır. Daha sonra bu yapı için barış zamanı ve savaş zamanı durumları için senaryolar tanımlanarak çözümler verilmiştir. 5. bölümde ise çalışma ile ilgili çıkarımlar değerlendirilmiştir. Son olarak 6. bölümde konu ile ilgili ileride ne gibi çalışmalar yapılabileceği dile getirilmiştir.

2. PROBLEM TANIMI

2.1. Sivil Sektörde Tedarik Zinciri Problemi

Tedarik zinciri, bir ürünün son kullanıcısına ulaşmaya kadar geçirdiği tüm süreçleri kapsar. Bu zincirin bileşenleri: hammaddelerin tedarikçilerden alınması, gerekiyorsa bu hammaddelerin ara depolarda depolanması, daha sonra bu hammaddelerin fabrikalarda işlenmesi ile yarı ürün ve son ürünlerin üretilmesi, üretilen bu ürünlerin ana depolara sevkiyatı, ana depolardan dağıtım depolarına ürünlerin transfer edilmesi ve müşteri taleplerinin bu depolardan karşılanması olarak özetlenebilir. Bu yapı basit hali ile Şekil 1'de şematize edilmiştir.



Şekil 1. Tedarik zincirinin genel gösterimi.

Bu yapı dikkate alındığında, tedarikçilerden fabrikalara çeşitli hammaddeler ve yarı ürünler transfer edilmekte; fabrikalardan depolara ya da doğrudan müşterilere son ürünlerin gönderilmesi ve de depolardan müşterilerin siparişlerinin karşılanması söz konusudur. Bunun haricinde gerçek problemlerde, tedarikçilerden gelen hammaddelerin depolandığı ara depolar ya da son ürünün müşteriye ulaştırılmasına

kadar birden fazla depodan (ana depo, bölge depoları, dağıtım depoları, vb.) geçmesi gibi durumlar sözkonusu olabilir. Ayrıca, depoların ve fabrikaların kendi aralarında da ürün transferi yapmalarına olanak sağlayan yapılar mevcuttur. Diğer taraftan, sistem içerisinde müşterilerden gelen hatalı malların katılması ile yapı oldukça karmaşıklaşacaktır.

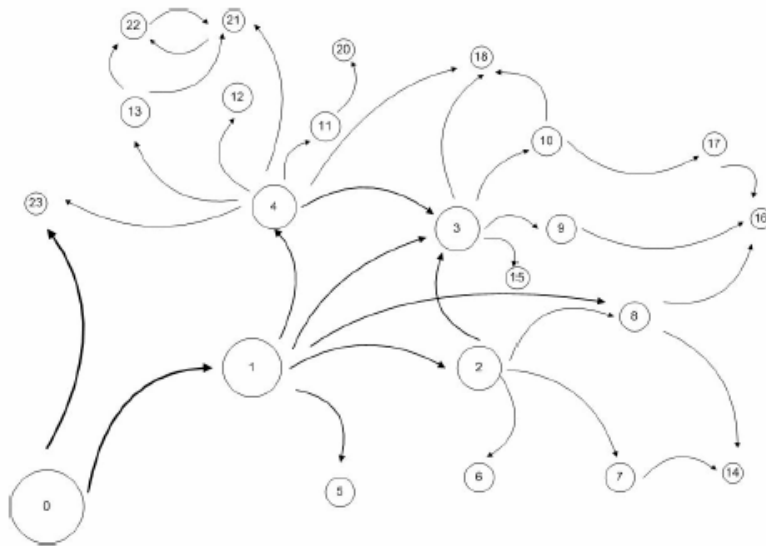
Yukarıda bahsedilen tedarik zinciri yapısında karlılığı artırmak için yöneticilerin ve planlayıcıların cevap aradıkları sorular şunlar olabilir:

- Hangi tedarikçilerden hangi hammaddelere hangi zamanlarda talep etmeliyim?
- Depolar hangi büyüklükte olmalı ve nerelerde açmalıyım?
- Hangi müşteriye hangi depodan hizmet vermeliyim?
- Fabrikalardaki ana üretim planları nasıl olmalı?
- Tedarikçilerden fabrikalara ve fabrikalardan depolara hammadde ve ürün akışı nasıl bir plan dahilinde gerçekleşmeli?
- Depolarda nasıl bir araç filosu bulundurmalıyım?
- Depolardan müşterilere hangi araçlarla nasıl bir yükleme planı ve nasıl bir rota ile servis sağlamalıyım?

Bu sorulara nasıl cevaplar bulunacağı ile ilgili açıklamalar 3.1. bölümde yapılmıştır.

2.2. Askeri Uygulamalarda Harekat Lojistiği Problemi

Çıkış noktası askeri uygulamalar olduğu için, lojistik kavramı askeri bir terim olarak benimsenmiştir. Lojistik probleminin harekat alanındaki uygulamaları; her sınıf malzemenin tedarik edilmesi, depolanması, sevkiyat ve dağıtımının yapılması; personel sevkiyatı, tahliyesi ve sıhhiye hizmetleri; depoların (ve diğer yapıların) kurulması – istihkam-, sistemlerin bakımı, işletilmesi ve intikali; ve servis hizmetlerinin sağlanması gibi konuları kapsar. Bir askeri depodan birliklere olabilecek ulaştırma ağı ve malzeme/personel hareketlerinin şematik hali aşağıdaki şekildeki gibi olabilir.



Şekil 2. Lojistik ağının genel gösterimi

Harekat lojistiği ile ilgili kararlar vermek durumunda olan planlayıcı ve yöneticilerin cevap aradıkları hususlar şöyle özetlenebilir:

- Depolar hangi büyüklükte olmalı ve nerelerde kurulmalı?
- Malzemeler nerelerden ne zaman tedarik edilmeli?
- Harekat anında personel hareketlerini minimum maliyetle (maliyet, zaman, risk, tehdit, vb. faktörlerin bir fonksiyonu olabilir) gerçekleştirecek plan nasıl olmalı?
- Ana depolardan dağıtım depolarına ne zaman hangi malzemeler transfer edilmeli?
- Dağıtım depolarından birliklere malzeme dağıtımını nasıl bir plan ve rota dahilinde gerçekleştirilmeli?
- Askeri fabrikalarındaki ana üretim ve diğer ikmal planları nasıl olmalı?
- Sahra hastaneleri hangi büyüklükte olmalı ve nerelerde kurulmalı?
- Harekat sırasında nerelere sahra hastaneleri kurulmalı, nerelere geçici depolar açılmalı?
- Harekat planı çerçevesinde bir yerden başka bir yere sevk edilecek birlikler ve mühimmatlar hangi rotaları takip etmeli?
- Hangi birimlerde ne tür bir araç filosu bulundurulmalı?
- Sevkiyatların yapılacağı araçlar için yükleme/boşaltma planları nasıl olmalı?
- Harekat anında, anlık değişimlere dinamik bir şekilde, optimum uyum sağlayacak planlama nasıl yapılabilir?

Genel olarak harekat lojistiği kavramı sivil sektör için tedarik zinciri uygulamaları ile benzerlik göstermektedir. Farklı olarak; harekat lojistiğinin barış ve savaş senaryoları için farklılıklar arz etmesi, savaş senaryolarında ağ yapısının ve taleplerin çoğunlukla harekatı planlayan yöneticilerin inisiyatifine bağlı olarak sürekli değişkenlik göstermesi söz konusudur. Bu durumda, dinamik olarak, planlamaların hızlı bir şekilde güncellenerek yeni çözümlerin üretilmesi gerekmektedir.

Konu ile ilgili çözüm yöntemleri 3.2. bölümde anlatılmıştır.

3. ÇÖZÜM METODOLOJİSİ

3.1. Tedarik Zinciri Optimizasyonu

Tedarik zinciri optimizasyonu çözümlerinde sistemin bir büyük model ile çözülemeyecek kadar büyük ve kompleks olması sebebiyle, çözüm mantıklı parçalara bölünüp, entegre bir şekilde optimizasyonlar yapılmalıdır.

İlk olarak planlaması yapılacak olan taleplerin tahmin edilmesi veya belirlenmesi gerekir. Bunun için matematiksel modeller ve kullanıcı tarafından hesaba katılması gereken parametreler kullanılarak, geçmiş verilerden gelecekte talebin ne olabileceği ve bu tahminin istatistiksel hata payları hesaplanır. Matematiksel model olarak ise en basit “Moving Average” tekniğinden, giderek kompleksleşen Box-Jenkins [2] tekniklerine kadar geniş bir yelpazedeki modeller düşünülebilir.

Talep tahminleri yapıldıktan sonra tamsayı programlama modelleri kullanılarak, optimum depo ve aktarma noktalarının nerelerde olması gerektiği ve hangi müşterilere hizmet vereceği yani dağıtım ağı belirlenir. Bu noktada problemin boyutu tamsayı programlama çözümleri ile çözülemeyecek kadar büyük ise, özelleştirilmiş sezgisel (hüristik) yöntemlerin uygulanması da gerekmektedir. [9] Belirtilen model ile

belirlenecek ağ tasarımı için ise, stratejik düzeyde kapasite tanımlarının yapılması gerekmektedir. Ayrıca dağıtım açısından istenilen bir müşteriye en fazla x saatte ulaşabilme vb servis kalitesini belirleyen kısıtlar da modellere eklenebilir.

Dağıtım ağı belirlendikten sonra üretim ve dağıtım kapasitelerine göre ürünlerin nerelerde üretileceği, nerelerden ikmal edileceği ve hangi kanallardan depolara aktarılacağı optimum ve minimum maliyetli olacak şekilde belirlenmelidir. Hazırlanan optimum planlar daha önceden yapılan tahminlere dayandığından, bu tahminlerin değişmesi durumunda planları optimum olarak güncelleyebilmek esastır. Bu noktada Lineer Programlama modeli kullanılarak toplam üretim ve dağıtım maliyetlerini en aza indirecek seçenek bulunabilmekte, bu lineer programlama modeli sonuçları değişen taleplere kısa sürede ve özellikle optimum olarak adapte edilebilmektedir. Bu modellerin en belirgin dezavantajı ise doğrusal olmayan metriklerin modellenmesinde yetersiz kalmalarıdır. Örneğin, kurulum ve ayarlama zamanları birim başına değil, grup başına belirlendiğinden kesikli maliyet fonksiyonları doğurmaktadır. Bunlara ek olarak, ayrıca kaynakların kapasite kısıtları belirlenirken, genel olarak toplam kapasitelerin girilmesi, maliyetlerin ortalamalara ve konsolidasyonlara dayanması, modellerin gücünü düşürebilmektedir.

Lineer Programlama modellerinde belirtilen artı özelliklere rağmen modelin boyutları sınırlı olduğundan, planlamalar haftalık veya aylık daha genel zaman aralıkları için yapılmaktadır. Bu yüzden haftalık veya aylık olarak kapasite sınırları içerisinde çıkarılmış plan baz alınarak, sevkiyat ve envanter planlaması yapılır. Envanter planlaması kapsamında talepler rassal (stokastik) olarak ele alınarak, belirlenen performans kriterini sağlayacak optimum envanter seviyesi (minimum ve maksimum stok seviyeleri) hesaplanır. [10] Barış zamanı için, haftalık/aylık frekanstaki planların; örneğin, yirmi gün sürecek olan bir hareket planına uyarlanması durumunda gün/saat frekanslarına inmesi mümkündür.

Sevkiyat ve rota planlamasında ise, gerçekleşen taleplerin minimum maliyetle dağıtımı için rotalar, paletleme ve yükleme planları çıkartılır. Araç rotalama probleminin NP-Hard [13] olmasından dolayı makul sürelerde kesin optimum çözüm veren algoritmalar bilinmemektedir. Bunun üzerine, araç kapasite kısıtlarının yanında zamanlama kısıtları, araç-malzeme kısıtları (x malzemesi y aracı ile taşınabilir veya taşınamaz), yükleme kısıtları da eklendiğinde problem daha da kompleks bir hal almaktadır. Bu yüzden optimumu garanti etmeyen fakat iyi çözüm veren sezgisel yöntemler kullanılır. Literatürde bu konudaki en başarılı istatistiklere sahip olan yöntem olan “Tabu Search” metodu uygulaması, optimum çözüme yakın sonuçlar elde edebilmek için en iyi seçenek olacaktır. [11], [6] Ayrıca bu metotla ulaşılan çözümlerde dinamik olarak optimum sonucu yenilemek mümkündür. Paletleme ve yükleme planlarında ise üç boyutlu kutulama ve paketleme algoritmaları kullanılarak optimum plan çıkartılır. [4]

3.2. Harekat Lojistiği Optimizasyonu

Harekat lojistiği optimizasyonu sivil sektördeki problemlere ek olarak tehditlerin, güvenlik kısıtlarının ve en önemlisi de zaman kısıtlarının sağlanmasını gerektirmektedir. Bu ilave kısıtlar yanında çıkarılan planların devamlı optimum kalacak şekilde güncellenmesinin gerekmesi hareket lojistiğini, sivil sektör tedarik zinciri lojistiğinden daha karmaşık bir hale sokmaktadır. Bu yüzden aynen tedarik zincirinde olduğu gibi

problemin parçalara bölünerek her bir parçanın sisteme entegre şekilde çözülmesi gerekir.

Harekat lojistiği ve sivil tedarik zinciri uygulamaları arasındaki ilk fark, ihtiyaç duyulan malzemenin miktarının tahmin edilmesinde ortaya çıkar. Harekat lojistiğinde savaş ve barış zamanı olarak iki ana grupta toplanan, senaryo ve görev bazlı; birliklerin muharebe yedeği ve idame ihtiyaçları (mühimmat, yiyecek vs), büyüklükleri, kadroları ve envanterleri, görev yerleri ve görev yerlerindeki tehdit durumları göz önüne alınarak, geçmiş verilerden çıkarımlar yerine, hareket planları bazında talep tahminlerinin yapılması gerekmektedir. Bu alanda, modelleme ve benzetim çalışmaları silahlı kuvvetler bünyesinde yoğun olarak yürütülmektedir.

Talep tahminleri bazında, barış zamanı için belirlenmiş idame malzeme ihtiyaçlarına göre optimum dağıtım ağı, depoların nerede kurulacağı ve hangi birliklere hizmet vereceği belirlenir. Savaş zamanında ise barış zamanında belirlenen ihtiyaçların önceden yedeklenmesi ve ardından güncellenmesi sonucu oluşturulan dağıtım ağının yeniden optimum olarak belirlenmesi gerekir. Bu uygulama için tedarik zinciri uygulamalarında kullanılan ağ tasarımı çözümleri yeterli olacaktır. Harekat lojistiğinde dağıtıma ek olarak toplama ve sevkiyat ekleneceğinden, malzeme ve personel trafiğini düzenleyecek aktarma noktalarının yerine karar vermek için Hub konumu problemi çözülerek optimum konumlar belirlenir. [1] Modele ek olarak, hizmet verilecek en uzak birlik en fazla x saat uzaklıkta olmalıdır gibi performans kısıtları da eklenmelidir.

Bir sonraki adımda, belirlenen depolarda ihtiyaç duyulan malzemenin kapasite kısıtlarını aşmayacak şekilde bulunmasını sağlayacak üretim ve ikmal planları çıkartılır. Kapasite kısıtlarına ek olarak, sivil kaynaklardan tedarik gibi alternatif opsiyonlarda değerlendirmeye alınmalıdır. Bu noktada Lineer Programlama teknikleri, planların dinamikleştirilmesi için uygun seçim olacaktır.

Depolardan yapılacak dağıtımların rotdanması ve araçlara atanması için ise zaman ve güvenlik kısıtlarını dikkate alan ve tedarik zinciri problemi için kullanılan algoritmaların geliştirilmesiyle elde edilen çözümler kullanılır. Birden fazla ulaştırma modunun kullanılması özellikle yükleme konusunda üç boyutlu yüklemeye ek olarak gemilerin ve uçakların optimum yükleme problemlerini de içermektedir. [3]

Ayrıca depolanacak envanterin seviyesinin performans kriterlerini sağlayacak minimum seviyeye indirilmesi için yine taleplerin rassal olarak tanımlanarak maliyet optimizasyonu yapılması gerekmektedir. Burada malzeme ve mühimmatların son kullanma tarihi gibi zaman kısıtlarının da göz önüne alındığı modeller kullanılmalıdır. [12] Birden fazla katmanda ve birden fazla malzemenin etkileşimli olarak yönetilmesi durumunda ise, çok katmanlı ve çok ürünlü envanter modelleri kullanılmalıdır.

4. ÖRNEK UYGULAMA

4.1. Tedarik Zinciri Optimizasyonu Paket Programı, Op-Tr

Op-Tr, Odesa Bilişim Teknolojileri Ltd. Şti. tarafından Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ve Teknoloji İzleme Değerlendirme Başkanlığı (TİDEB) desteği ile geliştirilmiş tamamı milli bir Tedarik Zinciri Optimizasyonu yazılım paketidir. Bu yazılım paketi, özel sektördeki uygulamalar baz alınarak

geliştirilmiş, global optimuma yakın çözümler hedefleyen bir paket program olmasının yanında değişik senaryolar için kolayca adapte edilebilen bir uygulamadır. Milli olarak geliştirilmiş olması, silahlı kuvvetlerin özel ihtiyaçlarına yönelik uyarlamalarda teknoloji ve lisans kısıtlarını ortadan kaldırmaktadır. Bu özelliğinin bilinmesi ile çalışmalarda kullanmak üzere bu yazılım tercih edilmiştir.

Op-Tr yazılım paketinin içerdiği modüller ve kısa açıklamaları aşağıdaki gibidir:

Optimum Ağ Tasarımcı: Stratejik düzeyde “Ağ Tasarımı” yaparak depo ve fabrikaların optimum konumları, üretim teknolojileri ve üretim kapasitelerini belirler.

Optimum Talep Planlayıcı: Gerçekleşen taleplere göre talep tahminlerini yapar, ürün ve müşteri bazında tanımlanmış istatistiksel modellerden en uygun olanını seçerek en ideal tahmin modelini bulur. Grup bazındaki tahminleri en alt seviyeye kadar ayrıştırır.

Optimum Akış Planlayıcı: Tüm tesislerdeki imalat politikalarını, stok seviyelerini ve kapasiteleri bazında ürün akış yönetimi politikalarını belirler. Malzeme akışında, tedarikçiden fabrikaya, montajdan, depolar aracılığı ile müşteriye kadar olan optimum tedarik kanallarını bulur.

Optimum Dinamik Akış Planlayıcı: Gerçekleşen satışlara göre optimum planları dinamik olarak günceller ve Available-To-Promise (ATP) bilgisi verir.

Optimum Envanter Planlayıcı: İş ortamındaki belirsizlikleri ve maliyet parametrelerini göz önünde bulundurarak istenilen müşteri hizmet seviyesini sağlayacak optimum envanter yönetim politikasını belirler.

Optimum Dinamik Envanter Planlayıcı: Gerçekleşen satışlara göre belirlenen seviyelerin güncellemesini yaparak planların optimum kalmasını sağlar.

Optimum Dağıtım / Ulaştırma Planlayıcı: Son ürünün zamanında müşteriye ulaşması için gerekli planlamayı yapar. Bu amaçla, filo boyutu, filo yönetimi, dağıtım planlama ve rotalama planlarını optimum yapar.

Optimum Dinamik Dağıtım / Ulaştırma Planlayıcı: Dinamik olarak gelen siparişler karşısında önceden hesaplanan optimum rotaları anlık olarak günceller.

Belirtilen yazılım ile gerçekleştirilen özel sektör uygulamalarındaki pilot uygulamalarda ortalama envanter seviyelerinde % 20 ile %30 arasında, ulaştırma maliyetlerinde ise % 10 ile % 25 arasında iyileştirme yapılabildiği görülmüştür.

5. SONUÇ

Tedarik zinciri optimizasyonu ile hareket lojistiği optimizasyonu arasında belirgin benzerlikler bulunmaktadır. Bu yüzden ticari uygulamalara yapılacak olan eklemeler ile ticari bir tedarik zinciri optimizasyonu yazılımı, hareket lojistiği optimizasyonunda kullanılabilir.

Dikkat edilmesi gereken nokta ise, parçalanarak bölünmüş olan alt problemlerin birbirleriyle entegre olarak çözülerek, sistemin optimizasyonuna daha da yaklaşılması gerekliliğidir. Ayrıca eklenecek olan kısıtlar ve yeni model parçaları bütünle olan entegrasyonu bozmamalıdır.

6. GELECEK ÇALIŞMALAR

Çalışmanın sonucunda bir sonraki adım için, bir pilot proje kapsamında, belirtilen yazılım ve modüller kullanılarak bir hareket lojistiği problemi çözülmeli ve hareket lojistiği ile tedarik zinciri optimizasyonu uygulamalarındaki benzerliğin somutlaştırılması gerekmektedir. Daha sonra ise sistemin komple gerçek optimum sonuca nasıl ulaşabileceği araştırılmalıdır. Bu konuda bir sonraki araştırma konusu, tüm alt problemlerin ayrı ayrı optimuma kadar çözüldüğü, her bir alt problemin bir alt sistem olarak çözümlerinin alındığı ve bu çözümlerin bir ana çözücüde yani yüksek seviyede birleştirildiği, sonuçların sistem optimizasyonuna ulaşana kadar alt birimlerde yenilendiği “optimizasyon ajanları” sisteminin yapılması olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Aykin, T. (1988) On the Location of Hub Facilities. *Transportation Science*, 22, 155-157.
- [2] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [3] Gascon, V., Lavoie, S., Lefebvre, L., Maheas, M.-C., Savard, G., Stan, M., (1995) An Optimal Assignment System for Transport Aircraft, *Proceedings of the 7th Symposium / Workshop on Applications of Expert System in DND*, Royal Military College of Canada, Kingston. pp. 2-16
- [4] Martello, S., Pisinger, D., Vigo, D. (2000) The Three-Dimensional Bin Packing Problem, *Operations Research*, 48, 256-267.
- [5] Mutlu, K., Set, A., Baytok, C., (2004), Tedarik Zinciri Optimizasyonunun Harekat Lojistiği Alanında Uygulamaları, SAVTEK2004 Savunma Teknolojileri Kongresi.
- [6] NEO and Auren, (2004) The Vehicle Routing Web Page, Available on line: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>
- [7] ODESA, (2004), “Op-Tr Yazılımı Kullanım Kılavuzu Versiyon 1.0”.
- [8] Piggee, A. F., *Transformation – Revolution in Military Logistics*, USAWC Strategy Research Project, U.S. Army War College, Carlisle Barracks, Pennsylvania 1701.
- [9] Pirkul, H. and V. Jayaraman, (1996), Production, Transportation, and Distribution Planning in a Multi-Commodity Tri-echelon System, *Transportation Science*, 30(4), 291-302.
- [10] Silver, E.A., Pyke, D.F. and Peterson, R. (1998), *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3rd ed. John Wiley and Sons, New York.
- [11] Taillard, E. D., Badeau, P., Gendreau, M., Guertin, F., Potvin, J.Y. (1997) A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows, *Transportation Science* 31, 170-186.
- [12] Tekin, E., Gurler, U., Berk, E. (2001), Age-Based vs. Stock Level Control Policies for a Perishable Inventory System, *European Journal of Operations Research*, 134, p. 309-329
- [13] Toth, P. , Vigo, D. (2001), *The Vehicle Routing Problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications*. SIAM, Philadelphia.

Üçüncü Oturum: **Simülasyon Altyapıları**

SİMÜLASYON SİSTEMLERİ İÇİN KAVRAMSAL MODEL GELİŞTİRMEYE MODEL TABANLI BİR YAKLAŞIM

N. Alpay Karagöz ^(a), Onur Demirörs ^(b)

^(a) Bilgi Grubu Ltd. Şti, ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar No:3, alpay@bg.com.tr

^(b) ODTÜ Enformatik Enstitüsü, demirörs@bg.com.tr

ÖZ

Kavramsal modelleme genellikle simülasyon geliştirme yaşam döngüsünün önemli bir parçası olarak kabul edilmektedir. Kavramsal modelleme etkinliği, bilgi mühendisliği, alan mühendisliği, ontoloji geliştirme, modelleme dilleri gibi bir çok araştırma alanı ile ilişkili karmaşık bir iştir. Kavramsal modeller simülasyon geliştirmenin merkezinde iken, modeller de yazılım geliştirmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Yazılım mühendisliği geleneksel mühendisliklerle karşılaştırıldığında, karmaşık sistemler geliştirmede modellemenin yararlarını tam olarak kullanamamış görünse de, son yıllarda Model Tabanlı Geliştirme (MTG) yaklaşımıyla birlikte modellemenin gerekliliğini yeniden keşfetme yönünde bir eğilim oluşmuştur. MTG, yazılım geliştirmenin karmaşık yapısını basitleştirme, soyutlama, iletişim sunma ve son sistemlerin maliyet etkin gösterimini sağlama yoluyla yönetmeyi savunmaktadır. Bu çalışma model tabanlı geliştirme ve kavramsal modelleme pratikleri arasındaki ilişkiyi göstermeyi ve model tabanlı bir kavramsal modelleme yaklaşımı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: kavramsal model, meta-model, model tabanlı geliştirme, simülasyon

A MODEL DRIVEN APPROACH TO CONCEPTUAL MODEL DEVELOPMENT FOR SIMULATION SYSTEMS

ABSTRACT

Conceptual modeling is considered to be a significant phase of most simulation development lifecycles. It is a complicated phase related with the state of the art research areas, such as knowledge engineering, domain engineering, ontology development, and modeling languages. While conceptual models are at the heart of simulation development, models form an integral part of software development. Although the software engineering community has underused the advantage of high level modeling in designing complex systems compared to traditional engineering disciplines, there is a trend on discovering the significance of modeling in the last decade by means of Model Driven Approaches. This study aims to demonstrate the relations between Model Driven Development and conceptual modeling practices in simulation systems development and provide a Model Driven approach to conceptual modeling.

Keywords: conceptual model, meta-model, model driven, simulation development

1. GİRİŞ

Yazılım geliştirmede model kullanımı, sağladığı sadelik, soyutlama, iletişimi kolaylaştırma ve sistemlerin maliyet etkin gösterimini sağlama özellikleri nedeniyle önemli bir yer tutmaktadır. Geriye baktığımızda, yazılım geliştirmenin tarihçesinin daha üst düzey soyutlama yapmayı sağlayacak yöntemler geliştirmek olduğunu görebiliriz[19], [20]. Makine kodundan üst seviye programlama dillerine ve oradan da 3. ve 4. seviye programlama dillerine ulaşan bu akımın sonunda koşturulabilir modellere gelmesi beklenen bir gelişmedir. Bu gelişme sürecinde kavramlar, bu kavramları gerçekleyen araçlardan çok daha önce yaygın kullanıma geçmiştir.

Yazılım dünyası, yazılım mühendisliğinin üst seviyede model oluşturma ve model tabanlı sistem geliştirme gereksinimini karşılamak için Model Tabanlı Geliştirme (MTG) yaklaşımını geliştirmiştir. MTG yöntemlerinin henüz yaygın kullanıma geçmemiş olması ve gerekli araç desteğinin eksik olmasına rağmen bu kavramlar, kavramsal model geliştirme etkinliklerinde kullanılabilir duruma gelmiştir.

Modeller yazılım geliştirmenin ayrılmaz bir parçası iken kavramsal modeller de simülasyon geliştirmenin kalbinedir. Simülasyon geliştirme literatüründe yapılacak kısa bir araştırma bile kavramsal modelin önemine dair bir çok bulgu getirecektir. Buna rağmen bu konuda geçerli yöntemlerin geliştirilmemiş olması şaşırtıcıdır. Simülasyon modellerindeki ilişkileri tanımlamak için bir kavramsal model oluşturma çerçevesi gerekmektedir. Bu çerçeve kavramsal modeller ve simülasyon modelleri arasındaki olası dönüşümleri de içermelidir. Kavramsal modellerin ve simülasyon modellerinin ortak bir meta-modelden türetilmeleri bu dönüşümü kolaylaştıracak bir girişim olacaktır.

Bu çalışmada Kavramsal Modelleme ve Model Tabanlı Geliştirme kavramlarını kısaca tanımlayıp simülasyon sistemlerinin geliştirilmesinde bu iki kavramla ilişkili yöntem, süreç ve araçların birlikte kullanımına yönelik bir araştırma yaptık. Bu kapsamda C4ISR (Komuta, Kontrol, Muhabere, Bilgisayar, İstihbarat, Gözetleme, Keşif (Command, Control, Communication, Computer, Intelligence, Surveillance, Reconnaissance)) sistemleri için simülasyon yazılımı geliştirmede kullanılabilecek bir modelleme dilinin kısıtlı bir sürümünü ilerleyen bölümlerde bulacaksınız.

İkinci ve üçüncü bölümlerde sırasıyla Simülasyon Sistemleri için Kavramsal Modelleme ve Model Tabanlı Geliştirme konuları hakkında kısa açıklamalar bulabilirsiniz. Üçüncü bölümde MTG yaklaşımına uygun olarak tasarlanmış bir modelleme diline ve örnek kullanımına yer verdik. Sonuçlar bölümünde ise çalışmalarımızdan elde ettiğimiz bulgular ve ileriye dönük öneriler yer almaktadır.

2. KAVRAMSAL MODELLEME

Kavramsal modelleme, problem alanının kolay ve düzgün olarak anlaşılmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle kavramsal model, gerçek dünyanın soyut ve basit bir gösterimini sunmalı ve etkin bir iletişim aracı oluşturmalıdır. Bu genel anlayışın yanında kavramsal model birbirinden farklı çok sayıda kavramın karşılığı olarak kullanılmaktadır [4]. Simülasyon dünyasında ve yazılım geliştirmede farklı

bağlamlarda kullanılagelmiştir. Bu bölümde, özellikle bu farklılıkların karmaşasına bulaşmamak için simülasyon geliştirme alanındaki kavramsal modelden bahsettiğimizi tekrarlamakta yarar görüyoruz.

Simülasyon geliştirme yaşam döngüsünde kavramsal modeller, yapılmak istenen işin belirlenmesi ve sonraki aşamalar için başlangıç noktası oluşturma amaçlı kullanılmaktadır. Bu genel tanımın yanında kavramsal model üzerine çeşitli bakış açıları geliştirilmiştir. Bu bakış açılarını inceleyerek kavramsal modelin başlıca özelliklerini belirlemeye çalışacağız.

FEDEP (Federasyon Geliştirme ve İşletme Süreci - Federation Development and Execution Process), kavramsal modeli “hedefleri, fonksiyonel ve davranışsal yeteneklere dönüştürmek için bir araç olarak kullanılan gerçekleştirimden bağımsız gösterimler” olarak tanımlamıştır. [24].

Sargent, kavramsal modeli “belirli bir çalışma için bir problem alanının matematiksel, mantıksal veya sözel gösterimi” olarak tanımlamaktadır [21]. Bu tanıma göre de kavramsal modeller geçerleme için gerekli yöntemlerin uygulanabileceği bir yapıda olmalıdır.

Davis’e göre kavramsal model “gerçekleştirim bağımsız belirtiler geliştirmek için teorilerin ve algoritmaların formal olarak ifade edilmesi”dir [22]. Davis, model tasarımının detaylı tasarımdan ayrı tutulması gerekliliğini ve kavramsal modelin gerçekleştirimden bağımsız olması gerektiğini özellikle vurgulamaktadır.

Pace, kavramsal modeli “modelleme gereksinimlerini, bir sistemin oluşturulabileceği detaylı tasarım çerçevelerine dönüştürme” olarak tanımlamaktadır [23]. Bu tanımdan yola çıkarak kavramsal modellerin gereksinim analizi ve tasarım aşamaları arasında köprü görevi gördüğünü söyleyebiliriz. Bu köprü aynı zamanda aşamalar arasındaki dönüşümleri sağlayacak yöntemleri de içermelidir.

A.B.D. Savunma Modelleme ve Simülasyon Ofisi (DMSO-Defense Modeling and Simulation Office) modelleme ve simülasyon alanında etkin kurumlardan biridir ve kavramsal modeli kullanıcın ve geliştiricinin ortak bakış açısını temsil eden ve yapılacak işi tanımlayan bir kavram olarak tanımlamaktadır. Bunun yanında her türlü varsayım, kısıtlama ve algoritma da bu kavram içinde yer almalıdır [3]. DMSO bu tanımı biraz daha genişleterek Görev Uzaıı Kavramsal Modellerini (CMMS - Conceptual Models Of The Mission Space), “belirli bir grup görev ile ilişkili, gerçek dünya süreç, varlık ve çevresel etmenlerinin, simülasyon gerçekleştiriminden bağımsız işlevsel tanımları” olarak tanımlamıştır [15].

Benzer şekilde Johnson kavramsal modellerin modelleme ve simülasyon gösterimi için gerekli bilgiyi sunmasını ve problem uzayı ve çözüm uzayının özelliklerini temsil etme yeteneğinin bulunması gerektiğini savunmaktadır [1]. Bunun yanında kavramsal modelin, gerçek dünyanın simülasyon bağımsız bir görüntüsünü sunması ve alan uzmanı ile simülasyon geliştirici arasında bir iletişim köprüsü oluşturmasını önermiştir.

Bu tanımlar kavramsal modelin simülasyon geliştirmenin değişik aşamalarında ve değişik soyutlama seviyelerini temsil etmek amacıyla kullanılabileceğini ortaya

çıkarmaktadır. Sargent ve Haddix kavramsal modellerin özellikle doğrulama ve geçerleme amacıyla kullanılmasını önermekte ve bu nedenle formal gösterim yöntemlerinin kullanılması gerektiğini ifade etmektedirler [16].

Bu çalışmalar ışığında kavramsal modelin vazgeçilmez özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- İşlevsel ve davranışsal yetenekleri tanımlar,
- Hedeflere ve gereksinimlere karşılık gelir,
- Kullanıcılar ve geliştiriciler için ortak bir dil tanımlar,
- Gerçekleştirmeden bağımsız bir gösterimdir,
- Varlıkları, ilişkileri ve etkileşimleri belirtir,
- Mantıksal kararları ve algoritmaları belirtir,
- Daha detaylı modellere dönüşüm için gerekli tanımları içerir,
- Kısıtları ve varsayımları belirtir,
- Doğrulama ve geçerleme etkinliklerinde kullanılabilir.

Kavramsal modelin temel özelliklerini belirledikten sonra simülasyon geliştirmedeki yerini inceleyebiliriz.

2.1 Simülasyon geliştirmede kavramsal modelin yeri

Simülasyon geliştirmede kavramsal model kullanımı olması gerekenin çok altındadır. Borah bir makalesinde, simülasyon geliştiren mühendislerin bir adım geriye çekilmesini ve simülasyon geliştirmede kavramsal modelin yerini düzgün bir şekilde anlamaya çalışmalarını önermiştir [5].

FEDEP süreç tanımları da simülasyon geliştirme yaşam döngüsünde kavramsal model kullanımını özendirecek niteliktedir. Bu tanımlar A.B.D. Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiş ve daha sonra IEEE tarafından “önerilen pratik” olarak standart haline getirilmiştir. Kavramsal modeller, sistemin erken bir görünümünü sunarak, gereksinimlerin daha etkin toplanmasında yardımcı olurlar. Bu nedenle kavramsal model geliştirme yöntemleri, kullanıcının ve geliştiricinin anlayabileceği ortak bir dil sunmak zorundadır.

DMSO bu doğrultuda hareket ederek kavramsal modellerin etkin kullanımını sağlamak amacıyla Görev Uzayı Kavramsal Modelleri (GUKAM) adı altında bir proje başlatmıştır. GUKAM kapsamında görev uzayı modeli, gerçek dünya operasyonlarının bir temsilini oluşturur ve simülasyon ön-yüz geliştirme etkinliğinin bir yan ürünü olarak ele alınır. GUKAM, bilgi toplamak ve saklamak, bu bilgiyi yeniden kullanmak, bilgi paylaşımı için ortak bir veritabanı sunmak ve farklı modeller arasında dönüşümler sağlamak için araçlar içeren bir çerçeve sunmaktadır.

Kavramsal model üzerindeki farklı bakış açılarını ve tanımları ele aldıktan ve kavramsal modelin simülasyon geliştirmedeki yerini belirginleştirdikten sonra takip eden bölümlerde kavramsal model geliştirmeye model tabanlı bir yaklaşım sunmaya çalışacağız.

3. KAVRAMSAL MODELLEME DİLİ

3.1 Model Tabanlı Geliştirme

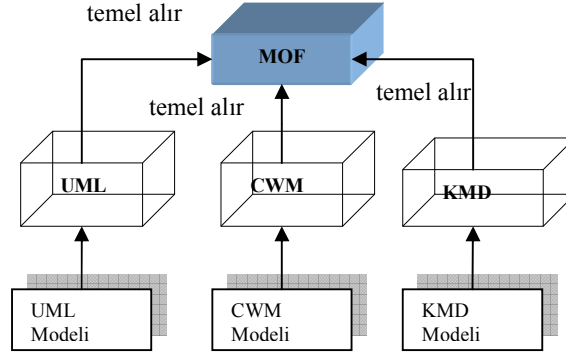
Yazılım mühendisliğinin modellerin kullanılması ve yeniden kullanılması konusunda en uygun mühendislik disiplini olmasına rağmen, üst seviye modellemenin en az kullanıldığı disiplin olması ilgi çekicidir. Bir bina veya uzay mekiği gibi karmaşık sistemlerin geliştirilmesinden önce çeşitli modellerinin oluşturulması neredeyse evrensel kabul görmüş bir pratiktir, çünkü modeller geliştirilecek sistemin soyut bir gösterimini sunarak karmaşık problemlerin üstesinden gelmemizi ve çözüm üretmemizi kolaylaştırır. Yazılım mühendisliği henüz modellerin etkin ve yaygın bir biçimde kullanılmasını benimsememiş olsa da Model Tabanlı Geliştirme yaklaşımı bunun için gerekli kavramları ve araçları sunmayı amaçlayan bir atılım olarak sunulmuştur.

MTG'ye göre yazılım geliştirmenin odak noktası program kodu değil modeller olmalıdır. MTG model tabanlı yaklaşımlara verilen genel bir isimdir, bu yaklaşımlar arasında en popüler olanı Object Management Group (OMG) tarafından geliştirilmekte olan Model Tabanlı Mimaridir (MTM) [10]. MTM, endüstriden, kamudan ve akademiden destek alarak geliştirilen bir yaklaşımdır ve temel gereksinimleri [14] aşağıda sıralanmıştır:

- Üst seviye modeller, geliştirilecek sistem hakkında tutarlı, tam ve açık tanımlar yapmayı sağlayan iyi tanımlanmış dillerle oluşturulmalıdır.
- Bir modeli diğer modellere dönüştürecek yöntemler tanımlanmalıdır. Bu tanımlar projelere göre değişiklik gösterebilir ancak, standart veya isteğe göre değişebilen yöntemler tercih edilmelidir.
- Bu dönüşümler araçlar yardımıyla işletilmelidir ve bu nedenle formal dönüşüm altyapılarına ihtiyaç vardır.
- Model tabanlı geliştirme yeni bir yöntem olduğu için mevcut yazılım geliştirme süreçleri yetersiz kalabilir ve yeni süreç tanımları geliştirilmelidir.

3.1.1 Meta-modelleme

Modellemede önemli bir kavram da modeller, diller ve meta-modeller arasındaki ilişkidir. Önceki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi etkin bir kullanım için modeller formal dil tanımlarına dayandırılmalıdır. Formal dil tanımlamak için yaygın yöntem Backus-Naur Form (BNF) esaslı bir gramer kullanmaktır. Programlama dilleri gibi metin tabanlı diller için bu yöntem çok uygun olsa da grafik tabanlı modelleme dilleri için en iyi çözüm değildir [14]. Meta-model kullanımı bu duruma uygun bir çözüm sunabilir. Model, bir dil kullanılarak geliştirilir ve bir sistemin parçalarını tanımlamaya yarar. Bu dilin esas aldığı bir meta-modelden ve dolayısıyla bu meta-modelin dayandığı bir meta-dilden bahsedebiliriz. Aşağıdaki şekil MTM çerçevesindeki model, meta-model ve modelleme dili ilişkisini göstermektedir.



Şekil 1. Meta-model, modelleme dili ve model

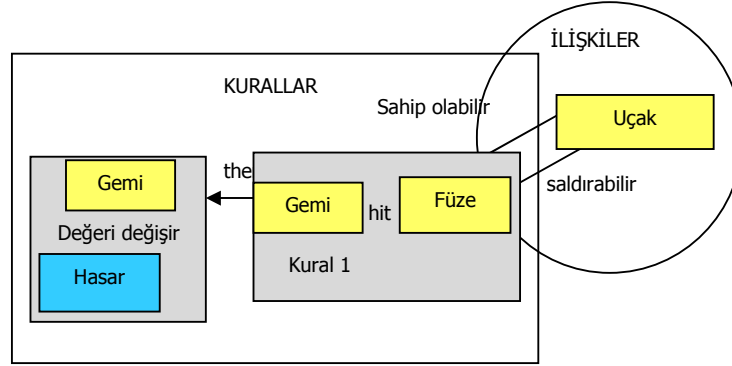
Yukarıdaki şekil Unified Modeling Language (UML), Common Warehouse Metamodel (CWM) ve bu çalışma kapsamında kısıtlı bir bölümü geliştirilmiş olan Kavramsal Modelleme Dili (KMD) arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. UML'nin geliştirilmesinde esas alınan Meta Object Facility (MOF) meta-model tanımlarını içermektedir ve diğer diller bu ortak meta-model çerçevesinde geliştirilmiştir. Bir UML modelindeki tüm model elemanları UML'de tanımlanmış olmalıdır ve UML'de tanımlı tüm model elemanları da MOF elemanları cinsinden tanımlı olmalıdır. Örnekleme gerekirse; UML modelinde tanımlı bir Müşteri sınıfı UML'de tanımlı "*UML Class*" tipindendir ve "*UML Class*" da MOF'ta tanımlı "*MOF Class*" tipindendir.

Benzer şekilde bir CWM modelinde tanımlı "*Stock Entity*" model elemanı "*CWM Entity*" tipindendir ve "*CWM Entity*" de MOF'ta tanımlı "*MOF Class*" tipindendir.

3.2 Kısıtlı Bir Kavramsal Modelleme Dili

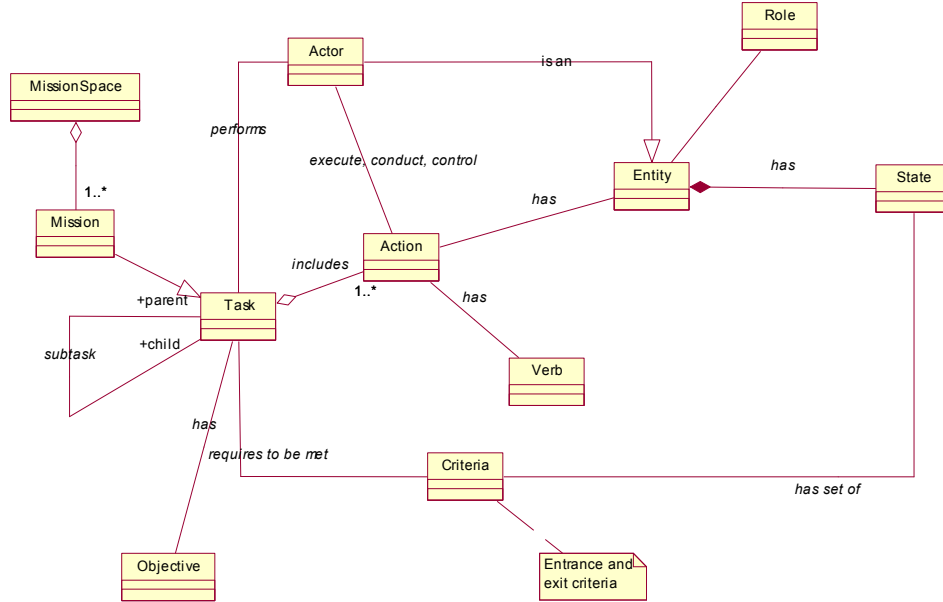
Bu bölümde kavramsal model tanımlamak için önerdiğimiz kısıtlı bir meta-model tanımı verilmektedir. Bu meta-model MTM yaklaşımını temel almaktadır ve MOF prensiplerine uyumlu olarak geliştirilmiştir. Bu bölümde örnek bir senaryonun kavramsal modelini önerdiğimiz meta-model yaklaşımını kullanarak oluşturacağız.

Aşağıdaki şekilde gösterilen senaryo muhtemelen daha büyük bir senaryoya ait bir saldırıyı temsil etmektedir. Buna göre Uçak, Füze'ye sahip olabilir ve Gemi'ye Füze ile saldırabilir. Gemi Füze saldırısına maruz kalırsa hasar görür ve buna göre bir tepki vermelidir.



Şekil 2. Örnek Senaryo

Aşağıdaki şekil bu örneği temsil etmeye yetecek kadar ayrıntı içeren meta-modeli göstermektedir. Meta-model UML destekleyen bir modelleme aracı ile geliştirilmiştir ve MOF ile uyumludur. Meta-modelin geliştirilmesinde [3]'te bahsedilen kavramlardan yararlanıldığı için örnek senaryoda bulunmayan model elemanları içerebilir. Örneğin anlaşılır olması açısından bazı ayrıntılar meta-modelin dışında tutulmuştur. Bu meta-model, kavramsal model geliştirirken kullanılabilecek model elemanlarını tanımlamaktadır. Yukarıdaki örneklere benzer şekilde bir KMD modelinde tanımlı "Action AI" model elemanı "KMD Action" tipindendir ve "KMD Action" da MOF'ta tanımlı "MOF Class" tipindendir.



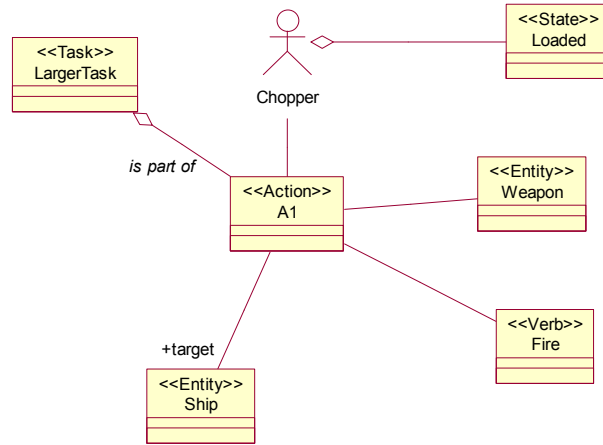
Şekil 3. Meta-model diyagramı

Yukarıdaki şekilde görünen meta-model alan uzmanları tarafından kavramsal modeller yaratmak için kullanılacaktır ve karmaşıklığı gidermek ve soyutlama seviyesini yükseltmek için bir yöntem sunmaktadır. Bu şekilde alana özel geliştirilmiş bir meta-

model, model geliştiricilerin kısıtlı bir problem alanında çalışmalarına ve böylece daha tam ve özlü bir model geliştirmelerine yardımcı olacaktır. C4ISR alanını hedefleyen bir simülasyon sisteminde UML’de tanımlı sınıf gibi nesne modelleme alanına özel ve daha soyut kavramlar yerine varlıklar, görevler, etkileşimler gibi simülasyon alanına özel kavramların kullanılması daha etkin bir model oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Deneysel çalışmalar alana özel modelleme dillerinin kullanılmasının üretkenliği de arttırdığını göstermiştir [25].

Yukarıdaki meta-model tanımını temel alarak senaryoyu temsil edecek kavramsal modeli geliştirebiliriz. Kavramsal modeli statik ve dinamik olmak üzere iki farklı bakış açısından göstermek için 3 farklı diyagram kullanılmıştır.

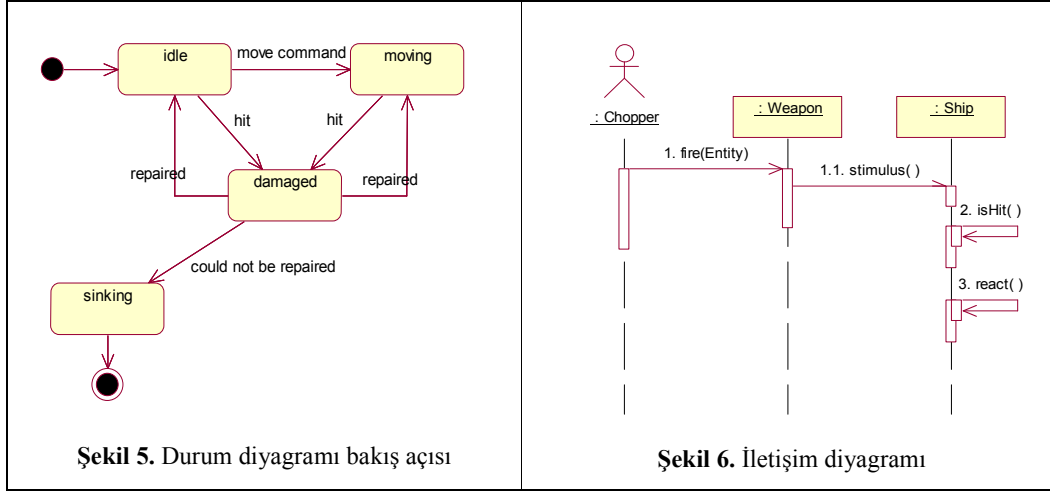
Aşağıdaki şekil kavramsal modelin statik bakış açısını göstermektedir. Model elemanları UML sınıfları ile gösterilmiştir ve elemanların tipleri “stereotype” gösterimi kullanılarak belirtilmiştir. Farklı model elemanlarının gösterimi için farklı semboller kullanmak modelin anlaşılabilirliğini artırabilir.



Şekil 4. Statik bakış açısı

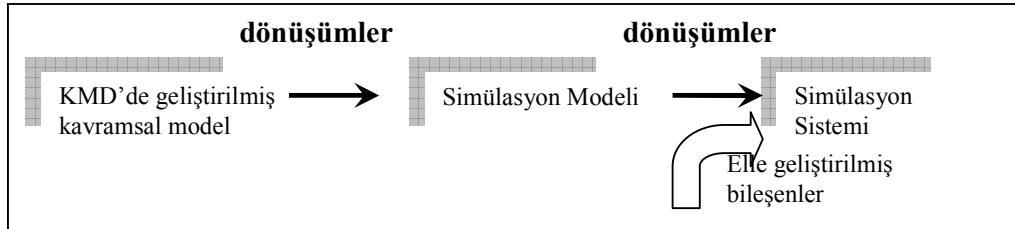
Yukarıdaki diyagrama göre; Action A1 daha büyük bir görevin parçası, bir hedefe (Gemi) bir silah ile saldırabilir. Bu etkinliğin aktörü Uçak ve bu etkinliği gerçekleştirebilmesi için silahlarının yüklü olması gerekiyor. Tabii ki bu çıkarımları sadece bu sınıf diyagramına bakarak yapmak mümkün değil. Bu nedenle dinamik davranışı modellemek için farklı bakış açılarını temsil eden farklı diyagramlar kullanmamız gerekiyor. Bu diyagramlar durum diyagramları ve iletişim diyagramları.

Durum diyagramı Gemi model elemanının yaşamı boyunca alabileceği değerleri göstermektedir. Etkinliğin gerçekleştirilmesi için gereken iletişim mesajları aşağıdaki iletişim diyagramında gösterilmektedir.



Şekil 10’da belirtilen diyagrama göre; Uçak hedefe ateş eder, hedef vurulup vurulmadığını kontrol eder ve gerekli tepkiyi verir. Bu örnek etkinliği detaylandırmak mümkün, hedefin tepkisi içinde bulunduğu durumla ve saldırının yapıldığı silahla doğrudan etkili olacaktır. Bu nedenle model geliştiriciyi yönlendirmek amacıyla iletişim diyagramı ile durum diyagramı arasında bir ilişki kurulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın asıl amacı simülasyon projelerinde kavramsal model geliştirirken meta-model düzeyinde bir yapının kullanılmasının simülasyon geliştirme yaşam döngüsüne getireceği yararları göstermektir. Yukarıdaki örneklerde de görülebileceği gibi KMD, “profile” mekanizması kullanılarak UML’nin genişletilmesi yoluyla da üretilebilir. MOF tabanlı bir modelleme dilinin oluşturulması için gereken kaynak gereksinimleri ve UML profile tabanlı bir yöntemin UML’nin yetenekleriyle kısıtlı kalması gibi konular dikkate alınmalıdır. KMD tabanlı geliştirilen kavramsal modeller simülasyon alanının daha iyi anlaşılmasını sağlayacak ve formal dönüşüm teknikleriyle daha alt seviye modelleme dillerine dönüşümü kolaylaştıracaktır. Aşağıdaki şekil bütün bir çerçeve çizildiğinde görmeyi beklediğimiz akışı göstermektedir.



Şekil 7. Simülasyon geliştirme çerçevesi

Simülasyon modeli UML veya benzeri bir modelleme dilinde geliştirilmeli ve simülasyon sisteminin daha ayrıntılı belirtilmelerini içermelidir. Son sistem otomatik olarak üretilmiş ve elle geliştirilmiş bileşenlerden oluşacaktır. Farklı soyutlama düzeylerinde kullanılan modelleme dillerinin ortak bir meta-dili paylaşması durumunda aralarındaki dönüşümleri tanımlamak çok daha kolay olacaktır.

4. SONUÇ

Bu çalışma, kavramsal modelleme ve model tabanlı geliştirme yaklaşımları arasındaki ilişkiyi incelemektedir. MOF tabanlı bir kavramsal modelleme dili simülasyon sistemlerinin kavramsal modellerini geliştirme adımı ve bu modelin daha ayrıntılı modellere dönüştürülmesinde sağlam bir altyapı oluşturacaktır. Tüm simülasyon alanları için bir kavramsal model tanımlamak oldukça fazla kaynak isteyen bir iş olacağı için bu ve ilgili çalışmalarda C4ISR alanı hedef alınacaktır.

Kavramsal modelleme ve model tabanlı geliştirme alanındaki çalışmalarımız bu iki alanda tanımlanmış pratiklerin birlikte kullanılabileceğini göstermiştir. Her ne kadar mevcut çalışmalar ortak yanları gösteriyor olsa da etkin çözümler üretmek için daha detaylı çalışmalara yapmak gerekmektedir.

Simülasyon projelerinde ilgili optimizasyon gibi bazı kararların erken aşamalarda verilmesinin projeleri daha başarılı kılacağını düşünersek kavramsal model aşamasında modellerin işletilmesini sağlayacak altyapıların yararını daha iyi anlayabiliriz. Model tabanlı geliştirmenin nihai amaçlarından biri de bu düşünceye paralel olduğu için modellerin formal bir yapıda, iyi tanımlanmış modelleme dilleri kullanılarak geliştirilmesi gerekmektedir.

Mellor kitabında UML’de geliştirilmiş modellerin işletilmesini sağlayan bir UML uzantısını tanıtmaktadır [20]. Ancak, daha etkin bir kullanım için simülasyon alanının özel gereksinimlerini dikkate alan bir modelleme dilinin kullanılması yararlı olacaktır. Kavramsal modellerin genellikle alan uzmanları tarafından geliştirilmesi ve bu uzmanların genellikle yazılım uzmanları olmaması nedeniyle, daha etkin görsel modelleme tekniklerinin kullanılması yararlı olabilir. Akkök, yazılım modellemede görsel tekniklerin kullanımı konusunda detaylı çalışmalar yapmış [13] ve yazılım mühendislerinin diyagram esaslı modelleme dillerinin gücünü yeteri kadar kullanmadıkları sonucuna ulaşmıştır.

Bu hususları dikkate alarak, simülasyon geliştirmede etkin bir kavramsal modelleme dili oluşturma ve kavramsal model ile simülasyon modeli arasındaki dönüşümleri kolaylaştırma yönündeki çalışmalarımız devam etmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Johnson, T. H., “The Conceptual Model of the Mission Space and Data Engineering Toolset”,
- [2] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), “Conceptual Model Development and Validation”, RPG Special Topic, 11/30/00
- [3] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), “Conceptual Models of the Mission Space (CMMS) Technical Framework”, USD/A&T-DMSO-CMMS-0002 Revision 0.2.1, 13 Feb 1997
- [4] Lacy, L. W. et al., “Developing a Consensus Perspective on Conceptual Models for Simulation Systems”, Proceedings of the Spring 2001 Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, March 26-30, 2001

- [5] Borah, J., "Conceptual Modeling – The Missing Link of Simulation Development", *Proceedings of the Spring 2002 Simulation Interoperability Workshop, Orlando, FL, March 10-15, 2002*
- [6] Pace, D. K., "Conceptual Model Development for C4ISR Simulations", *Proceedings of the 5th International Command and Control Research and Technology Symposium, Australia War Memorial, Canberra, Australia, October 24-26, 2000*
- [7] Hofmann, M. A., "Essential Preconditions for Coupling Model-Based Information Systems", *Conference on C3I and Modeling and Simulation Interoperability, Antalya, TURKEY, 9/10 Oct 2003*
- [8] Suzic, R., "Generic Representation of Military Organization and Military Behaviour: UML and Bayesian Networks", *Conference on C3I and Modeling and Simulation Interoperability, Antalya, TURKEY, 9/10 October 2003*
- [9] Pace, D.K., "The Value of a Quality Simulation Conceptual Model", available at <http://www.modelingandsimulation.org>, accessed 14.June.2004
- [10] MDA Home URL, "OMG's Model Driven Architecture (MDA) Home Site", <http://www.omg.org>, accessed 10.May.2004
- [11] OMG, "MDA Guide Version 1.0.1", Document Number: omg/2003-06-01, available at [http://www.omg.org/...](http://www.omg.org/), accessed 10.May.2004
- [12] Selic, B., "The Pragmatics of Model-Driven Development", *IEEE Software, September/October 2003*
- [13] Akkøk, N., "Towards the Principles of Designing Diagrammatic Modeling Languages: Some Visual, Cognitive and Foundational Aspects", PhD Dissertation, Department of Informatics, University of Oslo, 2004
- [14] Warmer, J., Kleppe, A., Bast, W., "MDA Explained, The Practice and Promise of the Model Driven Architecture", Addison Wesley, 2003
- [15] Sheehan, J. et al, "Conceptual Models of the Mission Space (CMMS): Basic Concepts, Advanced Techniques, and Pragmatic Examples", Paper 98S-SIW-127, *Proceedings of the Simulation Interoperability Workshop, Spring 1998*
- [16] Haddix, F., "Mission Space, Federation, and Other Conceptual Models", Paper 98S-SIW-162, *Proceedings of the Simulation Interoperability Workshop, Spring 1998*
- [17] Zeigler, B. P., "The Theory of Modeling and Simulation", Wiley, New York, 1976
- [18] Shannon, R., "Systems Simulation : The art and science", Prentice-Hall, New Jersey, 1975
- [19] Mellor, S. J., Scott, K., Uhl, A., Weise, D., "MDA Distilled: Principals of Model Driven Architecture", Addison Wesley, 2004
- [20] Mellor, S. J., Balcer, M. J., "Executable UML: A Foundation for Model-Driven Architecture", Addison Wesley, 2002

- [21] Sargent, R. G., “An Overview of Verification and Validation of Simulation Models”, *Proceedings of the 1987 Winter Simulation Conference*, 1987
- [22] Davis, P. K., “Generalizing Concepts and Methods of Verification, Validation and Accreditation (VV&A) for Military Simulations”, *Paper R-4249-ACQ, RAND, Santa Monica, CA*, 1992
- [23] Pace, D. K., “Conceptual Model Descriptions”, *Paper 99S-SIW-025, Proceedings of the Simulation Interoperability Workshop, Spring 1999*
- [24] IEEE Computer Society, *IEEE 1516.3 Recommended Practice for High Level Architecture (HLA) Federation Development and Execution Process (FEDEP)*, 2003
- [25] Kieburtz, R. et al., *A Software Engineering Experiment in Software Component Generation, Proceedings of 18th International Conference on Software Engineering, Berlin, IEEE Computer Society Press, March, 1996*

SİMÜLASYON SİSTEMLERİNDE ESNEK SENARYO ALTYAPILARI

Aydın Okutanoglu ^(a), Doç. Dr. Veysi İşler ^(a)

^(a) Meteksan Sistem A.Ş., ODTÜ Teknokent Silikon Bloklar Kat:1 No:7, ANKARA,

{aydin.okutanoglu, veysi.isler}@sgs.meteksan.com.tr

ÖZ

Günümüzde simülasyon sistemleri, eğitim alanında sıklıkla kullanılan etkin araçlar durumuna gelmişlerdir. Pilot eğitiminden cerrah eğitimine, sürücü eğitiminden sporcu eğitimine kadar pek çok alanda simülasyon sistemleri kullanılmaktadır. Üç boyutlu gerçek zamanlı simülasyon sistemleri bu tür sistemlerin başında gelmektedir. Bu sistemler, üç boyutlu sanal ortamlarda eğitim ve analiz amaçlı kullanılmaktadırlar. Örneğin uçuş eğitimleri bu tür sistemlerde verilmektedir. Vasıta sürüş eğitimleri de bu yöne doğru kaymaktadır.

Eğitim amaçlı simülasyonlarda bulunması istenen en önemli özelliklerden birisi, sadece sanal dünyayı görsel ve fiziksel olarak yaratmak değil, eğitimi amaçlanan çeşitli durumları da sanal dünya içinde oluşturup (bir eğitim senaryosu hazırlayıp), simülasyon aracılığı ile eğitim alacak kişiyi bu senaryo çerçevesinde test etmek ve bu sayede kullanıcının tecrübelerini artırmaktır.

Senaryo yapıları ile ilgili en önemli sorun birçok farklı simülasyon sistemi içerisinde kullanılabilecek bir senaryo altyapısının tasarlanmasının zorluğudur. Farklı simülasyon sistemlerinin çok farklı senaryo ihtiyaçları olabilmektedir. İyi bir senaryo altyapısı, bir çok farklı senaryo özelliğine destek verebilecek şekilde esnek olmalı, ama aynı zamanda tüm senaryoların ortak bir yapıda tutularak, ortak bir simülasyon altyapısı üzerinde koşturulmasına da olanak sağlamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Araç simülasyonları, eğitim, gerçek zamanlı, senaryo altyapısı, simülasyon.

FLEXIBLE SCENARIO INFRASTRUCTURES IN SIMULATION SYSTEMS

ABSTRACT

Simulation systems are effectively and widely used in very different areas of training currently. Generally 3D real-time simulation technologies are utilized in these training systems. Flight and driving simulations can be given as examples of these simulation systems.

In the training purposed simulation systems, one of the most wanted properties is to represent the virtual world not only with physical and graphical properties, but also represent different situations with high fidelity. Educational adequacy of the simulation is mainly affected by the reality of situations in the scenario of simulation. Main

purpose of the educational simulation is to test the trainee with the scenario in the simulation and increase his experience in the subject. This can be done more effectively with high fidelity scenarios.

Main problem with the scenario structures is the difficulty of the designing a general purpose, flexible scenario architecture that can used with different simulation systems. Different simulation systems can have different requirements. A good scenario infrastructure should be flexible to represent different scenario properties and also it should represent these different scenario requirements in a common structure so that these different scenarios can be run on a common simulation infrastructure.

Keywords: Real-Time, Scenario Architecture, Simulation, Training, Vehicle Simulation.

1. GİRİŞ

Günümüz eğitim sistemleri içerisinde simülasyon sistemlerinin yeri önemli boyutta artmaktadır. Bu artışın ana nedeni olarak ilk başlarda maliyet etkinlik ön plana çıkmaktaydı. Örneğin tank atış eğitimi verebilmek amacıyla kullanılması muhtemel gerçek mermilerin maliyeti oldukça yüksek miktardadır. Ancak, bu eğitimin bir simülasyon sistemi ile verilmesi sayesinde bu maliyet çok çok daha düşük bir seviyeye çekilebilmektedir.

Simülasyon sistemleri ile ilgili avantajlardan daha sonraları ön plana çıkan bir diğeri de, gerçek sistemlerin kullanılmasının tehlikeli olduğu veya eğitimi verilmek istenen koşulların gerçek sistemler ile yaratılmasının zor olduğu durumlarda simülasyon sistemleri ile tehlikeden uzak ve kolay bir şekilde eğitimin verilebilmesidir. Simülasyon sistemleri ile ilgili bir diğer avantaj ise (sistem içerisinde sunulması durumunda) eğitmen/kontrolör kullanıcısının yapay simülasyon ortamı üzerinde tam olarak kontrol imkanının sunulabilmesidir. Bu sayede eğitmen öğrencinin farklı durumlar karşısındaki doğru tepkileri öğrenmesi gerçek zamanlı bir ortam içerisinde sağlanabilmektedir.

Simülasyon sistemlerinin eğitim sistemleri içerisinde yeni kullanılmaya başladığı dönemlerde simülasyonlar içerisinde bulunması istenen en önemli özellikler arasında görsel ve fiziksel gerçekçilik sayılmaktaydı. Bu özellikler sayede kullanıcı içinde bulunduğu yapay ortama daha kolay uyum sağlayabilmekte ve verilen eğitimin geçerliliği arttırılmaktadır. Özellikle eğitim simülasyonları içerisinde son zamanlarda önem kazanan bir diğer özellik ise kullanıcının birçok farklı koşulla karşılaştırılarak farklı durumlarda vermesi gereken tepkilerin öğretilmesidir. Bu amaçla simülasyon içerisindeki yapay ortamda bulunan nesnelerin daha önceden belirlenmiş, belirli bir amaca hizmet eden davranışlar sergilemesi gerekmektedir. Simülasyondaki yapay nesnelerin verili davranışlardan farklı bir davranış göstermesi, kullanıcının istenenden daha farklı koşullarla karşılaşması ve istenen kabiliyeti tam olarak edinmemesi anlamına gelmektedir. Bu gereksinim ise simülasyon sırasında sanal ortamdaki nesnelerin uygun davranışları yapmaları sağlanmalıdır.

Simülasyon içerisinde, simülasyonu yapılan sanal ortamın, bu ortamdaki nesnelerin ve bu nesnelerin davranışları ve birbirleri ile olan zamansal, mekansal ve tepkisel etkileşimleri simülasyon senaryosu olarak adlandırılmaktadır. Bu anlamda her

simülasyonun bir senaryosu vardır. Simülasyon senaryosunun gerçekçiliği, bu sistem kullanılarak verilen eğitimin geçerliliğini ve başarısını belirlemektedir.

Bir simülasyon sistemi içerisinde senaryonun oluşturulmasının en kolay yolu, senaryo sırasında oluşturulması istenen koşulların yazılım kodu içerisine gömülmesi ve bu şekilde bir veya birkaç senaryonun simülasyon içerisinde statik olarak oluşturulması sağlanmasıdır. Bu yöntem, verili senaryoların oluşturulması için en kolay yöntem olmasına karşın, yeni senaryoların eklenmesi veya var olan senaryolarda bazı özelliklerin değiştirilmesi için en zor ve uzun yoldur. Bunun dışındaki yollarda ise belirli derecelere kadar senaryonun konfigüre edilebilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntemde ne kadar farklı senaryonun oluşturulabileceği, senaryo altyapısının esnekliği ile doğru orantılıdır.

Geliştirilmiş olan simülasyon sistemindeki senaryo altyapısının esnekliği bir çok farklı yönden kolaylıklar ve üstünlükler sağlayacaktır. Bunlardan ilki, geliştirilecek olan simülasyon sisteminde bulunması planlanan senaryoların tek bir altyapı kullanılarak yazılım uzmanlarına ihtiyaç duymadan oluşturulabilmesidir. Bu sayede sistemin geliştirilme süresi dramatik olarak azalmaktadır. Bunun yanında sistemin gerçek kullanıcılar tarafından test edilmesi aşamasında talep edilen değişikliklerin büyük çoğunluğu, sistemin senaryosu üzerinde yapılması istenen değişikliklerden oluşmaktadır. Esnek bir senaryo altyapısı kullanılarak, gelen değişiklik istekleri hızlı bir şekilde tamamlanabilecektir.

Bu yazı içerisinde güncel senaryo yapıları ile ilgili bir alan araştırması sunulmakta, esnek senaryo altyapıları ile ilgili bilgi verilmektedir ve geliştirmekte olduğumuz simülasyon altyapısında kullanılması planlanan senaryo sistemi hakkında bilgi verilmektedir.

2. SENARYO SİSTEMLERİ

Simülasyon sistemleri içerisinde senaryo bilgisi yapay ortam içerisinde olayların ne şekilde gelişeceğini içermektedir. Bu kapsamda senaryo bilgisinde aşağıdaki veriler bulunmaktadır [6];

- (a) Senaryonun geçtiği yapay ortamın tanımı (hava şartları, arazi, v.b.) ve bu ortamın zaman içerisindeki değişimi
- (b) Senaryo içerisindeki hareketli ve/veya sabit nesneler
- (c) Bu nesnelerin ne şekilde davranacağına ilişkin motivasyonları veya planları
- (d) Simülasyonun belirli zamanlarında veya koşullarında ne gibi olayların oluşacağı

2.1 Yapay Ortam Yapıları

Herhangi bir simülasyon sistemi içerisinde yapılabilecek en basit hareketlerden birisi bir nesneyi arazi üzerinde ilerletmektir. Bunun için bilinmesi gereken bilgi, arazinin fiziksel olarak ne şekilde bir yapıda olduğudur. Bu tür basit bir hareketlendirme için sadece fiziksel veri yeterli iken, mesela bir arabayı yol üzerinde yürütmek için fiziksel veri yeterli olmayacaktır. Bunun sebebi fiziksel veri içerisinde kavramsal bilginin bulunmamasıdır. Bu örnekteki kavramsal veri arazinin belirli bir kısmının yol olduğu ve bu yolun belirli bir geometri şeklinde araziye yerleştirildiğidir. Daha karmaşık bir kavramsal arazi verisi örneği de yaya geçitleridir. Yayalar için işaretlenmiş olan yaya

geçitleri fiziksel olarak farklı bir yol parçası değildir. Sadece görsel olarak işaretlenmiş bir yol kısmından oluşmaktadır.

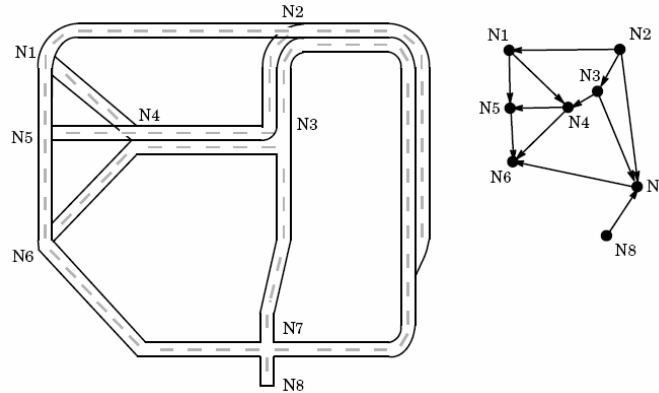
Simülasyon içerisindeki aktörlerin mantıksal olarak düzgün bir şekilde hareket edebilmeleri ve kendilerine verilmiş görevleri yerine getirebilmeleri için çevresindeki ortam hakkında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir [5].

Aktörlerin yapay ortam ile etkileşimleri iki ana grupta toplanmaktadır. Bunlardan ilki yapay ortamdaki nesnelerin tek taraflı kullanımı veya yararlanılması şeklinde olanıdır. Buna örnek olarak bir aracın şehir içerisindeki yolların üzerinde gezinmesi gösterilebilir. Bununla ilgili olarak araç tek aktif taraf olarak yol bilgisini kullanmaktadır. İkinci etkileşim yöntemi aktör ile yapay ortam nesnesinin karşılıklı etkileşimidir. Örnek olarak, simülasyon ortamı içerisindeki bir asansörün aktör tarafından kullanılması gösterilebilir. Bu durumda asansör, aktörün komutlarına tepki veya tepkiler göstermektedir.

2.1.1 Yapay Şehir Modelleri

Özellikle araç ve trafik simülasyonları içerisinde kavramsal şehir modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Kavramsal şehir modelleri içerisinde yollar, trafik ışıkları, yaya geçitleri, levhalar gibi nesneler kavramsal olarak modellenmekte ve simülasyon içerisinde ilerleyen bilgisayar ve insan kontrollü araçlar tarafından istenildiğinde kullanılmaktadır [5, 8].

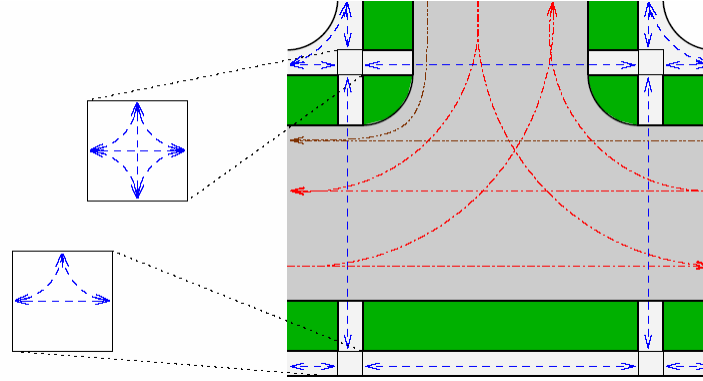
Bu şehir modelleri içerisinde tutulan en önemli veri kavramsal olarak yolların şekilleri, birbirleri ile olan bağlantıları ve yolların şeritleri, yönleri gibi çeşitli özellikleri kavramsal olarak tutulmaktadır. Örneğin aşağıdaki şekilde gözüken fiziksel yol, güzergâh hesaplamalarında kullanılmak üzere kavramsal olarak sağ taraftaki kavramsal ağ verisine dönüştürülmektedir. Bu sayede, aktör gerçek fiziksel yol yapısı üzerinde herhangi bir ön işlem yapmaya gerek duymadan direk verili ağ yağısını kullanabilmektedir.



Şekil 1. Kavramsal Güzergâh Verisi

Güzergah hesaplamalarında kullanılan yukarıdaki verinin yanı sıra yolun yapısı ve şeritlerin nerede olduğu bilgisi de yolun doğru takip edilmesi açısından önemlidir. Bu amaçla, yolun geometrik olarak ne şekilde yapılandırıldığı, kıvrılmaların şekli, yolun

genişliği gibi veriler de kavramsal olarak tutulmaktadır. Ayrıca, özellikle kavşaklarda meydana gelebilecek muhtemel karışıklıkları önlemek amacıyla belirli yönlerden gelen yaya ve araçların hangi yönlere gidebileceği verisi kavramsal olarak bulunmaktadır. Şekil 2’de bu verinin tutuluş şekli verilmiştir.



Şekil 2. Kavramsal Yol Verisi

Kavramsal şehir modeli içerisindeki yapılar aynı zamanda kendileri ile ilgili bilgilerin kullanılabilmesi amacıyla tanımlanmış çeşitli sorguları desteklemektedirler. Bu sorgulara örnek olarak bir şehir üzerindeki belli bir noktadan sonraki araçların listesi, bir sonraki kavşağa olan uzaklık verisi sayılabilir [3].

2.1.2 Akıllı Objeler

Akıllı objeler[4] kavramı simülasyonlar içerisinde aktörler ile nesneler arasındaki etkileşimi otomatikleştirme amacıyla geliştirilmiştir. Bu nesnelerin tasarımı aşamasında, aktörlerin bu nesneleri ne şekilde kullanabileceği, nesne özelliklerinin ne olduğu ve ne şekilde değiştirilebileceği belirlenmekte ve bu etkileşimlere nesnelerin ne şekilde tepki vereceği belirlenmektedir. Özellik modelleme olarak isimlendirilen bu yaklaşımda aşağıdaki etkileşim özellikleri modelleme sırasında belirlenmektedir [4];

- *Gerçek obje özellikleri*; objenin parçalarının hareket özellikleri, objenin amacının semantik açıklaması, gibi.
- *Etkileşim bilgileri*; etkileşimin noktalarının yeri (butonlar gibi), bu etkileşim parçalarını hangi formatlarda kullanılabileceği (gerekli el şekilleri)
- *Obje davranışları*; objenin durumuna göre davranış biçimleri, örneğin otomatik bir kapının ne şekilde açılıp kapanacağı, kapı bölmesinde bir insan bulunması durumunda kapanmaması gibi
- *Beklenen aktör davranışları*; aktörlerin nesneleri ne şekilde kullanabileceği, ne zaman yürümesi gerektiği, eli ile nereye erişmesi gerektiği gibi kullanım detayları verilmektedir.

Bu özelliklerin simülasyon içerisinde kullanılabilmesi için aktörlerin bu objeleri semantik olarak kavraması ve gerektiği durumlarda onları tanımlanmış şekillerde kullanabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, simülasyon içerisinde gerçekleştirilmesi istenen obje ve aktör davranışları bir script dili kullanılarak sıralanmakta ve sonuçta çıkan program asıl olarak simülasyon senaryosunu oluşturmaktadır.

2.1.3 Ontoloji Modeli

Ontoloji belirli bir alandaki kavramların ve bu kavramlar arasındaki ilişkilerin açıklamasından oluşmaktadır [7]. Ontolojiler genel olarak alan bilgisinin paylaşılmasını ve tekrar kullanılmasını sağlaması bakımından büyük önem taşımaktadırlar. Ontolojiler bir alandaki kavramsal bilgilerin ortak bir sözlük şeklinde tutulmasını ve gerektiğinde bu ortak sözlük vasıtası ile farklı programlar arasında ortak bir dil geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bir simülasyon içerisinde ontoloji bilgisinin kullanılabilmesi için simülasyonu yapılacak alandaki nesnelerin, aktörlerin ve görevlerin tanımlarının ve birbirleri ile olan ilişkilerinin açıklandığı bir ontolojinin, simülasyonu yapılacak olan alanın uzmanları tarafından oluşturulması gerekmektedir.

Ontoloji yapısıyla ilgili örnek bir uygulama [1]'de verilmiştir. Bu uygulama içerisinde hava savunma sistemleri ile ilgili geliştirilecek olan bir simülasyon için gerekli ontolojinin ne şekilde oluşturulacağına ilişkin bir ön çalışma verilmektedir. Bu çalışma içerisinde tanımlanmış olan ontolojiler aşağıda verilmiştir;

- *Füze ontolojisi*: Bu ontoloji içerisinde tüm füzelere temel olan bir *Missile* sınıfı oluşturulmuş ve diğer tüm füzeler bu sınıftan türetilmiştir. Spesifik füzeler ile ilgili özellikler bu alt sınıflar içerisinde verilmektedir.
- *Sensör ontolojisi*: Bu ontoloji içerisinde yine temel bir *Sensor* sınıfı oluşturulmuştur. Simülasyon içerisinde kullanılacak sensörlerin özellikleri hakkında bilgi içermektedir.
- *Platform ontolojisi*: Platform ontolojisi füze sensör nesnelerinin platformu hakkında bilgi sağlanması amacıyla tasarlanmıştır. Platform olarak sağlanabilecek alt sınıflar olarak hareketli (*Mobile*; uçak, gemi gibi), sabit (*Immobile*; radar istasyonu gibi) ve insan sınıflarıdır.
- *Görev ontolojisi*: Bu ontoloji içerisinde simülasyonda bulunan aktörlere verilebilecek görevler ile ilgili bilgiler ve tanımlamalar yapılmaktadır. Ontolojinin temel bileşeni olan *Action* sınıfı simülasyon içerisinde yapılabilecek aksiyonları tanımlamak için kullanılmaktadır. Bir simülasyon içerisinde yapılabilecek aksiyonların tam bir listesini çıkarabilmek imkansız değilse bile çok zahmetli bir iştir. Bu zorluktan dolayı, tanımlanan aksiyonlar genel kullanımlı olarak tasarlanmak durumundadır. Örnek aksiyonlar olarak *Cruise*, *Patrol* gibi genel amaçlı eylemler gösterilebilir.
- *Senaryo ontolojisi*: Bu ontoloji yukarı bahsedilen diğer ontolojileri birbirine bağlayan sınıfları içermektedir. Füze, sensör ve platform sınıfından olan nesnelere seçilen görevlerin atanması, bu görevlerin belirli bir sıra ve ilişki içerisinde gerçekleştirilmesi bilgisi bu ontoloji içerisinde yer almaktadır.

Tanımlanmış bu ontolojilerin bir simülasyon senaryosu içerisinde birlikte kullanılabilmesi amacıyla ontoloji sınıflarına karşılık gelen yazılım sınıflarının oluşturulması ve bunların bir simülasyon altyapısı içerisinde çalıştırılması gerekmektedir. Bu yöntem ile ilgili önemli bir ayrım ise, oluşturulacak olan simülasyon altyapısının herhangi bir ontoloji ile beraber çalışıp çalışamayacağının belirlenmesidir.

Ontoloji bilgisinin verili ve sabit olduğu durumlar için simülasyon altyapısının tasarımı nispeten kolay olacaktır. Esnek bir simülasyon altyapısına düşen en önemli görev yeni ontolojilerin eklenmesi durumunda bunun senaryo ontolojisi ve simülasyon içerisinde kullanılabilmesi yeteneğinin sağlanması olacaktır.

2.2 Davranış yapıları

Simülasyon içerisindeki nesnelerin ve aktörlerin davranışlarının modellenmesi ve dinamik olarak bu davranış biçimlerinin değiştirilebilmesi ile ilgili yapılar senaryo bilgisinin en önemli parçalarından biridir. Bu yapıların esnekliği ölçüsünde simülasyonun farklı amaçlar için yönlendirilmesi ve yeni simülasyon uygulamalarının kolaylıkla oluşturulabilmesi sağlanabilecektir.

Simülasyon içerisindeki gerçekçiliğin arttırılabilmesi amacıyla zengin davranış biçimlerinin oluşturulması ve senaryo içerisinde bunların esnek bir şekilde kullanılabilmesi gerekmektedir. Bu amaçla başarılı bir senaryo altyapısı aşağıdaki davranışsal özellikleri sağlamalıdır [10];

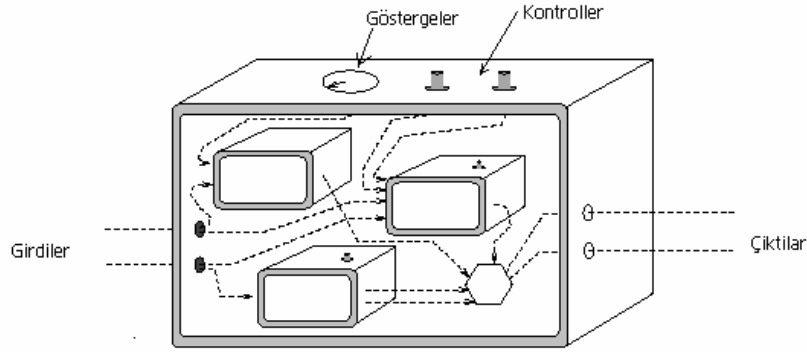
- Simülasyon içerisindeki aktörlerin tepkisel davranış sergileyebilmeleri
- Senaryo altyapısının simülasyon içerisindeki tüm aktörlerin ve nesnelerin davranışlarını kontrol edebilmesi ve yönlendirebilmesi
- Birden fazla ilgi odağı ile uğraşabilmeye olanak sağlayan davranış yapıları,
- Birden fazla davranış yönlendirmeleri arasında seçim yapmaya olanak sağlayan yapılar
- Davranış şekillerinde ilerleyen değişimi ve iyileşmenin sağlanabilmesi

2.2.1 HCSM (Hierarchical Concurrent State Machines)

Davranış modellemesinde kullanılan yöntemlerden biri de durum makinalarıdır (*state machines*). Durum makinaları davranış modeli içerisindeki muhtemel durumları ve bu durumlar arasındaki geçişleri içeren bir modelleme yöntemidir. Standart durum makinaları ile ilgili en önemli sorun, karmaşık davranış modellerin oluşturulmasında karşılaşılan zorluklardır. Çok sayıda durumun ve bu durumlar arasındaki bağlantılar oldukça fazla karmaşık ve anlaşılması zor bir diyagram oluşturabilmektedir.

Standart durum modellerindeki karmaşıklığı çözmek amacıyla oluşturulan hiyerarşik eşzamanlı durum makinaları (HCSM) modeli [10] içerisinde durum makinaları hiyerarşik bir yapı içerisinde tutulmaktadır. Bu sayede durum model çok daha anlaşılır ve kolay oluşturulabilir yapı içerisinde tutulmaktadır.

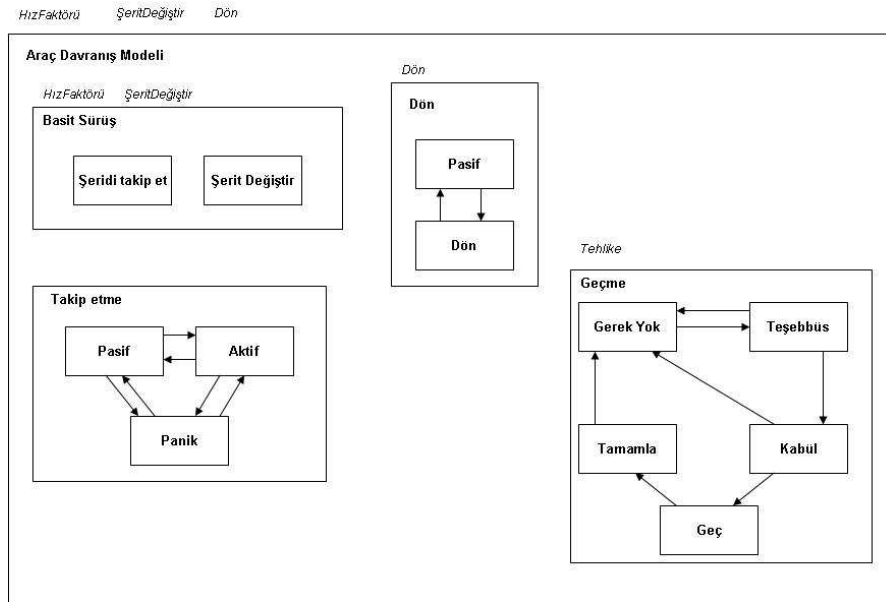
Şekil 3'te örnek bir HCSM verilmektedir. Örnekte üst seviye durum makinasının içerisinde alt seviye 3 durum makinası daha bulunmaktadır. Her bir durum makinasını bir takım girdileri ve çıktıları bulunmaktadır. Ayrıca, durum makinasının davranış biçimini değiştirebilmek için kontroller ve durum makinasının içerisinde olanlar ile ilgili göstergeler bulunmaktadır.



Şekil 3. HCSM yapısı

Şekil 4'te araç simülatörleri için geliştirilmiş olan araç davranış modeline ait HCSM diyagramı bulunmaktadır. HCSM diyagramları içerisinde yerleştirilmiş olan durum kutularının her birinin içerisinde durumun gerçekleştirilmesi ile ilgili bir prosedür bulunmaktadır. Bu durumun aktive olduğu anda durum ile ilgili kod çalışacaktır. Şekil üzerindeki italik yazılarla verilmiş olan yazılar durum makinasının kontrollerini göstermektedir. Bu kontroller sayesinde içerideki durum makinalarının davranışları senaryo sistemi tarafından değiştirilebilmektedir.

HCSM yapısında davranış modelinin kolaylıkla değiştirilebilmesinin bir diğer yolu da, durum makinaları içerisindeki geçişlerin ve/veya bu geçişler için tanımlanan koşulların değiştirilmesidir.

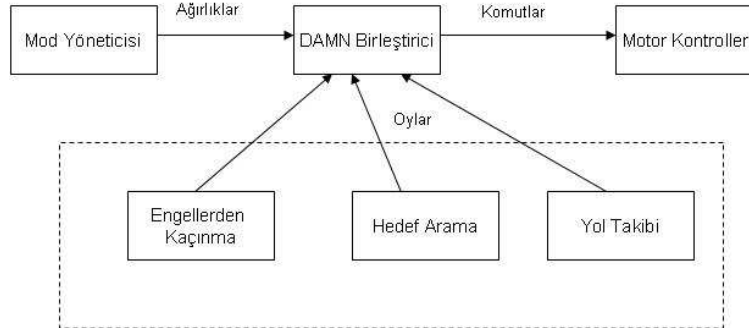


Şekil 4. Araç Davranış Modeli

2.2.2 DAMN

DAMN (Distributed Architecture for Mobile Navigation) [2] robot hareketlerinin modellenmesi için geliştirilmiş bir sistemdir. Bu çalışma içerisinde robot simülasyonları/modellemeleri için bazı gerçekçi varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar (veya gözlemler) (i) modellenmenin gerçekleştirileceği ortam hakkında bilginin tam olmayabileceği veya hiç bilgi olmayabileceği (ii) karar verme mekanizmasının bir çok farklı kaynaktan gelen bilgiyi kullanması gerektiği ve (iii) robota yön verilmesi için oluşturulacak olan son kararın bir çok farklı karar verme mekanizmasının oluşturduğu davranış biçimleri arasından seçilmesi gerekebileceği ve bu davranış biçimlerinin bir şekilde birleştirilerek bir son davranışın oluşturulması gerekebileceğidir.

Şekil 5'te DAMN sisteminin genel bir mimarisi verilmiştir. Bu mimari içerisinde davranış birimleri (Engellerden Kaçınma, Hedef Arama, Yol Takibi) robotun sonuç davranışı için hesaplamalar yapmakta ve kendi içlerinde oluşturdukları davranışları DAMN Birleştiricisine göndermektedirler. Birleştirici Mod Yöneticisinden aldığı modül ağırlıklarını kullanarak bu davranış modelleri arasında bir tercih oluşturmakta ve oluşan davranış şeklini uygun komutlarla kontrolöre göndermektedir. Kontrolörün görevi kendine verilen eylemleri gerçek veya sanal ortamda gerçekleştirmektir. Bu yöntem sayesinde farklı karar verme mekanizmaları uygun bir şekilde birleştirilmektedir.



Şekil 5. DAMN Mimarisi

Farklı davranış biçimleri arasından bir karar verilebilmesi için aşağıdaki yöntemlerden biri kullanılmaktadır.

Belirli bir koşulu sağlayan en yüksek veya en düşük değerın sonuç olarak seçilmesi. Bu yöntemin kullanılmasına örnek olarak robotun ilerleme hızını belirleme görevinde oylar arasındaki en yüksek değerin seçilmesi gösterilebilir.

İkinci yöntemde, oylar arasında bir çeşit birleştirme işlemi uygulanır. Örneğin robotun yönünün belirlenmesi işleminde oylar tarafından verilen yönlerin vektörel toplamaları sonuç olarak sunulabilmektedir.

Üçüncü yöntemde davranış birimleri direk olarak kontrol verilerini oylamak yerine kontrol sonucunda oluşmasını istedikleri veya istemedikleri sonucu bir başka deyişle hedefi tanımlarlar. DAMN birleştiricisi davranış birimi ağırlıklarını ve istenen sonucun olanaklı olup olmadığını göz önüne alarak bir karar verir. Bu yöntemde diğerlerinden farklı olarak birleştiricinin seçilen sonuca nasıl varılacağını hesaplaması ve kontrol birimine uygun komutları kendi başına göndermesi gerekmektedir.

Son yöntemde davranış birimleri üçüncü yöntemdeki gibi direkt olarak kontrol verilerini oylamazlar, bunun yerine oluşmasını istedikleri dünya/çevre durumunu tanımlarlar. Bu yöntemde birleştirici karar verilen dünya durumunun oluşması için kendi içerisinde hesapladığı işlemleri yapar ve aktör üzerindeki sensörleri kullanarak istenen durumun oluşup oluşmadığını kontrol eder.

2.3 Senaryo tanımlama dilleri

2.3.1 IOWA Trafik Simülasyonu

IOWA Trafik Simülasyonu [8] IOWA Üniversitesi tarafından geliştirilen 3 boyutlu bir trafik simülasyonudur. Bu simülatör içerisinde birçok çeşit araç kullanılabilmekte ve simüle edilmektedir. Araçların davranış modellerinin oluşturulmasında 0 başlığında anlatılan durum makinaları kullanılmıştır.

Bu simülasyon sisteminde ilginç olan bir diğer nokta da simülasyon senaryolarını tanımlamak için kendilerine özel bir senaryo tanımlama dili geliştirilmiş olmasıdır. Bu senaryo tanımlama dili, SDL (Scenario Description Language) [3], simülasyonun sanal ortamındaki tanımlanmış tüm nesneleri ve aktörleri kontrol edebilecek bir esnekliğe sahiptir. Bu esnekliğe sahip olmasındaki en önemli faktör, simülasyon nesnelerinin oluşturulan script içerisinde dinamik olarak simülasyon programı içerisindeki nesnelere bağlanmasıdır. Bu sayede ekstra herhangi bir program yazmadan oluşturulacak olan script sayesinde tam bir simülasyon senaryosu oluşturulabilmektedir.

SDL içerisinde aşağıdaki işlemleri yapmak için gerekli komutlar tanımlanmıştır;

Yapay ortama erişilmesi ve çeşitli sorgular yapılabilmesi, örneğin hava koşullarının öğrenilmesi, yoldaki araçların listelenmesi

Sahneye yeni nesne veya aktör eklenebilmesi veya var olanları silinebilmesi

Var olan nesne veya aktörlerin özelliklerinin sorgulanabilmesi ve değiştirilebilmesi

Var olan aktörlere daha önceden tanımlanmış çeşitli komutların gönderilebilmesi

Program kontrolünün sağlanabilmesi için *for*, *if*, *while* gibi anahtar kelimeler

Program komutlarının zamansal ilişkisinin sağlanabilmesi için monitörler, örneğin *when*, *aslongas* gibi

Trafik simülatörünün çalışmasını sağlayan altyapı, kendisine argüman olarak geçirilen SDL komutlarını içeren senaryo dosyasını okumakta ve yorumlamaktadır. Yorumlanan komutlar, uygun koşulların oluşması sonrasında çalıştırılmakta ve simülasyon etkileşimi sağlanmaktadır.

2.3.2 MSDL (Military Scenario Description Language)

MSDL [6], askeri simülasyonlarda senaryoların tanımlanabilmesi için oluşturulmuş özelleşmiş bir senaryo tanımlama dilidir. XML tabanlı olan bu dil içerisinde senaryonun geçtiği ortam, planlar, taraflar, araç-gereçler, tesisler, taktiksel grafikler gibi bilgiler bulunmaktadır. MSDL'in ana motivasyonu senaryo içerisindeki tüm olayların tanımlanamayacağıdır. Bunun yerine senaryonun başladığı koşullar, ve eğer gerekiyorsa geçmişte kalmış olayların tam olarak tanımlanmasıdır. Bu yöntemle, uygulamadan bağımsız olarak senaryonun başlatılabilecektir. MSDL askeri alanda kullanılacak olan

nesnelerin ve aktörlerin kavramsal verisinin oluşturulmasını yani ontolojilerinin oluşturulmalarını ön koşul olarak sunmaktadır.

MSDL içerisinde verilen önemli bilgi gruplarından bir tanesi çevre bilgisidir. Bu grup içerisinde zaman, arazi ve hava koşulları ile ilgili bilgiler verilmektedir. Diğer önemli bilgi grubu ise plan grubudur. Bu grup içerisinde görevler, yapılması gerekli eylemler ve bu eylemler için gerekli tetikleyici olaylar ve zaman koşulları sıralanmaktadır.

3. STS (SENARYO TABANLI SİMÜLASYON) SİSTEMİ PROJESİ

STS projesinin ana motivasyonu simülasyon sistemlerinin geliştirimi sırasında kod tekrar kullanımını en üst seviyeye çıkarmaktır. Bu amaçla, geliştirilmesi henüz tamamlanmamış olan proje içerisinde fiziksel, görsel, ses, girdi, ağ (HLA) gibi temel simülasyon modülleri tekrar kullanılabilir bir şekilde geliştirilmektedir. Bunların yanında tekrar kullanılabilirliğin en önemli etkeni olan senaryo altyapısı da genel kullanımlı bir şekilde tasarlanmaktadır. Proje genel anlamda herhangi bir alana özel olarak tasarlanmamaktadır.

STS projesi içerisindeki senaryo altyapısının tasarımı için yukarıda bahsedilen akıllı objeler ve senaryo tanımlama dili yaklaşımları benimsenmiştir. Bu kapsamda simülasyon ortamı kavramsal bir şekilde tutulmaktadır. Bu ortam verisi içerisinde, tüm nesneler ve aktörler ile ilgili kavramsal veriler, bu objelerin özellikleri, yetenekleri bulunmaktadır. Diğer sistemlerden farklı olarak belirli bir standart yöntem izlenerek, altyapı kodunda değişiklik yapılmadan, sisteme yeni nesnelerin ve aktörlerin eklenebilmesinin sağlanacak olmasıdır. Bu özellik, eklenecek olan objelerin özellikleri ve yeteneklerinin sistem tarafından otomatik olarak keşfedilmesi gerektirmektedir. Bu tanımlama işlemi esas olarak obje ile ilgili ontolojinin sistem tarafından obje yardımıyla oluşturulması anlamına gelmektedir.

Senaryo oluşturma amacıyla, bir senaryo tanımlama dili geliştirilmektedir. Bu senaryo tanımlama dili 0'de bahsedilen dile benzer bir yapıda olacaktır. Ancak, özellikle kavramsal ortam tarafından desteklenecek olan sorgulama işlemlerine yenileri dinamik olarak eklenebilecektir. Sadece trafik simülasyonu alanında değil de genel amaçlı bir sistem geliştirileceğinden dolayı sorgular ve destelenen nesne ve aktör tipleri dinamik olmak durumundadır. Bu dinamizmin sağlanabilmesi amacıyla kullanılacak olan script dili içerisinde tam bir dinamik bağlama yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntem içerisinde tip kontrolleri tamamen çalışma zamanı içerisinde gerçekleştirilecektir.

4. SONUÇ

Simülasyon sistemleri içerisinde senaryo altyapılarının esnekliği o simülasyon sisteminin tekrar kullanılabilirliğini belirleyen en önemli faktördür. Bir simülasyon sistemi içerisinde farklı senaryoların çalıştırılabilmesi, sistemin geliştirilmesinin tamamlanmasından sonra yeni senaryoların oluşturulabilmesi ve sisteme kod geliştirmeden eklenebilmesi toplamdaki geliştirilme süresinin kısaltılmasını ve karmaşık senaryo yapılarının desteklenmesi sayesinde simülasyonun gerçekçiliğinin arttırılmasını sağlamaktadır. Esnek bir senaryo yapısının sisteme eklenebilmesi için sanal ortam yapısının ve aktör davranış yapısının dış bir modül tarafından sorgulanabilmesi ve kontrol edilebilmesi gerekmektedir.

Senaryo oluşturma işlemi esas olarak tasarım sürecinin bir parçasıdır. Senaryo tanımlama dilleri tasarım aşaması ile oluşturulan senaryonun çalıştırılması arasında bir bağlantı görevini görmektedir. Bu bağlantı sayesinde yeni senaryoların çalıştırılması için herhangi bir yazılım geliştirme sürecine ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu noktada en önemli şey gerek senaryo tanımlama yapısının gerekse senaryo çalıştırma yapısının desteklenen özellikler yelpazesi konusunda ne kadar esnek olduğudur.

KAYNAKÇA

- [1] Yasin SAY, Kadir SARIKAYA, Ferhun KUNDAKÇI, Halit OĞUZTÜZÜN.(2004) "Using Ontologies for Scenario Development", TAINN 2004.
- [2] J. Rosenblatt, (1995) "DAMN: A Distributed Architecture for Mobile Navigation". In AAAI Spring Symposium on Software Architectures for Physical Agents, Stanford CA.
- [3] Peter Jason Willemsen, (2000) "Behavior and Scenario Modeling for real-time Virtual Environments", Phd. Thesis. Computer Science in the Graduate Collage of the University of Iowa.
- [4] M. Kallmann and D. Thalmann, (1999) "A Behavioral Interface to Simulate Agent-Object Interactions in Real-Time", Proceedings of Computer Animation 99, IEEE Computer Society Press, Geneva, 138-146.
- [5] Stephanie Donikian, (2004) "Informed Virtual Environments", EUROGRAPHICS.
- [6] Robert W. Franceschini, Derrick J. Franceschini, Robert B. Burch, Russ Sherrett, (2004) "Specifying Scenarios Using the Military Scenario Definition Language", 2004 Fall SIW, 04F-SIW-068.
- [7] T. R. Gruber. (1993) "A translation approach to portable Ontologies." Knowledge Acquisition, 5(2):199-220.
- [8] James Cremer, Yiannis Papelis, (1994) "The Software Architecture for Scenario Control in the Iowa Driving Simulator", Proc. 4th Computer Generated Forces and Behavioral Representation Conference, Orlando, FL.
- [9] James Cremer, Joseph Kearney, (1994) "Scenario Authoring for Virtual Environments", IMAGE VII Conference, Tucson, Arizona.
- [10] James Cremer, Joseph Kearney, and Yiannis Papelis, (1995) "HCSM: a framework for behavior and scenario control in virtual environments," ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 5(3):242--267.

HLA İÇİN MODELLEME, OTOMATİK KOD ÜRETME, İZLEME VE SINAMA ARAÇLARI

Turgay ÇELİK^(a), Rukiye SÜTBAŞ^(a), Kayhan İMRE^(a)

^(a)Hacettepe Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Beytepe Ankara

{turgay,rukiye, ki}@hacettepe.edu.tr

ÖZ

Yüksek Düzeyli Mimari (HLA – *High Level Architecture*), yeniden kullanılabilir ve birlikte çalışabilir dağıtılmış benzetim bileşenlerinin geliştirilmesine olanak sağlar. HLA uyumlu benzetim bileşenlerinin geliştirilmesinde izlenecek süreç federasyon geliştirme ve çalıştırma süreciyle (FEDEP – *Federation Development and Execution Process*) tanımlanmıştır. Bu süreç tanımlarının karmaşık olması, süreç adımlarını kolaylaştırıcı araçların kullanımını gerektirir.

Bu bildiride öncelikle HLA kapsamındaki mimari bileşenlerin MDA(*Model Driven Architecture*)’ya uygun olarak modellenmesi ele alınacaktır. Otomatik olarak üretilcek FOM(*Federation Object Model*)/SOM(*Simulation Object Model*) ve FED(*Federation Execution Data*)’in doğruluğunun sınanması HLA kurallarına göre yapılacaktır. Daha sonra mimari bileşenlerin davranışının modellenmesi ve otomatik kod üretimi konuları irdelenecektir. Son olarak federasyonun sınanması için gerekli izleme verilerinin toplanması ve federasyonun sınanması ele alınacaktır. Bu çalışma sonrasında ortaya çıkacak araçların oluşturacağı bütünleşik platformun, HLA uyumlu benzetim uygulamalarının geliştirme ve sinama süreçlerini iyileştirmesi ve hızlandırması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Davranışsal Modelleme, Federation Execution Development Process (FEDEP), High Level Architecture (HLA), Model Driven Architecture (MDA), Unified Modeling Language (UML)

A SOFTWARE MODELING, CODE GENERATION, MONITORING AND TESTING TOOL FOR HLA

ABSTRACT

High Level Architecture (HLA) allows development of reusable and interoperable distributed simulations. The process of developing HLA compliant federations is defined with Federation Execution and Development Process (FEDEP). The complexity of the development process requires automation tools to assist in simplifying the steps of FEDEP.

In this paper, firstly we will discuss modeling architecture components in HLA according to MDA(*Model Driven Architecture*). Tool generated FOM(*Federation Object Model*)/SOM(*Simulation Object Model*) and FED(*Federation Execution Data*) will be verified against HLA rules. Secondly, behavioural modeling and code generation will be discussed. Then, we will discuss data collection methods and

postmortem analysis of federations. After all these tools are integrated as a single platform, development and testing processes are expected to be improved and accelerated.

Keywords: Behavioral Modeling, Federation Execution Development Process (FEDEP), High Level Architecture (HLA), Model Driven Architecture (MDA), Unified Modeling Language (UML)

1. GİRİŞ

Benzetim sistemleri çoğu zaman dağıtılmış ortamlarda çalışan bileşenlerden oluşur. Bu bileşenlerin kolayca yeniden kullanılabilmesi ve birlikte çalışabilir olması geliştirme sürecinin etkinliğini önemli ölçüde artırır. Benzetim bileşenlerinin birlikte çalışabilmeleri için önceden tanımlanmış birtakım kurallara uymaları gerekir. HLA bu ihtiyaçları karşılamak için DMSO (*Defense Modeling and Simulation Office*) tarafından geliştirilmiştir [1]. İlk etapta savunma sanayiine yönelik olarak tasarlanmasına rağmen, günümüzde sivil sektördeki uygulamalarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. HLA'da benzetim bileşenleri federe, benzetim sistemi de federasyon olarak adlandırılır. HLA temelde, federasyon kuralları, arayüz belirtimi ve nesne modeli şablonundan (OMT – *Object Model Template*) oluşur. Federasyon kuralları federelerin ve federasyonun uyması gereken kurallardır. HLA'nın temel kurallarından biri federe etkileşimlerinin bir altyapı üzerinden sağlanmasıdır. Bu altyapı koşum zamanı altyapısı (RTI – *Runtime Infrastructure*) olarak adlandırılır. Arayüz belirtimi federelerin RTI üzerinden alacağı hizmetler ve RTI'nın federeler üzerinden kullanabileceği geridönüş (*callback*) çağrılarından oluşur. HLA belirtiminde federelerin koşum zamanında kullanacakları nesneler ve gönderip alabilecekleri etkileşimler nesne modeli şablonları ile tanımlanır. Federasyondaki her federe için bir benzetim nesne modeli (SOM), federasyon genelindeki nesne tanımları için bir federasyon nesne modeli (FOM) bulunur. RTI'nın kullanacağı nesne modeli federasyon çalışma bilgisi (FED) olarak adlandırılır [2].

HLA uyumlu benzetim sistemleri geliştirilirken izlenecek yol Federasyon Geliştirme ve Çalıştırma Süreci (FEDEP) ile tanımlanmıştır [3]. FEDEP temel olarak federasyonun amaçlarının belirlenmesi, kavramsal modelinin oluşturulması, tasarlanması, geliştirilmesi, alt birimlerinin birleştirilmesi ve sınanması, federasyonun işletilmesi ve sonuçlarının incelenmesi adımlarından oluşur.

Federasyon gerçekleştirilirken FEDEP modelinin kullanılması önerilir. Uygulama geliştiriciden, FEDEP modelinde tanımlanan adımları doğru olarak uygulaması beklenir. Ancak diğer ara katman alt yapılarında (J2EE, CORBA gibi) olduğu kadar araç desteği olmadığından, HLA uyumlu benzetim sistemleri gerçekleştirmek karmaşık, zor ve hatalara açık bir süreçtir. FEDEP modelinde belirtilen adımların gerçekleştirimini kolaylaştırıcı araçlar kullanmak üretimin kalitesini artıracaktır. Bu amaca yönelik çeşitli araçlar geliştirilmiştir [4], fakat bu araçların çoğu FEDEP modelinin bir veya birkaç sürecini ele aldığı için uygulama geliştirici birden çok araç kullanmak zorunda kalır. Bu süreçlerin çoğunu ele alabilen bütünlük bir araç büyük avantaj sağlayacaktır.

Bu bildiri kapsamında, ikinci kesim federasyon geliştiriminde uygulanacak MDA yaklaşımı hakkında özet bilgi içermektedir. Sonraki kesimde bu alanda önceden yapılan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü kesimde platformu oluşturacak tüm araçlar hakkında

bilgi sunulmuştur. Sonraki kesim ise çalışmalarımıza nasıl devam ettiğimiz konusuna ayrılmıştır.

2. MDA (*Model Driven Architecture*)

MDA, programlama dilinden, platformdan, ara katman altyapılarından bağımsız olarak sistem tasarlama amacıyla, OMG (*Object Management Group*) tarafından tanımlanmıştır. MDA'nın temel amacı sistem için detaylı, platformdan bağımsız modelin oluşturulması, daha sonra bu modelden farklı platformlara, teknolojiye göre sistem modelinin üretilmesidir. Böylece sistem gerekli değişikliklere daha kolay ve daha kısa sürede uyarlanabilir [11].

MDA yaklaşımında ilk adım platformdan bağımsız modelin (PIM – *Platform Independent Model*) oluşturulmasıdır. Bu model sistemin tüm iş kurallarını ve güvenlik, performans gibi özelliklerini ele alacak şekilde oluşturulur. Sonraki adımda, seçilen bir platform için PIM'den bir veya daha fazla platforma bağlı modele (PSM – *Platform Specific Model*) geçiş yapılır. Örneğin EJB (*Enterprise Java Beans*) için oluşturulacak PSM, EJB yapılarını içerecektir. Son geliştirme adımı da her bir PSM'nin uygulama koduna dönüştürülmesidir.

MDA, genel geliştirim süreçlerine benzemekle beraber, her bir adım sonucunda oluşan ürünler farklılık göstermektedir. MDA'da geliştiriciden beklenen, sistemi çok iyi tanımlayan bir model oluşturmaktır.

MDA'nın temel amaçlarından biri çalıştırılabilir PIM'ler elde etmektir [13]. PIM düzeyindeki yapısal model (sınıf çizim ekleri), alt yapıyla ilgili kod kesiminin üretilmesi için yeterli olabilir, ancak çalıştırılabilir model elde etmek için yapısal modelden daha fazlasına ihtiyaç vardır. İş mantığının modellenmesi için anlaşılabilir tasarım (*design by contract*) yapıları veya davranışsal modelleme kullanılabilir [12]. Davranışsal modelleme anlaşılabilir tasarıma göre daha anlaşılır ve etkin olduğu için tercih edilir. Davranış modellemek için kullanılabilecek UML modelleri, durum makinesi modeli, aktivite modeli, kullanım durumu modeli veya etkileşim modelidir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan durum makinesi modelidir. Bu çalışma kapsamında da davranış modellemek için durum makineleri kullanılacaktır.

3. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

DMSO, ticari kaygıdan çok HLA araçlarına öncülük yapmak amacıyla bir takım araçlar geliştirmiş, sonrasında bazı şirketler de bu alanda çalışmalar yürütmüştür. Bu kesimde, seçtiğimiz OMDT (*Object Model Development Tool*), Visual OMT, *MAK Data Logger*, *HLAResults* ve *SIMplicity* araçlarını inceleyeceğiz.

OMDT, DMSO tarafından geliştirilmiş OMT oluşturma sürecini iyileştirmeyi hedefleyen bir araçtır [14]. Bu araç kullanılarak FOM/SOM tasarlanıp, modellerin doğruluğu sıranabilir. Bu araç çizelge şeklinde modellemeye izin verir.

Visual OMT, *Pitch* firması tarafından geliştirilmiş, UML türevi bir modelleme dili kullanan, OMT tasarım aracıdır [15]. OMDT ile karşılaştırıldığı zaman, görsel modellemeye olanak sağlaması açısından daha kullanışlı bir araçtır.

MAK Data Logger, benzetim sistemi verilerini toplamak ve tekrar izlemek üzere geliştirilmiş bir araçtır [16]. Veriler kaydedilirken ya da tekrar izleme sırasında bazı olaylar işaretlenebilir. Tekrar izleme daha önceden işaretlenmiş olaylardan başlatılabilir. *hlaResults*, *Virtc* firması tarafından aynı amaca yönelik olarak geliştirilmiştir[17].

Yukarıda sıralanan araçların ortak özelliği tek bir FEDEP sürecini ele almalarıdır. FEDEP modelinde tanımlanan süreçlerin birden fazlasını ele alan araç setleri de geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan *SIMplicity*, *Calytrix* firması tarafından MDA yaklaşımını HLA uyumlu benzetim sistemlerine uygulamak için geliştirilmiş bileşen tabanlı bir araçtır [18]. Tasarım, otomatik kod üretme, bütünleştirme ve çalıştırma süreçlerini ele alır. Tüm HLA kavramlarını bileşen olarak modeller. Federelerin birbirleriyle ve nesne/etkileşim sınıflarıyla ilişkilerini modellemeye olanak sağlar. Modelleme esnasında nesne/etkileşim sınıflarının ilişkileri sınıf çizeneğiyle, federelerin bu sınıflarla ilişkisi çizelge şeklinde gösterilmiştir. Ayrıca federelerin genel özellikleri de modelleme esnasında belirtilir. *SIMplicity* oluşan modellerden, seçilen platform için uygulama kodunun bir şablonunu oluşturur. Ancak bu uygulama kodu RTI ile etkileşimi sağlayan kesimi içermektedir ve uygulama geliştirici iş mantığını kodun içinde doğru yere yazmak zorundadır. *SIMplicity* incelenen araçlar içinde en kapsamlısıdır. Aracın eksik yönü, modellemede UML'i yeteri kadar kullanmaması ve MDA'nın önemli bir gereksinimi olan davranışsal modellemeyi ele almamasıdır.

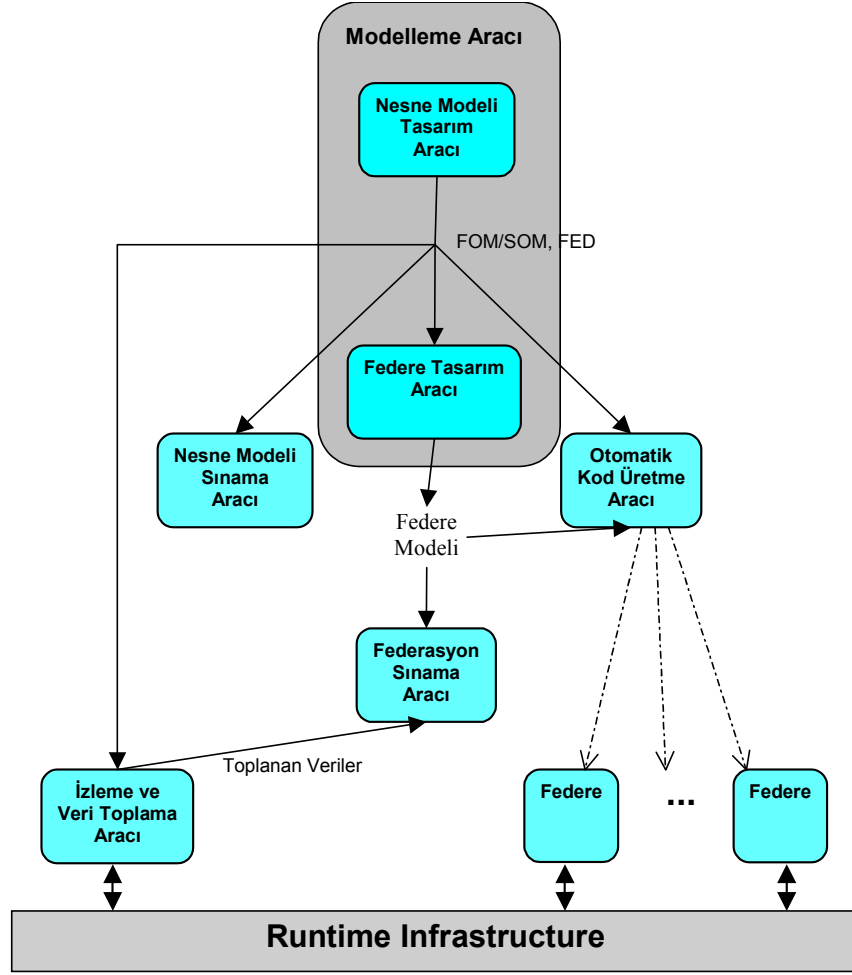
4. GELİŞTİRİLMEKTE OLAN ARAÇLAR

Geliştirilmekte olan araçlar, modelleme aracı, otomatik kod üretme aracı, izleme ve veri toplama aracı, sinama aracı olarak dört başlık altında toplanabilir. Bu araç setinin mevcut araçlara göre sağlayacağı avantajlar şunlardır:

- FEDEP sürecinde tanımlanan federasyonun tasarlanması, geliştirilmesi, izlenmesi ve sinanması adımları bütünleşik bir araç setiyle ele alınacaktır. Böylece süreçlerin gerçekleştirimi kolaylaşacak ve hızlanacaktır.
- Hem modelleme hem de sinama aşamasında UML yapıları kullanılarak bu süreçlerin etkinliği artırılabilecektir. Modelleme aşamasında yapısal modelleme için sınıf çizenekleri (*class diagram*), federelerin davranışlarının modellenmesi için durum çizenekleri (*state diagram*); sinama aşamasında ardıl-işlem çizenekleri (*sequence diagram*) kullanılacaktır.
- MDA yaklaşımında temel amacın çalıştırılabilir modeller elde etmek olduğundan, bunun için de davranışsal modellemenin gerekliliğinden bahsedilmiştir. HLA için geliştirilmiş araçlar arasında davranışsal modellemeyi ele alan bir araç olmadığından, modelleme aşamasında davranışsal modellemeye de olanak sağlanarak bu eksiklik giderilecektir.

Geliştirilecek araç setinin kapsamlı bir UML desteğine ihtiyacı vardır. Asıl amaç UML aracı geliştirmek olmadığından, araçların sıfırdan geliştirilmesi yerine, varolan UML destekli geliştirme ortamlarının incelenip genişletilmesi yolu benimsenmiştir. İncelenen geliştirme ortamları arasında, *Rational Rose Real Time* [19] daha güvenilir, uygun ve etkin olması açısından seçilmiştir. Ayrıca gerçek zamanlı uygulamalarla, federeler birçok yönden benzer davranışlar göstermektedir. Bu nedenle araç seti *Rational Rose Real Time* genişletme mekanizması (RRTEI [20]) kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Araçların RTI ve birbirleriyle olan etkileşimleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Araçların genel görünümü

4.1. Modelleme Aracı

Modelleme aracı, nesne modeli tasarımı, federe tasarımı ve federelerin nesne modelleri ile ilişkilerinin tasarımını ele alır (Şekil). Modelleme süreci, genişletilmiş UML ve arayüz formları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genişletilmiş UML kullanımına ilişkin benzer çalışmalar [6],[7],[9]'da görülebilir.

Nesne modeli tasarımı, nesne/etkileşim sınıflarının, karmaşık ve numaralandırılmış veri türlerinin tasarlanmasını ele alır. Mevcut araçlara göre temel avantajı, UML genişletme mekanizmaları kullanılarak görsel bir ortamda tasarım yapmaya olanak sağlamasıdır. Otomatik olarak üretilen FOM/SOM ve FED kütükleri DIF (*Data Interchange Format*) uyumlu olarak kaydedilebilir.

Federe tasarımı, federelerin genel özelliklerinin girilmesi ve davranışlarının modellenmesi süreçlerini içerir. Bu modelleme sürecinin bir kısmı görsel modelleme ile, bir kısmı da arayüzler üzerinden gerçekleştirilir.

Federelerin genel özellikleri, federasyona katılım adı, federasyona katılma deneme sayısı, *lookahead* değeri, zaman düzenleyici (*time regulating*), zaman kısıtlı (*time constrained*) olma durumu, tanımlayacağı ve ulaşması gereken zaman uyumlama noktaları olarak sıralanabilir. Bu özellikler federe için özel tanımlanmış arayüzler üzerinden girilebilir.

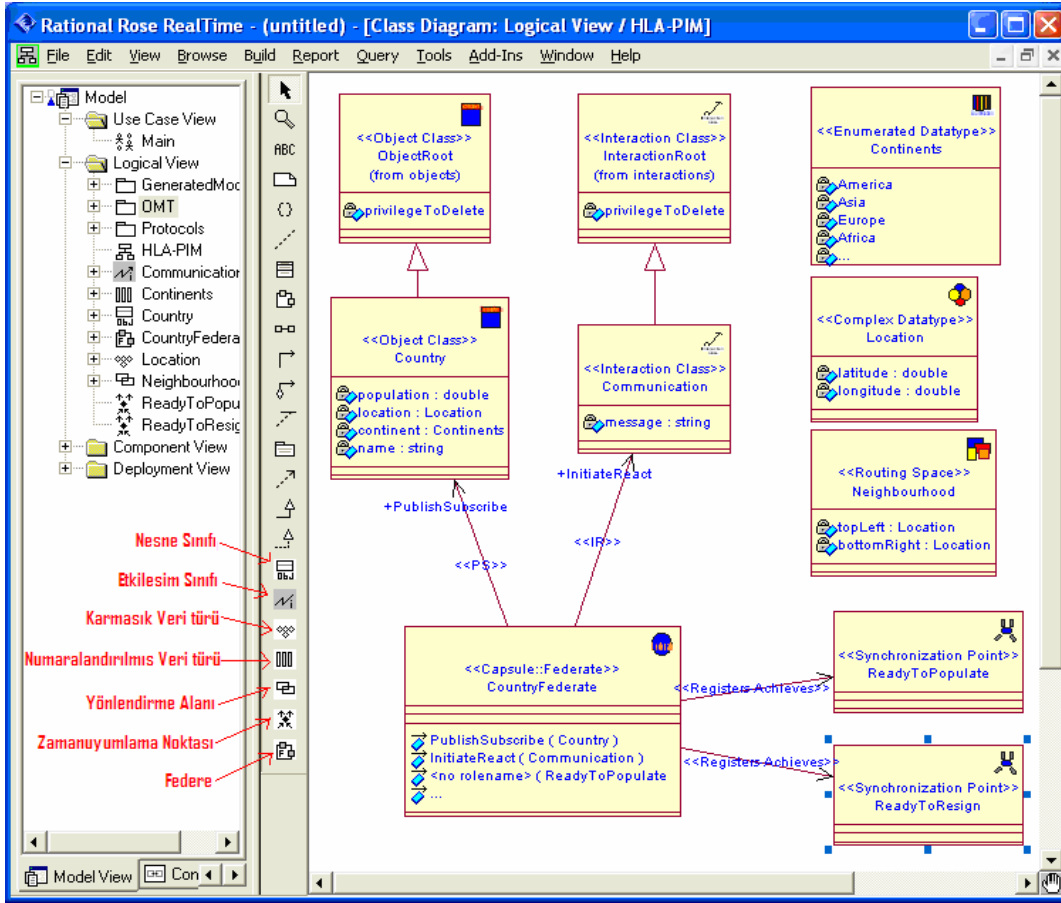
Federelerin nesne modeli yapılarıyla ilişkilerinin modellenmesi sürecinde, federeler yayınlacakları/üye olacakları (*publish/subscribe*) nesne/etkileşim sınıflarıyla ilişkilendirilirler. Ayrıca federeler, federasyonun belli noktalarda zaman uyumlamasını sağlayan zaman uyumlama noktalarıyla (*synchronization point*) ilişkilendirilebilirler.

Nesne modeli tasarımı ve federelerin nesne modeliyle ilişkilendirilmesini örnekleyen model Şekil 2’de görünmektedir. Bu örnek belirli aralıklarla nüfuslarını artıran ve diğer ülkelerin nüfuslarını takip eden ülkelerin benzetiminin modelidir.

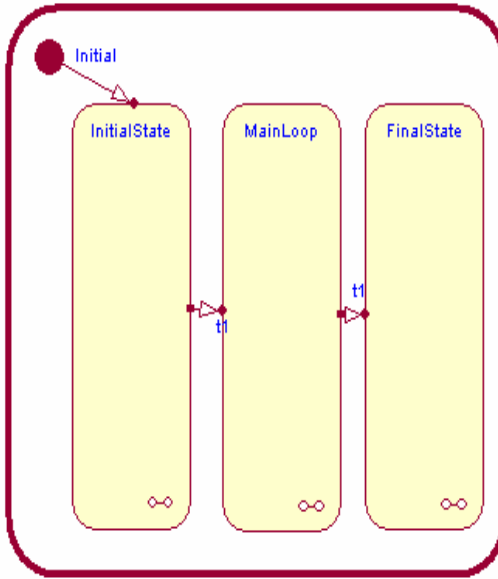
Federelerin davranışı, UML durum çizenekleri ile modellenebilir. Temel olarak bir federenin yaşam döngüsü ilk ayarlamaların yapılması, iş mantığının gerçekleştirilmesi ve sonlandırma işlemlerinden oluşur. Bu aşamalar üç ayrı birleşik durum olarak ele alınmıştır (Şekil 3).

İlk ayarlamalar birleşik durumu, federenin genel özelliklerinin tanımlandığı durumdur. Bu durum, federasyon oluşturma, federasyona katılma, zaman uyumlama noktalarını tanımlama/zaman uyumlama noktalarına ulaşma, zaman özelliklerinin ayarlanması, nesne/etkileşim sınıfı yayınlama/üye olma işlemlerinin yapılması alt durumlarını içerir (Şekil 4). İş mantığının gerçekleştirilmesi durumu ise, uygulamaya özel bir durumdur. Kullanıcı bu birleşik durumun alt durumlarını, iş mantığına göre modellemelidir. Sonlandırma işlemleri durumunda federenin federasyondan ayrılması sürecinde yapması gereken işlemler tanımlanır. Bu durumun alt durumları, kaynakların bırakılması, federasyondan ayrılma ve federasyonun sonlandırılması olabilir. Sonlandırma işlemleri durumu, ilk ayarlamalar durumu gibi federe özelliklerine göre otomatik olarak üretilir.

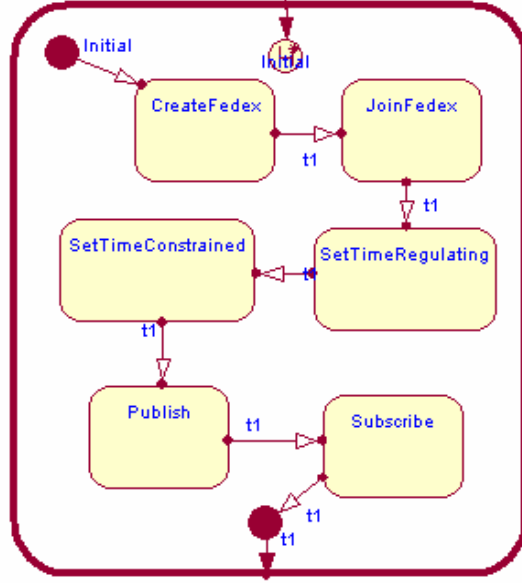
Bu kesime kadar olan modelleme işlemi platformdan bağımsızdır. Bu model, MDA yaklaşımındaki platform bağımsız modele (*PIM*) karşılık gelir. Bu modelden platforma özel model (*PSM*) oluşturulabilir. Benzer bir çalışma [10]’da ele alınmıştır.



Şekil 2. Modelleme örneği



Şekil 3. Federe yaşam döngüsü



Şekil 4. "InitialState" durumunun detayları

4.2 Otomatik Kod Üretme Aracı

Modelleme aracıyla oluşturulan model kullanılarak dile ve platforma bağımlı kod üretilebilir. HLA uyumlu bir benzetim uygulaması nesne/etkileşim sınıfları, yardımcı yapılar (numaralandırılmış/karmaşık veri türü, yönlendirme alanı) ve federelerden oluşur. Üretilcek uygulama kodu tüm bu yapıları içermelidir. Oluşturulacak genel bir uygulama çatısı ile bu yapıların şablonları oluşturulabilir ve kullanıcı birtakım karmaşık işlerden soyutlanabilir.

HLA uyumlu bir federe, iş mantığının gerçekleştirildiği kesim ve altyapıyla (RTI) bütünleşme kesimlerinden oluşan bir bileşen olarak görülebilir [8],[9]. Modüler yazılım geliştirme kurallarına dayanarak, bu kesimlerin mümkün olduğu kadar birbirinden ayrılması gerekir. RTI ile iletişimi uygulama çatısı ele alırsa, bu ayrım sağlanmış olur. Modelleme aracıyla oluşturulan model ve uygulama çatısında tanımlı kod şablonları kullanılarak HLA uyumlu benzetim sistemlerinin uygulama kodunun büyük bir kesimi üretilebilir. Otomatik olarak üretilemeyen kod kesimleri, uygulama geliştirici tarafından ya üretilen uygulama kodu üzerinde işaretlenen noktalara doğrudan yazılır ya da modelleme aracı kullanılarak durum çizeneğine eklenir.

4.3 İzleme ve Veri Toplama Aracı

Dağıtılmış benzetim sistemlerinin oluşturduğu bir federasyonun koşum zamanı bilgilerini edinmek için, bu federasyonun çalışması esnasında izlenmesi gerekir. HLA yönetim nesne modeli (MOM – *Management Object Model*) bu amaca yönelik olarak geliştirilmiştir [5]. MOM bileşenleri, nesne ve etkileşim sınıflarıdır ve bu sınıflar federasyona katılan federelerin özellikleri hakkında bilgi edinmek için kullanılır. MOM bileşenlerinin çoğu, federelerin yerine yerel RTI bileşenleri (LRC – *Local RTI Component*) tarafından yayınlanır/üye olunur. Temel olarak izleme araçları, gizli bir federe olarak federasyona katılıp istenilen verileri toplar. Böyle bir federe, federasyona

pasif olarak katılacağından, varlığı diğer federeler tarafından fark edilmez. Ancak RTI hizmetlerinden faydalanması, ağ bağlantısı gibi ortak paylaşılan kaynaklar üzerinde gecikmelere neden olabilir.

MOM bileşenleri kullanılarak bir izleme ve veri toplama aracı geliştirilebilir. Ancak federasyondan bağımsız bir izleme ve veri toplama aracı geliştirmek zor ve kapsamlı bir süreçtir. Bu nedenle izleme ve veri toplama işlemleri, ilk etapta DCT (*Data Collector Tool*) kullanılarak yapılacaktır. DCT'nin topladığı ve veri tabanına (*Microsoft Access*) kaydettiği veriler federasyon sinama aşamasında kullanılacaktır.

4.4 Sinama Aracı

Geliştirilmiş olan bir sistem her zaman kendinden beklendiği gibi davranmayabilir. Uygulama geliştirici, sistemin beklenenden farklı davranışlarını saptamalı ve gerekli düzenlemeleri yapmalıdır. Sistemin çalışma sonuçlarını sinamaya yardımcı olacak bir araç, bu sürecin etkinliğini artıracaktır. Bu amaçla geliştirilmekte olan federasyon sinama aracı, uygulama geliştiriciye sinama durumları tanımlama olanağı sağlar. Daha sonra sinama aracı, geliştirilen modeli (yapısal ve davranışsal model) ve veri toplama aracının (DCT) topladığı verileri kullanarak, sinama sonuçlarını oluşturur. Bu aşamada akışları göstermek için ardıl-işlem çizenekleri kullanılır. Böylece federelerin beklenmeyen davranışları tespit edilebilir.

Sinama aracı kapsamında ele alınacak olan diğer araç, nesne modelinin (FOM/SOM, FED) HLA kurallarına göre doğruluğunu sinamakla görevlidir. Nesne modeli, sınıf, nitelik, parametre isimlerinin biricikliği, tür bilgisi taşıyan değerlerin tür doğruluğu, sayı alanlarının doğru girilmiş olması gibi alanlarda sinanmaktadır.

5. SONUÇ VE GELECEKTE YAPILACAK ÇALIŞMALAR

Bu bildiride, FEDEP süreçlerine uygun, etkin ve hızlı HLA tabanlı uygulama geliştirmek amacıyla, gerçekleştirilmiş modelleme aracından, gerçekleştirilmekte olan sinama aracından ve gerçekleştirilmesi düşünülen otomatik kod üretme aracından bahsedilmiştir. Bahsedilen araçların oluşturduğu prototip ortaya çıktıktan sonra, araçlar örnek HLA tabanlı benzetim sistemleriyle denenecek, eksiklikleri tespit edilecek, gereksinim ve tasarımlar yeniden gözden geçirilecektir. Bütün bu değerlendirmelere göre, geliştirilecek platformun gereksinimleri daha iyi tespit edilmiş olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] *Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), (1998), "High Level Architecture Interface Specification, Version 1.3"*
- [2] *Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), (1998), "HLA Object Model Template, Version 1.3"*
- [3] *Defense Modeling and Simulation Office (DMSO), (1999), "HLA Federation Development and Execution Process (FEDEP) Model v1.5"*
- [4] *Roy Scrudder, Robert Lutz, Dr. Judith Dahmann, (1998) "Automation of the HLA Federation Development and Execution Process", Fall Simulation Interoperability Workshop*

- [5] F.Kuhl, R.Weatherly, J.Dahmann, (1999), "Creating Computer Simulation Systems-An Introduction To The High Level Architecture ", Prentice Hall: pp.192-199
- [6] Okan Topçu, Halit Oğuztüzün, (2000), "Towards A UML Extension For HLA Federation Design", *Proceedings of Conference On Simulation Methods and Applications (CSMA), Orlando*
- [7] Okan Topçu, Halit Oğuztüzün, Mark Gerald Hazen, "Towards A UML Extension For HLA Federation Design, Part II"
- [8] Alex Radeski, Shawn Parr, Rob Whitney, (2002), "The Application Of Tools Support In HLA", *SimTect Conference*
- [9] Alex Radeski, Shawn Parr, Russell Keith-Magee, (2002), "Component-Based Development Extensions to HLA", *SISO Spring SIW Conference*
- [10] Alex Radeski, Shawn Parr, (2003), "The Next Step-Appling Model Driven Architecture to HLA", *SISO Spring SIW Conference*
- [11] OMG Model Driven Architecture, OMG website, "www.omg.org/mda"
- [12] David S. Frankel, (2003), "Model Driven Architecture, Applying MDA to Enterprise Computing", Wiley Publishing: pp.79-94
- [13] Ashley McNeile, Nicholas Simons, (2004), "Methods Of Behaviour Modeling-A Commentary on Behaviour Modeling Techniques for MDA", Draft
- [14] OMDT, "<https://sdc.dmsomil/>"
- [15] Visual OMT, "<http://www.pitch.se/visualomt/default.asp>"
- [16] Data Logger, <http://www.mak.com/s1ss5p0.php>
- [17] hlaResults, "http://www.virtc.com/Products/prdFulltext.jsp?ID=c_Rslt"
- [18] SIMplicity, "http://simplicity.calytrix.com/calytrix/simplicity_pages/index.html"
- [19] Rational Rose Real Time, "<http://www-306.ibm.com/software/rational/>"
- [20] Rational Rose Real Time, "Extensibility Interface Reference", "www.isy.vcu.edu/isy/rational/documentation/rational_rosert/rosert_extensibility.pdf"

HLA TABANLI BENZETİMLERDE FEDERASYON TÜMLEŞTİRME OTOMASYONU İÇİN BİR MEKANİZMA

Cengiz TOĞAY^(a), Ali Hikmet DOĞRU^(a)

^(a)ODTU, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara

{ctogay, dogru}@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışma simülasyon geliştirme süreçleri için otomasyon destekli bir olgunlaştırma önermektedir. İleri Seviye Mimari(HLA) tabanlı simülasyonlar geliştirmek üzere teknik personelden olabildiğince bağımsız ve simülasyon kullanıcılarına yönelik bir araç ortamının altyapısı tasarlanmıştır. Bu yapı, bağlantı düzeyinde bilgileri de saklayan bir Nitelik Modeli (Feature Model) ve Nesne Model Şablonu(Object Model Template)’ndan oluşan “Alan Tanımlama Modeli” ve federeleri saklayan “Federe Deposu”ndan oluşmaktadır. Hedef, senaryo geliştiren kullanıcının grafiksel arayüz ile tanımlayacağı benzetimin federelerinin otomatik olarak bulunması ve bağlantı mekanizmalarının önerilmesidir.

Anahtar Kelimeler: İleri Seviye Mimari, Nesne Model Şablonu, Nitelik Modeli

AN AUTOMATION MECHANISM FOR THE INTEGRATION OF FEDERATIONS IN HLA BASED SIMULATIONS

ABSTRACT

This research proposes an improvement for simulation development processes. The infrastructure for a tool is designed that is oriented towards simulation users and is independent as much as possible, the developers. This structure includes wiring-level details, the Domain Description Model that is composed of a Feature Model and an Object Model Template, and the Federate Repository. The goal is to automatically locate related federates and propose connections for the simulations defined by the scenario developer, through a graphical user interface.

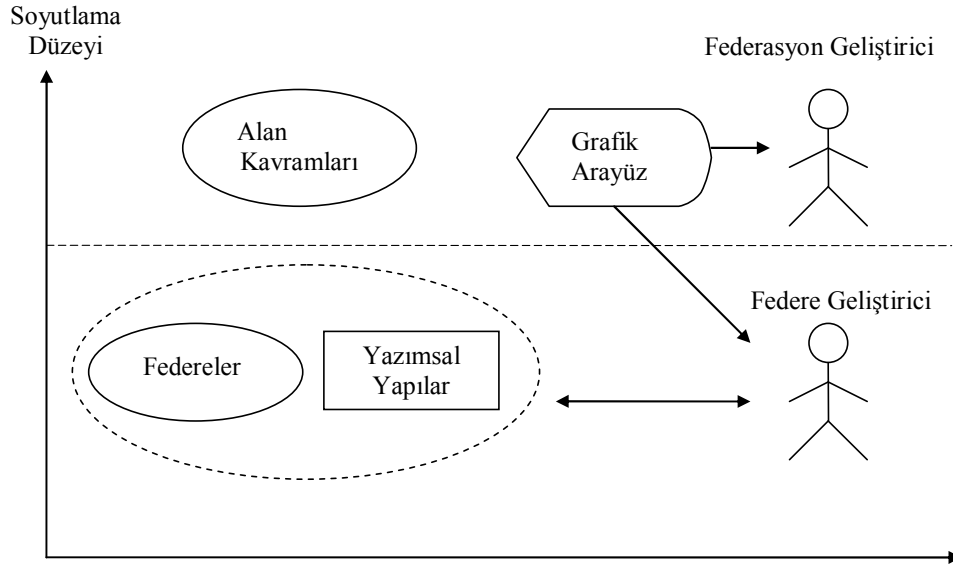
Keywords: High Level Architecture, Object Model Template, Feature Model

1. GİRİŞ

Alan bilgi birikiminin fazla olduğu durumlarda, alan hakkındaki bilgilerin ve bu bilgilerin birbirleri ile olan ilişkilerinin bir platformda ifade edilmesi uygulamalar arası standartların oluşturulması açısından avantajlar getirmektedir. Bu şekilde yapısallaştırılmış bir modelde uygulama geliştirme daha kolay ve güvenilir olabilecektir. Bu çalışma İleri Seviye Mimari(İSM) tabanlı benzetimler ile ilgilidir. Uygulamalar arasında oluşturulacak ortak bir dil ile otomatik olarak federe bulma ve bu federelerin entegrasyonu gibi imkanlar bu avantajlardan sadece bir kaçıdır.

Federasyon geliştirme sürecinin bir disiplin altında ve otomasyona yönelik olarak gerçekleştirilmesine çalışılmaktadır. Yeni gelişen Bileşen Temelli yaklaşımlar, önceden belirlenmiş bileşenlerin bulunması ve bağlanması yönünde kolaylıklar getirmekle birlikte, büyük sistemlerin tasarımının bileşenler gözönünde tutularak daha etkili bir şekilde yapılabilmesi için yöntemler getirmektedir. Bu tür yaklaşımların bir faydası da geliştiricilerin programlama düzeyindeki detaylardan kurtulup kavramlara yoğunlaşmasına imkân tanımalarıdır.

Bu yöndeki gelişmeler idealde programlama bilgisine ihtiyaç duyulmadan sistemlerin geliştirilebilmesi fikrini öne çıkartmaktadır. Bu çalışmada da kullanıcı pozisyonunda olarak düşünülen senaryo geliştiricilerinin benzetimi tek başlarına ortaya çıkarabilmeleri idealine yönelik alt yapılar geliştirilmektedir. Şekil 1’de benzetim geliştirme ile ilgili kavram düzeyleri ve kullanıcı rolleri gösterilmektedir.

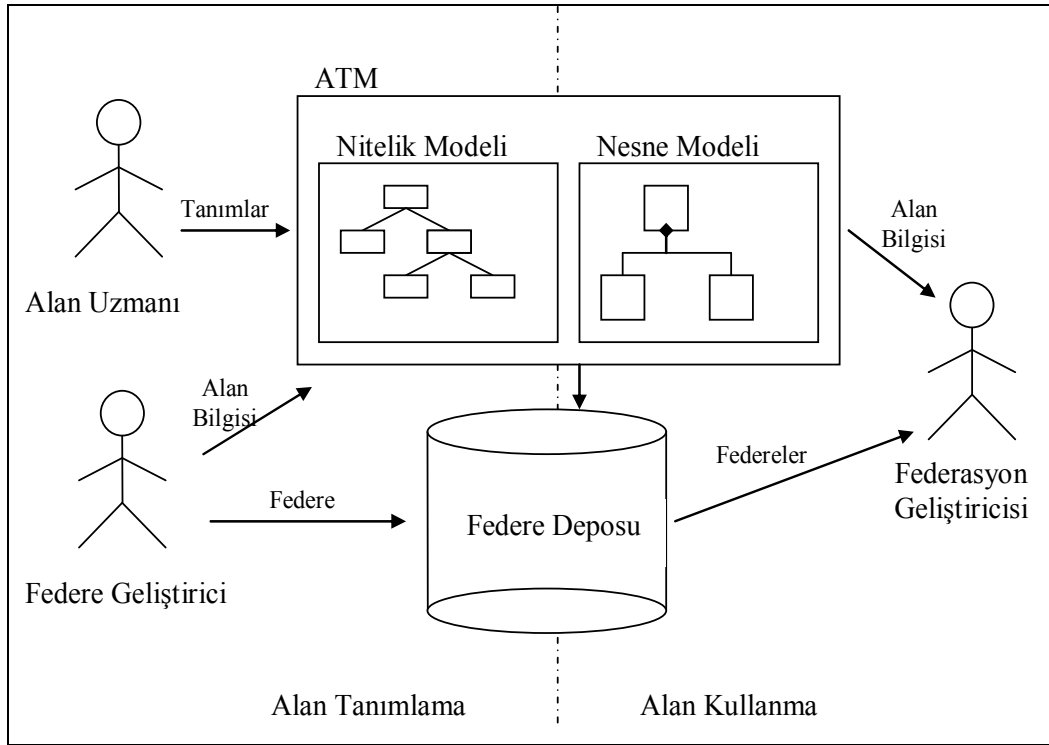


Şekil 1. Geliştirme Ortamı Kavramları

Şekil 2’den de görüleceği üzere alan hakkında detaylı bilgisi olmayan Federe geliştiricileri, belirli bir alanda daha önceden tanımlanmış yetenekler ışığında federelerini geliştirebileceklerdir. Alan Tanımlama Modeli(ATM)’nden faydalanan federe geliştiricisi, dolaylı olarak federasyon geliştiricisi (kullanıcı) ile bir bağlantı kurmuş olmakta ve hiç bilmediği bir federasyon geliştiricisi için gerekli niteliklerde federeler yaratabilmektedir.

Federasyon geliştiricileri ise federe geliştiricileri gibi alan hakkında detaylı bilgileri olmamasına rağmen ihtiyaç duydukları ya da duyabilecekleri niteliklerde federelere ATM üzerinde yapılan nitelik seçimleri ışığında ulaşabilmektedirler. ATM, sağlıklı bir benzetim için federe seçilmesi konusunda destek sağlamaktadır. Federasyon Geliştiricisi

federe seçimi yaparken, federeler arası ilişkileri gözönünde bulunduran ATM, bu seçimlerdeki yanlışlıklara da engel olabilecektir. Belirlenen federelerin birbirleri ile olan ilişkileri FED dosyalarının otomatik olarak yaratılmasına yardımcı olmaktadır. Federe Deposu ise ATM ile uyumlu federelere ait bilgilerin bulunduğu, ATM'deki nitelik modeli kullanarak yapılacak sorgulara cevap veren modüldür.



Şekil 2. Alan Yönelimli Benzetim Geliştirme Ortamı

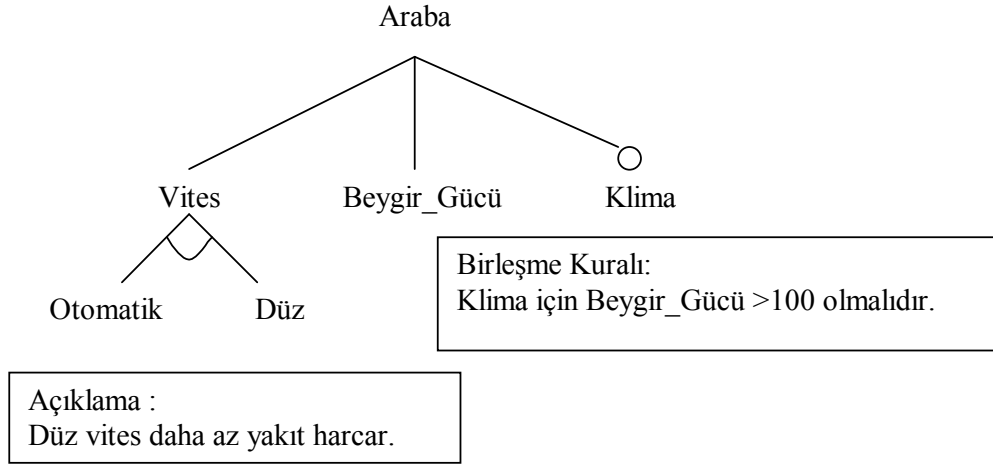
Nitelik Modeli ile grafiksel bir gösterim sağlanırken federelerin otomatik olarak birleşimine imkan veren ayrıntılı bilgi ise yazımsal olarak ifade edilmektedir. Bu yazımsal yapı daha çok otomasyon ve teknik personele yöneliktir. Ne tür federe arandığı Nitelik Model üzerindeki sorgulamalar sonucunda belirlenmektedir. Bu seçiminin sonucu, federe deposuna bir sorgu olarak yönlendirilir ve depo en uygun federeleri bulmak ile yükümlüdür.

ATM, Nitelik Modeli ve İleri Seviye Mimari(İSM) Federasyon Nesne Model Şablonundan meydana gelmektedir. Nitelik Modeli'nde federelerin sahip olacakları nitelikler bir ağaç yapısı içerisinde yer almaktadır. Nesne Model Şablonu ise federelerin benzetim ortamında kullanacakları nesneler hakkında bilgi içermektedir. ATM her iki model içinde ortak bir dil sağlamak amacıyla ontoloji desteği vermektedir.

2. MEVCUT YAKLAŞIMLAR

2.1 Nitelik Modeli

Nitelik Modeli, Feature Oriented Design Analysis(FODA)[1] ve onun gelişmiş versiyonu olan Feature Oriented Reuse Modeling(FORM)[2]'in alan hakkındaki bilgilerin saklanması amacıyla kullandıkları grafik modeldir. Şekil 3'de örnek olarak araba alanı için tanımlanmış bilgileri ifade eden bir nitelik diyagramı yer almaktadır. Diyagramda klima opsiyonel bir niteliktir ve seçilebilmesi için 100 beygirlik motor gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Vites ise Otomatik yada Düz olabilir.



Şekil 3. Örnek Feature Diyagram [1]

2.2 Web Services Ontoloji Yaklaşımları

Bazı yazılım işlevlerini ağ üzerinden bir hizmet verme prensibine dayalı olarak şekillendirilmiş “Web Services” birimleri yukarıda bahsedilen benzeri problemlerle iç içe bulunmaktadır. Çok sayıda “Web Services” bulunması, ilgili birimin aranmasında ve istenen birimin olduğunun doğrulanmasında zorluklar oluşturmaktadır. Bu neden ile W3C[3] desteğinde, servislerin kendilerini ifade etmelerini sağlayacak bir ontoloji sistemi üzerinde çalışılmaktadır. W3C’nin kabul ettiği bu konudaki son standart Web Service Ontology Language (OWLS)’dir. OWLS ondan önce geliştirilen tüm dilleri(RDF[5], RDFS, DAML[4],..) Extensible Markup Language (XML) ve Namespace’i temel almaktadır. XML aracılığı ile platformdan bağımsız çalışma imkanı sağlanırken, Namespace kavramı ile ortak anlayış oluşturulmaktadır. Ayrıca Web Services ontolojilerini destekleyen DublinCore [6,7] gibi kendi sözlüklerini öneren konsorsiyumlar mevcuttur. Bu konsorsiyumlar sayesinde kelime bazında uyum sağlanabilmektedir.

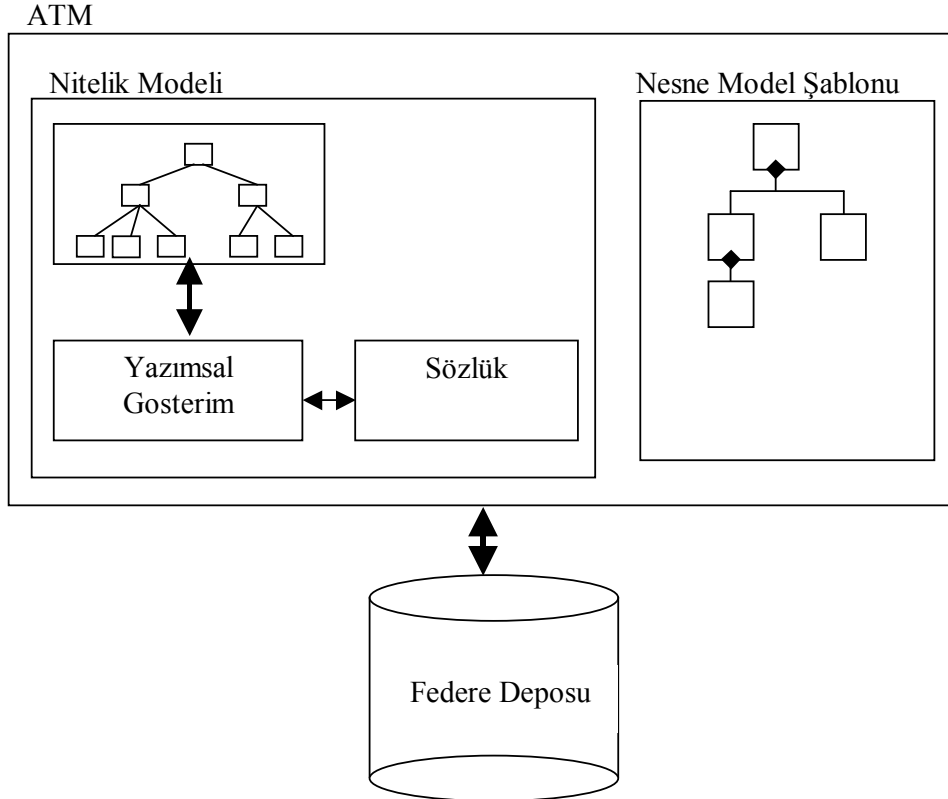
3. ÖNERİLEN YAKLAŞIM

3.1 Alan Tanımlama Modeli (ATM)

Alan Tanımlama Modeli (ATM) kullanarak, olgunlaşmış bir alandaki bilgilerin ve bu bilgilerin birbirleriyle olan ilişkilerinin tek bir çatı altında tutulması mümkün olmaktadır.

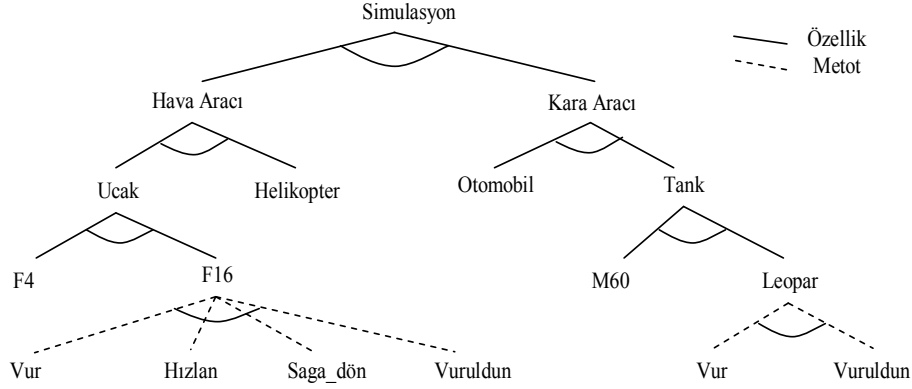
Bu yapı aynı zamanda alan hakkındaki program yada program parçalarının geliştirilmesinde kaynak olabilecek niteliktedir. Adı geçen model bir sınıflandırma yapısından çok farklıdır. Bu model operasyonel düzeyde tanımlar içermektedir.

Yapının içeriği Şekil 4’de gösterilmektedir. Şekilde ATM ve Federe deposu yer almaktadır. ATM 2 kısımdan meydana gelmektedir. Nitelik Modeli ile gereksinimler grafiksel olarak ifade edilmektedir. İçerilen bilgiler hem grafiksel olarak hem de metin tabanlı yöntemlerle saklanmaktadır. Böylece anlaşılabilirlik ve otomasyon kabiliyetleri desteklenmektedir. Hazırlanacak çevirme aracı grafik ile metin biçemi arasında çevirme işlemleri gerçekleştirilecektir. Ayrıca modelde sözü geçen kavramların gerektiğinde açıklamalarına ulaşılması için bir sözlük yapısı da içerilecektir.



Şekil 4. Yapı

Nitelik Modeli, son kullanıcı ve programcı arasında anlaşabilirlik ortamı getirmektedir. Bu model kullanıcının istekleri doğrultusunda hiç yoktan kurulabileceği gibi olgunlaşmış alanlarda hazır olarak ta bulunabilir. Şekil 5’de gösterildiği gibi hazırlanacak bir Nitelik Modelinin, tüm silah sistemlerini (Uçak,F16, gemi vb) metotlar düzeyindeki ayrıntılarla birlikte temsil etmesi sağlanabilmektedir.



Şekil 5. TSK Envanter Nitelik Modeli

Ancak bir Nitelik Modelinin yanı sıra, bir alan hakkında gerekli bilgiyi içermek için ontoloji (sözlük)’ye ihtiyaç vardır. Böylece Hızlan niteliğinin ne anlama geldiği, yeteneğinin ne olduğunun anlaşılması konusunda daha fazla bir destek sağlanmış olacaktır. Günümüzdeki kullanımları ile Nitelik ve Ontoloji modellerinin içerdiği bilgiler örtüşmemekte ve birbirlerini tamamlamaktadırlar. Bu çalışma ile farklı olan bu tür bilgiler bir araya getirilecek ve gerekirse ekler de yapılacaktır. Nitelik Modeli ve Web Services Ontoloji kavramlarının birleştirilmesi ile projenin amaçlarından biri olan ‘farklı kurumlar tarafından geliştirilmiş sistemlerin karşılıklı konuşabilirliği’ sağlanmaktadır.

Geliştirilmesi düşünülen federeler bağlanmayı düşündükleri niteliğe ait yetenek niteliklerini içermelidir. Yeni federe için düşünülen ancak ATM’de yer almayan nitelik yetenekleri eğer diğer federeler ile ilişki gerektiriyor ise orijinal ATM’ye eklenmelidir. Ekleme işlemi ancak alan hakkında bilgili kullanıcı tarafından yapılmalıdır.

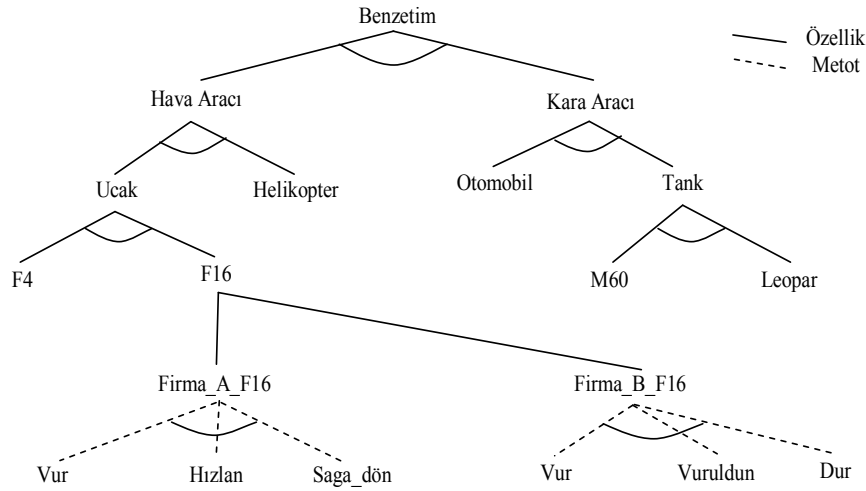
ATM’de yer alan diğer model ise İSM’de federelerin birbirleri ile konuşabilmeleri için oluşturulmuş olan standarttır. Dolayısı ile bir federeyi tanımlarken nitelik modelinin yanı sıra Nesne Model Şablonu da ayırt edici bir özellik sağlamaktadır. ATM’de içerilen bu şablon, belirlenen federeler ile FED dosyasının yaratılmasına imkan vermektedir. Nesne Model Şablonunda ‘yayın/abone’ (publish/subscribe) ilişkileri de tutulabildiğinden tutarlı benzetimin geliştirilmesine imkan tanınmaktadır.

3.2 Federe Deposu

Bir federenin tanım ve kabiliyetlerinin ATM’deki karşılığı ile ifadeleri mümkündür. Şekil 6’da iki farklı kuruma ait F16 simülatörlerinin ATM’deki tanımları yer

almaktadır. Şekilde B firmasının geliştirmiş olduğu F16 federesinin 4 operasyonu gerçekleştirebilecek bir federe olduğu ve geliştirilen federenin F16 sınıfına ait bir UCAK olduğu bilgilerine ulaşabilmekteyiz.

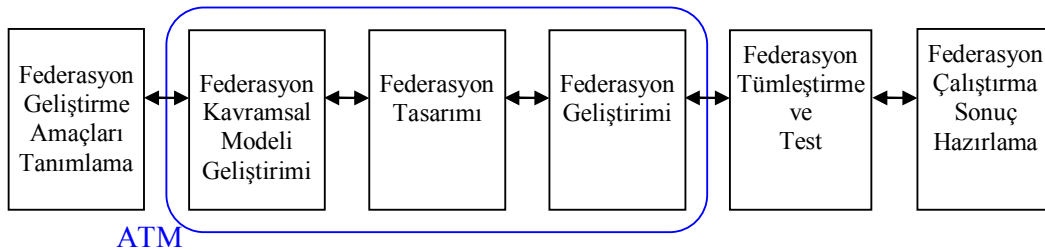
Bir F16 federesinde olması gereken nitelikler ATM tarafından sağlanmaktadır. Üretici bunlar arasından yapacağı seçimlerin yanı sıra ek yetenekleri yukarıda da bahsedildiği üzere dahil edilebilmektedir. Örneğin Firma B'nin F16'sına orijinal ATM'de yer almayan "Dur" yetenek niteliği eklenmiştir. Burada "Dur" yetenek niteliğinin daha önce ATM'de bulunmadığı fakat B firması tarafından eklendiğini varsayıyoruz.



Şekil 6. Federelerin ATM'deki yerleri

Federasyon geliştiricisi, federelere ulaşmak için seçimlerini Nitelik Modeli üzerinde yapar. Yapılan seçimler Federe Deposu tarafından değerlendirir ve mevcut federeler kullanıcıya gönderilir. Seçimler sırasında ATM, sınırlamalar, bağlantılar ve federasyona dahil edilmiş federeler ışığında kullanıcıyı yönlendirir.

Federasyon Geliştirme ve Çalıştırma Süreci [8](Federation Development and Execution Process (FEDEP)) bir federasyonun geliştirilmesi için gerekli aktiviteleri tanımlamaktadır. ATM'in bu süreçteki yeri Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. ATM'nin Federasyon Geliştirme ve Çalıştırma Sürecindeki yeri

4. SONUÇ

Programcı müdahalesini azaltıcı bir Federasyon geliştirme yöntemi önerilmiştir. Bunun için gerekli alan bilgilerini tutan Alan Tanımlama Modeli tasarlanmıştır. Bu yapı ile federelerin bulunması ve bağlanması işlemleri desteklenecektir. Önerilen ortamın işe yararlığı, ATM'nin oluşturulup senaryo geliştiricilerinin denemesine sunulması ile ortaya konabilecektir. ATM geliştirilip uygulandıktan sonra otomatik federe bulma ve bağlama yönündeki çalışmalarımız sürdürülecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Kang, K. C., Cohen, S. G., Hess, J. A., Nowak, W. E., Peterson, A.S., "Feature Oriented Domain Analysis(FODA) Feasibility Study", CMU/SEI-90-TR-21, ADA 235785, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, 1990.
- [2] Kang, K., Kim, S., Lee, J., Kim, K., Shin, E., Huh, M., "FORM : A Feature Oriented Reuse Method with Domain-Specific Reference Architectures", *Annals of Software Engineering, Volume 5*, J. C. Baltzer AG Science Publishers, Red Bank, NJ, USA, 1998, pp. 143-168.
- [3] <http://www.w3.org>
- [4] <http://www.daml.org/ontologies/>.
- [5] <http://www.w3.org/RDF/An> Introduction to the Resource Description Framework.htm
- [6] <http://dublincore.org/>
- [7] <http://dublincore.org/documents/usageguide/glossary.shtml>
- [8] Defense Modeling and Simulation Office(DMSO), "HLA Federation Development and Execution Process (FEDEP) Model v1.5", 8 December 1999.

TSK BİLGİ SİSTEMLERİ ORTAK ENTEGRASYON VE SİMÜLASYON ALTYAPISI

Murat İKİNCİ ^(a), Hakan AYÇENK ^(b), Nusret ERDENER^(c)

^(a) STM A.Ş., ODTU Teknokent İkizleri B Blok,

{ikinci, haycenk,erdener}@stm.com.tr

ÖZ

Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde bulunan veya daha sonra envantere alınacak olan stratejik, operatif ve taktik seviyelerdeki bilgi sistemlerinin birlikte çalışabilirliği, güvenilirliği, performans ve hata toleransı komuta kademelerinin etkinliği açısından hayati önem arz etmektedir. Bu sistemlerin ayrı ayrı ve bağımsız olarak test edilmesiyle, müşterek çalışma ortamı içerisinde sistemlerin birbirleri ile etkileşimlerinden doğabilecek uzun vadeli hataların tespiti ve giderilmesi mümkün olamamaktadır. Bu durum, varolan ve geliştirilecek sistemlerin eğitim, tatbikat ve hareket (barış, kriz, savaş) ihtiyaçlarını karşılama konusundaki müşterek yeterliliklerinin ölçülmesi ve eksikliklerinin sanal ve fiziki unsurların bir arada modellendiği bir hibrit çevre tarafından belirlenmesi gereğini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca bütün sistemlerin birbirleriyle olan etkileşimlerinin ve iç tutarlılıklarının uygulamada sürekli izlenmesi ve aksaklıkların anında tespiti ile düzeltici geri beslemenin yapılması gözardı edilemeyecek bir gereksinim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütünleşik bir sistem içerisinde hata toleransı en düşük olan alt sistemin bütün sistemin hata toleransını belirleyeceği gerçeğinden hareketle; sürekli ve yoğun bir izleme ve tanımlama (teşhis) faaliyeti bütün alt sistem zaafiyetlerinin belirlenmesi ve giderilmesi konusunda büyük yararlar sağlayacaktır.

Bu ihtiyaçlar doğrultusunda TSK bünyesinde kullanılmak üzere; sınırları ve gereksinimleri eksiksiz tanımlanmış; açık sistem mimarisini destekleyen; merkezi ve ortak bir çerçevenin (framework) oluşturulmasının kaçınılmaz bir gereksinim haline geldiği düşünülmektedir. Tasarlanacak bu yapının, sistemler arasında entegrasyon faaliyetleri bağlamında standart bir altyapı sağlayacağı ve sistemlerin gerçek hayatta seyrek olarak denenebilecekleri durumlar (barış, kriz) için simülasyonlar aracılığı ile en üst seviyede test edilebilme olanakları sunacaktır. Böylece sistemlerin doğrulama ve geçerleme süreçlerinin etkinliği ve güvenilirliğinin en üst seviyeye çıkarılacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Birlikte Kullanılabilirlik, HLA, Entegrasyon Çerçevesi, Modelleme ve Simülasyon, Simülasyon Bazlı Tedarik

TAF INFORMATION SYSTEMS COMMON INTEGRATION AND SIMULATION INFRASTRUCTURE

ABSTRACT

Interoperability, reliability, performance and fault tolerance of strategic, operational and tactical level information systems which are currently in the inventory of Turkish

Armed Forces and which will be acquired in future have vital importance for the effectiveness of command control echelons. Individual and independent system testing prevents identification and correction of long term anomalies which can be resulted from interactions of systems with each other within the joint operating environment. This situation requires the evaluation of joint capabilities on meeting the systems needs (training, practice and operation (peace, crisis, war)), and identification of its deficiencies by a hybrid environment in which virtual and physical elements are modelled simultaneously. Besides, continuous monitoring of the systems interactions and their internal consistencies, on time determination of anomalies and providing corresponding corrective feedback appears as a necessity which can not be omitted. Within an integrated system, keeping in mind the reality that the subsystem which has the lowest fault tolerance will determine the fault tolerance of whole system, continuous and intensive monitoring and identification activities will be very useful in determining and correcting all subsystem deficiencies.

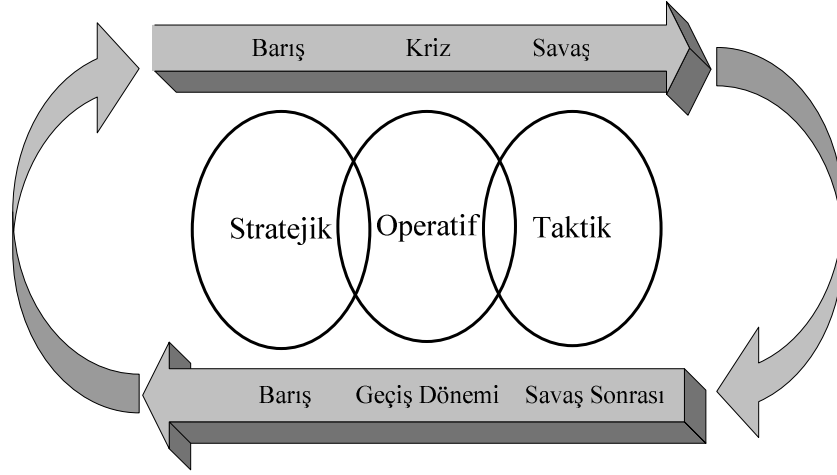
It is believed that developing a common framework which has well-defined scope and which supports open system architecture, to be used in Turkish Armed Forces for the aforementioned needs, has become an inevitable necessity. This approach will provide a standard infrastructure for integration activities between systems and present testing possibilities at top level by means of simulations for the cases (peace, crisis) in which systems can be infrequently tested in real life. Consequently, the effectivity and reliability of validation and verification processes can be perfectly achieved.

Keywords: HLA, Integration Framework, Interoperability, Modelling and Simulation, Simulation Based Acquisition

1. GİRİŞ

Son yıllardaki küresel ve hızlı gelişmeler, tüm paradigmaların kaymasına ve yeni düşünce kalıpları tanımlamalarının yapılmasına yol açmıştır. Nitelik ve nicelik olarak Avrupa'da ve bölgesinde güçlü olan durumunu ve imajını idame ettirmek zorunda olan TSK'nın da güvenlik ve strateji alanındaki yeni paradigmalara uygun bir vizyon arayışına gereksinimi olacağı düşünülmelidir. Bu bakış açısına ve açılımlarına geçmeden önce, TSK'nın algılanan yapısının stratejik, operatif ve taktik seviyelerdeki kuvvet, zaman ve mekan boyutlarının bulunduğunu anımsamamız gerekecektir.

Bilindiği gibi, stratejik seviyede kuvvet boyutunda Genelkurmay ve Kuvvet Komutanlıkları yer alır. Zaman boyutu barış, gerginlik, savaş ve savaş sonrası barış dönemlerini kapsar. Mekan boyutunda ise Balkanlar, Akdeniz, Ortadoğu ve Kafkaslar gibi büyük coğrafi alanlar bulunur. Operatif ve taktik seviyede bakıldığında kuvvet, mekan ve zaman boyutları stratejik seviyeye göre daha küçülür ve daralır.



Şekil 1. TSK Güç Kullanım Boyutları

Milli Savunma Sanayi'nin imkan ve kabiliyetleri ise bu gücün geliştirilmesi ve idamesi için gerekli kaynakların başında yeralmalıdır. Türkiye'de yazılım ağırlıklı savunma sistemlerinin geliştirilmesi faaliyetleri 10-15 yıllık bir geçmişle henüz başlangıç aşamasındadır. Muharebe sahasının sayısallaştırılması kavramına uygun olarak, bir kısım muharebe sahası fonksiyonel sistemlerinin milli olarak projelendirilerek tedariki süreci başlatılmıştır. Bu sistemler başlangıçta prototip olarak geliştirilmekte ve sonradan yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Milli olarak geliştirilecek bu sistemlerin, gelişen hareket ihtiyaçlarına göre zamanla yenilenmeleri ve bütünleyici ikincil alt sistemlerin bu sistemlere katılmaları kaçınılmaz olacaktır.

Gelecek 25-30 yıl içerisinde, Türkiye'nin yaklaşık 200 milyar ABD Doları tutarında yazılım ağırlıklı savunma sistemlerini envanterine katacağı tahmin edilmektedir. Kritik teknolojiler olarak da tanımlanan, bu sistemleri destekleyen donanım ve yazılım teknolojisindeki şaşırtıcı gelişme hızı, bu ürünlerin entegrasyon ve birlikte çalışma yeteneğini ve raf ömrünü azaltmaktadır. Birlikte çalışabilirlik, performans, etkinlik ve güvenilirlik gibi alanlarda ortak standartlar geliştirilememesi ve/veya bu standartların tedarik ve sistem geliştirme süreçlerinde kullanılamaması durumunda, gelecekte atıl donanım ve yazılım mezarlıklarının giderek büyümesi pek şaşırtıcı olmayacaktır.

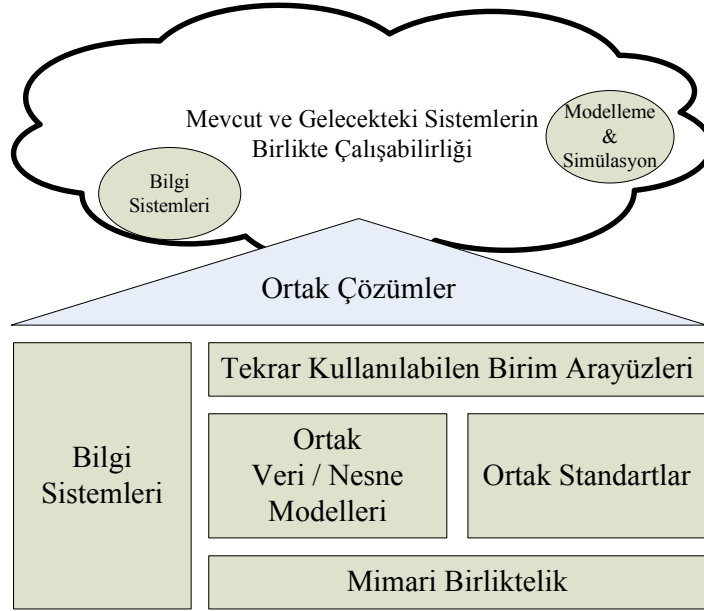
ABD Savunma Bakanlığı, 1970'li yıllardan beri sayısal sistemlerin geliştirilmesi için büyük kaynaklar harcamıştır. Ancak 1990'lı yıllarda, büyük bir kargaşa ortamı yaratıldığı görülmüş, yeni bir bakış açısıyla kurumsal ve yapısal hamleler gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, Kuvvet XXI (Digital Force XXI) kavramı geliştirilmiş, bu kavrama uygun Sayısal Tümen oluşturulmuştur. Yazılım ve donanım mimarilerinde kullanılacak standartlar, prosedürler ve süreçler tanımlanarak gerekli alt yapı çalışmaları başlatılmıştır. Ayrıca ABD Kara Kuvvetleri bünyesinde kurulan Test Komutanlığı aracılığıyla envantere girecek tüm sayısal sistemlerin donanım, yazılım ve operasyonel testleri tek otoritenin kontrolü altında toplanmıştır. Sistem geliştirme süreçlerinde tanımlı testlerin tek merkezde toplanması ile sistemlerin ortak performans, etkinlik, birlikte çalışılabilirlik ve uyumluluk özellikleri garanti altına alınmıştır.

Ülkemizdeki durum değerlendirildiğinde; benzer altyapı, standart, süreç ve üst yapı yetenek ve etkinliklerinin yeterliliğinin tartışmaya değer bulunduğu düşünülmektedir. . Gelecekte benzer kötü deneyimleri yaşamamak için ortak bir akıl yaratmadan önce, başkalarının akıllarını kullanma pratiğinden de yararlanmak gerekecektir.

Bu makalenin geri kalan kısmı şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde TSK bilişim sistemleri ortak entegrasyon ve simülasyon altyapısı için alternatifler değerlendirilmiştir. Üçüncü bölümde bahsi geçen altyapı ile sağlanacak imkan ve kabiliyetler üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölüm ise sonuç bölümüdür.

2. TSK BİLİŞİM SİSTEMLERİ ORTAK ENTEGRASYON VE SİMÜLASYON ALTYAPISI ALTERNATİFLERİ

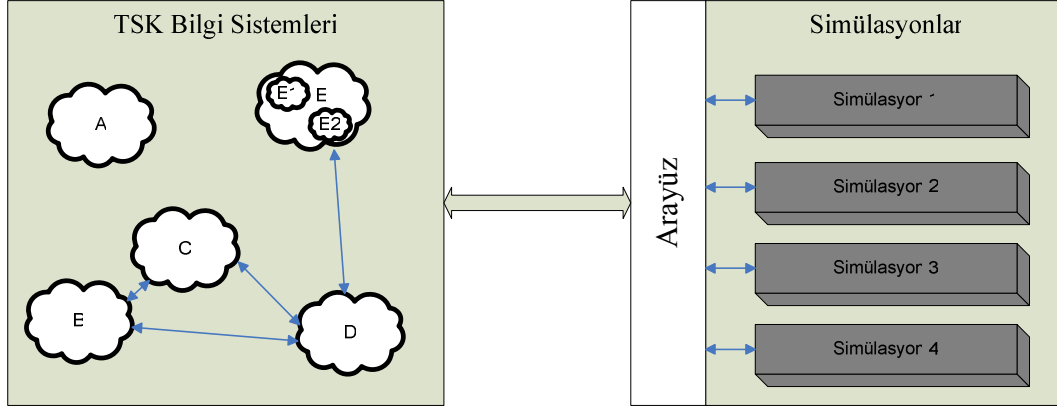
Şekil 2’de yeralan diyagram, bilgi sistemleri ve simülasyonların birlikte çalışabilirliğinin sağlanması konusunda ABD Savunma Bakanlığı tarafından öngörülen yaklaşımı sergilemektedir.[1] Binanın çatısında yeralan, bilgi sistemleri ve simülasyonlar arasındaki ortak çözümler, altta yeralan bloklar tarafından desteklenmektedir. Bu yaklaşımın en önemli özelliği gerçek sistemler ve simülasyon sistemleri için kesintisiz ve ortak bir çözümler kümesi öngörmesidir.



Şekil 2. Birlikte Çalışabilirlik Binası

Gerek TSK bünyesinde, gerekse ABD Silahlı Kuvvetleri'nde yapılan simülasyon çalışmaları göstermiştir ki, stratejik, operatif ve taktik bilgi sistemleri ile simülasyon sistemlerinde, birlikte çalışabilirlik ihtiyaçlarının tasarımının başlangıcında dikkate alınması, bu sistemlerin entegrasyonu aşamasında oluşacak maliyetlerin en aza indirilmesi konusunda anahtar rol oynamaktadır. TSK bünyesinde kullanılan mevcut bilgi sistemlerinde birlikte kullanılabilirlik ihtiyaçları yeterli derecede karşılanamadığından dolayı simülasyonlar ile iletişim ancak sonradan eklenen simülasyon arayüzleri ile sağlanabilmekte, bu yapı ise genellikle birlikte çalışabilirlik

için gerekli olan bilgi ve mesajların çok azını değerlendirebilmektedir. Bu yüzden halihazırda varolan bilgi sistemleri ile simülasyonlar arasında birlikte çalışabilirliği tam anlamıyla oluşturmak çok büyük maliyetlere ve zaman kaybına yol açacaktır. Şekil 3’de bu entegrasyon yaklaşımı özetlenmiştir.

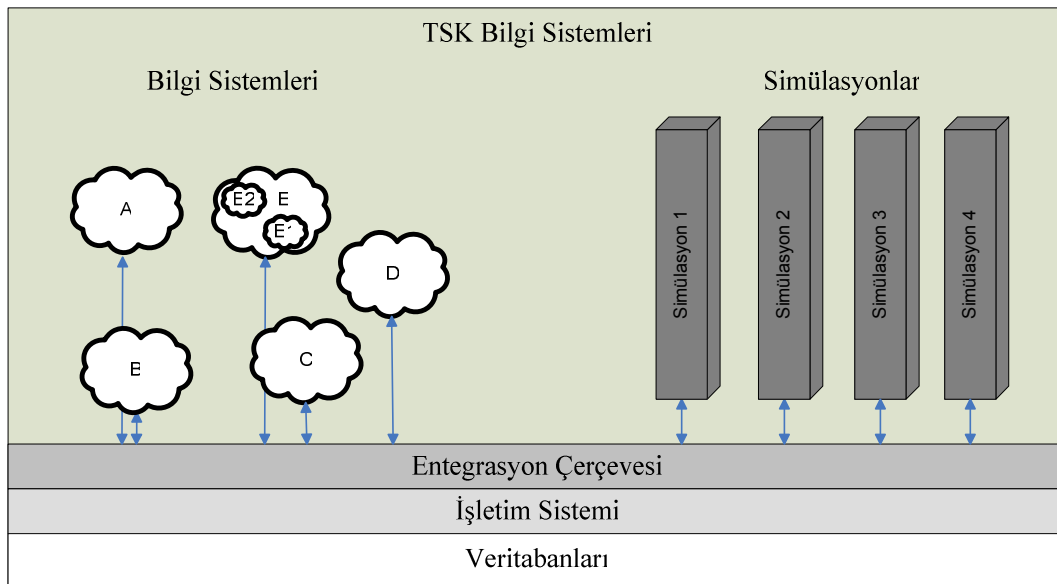


Şekil 3. Mevcut Bilgi Sistemlerinden Ayrık Benzetimler

Mevcut bilgi sistemlerinin, simülasyonlar ile birlikte kullanılabilmesi ve test edilebilmesi için tek alternatif simülasyonlar ve varolan sistemler arasında arayüz oluşturacak yazılım ve donanım parçalarının eklenmesidir. Bu yaklaşımla varolan sistemler arasında hiçbir zaman tam anlamıyla birlikte çalışabilirliğin sağlanamayacağı açıktır. Bu durum ABD Silahlı Kuvvetleri’nde de birlikte kullanılabilirliğe engel teşkil eden en önemli sorun olarak ortaya çıkmıştır. ABD Silahlı Kuvvetleri kapsamında yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan simülasyon altyapısı (High Level Architecture-HLA) [2] simülasyon sistemleri için gerekli olan bütün temel ihtiyaç ve standartları kapsamakta olup, Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesinde de referans model olarak kullanılmaktadır.[3] Yine aynı şekilde bilgi sistemlerinin birlikte kullanılabilirliğinin artırılması amacıyla ABD Silahlı Kuvvetleri kapsamında yapılan standartlaştırma çalışmaları sonucunda oluşturulan JTA (Joint Technical Architecture) ve DII COE (Defence Information Infrastructure Common Operating Environment) bilgi sistemleri için gerekli olan bütün temel ihtiyaç ve standartları kapsamaktadır. Fakat simülasyon sistemleri ve bilgi sistemlerinin birlikte kullanılabilirliği söz konusu olduğunda geliştirilmiş olan iki farklı yaklaşımın birbirine entegrasyonu ABD Silahlı Kuvvetleri için de çözülememiş bir sorun olarak durmaktadır.[4] Simülasyon ve bilgi sistemlerinin geliştirilmesinde birbirinden bağımsız iki farklı yaklaşımın kullanılması bu sistemlerin birlikte kullanılabilirliğini zorlaştırmakta ve entegrasyon sorunlarına yol açabilmektedir. Bu sistemler dar kapsamda yerel ihtiyaçların karşılanması konusunda başarı sağlamalarına rağmen gelecekte öngörülen bütünleşik, genişletilmiş, sayısallaştırılmış muharebe alanı kavramında yer alamayacaklardır. Genişletilmiş, sayısallaştırılmış, muharebe alanı kavramında simülasyonların ve gerçek sistemlerin kesintisiz birlikte çalışabilirliği, gelecekte bu sistemlerden beklenen etki ve avantajların sağlanması için büyük önem taşımaktadır.

TSK bünyesinde geliştirilmesi planlanan sistemler konusunda da aynı yanlışları tekrarlamamak ve daha güçlü bir birlikte çalışabilirlik anlayış ve görüşü geliştirmek, uygun bir düşünce olarak değerlendirilmektedir. Bu amaçla, hem simülasyon

altyapısının desteklendiği hem de bilgi sistemleri için entegrasyon altyapısı sunabilen daha kapsamlı bir çerçeveye gereksinim olduğu düşünülmektedir. Gerçek anlamda birlikte kullanılabilirlik ancak ortak olarak kullanılan standartlar, mimari altyapılar, veri modelleri ve süreçlerle desteklenmiş geniş ve güvenli bir yazılım çerçevesi (Software Framework) ile sağlanabilir. Bu çatı entegrasyon amaçlı yazılım parçaları veya iletişim altyapısının yanı sıra hem bilgi sistemlerinde hem de simülasyonlarda ortak olarak uygulanabilecek arayüz standartları, yeniden kullanılabilen sistem servisleri, ortak kullanım için veritabanı tanımları ve standartlar kümesinden oluşmalıdır. Şekil 4’de bu çatıyı oluşturacak temel unsurlar arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi, gelecekteki mimariler birbirinden ayrılamayacak, aksine birbirine daha çok yaklaşarak tek çatı altında toplanmaları kaçınılmaz olacaktır.[5]



Şekil 4. Simülasyonlar ve Bilgi Sistemleri Aynı İskelet Üzerinde Konumlandırılmış

Bu yaklaşım simülasyon altyapısı ve bilgi sistemleri altyapısının ortak yönlerini göz önüne alarak bu iki yapıyı aynı çatı altında birleştirmeyi amaçlamaktadır. TSK bünyesinde geliştirilecek veya geliştirilmekte olan sistemlerin yetenekleri ile simülasyon fonksiyonlarının büyük miktarda örtüşeceği değerlendirilmektedir. Bu yaklaşımın temel üstünlüğü, gelecekte geliştirilecek simülasyonlar ile bilgi sistemleri arasında gerçek anlamda bir birlikte çalışabilirlik işlevini kolayca kazandırabilecek olmasıdır. İkinci bir üstünlük ise simülasyon teknolojilerinden sağlanan yararların Bilgi Sistemleri için de kullanımının mümkün hale gelmesi olacaktır. Bu yaklaşımdaki olumsuz ve engelleyici etmen ise öngörülen çatının karmaşıklığı ve koordinasyon güçlüğü olarak görülebilir. Buna rağmen gelecekteki bilgi sistemlerinin evrimleşerek simülasyon dostu sistemler haline gelmeleri kaçınılmaz bir zorunluluktur.

3. ALTYAPI İLE SAĞLANACAK İMKAN VE KABİLİYETLER

Uyumluluk, birlikte çalışabilirlik ve entegrasyon (Compatibility, Interoperability and Integration - CII) birden fazla sistem veya bileşenin aralarında bilgi değişimi ve paylaşımında standart hale getirilmiş kullanımını tanımlar. Bu tanım kapsamında, önerilen çerçevenin oluşturulması ile TSK envanterinde bulunan veya gelecekte envantere katılması planlanan karmaşık bilgi sistemlerinin, etkinlik ve başarımlı ölçütlerinin belirlenmesinde, simülasyon bazlı tedarikinde, kullanıcı eğitimlerinde, test ve değerlendirilmelerinde etkili ve standart bir yaklaşım sergilenebilecektir. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analiz süreçleri sayesinde, CII özelliklerinin bir çatı altında birleştirilmesi ve geliştirilmesi mümkün olacaktır.

3.1 Simülasyon Bazlı Tedarik

Simülasyon Bazlı Tedarik, kelime anlamı itibarı ile geliştirme ve simülasyon süreçlerinin iç içe geçmesini tanımlamaktadır. Bu yaklaşımda, simülasyonlar ürün geliştirme sonrası yapılan bir ürün benzetimi olmaktan çıkıp, ürünle birlikte gelişen ve bu gelişimin her evresinde ürünün ve hareket ihtiyaçlarının değerlendirilmesiyle; performans ve teknik özellikleri gerçekleştirme yeterliliğinin kontrol altına alındığı paralel ve etkileşimli bir geliştirme süreci olarak ortaya çıkmaktadır[6]. Ürünlerin birlikte çalışabilirlik, başarımlı ve etkinlik ölçütleri bakımından envanterdeki mevcut veya gelişmekte olan bilgi sistemleriyle çeşitli kullanım senaryolarında birlikte değerlendirilebileceği entegrasyon çerçevesi kavramı büyük önem kazanmaktadır. Zira bu çerçeve sayesinde, ürünlerin tek tek değil mevcut ürün envanteri ile birlikte bir sistemler sistemi (System of Systems) içerisinde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca yapılacak ölçme ve değerlendirmeler, mevcut sistemlerin genel güç ve kabiliyet ölçütlerinin belirlenmesini sağlayacağından, üst seviyedeki stratejik sistem tedarik ve geliştirme planlarının geliştirilmesine de katkıda bulunacağı düşünülmektedir..

3.2 Eğitim

Entegrasyon Çerçevesi, *Eğitim* anlamında da mevcut simülasyon bazlı eğitim olanak ve kabiliyetlerine yenilerini ekleyecektir. Bu çerçeve sayesinde, kullanılmakta olan bütün sistem ve simülasyonlar aynı çatı altında toplanarak bir sentetik hareket alanı ve muharebe ortamı oluşturulabilecektir. Böylece gerçek hareket şartları dışında oluşturulması çok zor olan durum ve senaryolara ait eğitimler, sentetik ortam aracılığı ile gerçek hareket şartlarından ayırt edilemeyecek bir biçimde verilebilecektir. Ayrıca bu çerçeve aracılığı ile teknik eğitimlerin yanısıra, doktrin ve taktik geliştirme çalışmaları da yapılabilecek; stratejik, operatif ve taktik anlamlarda yeni konseptler oluşturulması sağlanacaktır. Bu bağlamda durum muhakemelerinin ve değerlendirmelerinin yapılması, hareket ihtiyaçlarının güncellenmesi, hareket planlarının hazırlanması ve değerlendirilmesi gibi faaliyetlerin sentetik ortamda gerçeğe yakın bir şekilde yapılabilmesi mümkün olacaktır.

3.3 Test ve Değerlendirme

Söz konusu entegrasyon çerçevesinin hayata geçirilmesiyle, *Test ve Değerlendirme* yapılacak sistemlerin, test ve değerlendirme parametrelerinin tespit edilmesi ve stres testlerinin hareket ortamı gerçekliğinde yapılabilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, sistemlerin normalde test edilmesi güç durumlar için davranışlarının ve kabiliyetlerinin

değerlendirilebilmesi sağlanabilecektir. Bunun sonucu olarak, yeni hareket konseptlerinin geliştirilmesi ve buna uygun düzenlemelerin yapılabilmesi amacıyla; elde edilen verilerin ve uygun dayanakların geri beslemesi yapılabilecektir. .

Sistemlerin tedariği esnasında gerçek anlamda ölçülmesi mümkün olmayan başarımlar ve etkinlik ölçütlerinin (Measure of Effectiveness(MOE)/Measure of Performance (MOP)) de tam olarak ölçülmesi mümkün olacaktır. Bu durum, sistem tedariğinde değerlendirmelerin etkili bir şekilde yapılarak ihtiyacı tam olarak karşılayan doğru sistemin seçilmesine olanak sağlayacaktır. Sistem geliştirme projelerinde ise geliştirme sürecinin her aşamasında, bu kriterlerin kontrollü bir şekilde ölçülerek gerekli iyileştirmelerin sisteme erken safhalarda yansıtılması mümkün olacaktır. Bu kapsamda Şekil 5'te görülen döngü içerisinde geliştirilecek sistemler optimize edilebilecektir.[7]

	Test Öncesi	Test	Test Sonrası
Teknik	Performans ölçütlerinin Tahmini	Çerçeve içinde bulunan simülörler ve simülasyon olanakları ile sistemin stres ve yük testlerinin yapılması	Etkinlik değerlendirmesi Alternatif çevre bilgilerinin değerlendirilmesi
Operasyonel	Test senaryoları oluşturma ve görev profilleri	Çerçeve içinde ilgili simülasyon senaryolarının çalıştırılması	Test sonuçlarının desteklenmesi Test sınırlamalarının sistem değerlendirmesine etkileri
	Tahmin MODEL	Gözlem TEST	Uygulama MODEL

Şekil 5. Test ve Değerlendirme Döngüsü

Şekil 5'te anlatılan model kapsamında değerlendirilmesi yapılan sistemlerle birlikte, entegrasyon çerçevesine uyumlu tüm sistem ve simülasyonlar da dinamik yapı gereği son durumlarını yansıtacaklardır. Böylece değerlendirilmesi yapılacak olan sistem her zaman en son koşullarda test edilebilecek, bu sayede etkin ve ihtiyaçlara tam olarak cevap veren bir sürekli değerlendirme süreci de hayata geçirilmiş olacaktır. Test ve değerlendirme modeli, entegrasyon çerçevesi altında tekrarlı (Iterative) bir döngü içinde kullanılarak test edilen sistemlerin birlikte çalışabilirliği garanti altına alınabilecektir.

4. SONUÇ

Önerilen entegrasyon çerçevesi ve altyapı çalışmalarının biran önce başlamasının, TSK bünyesinde geliştirilecek veya tedariği yapılacak bilgi sistemi yatırımlarından gelecekte beklenen yararların sağlanmasında anahtar rol oynayacağı değerlendirilmektedir. Bu yolda atılacak kurumsal adımların başında, TSK içerisinde gerekli yeteneklerle donatılmış merkezi bir otoritenin bütün destekleyici unsurları (Üniversiteler, Araştırma Kurumları ve Savunma Sanayii işbirliği) ile oluşturulması ve çalışmalarına bir an önce başlamasının uygun olacağı mütalaa edilmektedir. Kurulacak merkezi otorite TSK'nın genel bilişim resmine hakim bir birim olarak envantere girecek tüm sayısal sistemlerin etkinlik, uyumluluk ve birlikte çalışabilirlik özelliklerini garanti altına alabilecektir.

Gelecekte temini öngörülen TSK bilgi sistemleri (Sağlık Bilgi Sistemi, Manevra Kontrol Sistemi (MKS), K.K. Entegre İstihbarat Sistemi (KEİS), Taktik Ateş İdare

Kompüter Sistemi (TAİKS), Lojistik Yönetim Sistemi (LYS), Hava Erken İkaz Kontrol Sistemi (HERİKKS)) için ortak ve uzun vadeli bir yaklaşımın belirlenmesi amacıyla; TSK Bilgi Sistemleri Entegrasyon Master Planının bir an önce hazırlanması ve yürürlüğe sokulmasının yararlı olacağı mütalaa edilmektedir.. Burada öngörülen plan kapsamında problemi bütün yönleriyle ele alabilecek, geniş katılımlı bir platformda değerlendirilmesi ve gerekli standart, prosedür, süreç, teknik altyapı ve ortak iş tanımlarının çıkarılması gerekmektedir. TSK bünyesinde dinamik bir bilgi sistemi altyapısı ile değişim ve gelişmeleri yönetebilen proaktif bir sinerjiye sahip olabilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Hieb M. R., Sprinkle R., *Simulation Infrastructure for the DII COE Architecture: The Army Vision, Simulation Interoperability Workshop, Fall 2000*
- [2] Flournoy D., *Merging the DII COE and the HLA: Overview of Options and Tradeoffs, Simulation Interoperability Workshop, Fall 1999*
- [3] Duman İ., Savaşan H., Şahin İ., *Bir Modelleme ve Simülasyon Standardı Olarak HLA ve Simülasyon Uygulamalarında Kullanımı, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Araştırma Merkezi Komutanlığı Yazılım Geliştirme Grup Başkanlığı, 2003*
- [4] Sprinkle R. B., (2001), *Object Oriented Analysis of a DII COE Simulation Product Line Architecture, Simulation Interoperability Workshop, Fall 2001.*
- [5] McKenzie F., R. Steve, *Joint Simulation System (JSIMS) Approach to C4I System Interoperability, Simulation Interoperability Workshop, Fall 2003*
- [6] PEO STRI SBA/SMART CAPABILITIES Presentation, Directorate for Research and Engineering, US ARMY PEO STRI, 22-January 1999
- [7] *Test and Evaluation Support of Systems Acquisition, Department of the Army Pamphlet, 73-1, 30 May 2003*

Dördüncü Oturum:
Modelleme ve Simulasyon
Tabanlı Tedarik

MODELLEME VE SİMULASYONUN KARMAŞIK İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI AR-GE PROJELERİNDEKİ ROLÜ

Ali Haydar GÖKTOĞAN^(a), Salah SUKKARİEH^(a)

^(a)ARC Centre of Excellence for Autonomous Systems Australian Centre for Field Robotics (ACFR)
School of Aerospace, Mechanical & Mechatronic Engineering
The Rose Str Building J04, The University of Sydney NSW 2006, AUSTRALIA
{agoktogan, salah}@acfr.usyd.edu.au

ÖZ

İnsansız Hava Araçları (İHA), araştırmalarda kullanılan en pahalı ve kullanımı en zor robotik platformlardan biridir. *Araştırma Geliştirme (Ar-Ge)* çalışmaları, sonuçlarındaki olası belirsizlikler açısından normal mühendislik çalışmalarından farklıdır. Ar-Ge çalışmalarının sonuçlarındaki belirsizlik, İHA'larının kullanımlarındaki güçlüklerle birlikte ele alındığında, İHA projelerinin çok riskli girişimler olduğu söylenebilir. *Avustralya Saha Robotları araştırma Merkezi (ACFR)* bünyesindeki İHA tabanlı Ar-Ge çalışmalarında kullanılmak üzere, gerçek zamanlı olarak çalışan ve aynı anda birden çok İHA'larının simülasyonunu sağlayabilen bir simülatör (RMUS) sistemi geliştirilmiştir. Bu bildiride İHA'lar ile ilgili Ar-Ge çalışmalarına, Ar-Ge projelerinin yönetimlerinde karşılaşılan güçlüklerle değinilmiş, *Modelleme ve Simülasyon* tekniklerinin bu güçlüklerin aşılmasına nasıl katkı sağlayabileceği ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Araçları, Modelleme, Saha Robotları, Simülasyon

ROLE OF MODELLING AND SIMULATION IN COMPLEX UAV R&D PROJECTS

ABSTRACT

Unmanned Air Vehicles (UAV) are one of the most difficult and expensive robotic platforms to conduct research in. *Research and Development (R&D)* activities are fundamentally different from everyday engineering practices in the sense that, research activities by nature, have much higher uncertain outcomes. Combining this uncertainty with the high operational difficulties of the UAV platforms make UAV projects very risky endeavours. In order to support UAV related R&D, engineering and training activities at the *Australian Centre for Field Robotics (ACFR)*, a *Real time Multi-UAV Simulator (RMUS)* system has been developed. In this paper, following a brief description of UAV related R&D projects, fundamental difficulties of the R&D project management are addressed. The paper also describes how *Modelling and Simulation (M&S)* techniques are utilised to reduce and manage the high risk endeavours, and turns them to award winning, flagship UAV projects.

Keywords: Modelling, Real Time, Simulation, UAV, Field Robotics

1. INTRODUCTION

Unmanned Air Vehicles (UAV) are one of the most difficult and expensive robotic platforms to be used in robotic research. Despite the difficulties they are becoming more

popular within the robotics community. Although UAV research activities are mostly concentrated around the military domain [1][2][3], there is also wide range of civilian applications such as remote sensing, precision agriculture [4], bush-fire fighting [5], search and rescue missions [6], and airborne traffic surveillance [7].

UAV flight missions are expensive and high-risk operations. Significant amounts of specialized equipment, sensors, personnel and infrastructure are necessary to carry out successful missions. The logistics of a UAV flight test is a complex and challenging task and the complexity increases dramatically when experiments require simultaneous flight of multiple UAVs [8].

Research and Development (R&D) activities are fundamentally different from everyday engineering practices in the sense that, research activities by nature, have uncertain outcomes. This uncertainty, combined with operational difficulties of the UAV platforms make UAV R&D works high risk endeavours. In order to support UAV related R&D, engineering and training activities at the *Australian Centre for Field Robotics (ACFR)*, a comprehensive suite of simulation tools, based on a robust framework has been developed and is continually being enhanced [9].

This paper provides an overview of the practical difficulties experienced in UAV related R&D projects; and briefly presents some of the challenges unique to general R&D project management; and stresses how *Modelling and Simulation (M&S)* techniques could help overcome these problems. It is followed by an introduction of the *Real time Multi-UAV Simulator (RMUS)* system and how it utilised in various projects. Finally conclusion and further work is provided.

2. BACKGROUND

2.1 Field Robotics' Robotic Platforms

Field robotics is an area of robotics which involves development of automation technologies for the robotic platforms operating in a natural environment. Although it is not uncommon to see the use of indoor mobile robots in fundamental field robotics research, *Unmanned Ground Vehicles (UGV)* [10], *Load Haul Dump (LHD)* [11] and utility (UTE) trucks, *Autonomous Underwater Vehicle (AUV)*, *Unmanned Underwater Vehicles (UUV)* [12][13], amphibious vehicles and UAVs may be considered better fitting to the description of field robotics.

All these platforms are associated with their characteristic problems. Amongst all, UAVs may be considered the most challenging robotic platforms with great many practical difficulties. A small subset of these includes;

High cost – Commercially available UAVs, in general, are too expensive for most of academic research programs. Not all robotics research groups have the capability of either manufacturing or maintenance of UAV systems.

Payloads - A UAV without a proper payload set doesn't do much. Acquisition of the *Commercial Off-The-Shelf (COTS)* sensor units suitable for small UAVs are difficult especially in academic budgetary constraints.

Operational infrastructure – UAVs, even medium and small size vehicles require specialised infrastructure for their maintenance and operations.

Support personnel - Operational infrastructure has to be supported by a variety of highly qualified technical personnel, experts in their own fields. Aeronautical, electronics and software engineers, pilots, ground support staff and safety officers are just a few to mention. And of course these personnel must work in close cooperation which is not necessarily easy to achieve in a vastly competitive academic environment.

Deployment - New payloads, control and management algorithms and techniques can not be used on UAVs before successful completion of a rigorously performed set of long simulation tests.

2.2 The Brumby UAVs

The Brumby UAVs (Mk I, II, III) are delta-wing aircrafts with pusher type propeller. They are designed and manufactured at the University of Sydney. The Brumby UAVs have conventional tricycle undercarriage suitable to be operated on short grass and asphalt surfaces for take-off and landing. As a result of increasing payload weight demand for ever expanding research projects, the Brumby UAVs have incorporated a number of changes. The current models of the Brumby UAVs are shown in Figure 1.

	Mk I	Mk II	Mk III
MTOW	25kg	30kg	45kg
Wing	2.3m	2.8m	2.9m
Engine	74cc	80cc	150cc
Power	5Hp	5.5Hp	16Hp
Max	100 Knots	100 Knots	100 Knots
			

Figure 1. The Brumby UAVs Mk I, II, III are designed and manufactured at the University of Sydney, Australia.

2.3 Electronics

The Brumby UAVs carry two types of communication hardware; long range full-duplex spread spectrum radio modems and IEEE 802.11 wireless network adapters with enhanced range capability. The radio modems are used for remote piloting commands, system health and status messages communicated between ground control station(s) and the UAVs. The wireless network offers wider bandwidth for either raw sensor data or *Decentralised Data Fusion* (DDF) information and/or any negotiation protocol packages required for cooperative control. The wireless network is used between UAV to UAV and ground to UAV communications. Internal UAV hardware architecture also utilise a *Controller Area Network* (CAN), RS-485, RS-422, RS-232 (IEEE 488) and IEEE 802.3u, 1394a/b for internal communication for various sensor interfaces and also networking between onboard computer systems.

The main computers onboard the Brumby UAVs are in the well established PC104+ form factors with Pentium processors. There are few exceptions to this; for example, the *Millimeter Wave* (MMW) RADAR sensor processing unit is built around a special hardware with dual SHARC *Digital Signal Processors* (DSP) with high speed *Field Programmable Gate Array* (FPGA) and *Analog to Digital Converter* (ADC) units [14].

2.4 Sensors

The Brumby UAVs are designed to carry a variety of payload and mission sensors [15]. The payload sensors are the *Global Positioning System* (GPS), *Inertial Navigation System* (INS), and barometric pressure sensors. The UAV's navigation system utilise the GPS/INS/Baro sensor subsystems to determine vehicle's *Position, Velocity, Acceleration* (PVA) to be used by the flight control computer for autopilot and guidance systems. The PVA data is calculated at a rate of 100Hz and has an accuracy of 0.5° in attitude, 0.1m/s in velocity and 0.5m in position.

The UAVs can have a variety of mission sensors combinations. Currently mission sensors available for the Brumby UAVs are monochrome, colour and *Infrared* (IR) vision sensors, *Secondary Imaging Systems* (SIS) which is a vision system enhanced with a laser range finder and MMW radar [15].

2.5 R&D Project Management

Management of R&D activities is different -and generally more difficult- from management of everyday engineering practises in the sense that, research activities by nature, have much higher uncertainty at their outcomes. This uncertainty often manifests itself on the project budget and duration.

Expectations, attitudes, impetus of scientists and researches working on R&D projects are different from those working on engineering projects. Engineers, in general, prefer working with precisely defined project plans formulated in mastered methodologies. Conversely, scientist and researcher's work in inherit ambiguities.

It is not uncommon that, even a well managed R&D work may have to be concluded without originally hoped-for outcomes. In a typical industrial engineering venture this may be interpreted as fiasco, while researches would consider it to be yet another valuable case study showing the failure conditions of the system they are working on. Sometimes outcomes of an R&D activity can only be appreciated much later, when the right technology, engineering tools or budget available to utilise the scientific outcome.

2.6 Modelling and Simulation

Besides great many other benefits, *Modelling and Simulation* (M&S) plays a vital role to bridge the scientific R&D world with the industry. M&S is a key way forward for the projects to implement strategies.

Initially, the use of M&S works in addressing UAV systems was focused primarily on its application to the *Flight Vehicle* (FV) characterisation, FV dynamic modelling, auto pilot and guidance systems development and tests. Little emphasis was placed on its utilization on other areas of relevance such as real-time decentralized control and multi-objective mission planning.

In parallel to continuing successes of our UAV R&D projects, we are now in a stage to use M&S in a much wider sense; from real-time low level controller development works to high-level distributed simulation of complete missions involving multiple autonomous agents as well as a human in the loop. Continuous improvement of the M&S toolset for future use in heterogeneous unmanned systems capabilities has high priority in our works.

The major use of M&S in the context of UAV R&D projects are (but not limited to);

- Concept development
- Requirement analysis
- Subsystem specifications
- Sensor selection
- Training
- Mission rehearsals
- Risk analysis and management
- Emergency response planing

The ultimate goal is being able to broaden our M&S capabilities to a level, in which it will be feasible to use M&S, for the system requirement specification development of all our field robotics applications, not only UAV related ones. The cost-benefit analysis extracted from the UAV projects and flight trials suggest that risk reduction and major cost saving can be achieved through the full utilisation of M&S procedures.

3. SIMULATION ENVIRONMENT

3.1 Real-time Multi-UAV Simulator (RMUS)

In UAV experiments there are many avenues of failure: in software, hardware, and conceptual understanding and failures in algorithm development are just a few of many probable failure points. These pose significant burdens on the progress of the project as each flight test poses a risk to the survivability. Hence any new hardware or software module has to be thoroughly tested before used on real missions.

A *Real time Multi-UAV Simulator* (RMUS) system has been developed to address the problems associated with real life experiments [9]. The RMUS offers a comprehensive set of tools for software development, debugging, integration, validation and deployment. It also provides *HardWare-In-the-Loop* (HWIL) simulation functionality for hardware integration and both inter and intra platform communications tests. The software and hardware, once validated, are then ported directly to the UAV platforms ready for real tests.

Details of the key concept and terminology used in the RMUS can be found in [9]. Figure 2 shows a typical RMUS cluster configuration to be used in multi vehicle airborne *Decentralised Data Fusion* (DDF) and airborne *Simultaneous Localisation And Mapping* (SLAM), and picture compilation simulation [16].

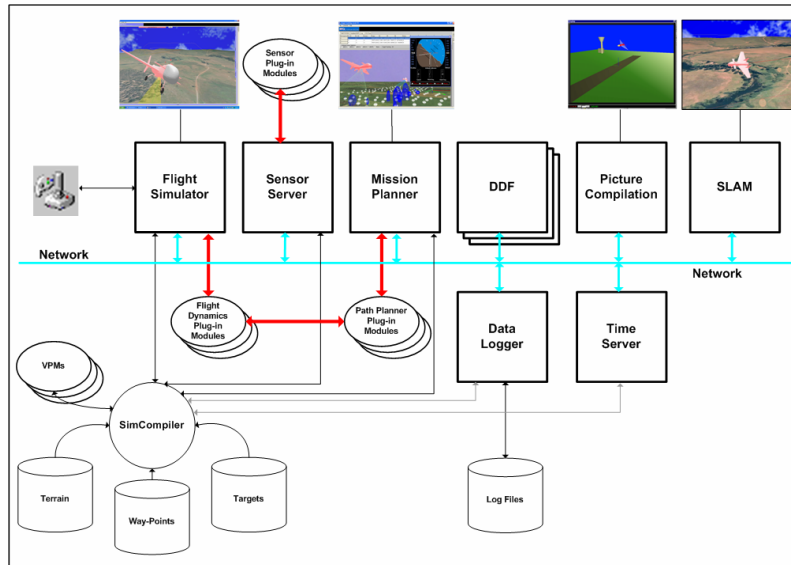


Figure 2. A typical RMUS cluster configuration being used in airborne multi vehicle DDF, SLAM and picture compilation simulations.

Similar to the federate in a *High Level Architecture* (HLA) based simulation environment, a typical RMUS cluster consists of *simulation modules* interacting with each other. A simulation module may be an implementation of a complex algorithm such as SLAM or it would be a physical device, such as MMW radar, to be use a in the HWIL simulation [14].

3.2 CommLibX

In the RMUS environment, the main interaction infrastructure for the simulation modules is built around the *CommLibX*. The CommLibX is a novel framework which offers reliable real-time communication both within the simulation environment and also on the real platforms. It has been developed at the ACFR and is being used extensively in many UAV and UGV missions as well as a countless number of distributed real-time simulations.

The CommLibX provides hardware and operation system independent abstraction for the communication in and between the RMUS simulation modules and clusters. It uses the key concept of *virtual channels*. They are the logical separation of different kinds of data packages. The virtual channels have event driven interfaces which guarantee that, upon a received data packet from a virtual channel, a user defined call-back function registered for that channel will be activated.

The CommLibX consists of two major parts; the *CommLib* library and the *ServiceX* application. Software developers can utilise the CommLibX's communication abstraction by linking CommLib into their application. The ServiceX provides message transfer between CommLib instances where they could be running either on the same computer or being distributed to multiple computers across the network. Hence, by just

using CommLibX, the software developers, without any extra overhead, can build distributed applications.

CommLibX supports both *Inter-Process Communication* (IPC) and *Inter-Network Communication* (INC) with consistent and simple software interfaces. It has been extensively used in Windows, Linux, QNX and Neutrino operating systems. Further details of the CommLibX can be found in [9].

3.3. Mission Control System (MCX)

At the ACFR, we have successfully used multiple UAVs in various award winning research missions including the demonstration of *Decentralised Data Fusion* (DDF) and airborne *Simultaneous Localisation And Mapping* (SLAM) [16]. The RMUS is used in all these missions not solely as an offline simulation environment, but it also allows us to develop real-time applications to be used on-line during the flight missions. The *Mission Control System* (MCX) is such an RMUS based application being used in flight missions in real-time.

Design of the customisable MCX station allows the mission commander, operators and observers to monitor one or more UAVs and any other autonomous platforms in the mission. It utilizes real-time 3D visualization of the operational space. MCX operators can interactively select any vehicle to see the vehicle's desired and achieved trajectories. The 3D terrain data of the operational space can be augmented with fixed and/or moving target locations. Predefined static or dynamically changing multi segment “red” and “green” zones can be overlayed to aid for situation awareness. The MCX also supports multiple scrolling plots, textual and numerical data for engineers to continuously monitor vehicles' health and status information streams. The sensor frustums can be visualised in real-time as well.

Multiple instances of the MCX can be activated simultaneously and each one can be assigned to different vehicles. This functionality allows distribution of the command and control loads across the network. Figure 3 shows a screen from the MCX application.

3.4. Mission Team Training

In order to be able to meet constantly changing research requirements; modularity, flexibility and extensibility are acknowledged as the key characteristics of RMUS. The modular architecture encourages team members to contribute their personal knowledge and expertise through simulation modules they develop. As we often observed, this “personal-touch” strengthens the relations between simulation team members. They feel independent on their particular expertise area, and more importantly, they also feel interdependent to each other team member. In turn this contributes positively to overall project work. The RMUS also was used as a training tool for UAV mission team members to improve their individual as well as their team cooperation skills.

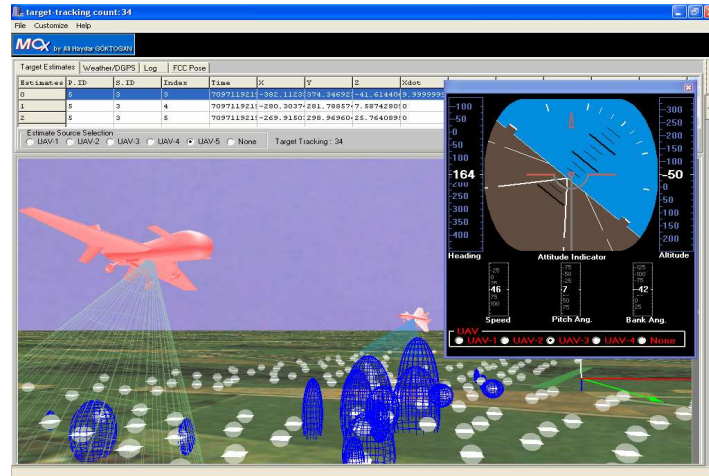


Figure 3. The RMUS can also be used to create real-time applications for real UAV flight missions. The Mission Control System (MCX) is such an application.

3.5. Proof-of-Concept Development

M&S is one of the most effective ways of *proof-of-concept* development. *Vision Sensor Detection Performance Simulations* (VSDPSim) has recently been implemented successfully in the RMUS environment. It demonstrates various real-time path planning algorithms to achieve maximum information gain from the vision sensors carried on the UAVs.

Selecting the best set of mission sensors for a particular set of missions and sensor to target assignment and optimal trajectory generation for the mission are typical research areas which require solutions of multi-objective optimisation problems. This work has been under further development to incorporate validation of multi-objective UAV cooperation algorithms. Once these algorithms are proved to be successful in the RMUS environment, a UAV mission team will be trained in full dress rehearsal sessions in RMUS, prior to deployment of the algorithms on to the real UAVs. A snapshot from VSDPSim session is shown in Figure 4.

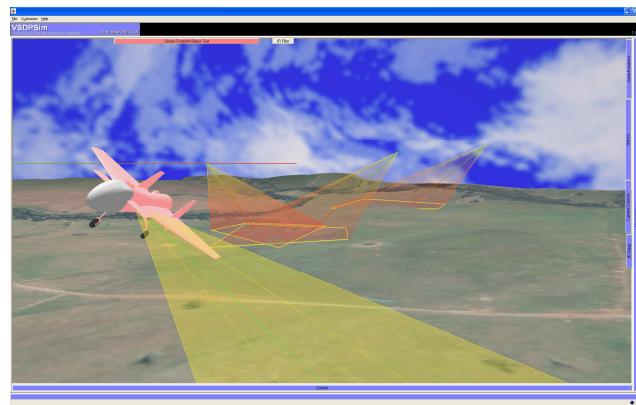


Figure 4. A screen snapshot from the *Vision Sensor Detection Performance Simulations* (VSDPSim) session implemented in RMUS environment.

4. CONCLUSION AND FUTURE WORK

This paper presented the practical difficulties experienced in UAV R&D projects at the ACFR. Fundamental issues in relation to R&D project works are highlighted. We also argued how M&S techniques could help overcome these problems. The RMUS environment and its complementary communication infrastructure CommLibX are presented.

Currently released versions of the RMUS do not yet fully comply with the international interoperability standards such as *Distributed Interactive Simulation* (DIS) and *High Level Architecture* (HLA). Work is under progress towards this compliance. Once full compliance is achieved, it will be possible to link the existing simulators and C2 systems to evaluate UAV deployment and tactics.

As a part of continuous system improvement and expansion process, we are also working on the development of *A Framework for Decentralised Autonomous Systems* (AFDAS). The AFDAS will support fully, the existing RMUS and architecture used in UAVs. In addition, it will also enable us to create real-time *Augmented Reality* (AR) interfaces to simulation as well as to real UAV missions.

The ultimate goal with the existing RMUS system and AFDAS based simulation modules, is to support the entire life cycle of not only UAVs but any unmanned autonomous system, from concept development, real-time implementation to operational deployment.

REFERENCES

- [1] McLain, Timothy W. and Beard, Randal W. and Kelsey, Jed M., (2002), *Experimental Demonstration of Multiple Robot Cooperative Target Intercept*, AIAA Guidance and Control Conference, AIAA Paper no. 2002-4678, Monterey, CA
- [2] Randal W. Beard, Timothy W. McLain, Michael Goodrich, (2002), *Coordinated Target Assignment and Intercept for Unmanned Air Vehicles*, IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA, pp. 2581-2586, Washington DC
- [3] Tomonari Furukawa, Hugh F. Durrant-Whyte, Gamini Dissanayake, (2003), *Multiple Cooperative UAVs Engaging Multiple Targets Time-Optimally*, IEEE Transactions on Robotics and Automation
- [4] Stanley R. Herwitz, Lee F. Johnson, John C. Arvesen, Robert G. Higgins, Joseph G. Leung and Stephen E. Dunagan, (2002), *Precision Agriculture as a Commercial Application for Solar-Powered Unmanned Air Vehicles*, 1st AIAA UAV Conf, AIAA 2002-3404
- [5] Göktoğan, Ali Haydar and Furukawa, Tomonari and Mathews, George and Sukkarieh, Salah and Dissanayake, Gamini, (2003), *Time-Optimal Cooperation of Multiple UAVs in Real-Time Simulation*, The Second International Conference on Computational Intelligence, Robotics and Autonomous Systems, CIRAS, pp. 2720-2726, Singapore

- [6] Furukawa, T.; Bourgault, F.; Durrant-Whyte, H.F.; Dissanayake, G., (2004), *Dynamic allocation and control of coordinated UAVs to engage multiple targets in a time-optimal manner*, ICRA'04, (3):pp. 2353-2358, New Orleans, USA
- [7] L. K. S. Coradeschi, K. Nordberg,(1999), *Integration of vision and decision-making in an autonomous airborne vehicle for traffic surveillance*, *The International Conference on Vision Systems '99*, Grand Canary
- [8] Göktoğan, Ali Haydar and Sukkarieh, Salah and Işıkyıldız, Gürçe and Nettleton, Eric and Ridley, Matthew and Kim, Jong-Hyuk and Randle, Jeremy and Wishart, Stuart,(2003), *The Real-Time Development and Deployment of a Cooperative Multi-UAV System*, ISCIS03 XVIII - Eighteenth International Symposium on Computer and Information Sciences, (2869/2003):pp.576-583, Antalya-Turkey
- [9] Göktoğan, Ali Haydar, Ridley, M., Nettleton, E., Sukkarieh, S.,(2003), *Real Time Multi-UAV Simulator*, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'03), Taipei, Taiwan, pp: 2720-2726
- [10] Dissanayake, G. and Sukkarieh, S. and Nebot E and Durrant-Whyte HF, (1999), *New algorithm for the alignment of inertial measurement units without external observation for land vehicle applications*, *Proceedings of the 1999 IEEE Conference on Robotics and Automation*, (3):pp. 2274-2279, Detroit MI, USA
- [11] Scheduling, S. and Dissanayake G. and Nebot E.M. and Durrant-Whyte H, (1999), *An Experiment in Autonomous Navigation of an Underground Mining Vehicle*, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, (15), No.1,pp:85-95
- [12] D. Wettergreen, C. Gaskett, and A. Zelinsky,(1999), *Autonomous Control and Guidance for an Underwater Robotic Vehicle*, *International Conference on Field and Service Robotics (FSR'99)*, Pittsburgh, USA
- [13] Chanop Silpa-Anan, Samer Abdallah and David Wettergreen,(2000),*Development of Autonomous Underwater Vehicle towards Visual Servo Control*, *The Australian Conference on Robotics and Automation (ACRA2000)*,pp:105-110
- [14] Göktoğan, Ali Haydar, Brooker, Graham, and Salah Sukkarieh, (2003),*A Compact Millimeter Wave Radar Sensor for Unmanned Air Vehicles*, *4th International Conference on Field and Service Robotics, FSR'03*, Lake Yamanaka, Yamanashi, Japan
- [15] Ridley, M., Nettleton, E., Göktoğan, A.H., Brooker, G., Sukkarieh, S., and Durrant-Whyte, H.F. (2003), *Decentralised Ground Target Tracking with Heterogeneous Sensing Nodes on Multiple UAVs*, *2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'03)*, Palo Alto, California, USA
- [16] Sukkarieh, S., Yelland B., Durrant-Whyte, H., Belton, B., Dawkins, R., Riseborough, P., Stuart, O., Sutcliffe, J., Vethecan, J., Wishart, S., Gibbens, P., Göktoğan, A. H., Grocholsky, B., Koch, R., Nettleton, E., Randle, J., Willis, K., and Wong, E.,(2001), *Decentralised Data Fusion Using Multiple UAVs - The ANSER Project*, *3rd International Conference on Field and Service Robotics*, Finland

SİMÜLASYON TABANLI TEDARİK YÖNTEMİ

Tarcan KİPER^(a)

^(a) Kaletron Yazılım Teknolojileri A.Ş.

Fahrettin Kerim Gökay cad., No: 27, Altunizade, 34662 İstanbul

tarcan.kiper@kaletron.com.tr

ÖZ

Bu makalenin amacı, son yıllarda özellikle ABD, İngiltere ve Avustralya gibi ülkelerin silahlı kuvvetleri ve savunma sanayilerinde kullanılmaya başlanan Simülasyon Tabanlı Tedarik yönteminin irdelenmesidir. Yöntemin kavramsal olarak ortaya çıkışı savunma araştırma-geliştirme vizyonlarında ve savunma sanayi harcamalarında ihtiyaca yönelik kriterlerin tam olarak belirlenmesi, hatta ihtiyaç olarak ifade edilen unsurlara gerçekte gereksinim olup olmadığının ortaya çıkartılması ve eğer varsa bu gereksinimlerin hangi koşul ve şartlarda nasıl karşılanabileceğinin irdelenmesi felsefelerine dayanmaktadır. Simülasyon Tabanlı Tedarik yöntemi basit bir silah sistemi gereksiniminin doğruluğunun incelenmesinden bir ülkenin genel savunma ihtiyaçları gibi çok daha komplike incelemelere kadar kullanılabilecek rasyonel bir metodolojidir. Buna ilaveten bu yöntem daha önceden tahmin edilemeyen ihtiyaçların uygulama sırasında ortaya çıkarılmasında da son derece etkindir. Temel aldığı, geri beslemeli döngüsel bir sistem sayesinde ‘reverse engineering’ metotlarının kullanılmasına imkan verir ve olası savunma risklerini ve tehlikelerine yönelik alınması gereken karşı önlemlerin yeniden tanımlanmasına katkıda bulunur. Yöntemin işleyişi yurtdışından örnekler ve yurtiçindeki muhtemel ihtiyaçlarda nasıl kullanılabileceği konusundaki önerilerle desteklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, modelleme, sanal ortam, sanal prototipleme, simülasyon, tedarik

SIMULATION BASED ACQUISITION

ABSTRACT

The intent of this paper is to examine the Simulation Based Acquisition method which has been extensively used throughout the defense and military communities in USA, UK and Australia over the past years. The concept of SBA in defense and military related R&D and acquisition processes emerged due to the needs to exactly define the criteria regarding the requirements, even to validate the correctness of the requirements, and in the case where the requirements are validated to define the terms and conditions of the acquisition processes to answer the questions ‘What to Buy’ and ‘How to Buy’. Simulation Based Acquisition is a rational methodology covering a wide range of implementation fields from the acquisition of a relatively simple weapon system to the acquisition of more complicated systems like a nationwide defense system. In addition to these, SBA is very effective in determining the needs and the requirements not planned and/or not forecasted before during the implementation phase. SBA is not a technology, it’s a culture whereas it’s based on an iterative and collaborative methodology allowing also the use of reverse engineering methods and enabling the

redefinition of the risks and the needs. The operation of the SBA method will be explained with supporting foreign examples and potential local needs.

Keywords: Acquisition, modeling, simulation, unmanned air vehicle, virtual environment, virtual prototyping,

1. GİRİŞ

1.1 Simülasyon Tabanlı Tedarik Yönteminin Ortaya Çıkışı

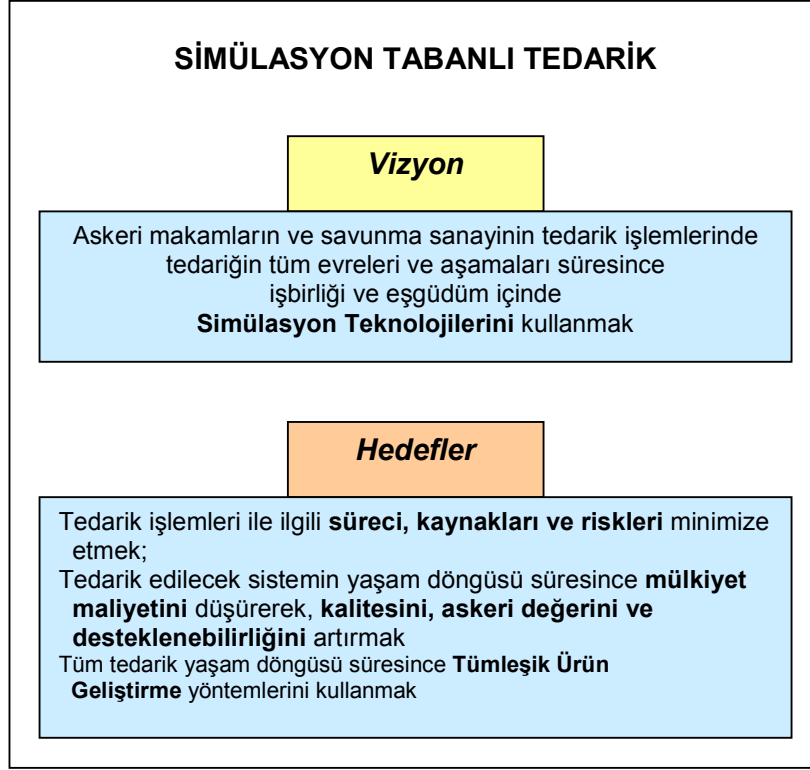
Simülasyon Tabanlı Tedarik, askeri ve sivil sektörde oluşan iki tane devrimsel gelişmenin sonucu olarak ABD Savunma Bakanlığı bünyesinde başlatılan, üç adet dokümanda (QDR, DRI ve NDP, [1]) çizilen vizyon doğrultusunda doğmuştur. Bu dokümanlar ABD Savunma Bakanlığı'nın askeri tedarik süreçleri ve yöntemleri ile ilgili başlatmış olduğu reform ilkelerini tanımlamaktadırlar. Bunlar kısaca; bir tedarik stratejileri vizyonu ortaya çıkarmak, tedarik süreçlerindeki otoritelerin değişimlere ayak uydurmasını sağlamak, asıl rekabetçi unsurlara odaklanmak, kuruluşları yeni vizyon doğrultusunda iş yapmaya kanalize etmek, insana daha fazla yatırım yapmak, kuruluşlar ve organizasyonlar arası sağlıklı ve verimli işbirliği ve iletişim için engelleri ortadan kaldırmak, ve bilişim teknolojilerinden en üst düzeyde yararlanmak şeklinde özetlenebilir.

Askeri konulardaki devrimsel gelişme, savaş ve çarpışmaların niteliğinin değişmesi, ve 21. yüzyıldaki olası çatışma türlerinde bir kayma beklenmesi (asimetrik savaş, konvansiyonel silahlardan nükleer, biyolojik ve kimyasal tehditlere kayma, muharebe alanlarından kentsel teröre kayma, vs) gibi nedenlerden dolayı odak noktasının daha çok bilgi teknolojilerinin kullanılması ve olası tehdit ortamlarına anında müdahale edilmesi gibi önlemlere kaymasına neden olmasıdır. Bu çerçevede oluşan devrimsel gelişme, Silahlı Kuvvetler'in modernizasyonu ve gelişimi açısından Neyin Tedarik Edilmesi hususunun tanımlanması ihtiyacıdır [2].

Aynı şekilde, iş dünyasındaki devrimsel gelişme, özel sektördeki iş ve ürün geliştirme süreçlerindeki iyileşmeler, maliyet-etkin ve rekabetçi politikaların ve yaklaşımların gitgide daha işlerlik kazanması gibi nedenler odak noktasının, tedarik sürecinde iş dünyasında kullanılan yöntemlerin kullanılmaya başlanmasına itilmiş olmasıdır. Bu devrimsel gelişme ise, Nasıl Tedarik Edilmesi hususuna cevap bulunması ihtiyacıdır [2].

1.2 Simülasyon Tabanlı Tedarik Vizyonu

Simülasyon Tabanlı Tedarik yöntemi ABD'de ortaya çıkmış, temelde ihtiyaçtan doğmuş, modelleme ve simülasyon teknolojilerinin getirilerinin farkına varılmasıyla oluşan bilinç sayesinde gündeme gelmiştir. Eskiye nazaran daha karmaşık sistemlerin, daha ucuza, daha kısa sürede tedariki ihtiyacı, tedarikçi makamların yeni yöntemler bulması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır [3], [4]. Bu yöntem, tedarik zinciri döngüsünde mümkün olduğu kadar modelleme ve simülasyon teknolojilerini kullanmayı, ve bunları kullanarak, tedarik edilecek sistemin karmaşıklığı ne düzeyde olursa olsun, tasarım, geliştirme, test ve işleve alma aşamalarını ucuzlatmayı ve hızlandırmayı içermektedir [2], bkz. Şekil 1.



Şekil 1. Simülasyon Tabanlı Tedarik Vizyonu ve Hedefleri

2. SİMÜLASYON TABANLI TEDARİK KAVRAMI

2.1 Tedarik Zincirindeki Problemler

21. yüzyılda tehditlerin ve tehditlere karşılık getirilen çözüm önerilerinin nitelikleri dolayısı ile paradigma kaymasına uğraması, bununla birlikte teknolojik gelişmelerin artış hızı ve bilginin paylaşımındaki sonsuz fırsatlar askeri tedarik zincirinde de kullanılan yöntemleri mutasyona uğratmaya başlamıştır. Yeni bir silah sisteminin geliştirilmesi süresinin ortalama 15-20 yıl sürüyor olması, AR-GE maliyetlerinin AR-GE başladıktan yıllar sonra netleşmesi, çoğunlukla aşılın bütçeler, sistem henüz ortada mevcut değilken operasyon ve bakım/onarım maliyetlerinin önceden anlaşılamaması ve planlanamaması ve olası tüm ürün geliştirme teknolojilerinin sürece dahil edilmesindeki zorluklar bu zorunlu değişimin nedenleridir. Tabii ki tüm dünyada hedef tedarik maliyetlerini düşürmek ve tedarik sürelerini kısaltmaktır. Çözüm, tedarik zincirinde modelleme ve simülasyon teknolojilerinin sunduğu avantajlardan yararlanmak ve bu teknolojileri sürecin her aşamasında kullanmaktır.

Ülkemizde de Atak Helikopteri, TİHA, Tank projesi gibi askeri tedarik projelerinde görüldüğü üzere, ihtiyaçların nitelik ve nicelik kazanmasından sonra bile tedarığı sonuçlandırmak yıllar almaktadır. Üstüne üstlük alımların yerli AR-GE ve üretim kabiliyetleri ile söz konusu olduğu durumlarda tedarik sürecinin katlanarak uzadığı gözükmemektedir.

2.2 Modelleme ve Simülasyonun Önemi

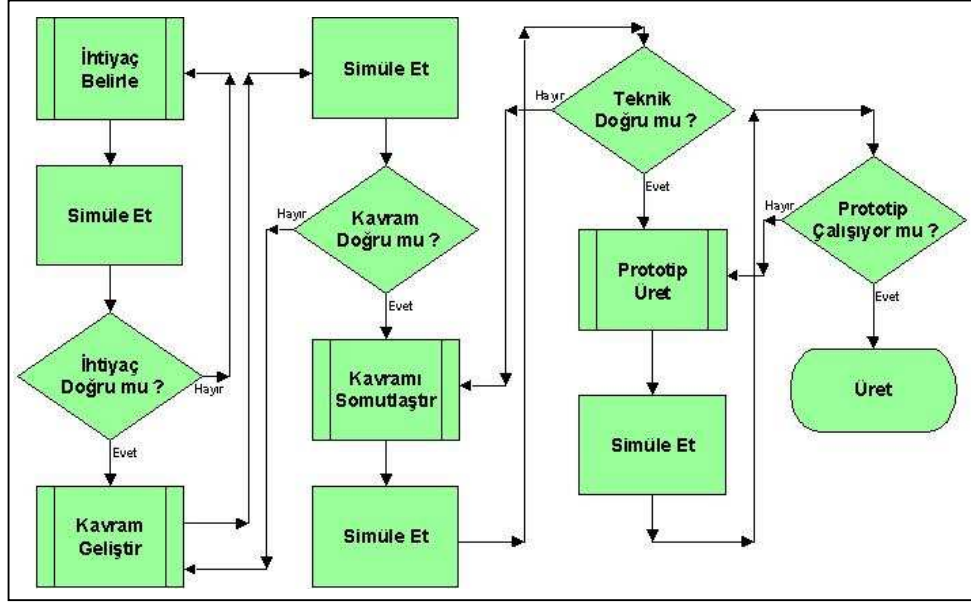
Mikroişlemcilerdeki hız ve hesaplama yeteneklerinin logaritmik artışı, bilgisayar grafiği yazılımları ve donanımlarındaki gelişmeler, 3 boyutlu modelleme, simülasyon ve sanal gerçeklik ürünlerinin yaygınlaşmasına ve uygulama yelpazesinin yatay ve dikey olarak genişlemesine neden olmaktadır. Sanal ortam ve simülasyon teknolojileri

- Maliyet etkin eğitim ve öğretim ortamları sunması
- Yapılabilecek deneme/yanılma ve egzersizlerin sınırsız olması
- Gerçek hayatta oluşturulması güç, maliyetli veya imkansız ortamların nispeten kolaylıkla elde edilmesi
- Dış etkenlere karşı kapalı olması
- Sosyal ve ekolojik çevreye zarar vermemesi
- Kontrol altında tutulabilir olması

gibi avantaj ve imkanlarından dolayı ürün geliştirme ve her türlü eğitim-öğretim ortamlarında daha sıklıkla kullanılır hale gelmektedirler.

2.3 Modelleme ve Simülasyonun Tedarikte Kullanımı

Simülasyon teknolojileri ve içerdikleri çözümler, askeri tedarik döngüsü içinde her aşamada kullanılabilirler. Dünya konjonktürü ve buna bağlı olarak gelişen ülke politikaları ile somutlaşmaya başlayan ihtiyaçlar, tedarik makamları tarafından simülasyon tabanlı tedarik yöntemi kullanılarak, henüz işin başında, doğrulama ve geçerleme aşamalarına tabi tutulabilirler. Tüm tedarik döngüsünün bir sanal ortamda gerçekleştirilmesi bir hayal değildir. Bu, klasik tedarik yöntemleri ile gerçekleştirilmesi çok zor olan, tüm seçeneklerin değerlendirilmesi ve irdelenmesi işlemlerine fırsat verir. Ürünün veya sistemin tasarımı ve geliştirilmesi ilerledikçe, simülasyonlarının da geliştirilmesine olanak sağlar. Böylelikle, hem istenilen gerçek sistem hem de sistemin sanal ortamdaki gerçeğe yakın betimlemesi ortaya çıkmış olur. Bu sayede ürünün veya sistemin yaşam döngüsü içinde sürdürülebilirliği, değişikliğe uğraması ve uzun vadede elden çıkarılması desteklenmiş olur. Simülasyon Tabanlı Tedarik yönteminde en temel yaklaşım, işe, kağıt üzerindeki gereksinimin doğru olup olmadığını simüle ederek, sanal ortamda test ederek başlamaktır. Bundan sonraki aşamalar, gereksinimi doğrulanmış ürünün veya sistemin kavramsal modelinin simüle edilerek test edilmesi, bu testler esnasında alınan geri besleme ile kavramsal modelin rafine edilmesi, nihai kavramsal modele ait teknolojinin geliştirilmesi ve bununla eşlenik olarak geliştirilen simülasyon modelinin denenmesi, ve en nihayetinde ise sanal ortamda bir yüksek sadakat simülasyon modelinin elde edilmesiyle üretime geçilmesi şeklinde özetlenebilir, bkz. Şekil 2.



Şekil 2. Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi için Temel Yaklaşım

Yöntem her aşamada geri dönüşümlü ve tekrarlanabilir bir mantığa sahiptir. Yöntemin getirdiği en büyük avantajlardan biri, elde edilen simülasyon modellerinin ve bilgi birikiminin başka tedarik programlarında da kullanılabilir olmasıdır. Bu, zaman ve maliyetten büyük tasarruf demektir.

Simülasyon Tabanlı Tedarik sadece bir teknoloji değil bir kültürdür. Tedarik makamlarının, ihtiyaç makamlarının ve endüstrinin uyum ve eşgüdüm içinde çalışmasını gerektirmektedir.

3. ÖRNEKLER

3.1 Çeşitli Simülasyon Tabanlı Tedarik Uygulamaları

ABD Deniz Kuvvetleri Seawolf sınıfı denizaltı tedariki sürecinde kullanılan bu yöntem, ilk aşamada 95 bin civarında öngörülen, üretilmesi gereken parça sayısını 16 binlere kadar düşürmüştür [5]. ABD Kara Kuvvetleri Tank ve Otomotiv Ar-Ge ve Mühendislik Merkezi, yeni bir tank tasarım projesini daha önce planlandığı gibi 55 mühendis ve 36 ay yerine, 16 mühendis ve 14 ayda başarıyla tamamlamıştır [6].

Boeing firması 777 yolcu uçağı tedariki süresince, eski geliştirme programlarına göre, tasarım-üretim geri dönüşlerinde %60 ila %90 arasında azaltma sağlamıştır. 7.9 milyar dolarlık Comanche RAH-66 programında ABD Savunma Bakanlığı, uçuş kontrol sistemlerinde 447 milyon dolar ve pilot kabini sistemlerinde 103 milyon dolar olmak üzere toplam 673 milyon dolar brüt tasarruf sağlamış, bunu yaparken kullanmış olduğu Simülasyon Tabanlı Tedarik yöntemi için 34 milyon dolar harcayarak net 639 milyon dolar tasarruf etmiştir [7].

3.2 Avustralya Havadan Erken İhbar ve Kontrol Uçağı (Wedgetail) Projesi

Simülasyon Tabanlı Tedarik yönteminin kullanılmasına yönelik en ilginç yaklaşımlardan bir tanesi Avustralya Savunma Bakanlığı DSTO'nun Wedgetail projesinde gerçekleştirilmiştir. DSTO bünyesinde, ihtiyaç makamı Avustralya Kraliyet Hava Kuvvetleri ve endüstriden ekiplerin katılımıyla oluşturulmuş olan bir Simülasyon Tabanlı Tedarik takımı ihaleye katılan aday üç firmanın tekliflerini 2,5 yıl boyunca simülasyon ortamında test etmiş ve önerilen sistemlerin ihtiyaçları, teknik isteleri hangi şartlar altında ve nasıl karşıladığını en ince detayına kadar ortaya dökmüştür. Önerilen sistemlerin performanslarını çeşitli senaryolarla irdelemiş ve teklifler arasındaki hayati farkları açığa çıkarmıştır [8]. Yinelenebilir spiral bir mantıkla kullanılan yöntem sayesinde zaman içinde simülasyon modellerinin yüksek sadakat düzeyine erişimi sağlanmıştır. Bu çerçevede DSTO, tedarikçi firmalardan normal koşullarda elde edemeyeceği gizli bilgilere ulaşmış ve önemli bir bilgi birikimi ve tecrübe edinmiştir.

İlk başta tedarik seçimi amacıyla yapılan bu çalışmalar ve eforlar sonucunda elde edilen bilgi birikimi sayesinde DSTO, Wedgetail sisteminin servisi ve operasyonunda kullanılmak üzere Wedgetail Capability Modelling Environment (WCME) adlı bir simülasyon ortamı yaratmış ve servise 2006 yılında girecek olan, ihaleyi kazanan firmanın sunduğu sistemlerin operasyonel analiz çalışmalarına başlamıştır. WCME simülasyon ortamı, sistemler servise girdikten sonra, gözetleme, erken ihbar, hava savunma, filo kontrolü ve lojistik destek amaçlarına yönelik hareket planlama ve görev destek simülasyonlarında kullanılacaktır.

Ayrıca, burada kazanılan deneyim ve elde edilen başarıdan güç alan DSTO, Simülasyon Tabanlı Tedarik yöntemini Tiger Helikopter projesinde ve AP-3C Orion Deniz Karakol Uçağı projesinde de kullanmaktadır.

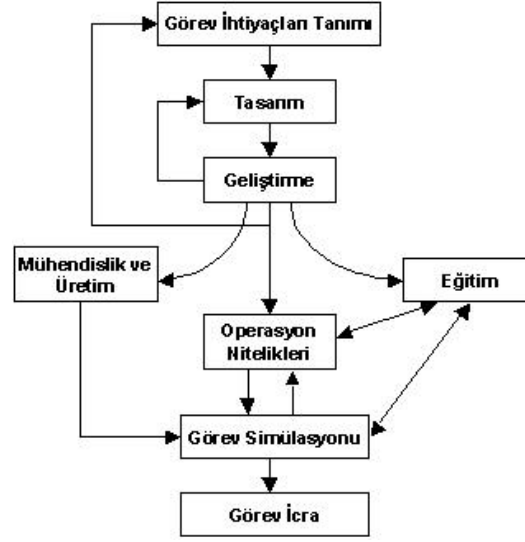
3.3 Türk İnsansız Hava Aracı için Simülasyon Tabanlı Tedarik Yöntemi Önerisi

İnsansız Hava Araçları 1960'lı yıllardan beri gündemdedir ve görev alanları ve tipleri açısından, taktik (Hunter), orta irtifa (Predator ve Outrider) ve stratejik (Global Hawk ve Darkstar) gibi, geniş bir yelpazeyi kapsamaktadırlar. Her biri birbirinden farklı özelliklere ve kullanım alanlarına sahip olsa da hepsinin aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ortak bir yanı vardır, bkz. Şekil 3.



Şekil 3. İHA Blok Diyagramı

İnsansız Hava Araçları gibi tasarımından üretimine, operasyona alınmasından lojistik desteğine kadar komplike bir sistemin tedarikinde karşılaşılabilecek en büyük zorluk lineer bir tedarik yöntemi uygulanmasıdır, bkz. Şekil 4. Geleneksel ve lineer bir tedarik sürecinde tedarik makamının, ihtiyaç makamının ve endüstrinin uyum ve eşgüdüm içinde çalışması, lineer tedarik sürecinin dış etkenlere açık olması ve her aşamada geri dönüşüme ve iterasyona izin vermemesinden dolayı zordur.



Şekil 4. Geleneksel Tedarik İşlemi Akışı

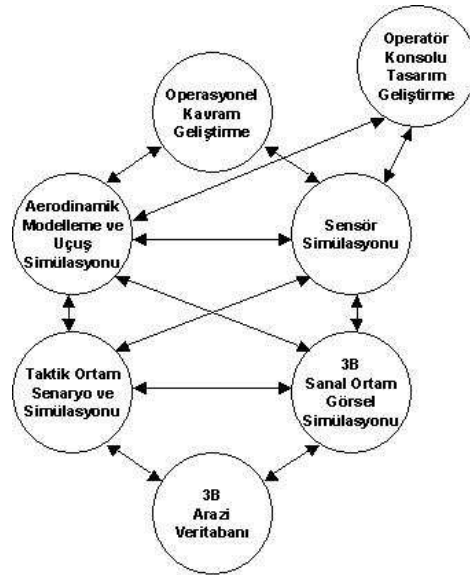
Bir İHA sisteminin tasarımı, görev ihtiyaçları tanımlama dokümanı ve diğer gerekli isterler dokümanlarının ortaya çıkmasından sonra başlar. Bu dokümanlar İHA sisteminin performans kriterlerinden irtifa, faydalı yük, menzil, yer destek teçhizatı gibi fonksiyonel özelliklerine kadar isterleri tanımlamaktadır. Bu isterlerin Neyle ve Nasıl karşılanabileceğine ilişkin bir Simülasyon Tabanlı Tedarik ortamı, alıcı, kullanıcı ve üretici grupları arasında tasarımdan üretime, operasyondan lojistik desteğine kadar İHA sisteminin yaşam döngüsü süresi boyunca en önemli çatıyı oluşturur. Böyle bir ortam aşağıdaki alt sistemlerden oluşabilir:

- **Taktik Ortam Senaryo ve Simülasyon Sistemi:** İHA'nın görev ve hareket ihtiyaçları ile ilgili tüm olası senaryolar, her türlü muharebe ortamı ve atmosferik şart altında test edilir. Senaryolara göre, tüm ilgili makamlar, tasarımın ve/veya isterlerin olumlu ve olumsuz etkilerini irdeleyebilirler. Simülasyon modelleri başta parametrik olarak tasarlanır, sistem olgunlaştıkça ve deneme/yanılmalarla bilgi birikimi arttıkça yüksek sadakatte modeller elde edilir.
- **Aerodinamik Modelleme ve Uçuş Simülasyonu Sistemi:** Bu sistem, prototip tasarımların sanal olarak uçuş simülasyonlarını gerçekleştirir. Tasarıma bağlı, yüksek sadakatte uçuş dinamiği modelleri, aerodinamik denklemler ve uçuş zarfı elde edilmesine olanak veren bu sistem, tasarımların yüzlerce kez denenmesine, 'uçurulmasına', aerodinamik katsayıların, uçuş parametrelerinin ve her türlü değişkenin üzerinde iterasyonlar yapılmasına imkan verir. 'Üretmeden önce Simüle Et' mantığı ile çalışıldığında nihai tasarıma, mekanik donanım tasarımlarında ve üretimlerinde daha az değişiklik gerekeceğinden, daha çabuk ve maliyet-etkin bir şekilde ulaşılır.
- **Operatör Konsolu Tasarım/Geliştirme Ortamı:** Bu ortam, yer kontrol istasyonlarında kullanılacak operatör konsolları için çeşitli grafik ve insan-makine arayüzlerinin fonksiyonel, ergonomik ve operasyonel testlerinin yapıldığı bir birimdir. Henüz tasarım aşamasında, fiziksel üretime geçilmeden,

kullanıcıların tedarik zincirine dahil olmasını sağlayarak, sanal ortamda istenmeyen fonksiyon ve kavramlardan vazgeçilmesini sağlar. Bir operatör konsolunun hangi görevleri aynı anda ve farklı zaman dilimlerinde ne kadar başarıyla icra edebileceğini ortaya koyar.

- 3 Boyutlu Sanal Ortam Görsel Simülasyonu: Bu ortam, İHA'nın uçacağı olası bölgelerin ve hareket alanlarının sanal ortamda yaratılmış halidir. Bu yapının varlığı İHA'nın uçuş simülasyonlarının gerçekçi bir ortamda yapılmasını sağlar ve İHA'yı kullanacak olan mürettebata İHA'nın uçuş esnasındaki görüş açıları, görüş performansı ve hangi koşullar altında aletli uçuşa gereksinim olduğu konusunda deneyim kazandırır. Ayrıca, sensör simülasyonu sistemi ile beraber kullanıldığında faydalı yüklerin operasyonel ve fonksiyonel testlerini yaptırarak mürettebatın eğitilmesini sağlar.
- 3 Boyutlu Arazi Veritabanı Yaratma Ortamı: Bu ortam, İHA'nın uçacağı gerçek veya hayali görev alanlarının hava fotoğrafları, uydu dataları ve/veya coğrafi bilgi sistemlerinden gelen veriler kullanılarak modellendiği bir istasyondur. Sensör simülasyonları için arazi veritabanlarının ayrıca materyal ve yeryüzü bilgilerinin de sisteme girilmesi gerekmektedir.
- 3 Boyutlu Modelleme Ortamı: Bu ortam, taktik senaryo ve simülasyonlarda kullanılması gereken objelerin, hedeflerin, tehdit unsurlarının ve diğer görüntü kıymetlendirmesi yapılması gereken platformların (zırhlı araçlar, füze rampaları, lançerler, kamplar, vs) 3 boyutlu yüksek sadakatte görsel modellerinin yaratıldığı sistemdir.
- Sensör Simülasyonu Sistemi: Bu sistem, faydalı yük adı altında İHA'nın taşıyacağı tüm FLIR, radar, elektrooptik ve termal kamera gibi sensörlerin yüksek sadakatte, matematiksel ve fiziksel doğrulukta, gerçek zamanlı görsel simülasyonlarından sorumludur.

Bu tip bir Simülasyon Tabanlı Tedarik ortamı, henüz İHA tasarım aşamasındayken, aerodinamik performanslara, faydalı yüklere, sensör tabanlı görüntü kıymetlendirme işlemlerine, hareket planlamaya ve ayrıca mekanik üretimden sorumlu mühendislik gruplarına faydalı geri beslemeler sağlar ve sistem tasarımı bittiğinde üretimle ilgili soru işaretleri barındırmayarak operasyon aşamasında da kullanıma hazır hale gelir, bkz. Şekil 5.



Şekil 5. Jenerik Simülasyon Tabanlı Tedarik Ortamı

KAYNAKÇA

- [1] QDR: Quadrennial Defense Review, US Department of Defense, 1997
DRI: Defense Reform Initiative, US Department of Defense, 1997
NDP: National Defense Panel, US Department of Defense, 1997
- [2] Dr. Patricia Sanders, Simulation Based Acquisition, Program Manager, Vol. 26 No. 140 (pp. 72-76), September - October 1997
- [3] Robin Frost and Dave Thomen, Simulation Based Acquisition: The Road Map, SIW, spring 1999, 99S-SIW-147
- [4] Epifanio Albergo and Dave Thomen, Simulation Based Acquisition: The Way Ahead SIW Spring 2000, 00S-SIW-120
- [5] DTSE&E study: "Study on the Effectiveness of Modeling and Simulation in the Weapon System Acquisition Process", October 1996
- [6] Colonel Kenneth Konwin and Dave Thomen, Simulation Based Acquisition: An Overarching View
- [7] Roger Smith, Simulation Based Acquisition, Simulation Leadership Series, DiSTI
- [8] BattleModel: Supporting Capability Lifecycle Decisions, Kesem International Report, 2001 – 2004

KIZILÖTESİ PASİF GÜDÜMLÜ MERMİ ELEKTRONİK HARP ETKİNLİK ANALİZİ PROTOTİP YAZILIMI

Doç. Dr. S. Gökhan TANYER^(a)

^(a) TUBİTAK UEKAE (Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü)

İLTAREN Araştırma Grubu, Binnaz sok. No 2/3, Kavaklıdere ANKARA

gokhan.tanyer@iltaren.tubitak.gov.tr

ÖZ

Güdümlü mermi (G/M) sistemlerinin günümüz hareket planlarındaki öneminin her geçen gün arttığı bilinmektedir. Kızılötesi pasif güdümlü G/M sistemlerinin diğer G/M türlerine göre avantajları ve özel uygulama alanları bulunmaktadır. Bu gelişmelerin paralelinde, gerek sistem geliştiricileri gerekse sistem kullanıcıları olarak G/M sistemlerinin vuruş başarımlarının Elektronik Harp (EH) öncelikli olmak üzere farklı koşullar altında belirlenmesi veya tahmin edilmesinin gerektiği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada kızılötesi pasif G/M sistemlerinin vuruş başarımları, hedef tarafından uygulanabilecek, kendini-savunma maksatlı elektronik taarruz (ET) taktik ve teknikleri, ve G/M sistemi elektronik korunma (EK) tekniklerinin ve angajman içinde bulunabilecek sistemlerin karşılıklı etkileşimlerinin belirlenmesine yönelik sayısal modelleme ve simülasyonları, hedef platformlarına ilişkin kızılötesi iz modelleri de kullanılarak, geliştirilmekte olan prototip yazılım üzerinden özetlenmiştir.

İlk olarak elektromanyetik ortamın modellenmesi kapsamında; farklı tür platformlara ilişkin üç boyutlu (3B) kızılötesi iz hesaplanma yöntemleri incelenerek atmosferik sönmüleme, güneş ve gökyüzü ışınlamaları, deniz yüzeyi ışınlamalarına ilişkin etkiler özetlenmiştir. Daha sonra arama başlığı, güdüm sistemi, otopilot ve gövde bileşenlerinden oluşan jenerik yapıları G/M modeli özetlenmiştir. Arama başlığına ilişkin sayısal analiz modelinin gerçekleştirilmesinde yardımcı bir araç olarak geliştirilen prototip yazılımın imkan ve kabiliyetleri örneklerle sunulmuştur.

Bildirinin sonunda, prototip yazılım kullanılarak gerçekleştirilebilecek değişik senaryolar listelenmiş ve bu senaryolar üzerinden G/M sistemlerinin EH açısından başarımlarının hesaplanmasına örnekler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kızılötesi Sahne, Pasif Güdümlü Mermi, Optik Sistem, Elektronik Taarruz (ET), Elektronik Korunma (EK).

PROTOTYPE SOFTWARE FOR PASSIVE IR GUIDED WEAPON ELECTRONIC WARFARE EFFECTIVENESS ANALYSIS

ABSTRACT

Nowadays, it has become a clear fact that a rapid and efficient operation relies on guided weapons technology. In that sense, it is also true that the infrared (IR) guided weapons hold an important role. Today's mission planners urge for accurate information

of mission success more than ever, for guided weapons; probability of miss/hit, miss distance and mission's robustness to electronic warfare techniques and tactics.

In this paper, the estimation problem for the single engagement mission success consisting of an IR guided missile and a target of some EW capability, is studied. A prototype for a digital analysis tool is developed for supporting the critical decision making. The emphasis on the effect of electronic attack (EA) and electronic protection (EP) on the probability of miss/hit is illustrated via this prototype. Some of the highlights of the EW engagement problem are; the IR signature and the EA capability of the target platform, the electromagnetic (EM) environment with respect to the IR sensors and the system and sub-system models for the guided weapon, including its EP capabilities.

For the modelling for the EM environment; computations for the three dimensional (3D) IR signature of different kinds of platforms, atmospheric attenuation, sky, sun and sea surface radiations are summarized. Later, for the modelling of guided weapons system, the models for the sub-systems; missile seeker, guidance, autopilot and airframe are presented. The newly developed prototype software library for designing the missile seeker subsystem is illustrated on some typical examples.

In results and conclusions, the computer aided estimation for probability of miss/hit, miss distance, the measures of EW effectiveness and a more complete analysis of a single target / single threat engagement problem are discussed over several typical scenarios.

Keywords : Infrared (IR) scene generation, passive guided missiles, optical systems, electronic attack (EA) and electronic protection (EP).

1. GİRİŞ

Güdümlü mermi (G/M) sistemlerinin hareket etkinliklerindeki öneminin her geçen gün arttığı bilinmektedir. Kızılötesi pasif güdümlü G/M sistemlerinin diğer G/M türlerine göre etkinliği de artmaktadır. Bu gelişmelerin paralelinde, gerek geliştirici gerekse kullanıcı olarak G/M sistemlerinin vuruş başarımlarının belirlenmesi veya tahmin edilmesinin gerektiği değerlendirilmektedir.

Bu kapsamda değişik ihtiyaçları karşılamak üzere simülasyon yazılım kütüphanesi geliştirilmiştir. Bu çalışmada kızılötesi bantta çalışan G/M etkinlik analizlerine imkan vermek üzere geliştirilmiş örnek prototip yazılımı kullanılmıştır. Yazılım genel olarak kızılötesi sahnenin oluşturulması ile güdümlü mermi ve platformların hareket modellerinin oluşturulması şeklinde ikiye bölümde incelenebilir.

Bu çalışmada, kızılötesi arkaplanın modellenmesi amacı ile MODTRAN (**MOD**erate Resolution **TRAN**smission) atmosfer modeli temel alınarak yazılan model kullanılmıştır. MODTRAN U.S. Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarları'nda geliştirilen bir atmosfer modelidir.

Güdümlü mermiler uygulama alanlarına göre değişen birçok alt sistemden oluşmaktadır. Temel alt sistemler sırasıyla arama başlığı, güdüm ve seyrüsefer sistemleri, denetleme sistemleri, hareket tetikleyicileri ve kontrol yüzeyleri, tapa, emniyet ve ateşleme durumuna getirme sistemleri, ateşleme zinciri, yük ve tahrik sevk sistemleri olarak listelenebilir. Bu alt sistemlerin güdümlü mermi üzerindeki yerleşimleri amaca ve

tasarım kısıtlarına göre değişmektedir. Geliştirilen yazılımda arama başlığı, güdüm ve seyrüsefer sistemleri denetleme sistemleri ve altı serbestlik dereceli dinamik hareket modelleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bir sonraki bölümde kızılötesi sahnenin oluşturulması anlatılacaktır. Daha sonra G/M hareket modeli detaylandırılmıştır. Takip eden bölümde arama başlığı içerisinde yer alan optik sistem özelliklerinin incelenmesinde kullanmak amacıyla geliştirilmiş olan Optik Sistem Analiz Kütüphanesi örnek olarak sunulmuştur. Sonuçlar bölümünde geliştirilmiş olan Kızılötesi Pasif Güdümlü Mermi Etkinlik Analiz Yazılımı simülasyon sonuç ve değerlendirilmeleri sunulmuştur.

2. KIZILÖTESİ SAHNENİN OLUŞTURULMASI

Atmosferde tanımlanan bir düzlem için geçirgenlik ve ışıma hesaplamalarında MODTRAN modeli kullanılmaktadır. Geçirgenlik hesaplamalarında üç sıcaklık bağımlı parametre kullanılmaktadır. Bunlar soğurma sabiti, çizgi yoğunluk parametresi (line density), ve ortalama çizgi genişliği olarak yer almaktadır. Sürekli moleküler soğuma, moleküler saçılma ve aerosol kaynaklı soğurma ve saçılma durumları da hesaba katılmaktadır. Işıma hesaplamaları aşağıda belirtilen kaynaklardan gelen katkıları göz önüne almaktadır.

- Atmosfer yayını,
- Güneş ve ay ışıması (düzlem içine tek saçılma olarak),
- Direk güneşten gelen ışıma,
- Güneşten ve atmosferik yayınımdan kaynaklanan çoklu saçılma ışıması.

MODTRAN modeli $0 - 50.000 \text{ cm}^{-1}$ frekans aralığında ya da $0.2 \text{ }\mu\text{m}$ 'den büyük dalga boylarında geçerlidir. Bu modeldeki en büyük spektral çözünürlük 2 cm^{-1} olarak belirtilmektedir.

Çalışmada arkaplanda yer alan atmosfer, gökyüzü ve kara gibi yüzeyler için MODTRAN modeli kullanılarak ışıma hesaplanmıştır. Tüm yüzeyleri oluşturan parçaların sıcaklık ve emissivite değerleri ile gözlemci konumu kullanıcı tarafından girilmektedir. İlk aşamada tüm yüzeyler ile kullanıcı arasındaki atmosferik geçirgenlik katsayısı hesaplanmaktadır. Daha sonra tüm yüzeylerin sıcaklık, emissivite ve kullanıcıya uzaklıkları bilindiğinden kullanıcı tarafından görülen ışıma değeri hesaplanmaktadır.

Diğer yüzeylerden daha karmaşık bir yapıya sahip olduğundan deniz ortamı daha farklı şekilde modellenmiştir. Bu modellemeye, güneş veya ay ışığından dolayı yüzeyde oluşacak pırıltının modellenmesi de dikkate alınmaktadır. Bu amaçla ilk olarak dalga modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu modelden elde edilen bilgiler ile deniz yüzeyindeki herhangi bir bölümden gelen ışıma; yol, gökyüzünden yansıyan, güneşten yansıyan ve yüzeyin kendi ışıması olmak üzere dört bileşenin toplanması ile bulunmaktadır.

$$N(\nu) = N_{\text{yol}}(\nu)f(\nu) + [N_{\text{gökyüzü}}(\nu) + N_{\text{güneş}}(\nu) + N_{\text{deniz}}(\nu)]\tau_{\text{yol}}(\nu)f(\nu) \quad (1)$$

Bu denklemde ν dalgaboyu (cm^{-1}), $f(\nu)$ alıcının spektral tepki katsayısıdır. Burada yer alan her bir bileşenin oluşan dalga modeli ile birlikte hesaplanması gerektiğinden,

kullanıcı tarafından deniz yüzeyi Cox-Munk (1954) veya Mermelstein (1994) modelleri kullanılarak modellenenmektedir. Cox-Munk modeline göre rüzgar hızı W olduğunda $\pm d\zeta_x / 2$ ile $\pm d\zeta_y / 2$ eğim aralığında dalga oluşma olasılığı (2) numaralı denklemde verildiği şekilde tanımlandığında,

$$P \equiv p(\zeta_x, \zeta_y, W) d\zeta_x d\zeta_y \quad (2)$$

bu denklemde yer alan $p(\zeta_x, \zeta_y, W)$,

$$p(\zeta_x, \zeta_y, W) = \frac{1}{2\pi\sigma_u\sigma_c} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{\zeta_x^2}{\sigma_u^2} + \frac{\zeta_y^2}{\sigma_c^2}\right)\right\} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada σ_u^2 ve σ_c^2 eğimlerin standart sapmasıdır. Plass (1976), gelen ışın ile dalgaın etkileşim olasılığını

$$Q \equiv q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) d\zeta_x d\zeta_y \quad (4)$$

şeklinde tanımlamıştır. Bu denklemde yer alan q , Zeisse (1995) tarafından,

$$q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) = \frac{\frac{\cos \omega}{\cos \theta_n} p}{\iint_{\substack{\omega \leq \pi/2 \\ U_r = \text{sabit}}} \frac{\cos \omega}{\cos \theta_n} p d\zeta_x d\zeta_y} \quad (5)$$

tanımlanmıştır. Bu bağıntıları kullanarak denklem (1) de yer alan bileşenler Zeisse (1995) tarafından ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$N_{\text{gökyüzü}}(\theta_r, \phi_r, W, \nu) = \iint_{\substack{\theta_s, \omega \leq \pi/2 \\ U_r = \text{sabit}}} N_s(\theta_s, \phi_s, \nu) \rho(\omega, \nu) q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) d\zeta_x d\zeta_y \quad (6)$$

$$N_{\text{güneş}}(\theta_0, \phi_0, \theta_r, \phi_r, W, \nu) = \frac{N_0(\theta_0, \phi_0, \nu)}{4} x \quad (7)$$

$$\iint_{\substack{\text{disk} \\ U_r = \text{sabit}}} \rho(\omega, \nu) \sec \omega \sec^3 \theta_n q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) \sin \theta_s d\theta_s d\phi_s$$

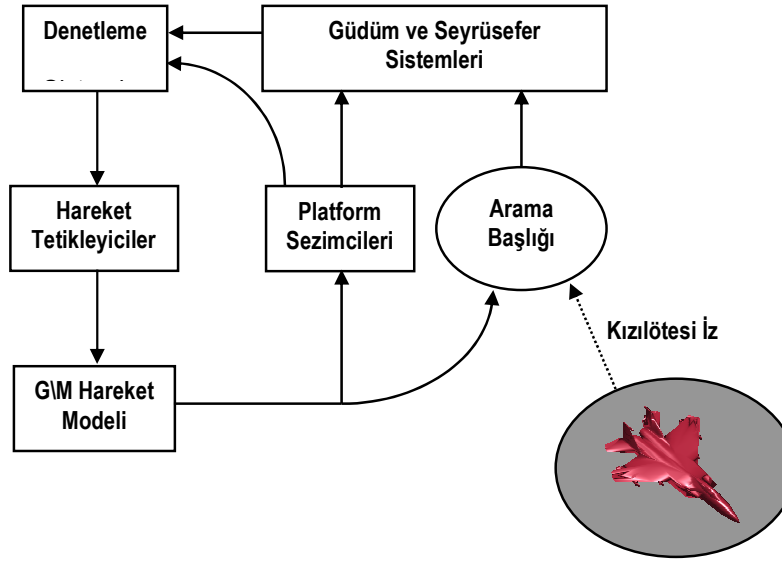
$$N_{\text{deniz}}(\theta_r, \phi_r, W, T_{\text{deniz}}, \nu) = N_{bb}(T_{\text{deniz}}, \nu) \iint_{\substack{\omega \leq \pi/2 \\ U_r = \text{sabit}}} [1 - \rho(\omega, \nu)] q(\zeta_x, \zeta_y, \theta, \phi, W) d\zeta_x d\zeta_y \quad (8)$$

Denklemler (6-8) hesaplanarak, tüm yüzeyler için G/M alıcısındaki ışıma hesaplanmaktadır. ω ışın geliş açısı, $\rho(\omega, \nu)$ ise deniz suyunun yansıtma katsayısıdır. Bu katsayı Friedman (1969) tarafından önerilen yöntemle göre Hale ve Querry (1973) ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır.

3. GÜDÜMLÜ MERMİ (G/M) MODELİ

Geliştirilen yazılımda G/M modeli 6 serbestlik dereceli hareket modeli üzerine kurulmuştur. 6 serbestlik dereceli hareket modeli ile kontrol yüzeylerinin açı değerleri kullanılarak gövdeye sağlanan momentler hesaplanmakta, ayrıca güdümlü merminin sevk tahrik sistemi ile sağlanan itki, aerodinamik kuvvetler ve yerçekimi etkisiyle de gövde ivme kazanmaktadır.

Arama başlığı, hedefin açısı ve radyal hızı hakkında bilgi üreten mekanizmadır. Arama başlığının üretmiş olduğu hedef açı ve açısal hız bilgilerini kullanan güdüm kontrol sistemi, merminin hedefe ulaşması için yapması gereken manevra ivmesini hesaplamaktadır. Bu hesaplanan manevra ivmesi ise otopilot sistemi tarafından alınıp 6 serbestlik dereceli hareket modeli girdileri olan kontrol yüzeyi açı sapmalarına dönüştürerek gerekli kuvvet ve tork değerlerinin üretilmesini sağlar.



Şekil 1. Güdümlü Mermi (G/M) Sistem Modeli

Şekil 1’de genel G/M sistem modeli verilmiştir. Burada hareket tetikleyiciler ve platform sezimcilerinin ideal çalıştığı kabul edilmiştir.

3.1 Arama Başlığı

Arama başlıkları tek sezimcili ya da çoklu sezimcili tarayan ya da göz atan şeklinde sınıflandırılabilir. Yazılımdaki arama başlığı modeli tek seferde görüş alanı içinden gelen kızılötesi bantta yapılan yayınımları belirli bir piksel çözünürlüğünde alacak göz atan arama başlığı şeklinde tasarlanmıştır. Taramalı ya da tek sezimcili arama başlıklarının simülasyonları görüş alanı açıları ve piksel çözünürlükleri kullanılarak ayarlanabilmektedir.

Arama başlığı kendi görüş alanı içindeki kızılötesi sahneden hedefi değişik algoritmalar kullanarak tespit edebilmektedir. Genel yaklaşım sinyal gürültü oranının belli bir seviye üstünde olması durumunda ilgili noktayı hedef olarak belirlemektir. Gözatan arama başlıklarında eğer görüş alanı içerisinde bu koşulu sağlayan birden fazla nokta bulunuyorsa bu noktaların orta noktasına yönelmek olası yaklaşımların en basiti olarak

kabul edilmektedir. Bu tip bir G/M sistemi için fışek (flare) kullanıldığı durumda hedefin kurtulma olasılığının yükseldiği değerlendirilmektedir.

3.2 GÜDÜM SİSTEMİ

Güdümlü sistemi, arama başlığından almış olduğu açı ve açısal hız bilgilerini kullanarak G/M sisteminin yapması gereken ivme komutlarını hesaplamaktadır. RF bandının tersine kızılötesi bantta çalışan pasif G/M arama başlıklarının menzil ölçmesini, ya birden fazla sezimci sayesinde ya da arama başlığından hedefin geçmişteki açı bilgileri ve G/M sisteminin konum bilgilerini kullanarak belli koşullar altında hesaplamak mümkündür. Açık literatürde bir çok güdümlü sistemi önerilmektedir. Bu yazılımda örnek oluşturmak amacıyla orantısız güdümlü menzil ölçümü gerektirmeyen türevleri kullanılmakla birlikte, arama başlığına eklenecek bir menzil kestirim modülü sayesinde diğer türdeki güdümlü sistemlerinin simülasyonuna imkan verecek bir altyapı oluşturulmuştur.

Orantısız güdümlü komutu denklem (9) ile ifade edilebilir.

$$a = \lambda(L \times \Omega) \quad (9)$$

Burada λ orantısız güdümlü sabiti, L orantısız güdümlü tipine göre seçilebilen bir vektör ve Ω ise G/M sistemi ile hedef arasındaki vektörün açısal hızıdır. Bu durumda üretilen ivme komutu a hem Ω vektörüne hem de L vektörüne dik olacak şekilde üretilmektedir. L vektörünün yaklaşma hız vektörünün tersi olarak seçilmesi sıkça görülen bir uygulamadır.

3.3 Otopilot Sistemi

Otopilot sistemi güdümlü sisteminden almış olduğu ivme komutlarını 6 serbestlik dereceli hareket modelinin girdi komutları olan δ_e, δ_r ve δ_a kontrol yüzeyi sapma açılarını çevirmektedir. Kararlı kapalı döngü bir sistem elde edebilmek için doğrusallaştırılmış ya da doğrusallaştırılmamış G/M hareket modelini kullanan değişik yaklaşımlar söz konusudur. Doğrusallaştırılmanın kullanıldığı yaklaşımlarda, yalpa açısının sifra eşit olması ve dolayısıyla yükselme ve başgezdirmeye açılarına ait dinamiklerin birbirinden bağımsız olmaları, açı değişimlerinin çok küçük olması ve böylece trigonometrik ifadelerin sadeleşmesi, sevk tahrik kuvvetinin G/M sistemi üzerinde bir moment oluşturmaması gibi bir takım kabullenmeler yapılmaktadır.

Gerçekleştirilen bu yazılımda doğrusallaştırılmış model üzerinde kapalı döngü sistem dinamiğine kök yerleştirme yöntemleri uygulanarak otopilot tasarlanmıştır. Başgezdirmeye ve yükseklik açılarına dair dinamiklerin birbirlerini etkilemediği kabulü, bant genişliği nispeten büyük olan bir yalpa açısı otopilot sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.4 6 Serbestlik Dereceli Hareket Modeli

G/M sistemleri üzerine etki eden kuvvetler; yerçekimi, hava içerisinde hareketinden dolayı karşılaşılan aerodinamik tepki kuvvetleri ve sevk tahrik sisteminden kaynaklanan tahrik kuvvetidir. Etkinliği gözlemlenen kuvvetler ile ilgili bağıntı denklem (10) ile verilmektedir.

$$m \frac{d\vec{V}_p}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_T \quad (10)$$

Burada $\vec{V}_p$ vektörü araç koordinat sistemine göre G/M sisteminin hızı, $\vec{g}$ yerçekimi vektörü, $\vec{F}_A$ ve $\vec{F}_T$ ise sırasıyla aerodinamik ve itki kuvvetleridir. G/M sistemleri üzerindeki momentler ise denklem (11) verildiği şekilde modellenmiştir.

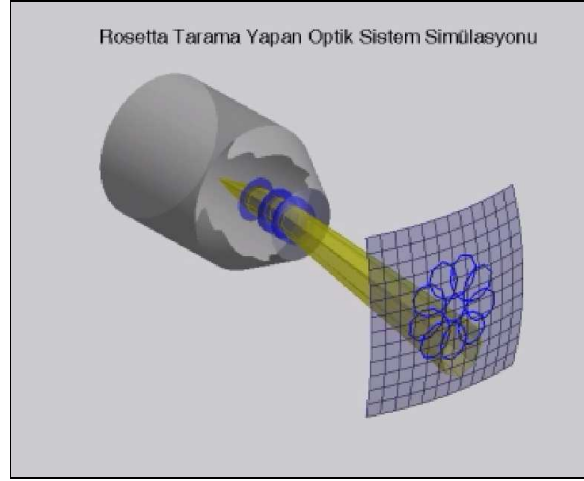
$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \int_V \vec{r} \times \frac{d}{dt} \frac{d\vec{r}}{dt} \rho_A dV = \vec{M}_{Aero} + \vec{M}_{Tahrik} \quad (11)$$

$\vec{M}_{Aero}$ ve $\vec{M}_{Tahrik}$ aerodinamik ve tahrik kuvvetidir. Denklemdaki hacim integrali ise açısal momentumu ifade etmektedir. Aerodinamik kuvvet ve momentler $\vec{F}_A = Q_d A [C_x \ C_y \ C_z]^T$ ve $\vec{M}_{Aero} = Q_d A d [C_l \ C_m \ C_n]^T$ olarak ifade edilmektedir. Burada Q_d dinamik basıncı, A G/M sisteminin azami kesit alanını ve d G/M sisteminin çapını vermektedir. Bu katsayılar genel olarak $C_i = C_i(M, \alpha, \beta, \delta_e, \delta_r, \delta_a, p, q, r, \dot{\alpha}, \dot{\beta})$ şeklinde ifade edilebilir. Burada M G/M sisteminin hızının kaç ses hızı (mach) ile gittiğini, α hücum açısını, β rüzgar eksenini, δ_e, δ_r ve δ_a sırasıyla yükselme, yalpa ve baş gezdirme kontrol açı sapmalarını, p, q ve r ise araç koordinat eksenleri etrafında sağ el kuralına göre açısal hızları ifade etmektedir. Yazılım Gerekli katsayılar ilgili tablolardan ara değer kestirimi yapılarak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

4. OPTİK SİSTEM ANALİZ KÜTÜPHANESİ

Optik Sistem Analiz Kütüphanesi Matlab ortamında geliştirilmiş 3 boyutlu optik bileşen ve ışınların incelenebildiği bir yazılım geliştirme kütüphanesidir. Tüm optik bileşenler analitik olarak tanımlanmış yüzeylerden oluşmaktadır. Adı geçen bu yüzeyler kartezyen, silindirik ya da küresel koordinatlarda tanımlanabilmektedir. Optik sistemin incelenmesini ve belirli bir ölçüde tersine mühendisliğin gerçekleştirilmesinde sanal ışınlar kullanılmakta ve bu ışınlar bir başlangıç noktası ve ışın doğrultusu ile tanımlanmaktadır. Bütün optik bileşenlerin ve ışınların içinde bulunduğu soğurucu sanal bir kürenin bulunduğu kabul edilerek bütün simülasyonlar gerçekleştirilebilmektedir.

Simülasyon başladığında her bir ışın Snell kanununa uygun olarak çarptığı yüzeyden yansımakta ve/veya kırılmaktadır. Bir ışın soğurucu bir yüzeye çarptığında ya da belli bir enerji miktarının altına düştüğünde sonlandırılmaktadır. Simülasyon belirlenen zaman aralığı içinde her bir simülasyon anı için bütün ışınlar sonlandırılıncaya kadar devam etmektedir.



Şekil 2. Rosetta tarama yapan optik sistemin tersine mühendislik maksatlı simülasyonu.

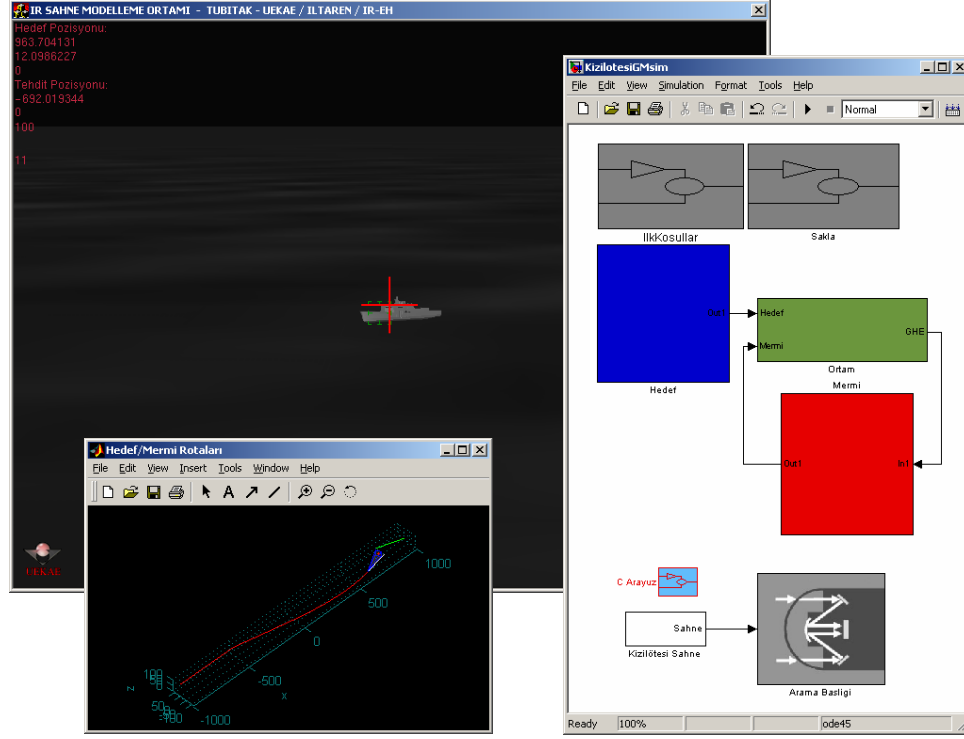
Şekil 2’de Rosetta tarama yapan bir arama başlığının çizmiş olduğu iz görülmektedir. Bu sistemde en arkada ince kenarlı bir mercek ve önünde ise farklı fazlara sahip iki kesik silindir prizma bulunmaktadır. Sanal ışın yöntemi ile optik sistemin tarama özelliği ve ilgili modelleme parametrelerini tespit etmek mümkün olabilmektedir.

5. PROTOTİP YAZILIMIN GENEL YAPISI

Yazılım kızılötesi sahne üzerinden güdümlü mermi başarımlı simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Yazılımın ana modülü C++ ortamında geliştirilmiştir. Yazılım SIMULINK simülasyon altyapısını kullanmaktadır. Kızılötesi sahnenin hesaplanması ana modülde gerçekleştirilmektedir. Güdümlü mermi modeli SIMULINK ortamında geliştirilmiştir. Ana modül MATLAB arayüzünü kullanarak güdümlü merminin ihtiyaç duyduğu kızılötesi sahneyi iletmektedir.

Üç boyutlu platform ve arkaplan kızılötesi ışınma hesaplamalarının sonucu Şekil 3’te en arkada görülmektedir. Sahnede kırmızı artı (cross hair) arama başlığının baktığı doğrultuyu göstermektedir. Yeşil kare ile takip sisteminin hedef olarak tespit ettiği ve güdümlü mermiyi yönlendirmeye çalıştığı nokta işaretlenmektedir. Şekil 3’te Hedef\Mermi Rotaları penceresinde hedef rotası (yeşil), G/M rotası (kırmızı) ve G/M görüş alanını gösteren prizma (mavi) görülmektedir. Simülasyon sonuna yaklaşılana bu alıntıda güdümlü merminin hedefe orantısız güdüm kullanarak yönelimi görülmektedir. Güdümlü mermi modeli KızılötesiGMsim penceresinde görülmektedir. SIMULINK kütüphanesinin modüler yapısı sayesinde G/M modeli kolaylıkla geliştirilmekte ve prototip yazılımın imkan ve yetenekleri artırılabilir.

Simülasyon öncesinde senaryo bileşenlerine ait bilgiler bir dosya vasıtasıyla tanımlanmaktadır. Simülasyon ana modülü platformların konum, manevra, kızılötesi ışınma parametreleri ve benzeri bilgilerini bu dosyadan okuyarak simülasyonu yönlendirmektedir. Prototip yazılımın mevcut esnek yapısı sayesinde hedef ve tehdit platformlar üzerine değişik sistemlerin eklenmesi mümkündür. Hedef platformlarına ET sistemleri, fişek (flare) atım sistemleri ve benzer şekilde G/M sistemine ise EK yetenekleri sağlayabilecek alt sistemlerin eklenebilmesi bunlara örnektir.



Şekil 3. Kızılötesi sahne, Hedef ve G/M rotaları, Simulink G/M modeli.

6. SONUÇ

Bire-bir angajman kapsamında yeralan ET kabiliyetli hedef ile EK kabiliyetli G/M sisteminin karşılıklı etkileşiminin analiz edilebilmesi ve karar destek maksatlı olarak EH etkinlik analizlerinin yapılabilmesi, EH teknik ve taktiklerin geliştirilebildiği bir ortamın geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada örnek vermek maksatlı olarak sunulan prototip yazılım vasıtasıyla; G/M sistemlerinin vuruş başarımları, zamana bağlı olarak angajmanın seyri, hedef açı hataları, sezimci üzerine düşen güç seviyeleri gibi bilgiler üretilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Cox, C. ve W. Munk, 1954, *Measurement of the roughness of the sea surface from photographs of the Sun's glitter*, *Journal of the Optical Society of America*, 44, s:838-850.
- [2] Mermelstein, M. D., E. P. Shettle, E. H. Takken ve R. G. Priest, 1994, *Infrared radiance and solar glint at the ocean-sky horizon*, *Applied Optics*, 33(25),s: 6022-6034.
- [3] Plass, G. N., G. W. Kattawar ve J. A. Guinn, 1975, *radiative transfer in the earth's atmosphere and ocean: Influence of ocean waves*, *Applied Optics*, 14,s: 1924-1936.
- [4] Zeisse, C. R., 1995, *radiance of ocean horizon*, *Journal of the Optical Society, A*,s:2022-2030.

- [5] Friedman D., 1969, *Infrared characteristics of ocean water*, *Applied Optics*, 8(10), s:2073-2090.
- [6] Hale, G. M. Ve M. R. Querry, 1973, *Optical constants of water in the 200 nm to 200 μ m wavelength region*, *Applied Optics*, 3, s: 555-563.
- [7] T.S. No, B.M. Min, R.H.Stone, K.C. Wong, *Control and simulation of arbitrary flight trajectory-tracking*, kabul ediliş tarihi 12 Mayıs 2004, Elsevier-Science@Direct.
- [8] Lanterman, Miller, Synder, 1995, *Automatic target recognition via the simulation of infrared Scenes*, *Proc of th 6th Annual Ground Target Modelling and Validation Conf.*, s: 195-203
- [9] Waldman, 2002, *Integration of imaging seeker control in a visual guided missile*, *Congresso de Brasileiro de Automatica*.
- [10] C. L. Lin, H. W. Su, 2000, *Intelligent Control Theory in Guidance and Control System Design: an overview*, *Proc. Nat. Sci. Counc. Vol 24, No 1*, s: 15-30.

GÜDÜMLÜ MERMİYE KARŞI SAVUNMA (GMKS) TEDBİRLERİ KAPSAMINDA SİMÜLASYON TABANLI DEKOY ATIM ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ

Şahin ÖZSOY^(a), Murat KOCAKANAT^(a)

^(a)Araştırma Merkezi Komutanlığı, Doğu Mah. Ankara Cad. No: 105

34890 Kaynarca, Pendik, İSTANBUL

{sozsoy, mkocakanat}@armerk.dzkk.tsk.mil.tr

ÖZ

Bu makalede, su üstü platformlarında, Gúdúmlü Mermiye Karşı Savunma (GMKS) amacıyla kullanılan pasif dekoyların atış etkinliğini değerdendirmek için geliştirilmiş bir simülasyon modeli açıklanmıştır. Model; gemi, dekoym ve füzenin fiziksel karakteristiklerinin yanı sıra, radar gúdúmlü füzeler için gúdüm komutlarını etkileyen elektromanyetik parametrelerin modellenerek atış sonrası etkinlik analizine imkan sağlanmıştır.

Model, çeşitli senaryolar için denenmiş ve suüstü platformun atış etkinliğinin değerdendirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabileceğı gösterilmiştir.

SIMULATION BASED DECOY EFFECTIVENESS EVALUATION FOR ANTI SHIP MISSILE DEFENSE (ASMD)

ABSTRACT

In this article, a simulation model used in order to analyze the effectiveness of the passive decoys is presented. The effectiveness evaluation is accomplished by modeling the physical characteristics of the ship, decoy and RF guided missile and also the electromagnetic parameters effecting the guiding commands of the missile.

The model is used in several scenarios and it is showed that it can be used in the decoy launching effectiveness evaluation of the surface platforms.

Keywords: Electronic Warfare, Decoy, Effectiveness, Time Marching, Simulation

1. GİRİŞ

Radar ve kızılötesi gúdúmlü füzelere karşı savunma tedbirleri, günümüzde ilgi odağı olan araştırma konularındandır. Gúdúmlü Mermiye Karşı Savunma (GMKS) yöntemlerinden bir tanesi olan ve pasif savunma tedbirleri kapsamında değerdendirilen dekoylar suüstü platformları tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır.

Atılan bu dekoyların ve ardından icra edilen manevra taktiklerinin etkinliklerinin değerdendirilmesi, yeni dekoym atım teknikleri geliştirmek ve halihazırdaki atışların yeterliliğini test etmek açısından önem arz etmektedir. Bu ise ancak fiziksel ve elektromanyetik ortamın etkin bir şekilde simüle edilebilmesiyle mümkündür.

Makalede, simülasyon modelinin açıklanmasının ardından örnek simülasyon sonuçları incelenmiş ve modelin kazandırabileceğı imkanlar ve muhtemel kullanım sahaları değerdendirilerek gelecekteki muhtemel çalışma konuları belirlenmiştir.

2. İNCELEME

Dekoy etkinliğinin test edilebilmesi için taktik ortamda aşağıdaki fiziksel niceliklerin modellenmesi gerekmektedir:

- a. Radar güdümlü füzenin elektromanyetik (frekans, polarizasyon, takip tipi, çözünürlük hücresi v.s) ve fiziksel parametreleri (uçuş modeli, hız ve ivme bilgileri)
- b. Geminin fiziksel özellikleri, ivmelenme ve devir dairesi bilgileri
- c. Dekoya ait boyutlar ve bulut oluşma eğrileri
- d. Taktik ortam içerisinde bulunan tüm objelerin kartezyen ve küresel koordinatlarda pozisyon ve hız vektörleri, yalpa, yunuslama ve rota değerleri
- e. Gemideki lançer sayısı, lançerlerin yönelmiş olduğu kerteriz ve yükseklik açıları, dekoky mermisinin lançerden çıkış hızı, merminin silindir uzunluk ve boy oranları ve bunların fiziksel sonuçları
- f. Geminin frekans, kerteriz ve polarizasyona bağlı RKA (radar kesit alanı) değerleri ve menzil profilleri
- g. Dekoyun zamana bağlı hacimsel büyüme eğrileri ve RKA değerleri

Bu niceliklerin her biri dekoky atış performansını etkileyecek önemli faktörleri içermektedir. Atışın performansı tüm bu etkenlerin etkileşimi ile oluşmakta olup belirli bir senaryodaki atış etkinliğini sezgisel olarak önceden tahmin etmek son derece zordur.

Simülasyon sonlanma zamanı, GM (Güdümlü Mermi)'nin azami uçuş süresi ve tespit mesafesi gibi değerlere göre hesaplanabilir. Ayrıca simülasyon adımı, en hızlı değişen niceliğe göre belirlenir.

Simülasyon vektörlerini ifade etmek için uygun bir koordinat sistemi seçilmelidir. Bu amaçla nicelikleri kartezyen ve küresel koordinat sistemlerinin her ikisi ile ifade edip, belirli bir denklemde uygun olan bileşenleri kullanmak, ileride uygulamaya geçildiği zaman hesaplamaların daha hızlı olmasını sağlayacaktır.

Bu modelde yer merkezli, çözünürlük hücresi merkezli ve gemi merkezli olmak üzere üç adet referans noktası ve bu üç referans noktası arasında çevrim matrisleri tanımlanmıştır.

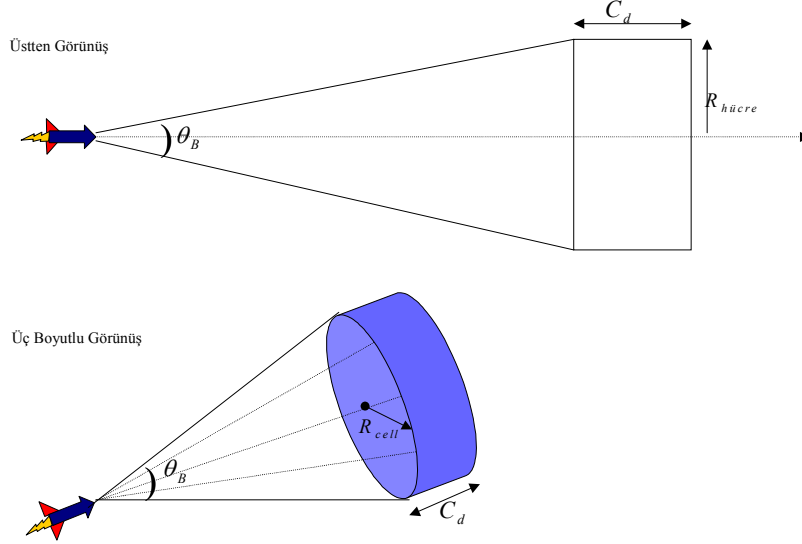
3. SİMÜLASYON MODELİ

3.1 GM Tarayıcı Çözünürlük Hücresi

GM tarayıcısı, hedefe kilitlenmenin ardından, hedefin bulunduğu hacimsel bölge etrafında, sadece belirli hacimden gelen radar ekolarını değerlendirmeye alır. Bu hacimsel bölgeye radar terminolojisinde çözünürlük hücresi adı verilmektedir. Bunun mesafedeki izdüşümüne ise mesafe kapısı denir. GM'nin bu parametresi, üretici tarafından belirlenen ve dışarıdan ölçülemeyen bir değerdir. Fakat, genel olarak tarayıcının darbe genişliği (τ) bilgisinden;

$$C_d = \frac{1}{2} c \tau \quad (1.1)$$

denklemini ile tahmin edilebilir. Burada C_d çözünürlük hücresi derinliğidir.



Şekil 3-1. Radar Çözünürlük Hücresi

GM gemiye yaklaştıkça, çözünürlük hücresi çapı daralır. Bu amaçla daha önce her zaman adımında hücre çapı güncellenmelidir. Ayrıca hücrenin her noktası için GM'nin duyarlılığı tarayıcı antenin duyarlılığına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Dekoy Hız Vektörü

Dekoyun fırlatma anındaki hız vektörünü, $\mathbf{v}_T^0$, lançerlerin gemi üzerinde konuşlandırılması yanında, geminin o anki rota, sürat ve yalpa değerleri belirler:

$$\mathbf{v}_T^0 = \mathbf{v}_{s_{xyz}}^0 + T \left[\begin{bmatrix} v_T \\ \theta_s^0 + L_d \\ L_y \end{bmatrix} \right] \quad (1.2)$$

Burada L_d , dekok lançerinin gemi üzerindeki kerteriz açısını, L_y ise yükselik açısını ifade etmektedir. Denklem sağı tarafındaki ikinci bileşen, lançer pozisyonunun hız vektörüne etkisini göstermekte olup, T transformasyonu, gemi referans noktasından yer merkezli referans noktasına dönüşümü ifade etmektedir. Gemi manevra yaparken dekoku ateşlerse, bu yalpa değeri de dekokun ateşleme anındaki hız vektörüne etki eder. Geminin atış anında ne kadar yalpa yapacağı, önceden yapılan ölçümlerle belirlenir. Bu ölçümlerde, geminin dümen açısı da önemlidir.

Yalpa değerine göre dekok hız vektörünün düzeltilmesi, dekok hız vektörünün gemi hız vektörü eksenleri etrafında yalpa açısı kadar döndürülmesi suretiyle yapılabilir. Bu işlemde ise aşağıdaki teorik prensiplere dikkat edilmelidir:

Bir vektörün üç boyutlu uzayda döndürülmesi basit olarak her bir ekseninde tek tek döndürülmesi ile yapılabilir. Yani önce vektörü x eksenleri etrafında çevirip y ve z koordinatları güncellenir, y ekseninde çevirip x ve z koordinatları güncellenir, son

olarak da z ekseninde çevirip x ve y koordinatları güncellenir. Bu çevrimler, matris çarpımı şeklinde ifade edilebilir ve her üç çevrimin arka arkaya uygulanması ise üç matrisin çarpımı olarak gösterilebilir. Fakat bu işlemin matematiksel modelinde bir hata vardır. Çünkü bir ekseninde yapılan çevrim diğer eksenlerdeki çevrime etki etmekte ve çevrimlerin sırası değiştirildiğinde ortaya farklı sonuçlar çıkmaktadır. Bunun temel sebebi matris çarpımlarının değişme özelliği olmamasıdır. ($\mathbf{AB} \neq \mathbf{BA}$). Bu probleme *gimbal lock* adı verilir. Çarpmaya hangi matristen başlanırsa ona göre farklı sonuçlar elde edilir. Bu da istenilen bir durum değildir. Bu nedenle yalpa değerine göre dekooy hız vektörünün düzeltilmesi işleminde bu yöntem kullanılmamalıdır. Bu nedenle daha uygun bir çözüm olan bir vektörün başka bir vektör etrafında çevrilmesi yöntemi kullanılabilir. Zaten üç boyutlu uzaydaki herhangi bir çevrim, başka bir vektör etrafında çevrim olarak ifade edilebilir. Bu sayede üç eksenin de aynı anda değişmesi sağlanmış olur.

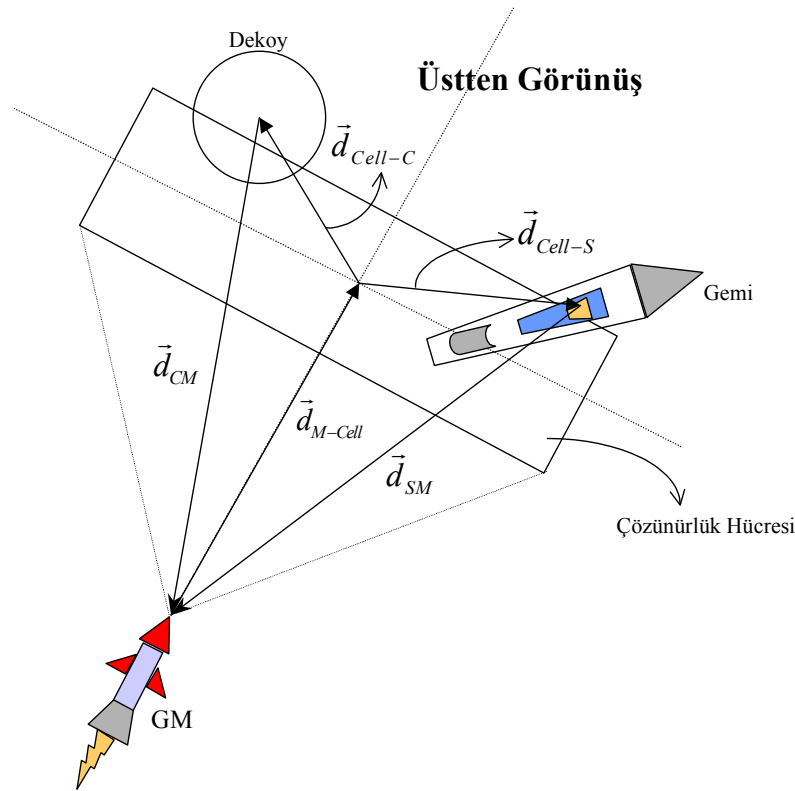
Vektörün döndürme sonundaki doğru yerini bulabilmek için Euler tarafından üç boyutlu uzaydaki dönme hareketlerinin bir eksen etrafında tek dönme hareketi olarak temsil edilebildiğini belirten kuralı kullanılır. Bu amaçla vektör aşağıdaki matris ile çarpılır:

$$\begin{bmatrix} tx^2 + c & txy - sz & txz + sy \\ txy + sz & ty^2 + c & tyz - sx \\ txz - sy & tyz + sz & tz^2 + c \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Burada, θ geminin yalpa açısı olmak üzere; $s = \sin(\theta)$, $c = \cos(\theta)$, $t = 1 - \cos(\theta)$ ve $\langle x, y, z \rangle$ ise gemi birim hız vektörü bileşenleridir. [1]

Senaryo Vektörleri

Senaryodaki GM, gemi, çözünürlük hücresi ve dekooylar arasındaki bağıl uzaklıkları, koordinat çevrimlerini ve hesaplamalar için gerekli olan diğer vektörleri içeren vektörler kümesine senaryo vektörleri adı verilir. Her zaman adımında pozisyonlar güncellendikten sonra senaryo vektörleri de güncellenmelidir. Bazı senaryo vektörleri Şekil 3-2’te gösterilmiştir:



Şekil 3-2. Senaryo Vektörleri

Dekoy RKA

Her zaman adımında dekoy RKA'sının güncellenmesi gerekir. Dekoy henüz patlamamışsa, RKA'sı sıfıra eşittir. Diğer durumlarda zamana bağlı RKA'sı, RKA'nın kaydedildiği veri dosyalarından okunabilir. Dikkat edilmesi gereken nokta, dekeyun çözünürlük hücresi içinde kalan kısmının RKA'sını hesaplamadaki zorluktur.

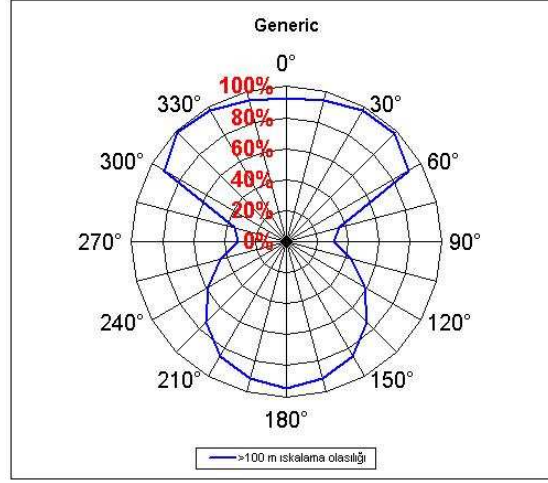
Toplam RKA

Geminin ve dekoyun görünen RKA'ları ve bunların pozisyonları hesaplandıktan sonra, toplam RKA ve ağırlıklı RKA merkezi bulunur. GM'nin kilit penceresinin bir sonraki zaman adımında, bu ağırlıklı RKA merkezine yöneleceği varsayılarak hücre koordinatları güncellenir. *Trailing-Edge* ve *Leading Edge* tarayıcılar için burada özel hesaplamalar yapılmalıdır.

Gemi Menzil Profili

Gemiyi oluşturan parçaların tümü RKA'ya aynı oranda etki etmezler. Örneğin geminin köprü üstünden radar sinyalinin yansımaları fazla olurken, kı bölümünden daha az yansımalar olabilir. Yansımaların gemi üzerindeki dağılımları, ölçümlerle elde edilir ve menzil profili adını alır. Simülasyon sırasında, menzil profilinin hassasiyeti isteğe göre ayarlanabilir, gerçeğe yakınlık ile hesaplamanın hızlı olması arasında bir optimizasyon yapılması gerekir. Geminin saıcılarının hangilerinin hücre içinde kaldığı görünen RKA'yı hesaplamak için önemlidir.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI



Şekil 4-1. Kuramsal bir geminin etkinlik grafiği

Şekil 4-1’de, gemiye göre nisbi gerçek kuzey istikametine bakan tek bir dekoy lançerine sahip kuramsal geminin 000-360 kerterizlerinden, jenerik radar parametrelerine sahip bir GM hücumuna maruz kaldığı durumda kendini savunabilme etkinliğini gösteren grafik görülmektedir. Grafik, 1225 adet Monte-Carlo simülasyonunun sonuçlarının ortalamalarının alınmasıyla elde edilmiştir. Görüldüğü gibi, GM bordodan geldiği durumlarda bu lançer konfigürasyonuna sahip bir geminin kendini savunabilme ihtimali son derece düşük olmaktadır. Geminin atış etkinliği ve zayıf kaldığı sektörler bu ve benzeri grafiklerden açıkça izlenebilmektedir.

5. DEĞERLENDİRME

Belirli bir GMKS senaryosundaki atış performansını sezgisel olarak önceden tahmin etmek son derece zordur. Bu simülasyon modelinin kullanımı ile taktik karar vericiye yardımcı olacak uygulama yazılım ve donanımları geliştirilebilecektir. Bu da GMKS tedbirleri kapsamında su üstü platformlarının savunma kabiliyetini önemli ölçüde arttırabilecektir.

İlerisi için planlanan çalışma konuları, bu modelin geliştirilerek kızılötesi tarayıcıya sahip güdümlü füzelerin de modellenmesi, farklı dekoy tiplerinin de modele eklenerek daha zengin bir simülasyon ortamı oluşturulması olarak sıralanabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, simülasyon modelinin geliştirilmesi sırasındaki değerli katkılarından dolayı, başta Sayın Sedat TÜRE olmak üzere Elektronik Harp Araştırma Grubunun değerli elemanlarına, ayrıca simülasyon sonuçlarını grafiğe dönüştüren Nurettin UÇAR’a teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Adamy, Dave (2001) EW101, A First Course in Electronic Warfare, Artech House Publishers, Roston, LONDON*
- [2] Kuipers, J.B. (1999) Quaternions and Rotation Sequences, Princeton University Press.*

Al₂O₃ SERAMİK - CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER KATMANLI KOMPOZİT ZIRH SİSTEMİNİN 7,62 mm ZIRH DELİCİ MERMİLER İÇİN SAYISAL VE ANALİTİK BALİSTİK İNCELEMESİ

Alper AYDINEL^(a), Bilgehan ÖGEL^(b), R. Orhan YILDIRIM^(c)

^(a) ODTÜ, Makina Müh.Böl., aaydinel@hotmail.com

^(b) ODTÜ, Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., bogel@metu.edu.tr

^(c) ODTÜ, Makina Müh.Böl., orhany@metu.edu.tr

ODTÜ,BİLTİR/SAVSİS Birimi-Ankara

ÖZ

Alümina Seramik ve Cam Elyaf Takviyeli Polyesterden (CTP) oluşan iki katmanlı, hafif zırh sisteminin, 7,62 mm AP (zırh delici) mermilere karşı balistik performansı, sayısal simülasyon programı kullanılarak incelenmiştir. 8 mm'lik alümina seramik ve değişken CTP kalınlıklarında sayısal modeller hazırlanmış ve mermi çıkış hızı sonuçları analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Lagrange ve yuvarlak parçacık hidrodinamiği çözümleme yöntemlerinin kullanıldığı sayısal yaklaşımda, mermi deformasyonu ve kırılması, seramikte koni oluşması ve arka plaka deformasyonu incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alümina seramik, balistik limit, CTP, kompozit, zırh.

NUMERICAL AND ANALYTICAL INVESTIGATION OF Al₂O₃ CERAMIC-GFRP COMPOSITE ARMOR SYSTEMS AGAINST 7.62 mm AP ROUNDS

ABSTRACT

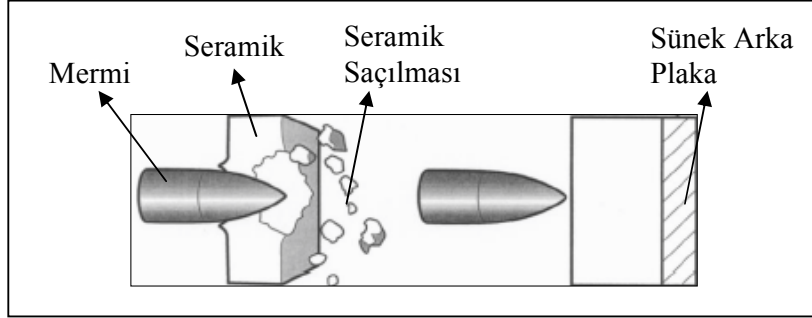
The ballistic performance of low weight Al₂O₃ Ceramic-Glass Fiber Reinforced Polyester (GFRP) laminated armor system against 7.62 mm AP rounds is investigated using a hydrocode solution. Various numerical models of 8 mm constant thickness Al₂O₃ Ceramic and variable GFRP thicknesses are considered and a combined numerical and analytical study on the perforation velocities is conducted. A numerical study using Lagrange and Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) schemes is promising. The major distinguishing features of composite armor system such as projectile erosion and fracture, ceramic conoid fracture and deformation of the backing plate are investigated.

Keywords: Alumina ceramic, armor, ballistic limit, composite, GFRP.

1. GİRİŞ

Günümüzde, hafif ancak yüksek balistik dayanımlı zırhların geliştirilmesinde, seramik malzemelerinin etkinliği önemli bir araştırma konusudur. Bu malzemeler, yüksek sertlik değerleri ve düşük yoğunlukları sayesinde, yüksek mukavemetli ve balistik dayanımlı ancak yüksek yoğunluğa sahip olan, çeliklere alternatif oluşturabilecek duruma gelmiştir. Balistik darbe anında, bu seramiklerin sert yüzeyleri, mermi ucunu kırıp,

kütleştirerek etkinliğini azaltmakta ve yüksek balistik koruma sağlamaktadır [1-5]. Ancak bu esnada kırılan seramik parçacıkları arka tarafa saçılmaktadır (Şekil 1) [6].



Şekil 1. Balistik Darbe Anında Seramik Saçılması ve Sünek Arka Plaka Kullanımı [6].

Balistik dayanım açısından seramik ön plakanın kullanımı oldukça önemlidir ancak, bu plakaya destek sağlayacak, arka tarafa saçılan parçacıkları tutabilecek ve merminin kalan kinetik enerjisini emebilecek sünek bir arka plakaya ihtiyaç duyulmaktadır. Arka plakanın hafif ve yüksek dayanımlı olması, zırhın toplam ağırlığını fazla arttırmadan maksimum korunmanın elde edilmesini sağlar.

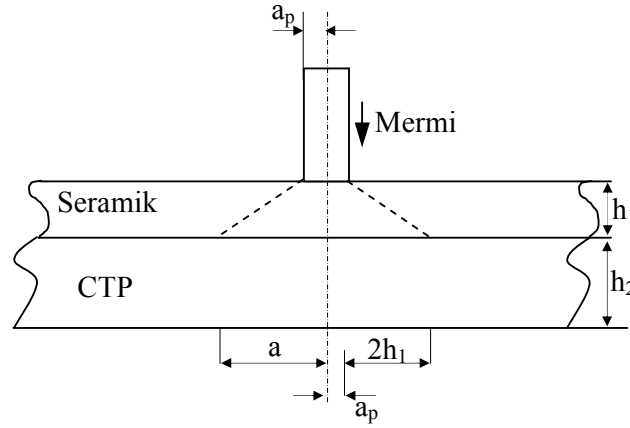
Bu tip katmanlı kompozit zırhların balistik incelemeleri, deneysel, analitik ve sayısal yöntemlerle mümkündür. Deneysel incelemeler, gerçek sonuçları yansıtmasına rağmen oldukça pahalı ve zaman alıcıdır. Balistik darbe olayının karmaşık bir problem olduğu ve delinme olayını etkileyen pek çok değişkenin bulunduğu bilinmektedir. Bu tip katmanlı zırhların balistik incelemelerinde Florence [7] gibi analitik modeller kullanılabilir. Ancak bu model, ön katmanı seramik olan iki katmanlı bir zırh sistemi için geliştirilmiştir. Ayrıca malzemelerin sadece yoğunlukları ve mukavemet özellikleri göz önüne alınmaktadır ve merminin küt uçlu silindirik yapıda olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle, seramik ön yüzlü iki katmanlı zırh sisteminin incelenmesinde, Florence modeli yönlendirici olmakla birlikte sonuçların sayısal modelleme yöntemleriyle desteklenmesinin gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca tasarımı yapılan mermi ve zırh sisteminin karmaşık geometrilerden oluştuğu göz önüne alındığında, analitik yöntemlerin kısıtlı kaldığı anlaşılmaktadır. Buna karşın sayısal modellerde, kullanılan mermi ve katmanlı zırh sistemi yaklaşık aynı geometride modellenenilmekte ve analizler daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

Balistik darbe, çok kısa bir zaman aralığında büyük deformasyonların gerçekleştiği dinamik bir problemdir. Bu tip problemlerin çözümünde, bilinen “implicit” yöntemlerin yerine “explicit” çözümler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dinamik bir sayısal

çözümleme programı kullanılarak 7,62 mm çelik çekirdekli zırh delici mermilerin, sabit kalınlıktaki alümina seramik ve değişik kalınlıklardaki CTP'den oluşan zırh sistemleri için balistik analizleri yapılmış analitik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

2. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Balistik darbe ve delip geçme olayının analitik olarak incelenmesi Florence'nin balistik limit formülasyonu ile mümkündür. Bu yaklaşım, Şekil 2'deki gibi katmanlı zırh sistemleri için mermiyi durdurabilecek sınır hızını (balistik limit) tanımlamaktadır.



Şekil 2. Florence Balistik Limit Modeli [7]

Florence eşitliği aşağıdaki gibidir.

$$V_p = \sqrt{\frac{\varepsilon_r S}{0.91 M_p f(a)}} \quad (1)$$

$$f(a) = \frac{M_p}{[M_p + (h_1 d_1 + h_2 d_2) \pi a^2] \pi a^2} \quad (2)$$

$$a = a_p + 2h_1 \quad (3)$$

ε_r = Arka plaka kopma uzaması,

M_p = Mermi kütlesi,

S = Arka plakanın çekme mukavemetine bağlı bir parametredir,

a_p = Mermi yarıçapı,

h_1 = Seramik plaka kalınlığı,

h_2 = Arka plaka kalınlığı,

d_1 = Seramik plakanın yoğunluğu,

d_2 = CTP plakanın yoğunluğu

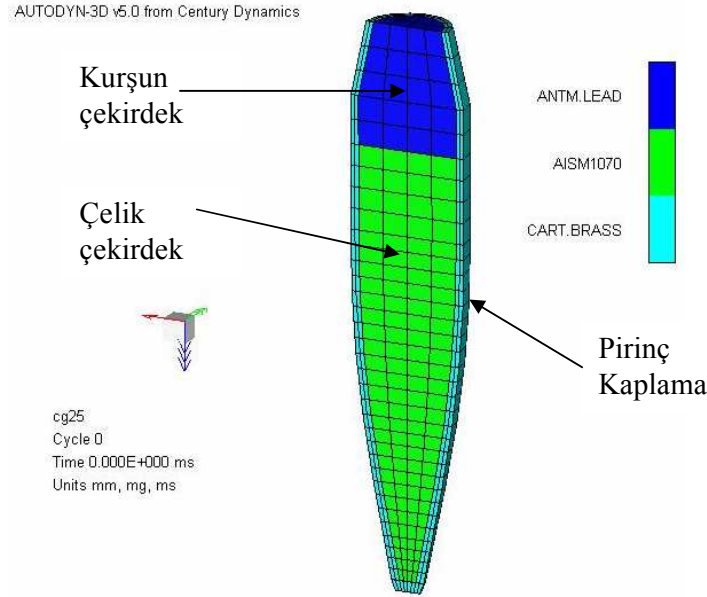
Merminin ilk hızı ile Eşitlik 1'den hesaplanan balistik limit arasındaki hız farkı merminin hedefi deldikten sonraki kalan hızı olarak varsayılmaktadır [8].

3. SAYISAL ÇALIŞMALAR

Balistik testlerde kullanılan 7,62 mm zırh delici mermi ve kompozit zırh sisteminin benzetimi sayısal bir paket programı (Autodyn-3D, [9]) ve HP iş istasyonu x4000 (2,4 GHz Xeon işlemci, 1 GB Ram ve 160 GB HDD) kullanılarak yapılmıştır. Modelin bütününe y-düzleminde simetri verilmiştir.

3.1 Mermi Modeli

Mermi, çelik bir çekirdek, arkasında kurşun malzemesinden bir kütle ve pirinç bir kaplama malzemesinden oluşan bir yapıya sahiptir. Sayısal modelde mermi bütünü, 19 parça halinde oluşturulduktan sonra birleştirilmiştir [10]. Şekil 3 sayısal mermi modelini göstermektedir.

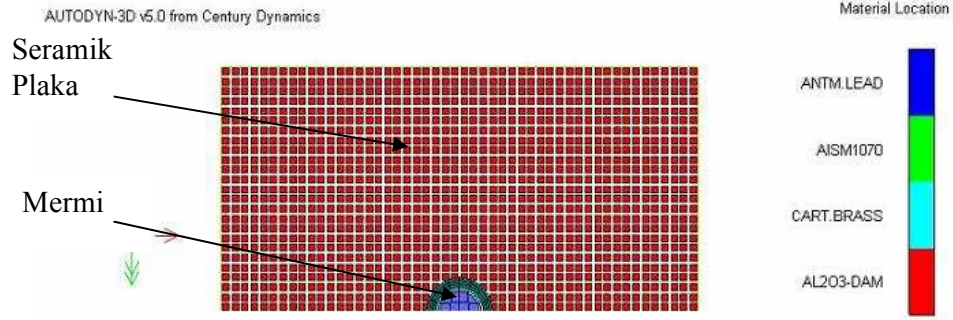


Şekil 3. Sayısal Mermi Modeli

Merminin sayısal çözümlemesi Lagrange metodu ile yapılmaktadır. Mermide sınır koşulları bulunmamaktadır. Mermiye ilk hız olarak deneyde ölçülen 800 m/s'lik ortalama hız tanımlanmıştır.

3.2 Alümina Seramik Plaka Modeli

Seramik plaka 50x25 mm ölçülerinde, 8 mm sabit kalınlıkta modellenmiştir. Seramik plaka modeli, yuvarlak parçacık hidrodinamiği kullanılarak 1 mm çapındaki kürelerden oluşturulmuştur. Seramik plaka modelinde sınır koşulları bulunmamaktadır (Şekil 4).

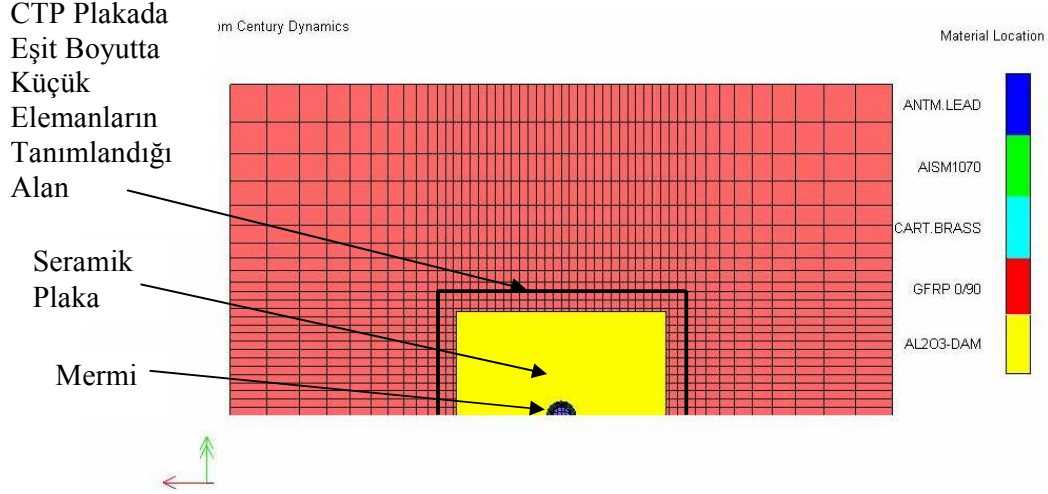


Şekil 4. Seramik Plaka Modelinin Üstten Görünüşü.

3.3 CTP Arka Plaka Modeli

Sayısal çözümlemede, toplam eleman sayısı ve boyutu, çözüm hassasiyetini ve süresini etkileyebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan Autodyn programı “explicit” çözümleme yaptığı için çözümler genelde uzun zaman almaktadır. Bu nedenle uygun eleman büyüklüğü ve sayısının belirlenmesi, çözüm hassasiyetinden fazla bir ödün vermeden daha kısa sürede neticelerin elde edilmesi için önemlidir. Bunun için CTP plakanın sayısal modelinde, 10 mm’lik kalınlık seçilerek, x-y düzlemi içinde değişik eleman boyutlarında çözümler yapılmıştır. İlk çözüm denemesinde, CTP plaka için 162000 eleman kullanılmıştır. Program, yaklaşık 48 saat’lik çalışma süresinin sonunda hata mesajı verip durmuştur. Bu aşamada, program henüz 7774 döngü ilerlemiş olup merminin zırhla daha yeni etkileşime girdiği ve henüz zırh içinde ancak 1 mm kadar ilerlediği tespit edildiğinden bu kadar fazla sayıda ve küçük boyuttaki elemanlar kullanılarak çözümün yapılamayacağı anlaşılmıştır. Aynı şekilde eleman boyutlarının sabit olduğu ikinci ve üçüncü çözümlerde (sırasıyla 40500 ve 18000 eleman) çözüm hassasiyetinin fazla değişmemesine karşın, çözümler yaklaşık 51 ve 34 saat sürmüştür.

Bir sonraki aşamada yapılan üç ayrı çözümde ise eleman sayıları yaklaşık 13000 civarında alınmış ve çarpışma bölgesinde göreceli olarak küçük, diğer yerlerde daha büyük elemanlar kullanılmıştır. Yapılan deneme çözümlerinden, Şekil 5’te görülen, x-y yönünde 50, y-yönünde 25 eleman bulunan ve en uygun çözüm süresine sahip olan bu model diğer çözümler için temel olarak alınmıştır.



Şekil 5. Sayısal Model.

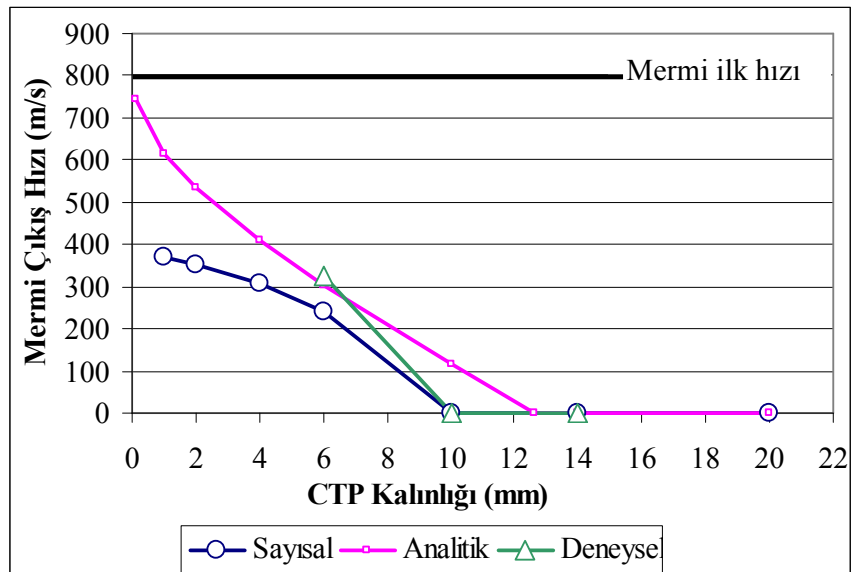
CTP arka plaka modelleri 160x80 mm ölçülerinde olup kalınlıkları, 1, 2, 4, 6, 10, 14 ve 20 mm'dir. CTP arka plakanın balistik darbe sonrasında sabit durması için, üç dış kenar yüzeylerine x, y ve z yönlerinde sıfır hız sınır koşulu uygulanmıştır.

4. DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışmada kullanılan 8 mm'lik seramik ve değişik kalınlıklardaki CTP arka plakadan oluşan zırh için mermi çıkış hızının analitik ve sayısal çözüm sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada, mermi hızının sıfıra yaklaştığı ve sıfır olduğu (balistik limit) kalınlıklar için de 3 adet deneysel test örneği hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda zırh sistemleri özel bir çerçeveye sabitlenmiştir. Deneyde mermiler, G3 otomatik piyade tüfeği kullanılarak Amerikan NIJ standardına [11] uygun olarak atılmıştır. Mermi ilk giriş ve çıkış hızları ölçülmüştür [12, 13]. Çizelge 1.'deki sonuçların grafiksel olarak gösterimi Şekil 6'daki gibidir.

Çizelge 1. 8 mm’lik Alümina Seramik ve Değişik Kalınlıklardaki CTP Ön Plaka için Analitik, Sayısal ve Deneysel Değerler.

CTP Kalınlığı	Mermi Çıkış Hızı		
	Sayısal	Analitik	Deneysel
(mm)	(m/s)	(m/s)	(m/s)
1	370	616	---
2	350	535	---
4	308	410	---
6	240	304	325
10	0	116	0
12,6	---	0	---
14	0	0	0
20	0	0	---
--- Bu kalınlıklarda inceleme yapılmamıştır.			

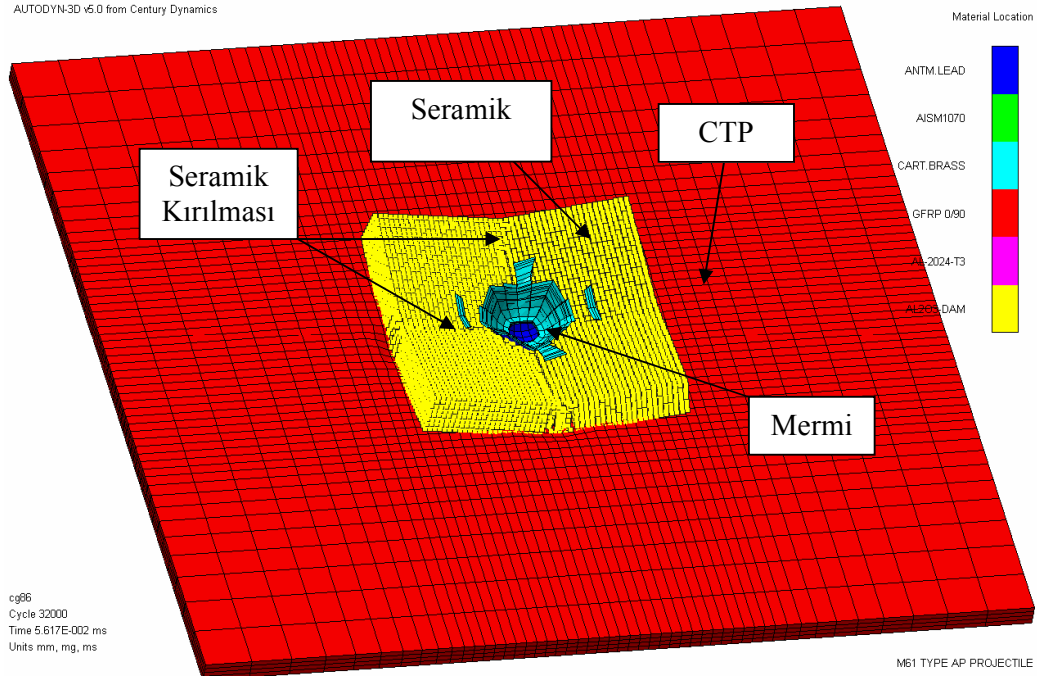


Şekil 6. CTP Kalınlığının Mermi Çıkış Hızına Etkisi

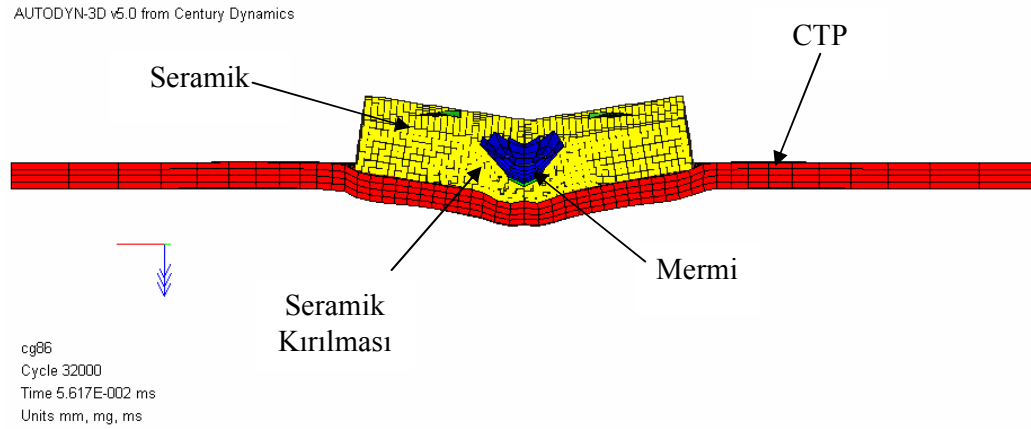
Analitik zırh modeli 7,62 mm’lik zırh delici mermiyi, yaklaşık 13 mm’lik bir CTP arka plaka kullanılması durumunda durdurabilmektedir. Sayısal çözüm ise 10 mm’lik CTP arka plakasının mermiyi durdurabildiğini göstermektedir. Beklendiği üzere analitik yaklaşım, bu tip bir problem için yönlendirici olmaktadır. Sayısal çözüm ise, sistemin uygun modellenmesi durumunda, gerçeğe daha yakın sonuç verebilmektedir. Ancak bu

sonuçların deneysel olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneysel ve sayısal sonuçlar aynı noktada birleşmektedirler ancak daha düşük CTP arka plaka kalınlığı için sayısal değerler, deneysel değerlerin altında kalmaktadır. Bu sapma sayısal modelin geliştirilmesi ile azaltılabilir.

Yapılan sayısal çözümlerde mermi çıkış hızının yanı sıra, mermi deformasyonu ve seramik kırılması da gözlemlenebilmektedir (Şekil. 7 ve 8).



Şekil 7. Sayısal Çalışma



Şekil 8. Sayısal Çalışma, Yandan Görüntü

Şekil 7’de görüldüğü gibi seramik dört ana parçaya bölünmekte ve merminin çarptığı bölgede ise çok sayıda küçük parçacık oluşmaktadır. Bu şekilde merminin kinetik enerjisinin bir kısmı yutulmaktadır. Şekil 8’de, merminin kütleşerek ezildiği, seramik plakanın konik kırılması sonucunda arka plakada mermi kesit alanından daha geniş bir bölgede çökme olduğu görülmektedir. CTP plakasının sünek davranışı nedeniyle merminin kalan enerjisi de emilmekte ve aynı zamanda seramik parçacıklarının arka tarafa geçmesi önlenmektedir.

5. SONUÇ

Elyaf takviyeli kompozitler, metallere göre hafif olması nedeniyle zırh uygulamalarında kullanılmaktadır. Ancak, sivri uçlu sertleştirilmiş çekirdek içeren zırh delici mermilere karşı elyaf takviyeli kompozit plakaların etkinliğinin artırılması, ön tarafa seramik bir katmanın konulmasıyla sağlanabilmektedir. Seramik malzeme, mermi ucunun kütleşmesine ve/veya kırılmasına neden olur. Ayrıca seramikteki konik kırılma, arkasına konulan elyaf takviyeli kompozit plakaya etki eden darbe kuvvetini daha geniş bir alana yayar.

Bu çalışmada 8 mm alümina seramik ve değişik kalınlıktaki CTP plakadan oluşan hafif bir zırh sisteminin 7,62 mm AP mermisine karşı olan etkinliği analitik ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmalarda elde edilen balistik limite yakın kalınlıklarında deneysel çalışmalar yürütülmüş ve üçlü karşılaştırma yapılmıştır. Analitik Florence eşitliği, kolay uygulanabilir olması ve kısa sürede sonuç vermesi, nedeniyle yönlendirici olabilmektedir, ancak kullandığı varsayımlardan dolayı gerçek modeli yansıtamamaktadır. Öte yandan, sayısal analiz sonuçlarının deneysel verilerle kabul edilebilir bir uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Bu karşılaştırma neticesinde, benzer zırh sistemleri için sayısal analiz yönteminin uygun varsayımlarla kullanılması, deney miktarlarının, maliyetlerinin ve sürelerinin azaltılması, ve çeşitli malzemeleri içeren değişik tasarımların denenmesi açısından etkin olacağı sonucuna varılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmada, Century Dynamics firmasına Autodyn yazılımının kullanımına olanak tanıdığı için, MKEK Genel Müdürlüğü ve Silahsan Fabrikası’na balistik testlerin yapılmasını sağladığı için, Cam Elyaf Sanayi A.Ş. Kalite Müdürlüğü’ne CTP ham maddelerini temin ettiği için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

- [1] Savrun, E., Tan, C.Y., Robinson, J., (1991), *Ballistic Performance of Ceramic Faced Composite Armors. International SAMPE Technology Conference*, pp. 661-667.
- [2] Chung, S., (1990), *Fracture Characterization of Armor Ceramics. Ceramic Bulletin, Volume 69 (3)*, pp. 358-366.
- [3] Sherman, D., Shushan, T., (1998), *Quasi-Static Impact Damage in Confined Ceramic Tiles, International Journal of Impact Engineering, Volume 21 (6)*, pp. 245-265.

- [4] Nanavarro, C., Martinez, A., Cortes, R., Sanchez, V., (1993), *Some Observations on the Normal Impact on Ceramic Faced Armors Backed by Composite Plates*, *International Journal of Impact Engineering*, Volume 13 (1), pp. 145-156.
- [5] Horsfall, I., Buckley, D., (1996), *The Effect of Through-Thickness Cracks on the Ballistic Performance of Ceramic Armor Systems*, *International Journal of Impact Engineering*, Volume 18 (3), pp. 309-318.
- [6] www.composites-proc-assoc.co.uk
- [7] Florence, A.L., (1969), *Interaction of Projectiles and Composite Armor, Part II*, Stanford Research Institute, California, USA.
- [8] Hetherington, J.G., Rajagopalan, B.P., (1991), *An Investigation into the Energy Absorbed During Ballistic Perforation of Composite Armors*, *International Journal of Impact Engineering*, (11): pp. 33 - 40.
- [9] Century Dynamics, (1997), *Autodyn Users Manual*, West Sussex.
- [10] Gökgöz, O., (2002), *Investigation of Monolithic and Multi-Layered Metallic Plates Against Projectile Impact*, *Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi*.
- [11] NIJ 0101.04 *The National Institute of Justice Standard*.
- [12] Aydınel, A., (2005), *Ballistic Investigation of Ceramic-GFRP Composite Armor Systems*, *Yüksek Lisans Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi*.
- [13] Aydınel, A., Yıldırım, R. O. ve Ögel, B., (2004), *Sabit Kalınlıktaki CTP ile Farklı Kalınlıklardaki Alümina Seramikten Oluşan Zırh Sisteminin 7,62 mm AP Mermisi için Balistik İncelemesi*, *Savtek 2004, Savunma Teknolojileri Kongresi*, s. 179-187.

ANA MUHAREBE TANKI NAMLU, KULE, GÖVDE VE SÜSPANSİYONUNUN MODELLENMESİ, SİMÜLASYONU VE NAMLUNUN STABİLİZASYON DENETİMİ

Özdemir Gümüşay^(a), Umut Batu^(a), M. Burak Gürçan^(a)

^(a)Aselsan A.Ş. Macunköy/Ankara,

{ogumusay, ubatu, gurcan}@aselsan.com.tr

ÖZ

Fiziksel sistemlerin servo denetimi çalışmalarında, modelleme ve simülasyon çalışmaları tasarımcıya önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle denetleç yapısının oluşturulması ve denetlecin parametrelerinin yaklaşık olarak belirlenmesi gibi aşamalarda fiziksel sisteme gereksinim duyulmadan sadece sistem modeli kullanılarak, tasarım çalışmaları yürütülebilmektedir. Fiziksel sistemin matematiksel modelinin kullanılması sayesinde, bilgisayar destekli servo tasarım tekniklerinin sağladığı kolaylıklardan da yararlanılabilmektedir. Bu çalışmada, stabilizasyon denetimi amacıyla MATLAB[®] [1] ortamında Ana Muharebe Tankı namlu, kule, gövde ve süspansiyon sisteminin matematiksel modelinin oluşturulması ve bu model kullanılarak, stabilizasyon denetimi çalışmalarının bilgisayar ortamında yapılması konusunda bilgi verilmiştir. MATLAB[®] yazılımının Simulink[®] [2], Simmechanics[®] [3] ve Virtual Reality Toolbox[®] [4] modülleri kullanılarak, Ana Muharebe Tankı'nın hem yan hem de yükseliş eksenlerine ait modelleme ve simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Sistemde bulunan sürücülerdeki esneklikler ve yataklardaki sürtünmelerin etkileri oluşturulan modele dahil edilmiştir. Modelin namlu ve kuleden oluşan kısmının gerçek sisteme uyumluluğu ile ilgili olarak da çalışma yapılmış, gövde ve süspansiyon modeli kontrollü bir bozucu etki yaratmak amacıyla oluşturulduğu için bu kısımlar ile ilgili doğrulama çalışması yapılmamıştır. Çalışmada son olarak, oluşturulan modelin stabilizasyon denetimi çalışmalarında kullanılması ile ilgili değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Modelleme, simülasyon, servo, denetim, tank, MATLAB[®]

MODELING AND SIMULATION OF GUN, TURRET, HULL AND SUSPENSION SYSTEM OF A MAIN BATTLE TANK AND STABILIZATION CONTROL OF THE GUN

ABSTRACT

Modeling and simulation proves significantly beneficial in servo control design for physical systems. The process of designing the controller structure and determining the associated parameters can be carried out using a system model, without requiring the actual system. It is also possible to employ computer aided servo design techniques when a mathematical model of the physical system is made available. This paper presents some of the work involved in building a mathematical model for gun, turret, hull and suspension system of a Main Battle Tank and using this model to facilitate the

design of stabilization control by carrying out system simulations in MATLAB[®] [1] environment. Both traverse and elevation axes of the Main Battle Tank are modeled using Simulink[®] [2], Simmechanics[®] [3] and Virtual Reality Toolbox[®] [4] modules of MATLAB[®]. Drive line compliances and friction in bearings are all accounted for. Verification studies have also been performed for gun and turret part of the model to make sure that the response of the model matches the response of the actual system to an adequate extent. Such a verification has not been performed for hull and suspension system models, since these parts are modeled only for generating a controlled disturbance. Finally, the use of the model in stabilization control is discussed.

Keywords: Modeling, simulation, servo, control, tank, MATLAB[®]

1. GİRİŞ

Denetim tasarım sürecinde performansın iyileştirilmesine yönelik çalışmalar gündeme gelmektedir. Bu tür bir çalışmanın etkin bir şekilde yapılabilmesi ancak denetimi yapılacak fiziksel sistemin bilgisayar ortamında modelinin oluşturulmasıyla mümkündür.

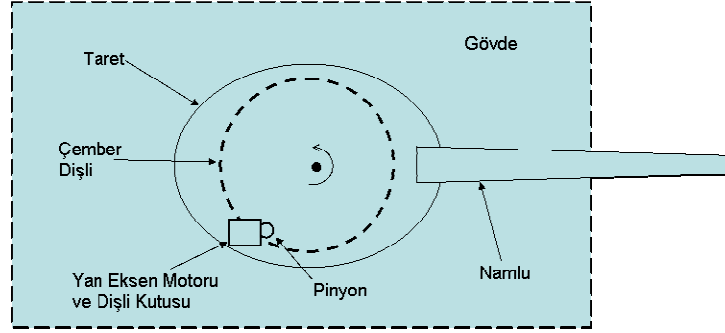
Bu çalışmada, namlusu elektriksel olarak hareket ettirilen bir Ana Muharebe Tankı'nın modeli oluşturulmuştur. Model temel olarak gövde, kule ve namlu olmak üzere üç elemandan oluşmaktadır. Bu elemanların birbirleri ile mekanik bağlantıları, yataklardaki sürtünmeler ve sürme hatlarındaki esneklikler modele dahil edilmiştir. Modelde kullanılan parametrelerin değerleri çeşitli kaynaklardan benzer sistemler için derlenmiş yaklaşık değerlerdir [5, 6, 7]. Modelin doğrulanması amacıyla, ASELSAN A.Ş.'de yürütülmekte olan bir proje kapsamında kullanılan hidrolik sürücülü bir tanktan alınan test sonuçları kullanılmıştır. Oluşturulan model stabilizasyon denetimi algoritması geliştirme çalışmalarında kullanılmış ve stabilizasyon performansının iyileştirilmesi sağlanmıştır.

2. ANA MUHAREBE TANKI MODELİ

2.1 Fiziksel Sistem

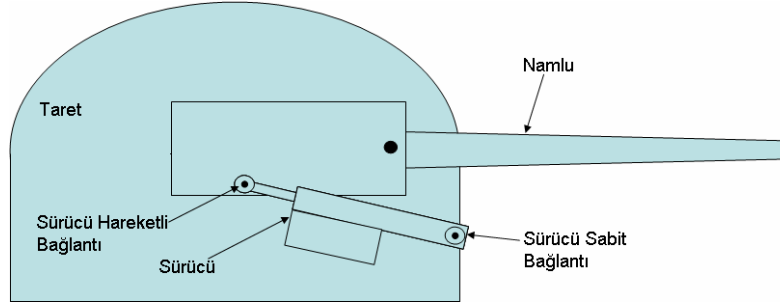
Ana muharebe tankı namlusu, stabilizasyon denetimi amacıyla yan ve yükseliş eksenleri olmak üzere iki eksenle bağımsız olarak sürülmektedir. Yan eksenle namlu, tank kulesi ile birlikte tam tur dönebilmektedir. Yükseliş ekseninde ise namlu hareketi $+20^\circ$ üst sınır, -10° alt sınır olmak üzere sınırlandırılmıştır.

Modeli oluşturulan tankta yan eksen sürmek için kuleye bağlı bir elektriksel motor ve bu motorun çıkışında da bir dişli grubu bulunmaktadır. Dişli grubunun çıkışındaki pinyon, gövdeye bağlı olan çember dişli ile içten dişli olarak çalışmaktadır. Böylece kule, motor ile birlikte gövdeye göre açısal olarak hareket edebilmektedir. Yan eksen mekanizmasının şematik olarak gösterildiği Şekil 1'de, sabit kısımlar (çember dişli ve gövde) kesikli çizgilerle hareketli kısımlar ise sürekli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 1. Yan Eksen Mekanizması (Üstten Görünüş)

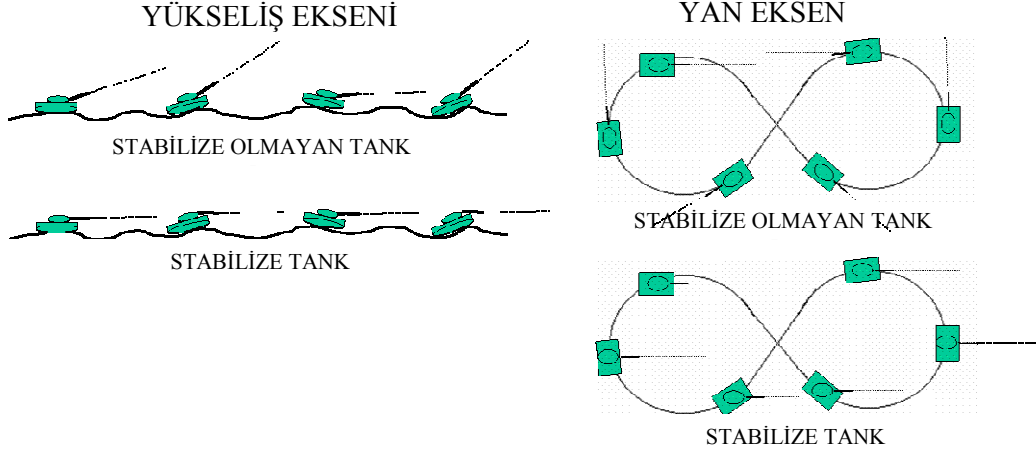
Yükseliş ekseninde ise namluyu kuleye göre hareket ettirebilmek için elektrik motoru ve bilye-dişli mekanizmasından oluşan bir sürücü kullanılmaktadır. Sürücünün sabit tarafı kuleye, hareketli tarafı ise namluya monte edilmiş durumdadır. Böylece namlu, kuleye göre açısal olarak hareket edebilmektedir. Şekil 2'de yükseliş eksen mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Yükseliş Ekseni Mekanizması (Yandan Görünüş)

Stabilizasyon denetimi, hareket halinde nişan alabilme yeteneğini geliştirmek için geliştirilmiş, hareket halinde atış yapma kabiliyeti olan sistemlere uygulanan bir özelliktir. Denetim, gövdenin hareketlerinden bağımsız olarak namlunun yan ve yükseliş eksenlerinde yere göre açısal konumunu korumaktan sorumludur (Şekil 3).

Tanklar için stabilizasyon testi APG (Aberdeen Proven Ground) Parkuru ve Sinüs Parkuru olmak üzere iki farklı parkurda yapılmaktadır [8]. APG Parkuru yaklaşık 130 m uzunluğunda, üzerinde farklı aralıklarla yerleştirilmiş, farklı yüksekliklerde engeller bulunan bir parkurdur. Engellerin yükseklikleri, dizilişleri ve tankın parkurdan geçiş hızı standartlarla belirlenmiştir. APG Parkuru tankın yükseliş ekseninin stabilizasyon testi için kullanılır. Parkurdan geçerken tank namlusunun yükseliş eksenindeki açısal konum değişimlerinin yere göre düşük olması, yükseliş eksen stabilizasyon performansını göstermektedir. Tankın yan eksen stabilizasyon testleri için kullanılan Sinüs Parkuru genliği yaklaşık 25 m olan sinüs dalgası şeklinde bir parkurdur. Parkurun şekli ve tankın parkurdan geçiş hızı standartlarla belirlenmiştir. Tankın yan eksen stabilizasyon performansı, Sinüs Parkuru'ndan geçerken namlunun yan eksenindeki açısal konum değişikliklerinin ufuk doğrultusuna göre düşük olmasıyla ölçülür.

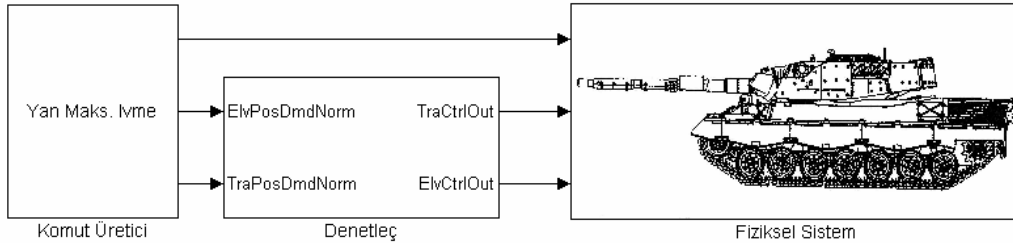


Şekil 3. Yan ve Yükseliş Eksenleri Stabilizasyon Denetimi

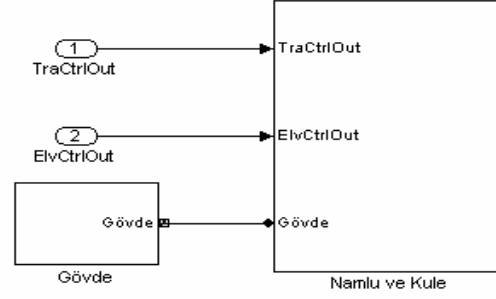
2.2. Model

En üst seviyede istek üretici, denetleç ve fiziksel sistem olmak üzere üç ayrı bloktan oluşan tank modeli Şekil 4'te gösterilmiştir. İstek üretici blok, iki eksen için hız ve konum isteklerini oluşturarak denetleç bloğuna iletmekte, tankın hareketli olması durumunda da tank hızını fiziksel sisteme iletmektedir. Denetleç bloğu, standart Simulink® blokları kullanılarak yan eksen ve yükseliş eksenini için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu blok, sinyal üretici bloktan gelen isteklere göre gerekli tork/kuvvet isteklerini oluşturmaktadır ve bu istekleri fiziksel sisteme iletmektedir.

Fiziksel sistem gövde bloğu ve kule/namlu bloğundan oluşmaktadır (Şekil 5). Denetleç bloğundan gelen tork/kuvvet istekleri kule/namlu bloğuna, sinyal üretici bloğundan gelen tank hızı bilgisi gövde bloğuna girmektedir. Ayrıca gövde bloğu tarafından üretilen fiziksel hareket de kule/namlu bloğuna iletilmektedir. Fiziksel sistemin modellemesinde SimMechanics® yazılımı kullanılmıştır. Modellemede cisimler katı olduğu ve ağırlıklarının ağırlık merkezlerinde toplandığı kabul edilmiştir. Cisimler IDEAS® katı modelleme yazılımı ile modellenmiş ve ağırlık merkezi, atalet ve ağırlık bilgileri bu katı modeller kullanılarak elde edilmiştir.



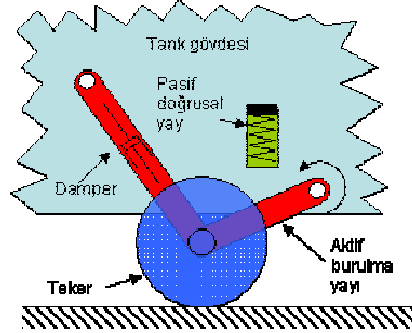
Şekil 4. Tank Modeli Blok Şeması



Şekil 5. Fiziksel Sistem Modeli Blok Şeması

Fiziksel sistem bloğunda bulunan gövde bloğu tank hızına göre gövdeden kuleye iletilen fiziksel hareketi oluşturmaktan sorumludur. Gövdenin modellenmesi çalışmasının ilk adımında süspansiyon sistemi modellenmiştir. Süspansiyon sistemi temel olarak bir aktif burulma yayı, bir pasif doğrusal yay ve bir doğrusal damperden oluşmaktadır. Süspansiyon sisteminin şematik gösterimi Şekil 6’da verilmiştir.

Tekerlek ve aktif burulma yayı katı cisim olarak modellenmiş ve aktif burulma yayının gövdeye bağlandığı yerde açısız esneme tanımlanmıştır. Pasif doğrusal yay ise belirli bir açıdan sonra aktif burulma yayının yay sabitinin artırılması ile modellenmiştir.

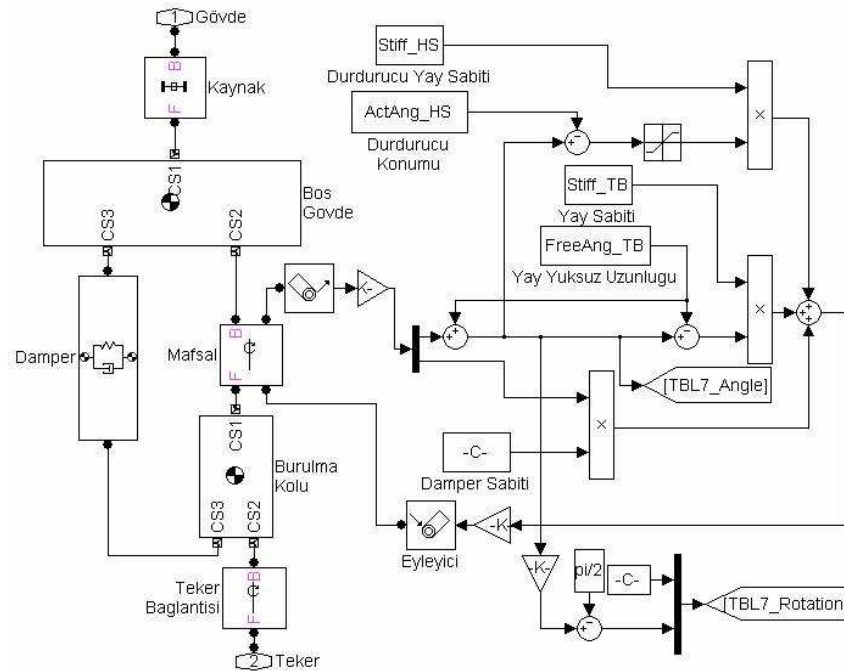


Şekil 6. Süspansiyon Sistemi Şematik Gösterimi

Teker, aktif burulma yayına ve dampere döner eklem ile “Revolute” bloğu kullanılarak, yere ise 6 serbestlik dereceli “Custom Joint” bloğu kullanılarak bağlanmıştır. Damper ve aktif burulma yaylarının tank gövdesine bağlantıları da döner eklemlerle, “Revolute” bloğu kullanılarak yapılmıştır. Damper bileşeni “Body Spring-Damper” bloğu ile, yay sabiti değeri sıfır alınarak modellenmiştir.

Şekil 7’de süspansiyon sisteminin SimMechanics® blokları ile modellenmiş hali gösterilmektedir. Bu model 7 adet sağda ve 7 adet solda bulunan tüm tekerlerde kullanılmıştır. Önden 4. ve 5. tekerlerde ise damper bulunmadığı için bu tekerlerin modellerinden damper bloğu çıkarılmıştır.

Elde edilen tekerlek modeli “Body” bloğu ile modellenen tank gövdesine Şekil 8.a’da gösterildiği gibi bağlanmıştır. Tank gövdesinin hızını (doğrusal ve açısal) ayarlamak için bir hız denetleç bloğu oluşturulmuştur. Bu denetleç bloğu tank hızına ve hız isteğine göre tekerlere uygulanması gereken kuvveti hesaplamaktadır. Şekilde görülen diğer bloklar ise benzetim amaçlıdır.

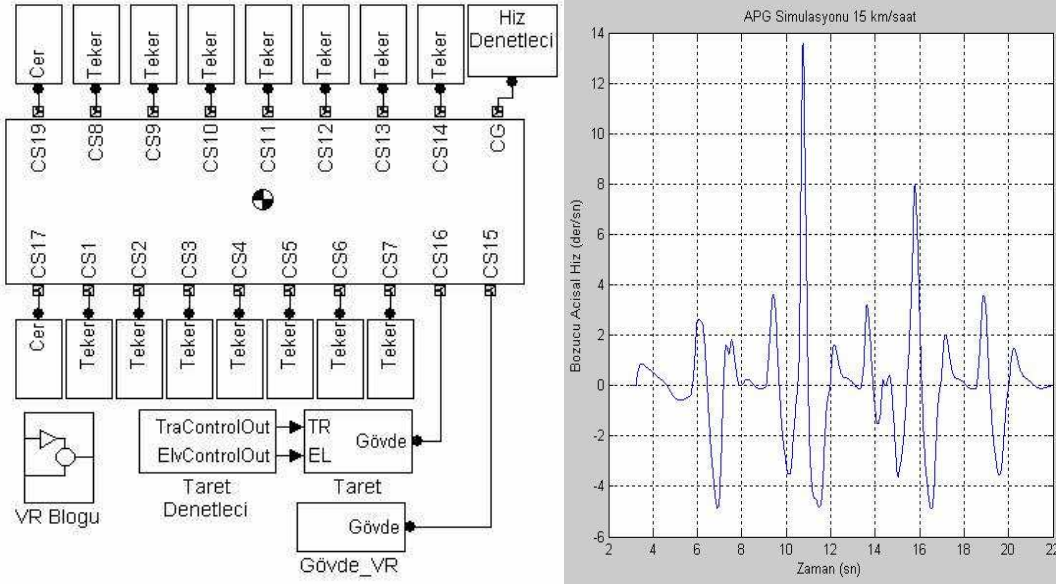


Şekil 7. Süspansiyon Sisteminin Blok Şeması

Yapılan benzetimler sonucunda tank 15 km/saat hız ile giderken tank gövdesinde oluşan açısal bozucu hız grafiği Şekil 8.b’de verilmiştir.

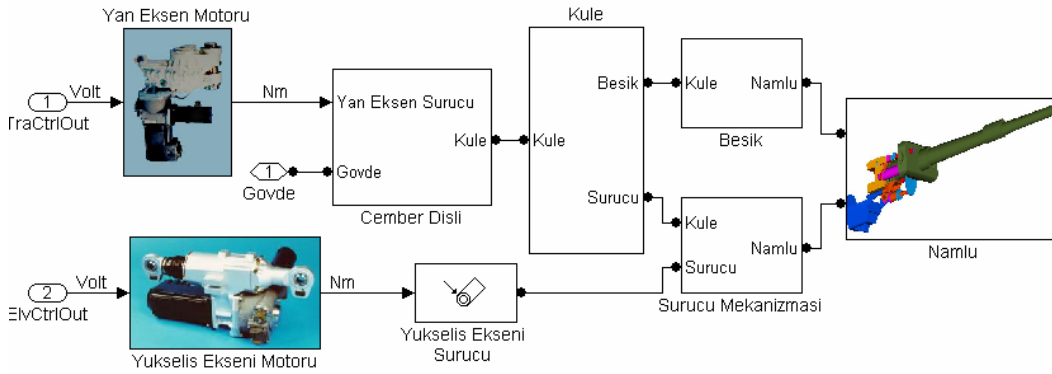
Kule/namlu bloğu, tank hareketinden gelen fiziksel hareketin etkisi altında, yan ve yükseliş eksenlerine verilen tork ve kuvvet istekleri sonucunda oluşan fiziksel hareketleri modellemekten sorumludur (Şekil 9).

Tork sabiti ve dişli kutusu oranı kazançları olmak üzere iki sabit kazançtan oluşan yan eksen motoru bloğu denetleçten gelen tork isteğini tork değerine çevirmekte, bu değer pinyon ve çember dişli arasındaki dişli oranı ile çarpılarak kuleyi sürmek için uygulanan tork hesaplanmaktadır. Kule bu tork değeri ile yan eksen yatağı üzerinden sürülmektedir. Yan eksen yatağı bloğu, yataktaki sürtünmeleri (statik, kinetik ve viskoz) ve sürme hattındaki esneklikleri modelleyecek şekilde, döner eklem olarak oluşturulmuştur. Döner eklemi oluşturmak için “Revolute” bloğu, yataktaki sürtünmeleri modellemek için “Joint Stiction Actuator” bloğu, esnekliğin modellenmesi için ise “Joint Spring & Damper” bloğu kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen net sürme torku, “Body” bloğu ile modellenen kuleye iletilmektedir.



Şekil 8.a. Gövde Blok Şeması, **8.b.** 15 km/saat Hızla APG Parkurundan Geçerken Yükseliş Ekseninde Oluşan Bozucu Açısal Hız

Yükseliş eksen motoru, tork sabiti ve motor ile bilye-dişli mekanizması arasındaki dişli oranı kazancı ile modellenmiştir. Bu model, “Joint Actuator” üzerinden, kayar çift olarak modellenmiş olan yükseliş eksen sürücüsüne kuvvet değerini iletmektedir. Sürme hattındaki esneklikleri modelleyecek şekilde oluşturulmuş olan yükseliş eksen sürücüsü modeli, bir ucundan kuleye, diğer ucundan ise namluya dönel eklem ile bağlanmıştır.



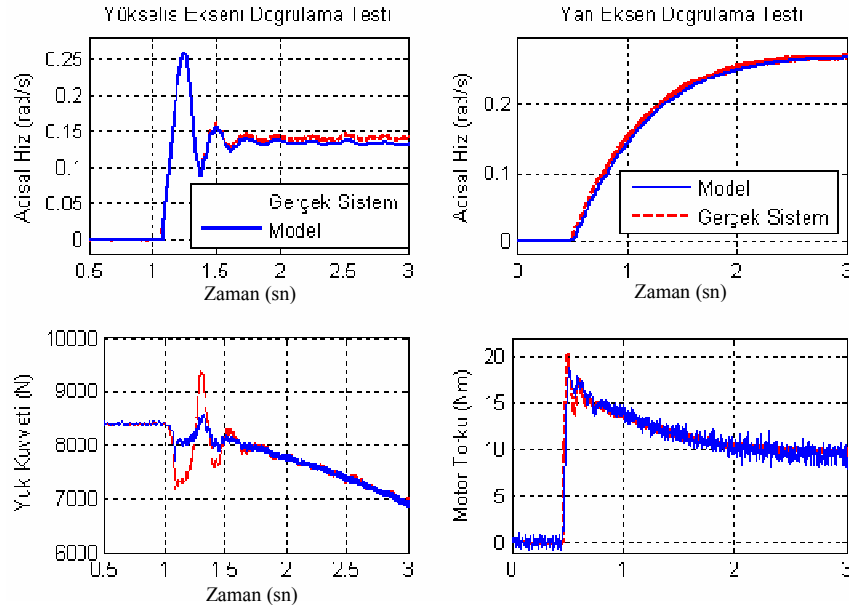
Şekil 9. Taret-Namlu Blok Şeması

Dönel eklem bağlantıları için “Revolute” bloğu kullanılmıştır. “Body” bloğu ile modellenen namlu, dönel eklem olan yükseliş eksen yatağı üzerinden kule bloğuna bağlanmıştır. Bu yatak “Joint Stiction Actuator” bloğu kullanılarak yataktaki sürtünmeleri (statik, kinetik ve viskoz) modelleyecek şekilde oluşturulmuştur.

Taret ve namlunun açılma hız ve konum bilgilerini elde etmek amacıyla her iki bloğa “Body Sensor” blokları bağlanmış, bu bilgiler denetim algoritması içinde geri besleme sinyali olarak kullanılmıştır.

2.3 Modelin Doğrulaması

Bu çalışmada, elektriksel sürücülerle sürülen bir Ana Muharebe Tankı’nın modeli oluşturulmuştur. Ancak doğrulama amacıyla ASELSAN A.Ş. tarafından yürütülmekte olan bir proje kapsamında kullanılan, yan eksen bir hidromotor, yükseliş eksenine ise bir hidrolik silindir ile sürülen bir tanktan alınan test sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 10. Yan Eksen ve Yükseliş Eksen Doğrulama Testleri

Yan eksen ve yükseliş eksen modellerinin doğrulanması için, gerçek sistem üzerinde yapılan basamak testleri sırasında elde edilen basınç bilgileri, tork ve kuvvet bilgilerine çevrilmiş, aynı şartlarda model üzerinde yapılan testte elde edilen bilgilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 10’da yan ve yükseliş eksen için doğrulama sonuçları gösterilmiştir. Yan ekseninde gerçek sistem ve model benzer hız profillerini izlerken oluşan motor tork değerleri karşılaştırılmış, yükseliş ekseninde ise gerçek sistem üzerinde bir motor olmadığı için yük kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, stabilizasyon denetimi çalışmalarını yürütebilmek için modelin gerçek sistemle yeterli düzeyde benzeştiği değerlendirilmiştir.

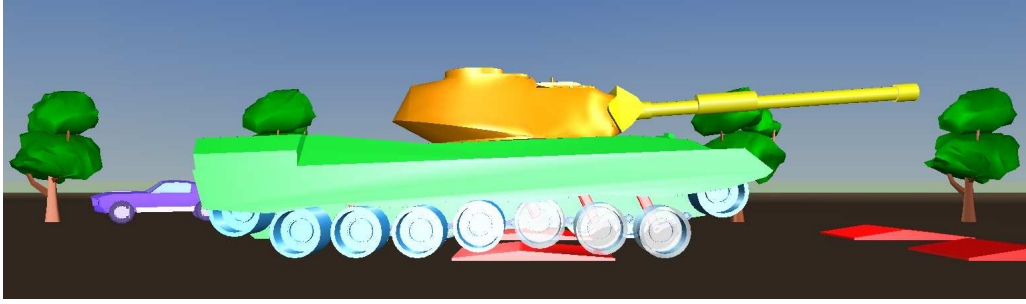
Gövde modeli, stabilizasyon denetimi çalışmaları sırasında kullanılmak üzere, kontrollü bir bozucu etki yaratmak amacıyla oluşturulmuştur. Bu yüzden modelin bu bölümü ile ilgili doğrulama çalışması yapılmamıştır.

2.3 Benzetim Çalışmaları

SimMechanics® kullanılarak oluşturulan modelin benzetimi için Virtual Reality Toolbox® yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon sırasında tankın dinamik modeli SimMechanics® yazılımında çalışırken, Virtual Reality Toolbox® yazılımı sistemin katı cisim modelini kullanarak görsel benzetim yapmaktadır.

Tankın görsel benzetiminin yapılması sayesinde modeli oluşturan cisimler arasındaki karmaşık ilişkiler daha kolay incelenmiş, böylece denetleç tasarım ve test sürecinin kısılması sağlanmıştır.

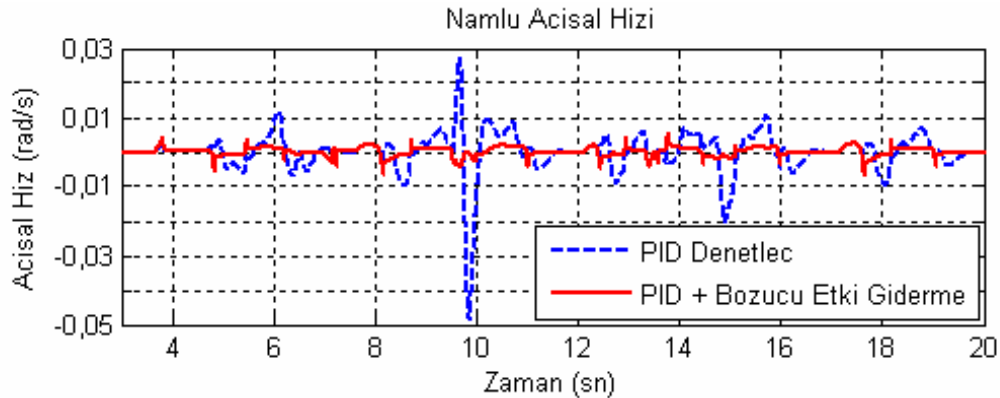
Şekil 11’de Virtual Reality Toolbox® yazılımı ile oluşturulan benzetimde tank APG parkurundan geçerken alınan bir görüntü verilmiştir.



Şekil 11. Tankın Hareket Simülasyonu

3. STABİLİZASYON DENETİMİ ÇALIŞMALARI

Oluşturulan model ile yapılan denetim çalışmalarına örnek olarak, ana muharebe tanklarında kullanılan bozucu etki giderme algoritması ele alınmıştır. Basit bir PID tipi denetleç ele alındığında, gereken hassasiyetlerde stabilizasyon performansı elde etmek için çok yüksek döngü kazançları kullanmak gerekmektedir. Ancak geri besleme sinyallerinde her zaman bir miktar gürültü bulunduğu gerçeği, pratikte kullanılabilecek kazançlara bir sınır oluşturmaktadır.



Şekil 12. Bozucu Etki Giderme Algoritmasının Etkisi

Bu yüzden stabilizasyon denetiminde PID tipi denetleç ile birlikte bozucu etki ileri beslemesi kullanılmaktadır [9]. Bozucu etki ileri beslemesi, tank gövdesinin yere göre hızının ölçülüp uygun bir transfer fonksiyonundan geçirilerek, gövde hızının tersi yönde

hız oluşturacak isteğin silaha verilmesi olarak özetlenebilir. Bu durumda iki hız bileşeni birbirini sıfırlayacak ve yere göre açısız konum korunacaktır.

Kullanılması gereken transfer fonksiyonu oluşturulan model üzerinde yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Şekil 12’de tank 15 km/saat hızla APG parkuru üzerinden geçerken namluda oluşan açısız hız iki ayrı durum için verilmiştir. Test sırasında kulede oluşan açısız hızlar Şekil 8.b’de verilmiştir. Bozucu etki giderme algoritması ile stabilizasyon performansında belirgin bir iyileşme sağlanmıştır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada bir Ana Muharebe Tankı’nın süspansiyon, gövde, kule ve namludan oluşan modeli oluşturulmuş, modelin doğrulanması yapılmıştır. Model oluşturulurken herhangi bir hareket denklemi yazmaya gerek kalmamış, fiziksel sistem SimMechanics® yazılımının hazır bloklarıyla oluşturulmuştur.

Oluşturulan model kullanılarak, stabilizasyon denetimi algoritmasında bozucu açısız hız ileri beslemesinde kullanılacak transfer fonksiyonu belirlenmiştir. PID tipi denetlece ek olarak, bu transfer fonksiyonu ile bozucu etki giderme algoritması kullanıldığında stabilizasyon performansında belirgin bir iyileşme sağlandığı görülmüştür.

Bilgisayar ortamında böyle bir modelin olması daha karmaşık stabilizasyon denetimi çalışmalarının da yapılmasına imkan vermektedir. İleride bu modelin daha gerçekçi hale getirilmesi ve karmaşık denetim algoritmalarının denenmesi planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

- [1] Mathworks, (2002), MATLAB®, The Language of Technical Computing, Using MATLAB®.
- [2] Mathworks, (2000), Simulink®, Dynamic System Simulation for MATLAB®; Using Simulink®.
- [3] Mathworks, (2004), Simmechanics® for Use with Simulink®; User’s Guide.
- [4] Mathworks, (2004), Virtual Reality Toolbox® Reality Toolbox, for Use with MATLAB® and Simulink®; User’s Guide.
- [5] Purdy, D. J., (1998), Main Battle Tank Stabilisation Ratio Enhancement Using Hull Rate Feedforward, Journal of Battlefield Technology, Vol 1, No 2, pp. 5-9.
- [6] Purdy, D. J., (1996), Modeling and Simulation of a Weapon Control System for a Main Battle Tank, Proceedings of Eight US Army Symposium on Gun Dynamics.
- [7] Ogorkiewicz, R., M., (1991), Technology of Tanks, Jane’s Information Group Limited.
- [8] International Test Operations Procedure (1995), Stabilization Accuracy, ITOP 3-2-836 (2.2.1),
- [9] Franklin, G. F., Powell, J. D., Naeini, A. E., (2002) Feedback Control of Dynamic Systems, 4th Edition, Prentice Hall, pp.205-206

Beşinci Oturum:
Eğitim ve Öğretim Amaçlı
Simulasyon

DAĞITIK GÖREV EĞİTİM VE DAĞITIK GÖREV OPERASYON MODELLEME VE SİMÜLASYON UYGULAMALARI

Beyhan AKPORAY ^(a), Dr. C. Zaim ÇİL ^(a),
Ufuk GEMALMAZ ^(a), Pelin KUŞ ERİŞEN ^(a)

^(a) HAVELSAN, Eskişehir Yolu 7.Km. ANKARA,

{beyhan.akporay, zaim.cil, ufuk.gemalmaz, pelin.kus}@havelsan.com.tr

ÖZ

Son yıllarda İnternet ve Bilgi Teknolojileri (IT) alanlarındaki gelişim, sivil ve ticari uygulamalardaki değişimden sonra askeri uygulamalara da yansımıştır. Hızlı iletişim şebeke yapıları ve yazılım mimarilerindeki standartlar, işletim sistemlerinin ve dağıtık uygulamaların entegrasyonunu kolaylaştırmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak, Modelleme ve Simülasyon (M&S) alanında da Dağıtık Görev Eğitim (Distributed Mission Training – DMT) ve Dağıtık Görev Operasyon (Distributed Mission Operation – DMO) uygulamaları mümkün hale gelmiştir.

DMT/DMO uygulamaları, M&S teknolojilerini kullanan dağıtık uygulamalardır. Bu uygulamaların amacı, canlı, sanal, ve yapıcı simülasyon teknikleri ile fiziksel olarak farklı birliklerdeki askeri personelin ortak bir senaryo üzerinde simülasyon ve gerçek zamanlı savaş sistemleri kullanarak eğitim ve operasyon gerçekleştirmelerini sağlamaktır. Bu uygulamaların en büyük gereksinimi hem diğer M&S sistemleri ile hem de Komuta, Kontrol, Haberleşme, Bilgisayar, İstihbarat (C4I) sistemleri ile entegre bir şekilde çalışabilmesidir. DMT/DMO uygulamaları hem mali kazanç hem de gerçeğe çok yakın bir eğitim ve operasyon kabiliyeti oluşturduğundan dolayı büyük önem taşımaktadır.

Bu makale, DMT/DMO uygulamalarının operasyonel ve teknik yapılarını kapsamaktadır. Dağıtık simülasyon sistemlerinin oluşturulabilmesi ve C4I sistemleri ile entegrasyon sağlanabilmesi için kullanılan Dağıtık Etkileşimli Simülasyon (Distributed Interactive Simulation – DIS), Yüksek Mimari Düzeyi (High Level Architecture – HLA), ve yeni geliştirilmekte olan “Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF)” teknolojileri ile ilgili konularda bilgi verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağ Merkezli Harp, Dağıtık Görev Eğitim, Dağıtık Görev Operasyon, Global Bilgi Şebekesi, Yüksek Mimari Düzeyi

DISTRIBUTED MISSION TRAINING AND DISTRIBUTED MISSION OPERATIONS MODELING AND SIMULATION APPLICATIONS

ABSTRACT

Within the last several years, the advances in the Internet and Information Technologies (IT) have caused civil applications to change. These changes have also been reflected to the military applications. The availability of high-speed networks and standard

software architectures have made the integration of operating systems and distributed applications easier. In parallel to these technological advances, in the Modeling and Simulation (M&S) domain, the Distributed Mission Training (DMT) and Distributed Mission Operations (DMO) applications have become possible.

DMT/DMO applications are distributed applications where M&S technologies are being used. These applications comprised of live, virtual, and constructive simulations allow warfighters to train individually or collectively at all levels of war. The main requirement of these applications is the integration of M&S systems as well as C4I systems. DMT/DMO applications are very important to military since they provide substantial cost savings and increase the quality of combat training.

This paper addresses the operational concepts and underlying technologies of the DMT/DMO applications. It includes the existing technologies, Distributed Interactive Simulation (DIS) and High Level Architecture (HLA) that have been in use and emerging new technology, Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF) in order to implement distributed simulation applications and integrate them with the C4I systems.

Keywords: Distributed Mission Training (DMT), Distributed Mission Operations (DMO), Extended Modeling and Simulation Framework (XMSF), Global Information Grid (GIG), Network Centric Warfare (NCW)

1. INTRODUCTION

Over the last decade universities and R&D organizations around the world have made significant investments on the Internet, networking, and distributed information technologies. The civil world has immediately started leveraging those investments. These technologies have provided an open architecture to replace legacy “stove-pipe” applications with the emerging web-services. As a result, interoperability issue for commercial applications built using these web-services, like e-Business, e-Commerce, and e-Government has become much simpler, even non-existent.

In the military world, on the other hand, several organizations including the U.S. Department Of Defense (DoD) and the North Atlantic Treaty Organization (NATO) continued investing in creating several proprietary architectures for M&S and C4I systems. As part of joint and coalition forces, these applications, including DMT/DMO applications, based on various system and software architectures had to work together as a whole, within and across the M&S domain, so the military world invested some more to make these systems interoperable.

In his report submitted to the U.S. Congress in March 2001, the Assistant Secretary of Defense indicated that under the “Joint Vision 2020” the DoD was fully committed taking advantage of information age concepts, particularly new business models, and he referred to Network Centric Warfare (NCW) and Network Centric Operations (NCO) as the military response to the opportunities created by the information age [1]. The Global Information Grid (GIG) is described as the commercial information technology augmented with specialized information technologies developed by the DoD [2]. The GIG Enterprise Services (GES) will provide the necessary infrastructure to implement NCW and NCO concepts.

Up to now, the distributed military M&S applications have been developed using technologies like DIS and HLA, but the new operational requirements of the DMT/DMO applications combined with technical implications of GES on future M&S applications cannot be fully satisfied with these technologies. As a result, in 2002 the Defense Modeling and Simulation Office (DMSO) initiated the XMSF program to explore the application of web technologies to future M&S systems.

The following sections explain the DMT/DMO operational concept and the existing and emerging distributed simulation technologies for these applications.

2. DMT/DMO OPERATIONAL CONCEPT

Stand-alone simulators are used to prepare aircrews for procedural training like emergency procedures or instrument approaches. In the past, live field exercises were the only means for mission rehearsals and combat mission trainings. These exercises were done to a limited extent because of constraints on flying hours, environment, and platform, and airspace availability [3]. As a result, in 1997 the U.S. Air Force started the DMT program. The goal of the DMT program was to provide a shared synthetic battlespace environment for military personnel to practice combat skills as a team who were at geographically separated air force bases. So, the DMT has bridged the gap between legacy simulator systems and limited live training exercises.

Modern coalition air operations employ multiple military assets, such as Airborne Warning and Control System (AWACS) and Electronic Warfare (EW) in a variety of roles other than strike and escort duties. As a result, the DMT program was renamed to DMO, and the scope and capabilities have been increased to include coalition military personnel. “Under this DMO concept, a network of aircrafts simulate air operations in conjunction with command and control units” [4].

In the U.S., the goal of the DMO implementation roadmap is to achieve a robust mission environment by 2010. The plan is for Mission Training Centers (MTCs) to be located at operational bases with elements including the following:

- A fighter and air battle management MTC, comprising F-15, F-16, AWACS,
- An integrated Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) center that will link JSTARS, Rivet Joint, and the predator UAV,
- A Command & Control and space mission rehearsal MTC that will include the F-22 Raptor, F-15E and the B-2 bomber,
- A U.S. Joint National Training Capability (JNTC) for joint and coalition training.

In the U.S., this program has been progressing well. In 2000, the demonstration of a scenario that included networked simulators for F-16, A-10, JSTARS, Tornado, Predator UAV, and AWACS and Combined Air Operations Center (CAOC) was successful.

3. DMT/DMO EXISTING TECHNICAL ARCHITECTURE

The technical architectures for distributed simulation technology have advanced over time. In the U.S., DoD has made significant investments for the past twenty years, starting with the Simulator Networking (SIMNET) project in the late 1980, evolving through the DIS and Aggregate Level Simulation Protocol (ALSP), and to HLA. DIS is a proven concept. It has been used for simulator interoperability quite extensively, but it has some drawbacks. First, messages can get lost or arrive in the wrong order due to the use of UDP/IP protocol. Second, the messages are sent as using standard and published Protocol Data Units (PDUs). Third, due to the broadcast mechanism, the scalability was rather limited.

In order to overcome the limitations of DIS and to combine ALSP protocol, in 1995, the DMSO initiated the development of HLA. The main objective of HLA was to facilitate interoperability among heterogeneous simulations, like real-time virtual, non-real-time constructive, and live entities [5]. The HLA was adopted by the Object Management Group (OMG) in November 1998 and updated in 2001 to reflect the changes resulting from commercial standardization of the specification under the Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE). The HLA was approved as an open standard through the Institute as Standard 1516 in September 2000.

Even though HLA has become a commercial standard, the interoperability problem between military M&S and C4I systems could not be resolved. These systems have been built by using different architectures and data representations. The only mechanism to integrate these systems has been to develop interfaces. The system-of-systems concept of NCW and its implementation GIG provide an opportunity to establish a common framework for both domains, eliminating interoperability issues.

4. HLA BASED PROTOTYPE APPLICATION

As a joint effort with the Gebze Yuksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE), we have developed a prototype DMT/DMO application, Tactical Analysis and Modeling Simulation (TAMSIM) using the HLA architecture. The TAMSIM application provides a real-time synthetic tactical environment, which allows multiple players at multiple sites to engage in training scenarios. This prototype application has been tested with two network nodes, but it can be extended to include any HLA compliant networkable application.

Figure 1 depicts the high level architecture of the TAMSIM system.

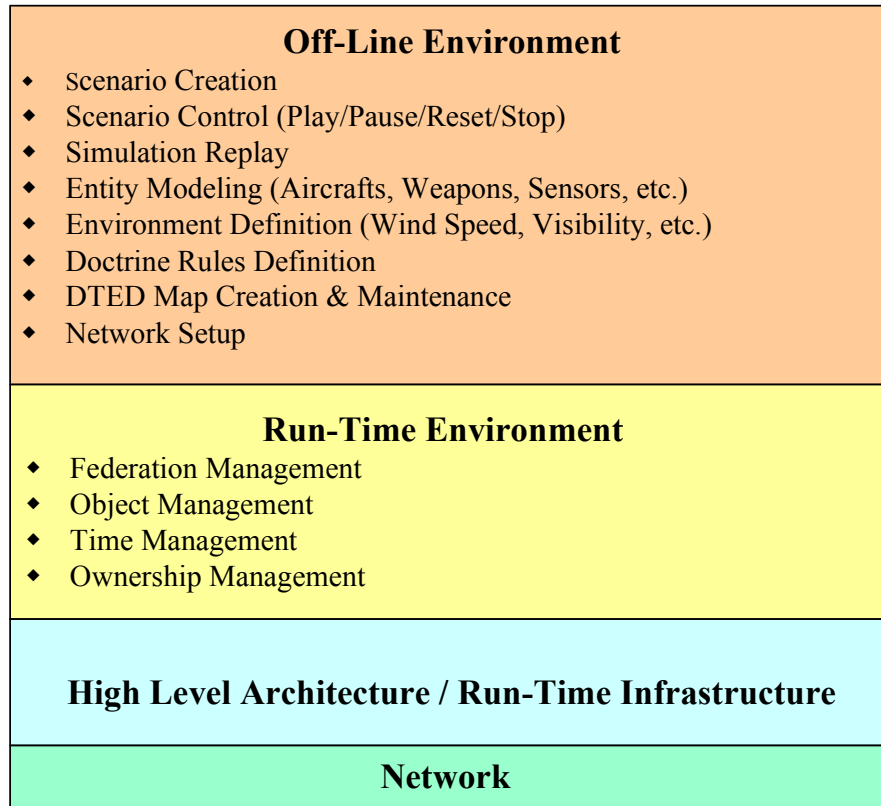


Figure 1. TAMSIM Application

The off-line environment provides a scenario generation tool for planning a training mission. This tool also provides scenario pause, reset, stop, and record capabilities. A graphical user interface allows the user to model rotary-wing aircraft, fixed-wing aircraft, fixed-ground, mobile-ground, missiles, bombs, radars, ESM systems, communication links, and various other entities. The environment variables and rules are specified in this environment. Recorded mission data can also be played back.

The run-time environment is where distributed simulation models are executed in conjunction with the HLA-RTI for control and data exchange over the network using the UDP protocol. The entities with their geographic position, speed, and altitude are displayed in real-time on a Digital Terrain Elevation Data (DTED) map.

5. DMT/DMO EMERGING TECHNICAL ARCHITECTURE

The DMT/DMO operational concept has proven itself as an effective and efficient means for combat mission training. The underlying existing technology, the HLA, which has been used to implement these M&S applications, has also proven itself, but HLA falls short to satisfy the requirements of the emerging GIG system architecture. The GIG is described as “globally interconnected, end-to-end set of information capabilities, associated processes and personnel through which information is collected,

processed, managed, stored, and disseminated on demand to warfighters, policy makers and support personnel” [6]. It is an operational necessity for the future DMT/DMO applications to be interoperable with this next generation C4I system architecture, the Network Centric Enterprise Services (NCES) framework based on grid architecture as specified by the Defense Information Systems Agency (DISA), to be able to receive imagery, tracks, and orders.

The grid system architecture is rapidly becoming as the dominant paradigm for wide area distributed computing, both for military and commercial sector. The goal of the grid architecture is to provide a service oriented infrastructure that leverages standardized protocols and services to enable pervasive access to, and coordinates sharing of geographically distributed hardware, software, and information resources. Connectivity over the grid is not simply network connectivity. Rather, the communicating parties are applications that represent business processes, and their integration requires semantic capabilities.

The grid system architecture can be developed using various technologies, but mostly Service Oriented Architecture (SOA) is being used in the commercial world. According to Gartner Research, “by 2008 this type of architecture will provide the basis for 80 percent of new development projects” [7]. Services are described in terms of the messages accepted and generated. Users of such services do not need to know anything about the details of the implementation, like object model, programming language, etc., they only need to be able to send and receive messages.

SOA can be implemented by using object-based or document-based distributed middleware technologies, but web services technology where the XML-based protocol used to exchange data in forms of documents across the Internet has been widely accepted. The big advantage of web services in a SOA is that the distributed application in a heterogeneous environment can be handled more easily.

The object based distributed computing technologies like HLA and Common Object Request Broker (CORBA) are more complex, and they tightly couple the remote resource location to the client stub. These technologies are also platform and language specific. In web services everything is decoupled, and the client sends a message and receives a message.

The existing HLA infrastructure cannot satisfy the future requirements of the DMT/DMO applications because of the following reasons [8] [9] [10]:

- With the increase of the scale and complexity of simulations, large amounts of computing resources are needed,
- Data sets required could be geographically distributed, so it is necessary to harness the available resources over the Internet,
- Semantic integration cannot be satisfied with the Object Model Template (OMT) definition,
- Multi-level security, handling of unclassified and classified data is not being addressed,

- There is no explicit authentication mechanism. Any federate can join a federation, can send any interaction, and can receive updates for an object.

The IEEE1516 HLA standard is currently under review to identify necessary improvements to support the GIG architecture [11]. There are also several research projects and studies in the M&S community to support the GIG, the most predominant being the Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF). The following section gives an overview of the emerging web services based M&S framework

6. WEB SERVICES BASED M&S FRAMEWORK

Starting in late 2001, the chief architects from several institutions, Modeling Virtual Environments and Simulation (MOVES) Institute of the Naval Postgraduate School, the C3I Center of George Mason University, Science Applications International Corporation (SAIC), the Virginia Modeling, Analysis, and Simulation Center (VMASC) of the Old Dominion University started to work on a web services based M&S framework, and called it the Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF). XMSF is defined as “a composable set of standards, profiles, and recommended practices for web-based modeling and simulation” and described the precepts of XMSF as follows [12]:

- Web-based technologies applied within and extensible framework will enable a new generation of M&S applications to emerge, develop, and interoperate,
- Support for operational tactical systems is a missing but essential requirement for such M&S applications frameworks,
- An extensible framework of Extensible Markup Language (XML)-based languages can provide a bridge between forthcoming M&S requirements and open/commercial web standards, while continuing to support existing technologies,
- Compatible and complementary technical approaches are now possible for model definition, simulation execution, network-based education, network scalability, and 2D/3D graphics views,
- Web approaches for technology, software tools, content production and broad use provides best business cases from an enterprise-wide (i.e. world wide) perspective.

The requirements of these postulates basically fall into three areas:

- Web Technologies & XML,
- Internet/Networking,
- M&S.

The use of web technologies and XML provide reliance on standard and commercially available technologies. The Internet/Networking requirements are the support of multiple users with a wide range of network capacities from wireless access and modems through gigabit networks. There are also several other network service

requirements, like Quality of Service (QoS), multicasting, and security. The M&S requirements are backward compatibility with existing protocol such as DIS and HLA, multi-resolution modeling, and simulation support services, like logging and playback.

XMSF is not a single architecture but a set of profiles, which are technical specifications. To create a practical understanding of the application of XMSF precepts, Simulation Interoperability Standards Organization (SISO) established an XMSF Profiles Study group in September 2003. This study group has been working to determine the required scope for the XMSF Profiles and to define their structure and application. The Study Group Terms of Reference document states that the specification of XMSF will be in the form of a collection of profiles detailing how to interoperate with XMSF compliant systems. These profiles will enable inter and intra-domain interoperability [13].

An XMSF profile contains the following:

- Applicable web technologies and protocol standards,
- Applicable data and metadata standards,
- Recommendations and guidelines for implementation.

7. XMSF BASED PROTOTYPE APPLICATION

As a proof of concept, Battle Management Language (BML) based on Command and Control Information Exchange Data Model (C2IEDM) was developed by the U.S. Army as a common standard to represent and exchange military information among M&S and C4I applications and demonstrated in 2002. Later, the DMSO started a program called Extensible Battle Management Language (XBML) to extend BML under the web-based XMSF framework. The XBML project, also known as XMSF-C4I Testbed uses OneSAF Testbed Baseline (OTB) on the M&S side and Combined Arms and Execution System (CAPES) on the C4I side. Two web-based standards used in this prototype application were XML and Simple Object Access Protocol (SOAP). Figure 2 depicts this prototype application developed by DMSO [14].

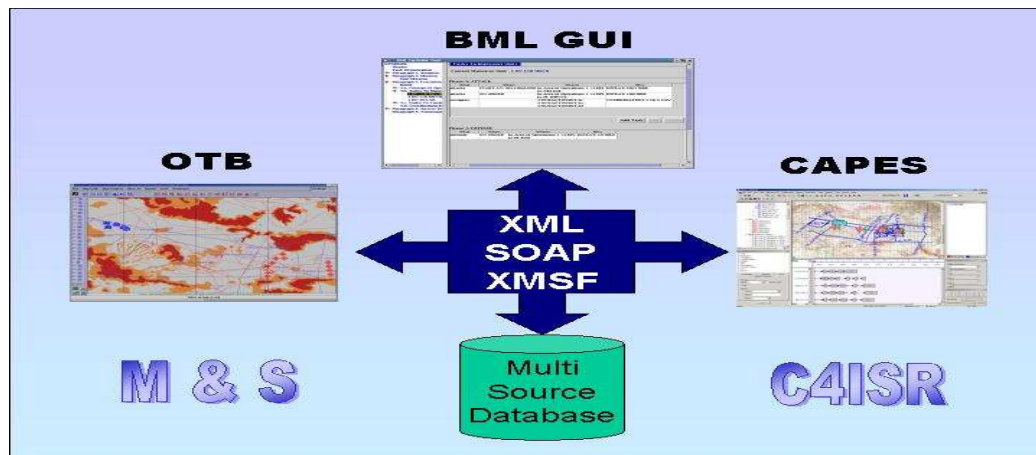


Figure 2. XMSF – C4I Testbed

8. CONCLUSION

The reduced military budgets and increased complexity of weapon systems make the DMT/DMO M&S applications more valuable than ever. The HLA based prototype application that we have developed has shown the feasibility of using distributed simulation as a means of large-scale mission training. One of the main requirements of these applications is the interoperability with the other C4I systems. The emerging technological trend in the C4I community is towards grid, SOA, and the web services.

Even though the existing DMT/DMO technical architecture, the HLA, has been proven to be effective, it cannot fully satisfy the future C4I interoperability requirements. The M&S community has been working on several research projects to develop an M&S framework to support the emerging GIG architecture. By extending the HLA concepts, a new M&S framework, XMSF is specified and prototyped. Although the prototype is successful, this framework is still in its early stages of development. The focus of the SISO Spring 05 Simulation Interoperability Workshop (SIW) is on M&S support of the GIG. These new M&S technologies must be followed closely to be able to understand the implications for future DMT/DMO application development.

REFERENCES

- [1] Money, A.L., Assistant Secretary Of Defense (C3I), *Report On Network Centric Warfare, Submitted to the Congress in partial fulfillment of Section 934 of the Defense Authorization Act for FY01 (Public Law 106-398), March 2001: pp. 3-4*
- [2] Alberts, D.S., Garstka, J.J., Stein, F.P., *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority, DoD C4ISR Cooperative Research Program, February 2000: pp. 192*
- [3] *RDT&E Budget Item Justification Sheet (R-2 exhibit), Distributed Mission Training, February 2002,*
www.dtic.mil/descriptivesum/Y2003/AirForce/0604227F.pdf
- [4] Maj. Cochrane, D.B., *The Evolution Of Simulation, The Necessity for Distributed Mission Training (DMT) in meeting Future Air Force Flying Requirements, Canadian Forces College*
- [5] Jense, G.J., Kuijpers, N.H.L., Dumay, A.C.M., *DIS and HLA: Connecting People, Simulations and Simulators in the Military, Space and Civil Domains, TNO Physics and Electronics Laboratory, 1997*
- [6] Numrich, S.K., Hieb, M., Tolk, A., *M&S in the GIG environment: An Expanded View of Distributing Simulation, Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC) 2004*
- [7] Hayward, S., *Positions 2005: Service-Oriented Architecture Adds Flexibility to Business Processes, Gartner Research, 16 February 2005*
- [8] Pullen, J. M., Brunton, R., Brutzman, D., Drake, D., Hieb, M., Morse K., Tolk A., *Using Web Services to Integrate Heterogeneous Simulation in Grid Environment, International Conference on Computational Science 2004, Krakow, Poland, June 2004*

- [9] Xie, Y., Teo, Y.M., Cai, W.T., Turner, S.J., *Extending HLA's Interoperability and Reusability to the Grid*, 19th ACM/IEEE/SCS Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation (PADS 2005)
- [10] Tolk, A., *A Common Framework for Military M&S and C4I Systems*, Virginia Modeling Analysis & Simulation Center, Spring Simulation Interoperability Workshop 2003, Paper 03S-SIW-031, Vol. I, pp. 246-257, Orlando, Florida, April 2003
- [11] Numrich, S.K., Hieb, M., Tolk, A., *M&S in the GIG environment: An Expanded View of Distributing Simulation*, Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC) 2004
- [12] *Findings and Recommendations Report: Technical Challenges Workshop, Strategic Opportunities Symposium*, October 2002, <http://www.MoveInstitute.org/xmsf>: pp: 110
- [13] Blais, C., *Extensible Modeling and Simulation Framework (XMSF) Exemplars in Analytic Combat Modeling*, the MOVES Institute, Naval Postgraduate School, Spring Simulation Interoperability Workshop 2004, Paper 04S-SIW-142
- [14] Garcia, J., *Importance of Web-Enabled Modeling & Simulation Applications Within the Global Information Grid with Current and Future Capabilities*, WEBSIM 2003 Conference

KESKİN NİŞANCI YETİŞTİRİLMESİNDE HAFİF SİLAH SİMÜLATÖRLERİNİN EĞİTİME OLAN KATKISININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME CİHAZLARININ KESKİN NİŞANCI SEÇİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Taner Altınok ^(a), İsmail Öcal ^(b), Doğan Karadoğan ^(c), Filiz Ersöz ^(d)

^(a) Kara Harp Okulu, 06410, Bakanlıklar/Ankara, taltinok@kho.edu.tr

^(b) Kara Harp Okulu, 06410, Bakanlıklar/Ankara, iocal1973@yahoo.com

^(c) K.K.Loş.Bşk.İlğı, 06100, Anıttepe/Ankara, capkaradogan@hotmail.com

^(d) K.K.K.'lğı Gn.P.P.Bşk.'lğı, 06100, Anıttepe/Ankara, fersoz@kkk.tsk.mil.tr

ÖZ

Nışancılık eğitiminde hafif silah simülatör sistemlerinin katkısı çok büyüktür. Aynı simülasyon sistemleri keskin nışancıların yetiştirilmesine yönelik de kullanılmaktadır. Fakat keskin nışancıların yetiştirilmesi bazı konularda farklılık arz etmektedir. Bu çalışmada keskin nışancı eğitim sürecinde kullanılan hafif silah simülatörlerinin ihtiyacı ne derece karşıladığı ve psikoteknik değerlendirme cihazlarının keskin nışancı seçiminde kullanılabilişliğı incelenmiştir. Uygulamada, keskin nışancıların seçiminde psikoteknik değerlendirme cihazlarının, hafif silah simülatörünün başarılı bulduğı keskin nışancılar ile uyumlu değerlendirme sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atış, Eğitim, Keskin Nışancı, Psikoteknik, Simülatör.

THE CONTRIBUTION OF SMALL ARMS SIMULATORS IN SNIPER TRAINING PROCESS AND THE ANALYSIS OF USABILITY OF PSYCHO TECHNICAL EVALUATION DEVICES IN SNIPER SELECTION PROCESS

ABSTRACT

The contribution of small arms simulator systems is very important in marksmanship training. The same simulation systems are also used towards training of snipers. However, training of snipers differs in some aspects. In this study, the topics which were striven are; what level the simulators used in training meet the requirements, determining the necessary features of new small arms simulator systems directly for snipers which will meet the requirement of training a good sniper, and studying the practicability of psychotechnical evaluation devices in selecting snipers. In the application, it was found that the psychotechnical evaluation devices which are used in sniper selection gave similar evaluating results for the snipers who were also determined as successful in the small arms simulator.

Keywords: Psychotechnic, Shooting, Simulator, Sniper, Training,

1. GİRİŞ

Günümüz ve gelecekte büyük bir oranda meskun mahallerde cereyan edecek olan muharebelerde, sivil halka zarar vermeden ve dünya kamuoyunu karşıya almadan, düşmanı/teröristi sivil halk arasından süratle ve doğrulukla ayırt ederek etkisiz hale getirebilecek, iyi yetişmiş nişancıların kullanılması önem arz edecektir. Düşmanın komuta/lider kadrolarının kısa bir sürede etkisiz hale getirilmesi, kritik silah ve tesislerin imhası yada yok edilmesi, hareketi büyük ölçüde kolaylaştırarak kısa sürede olumlu yönde sonuçlandırmaktadır. Böyle bir muharebe ortamında, tek atışta imha prensibiyle yetiştirilen keskin nişancılar, iyi bir eğitimden geçirilerek etkin olarak kullanıldığında elinde bulunduran tarafa her zaman büyük avantaj sağlayacaktır. Geleceğin muharebelerinde elinde bulunduran taraf için önemli bir kuvvet çarpanı olan keskin nişancıların yetiştirilmesinde, simülasyon eğitiminin önemli bir payı vardır.

Tabi ki bu işe doğru kişilerle başlamak hedefe ulaşmak için ilk ve önemli bir adımdır. Bir motor becerinin yapılabilmesi her şeyden önce bedenin organları arsında koordinasyon, tepki hızı, dikkat, tepki süresi, beden gücü, denge ve esnekliği gerektirir. Birey becerinin gerektirdiği yeterli alt yapıya sahip değilse becerinin öğrenilmesi engellenir yada çok uzun bir süre gerektirir. Atış becerisi de farklı bilişsel ve motor yetilerin kullanılmasına dayanır.

Keskin nişancı eğitim süreci ve eğitim sonu başarı durumları incelendiğinde, eğitime tabi tutulan bazı adaylar keskin nişancı için gerekli temel yetenekleri taşımayabilmekte, bu da ekstra zaman ve kaynak israfını doğurmakta, kurslarda istenen verimin sağlanamamasına sebep olmaktadır.

Bu çalışmanın ilk safhasında hafif silah simülasyonlarının keskin nişancı eğitimindeki katkısı araştırılmış, daha sonraki safhada ise psikoteknik değerlendirme sistemlerinin keskin nişancı seçim aşamasında kullanılabilirliği incelenmiştir.

2. KESKİN NİŞANCI EĞİTİMİNDE SİMÜLATÖRLERİN YERİ

Yüksek standartta atış yapabilen keskin nişancılar yeteneklerini her zaman en üst seviyede tutmak ve eğitimlerinin devamlılığını sağlamak durumundadırlar. Keskin nişancı olabilmek için nişancılığın bütününe kapsayan her hareketin tek tek öğrenilmesi, uygulanması gereken kuralların fazla düşünülmeden, kendiliğinden otomatik melekeler haline gelmesi için düzenli pratik yapılması gerekir.

Eğitim ve atış maliyetleri ile birlikte, kullanılan malzeme, araç ve silahın yıpranmasından kaynaklanan maliyetin yüksek olması bu tür eğitimlerin her zaman yapılmasını kısıtlamaktadır.

Bir keskin nişancı, sürekli olarak mükemmel bir atış sağlayacak teknikleri kullanmak için çalışır. Ama gerçek muharebe ortamında bu yeterli değildir. Aynı zamanda arazi becerileri ve taktik konularda da yetişmiş olması gerekir. Keskin nişancının bütün bu becerilerini muhaberenin stresli ortamında uygulayabilmesi için atışlı eğitim ve tatbikatlar yapması gerekir. Ancak, gerek silahın öldürücü özelliği gerek günümüzde birliklerin eğitim ve tatbikatlarını icra edebilecekleri alanlar sınırlı olması, uygun arazi şartlarının her zaman bulunmaması nedeni ile muharebe ortamının gerçekliğini yaşatmak zordur. Simülasyonda yaratılacak senaryolarla bu sorun ortadan kaldırılabılır.

Ancak, simülasyon hiçbir zaman gerçek eğitimin yerini almamalı ve arazi eğitimi ve tatbikatlarını gereksiz kılmamalıdır. Simülasyon tekniklerinin eğitimde kullanımı, muharebe ortamının gerçeğe en yakın şekilde canlandırılabilirdiği, eğitim maliyetinin önemli ölçüde azaltıldığı, çevre koşulları emniyet ve teçhizat noksanlığı nedeni ile arazi şartlarında eğitimin önemli ölçüde kısıtlandığı durumlarda tercih edilmelidir. Çevre kısıtlamaları bazı ülkeler açısından büyük sorunlar yaratmasa bile, Silahlı Kuvvetlerinin teşkilat olarak büyüklüğü, eğitilecek personel miktarının fazlalığı, eğitime tahsis edilen kaynaklardan azami istifadenin sağlanabilmesi için simülatör ve simülasyon kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Yapılan atış çalışmalarındaki hedefler, sabit ve hareketsizdir. Halbuki muharebe sahasında, hareketsiz ve sabit büyüklükte hedef bulmak çok nadirdir. Düşmanın hareket halinde veya çok kısa bir süre görülebildiği bir ortamda, nişan almak, hedefi takip etmek ve vurmak çok zordur. Muharebe karşılaşılabilecek her türlü alternatif hedefler (hareket eden, havadan farklı uzaklıklarda paraşütle inen, kamuflaj, gizleme yapmış olan, örtüden istifade eden hedefler) ve zaman dilimi (rüzgar, yağmur, kar, sis, güneş, alacakaranlık, karanlık şartlarda atış ortamı) simülasyon ortamında kolaylıkla sağlanabilmektedir.

Keskin nişancı atışlarında daha uzun mesafeye ihtiyaç olduğundan her zaman uygun atış alanı bulunması zordur.

Eğitilecek personel sayısının fazla olması nedeniyle eğiticinin herkesle ayrı ayrı ilgilenmesi çok uzun zaman alır. Simülasyon ortamında öğrenmenin daha hızlı gerçekleşmesi, atışların kayıt altına alınabilmesi bu problemi ortadan kaldırır.

Keskin nişancı silahları dürbün taşımaktadır ve atışlarda dürbün ayarı önem kazanmaktadır. Belirli mesafeden sonra hava şartlarının atışa etkisi, atıcının dürbünde nişangah düzeltmesi yapmasını gerektirir. Uzak mesafe atışlarda nem, ışık, rüzgar, rakım farkı, basınç, miraj atışlarda vuruş noktasını değiştirmektedir. Yapılacak atışlardan önce mutlaka gerekli düzeltmelerin hesaplanıp nişangah düzeltilmelidir. Atış anında sürekli değişen bu faktörlerin etkisini aynı anda ve etkileşimli olarak değerlendirip hesaplamak ve silaha uygulamak çok uzun süre eğitim ve tecrübe gerektiren zor bir beceridir. Bu beceri, bu durumların simülasyon ortamında yaratılması ve etkileşimlerin eğitilmede bol bol denenmesi ile daha kısa zamanda tecrübe edinilebilir.

Keskin nişancıların seçimi aşamasında, adayların nişancılık özellikleri yanında bir keskin nişancıda bulunması gereken bazı psikomotor yetenekler ve kişilik özelliklerin tespiti objektif kriterlere dayalı olmalıdır. Bu maksatla, seçimi süratlendirerek kolaylaştıracak ve doğru insanın seçimine katkıda bulunacak uygun simülasyon programları ve simülatörler tedarik edilerek kullanılmalıdır.

3. PSİKOTEKNİK YÖNTEM VE SEÇİM SÜRECİ

Psikoteknik ölçüm ve değerlendirme yöntemi, belirli özellikleri taşıyan ve özel bir sistem içerisinde toplanan testlerle kişilerin değişik yönlerini saptamaya yarayan davranışsal ölçüm tekniğidir. Psikoteknik ölçümle yapılmak istenen, esas itibarıyla bazı bireysel özellikleri analiz etmek, bu özelliklerin kümelenmesini, kişiler arası karşılaştırmalar

yaparak değerlemek, aranan özelliklerin hangi bireylerde bulunduğunu ortaya koymaktır[1].

Psikotekniğin en önemli ölçüm aracı özel olarak hazırlanan psikoteknik testlerdir. Psikoteknik yöntemde kullanılacak testler bir psikoteknik test bataryasında birleştirilir. Personel seçim sürecinde ölçülmek istenen özellikler testler sonucunda sayısal hale getirildiği için seçim süreci objektif bir yapı kazanır. Psikoteknik test bataryasının personel seçiminde bir değerlendirme değişkeni olabilmesi için hazırlanan bataryanın bir değerlendirme eşik puanının olması gerekir[1]. Elde edilecek eşik değerler yardımıyla, adayların ölçümü yapılan özelliğinin seviyesi ortaya çıkartılır ve eşik değerlere bakılarak aday hakkında karar verilir.

4. UYGULAMA

4.1. Simülasyon Uygulaması

Bu uygulamada hafif silah simülatörlerinin keskin nişancıların yetiştirilmesine olan katkısı incelenirken kursiyerlere simülasyon ortamında ve gerçek ortamda atış yaptırılmıştır. Uygulama 2 aylık bir sürede keskin nişancı eğitim biriminde bu dönemde kurs gören 43 kişi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kursiyerler başlangıçta, kurs programı dahilinde nişancılık eğitimine tabi tutulmuşlardır. Bu eğitim sonunda kursiyerler simülasyon çalışmasına alınmıştır. Simülasyon çalışmalarında uzman personel eşliğinde birebir çalışma yapılmış olup, kursiyerlerin nişancılık becerilerini ne sevide uyguladıkları tespit edilmiş, eksikler ve yapılan hatalar giderilmeye çalışılmıştır. Verilen simülasyon eğitiminden sonra kursiyerler simülasyon sisteminde seçilen atış görevini icra etmişlerdir. Simülasyonda 10 metre mesafeden havalı tüfek hedefine 4 atış yaptırılmış olup, vuruşların dağılımı çapına bakılmıştır. Çap dağılımı 10 metre mesafeden 4 mm ve daha küçük olan vuruşlar başarılı, 4 mm.den büyük atıcılar başarısız olarak değerlendirilmiştir(Bu dağılım 100 metre mesafede 4 cm.ye, 600 metre mesafede ise 24 cm.ye eş gelmektedir).

Daha sonra gerçek atışlara geçilmiştir. Silah olarak Kanas keskin nişancı tüfeği kullanılmıştır. Her kursiyer mesafe atışlarına geçmeden önce silahını kendine göre sıfırlamak amacıyla 100 metre mesafeden sıfırlama atışını icra etmiştir. Sıfırlamalar yapıldıktan sonra mesafe atışlarına geçilmiştir. Yakın mesafe atışı olarak 100 metre mesafede baş hedefine, uzak mesafe atışı olarak da 600 metre mesafeden boy hedefine atış yaptırılmıştır. Her bir atış görevi için 4 mermi tahsis edilmiştir; bu mermilerden 1 adedi kontrol atımı içindir. Yapılan atışlar sonucunda hedefte 3 ve 2 vuruş kaydeden atıcılar başarılı, diğerleri başarısız kabul edilmiştir.

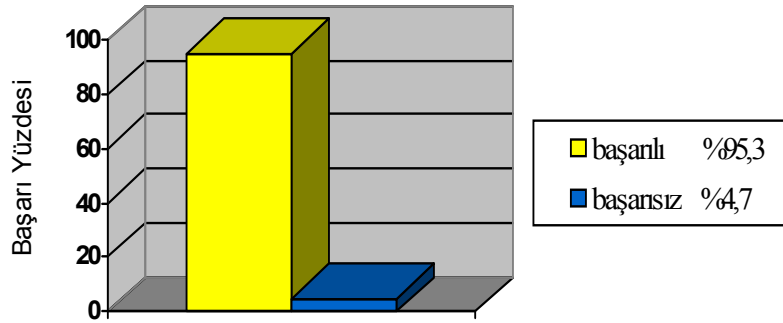
4.2. Psikoteknik Uygulaması

Bu uygulama aynı örneklem grubu üzerinde Meteksan Sistem'e ait Psikoteknik Sürücü Değerlendirme Sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulamada psikoteknik sürücü değerlendirme sisteminde yer alan sürekli dikkat testi, seçici dikkat testi, görsel algı/bellek testi, görsel süreklilik testi, koordinasyon testi, muhakeme testi, tepki hız testi ve çevresel görüş testlerinden oluşturulan test bataryası kullanılmıştır. Bu ölçüm sonunda elde edilen verilerle, kursiyerlerin kurs süresince yaptıkları bütün atışlar sonucunda elde ettikleri ortalama atış puanı arasındaki ilişki incelenmiştir.

5. BULGULAR

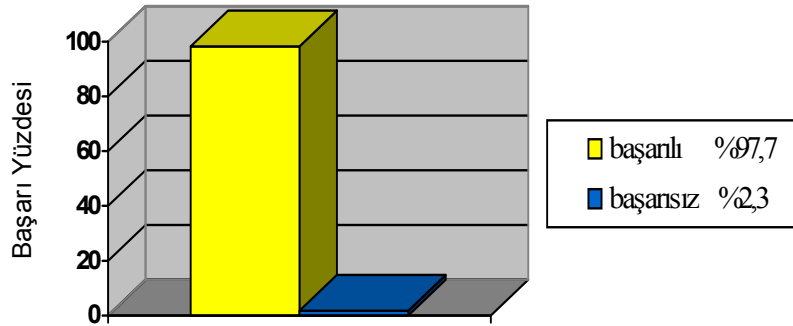
5.1. Simülasyon Uygulamasına Ait Bulgular

Simülasyon atışları sonucunda %95,3 başarı sağlanmıştır. Simülasyon atışlarındaki başarı durumu Şekil 1’de görülmektedir.



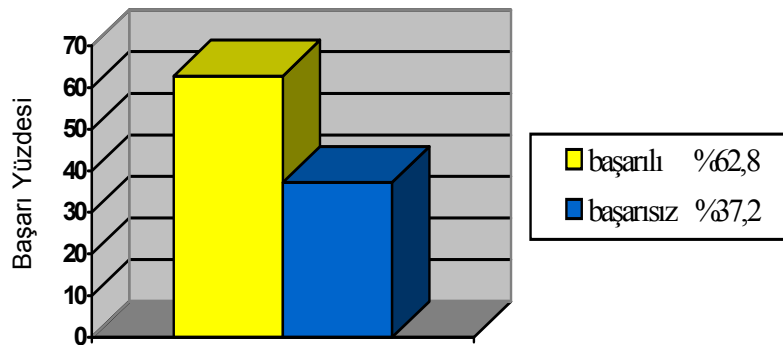
Şekil 1. Simülasyon Atışları Başarı Durumu

100 metre mesafeden baş hedefine yapılan atışlarda %97,7 başarı sağlanmıştır. 100 metre baş hedefine yapılan atışlardaki başarı durumu Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. 100 m Atışları Başarı Durumu

600 metreden boy hedefine yapılan atışlarda %62,8 başarı sağlanmıştır. 600 metre boy hedefine yapılan atışlardaki başarı durumu Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 2. 600 m Atışları Başarı Durumu

Çizelge 1. Simülasyon ve 100 m Baş Hedefi Atışları Başarı Düzeyleri

		100 metre Atışları		Toplam
		Başarılı	Başarısız	
Simülasyon Atışları	Başarılı	41	0	41
	Başarısız	1	1	2
Toplam		42	1	43

Çapraz sıklık çizelgelerinde iki değişken arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığını ki-kare testi ile sınanmıştır. Çizelge 1'e göre beklenen frekanslar incelendiğinde 2 gözde 5'den küçük olan frekansların olduğu tespit edilmiş ve Fisher'in Kesin Ki-kare Testi uygulanmıştır. Yanılma düzeyi olarak $\alpha = 0.05$ alınmıştır. Fisher Ki-kare Testi sonucunda elde edilen p olasılık değeri $p=0,47$ olarak bulunmuştur.

$p=0,047 < \alpha=0,05$ olduğundan %95 güvenle simülasyon atışları başarı durumu ile 100 metre baş hedefi atışları başarı durumu arasında ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Simülasyon ve 600 m Boy Hedefi Atışları Başarı Düzeyleri

		600 m Atışları		Toplam
		Başarılı	Başarısız	
Simülasyon Atışları	Başarılı	25	16	41
	Başarısız	2	0	2
Toplam		27	16	43

Beklenen frekanslar incelendiğinde 2 gözde 5'den küçük olan frekansların olduğu tespit edilmiş ve burada da Fisher'in Kesin Ki-kare Testi uygulanmıştır. Fisher Ki-kare Testi sonucunda elde edilen p olasılık değeri $p=0,522$ olarak bulunmuştur.

$p=0,522 > \alpha=0,05$ olduğundan %95 güvenle simülasyon atışları başarı durumu ile 600 metre boy hedefi atışları başarı durumu arasında ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

5.2. Psikoteknik Uygulamasına Ait Bulgular

Burada testlerden hangisinin veya hangilerinin atış puanı üzerinde yordama etkisi olduğunu belirlemek ve atış puanını etkilediği belirlenen değişkenler yardımıyla

ortalama atış puanlarını kestirmek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. SPSS istatistik paket programı yardımıyla geriye doğru eleme metodu kullanılarak bulunan en son modele ait çoklu regresyon çözümlemesi sonuçları çizelge 3'te ve çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 3. Regresyon Çözümlemesi SPSS Sonuçları

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-30,314	21,844		-1,388	,174
	sürekli dikkat indeksi	,414	,115	,474	3,593	,001
	seçici dikkat genel indeksi	-,470	,128	-,454	-3,682	,001
	görsel algı bellek genel indeksi	,470	,221	,251	2,132	,040
	çevresel görüş testi ekran doğru yanıt sayısı	1,572	,557	,367	2,823	,008

Çizelge 3 yardımıyla elde edilen regresyon kestirim denklemi;

$$y = -30,314 + 0,414 x_1 - 0,470 x_2 + 0,470 x_3 + 1,572 x_4 \text{ şeklindedir.}$$

Çizelge4. Modele Ait Çoklu Doğrusal Regresyon Varyans Analizi

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3442,842	4	860,711	11,580	,000
	Residual	2675,813	36	74,328		
	Total	6118,655	40			

$F_{\text{Hesap}} = 11,580 > F_{\text{Tablo}(0,05;4,36)} = 2,61$ olduğu ve 0,95 güvenle bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişki olduğunu görülmüştür.

Çizelge 3'deki standartlaştırılmış regresyon katsayılarına(beta) bakıldığında bağımsız değişkenlerin modele katkıları görece olarak sırayla; sürekli dikkat testi, seçici dikkat testi(negatif yönde), çevresel görüş testi ekran doğru yanıt yüzdesi ve görsel algı/bellek testi şeklindedir. Tabloda yer alan p olasılık değerleri incelendiğinde 0,05 yanılma olasılığı ile sürekli dikkat testi, seçici dikkat testi(negatif yönde), çevresel görüş testi ekran doğru yanıt sayısının ve görsel algı/bellek testinin atış puanı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğuna karar verilir.

Çizelge 5. Çoklu Doğrusal Regresyon Model Özeti

Model	R	R Square	Adjusted Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,750	,563	,514	8,621	1,635

Çizelge 5'e bakıldığında incelenen modele ait açıklayıcılık katsayısı $R^2 = 0.563$ 'tür ve bu da bize ortalama atış puanındaki değişimin %56,3'nün en son denkleminizde yer alan sürekli dikkat testi, seçici dikkat testi, görsel algı/bellek testi ve çevresel görüş testi(ekran doğru yanıt sayısı) ile açıklanabileceğini göstermektedir.

6. SONUÇLAR

6.1. Simülasyon Uygulamasına Ait Sonuçlar

Belirli mesafeden sonra hava şartlarının atışa etkisi, atıcının dürbünde nişangah düzeltmesi yapmasını gerektirir. Uzak mesafe atışlarda nem, ışık, rüzgar, rakım farkı, basınç, miraj atışlarda vuruş noktasını değiştirmektedir. Yapılacak atışlardan önce mutlaka gerekli düzeltmelerin hesaplanıp nişangah düzeltilmelidir. Atış anında sürekli değişen bu faktörlerin etkisini aynı anda ve etkileşimli olarak değerlendirip hesaplamak ve silaha uygulamak çok uzun süre eğitim ve tecrübe gerektiren zor bir beceridir. Kısa bir sürede bu tecrübeye ulaşmanın en uygun yolu bu amaç doğrultusunda geliştirilmiş simülatör sistemlerine sahip olmaktır. Temel nişancılık becerilerinin geliştirilmesine büyük katkısı olan hafif silah simülatörlerinin bu özelliğe sahip olmamaları nedeniyle, bu tür sistemlerin keskin nişancı eğitimine gereken katkıyı sağlamadığı görülmüştür.

6.2. Psikoteknik Uygulamasına Ait Sonuçlar

Mevcut sonuçlara göre, bu tür sistemlerin keskin nişancı seçim aşamasında kullanılabileceği; bu durumda, yeterli alt yapıya sahip olmayan adayların başlangıçta elenerek zaman, emek ve kaynak tasarrufu sağlanacağı, verimliliğin ve kurs başarısının artacağı ve daha kaliteli keskin nişancıların silahlı kuvvetlerine kazandırılacağı değerlendirilmektedir. Araştırmada tespit edilen sonuçlar, örnek kütle ve sistemde mevcut bulunan testlerle sınırlıdır. Bu tür bir sistemlerin keskin nişancı seçimine yönelik kullanılması durumunda amaca uygun testler hazırlanarak, daha geniş kütleler üzerinde çalışma yapılmalı ve testlerin eşik değerleri oluşturulmalıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Erdoğan, İ., (1990), *İşletmelerde Kişi Değerlemede Psikoteknik (4.Baskı)*, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yayın No: 136.
- [2] Akbaş, S., (2004), "Atış Eğitim Simülatörlerinin T.S.K. Eğitim Sistemine Olan Katkısının İncelenmesi ve Hafif Silah Simülatörlerinde Bir Model Uygulamasının Geliştirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Ankara.*
- [3] MPL:191-2, (2003), *Türk Silahlı Kuvvetleri Modelleme ve Simülasyon (MODSİM) Vizyonu ve Master Planı, Ankara, Genelkurmay Basımevi.,*

- [4] *Ergün, M., (1995), Bilimsel Araştırmalarda Bilgisayarla İstatistik Uygulamaları, SPSS for Windows, Ankara, Ocak Yayınları.*
- [5] *ÖZGÜVEN, İ.E., (1994), Psikolojik Testler, Ankara, Yeni doğuş Matbaası.*
- [6] *Sabuncuoğlu, Z., (1990), “Eğitimde Psikoteknik Yöntem”, İşgücünün Seçim ve Yönlendirilmesinde Psikoteknik Yöntem Yaklaşım Sempozyumu, Ankara, Milli Prodüktivite Merkezi yayınları: 403, 1990, 111-119.*

PC TABANLI HELİKOPTER UÇUŞ SİMÜLATÖRLERİNDE ALÇAK İRTİFA TAKTİK UÇUŞ EĞİTİMİ İÇİN GEREKEN PENCERE DIŞI GÖRSEL BİLEŞENLERİN ÖZELLİKLERİ

Cüneyt Karaahmetoğlu ^(a), Erdal Yılmaz ^(b), Kemal Leblebicioğlu ^(c), Yasemin Yardımcı
Çetin ^(d)

^(a) K.K.K., Kara Havacılık Okul Komutanlığı, cuneytkara2003@yahoo.com

^(b) Harita Genel Komutanlığı, eyilmaz@hgk.mil.tr

^(c) ODTÜ, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, kleb@metu.edu.tr

^(d) ODTÜ, Enformatik Enstitüsü, yardimy@ii.metu.edu.tr

ÖZ

Helikopter simülatörleri pilot eğitiminin önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu çalışmada özellikle PC tabanlı simülatörlerin helikopter alçak irtifa taktik uçuş eğitiminde kullanılması için sanal ortamların sahip olması gereken nitelikler ele alınmıştır. Çalışmanın nihai amacı bu eğitimlerde kullanıcıya sunulması gereken pencere dışı görüntü ile ilgili nicel ve nitel değerleri belirlemektir. Yapılacak deneylerde deney parametrelerinin belirlenmesi ve test ortamının yapısına karar vermek amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Ayrıca deneylerde kullanılması düşünülen sentetik ortamla ilgili bir ön test yapılmış olup detayları verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçak İrtifa, Helikopter Simülatörü, Sentetik Ortam

OUT-THE-WINDOW SCENE PROPETIES REQUIRED FOR LOW- ALTITUDE TACTICAL FLIGHT TRAINING USING PC-BASED HELICOPTER SIMULATORS

ABSTRACT

Helicopter simulators become an important part of pilot training. In this study we mainly focused on the characteristics of virtual environments to be used in PC simulators for training on low-altitude tactical helicopter flights. The final aim of this study is to determine quantitative and qualitative specifications of out-the-window scene used in such training. A literature survey is conducted to determine the parameters of the experiments and model the structure of test environment. Additionally a limited test study about the synthetic environment that is planned to be used in the experiments. Details of this test are given in this paper.

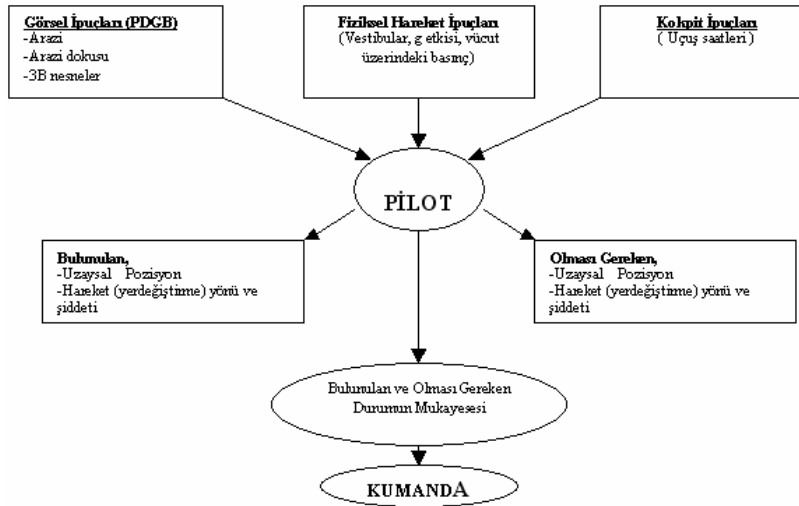
Keywords: Helicopter Simulator, Low-altitude, Synthetic Environment

1. PİLOT ALGILAMASI

1.1. İpuçları

Gerçek uçuşlarda helikopter pilotları görsel ipuçları ve fiziksel hareket ipuçlarını kullanarak bulundukları uzaysal pozisyon (oryantasyon) ile hareketin yön ve şiddetini algırlar ve olması gereken durum ışığında kumanda verip hava aracını yönlendirirler. Uçuşta pozisyon ve hareket algılaması için gerekli ipuçları, pencere dışı görsel bileşenler (PDGB), kokpit bileşenleri (KB) ve fiziksel hareketler (FH) kullanılarak elde edilir.

PDGB; yeryüzü şekli (dağlık, engebeli vb.) ve dokusu (bitki örtüsü, kayalık vb.) ile 3 boyutlu (3B) nesneler olarak tanımlanabilir ve pilotlara pozisyon ve hareket algılaması için temel ipucu olan görsel ipuçlarını sağlarlar. Görüş alanı içerisinde, gözle görülebilen, rengi, şekli ve hareketi ile çevresinden ve arka planından ayırt edilebilen her şey görsel ipucu olarak tanımlanabilir. Görsel alandaki ipuçlarının azlığı pilotların pozisyon ve hareket algılamalarını zorlaştırır. KB ise uçuş pozisyonu, hareket yön ve şiddeti hakkında bilgi sağlayan suni ufuk (yatış ve dalış durumu), sürat-altimetre-varyometre (irtifa değişim oranı) saatleri, manyetik istikamet göstergesi gibi temel uçuş aletleri ile hava aracı modeline göre değişen farklı türde göstergelerden (seyrüsefer aletleri, radar altimetre vs.) oluşur. Fiziksel hareket ipuçları (FHİ), vestibular sistem, vücut üzerindeki basınç ve G-etkisi yolu ile elde edilen ipuçlarıdır. FHİ'ler her türlü uçuş esnasında mevcuttur ve beyin tarafından görsel ipuçlarını ve KB nin sağladığı bilgileri doğrulayıcı olarak kullanılırlar. Bununla beraber PDGB ve KB nin mevcut olmadığı durumlarda yalnız FHİ kullanılarak pozisyon ve hareket yeterli doğrulukta algılanamayacağı için uçuş yapılabilmesi mümkün değildir.



Şekil 1. Pilotun Görsel Algılaması ve Durum Değerlendirmesi

1.2. Uçuş Şekillerine Göre İpuçlarının Kullanımı

Uçuş görevinin özelliklerine, pilotun eğitim seviyesi ve tecrübesine bağlı olarak ipuçlarının kullanım şekli ve ağırlığı değişebilir. Helikopter uçuşlarını, uçuş esnasında kullanılan ipuçlarını göz önüne alarak yüksek irtifa, alçak irtifa ve alet uçuşları şeklinde incelemek mümkündür.

- **Yüksek İrtifa Uçuşları**

Yüksek irtifalarda irtifa ve mesafenin büyük olması nedeniyle PDGB in açısız hızları azalır, retina üzerindeki açısız büyüklükleri küçülür, büyüklüklerin değişim hızları azalır. Yüksek irtifalarda irtifa, sürat ve irtifa-sürat değişimlerinin algılanmasındaki hataların büyüklüğü nedeniyle yalnız PDGB kullanılarak pozisyon ve hareket tayini yapılması oldukça zordur. Görsel olarak hatalı algılanması muhtemel irtifa, sürat, istikamet ve pozisyon değişimlerinin tayini için KB ve FHİ yardımcı ve doğrulayıcı olarak kullanılarak helikopterin kontrolü sağlanır.

- **Alet Uçuşları**

Alet uçuşu, doğası gereği görsel ipuçlarının bulunmadığı ve bu nedenle sadece KB ve FHİ ipuçları kullanılarak durum değerlendirmesinin yapılabildiği uçuşlardır. KB kullanılarak yapılacak değerlendirme sonucu elde edilecek ipuçları ile hava aracının kontrolü sağlanır.

- **Alçak İrtifa Uçuşları (Taktik Uçuşlar)**

Alçak irtifa uçuşu, doğru ve emniyetle yapılabilmesi için çok fazla eğitim ve beceri gerektiren bir uçuş görevidir. Düşman tehdidi altında tam inişe izin vermeyen arazi üzerinde 1 feet'te ya da tek teker konularak yapılan hover görevi ile ısı güdümlü silahlardan veya radarlardan sakınmak için yerden 5-10 m. yükseklikte, yüksek süratlerde yapılan alçak uçuş görevleri zor ve kritiktir.

KB nin doğru olarak algılanması, analiz ve yorumlanması, gereken reaksiyonun gösterilmesi için geçen süre eğitim ile azaltılabilirse dahi, bu süre asla görsel ipuçlarının algılanması ve yorumlanması gibi insan doğasında varolan otomatik algılama sisteminin hızına ulaşamamaktadır. Ayrıca pilotun aşırı veya yanlış kumanda vermesinin tolere edilebilme ihtimalinin olmadığı, son derece hassas kumandalar vermesi gereken alçak uçuşlarda KB nin yeterince hassas ipuçları vermemesi nedeniyle KB den faydalanarak bu uçuşların icra edilmesi mümkün değildir. Bu bakımdan alçak irtifa uçuşlarının verimliliği ve emniyeti açısından görsel ipuçlarının varlığı ve yeterliliği şarttır.

1.3. Görüş Alanı

İnsan gözü yaklaşık olarak 100 derece dikey ve 200 derecelik yatay görüş açısına sahiptir. Göz merkezinde 5-10 derecelik bölgede bulunan hücreler renklere ve ışığa karşı hassastır ve merkezi görüş sağlarlar. Bu bölge dışında kalan hücreler ise, ışığa ve renklere karşı hassas olmamalarına karşın görüş alanı içerisindeki cisimlerin hareketlerine karşı hassastırlar ve çevresel görüş sağlarlar [1]. Çevresel görüş, hareketin, pozisyon değişiminin hissedilmesi için ipuçları sağlar.

Görsel hareket, sabit pozisyonun muhafaza edildiği ve gerçekte hareketin olmadığı durumda bir yöne doğru hareket olduğu duygusu veren yanıltıcı histir. Bu yanılgının çevresel görüş ile yakın ilişkisinin olduğu bilinmektedir [2]. Ayrıca bu gerçeği psiko-fiziksel seviyede doğrulayan ve çevresel görüşün hareket algılaması ve oryantasyon açısından önemli derecede rolü olduğunu, doğrudan dikkatin yöneltmesi gerekmeksizin beyne bilgi taşıdığını ortaya koyan araştırmalar mevcuttur [3], [4]. Geniş ekranlı görüntü sistemlerinin 1950'lerden beri, seyircinin kendisini seyrettiği ortamda hissetmesi için bir araç olarak kullanılması Hedges'in çalışmasında dikkat çekilen ve geniş görüş alanının gerçeklik hissi üzerine etkisini gösteren bir konudur[5]. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, çevresel görüş hareket algılaması için önemli bir unsurdur ve pilotun uçuş esnasında kullandığı görsel ipuçlarını sağlayacak şekilde tasarlanacak bir eğitim aracında geniş bir görüş alanı sağlayacak ekran(ların) kullanılması gerekmektedir.

2. SENTETİK ORTAMLARDA GÖRSEL İPUÇLARI İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Pilotlar öncelikle PDGB in sunduğu görsel ipuçlarını kullanarak hava aracının durumunu algılar, kontrol ve muhafaza ederler. Görsel ipuçlarının güvenilirliği değişken olsa dahi pilotlar bu ipuçlarına güvenme eğilimindedir. Bu nedenle gerçek şartlarda görsel yanılgılara ve yanlış pozisyon ve hareket algılamasına neden olmayacak kadar yeterli nitelik ve doğrulukta görsel ipucunun mevcut olmaması, yanlış kumanda ve kontrolün kaybedilmesine neden olabilir. Benzer şekilde, sanal ortamlarda ipuçlarının yetersiz oluşu gerçekçi ve verimli bir uçuş eğitimini zorlaştırmaktadır.

Normal görüş şartlarında pilotların kullandığı görsel ipuçları, yeryüzü dokusu, yeryüzünün şekli ile üzerindeki sabit ve hareketli nesneler ve bunların görüş alanı içerisindeki hareketidir (optik akış) [6]. Optik akış, birbiri ile kontrast teşkil eden nesnelerin veya bölgelerin sürekli yer değiştirmesinin zihinsel olarak birleştirilip hareketin yönü ve oranına dönüştürülmesi olarak tanımlanabilecek, tamamen görsel ve zihinsel algılama şeklidir [7]. Kleiss çalışmasında, sanal ortamdaki optik akış değişimlerinin sürat ve istikamet değişimlerinin algılanmasının temeli olduğunu belirtmiştir[8].

Bir başka çalışmada Kleiss görsel bileşenlerden yeryüzü dokusu, 3B nesne sıklığı ve nesnelerin görsel kalitesinin alçak irtifa simülatör uçuşlarında irtifa değişimlerinin algılanması üzerine etkilerini incelemiş, yeryüzü dokusu ile dikey 3B nesnelerin sayısının performansa önemli katkı yaptığını, nesnelerin görsel kalitesinin ise irtifa değişimlerinin algılanmasında herhangi bir katkı sağlamadığını belirtmiştir [9].

Yeryüzü dokusunun detayı pilotun irtifa algılamasına yardımcı olmaktadır. Gerçek şartlarda daha yoğun ve tekdüze, detayları kaybolmuş bir doku (çöl, kar vs) irtifanın daha yüksek algılanmasına neden olur. Doku detaylarının ufka doğru birbirlerine yaklaşması ise irtifa kaybedildiğini gösterir. Birbiri ile kontrast teşkil eden şekillerden oluşan bir arazi dokusu (çalılık, kayalık) sürat ve irtifa kontrolü için kullanılabilir ipuçları sunar. Kleiss sanal ortamda optik akış sağlayacak doku kullanımının pilotların irtifa değişimlerini algılamasını kolaylaştırdığını, irtifa azalması yönündeki değişimlerin irtifa alma yönündeki değişimlere nazaran daha kolay algılandığını tespit etmiştir [10]. Kellogg 10 C-130 pilotu ile yaptığı çalışmada, yeryüzü dokusunun iniş esnasında

irtifanın algılanması ve istikametın muhafazasına önemli derecede katkısının olduğunu belirtmektedir [11]. Bir başka çalışmada Demaio sanal ortamlardaki yeryüzü dokusunun şeklinin de irtifa muhafazası için ipucu oluşturduğu sonucuna varmıştır [12].

Arazi yapısı (dağlık, düz , eğimli) sürat, irtifa, mesafe algılaması için görsel ipuçları sunar. Tepelik ve engebeli bir arazideki yüzey şekillerinin görüş alanı içindeki yoğunluğu, şekli ve kontrastı, birbirlerine ve arazinin geri kalanına göre konumları ve konum değişimleri, optik akış yön ve hızları, büyüklük ve detaylarındaki değişimler irtifa, sürat ve istikamet kontrolü için ipuçları sunarlar. Kleiss sanal ortamda yapılan alçak uçuşta arazi şeklinin pilot performansına etkisini incelemiş ve tepelerle dolu engebeli bir arazi yapısının irtifa değişimlerini algılamada önemli katkısı olduğunu ve bu şekildeki arazi özelliklerinin yoğunluğu arttıkça performansın arttığını belirtmiştir [13].

Sentetik görüş sistemleri ile ilgili çalışmalarda pilot oryantasyonunu kolaylaştıracak şekildeki arazi yoğunluğu ve doku şekli, çözünürlüğü ihtiyacını belirlemek üzere çeşitli deneyler yapılmıştır [14]. Bu sistemler pilotun gerçek uçuşlarda arazi ile görsel irtibatının kalmadığı durumlarda oryantasyonunu sağlayabilmesi için, üzerinde uçulan araziye sentetik olarak kokpit ekranına yansıtan sistemlerdir. Bu sistemler ile ilgili çalışmalarda sürat ve irtifa değişimlerinin en kolay algılanmasını sağlayan doku türünün dama tahtası şeklindeki dokular olduğu ortaya çıkmıştır. Kullanılan sayısal yükseklik modeli yoğunluğunun en uygun seviyesi tespit edilmeye çalışılmış, 3 ila 6 arcsaniye (90-180 m) çözünürlüğün diğer çözünürlük seviyelerine nazaran (450-900 m.) performansı aynı derecede artırdığı belirlenmiştir. Ancak daha düşük çözünürlük seviyeleri için çalışma yapılmamıştır. Yüksek irtifa uçuşlarında bu çözünürlük yeterli olabilir. Ancak 90 m-180 m ebatlarında poligonlardan oluşan bir arazinin 0-50 m irtifada yapılan helikopter uçuşları için uygun olmayacağı düşünülerek arazi yoğunluğunun performansa etkisinin irtifa ile değişeceği söylenebilir.

Sanal ortamlarda pozisyon ve hareket algılamasını kolaylaştıracak ve optik akış sağlayacak şekilde kullanılmaya en uygun ipuçları 3B nesnelerdir. Sanal ortamlarda arazi ve doku detaylarının gerçek dünyanın aksine yaklaştıkça kaybolması nedeniyle bu eksikliği gidermenin en kolay yolu yeterli miktar ve nitelikte 3B nesne kullanarak konum, irtifa, sürat ve istikamet değişimleri için ipucu sağlamaktır.

Von der Heyde ve Bülthoff sanal ortamda hareket algılaması üzerine yaptıkları deneylerde 3B nesne bulunmayan sanal ortam ile nirengi sağlamak üzere 3B nesne kullanılan sanal ortamı karşılaştırmışlar ve 3B nesnelerin şekli ve kalitesinin değil görüş alanı içerisindeki sayılarının önemli olduğu sonucuna varmışlardır [15].

Demaio 600 kt. ve 150 feette 21 A-10 pilotu ile yaptığı deneyde 3B nesnelerin irtifa değişimlerinin algılanmasında oldukça faydalı olduğunu ortaya koymuştur ve 1 mil karede 12 ile 15 nesnenin irtifayı muhafaza etmek için gerekli olduğunu tespit etmiştir [12]. Sürat ve irtifası göz önüne alındığında bu sayılar yeterli optik akış sağlasa bile değişik sürat ve irtifalar için geçerli olmayabilir. Peitso 10 helikopter pilotu ile yaptığı çalışmada, arazi üzerindeki 3B çalıların yoğunluğu ile pilotların hover performansı arasında doğrusal bir ilişki bulmuştur [16]. Peitso' ya göre arazideki çalıların yoğunluğunun % 1 e çıkarılması ile, hoverda yanal ve ileri geri sürüklenmeler çok önemli ölçüde azalmıştır.

Yapılan araştırmada PC tabanlı alçak uçuş eğitim simülatörleri için geliştirilen sanal ortamlarda sayısal harita yoğunluk seviyesi ve doku çözünürlüğünün ne olması gerektiği ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Demaio, hangi türde yeryüzü dokusunun irtifa değişimleri için ipucu sağlamada daha etkin olduğunun belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılması gerektiğini belirtmiş ancak doku çözünürlüğü üzerinde durmamıştır. Kleiss ise arazi şeklinin, 3B nesnelerin büyüklüğü ve yoğunluğunun alçak irtifa uçuşlarında önemli derecede görsel ipucu sağladığını belirtip, sayısal harita yoğunluk seviyesi konusunda çalışmalar önermektedir.

3. PC TABANLI SENTETİK EĞİTİM ARAÇLARI VE ALÇAK UÇUŞ EĞİTİMİ

1990'ların ortalarına kadar sınırlı sayıda üreticinin tekelinde bulunan sentetik ortam oluşturma sektörüne PC teknolojisindeki hızlı gelişim ile çok sayıda yazılım firması ve akademik çalışma grupları katılmış ve bu konudaki lider firmaların ürettiği gelişmiş çözümlere kısmen alternatif olabilecek 1/100 oranına kadar daha maliyet etkin PC tabanlı ürünler geliştirilmiştir (MS-FS, X-Plane vb.) . Uçuş eğitim simülatörü alanında bugüne kadar ortaya konulan PC tabanlı ürünlerin tamamında pencere dışı görsel bileşenlerin nitelik ve nicelikleri yüksek irtifa uçuşları için gerekli görsel bileşenler esas alınarak belirlenmiştir. Ancak uçakların helikopterlere nazaran daha yüksek irtifalarda uçmaları ve pistlere iniş kalkış yapmaları nedeniyle, yüksek irtifa uçuşları göz önüne alınarak geliştirilmiş sentetik ortamlar, alçak irtifada ve nispeten düşük süratte uçan, arazide herhangi bir noktaya herhangi bir yönden inip kalkması gereken ve bu tür uçuşlar esnasında tamamen pencere dışı görsel algılamaya dayalı değerlendirmeler yapan helikopter pilotlarının eğitimi için gerekli nicelik ve nitelikte pencere dışı görüntüyü sunmamakta ve pilotların alçak/taktik uçuş eğitimini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bir simülatörün taktik eğitim aracı olabilmesi için alçak/taktik uçuş görevinde kullanılan kritik görsel ipuçlarını, pilotun gerçek dünyada ve gerçek şartlarda olduğu gibi algılamasına, karar vermesine ve reaksiyon göstermesine imkan verecek şekilde sunması gerekir. Alçak irtifa uçuş eğitimine izin verecek şekilde dizayn edilecek bir sanal ortam, gerçek şartlarda yapılan taktik uçuş eğitimlerini olumlu etkileyecek ve muharebe etkinliğini artıracak doğru taktik eğitim aracı/simülatörü için atılacak büyük bir adım olacak ve helikopter uçuşlarının büyük bir kısmını oluşturan taktik arazi uçuş eğitimlerinin PC tabanlı sanal ortamlarda yapılabilmesine imkanı sağlayacaktır.

4. ARAŞTIRMA KONUSU

Bu çalışmanın amacı; PC tabanlı helikopter simülatörleri (PC-ATD) için geliştirilecek sentetik ortamlarda pencere dışı görsel bileşenlerinin sahip olması gereken nicel ve nitel özelliklerin (sayısal harita yoğunluğu, doku şekli ve çözünürlüğü, görüş alanı içinde bulunması gereken 3B nesnelerin yoğunluğu ve görsel kalitesi, uygun gölgeleme teknikleri) minimum standartlarını belirlemek ve bu sayede taktik uçuş eğitimlerinde kullanılabilecek sanal ortamlar için altyapı oluşturmaktır.

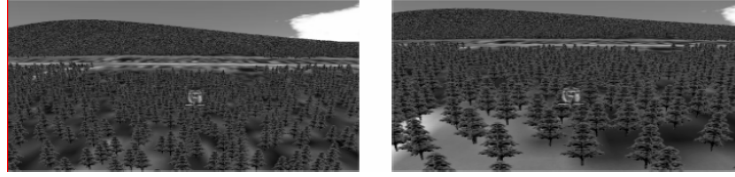
5. SENTETİK TEST ORTAMI İLE İLGİLİ ÖN ÇALIŞMA

Bu bölümde bir sonraki bölümde detayları verilen test ortamına temel teşkil edecek şekilde tasarlanmış olan Low Altitude Flight Scene Generator (LAFSG) ile ilgili basit bir ön çalışmaya ilişkin sonuçlardan bahsedilecektir. Bu ön çalışmanın amacı LAFSG

in yapılması planlanan testlerde kullanılabilirliğini test etmektir. LAFSG, sayısal harita yoğunluğu, doku şekli ve çözünürlüğü, 3B nesneler üzerinde değişiklik yapılabilmesi sebebiyle, oluşturulacak test ortamında kullanılacak sanal ortam olarak belirlenmiştir. LAFSG ile ilgili ön testlerde karşılıklı mülakat yapılmış ve deneklerin yorumları değerlendirilmiştir. Ayrıca çeşitli 3B nesne sayıları ve çeşitlerinin animasyon hızına etkileri açısından LAFSG in performansı değerlendirilmiştir. LAFSG kullanılarak toplam 3 adet sentetik ortam oluşturulmuş olup teste katılan 3 helikopter ve 2 uçak pilotuna bu ortamlar hakkındaki görüşleri sorulmuştur.

5.1. Orman Test Ortamı

Ağaçlar alçak irtifa uçuşlarda görsel ipucu sağlayan önemli 3B nesnelerdir. Optik akış konusunda çok faydalıdır. Farklı irtifa ve ağaç yoğunluklarında çeşitli ortamlar oluşturulmuştur.



Şekil 2. Farklı İrtifalardan Orman Test Ortamı

5.2. Harekat Alanı

Bu testte büyüklüğü bilinen 3B ve hareket eden nesnelerin bulunduğu dinamik bir sentetik ortam oluşturulmaya çalışılmıştır. Senaryo gereği 2000 piyade ve 100 zırhlı araç seyrek ağaçlı bir alanda hareket etmektedir. Hareketli insan ve araçların büyüklüklerinin bilinmesi nedeniyle mesafe, irtifa ve sürat algılaması açısından iyi bir görsel ipucu olacağı düşünülmektedir. Ayrıca dinamik nesnelerin rölatif hareket ve ortam gerçekçiliği konusunda da önemli katkıları olacağı değerlendirilmektedir.



Şekil 3. Harekat Alanı Testinden Görüntüler

5.3. Karayolu

Karayollarına paralel uçuşlarda karayollarının önemli bir optik akış sağladığı, mesafe tahmini için ipucu sağladığı bilinmektedir. Şekil 4 incelendiğinde 1200 feet'ten alınmış görüntüde yol ve üzerindeki araçlar rahatlıkla görülebilmektedir. Bu noktadaki problem araçların hareket etmeden duruyor olmasıdır ki rölatif hareket düşünüldüğünde bu bir

olumsuzluktur. Aynı bölgenin 20 feet'ten alınmış görüntüsünde çözünürlük yüksek olmasına rağmen (1 m) bu irtifada pikselleşme problemi başlamış olup yol veya araçlar anlamını yitirmiştir. Sağdaki görüntüde test alanına eklemeler yapılmış, yol ve çevresi modellenerek üzerine trafikte seyreden otonom araçlar yerleştirilmiştir.



Şekil 4. Karayolu Test Bölgesinden Görünümler (1500 feet, 20 feet, 40 feet)

5.4. Pilotların Yorumları

Yukarıda bahsedilen 3 sentetik ortam tecrübeli ve simülatörlere aşina 3 helikopter ve 2 uçak pilotu tarafından yorumlanmıştır. Tüm denekler orman sahnesinin iyi bir optik akış sağladığı konusunda hem fikir olmuştur. Harekat alanı sahnesi ile ilgili derinliğin rahat anlaşılabilirdiği konusunda yorumlar yapılmıştır. İnsanların hareket etmesinin de etkileyici olduğundan bahsedilmiş ancak gerekliliğinin tartışılabilirdiği ifade edilmiştir. Karayolu sahnesi en olumlu yorumları almıştır. Bu sahnede hızın iyi algılandığı söylenmiştir. Şerit çizgileri, reklam panoları ve korkulukların yol üzerinde uçarken hareket hissini verdiği belirtilmiş olup detaylı modellenen ve hareket eden araçların da etkileyici olduğu söylenmiştir. Bu anlamda asıl testler daha performanslı donanımlarla, geniş görüş açısı sağlayacak bir ortam geliştirilerek subjektif pilot yorumlarından çok objektif deneysel veriler toplanarak gerçekleştirilecektir.

6. METODOLOJİ

6.1. Test ortamının oluşturulması:

3 adet yüksek konfigürasyonlu PC, 3 adet yüksek çözünürlüklü LCD ekran, 2 adet joystick ya da kolektif-cyclic kumanda çubukları, 1 adet pedal kullanılarak geniş görüş açısı sağlayan PC-ATD konfigürasyonu oluşturulacak, X-Plane uçuş simülasyon programının helikopter uçuş dinamikleri modeli LAFSG ile bütünleştirilecek ve gerekli test ortamı hazırlanacaktır. X-Plane in kullanılma nedeni, yerel ağ yolu ile uçuş dinamikleri modelini farklı bir sanal ortamda kullanabilme imkanı sunmasıdır.

6.2. Test Parametreleri ve Değerlendirme:

Yapay görüş sistemleri ve uçuş simülatörleri ile ilgili olarak şimdiye kadar yapılmış çalışmalar incelendiğinde ortaya çıkan değerlendirme kriterleri ve yöntemleri şunlardır:

- Hover esnasında yanal ve ileri-geri sürüklenme miktarının ölçülmesi ve analizi
- Uçuş esnasında iki nokta arasındaki hayali rotadan sapma miktarının ölçülmesi ve analizi
- Uçuş esnasında belirli bir irtifadan sapmalara karşı pilotların verdiği tepki süresinin ölçülmesi ve analizi

- Pilotların nabız ve vücut sıcaklıklarının ölçülmesi ve bunların sanal ortamda algılama zorluğu ile ilişkilendirilmesi,
- Gerçek arazi görüntüleri ile bu arazilerin sanal ortamdaki görüntülerinin tanınması ve eşleştirilmesindeki doğruluk yüzdesi, cevap sürelerinin ölçülmesi ve analizi,
- Pilotlara sorulan sorular vasıtası ile subjektif değerlendirmeler,

Belirlenen ve etkileri test edilecek parametrelerin değerlendirilebilmesi için:

- Hover durumunda:Belirlenen başlangıç pozisyonundan ileri-geri, yanal ve dikey sapmalar kaydedilerek analizi yapılacak, test ortamı konfigürasyonunun yan ve ileri-geri hareketlerin,irtifa değişimlerinin algılanmasını kolaylaştıracak görsel ipuçlarını sağlamadaki yeterliliği ölçülecektir.
- Alçak Uçuşta (50 ft) : Takip edilecek rota üzerinde nirengi noktaları oluşturulacak ve iki nirengi noktası arasındaki hayali düz çizgiden yanal sapma miktarı kaydedilerek analizi yapılacak, test ortam konfigürasyonunun pilotun uçuş esnasında yanal sapmaları hissetmesini sağlayacak görsel ipuçlarını sağlamadaki yeterliliği değerlendirilecektir. Hayali rotadan dikey sapmalar kaydedilip analizi yapılarak test ortamı konfigürasyonunun uçuş esnasında irtifa değişimlerinin hissedilebilmesi için yeterli optik akış ipucu sağlaması değerlendirilecektir. Başlangıç uçuş süratinden sapmalar kaydedilerek analizi yapılacak ve böylece test ortam konfigürasyonunun sürat değişimlerinin algılanması için yeterli optik akış ipucu sağlaması değerlendirilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] Dix, A, Finley J., Abowd, G. Beale, R.(1998). *Human-Computer Interaction*, pp 12-22
- [2] Lowther, K, Ware, C., (1996). *Vection With Large Screen 3D Imagery*, CHI96, Association for Computing Machinery, New York, NY,Electronic Proceedings. Available at: http://www.acm.org/sigchi/chi96/proceedings/shortpap/Lowther/lk_txt
- [3] Chen, M., Fortes, P., Klatzky, R., & Long, W. (2002). *Design for Peripheral Vision: Conveying Information Without Requiring Users' Focus of Attention*. Available at: <http://www.fortes.com/projects/periphery/peripherychi2002.pdf3>.
- [4] Money, K. (1983). *Theory Underlying the Peripheral Vision Horizon Device*. In *NASA Peripheral Vision Display Conference*, Dryden Research Facility, Edwards Air Force Base.
- [5] Hedges, T. (2002). *Immersed in the Widescreen Cinema*, Available at <http://www.zerohour.net/~reed/wri/widescreen.html>
- [6] Foyle, D.C., Kaiser, M.K. and Johnson, W.W. (1992). *Visual Cues in Low-level Flight: Implications for Pilotage, Training, Simulation, and Enhanced/Synthetic Vision Systems*, American Helicopter Society 48th Annual Forum, Vol. 1, 253-260.

- [7] Von der Heyde, M., Riecke, B., Cunningham, D., & Bühlhoff, H. (2001). *Visualvestibular sensor integration follows a max-rule: results from psychophysical experiments in virtual reality*. TWK 2001. Beiträge zur 4. Tübinger Wahrnehmungskonferenz, 142. (Eds.) Bühlhoff, Gegenfurtner, Mallot, Ulrich, Knirsch-Verlag. Kirchentellinsfurt, Germany
- [8] Kleiss, J.A.(1995). *Visual Scene Properties Relevant for Simulating Low-Altitude Flight: A multidimensional Scaling Approach*, *Human Factors*, , 37(4), 711-734.
- [9] Kleiss, J.A. (1995). *Trade-offs among type of scene detail for simulating Low altitude Flight*. Available at <http://www.stinet.dtic.mil>
- [10] Kleiss, J.A. (1995). *Altitude cueing effectiveness of terrain texture characteristics in simulated low altitude flight*. Available at <http://stint.dtic.mil>
- [11] Kellogg R.,SHubbard D.C., Sieverding M.J. (1989). *Field- Of-View Variations and Stripe-Texturing Effects on Assault Landing Performance in the C-130 Weapon System Trainer*, AFHRL-TR-89-3.
- [12] DeMaio J., Rinalducci E.J., Brooks R.,and Brunderman, J. (1983). *Visual Cueing Effectiveness: Comparison of Perception and Flying Performance*. 5th Annual Interservice/Industry Training Equipment Conference, Arlington, VA.
- [13] Kleiss, J.A. (1995). *Effects of terrain shape and object grouping on perception of altitude change in a flight Simulator*, Mesa, AZ, *Human Resources Directorate, Aircrew Training Research Division*. Available at <http://www.stinet.dtic.mil>
- [14] Katherine Lemos, Thomas Schnell, Tim Etherington, Tom Vogl and Alex Postikov (2003). *Synthetic Vision Systems: Human Performance Assessment of the Influence of Terrain Density and Texture*. Available at <http://opl.ecn.uiowa.edu/ampm/lemos242-1.pdf>
- [15] Von der Heyde, M., & Bühlhoff, H. (2001): *Two strategies to integrate visualvestibular self motion: comparison of landmark and optic-flow information*. *Perception ECVP01 Supplement*, Pion.
- [16] Peitso, Loren E. (2002). *Visual Field Requirements For Precision Nap-of-The-Earth Helicopter Flight*. Available at <http://www.nps.navy.mil/Research/ThesisSummer02/moves.pdf>

TOPÇU ATIŞ TIMİ SİMÜLASYONU

Hakan AYDEMİR^(a), Halit Oğuztüzün^(b)

^(a)K.K.K'lığı, 58'nci Piyade Eğitim Alayı, 1'nci Tabur Komutanlığı, BURDUR,
haydemir74@yahoo.com.

^(b)ODTÜ, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ANKARA, oguztuzn@ceng.metu.edu.tr.

ÖZ

Topçu Atış Timi Simülasyonu, ileri gözetleyicileri ve ateş idare merkezi personelini temsili ortamda eğitmek amacıyla hazırlanmış bir dağıtık etkileşimli simülasyon sistemidir. Sistem HLA uyumlu olup, kişisel bilgisayarlardan oluşan bir yerel ağ üzerinde koşturulmaktadır. Programlama ortamı olarak Microsoft Visual C++ 6.0 kullanılmıştır. Topçu Atış Timi Simülasyonu aşağıda kısaca açıklanan üç bileşenden oluşmaktadır.

1. İleri Gözetleyici Federesi : İleri gözetleyicilerin 3 boyutlu bir arazi ortamında hedefleri tespit etmek, ateş isteğinde bulunmak, atışları tanzim ve idare etmek gibi konularda faal olmaları imkanı sağlayan federedir.
2. Ateş İdare Merkezi Federesi : İleri gözetleyiciden gelen ateş isteklerini, ekranda bulunan iki boyutlu yatay plan kağıdına işleyip, yan ve mesafe bilgilerini çıkartarak atış değerlerinin hesaplanması işlemini yapacak federedir. Sadece temel ateş idare teknikleri kapsanmaktadır.
3. Eğitimci Federesi: Eğitimcinin senaryoyu federasyona aktarmasını (hava koşullarını belirlemek gibi) sağlayan federedir. İnsan kullanıcı olabilir veya bir senaryo belirtimi girdi olarak verilebilir. Eğitimci Federesi ayrıca, İleri Gözetleyicinin kullanacağı arazi modelini oluşturma imkanına da sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Topçu, İleri Gözetleyici, Ateş İdare Merkezi, Balistik, Mermi Yolu.

ARTILLERY TEAM SIMULATION

ABSTRACT

Artillery Team Simulation is a distributed interactive simulation system aimed to train Forward Observing Post and Fire Control Center personnel of an artillery system on a computer based virtual environment. The system is HLA (High Level Architecture) based and works on LAN combining three PC's. Artillery Team Federation comprises three federates, namely, Forward Observing Post Federate, Fire Control Center Federate and Trainer Federate.

Keywords: Artillery, Forward Observing Post, Fire Control Center, Ballistics, Trajectory.

1. GİRİŞ

Topçu Atış Sisteminin ana unsurları olan Topçu İleri Gözetleyicisi, Ateş İdare Merkezi ve Atış Bataryası personelinin gerçek atış yaparak eğitimi yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Söz konusu personelin bir ekip olarak eğitiminin temsili bir ortam üzerinde, etkileşimli ve görsel içerikli bir simülasyon aracıyla desteklenmesinin maliyet-etkin bir

çözüm olacağı yolundaki değerlendirme, Topçu Atış Timi Simülasyon Sistemi için temel motivasyon olmuştur. Sistem esas olarak Topçu İleri Gözetleyicisini eğitmeyi amaçlamaktadır. Bunun yanı sıra, Ateş İdare Merkezi personeli de temel ateş idare tekniklerini uygulayarak simülasyona katılmaktadır. Sistem, İleri Gözetleyici Federesi, Ateş İdare Merkezi Federesi ve Eğitici Federesi olmak üzere 3 federeden oluşan, Yüksek Seviyeli Mimari (High Level Architecture - HLA) tabanlı bir dağıtık etkileşimli simülasyon uygulamasıdır. Topçu Atış Timi Simülasyonu'nun bir benzeri, Topçu ve Füze Okulu Komutanlığı tarafından HAVELSAN firmasına yaptırılmış olup halen eğitim maksatlı olarak kullanılmaktadır [1].

2. TOPÇU ATIŞ SİSTEMİ

Topçu Atış Sistemi, yukarıda belirtildiği gibi Topçu İleri Gözetleyicisi, Ateş İdare Merkezi ve Atış Bataryası olmak üzere 3 ana unsurdan oluşmaktadır.

2.1. İleri Gözetleyici: İleri Gözetleyici, görmeyerek atış yapan atış sistemlerinin *gözü* olarak faaliyette bulunur. Gözetleme bölgesinde bulunan uygun hedefleri arar, yerlerini tespit eder, ateş isteğinde bulunur, atışları tanzim eder ve sonuçlarını gözetler. Gözetleyici, sahra topçusu atış timinin; düşman kuvvetlerini, dost kuvvetlerini ve düşman üzerine oturtulan ateşleri bilfiil gören tek mensubudur [2].

İleri Gözetleyicinin görevini yaparken kullandığı ana cihazlar ve bu cihazların işlevleri şunlardır:

- Lazermetre: Hedefin mesafesini, istikamet açısını ve yükseklik açısını ölçer. (Gelişmiş tipleri hedef koordinatlarını da ölçer.)
- Pusula: Hedefin istikamet açısını ölçer.
- GPS: Gözetleyicinin bulunduğu yerin koordinatlarını verir.
- Dürbün: Uzaktaki hedefin daha iyi görülmesini sağlar ve iki nokta arasındaki yatay ve düşey aralık açısını ölçer.

2.2. Ateş İdare Merkezi: Ateş İdare Merkezi (AİM), Topçu Atış Sisteminin beyni olarak görev yapar. İleri Gözetleyici'den hedefin yerini alır, hedefin yerini atış plan kağıdına geçirir, plan esaslarıyla atış esaslarını bulur ve bunları atış komutlarına çevirerek atış bataryasına gönderir. Gerekirse atış komutlarını atış yapmaya tahsis edilen toplara da gönderebilir [2].

2.3. Atış Bataryası: Atış Bataryası, Topçu Atış Sisteminin vurucu gücü olarak görev yapar. Atış Bataryası karargahı ile beraber 4-6 obüs veya top kısımlarından oluşur. Kısımlar, AİM tarafından verilen atış değerlerini toplara uygulayarak *ateş* ederler.

3. KAPSAM

İleri Gözetleyicilerin eğitilebilmesi için gerçekçi arazi modellerine ihtiyaç vardır. Kullanıcı tarafından her zaman gerçek arazi yükseklik değerleri temin edilemeyeceğinden, bu sorun Eğitici Federesi Programı içerisinde aşılmıştır. Buna göre; kullanıcı, Eğitici programını araziyi oluşturmak maksadıyla da kullanabilmektedir. Programın arazi modelleme özelliği kullanılarak, eğitim değeri olan gerçekçi arazi yapılarına ulaşılabilmektedir.

Simülasyonda kullanılan atışların mermi yolu hesaplamalarında, yerçekimli-hava sürtünmesiz ortam değerlerinden yola çıkılmış, atmosfer şartları da değerlendirilerek gerçek ortam atış değerlerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

Yukarıda belirtilen özelliklerin kullanılması; sistemin, önceden hazırlanmış veri tabanlarına bağımlılığını ortadan kaldırmaktadır. Böylece sistem, düşük maliyetle birçok topçu ve havan birliğindeki ileri gözetleyicilerin ve ateş idare personelinin eğitimine katkı sağlayabilecektir.

Federasyonun koşturulması için aynı yerel ağ üzerine konuşlandırılmış 3 adet PC'ye ihtiyaç vardır. PC'lerden bir tanesi RTI servislerini sağlayan RTIExec programını çalıştıracak ve federeler sıra gözetmeksizin federasyona dahil olacaklardır [4].

İleri Gözetleyici Federesinin çalıştırılacağı PC'nin ekran kartının ve işlemcisinin yüksek olması tercih edilmektedir. 128 MB'lık bir ekran kartı ile yapılan çalışmada istenen performans yakalanmaktadır.

Federe yazılımları Microsoft Visual C++ 6.0 ve OpenGL Kütüphaneleri kullanılarak geliştirilmiştir.

4. FEDERASYON TASARIMI

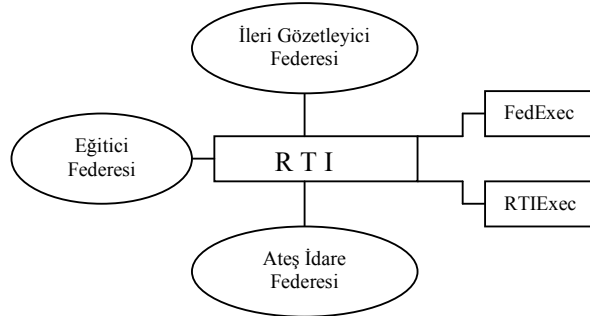
Federasyon İleri Gözetleyici Federesi, Ateş İdare Federesi ve Eğitici Federesinden oluşmaktadır.

Eğitici Federesi eğitimin uygulayıcısı olan eğitim subayı tarafından kullanılacaktır. Eğitici hedeflerin, ileri gözetleyicinin ve topların yerini federasyon koşumu esnasında değiştirme yetkisine sahip olacaktır. Eğitici Federesinde ayrıca, mermi yolu hesaplamalarında kullanılan ortam bilgileri de tutulmaktadır.

İleri Gözetleyici Federesi eğitilecek olan ileri gözetleyici tarafından kullanılacak ve hedefleri tespit ve atışları tanzim edecektir

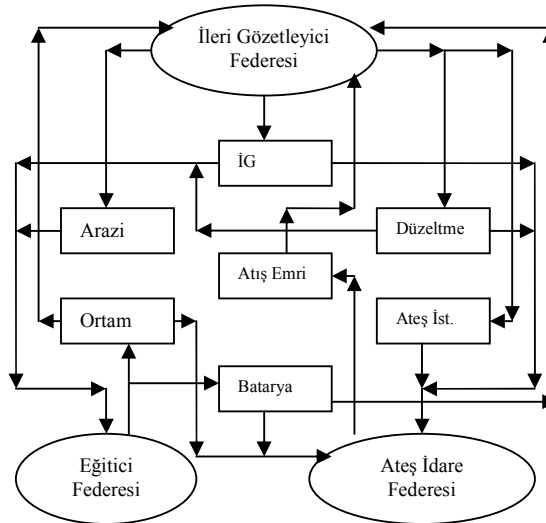
Ateş İdare Federesi, İleri Gözetleyiciden aldığı bilgileri işleyerek atış değerleri elde edecek ve ayrıca bir Batarya Federesi oluşturulmadığından atış işlemini gerçekleştirecektir.

Federeler arasındaki veri akışı kablolu veya kablosuz yerel ağ üzerinde çalışan RTI aracılığı ile sağlanmaktadır. Federeler ihtiyaç duydukları özel verileri kendilerine ait veri tabanlarından alırlar ve paylaşılan verileri RTI aracılığıyla birbirlerine gönderirler. Federasyonun genel yapısı Şekil.1 de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Federasyon genel tasarımı.

Federe arayüzleri C++ dilinde nesne yönelimli tekniklerle yazılmış olup federeler tarafından kullanılan nesne sınıfları Batarya, Mermi, İleri Gözetleyici, Ateş İsteği, Atış Düzeltmesi, Ortam ve Arazi olarak adlandırılmıştır. Bu nesne sınıfları ve federeler arasındaki veri aktarımı genel olarak Şekil-2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Federasyonun gönderme/alma (publish/subscribe) diyagramı. Okların çıkış noktası göndereni, giriş noktası da alanı ifade etmektedir.

Yukarıda sözü edilen nesnelerin içerdikleri bilgiler aşağıda belirtilmektedir.

4.1. İleri Gözetleyici

İG X Koordinatı,

İG Y Koordinatı,

İG Rakımı,

İG Tanıtım Kodu,

4.2. Batarya

Batarya X Koordinatı,

Batarya Y Koordinatı,

Batarya Rakımı,

Atış Hattı İstikamet Açısı,

4.3. Atış Emri

Mermi Cinsi

Mermi Miktarı,

Yan,

Yükseliş,

Tapa saniyesi,

Tapa cinsi,

Barut Hakkı,

4.4. Ateş İsteği

Hedef X Koordinatı,

Hedef Y Koordinatı,

Hedef Rakımı,

4.5. Atış Düzeltmesi

Yan Düzeltmesi,

Mesafe Düzeltmesi,

Tapa Saniyesi Düzeltmesi,

4.6. Ortam

Batarya Seviyesi Hava yoğunluğu,

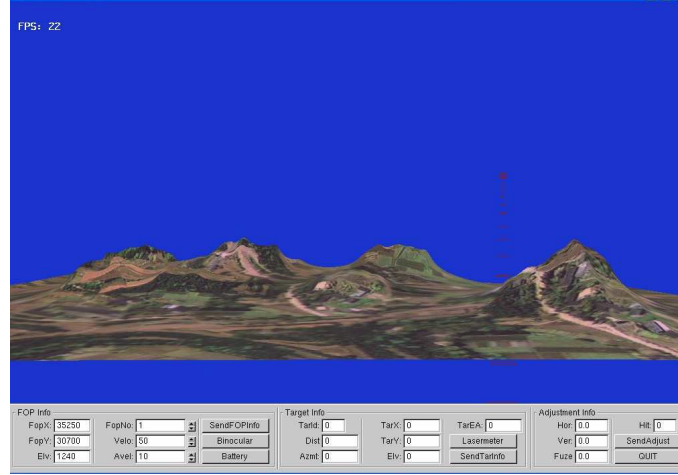
Batarya Seviyesi Hava Sıcaklığı,

5. EĞİTİCİ FEDERESİ

Eğitici Federesi eğitimi yaptıran eğitici tarafından kullanılacaktır.

Eğitici Federesi ortam şartlarını belirleyerek mermi yolu hesabında kullanılan değerleri (hava sıcaklığı, nem durumu, vb.) etkileyebilecektir. Eğitici Federesi aynı zamanda ileri gözetleyicinin kullanacağı arazi modelinin oluşturulması imkanına da sahiptir. Arazi modelinin oluşturulması aşağıda açıklanmıştır.

Arazi Modelinin Oluşturulması: İleri gözetleyicinin kullandığı arazinin modeli tercihe göre 128x128 çözünürlükte 9050x9050 m² genişliğinde veya 256x256 çözünürlükte 12800x12800 m² genişliğinde seçilebilmektedir. Buna göre eğitici, gözetleyicinin kullanacağı arazi modelini klavye tuşlarını kullanarak inşa edebilmektedir. Oluşturulma aşamasındaki bir arazi modeli (256x256 çözünürlükte) Şekil 3’de gösterilmiştir.



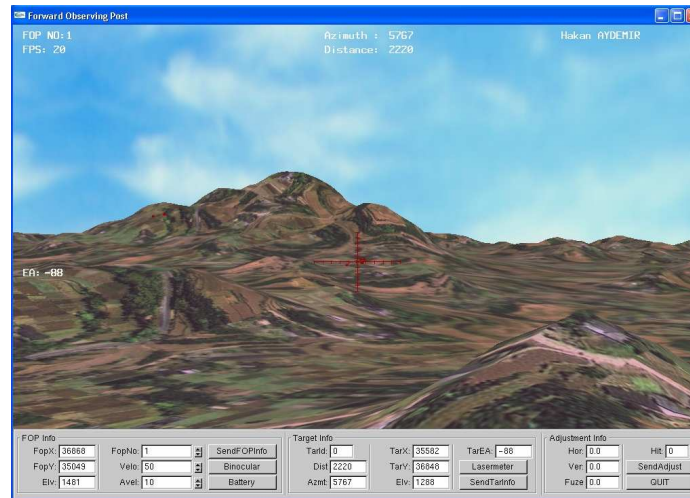
Şekil 3. Arazi modeli oluşturulması.

6. İLERİ GÖZETLEYİCİ FEDERESİ

İleri Gözetleyici Federesinin iki görevi vardır. Biri hedef tespiti, diğeri atışlara uygulanacak düzeltmelerin hesaplanması ve bildirilmesidir.

6.1. Hedef Tespiti: İleri gözetleyici arazi üzerindeki herhangi bir noktanın veya hedefin mesafesini, istikamet açısını, yükseklik açısını ve koordinatlarını lazermetresini kullanarak ölçebilmektedir. İleri gözetleyici, dürbün konumuna geçerek hedefi daha büyük görebilmekte ve istediği noktalar arasındaki aralık açısını ölçebilmektedir. İleri gözetleyicinin hedef tespiti Şekil 4'te, aynı hedefin dürbünle görüntüsü ise Şekil 5'te gösterilmiştir.

İleri Gözetleyici Federesinde kullanıcı aynı anda 10'a kadar ileri gözetleyici çıkararak aynı noktayı veya hedefi değişik noktalardan ve değişik açılardan gözetleyebilmektedir.



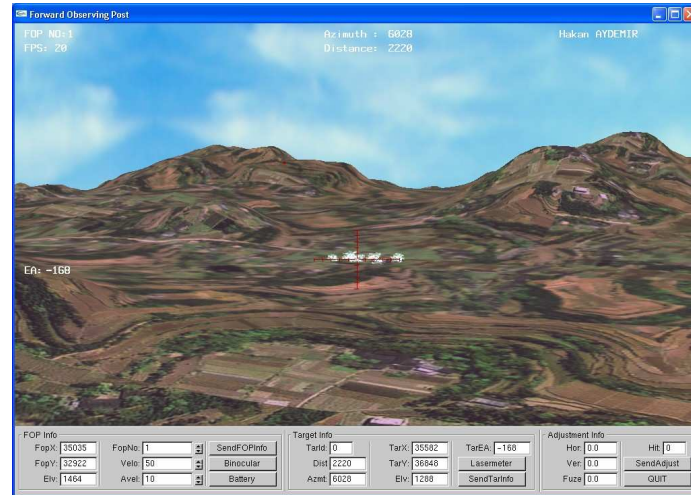
Şekil 4. Hedef tespiti



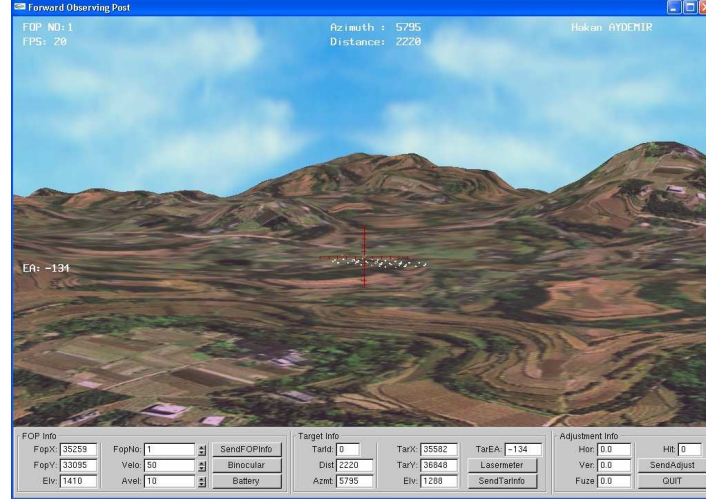
Şekil 5. Hedefin dürbünle görüntüsü

6.2. Düzeltme: İleri gözetleyici hedefleri tespit ettikten sonra Ateş İdare Federesine göndermekte, Ateş İdare Federesi de atış esaslarını hesaplayarak atışı yapmaktadır. Mermi yörüngesi hesaplamaları, İleri Gözetleyici Federesi içine yerleştirilmiştir. Merminin yere teması anında patlama olmakta ve ileri gözetleyici patlamanın olduğu nokta ile hedef arasındaki mesafeyi değerlendirerek Ateş İdare Federesine bildirmektedir. 6 topla yapılan bir tesir atışı esnasındaki hassas patlamanın örneği Şekil 6’da gösterilmiştir.

Atışlar hassas tapa veya ihtiraklı tapa ile yapılabilir. İhtiraklı tapa ile yapılan atışlarda ileri gözetleyici paralanma yüksekliğini de ölçerek Ateş İdare Merkezine bildirmektedir. Aynı noktaya yapılan bir grup atışının ihtiraklı paralanması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 6. Grup atışı, hassas paralanma.



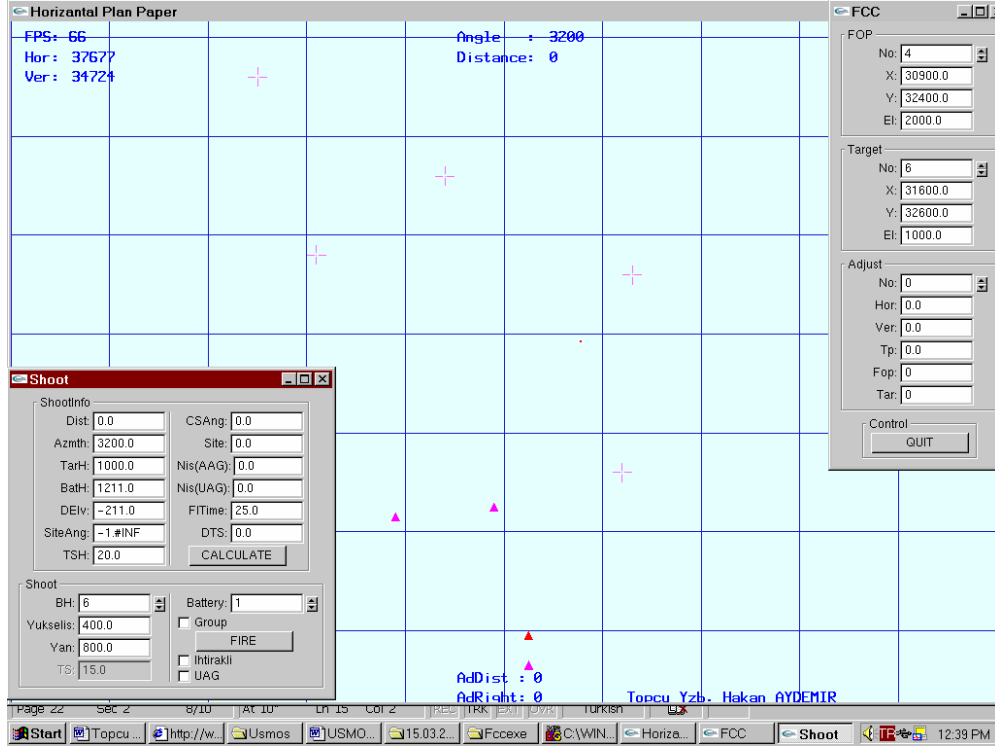
Şekil 7. Grup atışı, ihtiraklı paralanma.

7. ATEŞ İDARE MERKEZİ FEDERESİ

Ateş İdare Merkezi Federesi kullanıcısı, İleri gözetleyicinin gönderdiği hedeflerin bilgilerini, ileri gözetleyicilerin yerini, ve bataryanın yerini yatay plan kağıdına işleyerek hesaplamalarını yapmaktadır. Ateş İdare Federesi kullanıcı arayüzü Şekil 8’de gösterilmiştir.

Ateş İdare Merkezi Federesi atış esaslarını hesaplamakta ve bu değerlerle atışı icra etmektedir.

Ateş İdare Merkezinin atış hesaplarında kullanılmak üzere geliştirilen balistik model ile 105 mm’lik M101 A1 obüsüne ait Adedi Atış Cetveli değerleri %99 doğrulukla hesaplanabilmektedir. Geliştirilen balistik model İleri Gözetleyici Federesinde mermi yolu hesaplamalarında da kullanılmaktadır.[5]



Şekil 8. AİM yatay plan kağıdı.

8. SONUÇ

Topçu Atış Timi Simülasyon Sisteminin, sahip olduğu özellikler nedeniyle, kısıtlı bilgisayar olanaklarına sahip topçu ve havan birliklerinde eğitim maksatlı olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

Ayrıca Topçu Atış Timi Simülasyonu kullanılarak topçu atışına etki eden; bataryanın yanlış tevcih edilmesi, batarya yerinin hatalı girilmesi, ileri gözetleyicinin yerinin hatalı bildirilmesi gibi hataların merminin düştüğü noktaya ne kadar etki edeceği de tespit edilebilecektir.

KAYNAKÇA

- [1] www.havelsan.com.tr/urun_44.htm
- [2] KKT-6-30 Gözetlemeli Atış Usülleri.
- [3] KKT-6-40 Sahra Topçusu Atış Talimnamesi.
- [4] F Kuhl, F., Weatherly, R., Dahmann, J. 'Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to High Level Architecture', Prentice Hall, 2000..
- [5] Doç.Dr. Mehmet AKÇAY, Balistik, 1993.

KAİDEYE MONTELİ STİNGER EĞİTİM SİMÜLATÖRÜ

Ersel Ercek^(a), Mehmet Fatih Uluat^(a), Halil Kolsuz^(b)

^(a) ASELSAN, Mikrodalga ve Sistem Teknolojileri Birimi,
{eercek, mfuluat}@mst.aselsan.com.tr

^(b) METEKSAN, Simülasyon ve Görsel Sistemler Birimi, halil.kolsuz@sgs.meteksan.com.tr

ÖZ

Kaideye Monteli Stinger Eğitim Simülatörü (KMS-ES), ülkemizin ilk milli alçak irtifa hava savunma sistemleri olan Zıpkın ve Atılğan'ı kullanacak operatörlerin hızlı ve etkin biçimde eğitilmesi amacıyla hazırlanmış bir eğitim simülatörüdür. KMS-ES' i benzeri simülatörlerden ayıran en büyük özelliği nişancı performansına ve kabiliyetlerine özel, uygulama ile eş zamanlı şekillendirilebilir eğitim süreci tanımlanabilmesidir.

KMS-ES, Eğitimci Konsolu ve Nişancı Konsolu olmak üzere, iki temel alt birimden oluşmaktadır. Eğitimci Konsolu eğitim sürecinin tanımlanmasından, Nişancı Konsolu ise sürecin operatörlere uygulanmasından sorumludur. KMS-ES eğitim süreçlerini oluşturan sunum, test, bilgisayar etkileşimli eğitim, üç boyutlu (3B) operasyonel ortam senaryoları, değerlendirme ve raporlama uygulamaları ile komple bir sistem çözümü sunmaktadır.

KMS-ES sistem geliştirme sürecinde, Kullanım Durumları Konseptine dayalı analiz yaklaşımı, UML (Unified Modelling Language) metodolojisi ve nesneye dayalı tasarım mimarisi benimsenmiştir. KMS-ES yazılım/donanım konfigürasyon tasarım birimlerinin sahip olduğu taşınabilirlik, birlikte kullanılabilirlik, değiştirilebilirlik kabiliyetleri ile geliştirilmesi planlanan KMS-ES gömülü simülatörü, KMS (Kaideye Monteli Stinger) sahra test düzeneği, vb. benzeri modelleme ve simülasyon ihtiyacı olan sistemlere temel teşkil etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eğitim Simülatörü, Simülasyon, Gömülü Simülatör

PEDESTAL MOUNTED AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM TRAINING SIMULATOR

ABSTRACT

Pedestal Mounted Air Defence Missile System Training Simulator (PMADS-TS) is a training simulator which was developed to train the operators of Zıpkın and Atılğan in a rapid and effective way. The most significant feature of PMADS-TS is defining customizable simulations and training processes specific to gunner's performance and capabilities.

PMADS-TS have two sub-unit; instructor and gunner console. The instructor console is responsible from creating training processes, applying these processes to gunners is the responsibility of gunner console. PMADS-TS provides a complete system solution by including presentations, tests, computer interactive educations, three dimensional (3D) operational scenarios and reporting utilities.

Through the development of PMADS-TS, Use Case Analyze concept, Unified Modeling Language (UML) methodology and Object Oriented Design (OOD) has been adopted. The next generation PMADS-TS which is planning to have reusable, portable and

interoperable configuration design units of software and hardware infrastructure let PMADS-TS used as Pedestal Mounted Air Defence Missile System (PMADS) scene test setup and become a framework for forthcoming similar simulators.

Keywords: Training Simulator, Simulation, Embedded Simulator

1. GİRİŞ

KMS Sistemleri; Zıpkın ve Atılğan (Şekil 1), ana silah olarak STINGER füzelerini kullanan ülkemizin ilk milli alçak irtifa hava savunma sistemi'dir. Alçak irtifa hava savunma sistemlerinde kısa reaksiyon süresi ve atışlarda isabet kaydedilmesinin büyük önem taşıması nedeniyle, KMS Sistemi tüm fonksiyonları en üst teknolojiye sahip bilgisayarlar tarafından kontrol edilecek şekilde tasarlanmıştır. Ancak isabetli atışlar gerçekleştirmek için, diğer silah sistemlerinde olduğu gibi KMS Sistemi'nde de operatörün doğru zamanda doğru kararları vererek sisteme kumanda etmesi gereklidir. KMS Sistemi'nde sunulan ve bilgisayarlar tarafından yerine getirilen birçok fonksiyonun, isabetli atışlarla sonuçlanması için eğitim almış ve tecrübeli operatörlerin KMS Sistemi'ne kumanda etmesi gerektiği unutulmamalıdır.



Şekil 1. KMS Sistemleri Atılğan(Solda), Zıpkın(Sağda).

KMS Sistemi operatörlerinin sürekli olarak eğitimini sağlamak üzere şu seçenekler gündeme gelebilir; KMS Sistemi'nde STINGER Füzesi Captive Flight Trainer (CFT) kullanarak, gerçek uçak/helikopter uçuşları ile eğitim çalışmaları düzenlemek veya KMS Sistemi'nde STINGER Füzesi Captive Flight Trainer (CFT) kullanarak, yeterli IR enerjiye sahip hedef uçaklarla (Target Drone) düzenlenen uçuşlar ile eğitim çalışmalarının yapılması.

Ancak, bu seçenekler:

- Eğitim maliyetinin oldukça yüksek olması,
- Bir kısım senaryoların (çoklu saldırı, karşı karşıya geçen hedefler, günün değişik saatlerinde ve yılın değişik dönemlerinde uçuşlar vb.) oluşturulmasının çok zor ya da neredeyse imkansız oluşu,
- KMS Sistemi ve uçak/helikopterlerin aktif olarak kullanımını gerektirmesi,
- Testlerin tekrarlanabilirliğinin düşük olması, operatörlerin ortak şartlarda değerlendirilememesi ve zaman içerisinde kaydedilen ilerlemelerin gözlenememesi, gibi nedenlerden ötürü tercih edilmemektedir.

KMS-ES yukarıda bahsedilen tüm zorlukları gidermek üzere tasarlanmıştır. KMS-ES Sistemi Nişancı performansına ve kabiliyetlerine özel, tekrarlanabilir, uygulama ile eş zamanlı şekillendirilebilir eğitim süreci tanımlama kabiliyeti ile maliyet etkin ve doğrudan Nişancı performansına yönelik eğitim çözümü sunmaktadır.

2. KAİDEYE MONTELİ STİNGER EĞİTİM SİMÜLATÖRÜ

KMS-ES Sistemi'nin birincil hedefi Nişancı'nın KMS Sistemi konfigürasyonları ile iletişimini sağlayan Sistem Kumanda Birimi (SKB)'ni kullanarak, KMS Sistemi'nin yeteneklerini en etkin şekilde komuta etmesini sağlamaktır. Ayrıca KMS-ES ile KMS Sisteminin bir hedefe yönlendirilmesinden başlayarak, ateş anına kadar olan tüm işlemlerin açıklanması ve simülatör üzerinde, olası her türlü koşullar altında denemelerin yapılması, her çeşit senaryonun (çoklu saldırı, karşı karşıya geçen hedefler, günün değişik saatlerinde ve yılın değişik dönemlerinde ve değişik arazilerde uçuşlar, beklenmedik durumlar ve arızalar vb.) kolaylıkla oluşturulabilmekte ve belirli senaryolar karşısında Nişancı performansının ölçülmesi ve değerlendirilmesi sağlanmaktadır. Bütün bunların sonucu olarak, gerçek füze, uçak ve helikopterler kullanılmadan KMS Sistemi Nişancı eğitimi düşük maliyetle gerçekleştirilmektedir.

2.1. KMS-ES Donanım Birimleri

KMS-ES, Eğitimci ve Nişancı konsolu (Şekil 2) olmak üzere iki temel alt birimden oluşmaktadır. Bu iki birim normal eğitim sırasında beraber olarak kullanılabilmesinin yanında birbirlerinden bağımsız olarak da kullanılabilmekte ve ilerde bahsedeceğimiz birçok kabiliyeti bağımsız olarak sunabilmektedir. Sistemin donanım blok şeması şekil 3 de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. KMS-ES Eğitimci (solda) ve Nişancı Konsolları (sağda).

Eğitimci konsolunda aşağıda belirtilen birimler bulunmaktadır:

İş İstasyonu: Yüksek işlem kapasitesine ve üstün grafik özelliklerine (vertex shading vb.) sahip iş istasyonu üzerinde çalışan Uygulama Yazılımı ile Eğitimci'nin senaryoları üretmesi, eğitimin ve senaryoların akışına yön vermesi sağlanmaktadır. Eğitim sonucunda; Nişancı performans bilgilerinin oluşturulması, değerlendirme sonuçlarının ekranda sunulması, veri tabanında saklanması ve gerektiğinde yazıcıdan dökümünün alınması gibi işlemler yapılmaktadır.

Paralel Monitör: Nişancının Sistem Kumanda Birimi ekranında izlemekte olduğu görüntünün, doğrudan Eğitimci tarafından izlenmesine olanak sağlamak üzere kullanılmaktadır.

Yazıcı: Eğitim almakta olan operatörün, değişik senaryolar karşısında gösterdiği başarıya ilişkin Değerlendirme Raporu'nun ve Sistem İçi Test (SİT) sonucunun bastırılması için kullanılmaktadır.

Video Kayıt Cihazı: Nişancının değerlendirilmesi amacıyla Sistem Kumanda Birimi (SKB) ekranındaki görüntünün eş zamanlı olarak kayıt edilmesi için kullanılmaktadır.

Başlık Takımı: Eğitimci'nin eğitim almakta olan Nişancı ile iç konuşma yapması ve istediği takdirde sistem tarafından üretilen diğer sesleri dinleyebilmesi için kullanılmaktadır. İki konsol arasında gerek eğitim sürerken gerekse normal zaman da iletişimi sağlayan iç konuşma yeteneği Voice Over IP (VoIP) teknolojisi kullanılarak geliştirilmiştir.

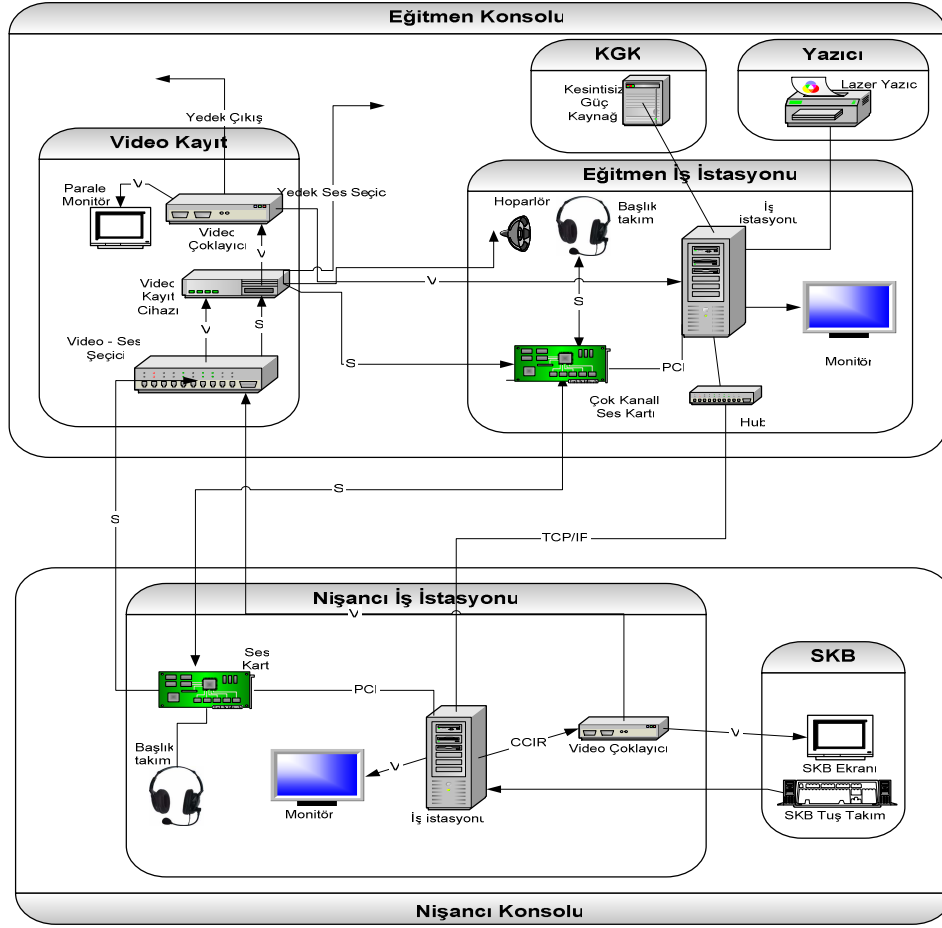
Hoparlör: İç konuşma, sistem tarafından üretilen sesler ile ortamdaki seslerin (Uçak, Helikopter, STINGER füzesi, Makineli Tüfek vb.) harici olarak duyulmasını sağlamak üzere kullanılmaktadır.

Nişancı konsolunda ise aşağıda belirtilen birimler bulunmaktadır:

İş İstasyonu: Nişancı İş İstasyonu, üzerinde çalışan Uygulama Yazılımı ile Eğitimci konsolu tarafından oluşturulan eğitim süreçlerini ve senaryoları çalıştırmaktadır.

Sistem Kumanda Birimi (SKB): KMS Eğitim Simülatörü'ndeki Sistem Kumanda Birimi (SKB), KMS Sistemlerinde bulunan ile tamamen aynıdır ve hiçbir ek gayret gerektirmeden kullanılabilir. Bunun sonucu olarak eğitim alan Nişancı KMS Sistemi'ni kullanmaya başladığında hiç bir yabancılık çekmeyecek ve sistemin kumanda edilmesini sağlayan tüm anahtar, tuş, kabza ve kumanda kollarının fonksiyonlarını bildiği için doğrudan sistemi işletmeye başlayabilecektir.

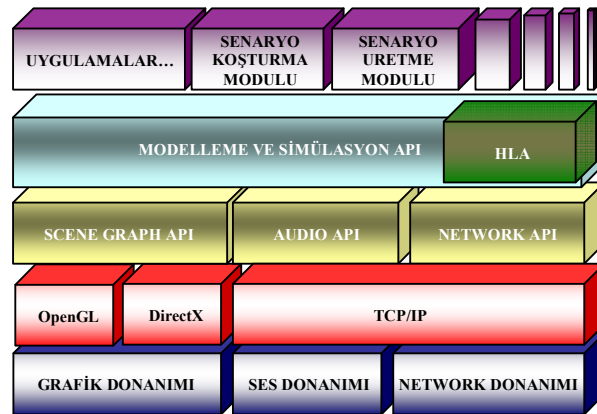
Başlık Takımı: Nişancı'nın Eğitimci ile iç konuşma yapması ve KMS Sistemi tarafından üretilen IFF Tonu ve STINGER Füze sesini ve senaryo ortam seslerini dinlemek için kullanılmaktadır.



Şekil 3. KMS-ES Sistemi Donanım Blok Şeması.

2.2. KMS-ES Yazılım Mimarisi

KMS-ES Sistemi Yazılım Konfigürasyon Birimleri Şekil-4’de gösterildiği gibi nesne tabanlı, taşınabilir ve tekrar kullanılabilir modüllerden oluşan katmanlı bir mimariye sahiptir. Ayrıca KMS-ES Yazılım Blok Şeması Şekil-5’te gösterilmiştir.



Şekil 4. KMS-ES Sistemi Yazılım Katmanları.

Eğitmen ve Nişancı konsollarını oluşturan yazılım konfigürasyon birimleri, mekanik donanım ve elektronik donanım konfigürasyon birimlerinde olduğu gibi her iki konsolda da ortak mimari üzerine inşa edilmeye çalışılmış ve geliştirilmeleri sırasında birbirlerinin yerine kullanılabilmeleri hedeflenmiştir.

Modüller Microsoft® Windows işletim sistemi üzerinde C++ programlama dili kullanılarak geliştirilmiş olmasına rağmen açık sistem mimarisi ile (OpenGL, Scenegraph, vb.) tasarlandığından platformlar arası (Cross-Platform) kolaylıkla aktarılabilir. Simülatör içerisindeki üç boyutlu görüntüler ve senaryo içerisinde bulunan verileri tutan yapı VSG™ (Vega Scenegraph) Multigen Vega Prime™ kullanılarak oluşturulmuştur. Eğitmen ve Nişancı konsolları yazılım ana alt modülleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1 Eğitmen Konsolu:

a) Sistem İçi Test (SİT) Modülü:

Sistem İçi Test (SİT) Modülü, eğitmen ve nişancı konsollarında bulunan donanım birimlerinin ve nişancı ile eğitmen arasındaki iletişimi sağlayan donanım birimlerinin test edilmesini ve elde edilen sonuçların raporlanmasını sağlayan modüldür.

b) Bilgisayar Etkileşimli Eğitim (BEE) Modülü:

Bilgisayar Etkileşimli Eğitim (BEE) Modülü, nişancıya uygulanacak sunum, interaktif eğitim ve test formlarının tanımlandığı ve nişancılara uygulamaktan sorumlu olan modüldür. Bu modülde “Microsoft® Office” uygulamalarından ve KMS-ES için bu uygulamalara özel hazırlanmış eklentilerden (add-in) faydalanılmıştır.

c) Senaryo Yönetme Modülü (SYM):

Senaryo Yönetme Modülü (SYM), Eğitmen tarafından üretilen gerçek zamanlı ve üç boyutlu (3B) simülasyon senaryolarını Nişancı'ya uygulamaktan sorumlu olan modüldür. Bu modül ayrıca uygulanan senaryoyla ilgili sayısal, analog ve metin tabanlı kayıtları alabilme ve tekrar izleyebilme yeteneklerini de içinde barındırmaktadır.

d) Senaryo Üretme Modülü (SÜM):

Senaryo Üretme Modülü (SÜM), senaryolardaki araç, çevre koşulları, ses gibi objelerin üretilmesi, böylece nişancıya uygulanacak senaryoların hazırlandığı ve ön izlenebildiği modüldür. SÜM yardımıyla senaryo içerisinde kullanılacak rotaları tanımlamak üzere oluşturulmuş Rota Ara Yüzü (RAY) alt modülü bulunmaktadır. RAY'ın bir diğer görevi de oluşturulan rotaların hedeflere özel aerodinamik benzetimlerinin basit algoritmalarla sağlanmasıdır. Ayrıca SÜM içerisinde bulunan ve senaryo içerisindeki modellerin aydınlatma, gölgelendirme ve desen gibi özelliklerini değiştirme ve görme imkânı sağlayan Model Ara Yüzü (MAY) alt modülü de bulunmaktadır. Sistem “Open Flight™” modellerini kullanmaktadır.

e) Senaryo Değerlendirme ve Raporlama Modülü (SDRM):

Senaryo Değerlendirme ve Raporlama Modülü (SDRM), nişancılara uygulanan senaryoların sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilerek raporlandığı modüldür.

f) Veritabanı Yönetme Modülü (VYM):

Veri tabanı Yönetim Modülü (VYM), sistemle ilgili tanımlamaların (personel, kullanıcı, yetkilendirme, kurum bilgileri gibi) yapıldığı, Eğitmen konsolundaki modüllerde (Test, BEE, vb) yapılan uygulamaların kayıtlarının tutulduğu modüldür.

g) Veri Aktarma Modülü (VAM):

Veri Aktarım Modülü (VAM), sistemdeki kaynakların (senaryolar, modeller, medya kayıtları, BEE kaynakları, veri tabanı yedekleri, diğer kaynaklar) CD/DVD gibi materyallere aktarılacak yedeklenmesinden sorumlu olan modüldür.

2.2.2 Nişancı Konsolu

a) Konsol İçi Test (KIT) Modülü:

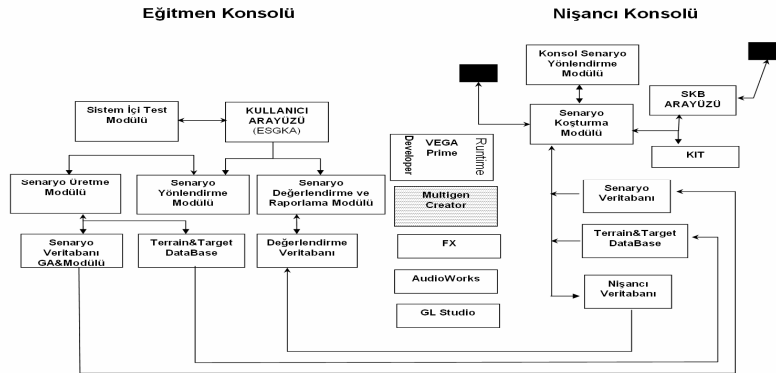
Nişancı konsolunda bulunan donanım alt birimlerini ve bu birimlerin eğitmen konsoluyla arayüzünün testlerinden sorumludur.

b) Senaryo Koşturma Modülü (SKM):

Senaryo Koşturma Modülü (SKM), SÜM tarafından oluşturulan üç boyutlu operasyonel senaryoların nişancı konsolu üzerinde koşturulmasından ve nişancı ile etkileşimi sağlamaktan sorumlu olan modüldür. Bu modülde SKB arayüzü, izlenen hedefin STINGER menziline olup olmadığını hesaplayan algoritma, komuta kontrol merkezinden gelen hedeflere yönelme sırasında uygulanacak denetleçler gibi arayüz ve algoritmalarının birebir aynısı kullanılmaktadır.

c) Konsol Senaryo Yönetme (KSY) Modülü:

Bu modül eğitmen konsolunda bulunan SYM modülünün, Nişancı konsolunun tek başına yapacağı çalışmalar için sadeleştirilmiş halidir.



Şekil 5. KMS-ES Sistemi Yazılım Blok Şeması.

3. KMS-ES ve GÖMÜLÜ SİMÜLATÖRLER

3.1. Gömülü Simülatörler

Gömülü simülatör, gerçek aracın sahip olduğu donanım veya yazılım birimleri ve gerekli minimum ek simülatör birimleri kullanarak, kullanıcının araç içerisinde, istenilen yerde hızlı ve gerçekçi bir eğitim almasına olanak sağlayan simülatör

teknolojisi. Gömülü Simulatörlerdeki ana motivasyon daha küçük, daha ucuz ve kolay taşınabilen eğitim sistemleri ile operasyon yerinde eğitim sunmaktır.

Gömülü simulatörlerin getirdiği birçok fayda vardır. En önemli faydası ise gerçek araç içerisinde, aracın kendisinin sunduğu birimler aracılığıyla verilen yüksek gerçekçiliğe sahip eğitim sonucu artan yüksek öğrenme kalitesi ve unutma sürecinin yavaşlamasıdır. Gereksiz donanım birimleri, gereksiz simulatör bakım elemanları ve taşıma maliyetlerinin ortadan kalkması sonucu toplam maliyetin düşmesi de gömülü simulatörlerin sağladığı bir diğer faydadır. Taşınabilirliğin artırılması sonucu, eğitim gereçleri araç ile sahraya kolaylıkla taşınarak, istenilen yerde, istenilen şekilde eğitim verilebilmektedir. Ayrıca gerçek zamanlı operasyonlar için önceden elde edilen veriler ışığında operasyonun başarı yüzdesi artmakta ve yeni ortaya çıkan operasyonlar, tatbikatlar için operasyon yerinde hızlı ve kısa sürede hazırlanma ve tekrar etme olanağı bulunmaktadır.

Gömülü simulatörleri geliştirilme şekillerine göre üçe ayırabiliriz (örnek sistemler için Şekil 6'ya bakınız)[1, 2]. Bunlardan ilki tekil gömülü (stand-alone embedded) simulatörlerdir. Bu tür simulatörlerde işlemleri gerçekleştirecek birimler ayrı bir alt sistem olarak veri, güç ve video yoluyla gerçek sisteme bağlanır. Bu yöntem hazırda geliştirilmiş olan sistemlere simulatör desteğini eklemek için birebirdir ve gömülü simulatör teknolojisini kullanmanın en kolay yoludur. İkinci yöntem ise eklentili gömülü (appended embedded) simulatörlerdir. Bu yöntemle hazırlanan sistemler kendi birimleri yanında gerçek aracın birimlerini de kullanmakta ve ilk yöntemle göre daha küçük ve daha az maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Simulatör birimleri, sistemden bağımsız taşınabilmekte ve gerektiği zaman araca takılabilmekte, gerekmediğinde ise çıkarılabilmektedir. Üçüncü ve en son yöntem ise tamamen gömülü (fully embedded) sistemlerdir. Bu sistemlerde simulatör birimleri gerçek aracın sahip olduğu yazılımsal ve donanımsal kaynakları paylaşmakta ve tamamen araç içerisinde bulunmaktadır. Bunun sonucunda simulatör birimleri gerçek araca entegre halde üretilebilecektir. INVEST (Inter-Vehicle Embedded Simulation Technology) benzeri birçok çalışma tamamen gömülü simulatörler (fully embedded) üzerine yoğunlaşmıştır [3].



Şekil 6. Solda Bradley (tamamen gömülü simulatör teknolojisini desteklemekte), Sağda M1A1 Abrams Tank ve A-FIST XXI Simulatörü (eklentili gömülü simulatör) [4].

3.2. KMS-ES ve Gömülü Simulatörler

KMS-ES sistemi saydığımız birçok kabiliyetinin yanında gömülü simulatör olarak adlandırılan ve son yıllarda simülasyon dünyasında önemli bir yer edinen bu teknoloji göz önünde bulundurularak yapılandırılmıştır. Tasarım ve analiz aşamaları tamamlanmış, üretim safhasına gelmiş hâlihazırda KMS-ES sistemi yazılım mimarisi taşınabilirlik ve tekrar kullanılabilirlik açısından değerlendirildiğinde gömülü sistemler için oldukça uyumludur.

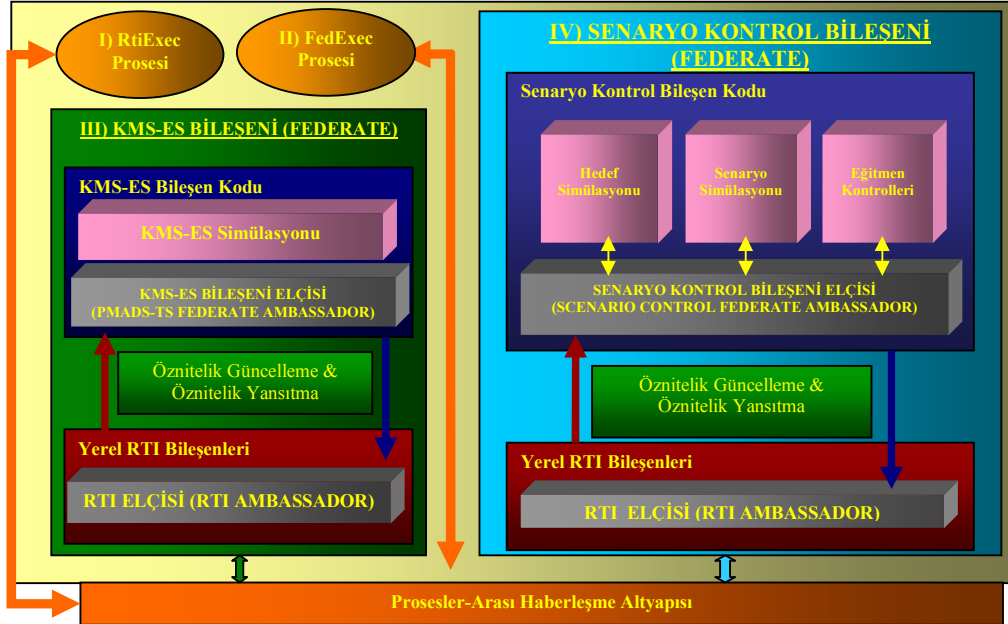
Bir önceki başlıkta da bahsettiğimiz üzere bu alandaki son gelişmeler gömülü simülasyon sistemleri ile gerçek araç malzemesinin paylaşılması yönündedir. Mevcut KMS-ES sistemlerinde kullanılan Sistem Kumanda Birimleri'nin, KMS sistemlerinde kullanılan SKB'ler ile birebir aynı olması sayesinde KMS-ES Sistemi eklentili gömülü simülatör (appended embedded) sınıfında değerlendirilebilir (Şekil 7).



Şekil 7. KMS-ES Sisteminin gömülü simülatör olarak kullanılması.

4. II. NESİL KMS-ES

Bir eğitmen ile bir nişancının koordineli olarak çalıştığı 1. Nesil KMS-ES Sistemi donanım ve yazılım konfigürasyon birimlerinin sahip oldukları altyapı ile 2. Nesil KMS-ES konfigürasyonunu desteklemektedirler. 2. Nesil KMS-ES Sistemi çalışmaları kapsamında High Level Architecture (HLA) [5] desteği, birden farklı tipte nişancı konsolu desteği ve bu konsolların birlikte çalışabilirliği ön planda tutulmaktadır. Tasarım çalışmaları devam eden HLA tabanlı 2. Nesil KMS-ES Sistem mimarisi Şekil 8 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere herhangi bir nişancı konsolu eğitmen konsolu görevlerini üstlenebilecek ve federasyonun yönetiminden sorumlu olabilecektir.



Şekil 8. 2. Nesil KMS-ES Sistem Mimarisi.

5. SONUÇ

KMS-ES Sistemi, ZIPKIN ve ATILGAN konfigürasyonlarında Nişancı olarak görev alacak personelin eğitim ihtiyaçlarını karşılamak için geliştirilmiş bir simülatördür. KMS-ES Sisteminin temel amacı, Nişancı'nın KMS-ES Sistemi konfigürasyonları ile SKB'ni aynen kullanarak, KMS Sistemi'nin yeteneklerini en etkin şekilde komuta etmesini sağlayacak eğitimin etkin ve kısa zamanda, düşük maliyetli bir şekilde sunulmasıdır. KMS-ES bünyesinde barındırdığı zengin interaktif ve etkileşimli eğitim seçenekleri ile her türlü operasyona uygun geliştirilebilen sanal senaryolar ile bu kapsamlı eğitim amacını karşılamaktadır. Ayrıca son zamanlarda simülatör alanında yapılan çalışmaların yoğunlaştığı gömülü simülatör teknolojisi de, KMS-ES in mevcut yazılım ve donanım alt yapısı sayesinde desteklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Bunker, P., McAfee, T., Lee, T., (2002), *Next Generation Vehicle Architecture for Embedded Simulation*, <http://www.quantum3d.com/PDF/whitepapers/IVSS-2002-MAS-06.pdf>.
- [2] Riley, M., (2000), *An Evolutionary Approach to Embedded Training*, pp.1446-454, I_ITSEC 2000, Orlando, Florida.
- [3] INVEST(Inter-Vehicle Embedded Simulation Technology), (2001), University of Central Florida, Institute for Simulation and Training, <http://dart.ist.ucf.edu/dart/EMB/index.html>
- [4] U.S. ARMY PEO STRI Program Executive Office for Simulation, Training and Instrumentation, (2004), <http://www.peostri.army.mil/>
- [5] High Level Architecture (HLA), 2005, United States Department of Defense, Defense Modeling and Simulation Office, <https://www.dmsomil/public/transition/hla/>.

Poster Sunumları

KARA HAVACILIĞINDAKİ PİLOT EĞİTİMİNDE GERÇEK HAVA ARACI VE TAM UÇUŞ SİMÜLATÖRLERİ ARASINDA UÇUŞ EĞİTİM ORANLARININ BULUNMASI

Taner ALTINOK ^(a), Aydın LAFCI ^(b), Doğan KARADOĞAN ^(c), Filiz ERSÖZ ^(d)

^(a) Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, taltinok@kho.edu.tr

^(b) Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, lafciaydin@yahoo.com

^(c) Kara Kuvvetleri Lojistik Başkanlığı, capkaradogan@hotmail.com

^(d) Kara Kuvvetleri Genel Plan ve Prensipier Başkanlığı, fersoz@kkk.tsk.mil.tr

ÖZ

Uçuş eğitimi, bilinen en maliyetli, riskli ve çok yönlü eğitimlerden biridir. Uçuş simülatörleri, eğitimlerde karşılaşılabilecek zorlukları, maliyetleri ve riskleri azaltacak çok önemli araçlardır. Teknolojinin baş döndürücü hızı simülatörlerin geliştirilmesinde de kendini göstermiş ve ulaşılan bugünkü durumda, simülatör uçuşunun gerçek bir uçuştan neredeyse farkı kalmamıştır. Önemi ve faydası bütün dünyada kabul edilen simülatörler, hem pilot adaylarının temel uçuş eğitimlerinde, hem de yetişmiş pilotların tekâmül safha eğitimlerinde büyük bir etkinlikle kullanılmaktadır. Bu nedenle, gerçek hava aracında uçuş ile simülatör uçuşu arasında maliyet etkin bir kullanım için en uygun uçuş oranlarının belirlenmesini bir zorunluluk olarak ortaya koymuştur. Çünkü havacılıkta bazı eğitimlerin gerçek hava aracında, bazılarının simülatörde ve bazılarının da her ikisinde yapılması gerekmektedir. Yapılan inceleme çalışmasında, simülatör konusunda yurt içinde ve dışında tecrübesi olan kullanıcı pozisyonundaki tecrübeli pilotlarla görüşülmüş ve anket uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, eğitimlerin % 49,18'inin gerçek hava aracında ve % 50,82'sinin simülatörde yapılmasının en maliyet etkin çözüm olacağı sonucunu vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Eğitim, Helikopter, Pilot, Simülatör, Uçuş, Uçuş Oranı.

FINDING THE FLIGHT TRAINING RATIO BETWEEN REAL AIRCRAFT AND FULL FLIGHT SIMULATORS IN ARMY AVIATION PILOT TRAINING

ABSTRACT

Flight training is known as one of the most expensive, risky and versatile training among all types of training. Flight simulators are very important devices that reduce the difficulties, costs and risks, which are supposed to be encountered in trainings. The astounding speed of technology denotes itself in developing simulators and currently, almost no significant difference left between simulators and the real aircraft. Simulators, with their accepted importance and benefits, are used effectively in both ab initio trainings of pilot candidates and advanced phase trainings of experienced pilots. Hence, an effective trade-off between simulators and the real aircraft must be established, because some phases of training in aviation should be executed in the real aircraft, some in the simulators, and some in both. In the research study, interviews with the experienced pilots, as end users, who have direct observation of and participation in simulator flights in and out of the country were made and a questionnaire was applied.

The results which were established give that designation 49,18% of the flight training curriculum in the real aircraft, and the 50,82% in the simulators will be the most cost effective solution..

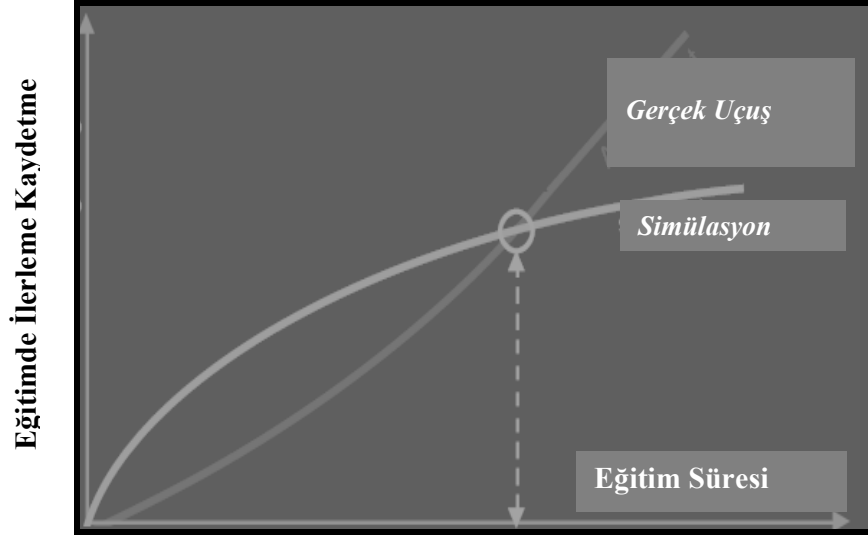
Keywords: Flight, Flight Ratio, Helicopter, Pilot, Simulator, Training.

1. GİRİŞ

Uçuş eğitimi, eğitimlerin en maliyetli olanıdır. Bir pilota uçmayı yerde, sınıfta anlatarak öğretmek mümkün değildir. Bir pilotun uçuşu uygulayarak, yaşayarak öğrenmesi, bunun için de uçuşu gereklidir. Pilot eğitiminin etkin olarak yapılabilmesi için önümüzde iki seçenek vardır: 1) Tüm maliyetleri göze alıp, bütün uçuş eğitim safhalarının, mümkün olduğunca gerçek hava aracında yapılması, 2) Gerçek uçuş gibi olmasa da, gerçeklik hissini veren, yüksek teknoloji ürünü uçuş simülatörleri ile uçuşması. Aslında, bu iki seçeneği birbirinden ayrı düşünmek pek mümkün değildir. Çünkü, havacılıkta ve özellikle helikopter uçuşunda bazı eğitimlerin gerçek hava aracında yapılması çok riskli, bazı eğitimlerin yapılması ise imkansızdır. Bu eğitimleri simülatörde yapmak emniyet açısından bir zorunluluktur. Gelişmiş uçuş simülatörlerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksekliği yanında işletme ve bakım giderleri de az değildir. Bir D seviyesi tam uçuş simülatörünün ilk kurulum maliyeti 14-15 milyon ABD Dolarıdır. Ayrıca, uçuş saati maliyeti 300 ile 1.200 ABD Doları arasındadır [1]. Kısacası simülatörler de bedava değildir ve kullanımlarının maliyet etkin planlanması gerekir. Ama kısa sürede kendilerini amorti ettikleri bir gerçektir.

Bunun dışında bazı kritik emercensilerin (acil durumların) eğitimi ise helikopterde ancak “benzetilmiş” olarak yapılabilmektedir. Bazı eğitimlerin ise, simülatörlerin kapasitesi, efekt kabiliyetleri ve gerçeklik seviyesi çerçevesinde hem hava aracında, hem de simülatörde yapılması mümkün olsa bile, teknolojik kabiliyetlerin sınırlaması ve psikolojik bazı gerekçelerle hava aracında yapılması gereklidir. Bu nedenlerle, pilotların uçuş eğitimlerinde hava aracı ile simülatör uçuşlarının ne oranda kullanılması gerektiğinin belirlenmesi gerekir.

Literatürde konuyla ilgili fazla kaynak yoktur. Mumbai-Hindistan’da yapılan bir konferansta [2] uçuş oranlarından söz edilmiştir. Bu oranlar; başlangıç eğitimlerinde % 30, tip intibaklarında % 80 ve üstü, alet uçuşunda % 50, seyrüsefer ve arazi uçuş eğitimlerinde yine % 50 ve görev eğitimlerinde niteliğe bağlı olarak % 30 ile 80 arası değişen rakamlardır. Bu oranların belirlenmesindeki kriterler; Şekil 1’de gösterilen, uçuş eğitimindeki ilerleme hızı ve uçuş süresidir.



Şekil 1. Fransız Havacılık Eğitimi Konseptinde Oranın Belirlenmesi

Şekil 1'deki grafik eğimlerinin neye göre hesaplandığı belirtilmemiştir. Bu nedenle, simülasyonla eğitim eğrisindeki, uçuş süresine bağlı düşüşün nedeni anlaşılamamıştır. Bu şekil ile uçuş saatlerinin ilişkisi de belirsizdir. Ancak bu veriler, uçuş oranları konusunda yazılan ve uygulanan en somut rakamlardır.

2. UYGULAMAYA AİT YÖNTEM VE BULGULAR

2.1.Yöntem

Uçuş oranları hakkındaki kaynak sıkıntısı, uçuş oranlarını belirlemek için anket yapma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple uçuş oranlarıyla ilgili sorular, 5'li Likert ölçeğine göre (% 100 helikopter [H]-% 0 simülasyon [S]; % 60 [H]-% 40 [S]; % 50 [H]-% 50 [S]; % 40 [H]-% 60 [S]; % 0 [S]-% 100 [S]) yapılandırılmış, 8 uçuş eğitim safhası ve genel uçuş eğitime ait 121 sorudan oluşan bir anketle, 145 pilota yöneltilmiştir.

Anket soruların oluşturulmasında Kara Havacılık Okulunda kullanılan Uçuş Değerlendirme Kılavuzu [3] esas alınmıştır. Bu kılavuzda belirlenen uçuş eğitim safhaları, bir pilot adayının uçmayı öğrendiği başlangıç eğitiminden, görev yaptığı birlikte harbe hazırlık eğitimini aldığı ve muharebe görevlerine gönderileceği tekâmül hava aracı tipinde intibak eğitimini alıncaya kadarki tüm uçuş safhalarını ve eğitim konularını içerir. Soru sayıları her safha içindeki eğitim konusu kadar hazırlanmıştır.

Toplanan verilerin doğruluğu ve temizliği bir kontrol listesine [4] göre yapılmıştır. Bu Seçilen pilotlar, uçuş yılları ve saatleri itibarıyla tecrübeli pilotlardır. Hepsinin simülasyonla tecrübesi vardır. 86 pilot (% 59,3'ü) yurt dışında çeşitli adlar altında uçuş eğitimi, 52 pilot (% 35,86'sı) ise yurt dışındaki bu kurslarda simülasyonla uçuş eğitimi almıştır. Verilerin doğruluğu ve kayıp verilerin tespitinin ardından verilerin aşırı uçları ve normallikleri incelenmiştir. Normallikler; % 95 güven aralığında, Lilliefors testi ile tek örneklem Kolmogorov-Smirnov testleri ile bulunmuştur. Her iki testte de, normallik için anlamlılık düzeyinin (p), $\alpha=0,05$ 'ten büyük olması şartı aranmıştır [5]. Bu işlemlerin ardından üç bölümün analizine geçilmiştir.

2.2. Bulgular

2.2.1. Soruların Güvenirliği

Uçuş eğitim safhalarındaki ilgili hareketleri araştırmak için geliştirilen soruların Alfa (α) güvenilirlik katsayıları (Cronbach's alpha) Çizelge 1'de verilmiştir. Bu değerler, 1,00'e oldukça yakın olduklarından, verilen cevapların çok güvenilir olduğuna [6] ve dolayısıyla uygulamada kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca, her bir değişkenin (sorunun) araştırmadan çıkarılması durumunda, α güvenilirlik katsayısındaki değişimin çok fazla olmadığı ve değerlerin birbirlerine çok yakın (0,001 düzeyinde) olduğu SPSS 11.0 programında hesaplanmıştır. Her soru araştırma için eşit derecede önemlidir.

Çizelge 1. Uçuş Eğitim Safhalarına Verilen Cevapları Güvenirlikleri

Temel Uçuş Eğitim Safhası Hareketleri (32 soru)	0,9373
Temel Alet (Basic) Safhası Hareketleri (11 soru)	0,9532
Radyo Alet Safhası Hareketleri (10 soru)	0,9564
Taktik Uçuş Safhası Hareketleri (20 soru)	0,9503
GGG safhası hareketleri (13 soru)	0,9420
AS-532 ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri (9 soru)	0,9932
S-70 ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri (10 soru)	0,9892
AH-1W/P ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri (15 soru)	0,9906

Cevapların analizinde aritmetik ortalama göz önüne alınmıştır. Bunun yanında en yüksek frekans yüzdesini veren tepe (mod) değerleri kontrol edilmiştir. Yorumlamada, yüzdeliklerin dağılımına bakılarak sonuç bulunmaya çalışılmıştır. Yorumlar her uçuş eğitimi safhası içinde, soru bazında tek tek, ardından safha bazında bütün olarak yapılmıştır. Oranlara esas alınan simülatörlerin FAA/JAA D seviyesi tam uçuş simülatörü olduğu varsayılmıştır.

2.2.2. Temel Uçuş Eğitim Safhası Hareketleri

Safhaya ait 32 soruya verilen cevapların puan ortalaması 3,30 ($\sigma = 0,71$), minimum değer 1,80, maksimum 4,72 ve ranjı 2,92'dir. Çarpıklığı -0,063 (çok hafif sağa çarpıklıkla birlikte simetrik olduğu kabul edilebilir), basıklığı -0,386 (hafif basık eğri).

Sonuçta, temel uçuş eğitimi safhasında simülatörün biraz daha ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatörün % 55 ve helikopterin % 45 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.3. Temel Alet (Basic) Safhası Hareketleri

Safhaya ait 11 soruya verilen cevapların puan ortalaması 4,06 ($\sigma=0,1$), minimum 3,93, maksimum 4,26 ve ranj 0,33'tür. Çarpıklığı 1,259 (sola çarpık), basıklığı 0,781 (sivri). Tepe değeri ve ortanca birbirine eşit (4,03) ve ortalamaya yakındır. Dağılım normaldir.

Sonuçta, temel alet uçuş eğitimi safhasında, simülatörün oldukça ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatörün % 70 ve helikopterin % 30 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.4. Radyo Alet Safhası Hareketleri

Safhaya ait 10 soruya verilen cevapların puan ortalaması 4,242 ($\sigma= 0,168$), minimum değer 4,00, maksimum 4,47 ve ranjı 0,47'dir. Çarpıklığı 0,099 (çok hafif sola çarpıklıkla birlikte simetrik olduğu kabul edilebilir), basıklığı -0,1291 (hafif basık bir eğri). Ortanca (4,235) ortalamaya yakındır. Dağılım normaldir.

Sonuçta, radyo alet uçuş eğitimi safhası programında simülatörün çok fazla ağırlık kazandığını düşünerek, simülatör % 90 ve helikopter % 10 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.5. Taktik Uçuş Safhası Hareketleri

Safhaya ait 20 soruya verilen cevapların puan ortalaması 2,8475 ($\sigma=0,542$), minimum 1,96, maksimum 3,75 ve ranj 1,79'dur. Çarpıklığı 0,090 (çok hafif sola çarpık, ancak simetrik kabul edilebilir), basıklığı -1,159 (oldukça basık bir eğri). Dağılım normaldir.

Sonuçta, taktik uçuş eğitimi safhası programında helikopterin biraz daha ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatör % 35 ve helikopter % 65 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.6. Gece Görüş Gözlüğü (GGG) Safhası Hareketleri

Safhaya ait 13 soruya verilen cevapların puan ortalaması 2,6485 ($\sigma= 0,628$), minimum değer 2,03, maksimum 4,01 ve ranjı 1,98'dir. Çarpıklığı 1,346 (sola çarpık), basıklığı 0,772 (sivri bir eğri). Dağılım normaldir.

Sonuçta, temel alet uçuş eğitimi safhasında simülatörün oldukça fazla ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatörün % 35 ve helikopterin % 65 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.7. AS-532 ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri

Safhaya ait 9 soruya verilen cevapların puan ortalaması 3,628 ($\sigma= 0,468$), minimum değer 3,07, maksimum 4,68 ve ranjı 1,61'dir. Çarpıklığı 1,352 (sola çarpık), basıklığı 3,191 (oldukça sivri bir eğri), dağılım normaldir.

Sonuçta, AS-532 ile ilgili farklı uçuş hareketleri eğitiminde de simülatörün ağırlık kazandığını düşünerek, simülatör % 60 ve helikopter % 40 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.8. S-70 ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri

Safhaya ait 10 soruya verilen cevapların puan ortalaması 3,593 ($\sigma=0,44$), minimum 2,92, maksimum 4,29 ve ranj 1,37'dir. Çarpıklığı 0,021 (simetrik), basıklığı -0,836'dır (hafif basık).

Sonuçta S-70 ile ilgili farklı uçuş hareketleri eğitiminde de simülatörün ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatör % 75 ve helikopter % 25 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.9. AH-1W/P ile İlgili Farklı Uçuş Hareketleri

Safhaya ait 15 soruya verilen cevapların puan ortalaması 3,40 ($\sigma=0,414$), minimum 2,47, maksimum 4,11 ve ranj 1,64'tür. Çarpıklığı -0,414 (hafif sağa çarpık), basıklığı -0,711'dir (hafif basık). Medyan (3,54), mod (3,54) ve aritmetik ortalama birbirlerine çok yakındır.

Sonuçta, AH-1W/P ile ilgili farklı uçuş hareketleri eğitiminde de simülatörün ağırlık kazandığı düşüncesiyle, simülatör % 60 ve helikopter % 40 kullanılması düşünülmüştür.

2.2.10. Uçuş Eğitim Safhalarına Göre Oranların Özeti

Sorular, safhalara göre incelendiğinde, Çizelge 2'de gösterilen oranlar çıkarılmıştır.

Çizelge 2. Uçuş Eğitim Safhalarına Göre Oranların Özeti

UÇUŞ EĞİTİM SAFHALARI	KULLANIM ORANLARI	
	Simülâtör	Helikopter
Temel uçuş eğitim safhası hareketleri	55	45
Temel alet (basic) safhası hareketleri	70	30
Radyo alet safhası hareketleri	90	10
Taktik uçuş safhası hareketleri	35	65
GGG safhası hareketleri	35	65
AS-532 ile ilgili farklı uçuş hareketleri	60	40
S-70 ile ilgili farklı uçuş hareketleri	75	25
AH-1W/P ile ilgili farklı uçuş hareketleri	60	40

Bu değerler üzerinden basit matematiksel işlemlerle aritmetik ortalama hesaplandığında *simülâtör kullanım oranı % 60, helikopter kullanım oranı % 40* olarak bulunur.

2.2.11.Genel Uçuş Oran Sorusuna Verilen Cevaplar

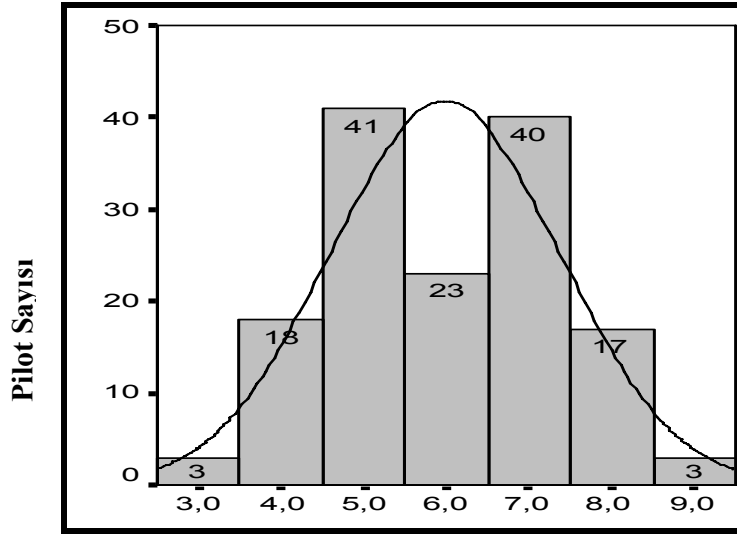
Anketin sonunda katılımcılara, safhalardan ayrı olarak, hava aracı ile simülâtör arasında olması gerektiğini düşündükleri uçuş oran sorusu ayrıca yöneltilmiştir. Bu sorunun, hem eksik kalmış olabilecek uçuş eğitim konularından ötürü oluşabilecek açığı kapatacak, hem de yukarıda tek tek sübjektif olarak ölçülen safha oranlarına yukarıdan ve objektif bir bakış açısı getirecek bir imkan olduğu düşünülmüştür.

Katılımcıların cevapları sonucu, yığın ortalaması 5,98 ($\sigma=1,382$) (% 50 simülâtör, % 50 helikopter), minimum değer 3 (% 80 simülâtör, % 20 helikopter), maksimum değer 9'dur (% 20 simülâtör, % 80 helikopter). Çarpıklığı 0,022 (simetrik), basıklığı -0,822'dir (basık). Medyan 6,00, mod 5,00'tir. Aritmetik ortalama ve medyan birbirine yakındır. Dağılımın normal olduğu Çizelge 3'te görülmektedir.

Çizelge 3. Genel Oran Sorusuna Verilen Cevapların Frekans Dağılımı

HELİKOPTER VE SİMÜLATÖR ORANLARI	Miktar	Yüzde
%80 Simülâtör - %20 Helikopter	3	2,1
%70 Simülâtör - %30 Helikopter	18	12,4
%60 Simülâtör - %40 Helikopter	41	28,3
%50 Simülâtör - %50 Helikopter	23	15,9
%40 Simülâtör - %60 Helikopter	40	27,6
%30 Simülâtör - %70 Helikopter	17	11,7
%20 Simülâtör - %80 Helikopter	3	2,1

Çizelge 3'te görülen değerlerde dağılımın normallığı ve simetrikliği Şekil 2'deki histogram grafiğinde de görülebilir. Çok az bir farkla (2 kişi) simülâtör kullanımı, helikopter kullanımından fazladır.



Şekil 2. Genel Oran Sorusuna Verilen Cevapların Histogram Grafiği

Bu bilgiler ışığında, pilot temel, tekâmül, tazeleme, intibak ve harbe hazırlık eğitimlerinin tamamı düşünüldüğünde, gerçek hava aracı ile uçuş simülatörleri arasında kullanım oranı *helikopter için % 49,18* ve *uçuş simülatörleri için % 50,82* olarak bulunmuştur.

Bu çıkan sonucu üreten cevap seçenekleri % 10'luk dilimlere bölünmüş 11 kategoriden oluşur. Bu kategori düzeylerinin kendi içinde birbirinden farklı anlam ifade edip etmediklerini sorgulamak gerekir. Eğer fark bulunmazsa, soruların niteliği ve verilen cevapların değeri konusunda kuşklar oluşabilir. Bunun için kategoriler arasında yapılacak uyum iyiliği testi ile fark ölçülebilir. Oluşturulacak yokluk hipotezinde (H_0) fark olmadığı öne sürülmüştür. Genel oran sorusunda hipotezi $\alpha=0,05$ anlamlılık düzeyinde test etmek için tek örneklem Kay-Kare testi (χ^2) uygulanır [7]. Yapılan test sonucu $p < \alpha$ sonucundan ötürü hipotez reddedilir. Burada p değeri gözlenen anlamlılık düzeyi iken, α beklenen anlamlılık düzeyidir [8]. Kategoriler arasında anlamlı bir fark olduğu için soruların niteliği ve verilen cevapların değeri konusunda kuşklar yersizdir.

3. SONUÇ

Uçuş oranları bazı safhalarda şaşırtıcı şekilde beklenenin aksi çıkmıştır. Temel uçuş, alet uçuş ve tekâmül (gelişmiş) helikopter intibak safhalarında sonuçlar beklendiği gibi çıkmasına rağmen, GGG ve taktik uçuş eğitim safhalarında helikopterle uçuş oranları ağırlıklı çıkacakları beklense de, bu beklenen değerden de fazla çıkarak 1. tip (α tipi) hataya neden olmuştur.

Uçuş eğitim safhalarının ayrı ayrı incelenmesi neticesinde, çıkan sonuçlardan yapılan yorum sonucunda, genel uçuş oranı % 60 simülatör ve % 40 hava aracıdır. Bu oranını sadece hesaplamaya esas alınan 8 eğitim safhasına ait olduğuna dikkat edilmelidir. Halbuki, uçuş eğitimi sadece bu 8 eğitim safhasından oluşmaz. Bunların yanında, çeşitli ihtisas kursları (uçuş öğretmen, standardizasyon ve kontrol öğretmen, tecrübe ve bakım pilotluğu kursları gibi) ve duruma dayalı eğitimlerde yapılan hava hücum, uçarbirlik gibi harbe hazırlık eğitimleri vardır. Bütün uçuş eğitim hareketlerinin tek tek sorulması ankette pratik olmadığı için diğer safhaları da içeren genel bir oran sorusu hazırlanıp katılımcılara yöneltilmiştir.

En son sorulan genel oran sorusunun sonucu bulunan değere göre bu oran helikopter lehinde yükselerek, % 50,82 simülatör ve % 49,18 helikopter olarak bulunmuştur. Araştırmanın nihaî sonucu olarak; bu değerler kabul edilmiştir.

Safhaların sorulma sebebi, gelecekte yapılması istenen bir uçuş eğitim programında kullanılacak hazır veriler elde etmektir. Ayrıca, bu sorular, en son sorulan genel oran sorusunu da, açıklayan mahiyettedir. Araştırmada elde edilen iki farklı sonu iki farklı amaca göre kullanılabilir. Uçuş eğitim safhalarına göre bulunan % 60-40 değeri daha detaylı olduğu için uçuş eğitim programlarının hazırlanmasında kullanılabilir. Genel oran sorusunun sonucunda bulunan % 50,82 - % 49,18 uçuş oranı ise, daha üst seviyede karar vericilerin eğitim ihtiyaçlarını belirlemede, maliyet etkinlik hesaplamalarında fikir verebilir. Ayrıca, uçuş eğitimi gibi çok faktörlü bir alanda ve insan-makine etkileşiminde simülasyon teknolojisine ulaştığı noktanın yüksekliğini gösteren bir nicel bir değerdir.

Bu sebeple, sonuç olarak % 50,82 - % 49,18 uçuş oranı, araştırmanın kapsam ve sınırları dahilinde bilimsel bulgu olarak kabul edilmiştir. Safha sonuçları ise, gelecekte uçuş eğitim programları hazırlanırken referans olarak kabul edilebilir. Elde edilen bulgular, gelecekte teknolojiye gelişmelere bağlı olarak, simülatörlerin ağırlığının artması yönünde değişebilir.

KAYNAKÇA

- [1] DILLARD, A.E., (2002), *Validation of Advanced Flight Simulators for Operational Evaluation and Training Programs*,
- [2] DUFAUR, A., (2004), *Helicopter Flight and Mission Simulation, International Conference on Development in Aviation Training, Mumbai*,
- [3] Uçuş Derecelendirme Kılavuzu, (2001), Kara Havacılık Okulu ve Eğitim Merkezi Komutanlığı Matbaası, Ankara
- [4] TABACHNICK, B.G. ve L.S. FIDELL, (2001), *Using Multivariate Statistics (4th edition), Needham Heights, Allyn&Bacon*
- [5] ÖZDEMİR, O. ve diğerleri, (1997), *Turkish Electronic Journal of Medicine*, 1(2).
- [6] GLIEM, J.A. ve R.R. GLIEM, (2003), "Calculating, Interpreting, and Reporting Cronbach's Alpha Reliability Coefficient for Likert-Type Scales", *Midwest Research to Practice Conference in Adult, Continuing, and Community Education*.
- [7] BÜYÜKÖZTÜRK, Ş., (2003), *Sosyal Bilimler İçin Veri Analizi El Kitabı (2. baskı), Pegem Yayıncılık, Ankara*.
- [8] ANDERSON, D.R., D.J. SWEENEY ve T.A. WILLIAMS, (1999), *Statistics For Business And Economics, South-Western College Publishing, pp.343*.
- [9] ERGÜN, M., (1995), *Bilimsel Araştırmalarda Bilgisayarla İstatistik Uygulamaları SPSS for Windows, Ocak Yayınları, Ankara*.

PROGRAMLANABİLİR GÖLGELENDİRİCİLERLE GERÇEK ZAMANLI ALAN DERİNLİĞİ EFEKTİ

Erol ARAN^(a), Halil KOLSUZ^(a)

^(a) METEKSAN, Simülasyon ve Görsel Sistemler Birimi, Bilkent Merkez Kampus
Beytepe Köyü Yolu No:3 Bilkent, Ankara,
{erol.aran, halil.kolsuz}@sgs.meteksan.com.tr

ÖZ

Günümüz simülasyon sistemlerinde kameraların gerçekçi bir şekilde modellenmesi aşamasında karşılaşılan en büyük sıkıntılardan biri alan derinliği (depth of field) efektinin yaratılmasıdır. Daha önceki modelleme denemeleri “stencil” ve “accumulation” tamponlarının kullanımını içermekte ve sadece basit bir prizma içeren sahnenin yalnızca çizimi bile en çok 10 – 15 fps performansla gerçekleştirilebilmekteydi. Bu tekniğin tatmin edici görüntüyü üretmek için sahneyi 5–8 kere çizdiği düşünülürse, geometri karmaşıklığı arttıkça performansın 1 fps’in bile altına düşeceğini tahmin etmek zor olmaz. “Ray Tracing” ise yüksek kaliteli görüntü üretmesine karşın gerçek zamanlı sistemlerde kullanılamayacak kadar yavaş kalmaktadır. Gerçek zamanlı simülasyon sistemlerinde grafik motorunun yanında fizik, yapay zeka vb. motorların da çalıştığı göz önüne alınırsa alan derinliği efektinin bu tekniklerle yaratılıp kullanılmasının imkansız olduğu anlaşılır.

Bu makalede, yeni nesil ekran kartlarında bulunan programlanabilir gölgelendiricilerin yardımı ve dokuya çizim tekniğinin uygulanmasıyla gerçek zamanlı alan derinliği efekti problemine çözüm getirilmektedir. Geliştirdiğimiz algoritma, odaklanacak nesnenin bulunması, sahnenin dokuya çizimi, programlanabilir gölgelendiriciler ve alt doku üniteleri yardımıyla dokunun alan derinliği efekti verecek şekilde işlenmesi, odaklanmış nesnenin perspektif projeksiyonla ekrana çizilmesi ve son olarak işlenmiş dokunun ortografik projeksiyonla ekrana yansıtılması adımlarından oluşmaktadır. Alan derinliği efekti doku üzerinde oluşturularak algoritmanın karmaşıklığı geometri karmaşıklığından bağımsız hale getirilmiştir. Ayrıca doku kopyalama işlemi engellemek için p-buffer yardımıyla dokuya direkt çizim teknolojisi ileri optimizasyon olarak sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alan derinliği, programlanabilir gölgelendirici, gerçek zamanlı simülasyon

REAL TIME DEPTH OF FIELD EFFECT WITH PROGRAMBLE SHADERS

ABSTRACT

One of the most challenging effects to be achieved in real time simulation systems is the depth of field (DOF). The first trials were to use the stencil and accumulation buffers. The algorithms that use these buffers were suffering from low performance such that the rendering of a simple prism was at most 10 – 15 fps. Since these techniques render the scene 5 – 8 times to generate a satisfactory image, it is not difficult to estimate that a complex scene would be rendered at most at 1 fps. Ray tracing generates qualified images, but for now it is impossible to use this rendering technique in real time

simulations. It is easily realized that these classical methods are not suitable for real time simulation systems that uses physics engines, AI engines etc. beside the render engine.

This article brings a solution to the problem of DOF effect in real time simulations by using vertex and fragment shaders. Our algorithm consists of finding the object to be focused, rendering the scene to a texture, processing of the texture with programmable shaders and subtexture units, overlaying the processed texture and rendering the focused object with perspective projection. Since the processing is performed on the texture, the complexity of the algorithm is independent of the complexity of the scene. Besides, p-buffer usage is presented as an advanced optimization to prevent texture copy.

Keywords: Depth of field, programmable shaders, real time simulation

1. GİRİŞ

Yeni nesil ekran kartlarının ve işlemcilerin gelişimiyle 3D animasyonların ve oyunların yanında gerçek zamanlı simülasyon sistemlerinde de göz alıcı gerçeklikte efektler kendini göstermeye başladı. Bu efektlerin büyük kısmı karmaşık ışık denklemlerinin uygulanması ve görüntünün netleştirilmesi adımlarıyla oluşturulur. Ancak insan algılama sisteminin ve kamera optik sistemlerinin önemli bir özelliği de belli koşullar altında çevreyi buğulu görmek/göstermektir. Alan derinliği efekti olarak tanımlanan bu tip görüntülerin klasik çizim teknikleriyle yaratılması imkansız, imkansız değilse bile çok düşük performanslıdır.

Simülasyon sistemimizde kullandığımız ekran kartı NVidia GeForce FX 5200 olup, gölgelendiricileri programlamak için cg (C for Graphics) dili kullanılmıştır.

2. ALTERNATİF TEKNİKLER

2.1 Klasik Teknikler

Klasik teknikler olarak adlandıracağımız gruba programlanabilir gölgelendiricileri kullanmayan metotlar dahil edilebilir.

2.1.1 Ray Tracing

Alan derinliği efektini yaratabilmek için yapılabilecek en gerçekçi çalışma, gerekli yansıma ve kırılma modellerini oluşturup, ışınları sanal bir optik sisteminden geçirerek sahneyi “ray trace” vb. ileri çizim teknikleriyle üretmek olacaktır. Böyle bir çalışma şu anda gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılamayacağı için bizim açımızdan uygulanabilir değildir.

2.1.2 Akümüasyon Tamponu (“Accumulation Buffer”) Kullanımıyla Çoklu Çizim

Farklı görüntü noktalarından alınan sahne çizimlerinin akümüasyon tamponunda ortalamalarının alınarak asıl görüntüyü oluşturması, bir diğer alan derinliği efekti yaratma tekniğidir. İyi sonuç alınabilmesi için en az 7-8 farklı görüntü noktasından ayrı ayrı çizim alınması gerektiğinden ve akümüasyon tamponunun yavaşlığından ötürü bu teknik en çok 1 fps performansla görüntü üretmektedir. Haliyle gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılamaz.

2.2 Gelişmiş Donanım Yeteneklerini Kullanan Teknikler

Aşağıda, yeni nesil ekran kartlarındaki hızlandırıcıları bir noktaya kadar kullanarak alan derinliği efekti yaratan metotlar açıklanmaktadır.

2.2.1 Vertex Programları Yardımıyla Çoklu Çizim

Klasik teknikler altında açıkladığımız akümülyasyon tamponu kullanımıyla çoklu çizim, GeForce3 ekran kartları ve sonraki modellerde vertex programları kullanılarak hızlandırılabilir. Algoritma, akümülyasyon tamponuna N- kez çoklu çizim yerine vertex programı yardımıyla “frame” tamponuna N-kez “blend” aktif çizim içerir. Algoritma halen sahne karmaşıklığına bağlı olmakla birlikte hesaplamalar işlemci yerine ekran kartında yapıldığından, bu teknikle gerçek zamanlı alan derinliği efekti elde edilebilir.

Bu tekniğin en önemli dezavantajı “blending” sırasında renk çözünürlüğünün kaybedilmesi ve sonuçta ortaya çıkan resmin gerçek resimden daha az çözünürlükteymiş gibi görünmesidir.

2.2.2 OpenGL 1.2.1 Komutları

OpenGL 1.2.1 sürümünden itibaren donanımı tam kullanmamakla birlikte “convolution” işlemini kolayca uygulamayı sağlayan **glConvolutionFilter2D(...)** fonksiyonu kütüphaneye eklendi. Fonksiyon, ekran kartları sürücüler tarafından tam desteklenmediği için genelde tüm işlem işlemcide yapılırsa bu teknik de 1 fps’ten yüksek performans gösteremez. Algoritma, sahnenin “frame” tampona çizimi, piksel değerlerinin işlemci hafızasına kopyalanması, “convolution” filtresinin uygulanması ve işlenmiş piksel değerlerinin tekrar “frame” tampona yazılmasından oluşur. Bu teknikte filtrenin uygulanmasından çok piksel değerlerinin kopyalanması uzun süre almakta ve metodun gerçek zamanlı sistemlerde kullanımını imkansız kılmaktadır.

3. KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Alan derinliği efektini yaratabilmek için geliştirip uyguladığımız metot GeForce FX 5200’dan itibaren üretilen ekran kartlarında bulunan gelişmiş donanım özelliklerini sonuna kadar kullanarak performans kaybını en çok 1-2 fps seviyesinde tutmaktadır. Böylece ortalama 30 fps’le çalışan bir uygulama neredeyse hiç kayıpsız alan derinliği efektini yaratabilmektedir. Uygulanan teknikler ekran kartı donanımındaki son gelişmelerle ilintili olduğundan bazı teknolojileri kısaca tanımlamakta fayda görüyoruz:

3.1 Programlanabilir Gölgelelendiriciler (Programmable Shaders)

Yeni nesil ekran kartları, daha önce programlama imkanı bulmadığımız hızlandırıcıları vertex ve piksel bazında programlamamızı sağlar. Yazılan programlar bağlandıkları bölümlerdeki vertex ve piksel verileri için devreye girerek istenen komutları ekran kartı işlemcisinde (GPU) çalıştırır. Böylece hem vertex ve piksel çözünürlüğünce veriye müdahale etme imkanı bulunmuş olunur, hem de merkezi işlemci yapılan bu hesaplamalardan etkilenmeden kendi işlemlerine devam eder. Grafik kartı işlemcisi gerçek anlamda tüm görsellik hesaplamalarını üstlendikçe merkezi işlemci fizik hesaplamaları, yapay zeka hesaplamaları vb. işlemlere yoğunlaşır. Günümüzde her anlamda gerçekçi uygulamaların üretilmesi GPU işlemci hızının artmasına, CPU işlemci hızının artmasına ve en az bu ilerlemeler kadar önemli olan GPU – CPU veriyolu hızının artmasına bağlıdır. GPU - CPU veriyolu hızının artışı GPU ve CPU işlemci iç hızının artışına göre çok daha yavaş gelişmekte olduğundan hızlandırma çalışmaları GPU ve CPU ünitelerinin birleştirilmesi yolunda ilerlemektedir.

3.2 Dinamik Dokular ve p-buffer

Çizim işleminin “frame” tampon yerine doku üzerine yapılması ve elde edilen dokunun işlenmesi işlemi için gerekli adımlar klasik yöntemlerle şu şekilde sıralanabilir:

1. Sahneyi çiz
2. Çizilmiş sahneden doku yarat
3. Dokuyu işle

Yukarıda işlemde en çok zaman alan adım 2 numaralı adım olup sistem performansını fazlasıyla düşürmektedir. Resmin dokuya kopyalanması yerine çizimin direkt dokuya yapılması için OpenGL 1.3 çekirdeğinde olmayan ama uzantı kütüphanesinde bulunan

- WGL_ARB_extensions_string
- WGL_ARB_render_texture
- WGL_ARG_pbuffer
- WGL_ARB_pixel_format

uzantıları ve GeForce serisinden itibaren p-buffer desteği geliştirilmiştir.

Geliştirdiğimiz algoritmada doku kopyalamayı engellemek için p-buffer'a direkt çizim kullanıp elde ettiğimiz dokuyu daha sonra statik doku olarak işlemekteyiz.

Genel p-buffer kullanım algoritması:

1. Doku nesnesi yarat
2. p-buffer nesnesi yarat
3. p-buffer'ı aktif çizim nesnesi olarak tanımla
4. Sahneyi çiz
5. Pencereyi aktif çizim nesnesi olarak tanımla
6. p-buffer'ı dokuya bağla
7. Elde ettiğin statik dokuyu istediğin gibi kullan
8. p-buffer'ı dokudan ayır

4. ALGORİTMA

Yukarıda belirtilen teknolojiler ve gölgelendirici programlamayı kolaylaştıran bir dil olan cg'nin yardımıyla alan derinliği efekti algoritması aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Kameranın baktığı nesneyi bul (Opsiyonel)
2. p-buffer yarat ve dokuya bağla (Opsiyonel)
3. Sahneyi dokuya çiz
4. Dokuyu ekrana yansıtmadan önce vertex ve piksel programlarını çalıştır
5. Dokuyu ekrana ortografik projeksiyonla yansıt
6. Perspektif projeksiyonla odaklanmış nesneyi tekrar çiz (Opsiyonel)

1 ve 6 numaralı adımlar uygulamanın gerekleri düşünülerek opsiyonel bırakılmıştır. Ayrıca 2 numaralı adımda doku yaratılması için önerilen p-buffer desteği yoksa doku kopyalama işlemi yapılabilir.

5. ÇİZİM SONUÇLARI

Şekil 1’de normal sahne ve Şekil 2’de alan derinliği efekti algoritması uygulanmış çizimler görülmektedir.



Şekil 1. – Normal Sahne



Şekil 2. – Alan Derinliği Algoritması Uygulanmış Sahne

6. SONUÇ

Geliştirdiğimiz algoritma, simülasyon sistemlerinde, oyunlarda, sanal gerçeklik uygulamalarında ve stereo çizim uygulamalarında yüksek performansla çalışabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Chris Wynn, (2002), *OpenGL Render-To-Texture*, NVidia Corporation Developer Presentation
- [2] Mark Segal, Kurt Akeley, (October 22, 2004) *The OpenGL Graphics System: A Specification (Version 2.0)*

DÖRDÜNCÜ İLAVE HAREKETLİ DİNGİLE HAREKET İLETEN MEKANİZMADA DİREKSİYON HAREKETİNE BAĞIMLI DİNAMİK VE MUKAVEMET ANALİZLERİ

S. Hakan Oka^(a), Olcay Çiçekdağ^(a)

^(a) Figes A.Ş., Celal Bayar Caddesi Petek Bozkaya İş Mrk. C/301-311 No: 6 16220 BURSA

{hakan.oka, olcay.cicekdag}@figes.com.tr

ÖZ

Bu projenin amacı, Sanayi ve Ticaret Bakanlığının araçların imal, tadil ve montajı hakkında çıkarmış olduğu yönetmeliğe uyarak yapılmış 4. ilave hareketli dingilin belirtilen ağırlık da dikkate alınarak dinamik davranışının belirlenmesidir. İlave dingil sistemindeki direksiyon hareketi aktarma organlarının dinamik analizleri yapılmış, bulunan reaksiyon kuvvetleri kullanılarak mukavemet analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok cisimli sistemler dinamiği, ilave dingil, mukavemet, sonlu elemanlar yöntemi

DYNAMICAL AND STRUCTURAL ANALYSIS ON MOTION TRANSMISSION MECHANISM OF THE EXTRA (FOURTH) AXLE DUE TO STEERING WHEEL MOTION

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the dynamical behaviour of an extra axle taking the weight of the vehicle in care and by obeying the regulations about manufacture, modification and assembling. Dynamical analysis of the steering wheel motion transmission system was done, and by using the reaction forces which were taken from the dynamic analysis, structural analysis was conducted by using finite element method.

Keywords: Dynamics, extra axle, finite elements method, multi body dynamics, strength of materials

1. GİRİŞ

Karayollarında seyreden taşıtların fabrika çıkışı imal durumları dışındaki ilave aparat, düzenleme, hacim ve yük haddi artırımına yönelik kuralları belirleyen bazı yönetmelikler mevcuttur. Araca 4. ilave dingil takılmasına yönelik hükümler ise ‘Araçların imal, tadil ve montajı hakkında yönetmelik’ başlığı altında toplanmaktadır.

Bu Yönetmeliğin amacı, 2918 Sayılı Karayolları Trafik Kanunu hükümleri uyarınca araçların yapım ve kullanma bakımından karayolu yapısına ve trafik güvenliğine uyma zorluluğunu yerine getirmek üzere, araçların tadil aşamasında ve Tip Onayı Yönetmelikleri (MARTOY, TORTOY, MOTOY) kapsamı dışında kalan araçların yapım aşamasında uyması gereken hükümleri, bunların uygulanmasına ait esas ve usulleri tespit etmek, Tip Onayı Yönetmelikleri kapsamındaki araçlar için Ulusal Tip Onayı verilmesi durumunda, gerekli ilave hükümleri belirlemektir [1]. Savunma sanayinde mühimmat taşıması sırasında zaman ve verimlilik oldukça önem

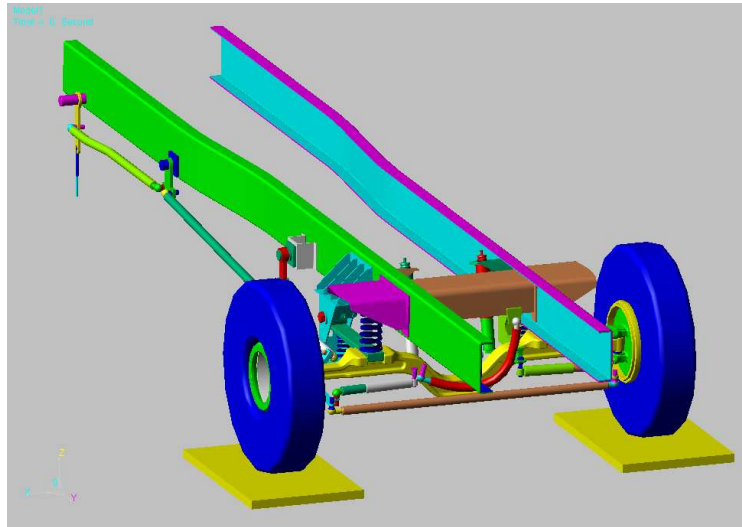
taşımaktadır. Bu amaçla askeri taşıma araçlarına da uygulanması mümkün olan ilave hareketli dingil üzerindeki araştırmalar devam etmektedir.

2. HESAPLAMALAR

2.1. Dinamik Analizler

2.1.1. Katı Modelin Kurulması

Katı modelin oluşturulması aşamasında CATIA V5-R13 yazılımı kullanılmıştır. Katı olarak modellenen tüm parçalar daha sonra kullanım yeri baz alınarak montaj edilmiştir. Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra tüm bu montaj grubu dinamik analizleri yapılması amacı ile RECURDYN yazılımına aktarılmıştır. Katı model Şekil 1’de görülmektedir. Bu sistem şasesden sabitlenmiş ve tekerleklerin altında görülen sarı parçalara, zemini modellemek üzere, dingilin taşıyacağı yükün yukarı yönlü uygulanmasıyla araç yükünün dingil üzerine binmesi modellenmiştir. Bu işlem tamamlandıktan sonra direksiyon hareketini tekerleklerle ileten sisteme gerekli hareket verilerek tekerleklerin Z eksenini etrafında dönmesi sağlanmıştır. Bu hareket, direksiyon hareketini aktaran sistemin ilk elemanı olan direksiyon baltasında uygulanmıştır. Bu parça Şekil 1’de ilk rot borusunun bağlı olduğu düşey duran parçadır.

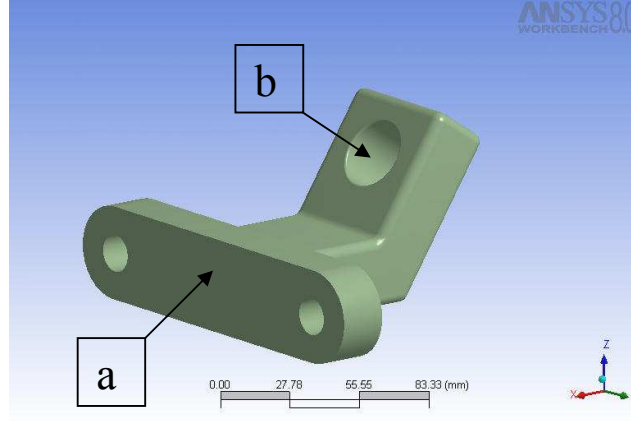


Şekil 1. Katı Model

2.1.2. Aktarma Organlarındaki Bağlantı Tanımları

Dinamik analizler yapılırken hareket iletimi söz konusu olan bağlantılarda bazı tanımlamalar yapmak gerekmektedir. Bu tanımlamalar iki parçanın birbirine nasıl bağlanacağını ve hangi yönlerdeki hareketlerde sınırlamalar olacağını açıklamaktadır. Modelde hareketi her yönden kısıtlanmış bağlantı (Fixed Joint), yalnız bir eksen etrafında dönel harekete izin veren bağlantı (Revolute Joint), yalnız bir eksen doğrultusunda doğrusal harekete izin veren (Translational Joint) ve küresel teması tanımlayan (Spherical Joint) bağlantı şekilleri kullanılmıştır. Tekerlekler ve tekerleklerin altında bulunan ve zemini modelleyen parçalar arasında sürtünmeli kontak tanımlanmış ve tekerleklerin dönmesinin modellenmesinde sürtünme etkileri de hesaba katılmıştır.

Şekil 2’de mukavemet analizine girecek olan parçalardan “Sevk Kolu” görülmektedir. Diğer parçaların mukavemet analizi sonucu çıkan en yüksek gerilme değerleri ve önerilen malzeme çeşitleri Çizelge 1’de belirtilmiştir. Sevk Kolu (a) yüzeyi ile temas halindeki parçaya sabitlenmiştir. Yapılan dinamik analiz sonucu, (b) bağlantısındaki 3 yönde kuvvet ve 3 yönde moment değerleri elde edilmiştir.



Şekil 2. Sevk Kolu

2.1.3. Reaksiyon Kuvvetlerinin Elde Edilmesi

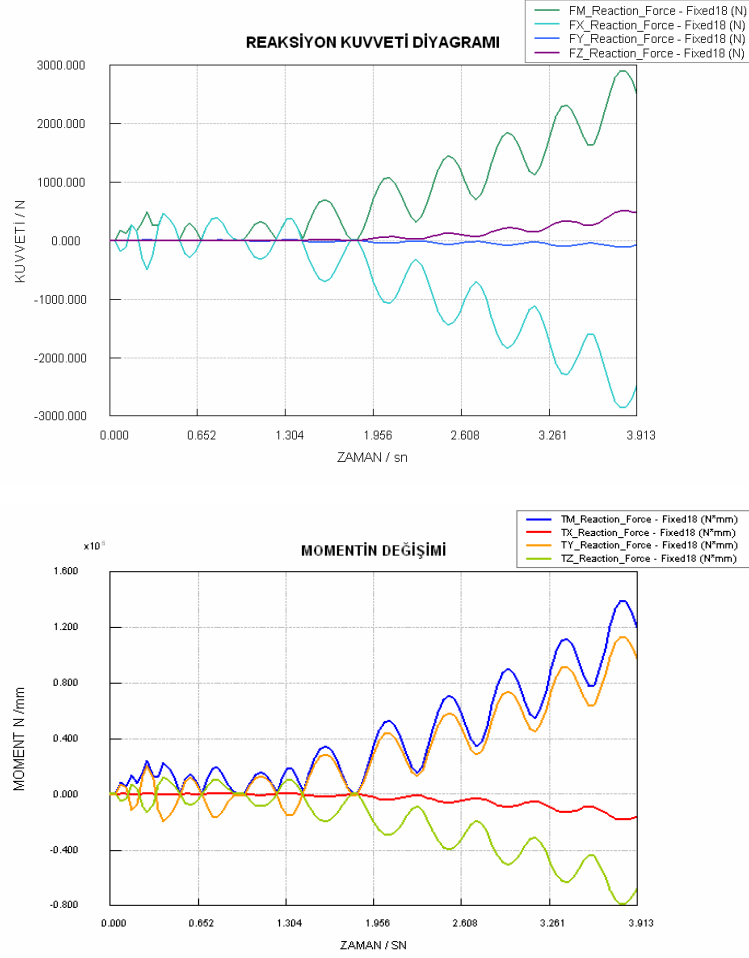
Reaksiyon kuvvetleri yukarıda sözü geçen yönetmelikte belirtilen ağırlık altında ve direksiyon baltasının 36.6 derecelik hareketine karşılık çıkartılmıştır. Hareketin verilmesi aşamasında öncelikli olarak şartnamede belirtilen 9500 Kg’ lık yükleme dinamik analizin 1. saniyesi süresince uygulanmıştır. Ardından bu yük değeri sabit tutularak 36.6 derecelik açı zamana bağlı olarak direksiyon baltasına uygulanmıştır. Bu hareketler RecurDyn yazılımının kabul ettiği biçimde kodların yazılmasıyla modellenmiştir. (1) numaralı hareket kodu ağırlığı, (2) numaralı hareket kodu direksiyon baltasına hareketini ileten sistemin açısal hareketini temsil etmektedir.

$$\text{IF}(\text{TIME}-1:47500*\text{TIME},47500,47500) \quad (1)$$

$$\text{IF}(\text{TIME}-1:0,0,9.25*\text{DTOR}*(\text{TIME}-1)) \quad (2)$$

$$X = V*T \quad (3)$$

Bu harekete karşılık aktarma organlarında meydana gelen kuvvet ve moment değerleri zamana bağımlı olarak her parça için çıkartılmıştır. (3) numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanan süre 3.913 sn olup, analiz bu şartlarda koşturulmuştur. Burada kuvvetin uygulandığı yaklaşık 2.9 saniyelik süre direksiyonun çevrilebileceği en kısa süreyi temsil ettiği için prensipte daha zorlu bir durumu temsil etmektedir. Şekil 3, denge mili kulağındaki (b) bağlantısında elde edilen reaksiyon kuvvetleri ve momentlerin zamana bağlı olarak değişim eğrilerini göstermektedir.



Şekil 3. Sevk Koluna Etkiyen Reaksiyon Kuvveti ve Moment Diyagramları

2.2. Mukavemet Analizleri

2.2.1. Malzeme Bilgileri

Yapılan analizlerde gerekli olan genel malzeme verileri:

Çelik Malzemeler için, Elastisite Modülü : 200000 MPa

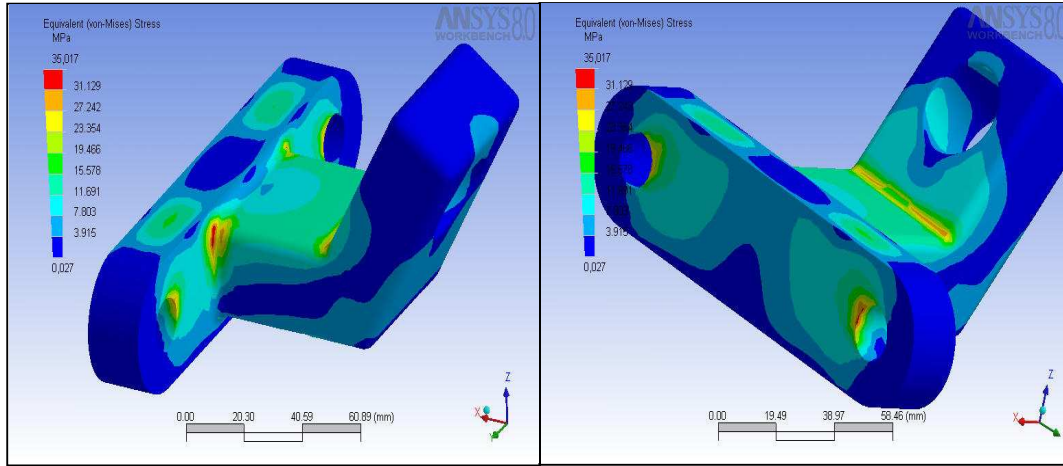
Poisson Oranı : 0.3

2.2.2. Sınır Koşullarının ve Yüklemelerin Belirlenmesi

Dinamik analizler sonucunda parçalar üzerine etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve momentler, parçaların dingil üzerindeki konumları ve bağlantı şekilleri de dikkate alınarak uygulanmıştır. Denge mili kulağının sonlu elemanlar modelleri ve yüklemeler neticesinde meydana gelen gerilme dağılımları Şekil 4'te görülmektedir.

2.2.3. Mukavemet Analizi Sonucu Parça Üzerindeki Gerilme Dağılımı

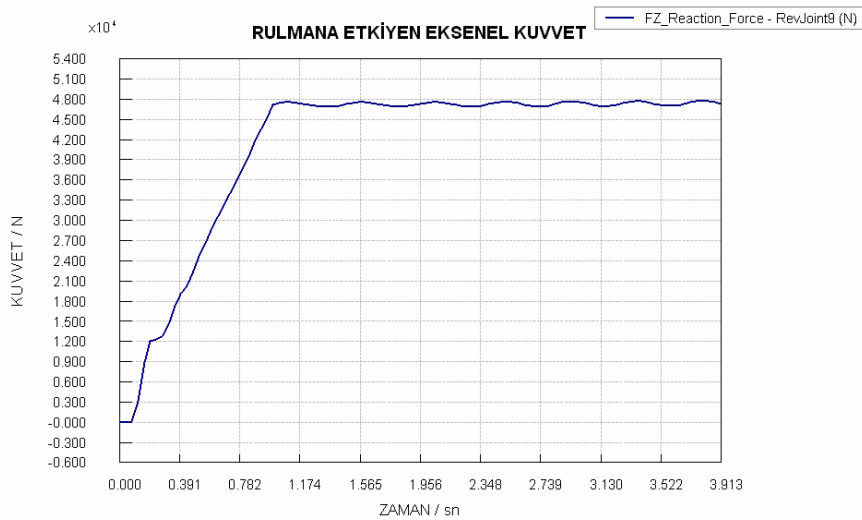
Dinamik analiz sonucu elde edilen reaksiyon kuvvetlerinin parçalara uygulanması ve mukavemet analizlerinin yapılması aşamasında ANSYS 8.0 WORKBENCH yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4'te de görüldüğü gibi yapılan mukavemet analizi sonucu sevk kolu üzerinde çıkan en yüksek gerilme 35,017 MPa olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Yüklemeler Sonucu Sevk Kolu Üzerindeki Gerilme Dağılımı

2.2.4. Rulman Seçimi

Sistemde dingil gövdesi ve poyralar arasında rulmanlar bulunmaktadır. Kullanılacak rulman türü, rulman üzerine gelen eksenel kuvvet göz önünde bulundurularak SKF Rulman Kataloğu'ndan seçilmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi rulmanı modelleyen bağlantı üzerine etkiyen kuvvet yaklaşık olarak 48000 N olarak hesaplanmıştır. Kullanılacak olan rulman uygun çap değerine göre SKF Rulman Kataloğundan SKF 81111 TN olarak belirlenmiştir [2].



Şekil 5. Rulmana Etkiyen Eksenel Kuvvet

3. SONUÇLAR

Malzemelerin mukavemet değerleri standartlaştırılmış numunelerle yapılan deneylerden elde edilir. Bu deneylerde numunenin hasara uğradığı, görevini yapamayacak halde geldiği andan biraz önceki ve/veya o andaki gerilmeler ölçülür [3]. Bu malzemelerden üretilen parçalar işletme anında hasar noktasından güvenli ölçüde uzakta olmalıdır. Emniyet gerilmesi adı verilen bu nokta hasarın meydana geleceği gerilmenin emniyet faktörü S' ye bölünmesiyle elde edilir [3].

Dingil sisteminin maruz kaldığı statik yüklemeler altında, analizlere bağlı olarak seçilen emniyet katsayısı, akma gerilmesi dikkate alınarak '2' olarak belirlenmiştir. Kullanılması önerilen malzemelere ilişkin mukavemet değerleri Çizelge 1'de görülmektedir [4]. Çizelge 2'de meydana gelen güvenilir gerilmeler ve seçilen emniyet katsayısının ışığı altında sistemdeki her bir parça için kullanılması önerilen malzemeler yer almaktadır.

Yapılan dinamik ve mukavemet analizleri sonucunda sevk kolu üzerine düşen kuvvet ve momentler altında bu parçada oluşan maksimum gerilme değeri emniyet katsayısı ile çarpılarak malzeme tayini yapılmıştır. MKE Normu Makine Yapım Çelikleri Ürün Kataloğu'ndan yapılan malzeme tayini sonucu bu parçanın imalatında 1040 Çeliği kullanılması uygun görülmüştür. Bu tayinde 1040 Çeliğinin akma dayanımının elde edilen (maksimum gerilme X emniyet katsayısı) değerinin üzerinde olması dikkate alınmıştır. Ek'te diğer parçaların mukavemet analizleri sonuçları görülmektedir.

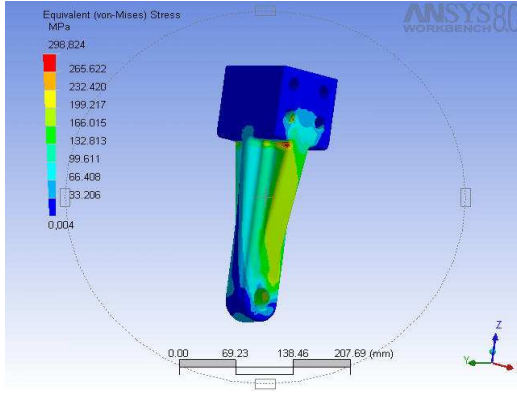
Çizelge 1. Malzemelerin Mukavemet değerleri

No	Malzeme SAE Normu	DIN Normu	Erdemir Normu	Akma Dayanımı, σ_k	Alaşım Oranları
1	St 37	-	-	235MPa	-
2	1040 Çeliği	C35	Ç 1040	450 MPa	% 0.37-0.44 C
3	1350 Çeliği	-	-	900 MPa	46Mn7
4	GGG80	-	-	500 MPa	-

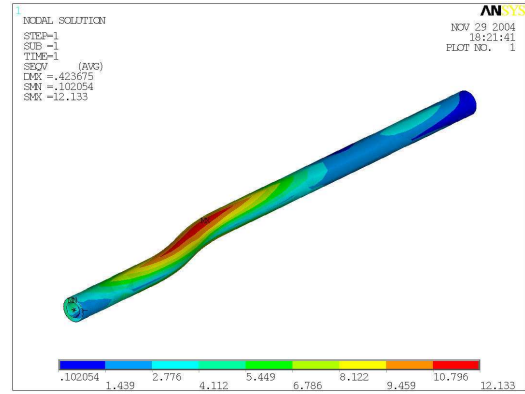
Çizelge 2. Parçalarda kullanılması önerilen malzemeler (S = 2 alınmıştır)

Parça adı	Maksimum Gerilme Değeri (MPa)	Önerilen malzeme
Direksiyon Baltası	133	1040 Çeliği
T askı Kolu	40	1040 Çeliği
Rot askı Kolu	89	1040 Çeliği
Sevk kolu	35	1040 Çeliği
Tekerlek İzleyici Kolu	69	1040 Çeliği
Yatar amortisör Denge mili Bağlantı aparatı	367	GGG 80
Yatay Amortisör Bağlantısı	2	1040 Çeliği
Denge Mili Kulağı	298	GGG 80
Rulman		SKF 81111 TN
Direksiyon Rot Borusu	12	1040 Çeliği
Orta Rot Borusu	25	1040 Çeliği
Tekerlek Rotu	146	1040 Çeliği
Denge Mili	390	1350 Çeliği

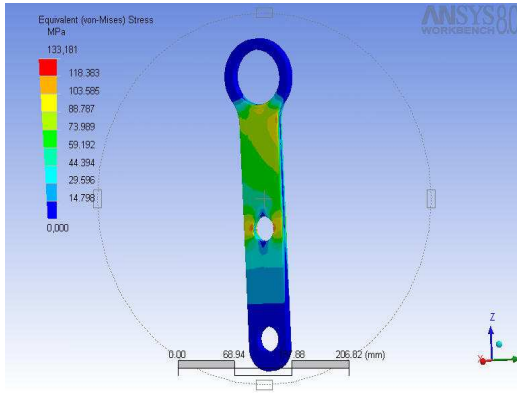
EK



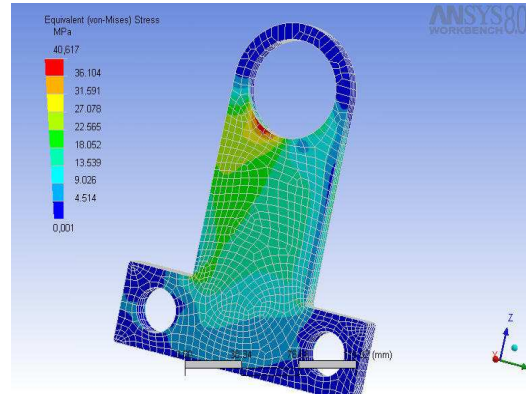
Şekil 6. Denge Mili Kulağı (298 MPa)



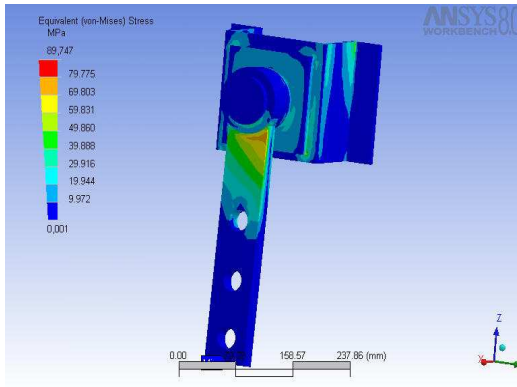
Şekil 7. Direksiyon Rot Borusu (12 MPa)



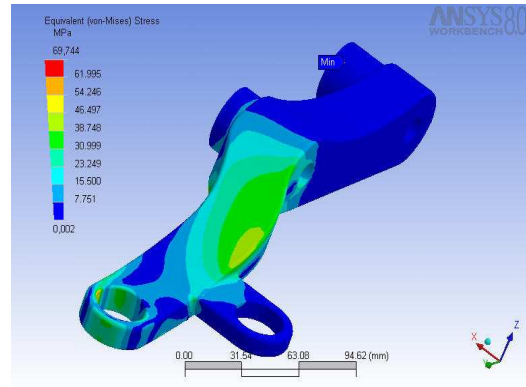
Şekil 8. Direksiyon Baltası (133 MPa)



Şekil 9. T Askı Kolu (40 MPa)



Şekil 10. Rot Askı Kolu (89 MPa)



Şekil 11. Tekerlek İzleyici Kolu (69 MPa)

KAYNAKÇA

- [1] Sanayi ve Ticaret Bakanlığı 'Araçların İmal, Tadil ve Montajı Yönetmeliği', 2004*
- [2] SKF General Catalogue, 2003*
- [3] Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri, Babalık, 1997, Bursa*
- [4] MKE Normu Makine Yapım Çelikleri Ürün Kataloğu*

YAZAR İNDEKSİ

A		G	
AKARDERE, Yusuf	81	GEMALMAZ, Ufuk	217
AKGÜL, Ali	49	GİRGİN, Sertan	9
AKGÜN, İbrahim	19	GÖKTOĞAN, Ali Haydar	157
AKPORAY, Beyhan	217	GÖKTÜRK, Erek	9
ALTINOK, Taner	227,269	GÜMÜŞAY, Özdemir	205
ANLAĞAN, Ömer	41	GÜRCAN, M.Burak	205
ARAN, Erol	277	GÜRDAL, Tuğrul	61
AYÇENK, Hakan	145	H	
AYDEMİR, Hakan	247	HOCAOĞLU, M. Fatih	29
AYDINEL, Alper	195	İ	
B		İKİNCİ, Murat	145
BALCI, Murat	9	İLHAN, Erdem S.	29
BATU, Umut	205	İMRE, Kayhan	3,127
BAYTOK, Cem	91	İŞLER, Veysi	3,115
BİLGİN, Semih	3	K	
C		KANDİLLER, Levent	19
CENGİZ, Ramazan	29	KAPUSUZ, Evren	9
Ç		KARAAHMETOĞLU, Cüneyt	237
ÇELİK, Turgay	127	KARADOĞAN, Doğan	227,269
ÇETİN, Yasemin Yardımcı	237	KARAGÖZ, Alpay	3,103
ÇİÇEKDAĞ, Olcay	283	KARASOY, Sartuk	49
ÇİL, Zaim	217	KİPER, Tarcan	167
ÇILDEN, Erkin	9	KOCAKANAT, Murat	187
ÇOŞAR, Ahmet	9	KOÇ, Volkan	9
D		KOLSUZ, Halil	257,277
DAYANÇ, Koray	41	L	
DEMİRÖRS, Onur	3,103	LAFÇI, Aydın	269
DOĞRU, Ali	137	LEBLEBİCİOĞLU, Kemal	61,81,237
DURAK, Umut	41	M	
E		MOLYER, Orhun	3,19
ELALDI, Faruk	41	MUTLU, Koray	91
ERÇEK, Ersel	257	O	
ERÇETİN, Aşkın	3,29	OĞUZTÜZÜN, Halit	247
ERDENER, Nusret	145	OKA, Hakan	283
ERGİN, Ahmet Arif	29	OKUTANOĞLU, Aydın	115
ERİŞEN, Pelin Kuş	217	Ö	
ERSÖZ, Filiz	227,269	ÖCAL, İsmail	227
F		ÖGEL, Bilgehan	195
FIRAT, Cüneyt	29	ÖZDEMİREL, Nur Evin	19
		ÖZSOY, Şahin	187
		ÖZTÜRK, Savaş	29

P		T	
PAŞALIOĞLU, Şeref	29	TAN, Mehmet	9
POLAT, Faruk	9	TANYER, Gökhan	177
S		TOROSLU, Hakkı	19
SARI, Faruk	29	TOĞAY, Cengiz	137
SARI, Nurşen	29	U	
SET, Aykut	91	ULUAT, M. Fatih	257
SUKKARIEH, Salah	157	Ü	
SÜTBAŞ, Rukiye	127	ÜNDEĞER, Çağatay	9,29
		Y	
		YAVAŞ, Altan	9
		YILDIRIM, Orhan	195
		YILMAZ, Erdal	237