SİMÜLASYON UYGULAMALARINDA RASTLANTISAL SAYI KULLANIMI

Başar KASIM[(a)], Mesut GÖZÜTOK[(a)], Halit OĞUZTÜZÜN[(b)]

[(a)] HAVELSAN A.Ş., Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü, ODTÜ Teknokent, ANKARA, {bkasim, mgozutok}@havelsan.com.tr

[(b)] ODTÜ, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ANKARA, oguztuzn@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Rastlantısal sayılar birçok simülasyon uygulamasında kullanım alanı bulmaktadır. Rastlantısal sayı üretimi ve kullanımındaki yaklaşım, simülasyon sonuçlarının modellenen gerçeklik alanına sadakati üzerinde doğrudan etkilidir. Bu makalede etmen/varlık tabanlı dağıtık simülasyon uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş bir rastlantısal sayı üretim algoritması anlatılarak hız performansı ve olasılık kavramları kapsamında değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Askeri Simülasyon Uygulamaları, Dağıtık Simülasyon, Monte Carlo Simülasyonu, Rastlantısal Sayı, Simülasyon

USE OF RANDOM NUMBERS IN SIMULATION APPLICATIONS

ABSTRACT

Random numbers have usage areas in many simulation applications. The approach in generation and use of the random numbers has a direct impact on the fidelity of the simulation results in the modeled reality area. In this paper a random number generation algorithm designed to be used in the agent-entity-based distributed simulation applications is presented and evaluated in terms of speed performance and probability concepts.

Keywords: Distributed Simulation, Military Simulation Applications, Monte Carlo Simulation, Random Number, Simulation

1. GİRİŞ

Gerçek rastlantısal sayı dizileri (İng. truly random number sequences), elemanları arasında herhangi bir ilinti kurulamayan, dolayısıyla bir sonraki dizi elemanının daha önceki dizi elemanları kullanılarak tahmin edilemediği sayı dizilerini ifade etmektedir. Bu diziler ne kadar çok elemanları olursa olsun belirli örüntülerle (İng. pattern) kendilerini tekrarlamamaktadırlar. Madeni bir paranın havaya atılması ile elde

edilebilecek yazı / tura değerleri gerçek bir rastlantısal sayı üreteci elde etme amacıyla kullanılabilecek bir yöntemdir.

Rastlantısal sayı dizileri simülasyon ve bilgi güvenliği alanlarında kendilerine uygulama alanları bulmaktadır. Sayısal ortamındaki rastlantısal sayı uygulamalarında gerçek rastlantısal sayı dizileri yerine onların temel özelliklerini taklit eden sahte rastlantısal sayı dizileri (İng pseudo-random number sequences) kullanılmaktadır. Bu diziler matematiksel bir ilişki ve belirli bir ilklendirme vektörü (İng. initialization vector) kullanılarak üretilmektedir. Bu ilişki ve ilklendirme vektörü bilindiği takdirde dizinin tüm elemanlarını tahmin etmek mümkün olmaktadır. Bu makalenin bundan sonraki bölümlerinde "rastlantısal sayı dizisi" ifadesi sahte rastlantısal sayı dizilerini belirtmek için kullanılacaktır. Gerçek rastlantısal sayı dizileri ise "gerçek rastlantısal sayı dizisi" ifadesi ile belirtilecektir.

Rastlantısal sayı dizilerinde belirli sayıda dizi elemanı üretildikten sonra dizi kendini tekrarlamaktadır. Bu sayıya rastlantısal sayı dizisinin periyodu denilmektedir. Bir rastlantısal sayı dizisinin periyodu ne kadar büyükse o oranda gerçek rastlantısal sayı dizisi karakteristiği elde edilmiş olur. Rastlantısal sayı dizilerinin iki veya daha fazla elemanı arasında tahmin edilebilir bir ilinti olmaması o dizinin kalitesini belirleyen diğer bir faktördür. Bu kapsamda rastlantısal sayı üreteçlerinin kalitesini ölçmek amacıyla kullanılan temel testler aşağıda verilmiştir.

İlinti Fonksiyonu (İng. correlation function): İlinti fonksiyonu iki ayrı veri kümesi arasında bulunan ilintinin derecesini belirlemektedir. Aynı üreteçten farklı başlangıç durumları kullanılarak üretilen diziler arasındaki ilinti fonksiyonunun değeri sıfıra yakın olmalıdır [1].

Öz-İlinti Fonksiyonu (İng. autocorrelation function): Bu fonksiyon aynı dizinin kendi elemanları arasındaki ilintiyi ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Öz ilinti fonksiyonunun sıfıra yakın olması aynı dizi içerisindeki elemanlar arasındaki ilintinin zayıf olduğunu, dolayısıyla dizinin bir veya daha fazla elemanını kullanarak diğer elemanlarını elde etmenin o derecede zor olduğunu belirtmektedir [1].

Gerçek rastlantısal sayı dizilerinde hem ilinti hem de öz ilinti fonksiyonlarının değeri sıfır olmaktadır; dolayısıyla bunlar sonsuz periyoda sahiptirler. Rastlantısal sayı dizilerinde ise ilinti ve öz ilinti fonksiyonu değerlerinin mümkün olduğu kadar sıfıra yakın olması tercih edilmektedir.

2. ASKERİ SİMÜLASYON UYGULAMALARINDA RASTLANTISAL SAYI KULLANIMI

Günümüz askeri simülasyon uygulamalarının bir çoğunda askeri harekatlar, yarı-otonom kuvvet (İng. semi-automated force) kavramı çerçevesinde, etmen/varlık (İng. agent/entity) yaklaşımı kullanılarak modellenmektedir. Varlık tabanlı simülasyonlarda, modellenen her bir varlığın davranışları ve diğer varlıklarla etkileşimi, topluluk düzeyinde değil, bireysel düzeyde canlandırılmaktadır. Örneğin, bir topun toplam ateş gücüne katkısı matematiksel bir formülle temsil edilmemekte, topun attığı her bir mermi uçurularak mermilerin ateş gücüne etkisi ayrı hesaplanmaktadır. Etmen tabanlı simülasyonlarda, algılama, karar verme ve harekete geçme yeteneği olan varlıklar aktör

olarak ayırt edilmektedir. Aktörlerin modellenmesi ve yazılım olarak gerçekleştirimi etmen tabanlı yöntemlerle yapılmaktadır.

Bu bağlamda etmen/varlık yaklaşımını benimseyen askeri simülasyon uygulamalarında aktörlerin algılama, müdahale etme ve hasar alma yeteneklerinin gerçekleştiriminde rastlantısal sayı tabanlı algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin tanksavar mermisinin tank üzerinde yaratacağı hasarın niteliği olasılık dağılımı kullanılarak tanımlanabilmektedir. Simülasyon koşumu sırasında tanka isabet eden merminin tank üzerinde oluşturacağı hasarın niteliği, ilgili olasılık dağılımına uygun çıktı üreten rastlantısal sayı üretecinden bir sayı çekilmesi ve çekilen bu sayının belirli eşik değerleri ile karşılaştırılması sonucunda belirlenmektedir.

Simülasyon uygulamalarında kullanılan rastlantısal sayı dizilerinin ilinti ve öz ilinti fonksiyonları ile ilgili olarak sağlaması gereken niteliklerin dışında aşağıda tanımlanan üç önemli kriteri de sağlaması gerekmektedir.

2.1 Aynı Rastlantısal Sayılarla Simülasyonun Tekrarlanabilmesi

Özellikle hata tanısı ve doğrulama için aynı senaryonun farklı zamanlarda aynı rastlantısal sayı dizisi kullanılarak tekrarlanabilmesi önemlidir. Bu kapsamda birden çok bilgisayar üzerinde koşan dağıtık simülasyon uygulamalarında üretilecek rastlantısal sayı dizilerinin, aktör yeteneklerinin paylaştırıldığı koşum ortamından bağımsız olması da gerekmektedir.

2.2 Birbirinden Bağımsız Yetenekler İçin Oluşturulan Rastlantısal Sayı Dizilerinin Birbirini Etkilememesi

Algı ve hasar gibi iki farklı yeteneğin aynı rastlantısal sayı dizisinden sayı kullanması durumunda bu iki yetenek arasında bir ilinti kurulmuş olmaktadır. Bunu önlemek üzere farklı yetenekler için farklı rastlantısal sayı dizileri kullanılmalıdır. Benzer şekilde, aynı yetenek kapsamında ele alınan farklı cihazların da (örnek: algılama yeteneği kapsamında kullanılan dürbün ve termal kamera) farklı rastlantısal sayı dizileri kullanmaması bu cihazların benzetimi yapılan yetenekleri arasında bir ilinti oluşmasına neden olacaktır. Farklı yetenek ve cihazlar için farklı rastlantısal sayı dizilerinin kullanımı, simülasyon olaylarının sıralamasının değişmesiyle ilgili yetenek ve cihazın olasılık dağılımında oluşabilecek farklılaşmaları da engelleyecektir.

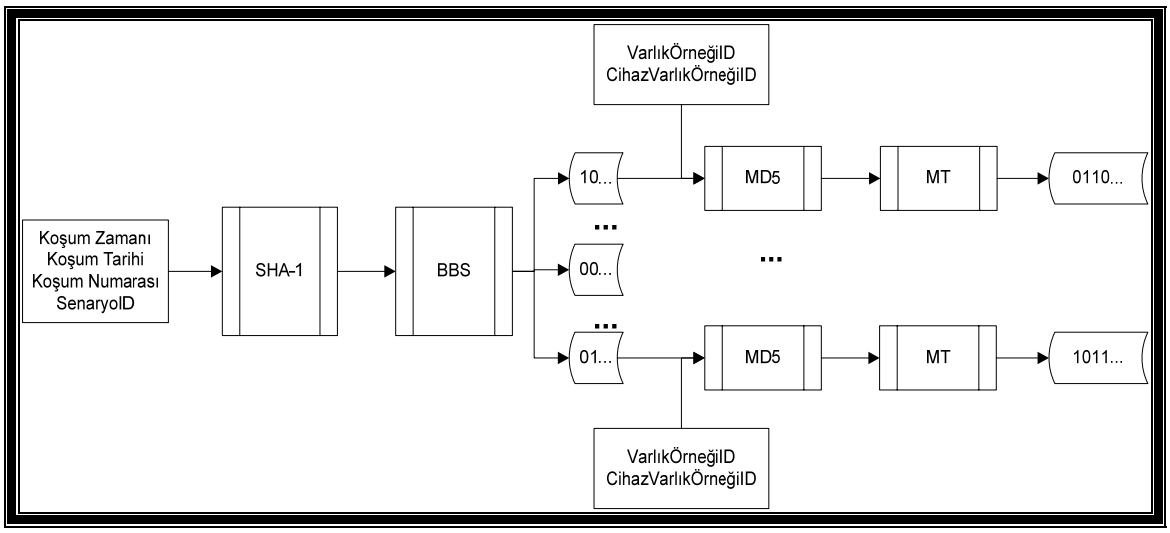
2.3 Çoklu Koşturumda Farklı Rastlantısal Sayı Dizilerinin Kullanımı

Aynı simülasyon senaryosunun analiz amaçlı olarak çoklu koşumları arasında aynı fonksiyon için kullanılacak rastlantısal sayıların birbirleri ile ilintisiz (İng. uncorrelated) olması gerekmektedir. Bu şekilde özellikle Monte Carlo simülasyonu uygulamalarında olasılık tabanlı hatalardan mümkün olduğunca arındırılmış sonuçlar elde edilebilmektedir [2].

Yukarıda sıralanan üç adet etkinlik kriterine ilave olarak rastlantısal sayı üretiminde kullanılacak işlemci gücü ve bellek miktarının en alt seviyede olması da verimlilik kriteri olarak göz önünde bulundurulmalıdır.

3. SİMÜLASYON UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK BİR RASTLANTISAL SAYI ÜRETECİ

Yukarıda verilen kriterler ışığında tasarımı yapılan bir rastlantısal sayı üretim algoritması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1 - Rastlantısal Sayı Üreteci

Bu algoritma içerisinde yer alan yapı taşları şunlardır:

SHA-1 (Secure Hash Algorithm): SHA-1 160-bit çıktısı olan bir mesaj özeti algoritmasıdır. Mesaj özeti algoritmaları girdi bit dizisi üzerinde uyguladıkları doğrusal olmayan dönüşümlerle, sabit uzunluklu çıktı bit dizileri üretirler. SHA-1 dönüşümü, girdi alanı (İng. input domain) ile çıktı alanı (İng. output domain) arasında, pratik anlamda, 1-1'lik bir eşleme sağlar [1], [5].

BBS (Blum Blum Shub): BBS özellikle bilgi güvenliği uygulamalarında kullanılan bir rastlantısal sayı üretecidir. Bilgi güvenliği anlamında çok güvenilir bir rastlantısal sayı üreteci olan BBS, hız performansı anlamında yavaş bir üreteçtir (BBS algoritması modüler kare alma işlemi içermektedir) [1], [5].

MD5 (Message Digest Algorithm):128-bit çıktısı olan bir mesaj özeti algoritmasıdır. [1], [5]

MT (Mersenne Twister): Periyot değeri 2^{19937}-1 olan ve hız performansı iyi olan bir rastlantısal sayı üretecidir. Bununla birlikte 624 elemanlık bir sayı dizisinden yola çıkarak ileride üretilecek sayıların tahmin edilebilmesi nedeniyle bu üreteç bilgi güvenliği uygulamalarında kullanılmamaktadır. Simülasyon uygulamalarında ise tek düze dağılımlı (İng. uniform distribution – üretilen sayılar 0 ve 1 aralığında tekdüze dağılmaktadır) rastlantısal sayı dizisi üretmede yaygın olarak kullanılmaktadır [8], [9].

Şekil 1'de verilen algoritmada "Simülasyon Koşum Zamanı", "Koşum Tarihi", "Koşum Numarası" ve "Senaryo Numarası Veritabanı Tekil Belireci(ID)" ilklendirme vektörünün ilk bölümünü oluşturmaktadır. Bu parametreler ayrı senaryoların ve aynı senaryonun farklı koşumlarının farklı ilklendirme vektörleri, dolayısıyla farklı rastlantısal sayı dizileri kullanmasını garanti altına almaktadır. Kullanılan SHA-1

algoritması bu girdileri doğrusal olmayan bir çevrimle ayrı girdi değerleri için ayrı çıktılara çevirmektedir. SHA-1 çıktısını alan BBS üreteci simülasyonda kullanılan ve rastlantısal sayı ihtiyacı bulunan tüm aktörler için aralarında doğrusal ilinti bulunmayan bir sayı dizisi üretmektedir. BBS algoritması, rastlantısal sayı ihtiyacı bulunan her yetenek için (örneğin bir algı cihazı) bir defa ilerletilmektedir.

Birbirinden farklı iki aktörün algı cihazları için kullanılacak rastlantısal sayılarda olduğu gibi aynı etmene ait birbirinden farklı algı cihazları için kullanılacak rastlantısal sayıların da birbiriyle ilintisiz olması olasılık hesaplamalarında ideal bir durumu adreslemektedir. Bu farklılaşmayı sağlamak amacıyla BBS çıktısı her etmenin veritabanı tekil belirteci ve etmenin müdahale / algı cihazları veritabanı tekil belirteçleri ile birleştirilerek (İng. concatenation) MD5 mesaj özeti algoritmasına girdi olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde simülasyonda kullanılacak asıl rastlantısal sayıları üretecek olan Mersenne Twister algoritmasının ilklendirme vektörü oluşturulmaktadır.

Verilen algoritmada kullanılan ilklendirme vektörlerinin yetenek kategorisinde eşleştirilmesi aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1 – İlklendirme Vektörü – Yetenek Eşleştirmesi

<table>
<tr><th>Yetenek</th><th>İlklendirme Vektörü
(1. Bölüm, BBS)</th><th>İlklendirme Vektörü
(2. Bölüm, MT)</th></tr>
<tr><td>Algı</td><td rowspan="3">Senaryo Koşum Zamanı,
Senaryo Koşum Tarihi,
Senaryo Koşum Numarası
(aynı senaryonun birden
fazla koşumu için
kullanılmaktadır),
Senaryo Veritabanı Belirteci</td><td>Aktör Tekil Belirteci,
Aktörün Algı Cihazı Tekil Belirteci</td></tr>
<tr><td>Müdahale (Silah Sapması)</td><td>Aktör Tekil Belirteci,
Aktöre Ait Silah Sistemi Tekil Belirteci</td></tr>
<tr><td>Hasar</td><td>Hasar Veren Silahın Tekil Belirteci,
Hasar Alan Aktör Tekil Belirteci,</td></tr>
</table>

Hasar kapsamında kullanılan ilklendirme vektörünün hem hasar veren silahın hem de hasar alan aktörün veritabanı tekil belirteci kullanılarak oluşturulması sayesinde bir aktörün belirli bir silah sisteminden alabileceği hasar olasılık tabanlı hesaplanabilmektedir. Bu noktada sadece hasar alan aktörün kullanılması durumunda farklı silah sistemlerinin belirli bir aktör üzerindeki etkisinin bağımsız (İng. independent) olarak incelenmesi mümkün olmayacaktır.

3.1. Rastlantısal Sayı Üretecinin Değerlendirilmesi

Bu makalenin 3. Bölümünde verilen rastlantısal sayı üretecinin 2. Bölümde verilen kriterleri nasıl karşıladığı aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

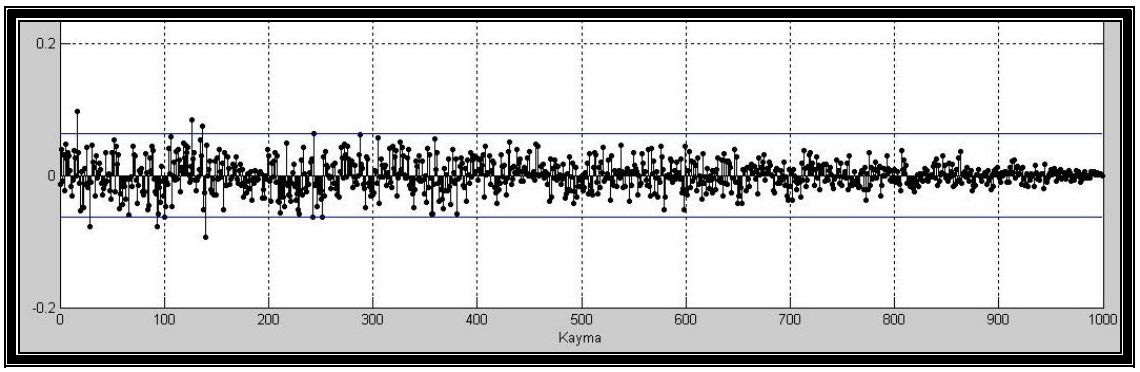
Tablo 2 – Rastlantısal Sayı Üreteci – Rastlantısal Sayı Kriterleri Eşleştirme Tablosu

Kriter	Karşılanma Yöntemi
Simülasyonun aynı rastlantısal sayılar kullanılarak tekrarlanabilmesi gerekmektedir.	Aynı senaryo içerisindeki aktör ve cihazların veritabanı tekil belirteçleri (ID) tüm koşumlarda aynıdır. Senaryo Koşum Zamanı, Senaryo Koşum Tarihi ve Senaryo Koşum Numarası sisteme dışarıdan verilerek senaryonun farklı koşumları aynı rastlantısal sayı dizileri ile tekrarlanabilir.
Birbirinden bağımsız yetenekler için oluşturulan rastlantısal sayı dizileri birbirlerini etkilememelidir.	Aktör ve cihaz veritabanı tekil belirteçlerinin ilklendirme vektörünün bir parçası olarak kullanımı yetenek ve cihaz bazında farklı rastlantısal sayı dizisi kullanımına olanak vermektedir.
Birden fazla defa koşturulan aynı senaryo farklı rastlantısal sayı dizileri kullanmalıdır	Senaryo Koşum Zamanı, Senaryo Koşum Tarihi ve Senaryo Koşum Numarası ilklendirme vektörünün bir parçasıdır. Bu şekilde farklı koşumların farklı rastlantısal sayı dizileri kullanabilmesine olanak sağlanmıştır.

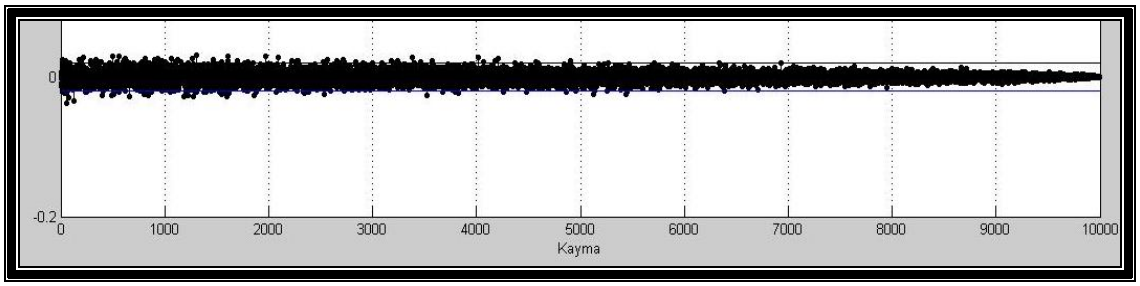
3.2. Rastlantısal Sayı Üretecinin Olasılık Dağılımı Yönünden İncelenmesi

Tasarlanan üretecin öz ilinti ve ilinti fonksiyonları yönünden incelenmesi amacıyla ilgili algoritmanın 1000 ve 10000 elemanlı çıktılarına ait öz ilinti ve ilinti fonksiyonları bilgisayar ortamında Şekil 2 ve Şekil 3'de verildiği şekilde oluşturulmuştur.

Verilen öz-ilinti grafiklerinde X ekseni, dizi üzerinde uygulanan kayma miktarını göstermektedir. Y ekseni ise dizi elemanlarının X ekseninde verilen sayıda kaydırılması sonucunda elde edilen öz-ilinti değerini vermektedir.



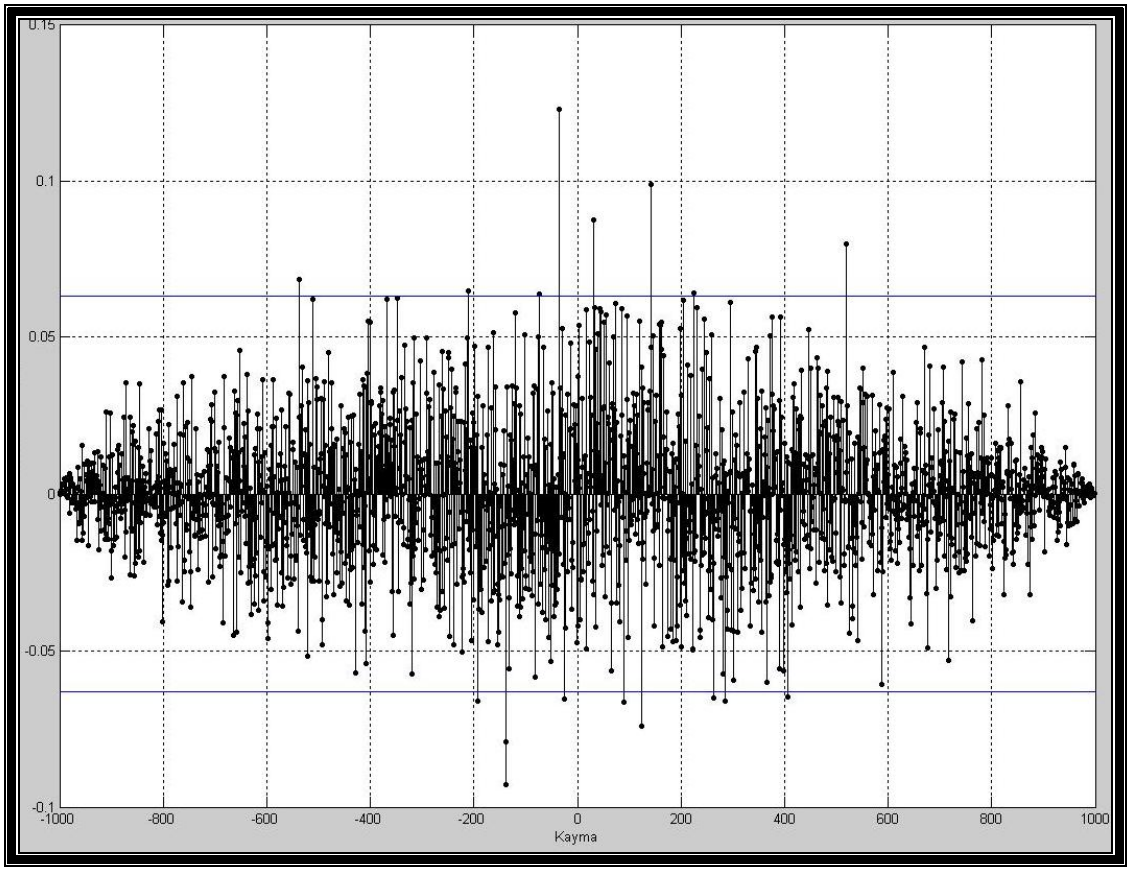
Şekil 2 – 1000 Elemanlı Bir Dizi İçin Öz-İlinti Grafiği



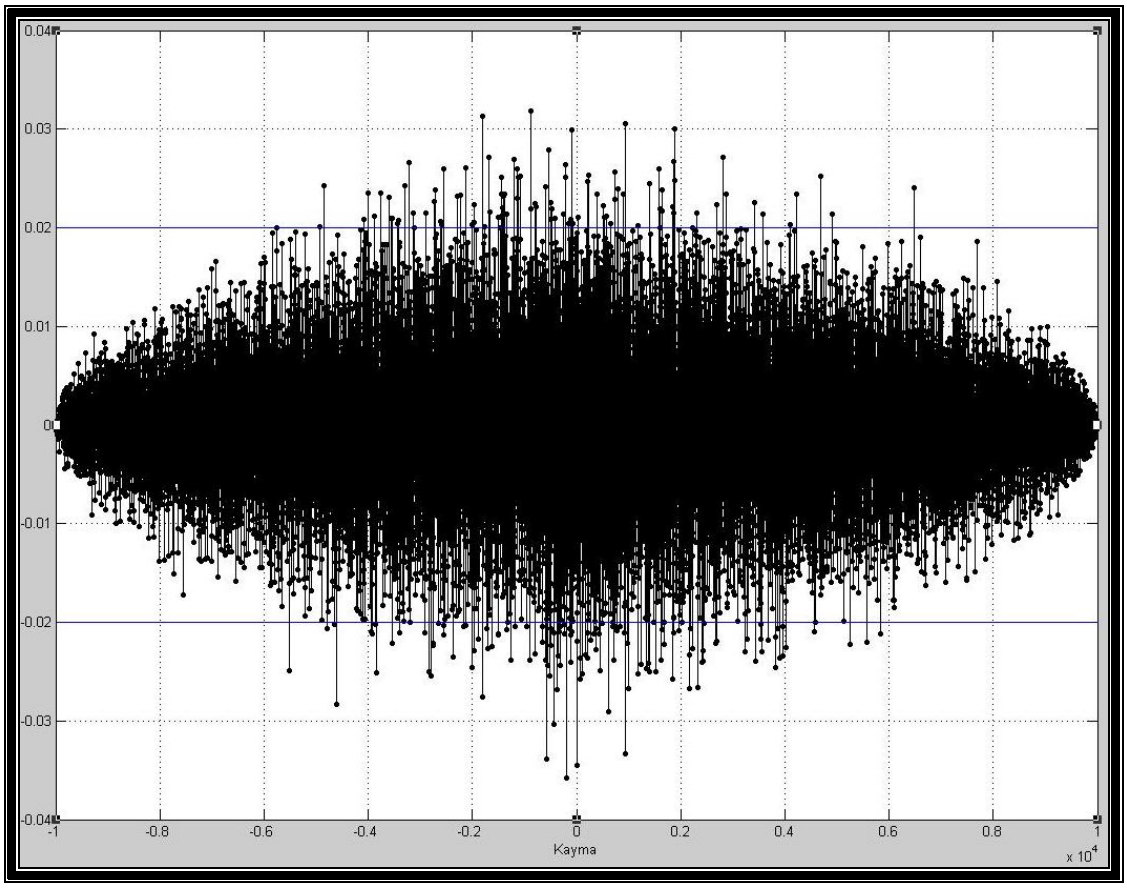
Şekil 3 – 10000 Elemanlı Bir Dizi İçin Öz-İlinti Grafiği

Öz ilinti grafiklerinden de görüldüğü üzere üretilen rastlantısal sayı dizisinin boyu, dolayısıyla öz ilinti fonksiyonunda kullanılan aralık (kayma miktarı) arttıkça öz-ilinti fonksiyonunun değeri sıfıra yaklaşmaktadır. Bu yaklaşma 1. Bölümde verilen kriterlerle uyum sağlamaktadır.

Şekil 1'de verilen algoritmanın 1000 ve 10000 elemanlı çıktılarına ait ilinti fonksiyonu sonuçları Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir. İlinti grafiklerinde X ekseni iki rastlantısal sayı dizisinden biri üzerinde uygulanan kayma miktarını göstermektedir. Y ekseni ise X ekseninde verilen kayma sonucunda elde edilen ilinti değerini göstermektedir.



Şekil 4 – 1000 Eleman Kullanılarak Oluşturulan İlinti Grafiği



Şekil 5 – 10000 Eleman Kullanılarak Oluşturulan İlinti Grafiği

İlinti grafiklerinden de görüldüğü üzere üretilen rastlantısal sayı dizisinin boyu arttıkça ilinti fonksiyonunu değeri de sıfıra yaklaşmaktadır.

1. bölümde verildiği üzere rastlantısal sayı dizisinin boyu arttıkça ilinti ve öz ilinti fonksiyonları sıfıra yaklaşmalıdır. Yukarıda verilen ilinti ve öz ilinti grafiklerinden de görüldüğü üzere bu makalede tanımı yapılan rastlantısal sayı üretecinin de öz ilinti ve ilinti fonksiyonu değerleri dizi boyu arttıkça sıfıra yaklaşmaktadır.

3.3. Rastlantısal Sayı Üretecinin Hız Performansı Yönünden İncelenmesi

3. Bölümde verilen algoritma kullanılarak farklı büyüklüklerde sayı dizisi üretimi için geçen süre Tablo 3'te verilmiştir.[1]

Algoritma, C++ kodlama dili kullanılarak gerçeklenmiştir. Her bir dizi için testler 100 defa tekrarlanarak elde edilen sure değerlerinin ortalaması kullanılmıştır. Tablodan da görüldüğü üzere 10000 elemanlık bir rastlantısal sayı dizisinin üretimi 536 mikro saniye süre gerektirmektedir. Bu değer saatler seviyesinde sürecek bir simülasyon senaryosu için ihmal edilebilir bir değerdir.

[1] Test Donanımı: Intel Core-II Quad 2.40 GHz., 3 GB RAM, Windows XP 32 bit

Tablo 3 – Rastlantısal Sayı Üreteci Hız Performansı (Mersenne Twister)

Üretilen Mersenne Twister Sayı Dizisi Büyüklüğü	Sayı Dizisini Üretmek İçin Gereken Süre (mikro saniye)
100	7
1000	52
10000	536

Üreteç içerisinde yer alan BBS gerçeklemesine ait sonuçlar ise aşağıda verildiği gibidir.

Tablo 4 – Rastlantısal Sayı Üreteci Hız Performansı (BBS)

Üretilen BBS Sayı Dizisi Büyüklüğü	Sayı Dizisini Üretmek İçin Gereken Süre (mikro saniye)
100	30538
1000	324368
10000	3288293

BBS üreteci simülasyon içerisinde rastlantısal sayı ihtiyacı bulunan her yetenek için simülasyonun başlangıcında sadece bir defa ilerletilmektedir. Mersenne Twister ise olasılık kullanan yeteneklerle ilgili hesaplamaların tümünde bir defa ilerletilmektedir (her silah atışında Mersenne Twister bir defa ilerletilmektedir). Bu durum Merssenne Twister algoritmasının hız performansının toplam algoritma performansı üzerindeki etkisini özetlemektedir.

4. DAĞITIK SİMÜLASYON UYGULAMALARI

Dağıtık simülasyon uygulamalarında aktör – yetenek eşlemi için iki farklı sistem mimarisi düşünülebilir:

Yetenek Tabanlı Dağıtım: Bir aktöre ait farklı yeteneklerin (algı, müdahale,..v.b.) farklı bilgisayarlarda hesaplanmasını esas almaktadır. Bu çözümde bir yeteneğe ait hesaplamalar tek simülasyon bilgisayarında gerçeklenebileceği gibi yeteneğin ihtiyaç duyduğu işlemci gücüne bağlı olarak birden fazla bilgisayarın kullanımı da mümkündür.

Aktör Tabanlı Dağıtım: Bir aktörün tüm yeteneklerinin aynı bilgisayar üzerinde hesaplanması çözümünü adreslemektedir. Bu mimaride aktör yetenek hesaplamalarının sonuçları ağ üzerinden ilgili aktörle etkileşimi bulunan diğer aktörlere ev sahipliği yapan diğer bilgisayarlara da yayınlanmaktadır. Yetenek tabanlı dağıtım mimarisine benzer şekilde bu çözümde de bir bilgisayar üzerine atanacak aktör sayısı yapılan hesaplamaların yoğunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir.

Bu makalede verilen algoritma aktör ve yetenek tabanlı bir ilklendirme vektörü üretim yöntemine sahip olduğu için bu bilgilere sahip olan tüm simülasyon bilgisayarlarında ilgili rastlantısal sayı dizlerinin üretimi mümkündür. Algoritmanın kullanılacak

simülasyon bilgisayarı ile ilgili bir girdisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla üreteç dağıtık simülasyon ortamında kullanılan bilgisayar sayısından ve aktörlerin hangi bilgisayarda çalıştığından bağımsız bir şekilde rastlantısal sayı dizisi üretebilmektedir.

5. SONUÇ

Bu makalede simülasyon uygulamalarında kullanılabilen tekdüze olasılık dağılımlı bir rastlantısal sayı üreteci sunulmuştur. Mersenne Twister algoritması yerine farklı olasılık dağılımına sahip üreteçlerin kullanımı sayesinde tek düze dağılım dışındaki uygulamalar da adreslenebilmektedir. İlgili üretecin dağıtık hesaplama ortamlarında (birden fazla bilgisayar üzerinde yerel alan ağ iletişimi kullanan uygulamalar) çalışabilmesi de mümkündür. Bu üretecin dağıtık ortamlarda daha etkin çalışabilecek şekilde değiştirilmiş bir sürümü Müşterek Görev Kuvveti Harekatının Modellenmesi ve Simülasyonu Projesi (MGKMOS) kapsamında kullanılmaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Bu makalenin hazırlanmasında algoritma gerçekleştirimi ile çıktı analizi konusunda katkıları bulunan HAVELSAN A.Ş. Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü çalışanlarından Mehmet Burhan TUNCEL ve Osman BİLİR'e teşekkür ederiz. Makalenin gözden geçirmesinde yapıcı yorumları için HAVELSAN A.Ş. Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü çalışanlarından Pınar EVRENSEL ve Ahmet Birol ÇAVDAR'a teşekkür ederiz.

7. KAYNAKÇA

[1] Athanasios Papoulis, S. Unnikrishna Pillai, "Probability Random Variables and Stochastic Processes", 2002, McGraw Hill

[2] Louis G. Birta, Gilbert Arbez, "Modeling and Simulation", 2007, Springer

[3] Reuven Y. Rubinstein, Dirk P. Kroese, "Simulation and the Monte Carlo Method", 2007, Wiley

[4] Alfred J. Meneze, Paul C. Van Oorschot, Scot A. VANSTONE, "Handbook of Applied Cryptography", 1996, CRC Press

[5] Richard E. SMITH, "Internet Cryptography", 1996, Addison Wesley

[6] Bruce Schneir, "Applied Cryptography, 1998, Wiley

[7] Stewart Robinson, "Simulation, The Practice of Model Development and Use", 2004, John Wiley & Sons, Ltd.

[8] Averill M. Law, W. David Kelton, "Simulation, Modelling and Analysis", McGraw Hill

[9] "Mersenne Twister", Wikipedia, the free encyclopedia, http:/en.wikipeida.org, 28.02.2009

EK BİLGİ

Başar KASIM, Mesut GÖZÜTOK

Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü, HAVELSAN A.Ş. ARGE Binası, Teknokent ODTÜ, 06520 ANKARA, TÜRKİYE

bkasim@havelsan.com.tr, mgozutok@havelsan.com.tr

+90 312 2927457, +90 312 2927412 (Telefon)

+90 312 2927486 (Fax)

DÖNER-ROTORLU MİNİ İHA MODELLEMESİ VE SİMÜLASYONU

Ferit Çakıcı [(a)], Prof. M. Kemal Leblebicioğlu [(b)]

[(a)] Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06531, feritcakici@yahoo.com.tr

[(b)] Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06531, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

İnsansız hava araçları (İHA) kameralar, algılayıcılar, iletişim araçları ve diğer faydalı yükleri taşıyabilen, uzaktan kumanda ile veya kendi kendine uçabilen hava araçlarıdır. Döner-rotorlu İHA'lar yapısal olarak sahip oldukları helikopter ve uçak modlarıyla, bu hava araçlarının havada asılı kalma ve yüksek seyir hızı gibi tercih edilen özelliklerini bünyesinde barındıran bir hava platformu olarak, kullanım alanlarındaki değişken ihtiyaçlara cevap verebilecek bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada, model uçak malzemeleriyle üretilebilecek döner-rotorlu bir mini İHA'nın kavramsal tasarımı yapılmış, aerodinamik modeli oluşturulmuş, helikopter-uçak ve geçiş modları için denge noktaları hesaplanarak doğrusal modelleri elde edilmiştir. LQR (Linear Quadratic Regulator) yöntemiyle doğrusal kontrolcüler tasarlanmış ve bütün uçuş zarfı için kazanç ayarlama yöntemiyle kontrol sisteminin benzetimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan kavramsal modeller çerçevesinde tasarım, analiz ve benzetim safhaları için etkileşimli bir yazılım altyapısı oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İHA, Döner-Rotor, Optimal, Kontrol, Optimizasyon.

MODELING AND SIMULATION OF A SMALL-SIZED TILTROTOR UAV

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are remotely piloted or self-piloted aircrafts that can carry cameras, sensors, communications equipment and other payloads. Tiltrotor UAVs provide a unique platform that fulfills the needs for ever-changing mission requirements, with combining the desired features; hovering like a helicopter and reaching high forward speeds like an airplane. In this work, the conceptual design and aerodynamical model of a realizable small-sized Tiltrotor UAV is constructed, the linearized state-space models are obtained around the trim points for airplane, helicopter and conversion modes. Controllers are designed using Linear Quadratic Regulator (LQR) methods and gain-scheduling is employed to obtain achieve simulation for the whole flight envelope. An interactive software infrastructure is established for design, analysis and simulation phases, based on the theoretical concepts.

Keywords: UAV, Tiltrotor, LQR, Control, Optimization.

1. GİRİŞ

Hava araçları yüz yılı aşkın bir süredir askeri ve sivil alanlarda geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Helikopterlerin ileri hız limitlerini aşamamasının yanında dikey iniş kalkış özelliğine sahip olması ve uçakların düşük hız limitinden daha yavaş uçamamasına rağmen yüksek ileri hızlara ulaşabilmesi, bu platformların kullanım alanlarında farklılıklara yol açmıştır. Hava araçlarının tarihsel gelişimi incelendiğinde, tasarım mühendislerinin bu iki tip hava aracının iyi özelliklerinin birleştirildiği ve istenmeyen özelliklerinin elendiği bir araç tasarlayarak, kullanım alanındaki çeşitliliği artırmayı hedeflediği görülmektedir. Bu maksatla kuyruk-üzerine-oturan ve dönen-kanat gibi tasarımlar üzerinde çalışılmış, ancak döner-rotora kadar hiçbiri seri üretime girebilecek kadar başarı elde edememiştir.

Döner-rotorlar, helikopter gibi dikey iniş-kalkış yapabilme ve uçaklar gibi yüksek ileri hızlara ulaşabilme özelliklerine sahiptir. Döner-rotorların çevirdiği pervaneler, helikopter modunda yere paralel, uçak modunda yere dik, geçiş modunda ise diğer iki modun arasında bir açıya sahiptir. Uçuş, bu modlar arasında geçişler yapılarak sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, model uçak parçalarıyla üretilebilecek küçük boyutlardaki bir döner-rotor İHA'nın, uçuş modlarını ve bunlar arasındaki geçişleri sağlayabilecek şekilde kavramsal tasarımı yapılmış; geometrik özellikleri, aerodinamik katsayılar ve pala elemanları teorisi[1] kullanılarak matematiksel modeli elde edilmiştir. Matematiksel model kullanılarak farklı seyrüsefer durumları için, hava aracına etki eden net kuvvet ve momentler hesaplanarak denge noktaları elde edilmiştir. Denge noktaları için doğrusallaştırılan döner-rotor İHA modelleri için, kararlılık analizi yapıldıktan sonra optimal kontrol yöntemlerinden biri olan doğrusal karesel düzengeçler (LQR – Linear Quadratic Regulator[2]) tasarlanmıştır. Kazanç ayarlama yöntemiyle denge noktaları arasında geçiş sağlanarak uçuş benzetimi gerçekleştirilmiştir.

2. DÖNER-ROTOR İHA TASARIMI

Döner-rotorlu İHA'nın kavramsal tasarımı (Şekil 1), mevcut uçak ve helikopter tiplerinin örnek uygulamaları, kavramsal modelleri ve aerodinamik etkiler göz önünde bulundurularak, tercih edilen özelliklerinin birleştirilmesi ve istenmeyen özelliklerin elenmesi hedef alınarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin kavramsal tasarımı bu hedefler doğrultusunda aşağıda belirtildiği şekilde yapılmıştır:

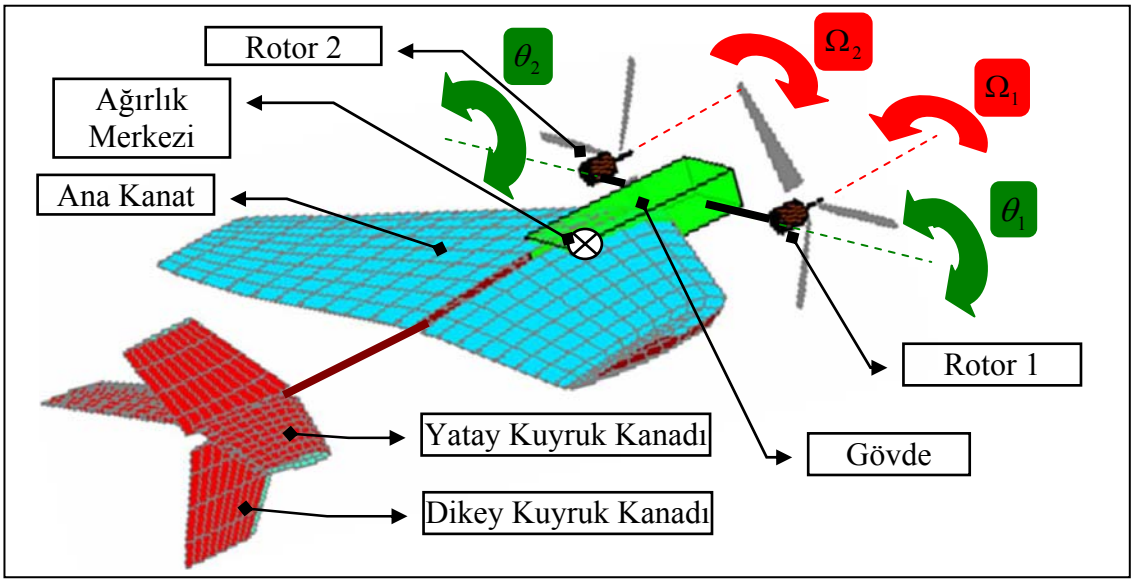
- Gövde, diğer bileşenleri bir arada tutan bir yapı olmasının yanında, faydalı yükleri, aviyonik ve elektrik sistemlerini içinde barınmaktadır.

- Kanatlar, gövdenin her iki yanında sabitlenmiş ve simetrik bir yapıdadır, ileri hızlarda kaldırma kuvveti sağlar. Kanat uçlarına doğru yukarı yükselme verilerek, yuvarlanma hareketine karşı kararlılık kazandırılmıştır.

- Kuyruk kanatları, yatay ve dikey olarak ağırlık merkezinin gerisine yerleştirilerek sapma ve yunuslama hareketlerindeki kararlılık artırılmıştır.

- Döner-rotorlar, gövdenin ön tarafında kendi ekseni etrafında birbirinden bağımsız olarak dönebilen bağlantı parçaları üzerine sabitlenmiş elektrik motorları ve pervanelerden oluşmaktadır. Motorların dönme hızı (Ω_1, Ω_2) ve açısal pozisyonu

(θ_1, θ_2), kontrol edilebilen değişkenlerdir. Pervaneler, motorların açısal pozisyonu doğrultusunda itme kuvveti sağlamaktadır.

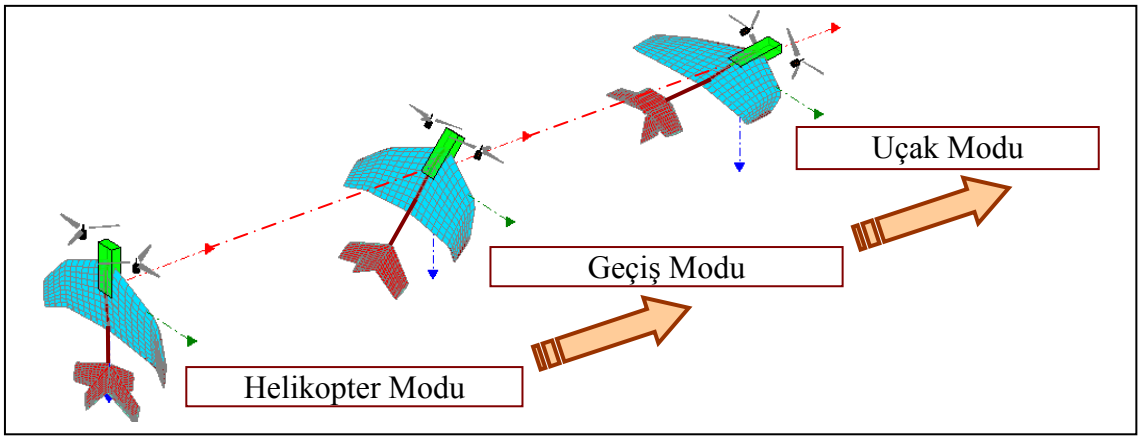


Şekil 1. Döner-rotor İHA.

Döner-rotor İHA'nın tasarımı, Bölüm 7'de açıklanan tasarım arayüzleriyle gerçekleştirilmiş olup, Çizelge 1'de belirtilen fiziksel özelliklere sahiptir. Uçuş modları arasındaki geçişler, Şekil 2'de gösterildiği gibi pervanelerin açısal hızlarının ve rotorların açısal pozisyonlarının kontrolüyle gerçekleştirilmektedir.

Çizelge 1. Döner-rotor İHA'nın fiziksel özellikleri.

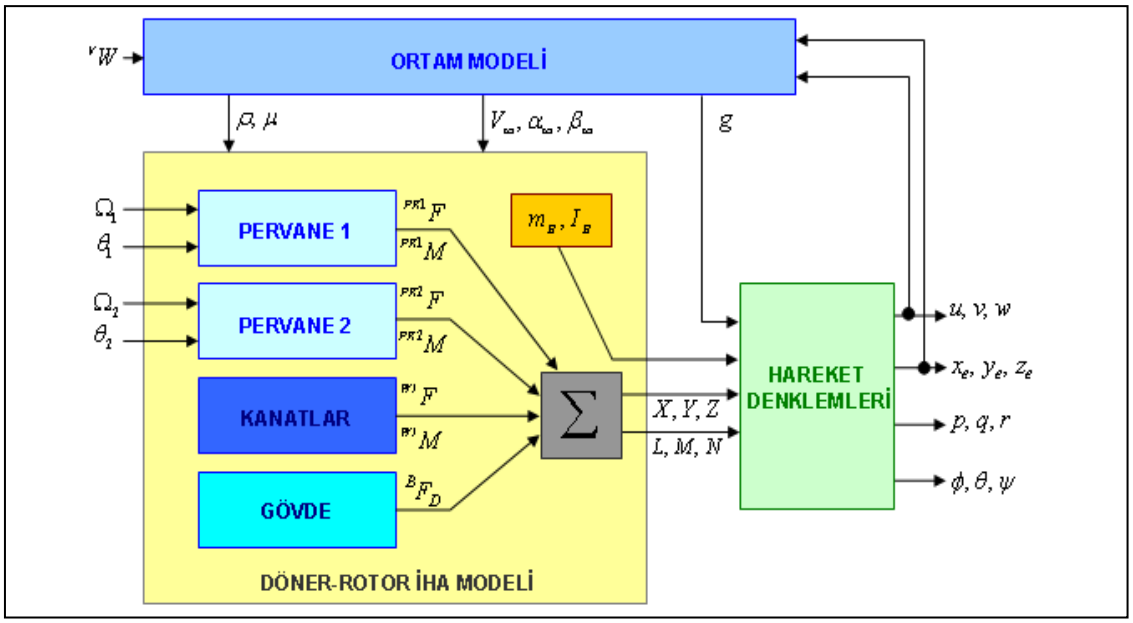
Boyutlar (cm)	Kütle (kg)	Eylemsizlik Momenti $(kg\,m^2)$
$120 \times 180 \times 20$ *(Boy × En × Yükseklik)*	$m_B = 3$	$I_B = \begin{bmatrix} 0.3506 & 0 & -0.0061 \\ 0 & 0.7193 & 0 \\ -0.0061 & 0 & 1.0463 \end{bmatrix}$



Şekil 2. Döner-rotor İHA'nın uçuş modları.

3. MODELLEME

Döner-rotorlu İHA'nın ana bileşenleri, ortam etkileri ve yerçekimi, Şekil 3'te gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 3. Döner-rotor İHA modeli.

3.1. Ortam Modeli

Ortam modeli, atmosfer ve yerçekimi ivmesi gibi değişkenlerin, dünya üzerindeki pozisyona göre değişimini modellemektedir. Atmosfer modelinde, ISO standart atmosfer modeli[3] kullanılmış olup, deniz seviyesine referansla yükseklik bilgisine göre hava basıncı, hava yoğunluğu, hava akışkanlığı ve ışık hızı bilgilerini üretir. Yerçekimi modelinde, yerçekimi ivmesinin boylam ve yükseklik verilerine göre hesaplandığı, WGS84 (World Geodetic System - 84) yerçekimi ivmesi formülü (Formül 1) kullanılmıştır.

$$g = 9.780327\left(1 + 0.0053024\sin^2\phi - 0.0000058\sin^2 2\phi\right) - 3.086\times10^{-6}h \qquad (1)$$

3.2. Hareket Modeli

Hareket modeli[4], Newton ve Euler'in hareket denklemlerine (Formül 2) göre oluşturulmuştur. Hareket denklemleri, ortam modelinden yerçekimi ivmesini (g), hava aracının fiziksel özelliklerini (m_B, I_B), üzerine etkiyen net kuvvetleri (X, Y, Z) ve momentleri (L, M, N) girdi olarak kullanarak (Şekil 3), doğrusal-açısal hız (u, v, w, p, q, r) ve pozisyon $(x_e, y_e, z_e, \phi, \theta, \psi)$ değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

$$\sum F = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{d}{dt}\left(m_B V_B\right) = m_B\left(\dot{V}_B + w_B \times V_B\right), \quad \sum M = \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = \frac{d}{dt}\left(H_B\right) = I_B\dot{w}_B + w_B \times I_B w_B. \qquad (2)$$

3.3. Döner-Rotor İHA Modeli

Döner-rotor İHA modeli, gövde, kanat ve pervane modellerinin ürettiği 3-boyutlu kuvvet ve momentlerin ağırlık merkezine göre toplanıp, hava aracına etkiyen net kuvvet ve momentlerin (X, Y, Z, L, M, N) elde edilmesini sağlar (Şekil 3).

3.3.1. Gövde Modeli

Akışkan bir ortamda hareket halindeki bir cisme hareket yönünün tersinde, hızın büyüklüğü, yüzeyin genişliği (S_x, S_y, S_z) ve sürtünme katsayı (C_d) ile orantılı bir sürtünme kuvveti etki eder. Gövde modelinde sürtünme kuvveti, $C_d = 1.00$ alınarak Formül 4'te gösterildiği gibi hesaplanır.

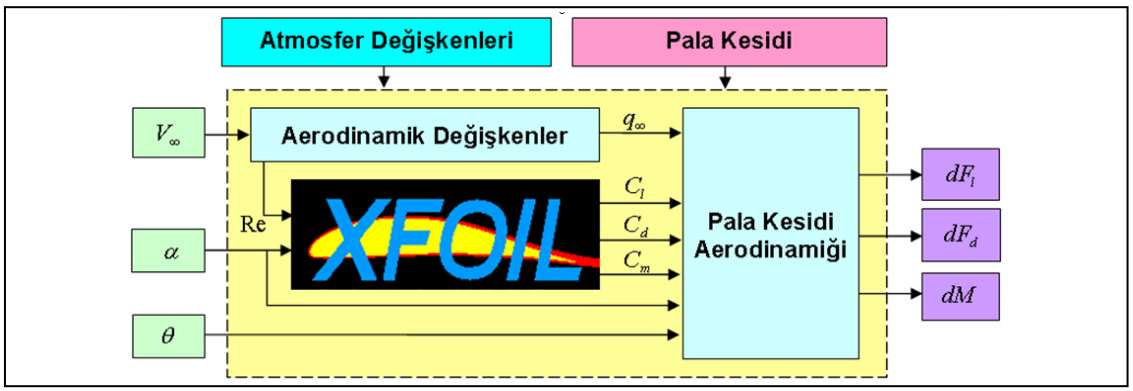
$$^{FU}F = \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{bmatrix} = -\frac{1}{2}\rho \begin{bmatrix} S_x\, u^2 \\ S_y\, v^2 \\ S_z\, w^2 \end{bmatrix} \tag{4}$$

3.3.2. Pala Kesiti Modeli

Pala kesitleri, aerodinamik şekilleri sayesinde kaldırma kuvveti sağlayan pervane ve kanatların yapıtaşlarını oluşturan temel öğelerdir. Pervane ve kanat modellerinden gelen kesit tipi, kiriş uzunluğu (c), hava akış hızı (V_∞), hava geliş açısı (α_∞) ile ortam modelinden elde edilen hava yoğunluğu ve akışkanlığı (ρ, μ) bilgileri pala kesit modeline girdi oluşturmaktadır. Bu veriler yardımıyla, pala kesitinin maruz kaldığı hava akış şeklini belirleyen Reynolds sayısı (Formül 5) hesaplanır.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V_\infty c}{\mu} \tag{5}$$

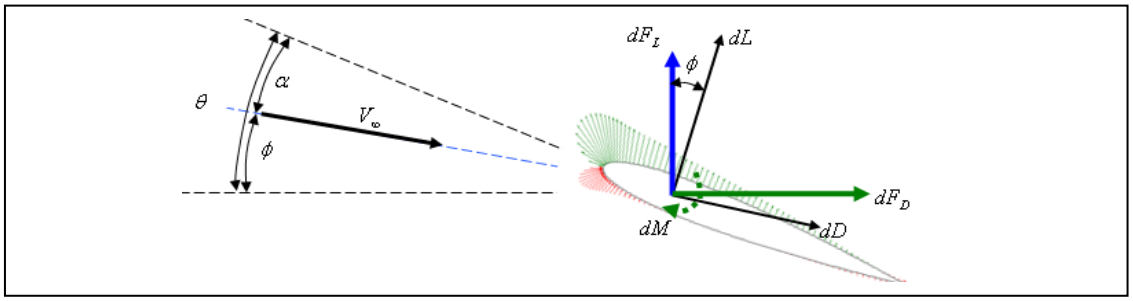
Aerodinamik katsayılar (C_l, C_d, C_m), her pala kesiti için durma açısından küçük değerdeki hava geliş açıları ve farklı hava hızlarında XFOIL[5] programı ile Şekil 4'te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Durma açısından daha büyük değerdeki açılar için ise, Kaynak[6]'da açıklanmış olan rüzgâr tüneli deneyleri baz alınarak, katsayıların değişim eğilimleri göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Elde edilen katsayılar, XFOIL verilerine eklenmiş ve pala kesitinin bütün açıları için $(\pm\pi)$ veriler elde edilmiştir.



Şekil 4. Pala kesiti modeli.

Pala kesitine etkiyen kaldırma kuvveti, sürtünme kuvveti ve burkulma momenti Formül 6'ya göre Şekil 5'te gösterildiği gibi hesaplanır:

$$\begin{bmatrix} dF_l \\ dF_d \\ dM \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\rho V_\infty^2 c \begin{bmatrix} C_l \cos(\theta-\alpha) - C_d \sin(\theta-\alpha) \\ C_l \sin(\theta-\alpha) + C_d \cos(\theta-\alpha) \\ C_m c \end{bmatrix} \tag{6}$$



Şekil 5. Pala kesiti aerodinamiği.

3.3.3. Kanat Modeli

Kanat modelinde, simetrik yapıdaki kanatların merkez noktasında oluşan kuvvet ve momentlerin hesaplanmasında; kanat kesitlerinin özellikleri (uzunluk, kesit tipi, kiriş uzunluğu v.b.), atmosfer değişkenleri, hava aracının 3-boyutlu doğrusal ve açısal hızı girdi olarak kullanılmaktadır. Öncelikle, kanat kesitlerinin maruz kaldığı hava akış hızı ve geliş açısı hesaplanır. Elde edilen bu bilgiler, pala kesit modeline (Bölüm 3.3.2) girdi oluşturur. Kanatların tamamı için, pala kesiti modelinden elde edilen kuvvet ve moment bilgileri BET[1] (Blade Elemental Theory) kullanılarak toplanır. Bu sayede kanatların merkezinde oluşan net kuvvet ve momentler (Formül 7) hesaplanır.

$$^{WI}F = \int_{-R}^{R} {}^{WI}R_{AF} \begin{bmatrix} -dF_D \\ 0 \\ -dF_L \end{bmatrix} dy, \quad ^{WI}M = \int_{-R}^{R} \begin{bmatrix} {}^{WI}x_{AF} \\ {}^{WI}y_{AF} \\ {}^{WI}z_{AF} \end{bmatrix} \times {}^{WI}R_{AF} \begin{bmatrix} -dF_D \\ 0 \\ -dF_L \end{bmatrix} + {}^{WI}R_{AF} \begin{bmatrix} 0 \\ dM \\ 0 \end{bmatrix} dy \tag{7}$$

3.3.4. Pervane Modeli

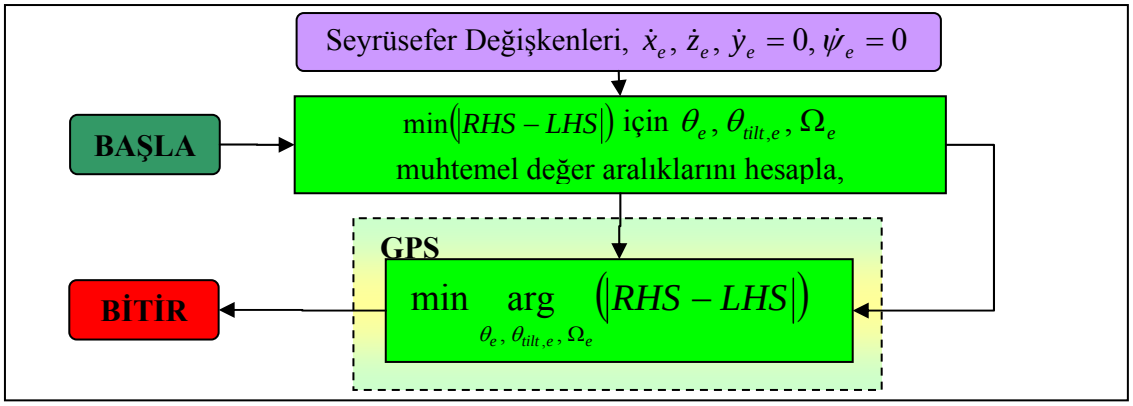
Pervane modelinde pala kesitlerinin hızları (V_∞) ve hava geliş açıları (α_∞), kanat modeline ek olarak rotorun açısal pozisyonu $(\theta_{1,2})$, pervanenin dönüş hızı $(\Omega_{1,2})$ ve içeri çekilen hava hızı (V_i) da hesaba katılarak hesaplanır. Kuvvet ve momentler hesaplanırken, palaların tam bir tur atarken üzerinde oluşan kuvvetlerin ortalaması alınır. Newton mekaniğine göre pervaneler, itki kuvveti oluştururken kütlenin, momentumum ve enerjinin korunumu prensiplerine göre, dönme ekseni doğrultusunda hava kütlesini içeri doğru çekerler. Bu durumda, pervanenin itki kuvveti ve içeri çekilen hava arasında oluşan denge[7] Formül 8'e göre, desen arama algoritması[8] (GPS - Generalized Pattern Search) kullanılarak hesaplanır.

$$V_i = \arg\min_{V_i}\left(\left| f(V_i) \right|\right),$$
$$f(V_i) = {}^{PR}F_x(V_i) + 2\rho A V_i\left(-{}^{PR}V_z + V_i\right). \tag{8}$$

4. KARARLILIK ANALİZİ

4.1. Denge Noktasının Bulunması

Denge noktası hesaplanırken, doğrusal olmayan hareket denklemleri, aerodinamik değişkenler $[u, v, w, p, q, r, \phi, \theta]$ ve seyrüsefer değişkenleri $[\psi, x_e, y_e, z_e]$ denklemleri olarak iki gruba ayrılmıştır. Döner-rotor İHA'nın kontrol değişkenleri ise motorların açısal pozisyonları ve dönüş hızlarıdır $[\Omega_1, \theta_1, \theta_2, \Omega_2]$. Seyrüsefer değişkenleri önceden belirlenmiş girdiler olarak kullanırken, aerodinamik değişkenlerin değişiminin 0'a eşit olduğu durum (denge noktası) için, kontrol değişkenlerinin ve aerodinamik değişkenlerin alması gereken değerler bulunur. Bu durumda hareket denklemlerindeki kuvvet ve momentler eşitliklerin sol tarafına alındığında LHS, sağ tarafta kalan ifadeler ise RHS denklemleri olarak tanımlanmıştır. Doğrusal uçuş için denge noktası bulma algoritması Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Doğrusal uçuş için denge noktası hesaplama algoritması.

4.2. Doğrusallaştırma

Hareket modeli, analitik türevi hesaplanabilen (F_1) (hareket denklemlerinden) ve sayısal türevlenebilen (F_2) (döner-rotor İHA modelinden) denklemler olarak ikiye ayrılmıştır (Formül 9). F_1 analitik olarak türevlenirken (Formül 10), F_2'nin türevi ileri-geri iki yönlü fark alma yöntemi (Formül 11) ile hesaplanmıştır.

$$\dot{x} = F(x, u, t), \quad \dot{x} = F_1(x, t) + F_2(x, u, t), \tag{9}$$

$$A = A_1 + A_2 = \left.\frac{dF_1(x)}{dx}\right|_{x=x_e} + \left.\frac{dF_2(x, u)}{dx}\right|_{x=x_e, u=u_e}, \quad B = \left.\frac{dF_2(x, u)}{du}\right|_{x=x_e, u=u_e}, \tag{10}$$

$$\left.\frac{dF_2(x, u)}{dx}\right|_{x=x_e, u=u_e} = \frac{F_2(x_e + dx) - F_2(x_e - dx)}{2dx}, \quad \left.\frac{dF_2(x, u)}{du}\right|_{x=x_e, u=u_e} = \frac{F_2(u_e + du) - F_2(u_e - du)}{2du}, \tag{11}$$

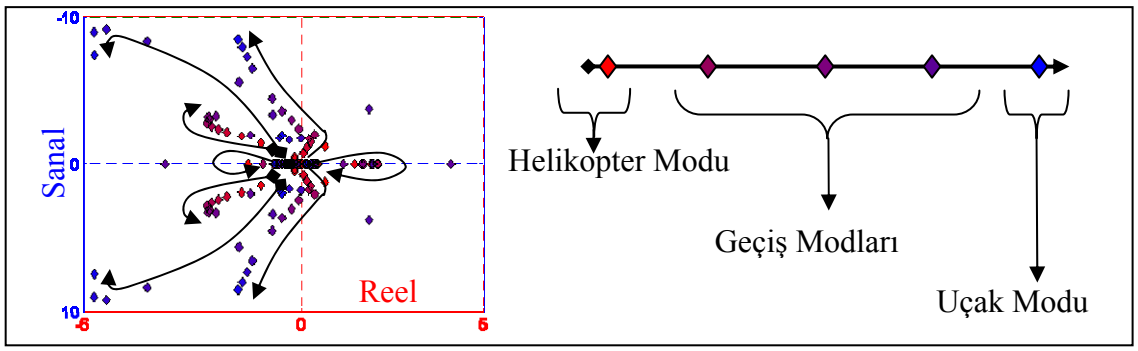
$$\dot{x} = Ax + Bu, \tag{12}$$

$$x = \{u, v, w, p, q, r, \phi, \theta\}, \; u = \{\Omega_1, \theta_1, \theta_2, \Omega_2\}.$$

Doğrusallaştırılmış modeldeki (Formül 12) A matrisinin özdeğerleri hesaplanarak, kararlılık analizi yapılır.

4.3. Kararlılık Analizi

Doğrusallaştırılmış modellerinin özdeğerleri incelenerek yapılan kararlılık analizinde (Şekil 7); döner-rotor İHA'nın genel olarak kararsız bir yapıya sahip olduğu, helikopter ve uçak modlarında V-22 ve XV-15 gibi büyük döner-rotor hava araçlarına benzer bir karakteristiğe sahip olduğu, ancak geçiş modlarında bu araçlara göre çok daha kararsız olduğu tespit edilmiştir. Bu kararsızlık, döner-rotor İHA'nın geçiş modlarında bütün gövdeyi döndürme gereksiniminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Döner-rotor İHA'nın kararlılık analizi.

5. KONTROL SİSTEMİ TASARIMI

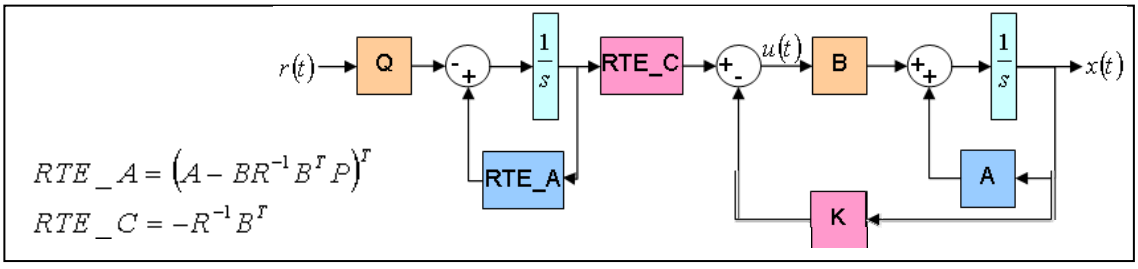
Kontrol sistemi tasarımında, seyrüsefer sisteminden gelen komutları takip edebilmek için, kapalı-döngü sistemin kararlığını garanti altına alan LQR (Lineer Quadratic Regulator) yöntemi[2] ve denge noktası için doğrusallaştırılmış hareket modelinden elde edilen matrisler kullanılmıştır. Her uçuş durumu için, Bryson Kuralı[9] ile simetrik-pozitif olan Q ve R matrisleri oluşturulmuş, cebirsel Riccati denkleminden (Formül 14) P matrisi hesaplanmış ve geribesleme matrisi (K) Formül 15'e göre elde edilerek performans indeksi (J) Formül 13 kullanılarak minimize edilmiştir.

$$J = \frac{1}{2}\int_0^{\infty} (\mathrm{x}\mathrm{Q}\mathrm{x}^{\mathrm{T}} + \mathrm{u}\mathrm{R}\mathrm{u}^{\mathrm{T}})dt \tag{13}$$

$$0 = -Q - A^T P - PA - PBR^{-1}B^T P \tag{14}$$

$$u_{opt} = -Kx = -R^{-1}B^T Px \tag{15}$$

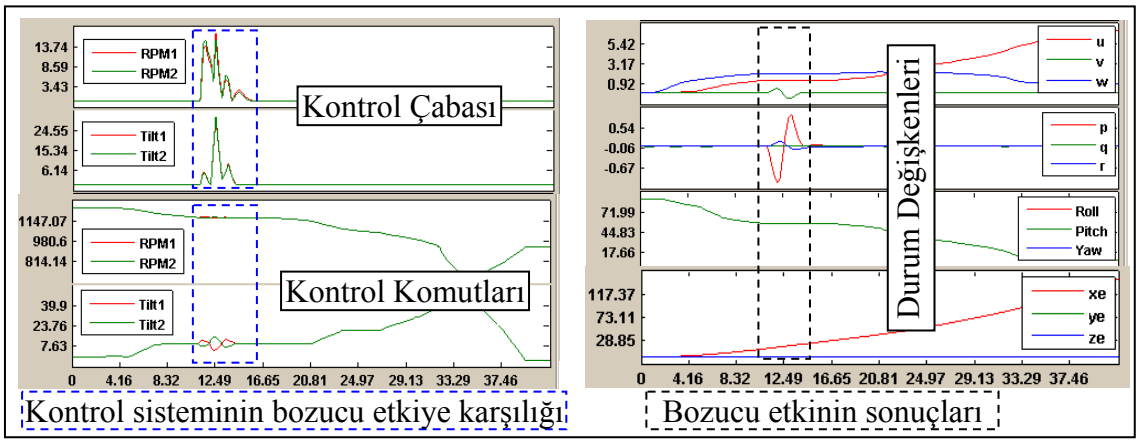
LQR yöntemi takip eden kipte[2] kullanılarak, kontrol sistemi Şekil 8'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Şekil 8. Kontrol sistemi tasarımı.

6. UÇUŞ BENZETİMİ

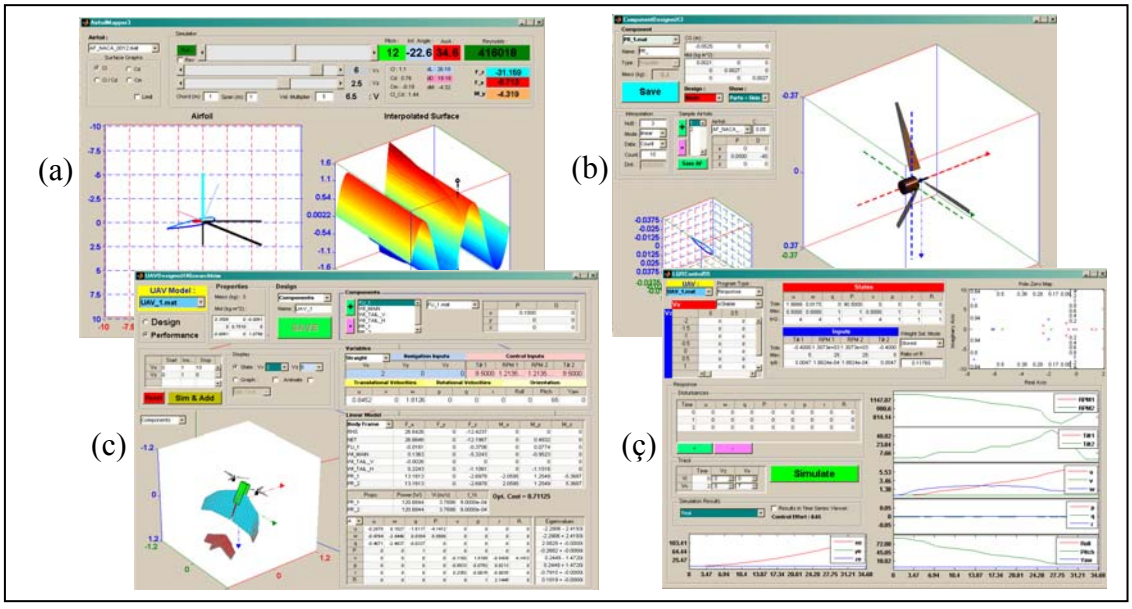
Başlangıçta helikopter modunda olan döner-rotor İHA'ya, uçak moduna geç komutu verilmiş, bozucu etki olarak $11 \le t \le 13\,s$ zaman aralığında 1 derecelik yuvarlanma etkisi uygulanmıştır. Bozucu etki olmadan 33 saniyede ve 120 metre mesafede gerçekleştirilen mod geçişi bu sefer, 39 saniyede ve 145 metre mesafede gerçekleştirilebilmiştir. Kontrol sistemi, bozucu etkinin sonuçlarını yok etmeyi, 6 saniyede, diğer zamanlara göre yüksek bir çaba harcayarak başarmıştır. Bütün uçuşa bakıldığında döner-rotor İHA'nın, helikopter modundan uçak moduna geçişini, denge noktalarını takip ederek başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 9. Bozucu etki altında helikopter modundan uçak moduna geçiş benzetimi.

7. YAZILIM ALTYAPISI

Bölüm 2,3,4 ve 5'te açıklanan kuramsal altyapı çerçevesinde, Matlab 7.6.0 (R2008A) programı kullanılarak, tasarım ve analiz safhalarında görsel bir arayüz sağlamak maksadıyla etkileşimli yazılımlar (Şekil 8) hazırlanmıştır. Bu yazılımlardan;



Şekil 8. a.Pala Kesiti, b.Parça Tasarlayıcı, c.İHA Tasarlayıcı, ç.Kontrol Benzetimi Prog.

- Pala Kesiti Tasarım/Analiz Programı ile, her çeşit pala kesiti için veri elde etme ve İHA tasarımındaki kanat ve pervanelerin alt bileşeni olarak kullanılabilecek hâle getirilmesi için etkileşimli bir ortam sağlanmış,

- Parça Tasarım Programı ile, fiziksel özelliklerin girilerek, alt bileşenleri (batarya, aviyonik sistemler, motor, pala kesitleri v.b.) de dâhil olmak üzere her çeşit kanat, gövde ve pervane tasarımının yapılabilmesi için uygun bir ortam hazırlanmış,

- İHA Tasarım Programı ile, Parça Tasarım Programı'nda tasarlanan parçaları 3-boyutlu olarak istenilen pozisyon ve açıda birleştirilerek farklı tiplerde İHA tasarımlarının, denge noktası hesaplamalarının ve kararlılık analizlerinin yapılabilmesine imkân tanıyan bir ortam oluşturulmuş,

- Kontrol Benzetimi Programı ile, İHA Tasarım Programı'nda tasarlanan hava araçları için, LQR yöntemi ile optimal kontrol sistemi tasarımının ve benzetiminin yapılabildiği bir kabiliyet kazanılmıştır.

7. SONUÇ

Kavramsal tasarımı, modellemesi, kararlılık analizi ve kontrolcü tasarımı yapılan döner-rotorlu İHA'nın, helikopter modunda dikey iniş-kalkış kabiliyeti, uçak modunda yüksek seyir hızı ve düşük güç tüketimi ile, geniş uçuş zarfına sahip bir platform olduğu; LQR kontrolcüsünün hava aracını kararlı hâle getirdiği, ancak bozucu etki altında görevini yapabilmesi için hızlı kontrol yüzeylerine ihtiyaç duyduğu tespit edilmiştir.

Literatürde bulunan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında, pala kesiti ve pervane benzetimlerinin rüzgâr tüneli verileriyle uyumlu olduğu, döner-rotor İHA'nın büyük ölçekli ve pilotlu döner-rotorlar olan V-22 ve XV-15'e benzer özellikler sergilediği, ancak küçük boyutları nedeniyle dinamiklerinin çok daha hızlı olduğu görülmüştür.

Tasarım ve benzetim safhaları için modüler şekilde oluşturulan yazılımlar, geliştirme çalışmaları sonucunda, küçük boyutlardaki uçak, dört-rotorlu, helikopter, serbest-kanat v.b. İHA tasarımları için, uygun bir başlangıç tasarım altyapısı sunabilecektir.

8. KAYNAKÇA

[1] G. Leishman, "Principles of Helicopter Aerodynamics", Cambridge University Press, 2002.

[2] R.S. Burns, "Advanced Control Engineering", Butterworth-Hinemann Pub., 2001.

[3] International Organization for Standardization (ISO) Publication, ISO 2533:1975.

[4] B. Etkin, "Dynamics of Atmoshopheric Flight", John Wiley and Sons, Inc., 1972.

[5] M. Drela, "XFOIL 6.96 (GPL), Pala Kesiti Tasarım/Analiz Programı" MIT, 1999.

[6] R.E. Sheldahl, "Aerodynamic Characteristics of Seven Airfoil Sections", Sandia National Laboratories, SAND80-2114, 1981.

[7] J. Seddon, "Basic Helicopter Aerodynamics", Blackwell Science Press, 1990.

[8] J. Nacedal, S.J. Wright, "Numerical Optimization", Springer, 2006.

[9] B. D. O. Anderson, "Optimal Control", Prentice-Hall, 1989.

EK BİLGİ

Ferit ÇAKICI

E-posta:	feritcakici@yahoo.com.tr
Telefon:	0 505 826 77 81
Adres:	Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06531

Prof. M. Kemal Leblebicioğlu

E-posta:	kleb@metu.edu.tr
Telefon:	0 312 210 2358
Faks	0 312 210 2304
Adres:	Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, ANKARA 06531

APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ

Resul ALTIN [(a)], Çağrı Murat KARAPIÇAK [(b)], Sencer KOÇ [(c)]

[(a)] ETA A.Ş., AR-GE İkizleri Z-Kat B-Blok Teknokent ODTÜ, resul@etaint.com

[(a)] ETA A.Ş., AR-GE İkizleri Z-Kat B-Blok Teknokent ODTÜ, ckarapicak@etaint.com

[(c)] ODTU Elektrik ve Elektronik Müh. Böl., ODTÜ, skoc@metu.edu.tr

ÖZ

Bu makalede, HELSİM Projesi kapsamında geliştirilen fiziksel tabanlı APS–143(V)3 Deniz Radarı simülatörü anlatılmaktadır. Simülatör, gerçek radarın bütün etki ve özelliklerine sahiptir. Simülasyonun koşulduğu coğrafi bölgeye ait yükseklik verileri kullanılarak, gerçekçi PPI ekran görüntüleri oluşturulmaktadır. Simülasyon ayrıca hedef, kırpıntı (chaff), karıştırıcı gibi çevresel tehdit unsurları ile bulut, yağmur, dolu, kar, deniz durumu, kara örtüsü ve kültürel objeler gibi diğer çevresel etkileri de gerçeğine uygun olarak modelleyerek karşılık gelen eko şiddetlerini hesaplamakta ve uygun radar görüntüsünü oluşturarak kullanıcıya sunmaktadır. Simülatörde ayrıca, Genişletilmiş (Extended) Kalman Filtre kullanılarak hedef izleme algoritması da gerçekleştirilmiştir.

Radar simülatörlerinde kullanılan model, uygulama amaçlarına göre çok farklı olabilmektedir. Bu çalışmada kullanılan model, zaman tabanlı bir model olmayıp, radar sinyallerinin entegrasyonuna ve ortalama güç hesabına dayalı bir modeldir. Böylece radar modelinin gerçekçiliği korunurken, işlem yükü düşürülmüştür.

Simülatör, görüntü oluşturmak için OpenGL kütüphanelerini kullanmaktadır. Oluşturulan radar ekranı ve çevre faktörlerinin görüntüye etkileri, gerçek radar ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır.

Simülasyonu gerçekleştirilen radar, 200 nmi menzile sahiptir. Anten dönüş hızı 12 ve 60 rpm olabilmektedir. Ayrıca hareketli bir platformda yer almaktadır. Radarın bu özellikleri, işlem yükünü arttırmaktadır. Bütün bu özelliklerin gerçekçilik ve fiziksel tabanlı modellemeden ödün vermeden karşılanması, simülatörün en önemli özelliğidir.

Anahtar Kelimeler: Kalman Filtre, Modelleme, Radar, Simülasyon, Simülatör

APS–143(V)3 SEA SURVEILLANCE RADAR AND GROUND ECHOES SIMULATION SYSTEM

ABSTRACT

This paper presents the physical model based APS–143(V)3 Sea Radar Simulator that was developed as a part of the HELSİM Project. The simulator is capable of implementing all the properties of the actual radar and generating related effects. A realistic PPI screen is generated by using the geographical terrain data. The simulator calculates the echo power from the target, chaff and jammer along with the return from the environmental actors such as cloud, rain, hail, snow. The surface clutter is calculated by taking into account the sea state and/or land surface texture. Also cultural objects are taken into account. Thus a realistic radar image can be formed. A target tracking algorithm based on Extended Kalman Filter is also implemented.

The model used in radar simulators can differ between different applications. The model used in this work is based on a statistical model that uses average power and its variation. This approach reduces the required processing power as compared to a model that simulates the radar pulses in time.

OpenGL libraries are used in the Simulator to generate the radar PPI screen. The primary factor considered in the design was to generate a radar screen that exhibits similar behavior as the actual radar under all environmental conditions.

The APS–143(V)3 radar has a range of 200 nmi and its antenna rotation period can be set to either 12 or 60 rpm. Furthermore, it is located on a moving platform. All these properties increase the processing load. However, the simulator can meet these requirements without compromising the realism of the results that arise from the physics based model.

Keywords: Kalman Filter, Modeling, Radar, Simulation, Simulator

1. GİRİŞ

Simülasyon, teknolojik gelişmelerin baş döndürücü bir hızla devam ettiği günümüzde önemi gittikçe artan bir konudur. Günümüz sivil ve askeri elektronik ve haberleşme cihazları karmaşık, pahalı ve sadece kullanımı bile uzmanlık gerektiren sistemler haline gelmiştir. Uzmanlık ise sürekli tekrar, kendini geliştirme ve tecrübeyle ortaya çıkmaktadır. Simülatörler, uzmanlık gerektiren her alanda, gerekli tecrübe ve eğitimi kullanıcıya gerçekte bulunan risk faktörleri olmadan, istenildiği an ve istenilen koşullarda tekrar tekrar sunabilen araçlardır.

APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ de bu amaca hizmet etmek üzere gerçekleştirilmiştir. Simülatörlerden beklenen, risk faktörlerinden arınmış ve istenilen çalışma şartlarının sağlandığı bir ortamın kullanıcıya sunulmasıdır. APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ, APS–143(V)3 Deniz Radarının fiziksel tabanlı simülasyonudur. Simülatör, gerçek sistem ile birebir aynı özelliklere sahip olup, gerçeğinin hem görsel hem de fonksiyonel olarak bütün etkilerini simüle edebilmektedir. Gerçekleştirilen simülatörde simülasyon parametreleri APS–143(V)3 radarı için özel olarak belirlenmiş olmakla birlikte, bu parametreler kolayca değiştirilebilir olarak tasarlanmıştır. Böylece simülatör, parametreleri farklı olan benzer radarların simülasyonu için de kolayca ayarlanabilmektedir.

Simülasyonun ortaya çıkarılmasında özellikle iki unsur motive edici olmuştur. Birincisi piyasada bulunan ve benzer işleve sahip COTS simülatörlerin radar parametrelerinin ve radar performansının uygun olarak ayarlanmasında istenilen esnekliğe sahip olmamalarıdır. İkincisi ise ülkemizin radar simülasyonu konusunda yurtdışına olan bağımlılığının ortadan kaldırılmasıdır.

Makalenin 2. bölümünde simülasyonu gerçekleştirilen radara ait bazı bilgiler verilmektedir. 3. bölümde simülasyon ve simülasyonu oluşturan yapılardan bahsedilmektedir. 4. bölümde simülasyon gerçekleştirilirken karşılaşılan zorluklardan söz edilmektedir. 5. bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmektedir.

2. APS - 143(V)3 HAVADAN TAŞINAN KEŞİF RADARI

APS–143(V)3 Radarı havadan taşınan, darbe sıkıştırmalı bir arama radarıdır. Kullanıcıya, su üstü keşfi yaparken yüzey ve hava hedeflerini tespit etme olanağı sunmaktadır. Radar anteni platform hareketlerine karşı stabilize edildiği için kullanıcıya gerçek hedef açısı, göreceli hedef açısı ve hedefin platforma olan uzaklığı gibi bilgileri sunabilmektedir. Deniz kargaşa etkisini azaltan tekniklere sahiptir. Ayrıca yağmur, dolu, kar, sis ve fırtına gibi hava durumlarını saptayan "Hava Durumu" (Weather) moduna sahiptir. Ayrıca radar ekranında belirlenen su üstü ve hava hedeflerini izleme kapasitesine de sahiptir. APS–143(V)3 Radarı, Bekleme (Standby), Arama (Search) ve Hava Durumu (Weather) olmak üzere 3 farklı modda çalışabilmektedir.

APS–143(V)3 Radarı, dairesel tarama modunda 360° lik bir tarama alanına sahiptir. 12 rpm ve 60 rpm'lik anten dönüş hızlarında çalışabilmektedir. 12 rpm dönüş hızı tüm radar menzil seçimleri için mümkünken, 25 nmi ve 50 nmi'lik menzillerde anten dönüş hızı 60 rpm'e çıkarılabilmektedir. Radar ayrıca, sektör tarama modunda, kullanıcının seçtiği bir açıyı merkez alacak şekilde ±30° ile ±150° lik sektörleri tarayabilmektedir. Radar anteninin demet genişlikleri yancada 2.2º ve yükselişte 13º 'dir,[1]

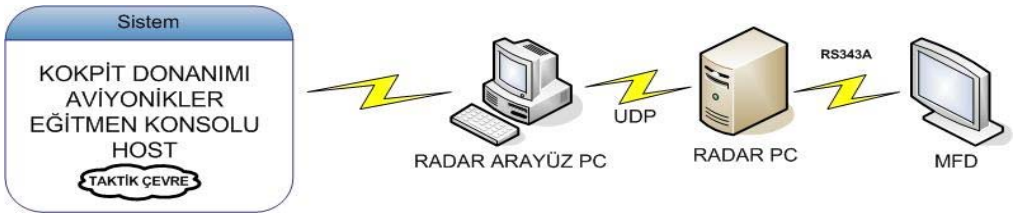
3. APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ

APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ, APS–143(V)3 Deniz Radarının fiziksel tabanlı simülasyonudur. Gerçekleştirilen simülasyon, simüle edilen radarın bütün etki ve özelliklerine sahiptir. Radar simülasyonu, simülasyonun koştuğu coğrafi bölgeye ait yükseklik verilerini kullanarak, o an seçili radar parametreleri ile, gerçeğe en uygun eko görüntüleri oluşturmaktadır. Simülasyonda gerçekleştirilen ve gerçek radarın da sahip olduğu başlıca radar efektleri ve etkileri şunlardır:

Radar Efektleri:

- Helikopter Yükseklik ve Hareketlerinin Etkileri
- Menzile Dayalı ve Atmosferik kayıplar
- Kırınım ve Dünyanın Yuvarlaklığı
- Gölgeleme, Arazi/Öğe/Hedef Maskeleme
- Uzak Kıyı Parlaması (Far Shore Brightening)
- Deniz Durumu
- Bakış Açısı
- Alıcı Hassasiyeti
- Yüzey Madde Etkileri, Engelleme Etkisi
- Hava Durumu Etkileri
- Kırpıntı ve Karıştırıcı Etkileri
- Anten (tarama hızı, ışıma örüntüleri), Yan Kulak Etkisi (side lobe effect)
- Radar Çözünürlüğü
- Menzil Skalaları
- Darbe Genişliği
- Alıcı Gürültüsü
- Geometrik Bozunum
- Frekans Bandı
- Verici Gücü
- Duyarlılık -Zaman Kontrolü (STC)
- Alıcı Kazancı
- Karıştırma
- Anten Stabilizasyonu
- Tarama Entegrasyonu (Scan Integration)
- Gürültü Eşiği
- Hedef izleme

APS–143(V)3 Deniz Radarı ve Yer Ekoları Simülasyonu, normal çalışma modunda, proje dahilinde HAVELSAN A.Ş. tarafından geliştirilen Radar Arayüz Bilgisayarı ile sürekli olarak etkileşim halindedir. Radar Arayüz Bilgisayarı, radara ait tüm kontrol parametrelerini ve taktik çevre unsurlarını UDP soket vasıtası ile Radar Simülasyon yazılımına aktarmaktadır.



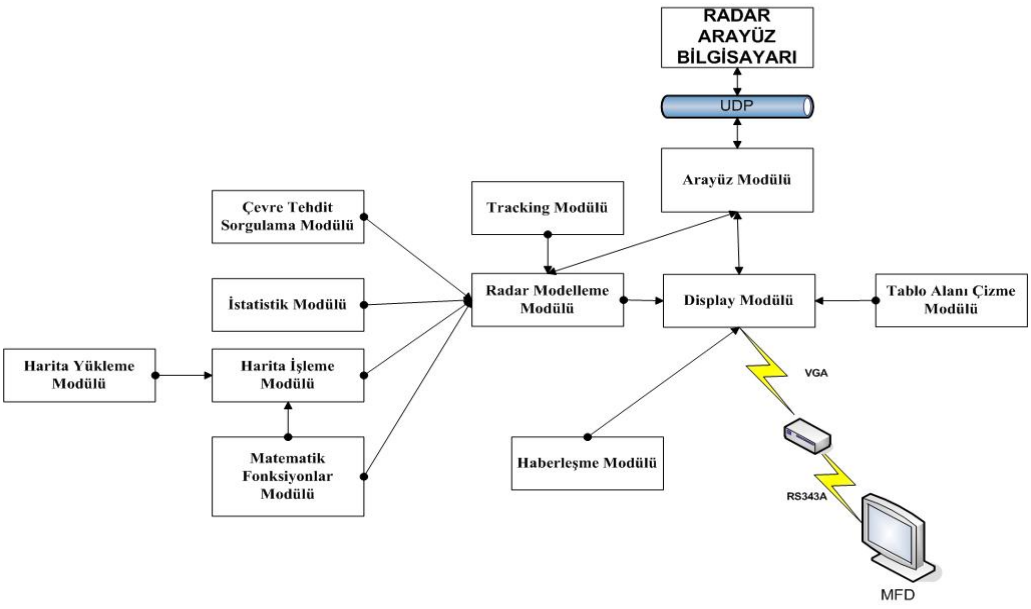
Şekil 1. Radar Simülatörü Çevre Bileşenleri

Normal çalışma modunda yazılım, oluşturduğu videoyu bir RS343 video dönüştürücüsüne göndermekte ve bu dönüştürücüden çıkan video sinyali MFD (Multi Function Display) ekranlarına yansıtılmaktadır. İlgili sistem arayüzleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

APS–143(V)3 Deniz Radarı ve Yer Ekoları Simülasyon Yazılımı'na destek olarak geliştirilen iki yazılım daha mevcuttur. Bu yazılımlardan ilki olan "Interface Emulator" yazılımı, normal çalışma modunda simülasyonun etkileşim içinde olduğu tüm çevre birimlerini emüle ederek, simülasyonun tek başına çalışabilmesini sağlar. Diğer yazılım ise, simülasyonun kullanacağı veritabanını hazırlayan "Environment Creator" yazılımıdır.

3.1 Simülasyon Yazılımının Modülleri

Radar Simülasyonu Yazılımı kendi içerisinde Şekil 2 ile verilen yapıya sahiptir.



Şekil 2. Radar Simülasyonu Yapısı

3.1.1 Radar Modelleme Modülü

Radar Simülasyonu, radar ekolarının oluşturulmasında görsel veritabanında bulunan Yüzey Madde Kodlarını (Surface Material Code) dikkate alarak, hedeflerin madde özelliklerine göre fizik tabanlı eko simülasyonu yaratmaktadır. Radar tespit algoritmasında, hedef radar kesit alanı (RKA, σ) değerleri, hedef mesafesi, darbe genişliği, radar PRF değeri, verici frekansı, verici gücü, alıcı/sistem gürültüsü, alıcı hassasiyeti, minimum-maksimum tespit mesafelerini kullanılmaktadır. Ayrıca radar ekoları arazi ve hava koşulları göz önüne alınarak simüle edilmektedir. Değişik hava olayları ve bulut modellerinin tanımlandığı bölgelerde istenilen durumlar sağlanabilmektedir.

Simülasyonda değişik karıştırıcı tipleri için karıştırıcı etkisi de gerçekleştirilmiştir.

Kırpıntı (chaff) etkisi de simülasyona dahil edilmiştir. 200 adede kadar değişik bölgede kırpıntı desteklenmektedir. Kırpıntı modeli, ortaya çıkma, asılı kalma ve kaybolma zamanları ile belirlenmektedir.

Radar ekolarının oluşturulmasında radar anten örüntüsü, kazancı, demet genişliği, dönüş hızı ve çalışma modları simülasyon modeline dahil edilmiştir. APS–143(V)3 Deniz Radarının özelliklerine uygun olarak radar anteninin demet genişlikleri yancada 2.2º ve yükselişte 13º olarak kullanılmıştır. Ancak yazılım bu değerlerin istenildiği şekilde değiştirilmesine izin vermektedir.

Yazılım, aynı anda 200 adet hedefi desteklemektedir. Hedef ekolarının oluşturulmasında kırınım etkisi ve bakış açısı hesaba katılmaktadır. Her hedef, kendisine ait 3 dik eksendeki bakış açıları için Radar Arayüz Bilgisayarından verilen RKA değerleri ile tanımlanmaktadır. Diğer bakış açılarındaki RKA değerleri, aradeğerleme yapılarak oluşturulmaktadır.

Çalışmada, hedef gizleme, gölgeleme (Line of Sight), mesafe kayıpları, yatay geliş açısı kayıpları (grazing angle), darbe genişliği etkileri, radar PRF (Darbe Tekrarlama Sıklığı), anten örüntüsü etkileri, radar fonksiyonları, STC (Sensitivity Time Constant), alıcı ve anten gürültüsü, frekans çevikliği (frequency agility), CFAR (Cell Averaging CFAR), tarama entegrasyonu ve darbe sıkıştırma gibi özellikler simüle edilmiştir:

Kullanılan modelin tamamen fiziksel tabanlı olması, gerçek radar ekranında oluşan bazı etkilerin yaratılması için radar görüntüsü üzerinde işlem yapılması gereğini ortadan kaldırmaktadır. Örneğin bazı ticari radar simülatörlerinde belirtilen uzak kıyı parlaması (far shore brightening) kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Denizlerden karalara geçişte değişen yüzeye olan yatay geliş açısından artmasından ötürü, uzak kıyılardan daha fazla eko dönmekte ve simülatörde yansıma gücü hesaplanırken geliş açısı hesaba katılmaktadır.

Simülasyonda ayrıca helikopterin konumu, yüksekliği, yönelimi (roll, pitch açıları), anten açısı (tilt) ve deniz durumu, kara yüzey yansıtıcılığı, hava durumu ve hedeflerle ilgili bilgiler, Radar Arayüz Bilgisayarı üzerinden alınarak etkileri simülasyona dahil edilmektedir.

3.1.1.1 Radar Modeli:

Radar modeli, hedeflerden dönen ortalama gücün elektromanyetik yayılma formülleri ve radar almaç modeli ile hesaplanmasına dayalıdır. Radar darbelerinin zamanda oluşturulması ve almaçta işlenmesi çok yüksek işlem gücü gerektireceği için bu yaklaşım kullanılmıştır. Kullanılan model önce her bir menzil hücresinde dönen ekoların toplam ortalama değerini hesaplamakta daha sonra o menzil hücresinde bulunan eko kaynağına göre bir rasgeleleştirme (randomization) gerçekleştirmektedir. Radar ekolarının hesaplanmasında radar denklemi ve elektromanyetik yayılma formülleri kullanılmıştır. Hedef ekoları hesaplanırken hedef RKA değerleri, bulut ekoları hesaplanırken bulutlara ait RKA değerleri, kargaşa ekoları için deniz durumuna ya da yüzey madde koduna bağlı RKA değerleri, kırpıntı ekoları hesaplanırken kırpıntı RKA değerleri kullanılmıştır. RKA değerlerinin hesaplanmasında eko hesabı yapılacak unsura olan bakış açıları da hesaba katılmıştır.

Radar modeli, elde edilen kargaşa (deniz, kara, bulut ve kırpıntı), karıştırıcı ve hedef ortalama eko güç değerlerinden, uygun istatiksel dağılımları kullanarak, her menzil hücresi için rasgele dağılımlı bir eko güç değeri hesaplamaktadır. Rasgele dağılımlar, kara kargaşası için Weibull dağılım, deniz kargaşası için K-dağılım, kırpıntı, bulut ve hava olayları için Rayleigh dağılım olarak kullanılmaktadır. Bu dağılımların parametreleri, senaryo içerisinde tanımlanan yüzey madde kodları ile belirlenir. Bu parametreler, literatürdeki modellerden yararlanılarak seçilmiştir, [2,3]. Her menzil hücresi için kullanılacak dağılım, o menzilden dönen kargaşa ekolarından en yüksek değere sahip olanı ile belirlenir. Menzil hücresinden dönen eko kaynakları "sadece gürültü", "gürültü + kargaşa", "gürültü + kargaşa + hedef", "gürültü + hedef" şeklinde olabilmektedir. Hesaplama yapılan menzil hücresine ait eko değerleri kullanılarak, o menzil hücresine ait "ortalama eko şiddeti" değeri ve "değişintisi" (varyans) noncoherent entegrasyon ile hesaplanır, [4]. Radarın bir bakış süresinde çok sayıda darbe entegre edildiği için toplam ekonun Gauss dağılımlı olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla her menzil için hesaplanan ortalama değer ve değişinti kullanarak Gauss dağılımlı bir rasgele değer oluşturulmakta ve bu değer ilgili menzil hücresinden dönen ekonun anlık şiddeti olarak kullanılmaktadır.

3.1.2 Display Modülü:

Bu modül simülasyonda hesaplanan radar ekolarının kullanıcıya sunulması için gerekli olan radar PPI ekran görüntüsünün oluşturulmasını sağlamaktadır. Ayrıca modül simülasyonda gerçekleştirilen ve gerçek radar ekranının sahip olduğu efekt ve etkileri simülasyona sağlayan kısımdır. CFAR etkisi bu modül ile simülasyona katılmaktadır. Menzil halkaları, baş çizgisi ve video gösterimi gibi görsel unsurlar ile bu unsurların parlaklıkları gibi tüm görsel efektler bu modül ile gerçekleştirilmektedir. Radar ekolarının gösteriminde gerçeğinde olduğu 3 farklı sönümlenme modu bulunmaktadır (SLOW, MEDIUM, FAST).

3.1.3 Tablo Alanı Çizme Modülü:

Bu mödülün görevi radar videosunda bulunan helikopter, hedef ve radar fonksiyonlarına ait bilgileri sunan tablo alanının oluşturulmasını ve radar simülasyonu çalışırken güncellenmesini sağlamaktır.

3.1.4 Çevre Tehdit Sorgulama Modülü:

Bu modül çevresel tehdit unsurlarının radarın menzili içerisinde olup olmadığını, bulundukları konuma göre sahip oldukları RCS değerlerinin, unsurların radara uzaklıklarının ve radar olan bağıl açılarının hesaplanmasını sağlayan modüldür.

3.1.5 Haberleşme Modülü:

Bu modül diğer bilgisayarlarla radar bilgisayarının veri alışverişini sağlayan modüldür. Haberleşme UDP soket üzerinden gerçekleşmektedir.

3.1.6 İstatistik Modülü:

Bu modül radar modelinde kullanılan rasgele değişkenlerin üretilmesini sağlayan modüldür. Çeşitli optimizasyonlar içermektedir.

3.1.7 Matematik Fonksiyonlar Modülü:

Bu modül radar modelinde kullanılan optimize edilmiş matematiksel fonksiyonları içermektedir.

3.1.8 Tracking Modülü:

Bu modül radar simülasyonunun hedef izleme fonksiyonlarını yerine getiren modüldür. Modülde bu işlem için ”Genişletilmiş Kalman Filtre” kullanılmıştır. Ekoları hesaplanan ve radar ekranında gösterilmekte olan hedefler için izleme başlatılması, izlemelere ait bilgilerin arayüze gönderilmesi gibi işlemleri gerçekleştiren modüldür. Modül Radar modelinin hesapladığı ekolar üzerinden işlem yapmaktadır.

3.1.9 Harita Yükleme Modülü:

Bu modül radar simülasyonun koşacağı coğrafyaya ait yükseklik ve yüzey madde kodu bilgisini içeren haritanın yüklenmesini sağlamaktadır.

3.1.10 Harita İşleme Modülü:

Bu mödül, radar simülasyonun koştuğu alanda gerekli harita işleme uygulamalarının yapıldığı modüldür. Bu uygulamalar görüş açısı (Line-Of-Sight) hesaplama, menzil hücresi alanı hesaplama ve kırınım etkisi gibi coğrafi bilgi gerektiren işlemlerdir.

3.1.11 Arayüz Modülü:

Arayüz modülü, radar simülatörü ile diğer birimler (diğer simülatörler, kullanıcı arayüzleri ve taktik çevre birimleri) arasında belirlenmiş olan iki yönlü veri alışverişinde kullanılan ve simülasyon bilgilerinin güncellenmesini sağlayan modüldür.

4. YARDIMCI YAZILIMLAR

4.1 Interface Emulator Yazılımı

"Interface Emulator" yazılımı APS–143(V)3 Radar yazılımının tek başına (stand-alone) çalışma modunda Radar Arayüz Bilgisayarı yerine geçmekte ve Radar Arayüz Bilgisayarının normal çalışma durumunda UDP üzerinden sağladığı bilgileri APS–143(V)3 Radar Yazılımına sağlamaktadır. Aynı şekilde bu yazılım izlenen hedef bilgilerini, hata (malfunction) durumlarını ve ortamdaki tüm hedeflere ait görülüp görülmediklerine dair bilgileri APS–143(V)3 Radar Yazılımından almakta ve kullanıcıya göstermektedir.

Bu yazılım APS–143(V)3 Radar yazılımı ile aynı PC üzerinde koşmaktadır. Bu PC çift monitör çıkışlı bir ekran kartına sahip olmalıdır ve tek başına çalışma modunda "Interface Emulator" yazılımı 1. Monitörde ekrana gelirken, APS–143(V)3 Radar yazılımı ikinci monitörde ekrana gelmektedir.

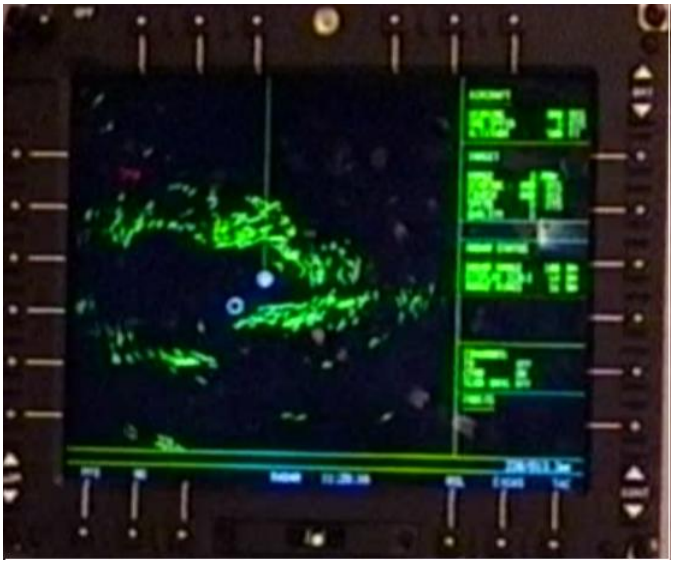
4.2 Environment Creator Yazılımı

"Environment Creator" yazılımı ise simülasyonun geçeceği çevre bilgilerini simülasyon kullanımına hazır hale getirmek için geliştirilmiştir. Bu yazılım dahilinde aşağıdaki dosya tipleri okunarak ".eta" uzantılı yeni bir dosya oluşturulmaktadır. Okunacak dosyalar;

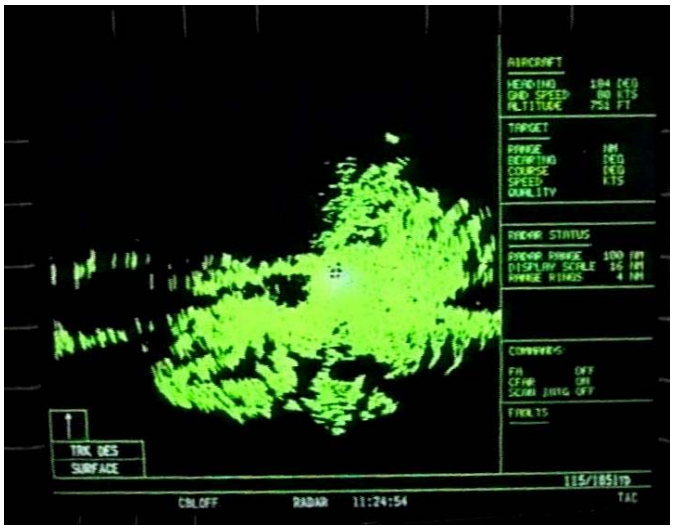
- Yükseklik verilerini içeren ".dt1" uzantılı dosyalar,
- Yüzey madde kodu bilgisini içeren ".shp" formattaki dosyalar,
- Ek kültürel model bilgilerini içeren ".flt" uzantılı dosyalar,
- Bulut modelleri içeren ".flt" uzantılı dosyalardan oluşmaktadır.

5. SONUÇ

APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı özelliklerle gerçekleştirilmiştir. Böylece fiziksel model tabanlı bir radar simülatörüne sahip olunmuştur. Diğer COTS ürünlerden farklı olarak, kaynak kodlara tam erişim ve müdahale mümkün olduğundan, yazılımın değişik amaçlara uyarlanabilmesi yönünde önemli bir esneklik sağlanmıştır.



Şekil 3. Radar Simülasyonu Ekran Görüntüsü



Şekil 4. Gerçek Radar Ekran Görüntüsü

Ortaya çıkan radar simülasyonu, görsellik, işlevsellik ve kullanım açısından gerçeği ile aynı özelliklere sahiptir. Şekil 3 ve Şekil 4 'te sırarsıyla, radar simülatörü ekran görüntüsü ile gerçek radar ekranı görüntüsü verilmiştir. APS–143(V)3 DENİZ RADARI VE YER EKOLARI SİMÜLASYON SİSTEMİ şu anda, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı tarafından radar operatörü eğitimlerinde aktif olarak kullanılmaktadır.

6. KAYNAKÇA

[1] Telephonics, (1999), "APS–143(v)3 AIRBORNE SEA SURVEILLANCE RADAR, Service Manual, pp.1–30.

[2] Billingsley, J.B., *Radar Clutter*. Artech House, Norwood, MA, 2001.

[3] M.M. Horst, F.B. Dyer, M.T. Tuley, "Radar Sea Clutter Model," IEE International Conference on Antennas and Propagation, November 1978.

[4] Richards, M.A., *Fundamentals of Radar Signal Processing*, McGraw-Hill, 2005.

EK BİLGİ

Resul ALTIN
ETA A.Ş.
AR-GE İkizleri B-Blok Z-Kat
Teknokent / ODTU
ANKARA

e-posta : resul@etaint.com
Tel : 0 312 210 16 16
Fax : 0 312 210 16 13

İz Gözetleme Eğitim Simülatörü (İGES)

Onur KAYNAK

Yazılım Kalite Mühendisi
GATE ELEKTRONİK SAN. VE TİC. A.Ş., Ankara
onur.kaynak@gateelektronik.com.tr

ÖZET

İz Gözetleme Eğitim Simülatörü (İGES), Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde bulunan 20mm'lik Oerlikon/Rheinmetall ve 35 mm'lik Oerlikon (XABA/Ferranti Nişangahları) uçaksavar topları nişancılarının eğitimi amacıyla; nişancıların yeteneklerini geliştirmek ve olası bir harekatta alacakları, hava savunma görevlerinde nişancıların hedeflerini imha etme ve görevlerini terke zorlamadaki başarılarını artırmak maksadıyla geliştirilmiş bir eğitim simülatörüdür. İz gözetleme eğitim simülatörü; farklı arazilerde, çeşitli iklim ve çevre koşullarında, tekrarlanabilir ve birbirinden farklı senaryolar ile çalışma imkanı sunmaktadır. İGES; Görev Planlama, Debriefing, Performans Değerlendirme ve Nişancı Simülatörlerini bünyesinde bulunduran kısmi görev simülatörüdür. Proje GATE Elektronik A.Ş. tarafından İz Gözetleme Eğitim Simülatörü (İGES) 24 aylık bir çalışma sonucu geliştirilerek 7 ayrı birlikte 2009 Ocak ayı itibariyle Türk Silahlı Kuvvetleri envanterine alınmıştır.

ABSTRACT

Track Surveillance Training Simulator (TSTS), is a electro-mechanical platfrom used for marksman training in 20mm Oerlikon/Rheinmetall and 35mm Oerlikon anti-aircraft cannons in order to use these weapons effectively against aggressor air platforms. System incorporates track surveillance principles in a virtual environment and provides the visual interface for the trainees to perform the necessary actions on virtual air threats as well as the necessary mechanisms to debrief the trainees and analyze their performance.

1. GİRİŞ

Gelişen Teknoloji, simülasyon yazılımlarından beklentileri arttırmış, genişletilebilir yazılım mimarisi ile birlikte değişkenlik gösteren müşteri istekleri kısa sürede karşılanarak çeşitli askeri platformların simülatörleri geliştirilmiş ve Türk Silahlı Kuvvetleri bünyesinde hizmete girmiştir. Günümüz Askeri Savunma Konsepti'nde gerçek platfomlar üzerinde eğitimlerin ve tatbikatların gerçekleştirilmesi; platformaların işletim ve bakım maliyetlerinin yüksekseltmekte, eğitimler sırasında ortaya çıkan arızalar platfomun geçici süreyle kullanım dışına çıkmasına veya HEK'e ayrılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, bakım ve işletim maliyetlerinin düşüklüğü, emniyet ve güvenilirliğinin kesin olması gibi sebeplerden dolayı eğitim simülatörlerinin kullanımı zorunlu hale gelmiştir. İz gözetleme Eğitim Simülatörü bu amaçla geliştirilen bir eğitim simülatörüdür.

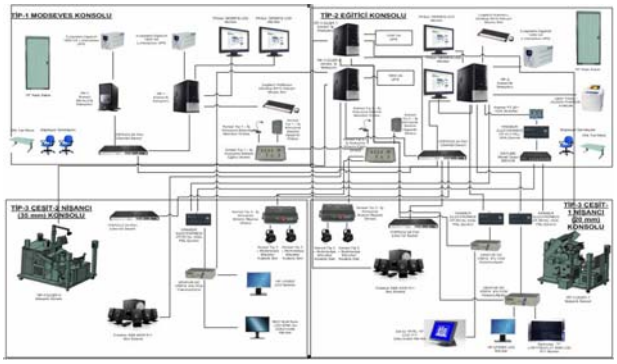
2. İz Gözetleme Eğitim Simülatörü Kabiliyetleri

İGES sistemini kullanarak 20mm'lik Oerlikon/Rheinmetall ve 35 mm'lik Oerlikon (XABA/Ferranti Nişangahları) toplarını kullanan nişancılar aşağıda belirtilen eğitim konularında yeteneklerini geliştirebilmektedir.

- Hava platformlarını tanımlamak
- İz gözetlemesi yapmak
- Mesafe, kesişme mesafesi, önleme ve hız tahmini yaparak hedefe angaje olmak
- Hv. Svn. Silah Atış Tekniklerini öğrenmek
- Hava hedeflerinin ateş altına almak
- Atış zincirini uygulamak
- Silah kontrol emirlerini uygulamak,
- Hava savunma ikaz ve hazırlık durumlarını uygulamak
- Ateş kontrol emirlerini uygulamak
- Uçak ve Helikopter Alçak İrtifa Taarruz Tekniklerini öğrenmek
- Ateş Disiplini uygulamak ve Ateş Taksimi yapmak
- İntikal yolunun hava savunmasını sağlamak
- Mevzide hava savunmasını sağlamak
- Kara ve Suüstü hedeflerini ateş altına almak

3. SİSTEMİN GENEL YAPISI

Sistem genel yapısı itibariyle TCP/IP protokolü üzerinden haberleşen 3 ana konsoldan oluşmaktadır.



Şekil 1: Sistemin Genel Yapısı

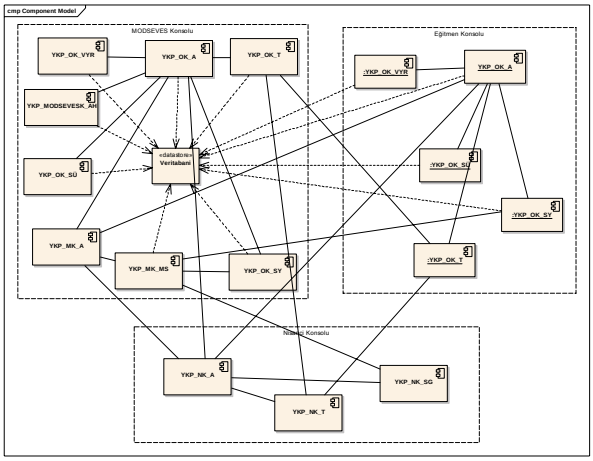
- İGES sistemi Modelleme, Senaryo Oluşturma ve Veri Saklama (MODSEVES) Konsolu; senaryoların oluşturulmasında verilerin hazırlanarak ağ üzerinden aktarılan ve saklanan modellerin oluşturulduğu, yazılımın yedekledeklendiği konsoldur.
- Eğitici Konsolu; eğitim için gereken senaryoların oluşturulduğu, eğitimin başlatıldığı ve yönetilerek nişancı performansının değerlendirmesinin

yapıldığı konsoldur.

- Nişnacı Konsolu; senaryoların üzerinde koştuğu ve nişancının gerçek silah kullanırken yaptığı hareketleri simüle eden gerçek silah özelliklerine sahip konsoldur.

4. İGES YAZILIM MİMARİSİ

İGES sistem seviyesi Yazılım Mimarisi olarak Client-Server Modeli benimsenmiş olup, alt sistemlerin modüllere ayrıştırılmasında object-oriented decomposition mimari modeli benimsenmiştir. Böylece, geliştirilen nesneler kendi aralarında loosely coupled olması sağlanarak nesnelerde yapılan değişikliğin diğer nesneleri etkilemesinin önüne geçilmiştir. Yapısal Modellerin kontrol bilgisi içermemesi gerekmektedir. Bunun yerine, sistem olarak çalışılabilinmesi için, alt-sistemlerin kullanılan yapısal modeli destekleyen bazı kontrol modelerine göre organize edilmesi gerekmiştir. Böylece, alt-sistemlerin servisleri kontrol altına alınarak doğru zamanda doğru işin yapılması sağlanmaktadır. İGES'de benimsenen Merkezi kontrol stili olarak Yönetici Modeli kullanılmıştır. Böylece Ortak Konsol (MODSEVES / EĞİTMEN) sistem yöneticisi olarak atanarak diğer sistem süreçlerinin başlayışı, bitişi ve koordinasyonu kontrol altına alınmıştır.



Şekil 2: Yazılım Mimarisi

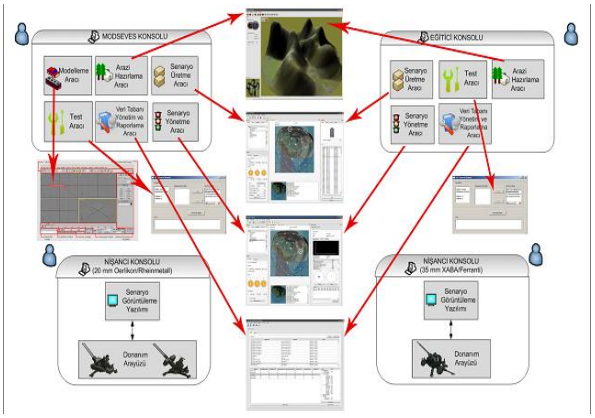
Modülleri oluşturan Yazılım Konfigürasyon Parçalarının (YKP) geliştirilmesinde QT, STL, Delta3D, OpenSceneGraph ve OpenGL kütüphaneleri, Veritabanı Yönetim Sistemi olarak SQL Server Enterprise Edition ve programlama dili olarak C++ kullanılmıştır.

4.1 MODSEVES ve EĞİTİCİ KONSOLLARI

MODSEVES ve Eğitici Konsolları üzerinde eğiticinin senaryo üretebildiği, eğitim başlatabildiği ve eğitim sonuçlarını değerlendirebildiği YKP'ler yer almaktadır.

MODSEVES ve Eğitici Konsolu'nda yer alan Senaryo Üretme Aracı ile eğitici, senaryo hazırlama, sahne tasarımı yapma ve arazilerin 2B haritası üzerinde hedef, silah, personel, araç ve hassas bölgeler tanımlama imkanına sahiptir. Senaryo Üretme Aracı, eğiticiye sistemde yer alan 3B modelleri listeleyebileceği ve senaryoda kullanacağı hedeflere ait modelleri seçebildiği gelişmiş bir arayüz sunmaktadır. Eğitici, Senaryo Üretme Aracı ile sistemdeki 3B arazilerin 2B halleri üzerinde hava araçlarına ait rotalar oluşturarak, rotaları senaryodaki hedeflere atayabilmekte ve sabit/döner kanatlı uçaklar ile İnsansız Hava Aracının (İHA) rotalarını tanımlayarak taarruz profillerini belirleyebilmektedir.

Senaryo Yönetme Aracı ile eğitmen, Nişancı Konsolları'ndaki senaryo uygulamalarına koşma zamanı ile eşlenik olarak müdahale edebilmekte ve senaryoları yönlendirebilmektedir. Senaryo Yönetme Aracı sayesinde Eğitmen, Nişancı performanslarına ait sonuçları eşlenik olarak izleyebilmekte ve değerlendirebilmektedir. Eğitmen aynı anda birden fazla eğitimi Nişancı Konsolları'na yükleyebilmekte ve yönetebilmektedir.



Şekil 3: Sistem Modülleri

Arazi Hazırlama Aracı ile senaryoda kullanılacak 20 km yarıçapında yüksek detay çözünürlükte jenerik araziler oluşturulabilmekte ve Arazi Hazırlama Aracı ile topografyanın seçilen bölümü üzerinde arazinin yükseltilmesi, alçaltılması, yumuşatılması veya girintili çıkıntılı hale getirilmesi işlemleri yapılabilmektedir. Bu amaçla arazi hazırlama yazılımı içerisinde kullanımı kolaylaştıracak birçok yardımcı araç bulunmaktadır. Arazi üzerine hedef olmayan hareketsiz 3B modeller bir kullanıcı arayüzü yardımıyla eklenebilmekte ve arazi modellerinin üzerine farklı dokular kaplanılabilmektedir. Ayrıca, Modelleme Aracı ile eğitmen, senaryo üretme esnasında sahneye ekleyebileceği 3B modeller oluşturabilmektedir.

4.2 NİŞANCI KONSOLU

Nişancı Konsolu üzerinde yer alan Senaryo Görüntüleme Yazılımı ile hazırlanan senaryolara uygun 3B sanal görüntüler üretilebilmektedir. Senaryolar nişancı komutları ile etkileşimli olarak gerçekleşmektedir. Buna ek olarak, nişancıların topla etkileşimleri simülasyona gerçeğe uygun olarak yansıtılmaktadır. Eğitici ve MODSEVES Konsolları'ndan gelen Eğitmenin yönlendirme komutlarına uygun olarak simülasyon uygulaması şekillenmektedir. Nişancı Konsolları birbirlerinden bağımsız olarak farklı senaryolar içinde eğitim sağlayabilmekte ve Nişancı Konsollarının aralarındaki ağ arayüzü sayesinde nişancıların ortak senaryo içinde eğitim almalarına imkan vermektedir. Ayrıca, Nişancı Konsolu üzerinde yer alan donanım arayüzü ile nişancının top ile olan etkileşimi gerçek zamanlı olarak simülasyona yansıtılmaktadır.

4.3 MERKEZİ KONSOL

Merkezi Konsol, senaryo koşturulması sırasında eğitim ile ilgili olarak topların pozisyon/oryantasyon, mühimmat tip ve miktar, çevresel faktör ve hedeflerin özellik bilgilerini tutulduğu konsoldur. Merkezi Konsol Yazılımı, atışların simülasyonu sırasında kullanılan mühimmatların balistik davranışlarının hesaplandığı, senaryo koşturulması sırasında topların değişen pozisyon/oryantasyon bilgilerinin hesaplandığı, senaryo koşturulması sırasında hedeflerin hareket davranışlarının hesaplandığı ve senaryo koşturulması sırasında değişen çevre faktörlerinin etkilerinin hesaplandığı yazılım birimidir. Sistemin dış sistemlerle bağlantısı High Level Architecture (HLA) ile uyumlu olarak tasarlanmıştır.

5. İGES Yazılım Konfigürasyon Parçaları

5.1 YKP_OK_SY

Senaryo Yönetme YKP'si, Eğitmenin, nişancılara uygulayacağı eğitimleri hazırladığı ve yönettiği bir YKP'dir.

5.2 YKP_OK_SÜ

Senaryo Üretme YKP'si, Eğitmenin eğitimde kullanacağı senaryoları üretmesinin ve var olan senaryoların değiştirilmesinin sağlandığı bir YKP'dir.

5.3 YKP_OK_T

Test YKP'si, Eğitmenin sistemin donanımsal ve yazılımsal olarak testini gerçekleştirildiği bir YKP'dir.

5.4 YKP_OK_VYR

Veritabanı Yönetim ve Raporlama YKP'si, sistemde veritabanında tutulan verilerin yönetildiği ve metinsel veya grafiksel olarak raporlandığı bir YKP'dir.

5.5 YKP_OK_A

Ortak Konsol Ana YKP'si, MODSEVES ve Eğitici Konsolları'nda açılışta başlayan ve bu konsol üzerinde diğer YPK'lerin çalışmasını organize eden YKP'dir.

5.6 YKP_NK_A

Nişancı Konsol Ana YKP'si, Nişancı Konsol'unda açılışta başlayan ve bu konsol üzerindeki diğer YKP'lerin çalışmasını organize eden YKP'dir.

5.7 YKP_NK_SG:

Senaryo Görüntüleme YKP'si, Nişancı Konsolu'nda eğitimin 3B olarak görüntülendiği ve nişancıyla etkileşim halinde olacak bir YKP'dir. Nişancı Konsolu üzerinde bulunmaktadır.

5.8 YKP_NK_T

Nişancı Konsolu Test YKP'si, Nişancı Konsol üzerinde Nişancı Konsol ve mekanik top donanımı arasındaki donanım arayüz testini yapan ve Nişancı Konsol üzerindeki yazılım testinin yapıldığı YKP'dir.

5.9 YKP_MK_A

YKP_MK_A projesi Merkezi Konsol'da çalışan ana yazılım uygulamasıdır.

5.10 YKP_MK_MS

YKP_MK_MS projesi Merkezi Konsol'da çalışan merkezi simülasyon yazılım uygulamasıdır.

5.11 YKP_MODSEVESK_AH

Arazi Hazırlama YKP'si, Eğitmenin senaryoda kullanılacak olan arazileri oluşturulmasını ve varolan arazilerin değiştirilmesini sağladığı YKP'dir.

5.12 LIBDB

LIBDB projesi diğer yazılım araçlarının veri tabanı ile bağlantısını sağlamak için kullandığı kütüphane yazılımıdır.

5.13 LIBXML

LIBXML projesi diğer yazılım araçlarının .XML tabanlı dosyaları okumak için kullandığı kütüphane yazılımıdır.

5.14 SIMGUI

SIMGUI projesi diğer yazılım araçlarının ortak grafiksel kullanıcı arayüzü sağlamak için kullandığı kütüphane yazılımıdır.

5.15 SIMPathCreator

SIMPathCreator projesi diğer yazılım araçlarının rota özellikleri için kullandığı kütüphane yazılımıdır.

5.16 SIMHardware20mm

SIMHardware20mm projesi Nişancı Konsolu'nda çalışan donanım arayüz uygulamasıdır.

5.17 SIMHardware35mm

SIMHardware35mm projesi Nişancı Konsolu'nda çalışan donanım arayüz uygulamasıdır.

5.18 dtCore

dtCore kütüphanesi diğer yazılım araçlarının kullandıkları dış kütüphanelerden olan Delta3D kütüphanesine ait bir alt kütüphanedir.

6. SONUÇ

İz Gözetleme Eğitim Simülatörü, uçaksavar personelinin gerçek platformlarda tatbik etme imkanı dahi bulamadıkları eğitimleri almalarını sağlayacak her türde senaryoyu üretebilme kabiliyetine sahip olup, uçaksavar personelinin yeteneklerini geliştirerek olası bir harekatta gerçek silah sistemlerini en etkin şekilde komuta edebilmesine imkan sağlayacak, hava savunma görevlerinde hedef imha etme ve görevlerini terke zorlamadaki başarılarını arttıracaktır.

7. KAYNAKÇA

[1] Sommerville, I., "Software Engineering", 8th Edition, Addison Wesley 2007.

[2] Pantazi, A., Papadopoulos, A., Varsamou, M., Papandreou, N., Savvopoulos, P., Antonakopoulos, T., Makios, V. "Anti-aircraft artillery simulator", Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, Volume 19, Issue 5, May 2004 Page(s): 26 – 30

DENİZALTI MODELLENMESİ VE TİCARİ BİR SENTETİK HEDEF SİMÜLATÖRÜ İLE ENTEGRELİ SİMÜLASYONU

Mehmet Haklıdır, Ahmet Faik Güven, Ömer Eroğlu, Deniz Aldoğan, İsa Taşdelen

TÜBİTAK MAM, Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, Gebze-Kocaeli,
mehmet.haklidir@bte.mam.gov.tr, afaik.guven@bte.mam.gov.tr,
omer.eroglu@bte.mam.gov.tr, deniz.aldogan@bte.mam.gov.tr,
isa.tasdelen@bte.mam.gov.tr

ÖZ

Bu çalışmada, sanal bir askeri eğitim sahasında yardımcı taktik unsur olarak yer alan denizaltıların modellenmesi ve bilgisayar tarafından üretilen kuvvetlerle (Computer Generated Forces, CGF) simülasyon gerçekleştirmeyi sağlayan ticari bir yazılım ile entegreli simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca dalga, akıntı gibi taktik ortamın fiziksel şartları da modellenmiş ve denizaltının bu şartlar ve hidrodinamik kuvvet-momentlerin etkisindeki dinamik davranışlarının gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Denizaltının rota takibi, dalış ve sürat tatbiki gibi görevleri yerine getirebilmesi için Lineer Optimal Kuadratik Regülatör (LQR) tekniği kullanılarak geliştirilen kontrollörler tasarlanmıştır. Örnek bir uygulama gerçekleştirilerek, simülasyon sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Denizaltı, Dinamik Modelleme, Lineer Optimal Kuadratik Regülatör, Ortam Benzetimi, Bilgisayar tarafından Üretilen Kuvvetler

MODELING AND SIMULATION OF A SUBMARINE IN A COMMERCIAL COMPUTER GENERATED FORCES TOOLKIT

ABSTRACT

In this paper, we present the modeling and a commercial computer generated forces toolkit-integrated simulation of submarines that appear as secondary tactical elements within a high-fidelity virtual military training simulation. We aim to observe the dynamic behaviors of these platforms under the effect of hydrodynamic force-moments and physical conditions such as current, wave that belong to the tactical environment. Course keeping, deep and speed controllers have been obtained by using Linear Quadratic Regulator (LQR) technique. At the end of the study the simulation has been presented and results have been discussed.

Keywords: Submarine, Dynamical Modeling, Linear Quadratic Regulator (LQR), Environmental Simulation, Computer Generated Forces (CGF)

1. GİRİŞ

Dağıtık simülasyon sistemleri, farklı ortamlarda birbirlerinden bağımsız koşan, ortak bir hafızası olmayan uygulamalardır. Bu simülasyonların birlikte çalışabilmeleri ve tekrar kullanılabilmelerine destek vermek amacıyla, ABD Savunma Bakanlığı bünyesinde HLA (High Level Architecture) adı verilen bir standart geliştirilmiştir.[1]

MAK VR-Forces, HLA uyumlu olup, bilgisayar tarafından üretilen kuvvetlerle (Computer Generated Forces, CGF) simülasyon gerçekleştirmeyi sağlayan esnek yapılı bir yazılımdır. Birbirleriyle haberleşmek için RTI (Run-Time Infrastructure) kullanan VR-Forces uygulamaları, arayüz (front-end) ve arka (back-end) uygulamalar olmak üzere ikiye ayrılırlar.[2]

VR-Forces tabanlı grafik kullanıcı arayüzü uygulaması sayesinde, seçilen bir savaş sahası üzerinde, kullanıcı komutları ile senaryo hazırlanabilir veya hazırlanan bir senaryonun çalışma süreci gözlemlenebilir.

Simülasyon motoruna sahip VR-Forces arka uygulaması ise platformların benzetimini ve RTI üzerinden haberleşen diğer simülasyon bileşenleri ile iletişimini (platform değişkenlerinin yayınlanması, vb.) gerçekleştirir. VR-Forces uygulamalarında benzetimi yapılan platformlar, (su-üstü, hava, kara ve denizaltı) basit hareket denklemlerine sahiptir. Ayrıca bu platformların hareket denklemlerinde kullanılan ortam parametreleri gerçekçi hareket modelleri oluşturmaya uygun sadakat seviyesinde değildir. Bu hareket modelleri, sadakat seviyesi yüksek, eğitim amaçlı kullanılacak askeri simülasyonların ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalmaktadır. [3], [4]

Bu çalışmada, ortam şartlarını (dalga, akıntı, rüzgar) ve hidrodinamik kuvvetleri hesaba katan, 6 serbestlik dereceli denizaltılar için bir hareket modeli geliştirilmiştir. Bu hareket modeli için gerçeklenen yazılım modülü, VR-Forces 3.9.1 sürümünün arka uygulamasında bulunan bileşen mimarisine bir bileşik nesne (composite object) olarak entegre edilmiştir. Buradaki amaç, bağımsız bir bileşen olarak geliştirilen yazılım modülünün VR-Forces benzeri başka uygulamalarla da kolaylıkla çalıştırılabilmesidir.

Çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümlerinde denizaltının hareket denklemlerinin ve manevra modelinin formüle edilme esasları yer alacak, dördüncü bölümde uygulanan denizaltı kontrol tekniklerinden bahsedilecek, beşinci bölümde ise örnek bir çözümle simülasyon sonuçları tartışılacaktır.

2. DENİZALTININ MATEMATİKSEL MODELİ

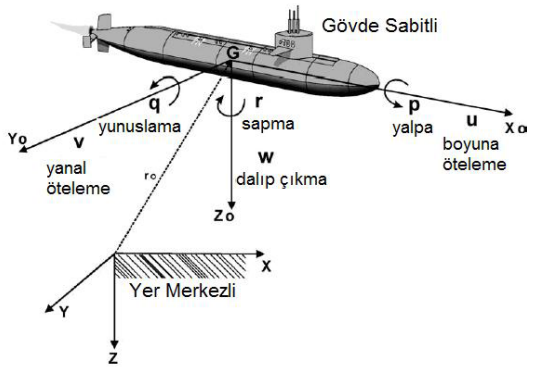
2.1 Altı Serbestlik Dereceli Genel Hareket Denklemleri

Denizaltıların hareketleri 6 serbestlik derecelidir. Her bir serbestlik derecesinin tanımı ve notasyonu Çizelge 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada, (SNAME, 1950) notasyonu kullanılmıştır.[5] Çizelgede tanımlı ilk üç değer ve bu değerlerin zamana bağlı türevleri, platformun x-, y-, z- eksenindeki pozisyonunu ve hareketini, diğer üç değer ise platformun oryantasyonunu ve dönme hareketlerini tanımlamaktadır.

Çizelge 1. Serbestlik derecesi tanımları ve notasyonlar

Serbestlik Derecesi	Tanım	Eksen	Kuvvet ve Momentler	Doğrusal ve Açısal Hız	Konum ve Euler Açıları
1	Boyuna Öteleme	x	X	u	x
2	Yanal Öteleme	y	Y	v	y
3	Dalıp Çıkma	z	Z	w	z
4	Yalpa	x	K	p	ϕ
5	Yunuslama	y	M	q	θ
6	Sapma	z	N	r	ψ

Denizaltıların 6 serbestlik dereceli hareketi incelendiği zaman, gerçekleştirilebilmesi için iki eksen takımının tanımlanmasına ihtiyaç duyulduğu gözlemlenir. Bu nedenle; Kuzey – Doğu – Aşağı (NED – North – East – Down) ve Gövde Sabitli (Body Fixed) koordinat eksen takımları birlikte kullanılmıştır. (Şekil 1)



Şekil 1. Koordinat Sistemi

Hareket eksen takımı $X_0\ Y_0\ Z_0$ platforma sabitleştirilmiştir ve gövdeye sabitlendirilmiş eksen takımı olarak adlandırılır. Bu eksen takımının orijini olan O noktası her zaman geminin ağırlık merkezi olarak seçilir.

2.2 Denizaltıların Hareket Denklemleri

Denizaltıların hareket denklemleri üç temel öğeden oluşur.

- Kinematik - Hareketin geometrisi
- Katı (Rijit) cisim dinamiği – Platformun atalet matrisi
- Mekanik – Harekete neden olan kuvvet ve momentler

Fossen (1994), Craig'in (1989) robot modelinden esinlenerek, klasik represantasyonun tersine 6 serbestlik dereceli denizaltı hareketini vektörel olarak modellemiştir.[6]

$$\dot{\boldsymbol{\eta}} = J(\boldsymbol{\eta})\boldsymbol{\upsilon}$$

$$M\dot{\boldsymbol{\upsilon}} + C(\boldsymbol{\upsilon})\boldsymbol{\upsilon} + D(\boldsymbol{\upsilon})\boldsymbol{\upsilon} + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \boldsymbol{\tau} + g_0 + w$$

Burada, J; transformasyon, η; poziyon ve oryantasyon matrisi, ν; hız matrisi, M ek kütlenin de dahil edildiği atalet momenti, C($\boldsymbol{\upsilon}$) Coriolis matrisi, D($\boldsymbol{\upsilon}$) sönümleme matrisi, $\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta})$yer çekimi kuvveti vektörü ve $\boldsymbol{\tau}$ ise harekete neden olan tahrik sisteminin kuvvet ve momentlerini gösteren vektördür.

xz ekseni, simetri ekseni ve ağırlık merkezi G'nin bu eksen üzerinde x_G, y_G and z_G noktaları ile tanımlandığı kabul edilirse, denizaltının temel hareket denklemleri aşağıdaki gibidir [7]:

Boyuna Öteleme: $X = m\left[\dot{u}_r - v_r r + w_r q - x_G\left(q^2 + r^2\right) + y_G\left(pq - \dot{r}\right) + z_G\left(pr + \dot{q}\right)\right]$ (1)

Yanal Öteleme: $Y = m\left[\dot{v}_r + u_r r - w_r p + x_G\left(pq + \dot{r}\right) - y_G\left(p^2 + r^2\right) + z_G\left(qr - \dot{p}\right)\right]$ (2)

Dalıp-Çıkma: $Z = m\left[\dot{w}_r - u_r q + v_r p + x_G\left(pr - \dot{q}\right) + y_G\left(qr + \dot{p}\right) - z_G\left(p^2 + q^2\right)\right]$ (3)

Yalpa: $K = I_x\dot{p} + \left(I_z - I_y\right)qr - I_{xz}\left(pq + \dot{r}\right) - mz_G\left(\dot{v} + ur - wp\right)$ (4)

Yunuslama $M = I_y\dot{q} + \left(I_x - I_z\right)pr + I_{xz}\left(p^2 - r^2\right) + m\left[z_G\left(\dot{u} - vr + wq\right) - x_G\left(\dot{w} - u_r q + v_r p\right)\right]$ (5)

Sapma: $N = I_z\dot{r} + \left(I_y - I_x\right)pq + I_{xz}\left(qr - \dot{p}\right) + mx_G\left(\dot{v} + u_r r - w_r p\right)$ (6)

2.2 Denizaltıya Etkiyen Kuvvet ve Momentler

Denizaltıya etkiyen kuvvet ve momentler, hidrodinamik/hidrostatik kuvvet-momentler, çevresel dış yükler, kontrol yüzeyi kuvvetleri (dümen, kanatçıklar…) ve itki (pervane) kuvveti olmak üzere dörde ayrılabilir. Bu kuvvet ve momentleri eksen takımına uygun olarak ifade edersek;

Boyuna Öteleme: $X = X_H + X_R + X_E + T$
Yanal Öteleme: $Y = Y_H + Y_R + Y_E$
Dalıp Çıkma: $Z = Z_H + Z_R + Z_E$
Yalpa: $K = K_H + K_R + K_E + T$
Yunuslama: $M = M_H + M_R + M_E$
Sapma: $N = N_H + N_R + N_E$

İndislerin tanımları; H, Akışkan-Cisim Etkileşiminden kaynaklanan hidrodinamik kuvvet ve momentler, R , kontrol yüzey alanını etkileyen kuvvetler, E, çevresel dış yükler (Dalga, akıntı, rüzgar), T, itki kuvveti.

2.2.1 Hidrodinamik Kuvvet ve Momentler

Su basıncının ıslak alanı boyunca entegrasyonu, denizaltının bünyesinde hidrodinamik kuvvet ve momentlerin oluşumuna neden olur. Bu kuvvet ve momentler Abkowitz metodu kullanılarak geminin pozisyon, hız ve ivme bileşenleri ile doğrusal olmayan bir denklem takımı şeklinde tanımlanabilir. Manevra modellerinin geliştirilmesi için en önemli adım Taylor'un serisindeki kuvvet ve momentlerin genişletilmesidir. Bu şekilde doğrusal olmayan terimler bağımsız değişkenler olarak davranırlar ve polinomal bir denklem oluştururlar. Aşağıda taylor serisi üçüncü kuvvete kadar genişletilerek elde edilmiş kuvvet ve momentler yer almaktadır.[8], [9]

$$
\begin{aligned}
X_H = {} & \frac{\rho}{2}l^4\left[X'_{pp}p^2 + X'_{qq}q^2 + X'_{rr}r^2 + X'_{rp}rp\right] + \frac{\rho}{2}l^3\left[X'_{\dot{u}}\dot{u} + X'_{vp}vp + X'_{vr}vr + X'_{wq}wq\right] \\
& + \frac{\rho}{2}l^3\left[uq(X'_{uq\delta b}\delta_{pb} + X'_{uq\delta s}\delta_{ps}) + ur(X'_{ur\delta r}\delta_{rb} + X'_{ur\delta r}\delta_{rs})\right] + \frac{\rho}{2}l^2\left[X'_{uu}u^2 + X'_{vv}v^2 + X'_{ww}w^2 + X'_{v\delta r}uv\delta_r\right] \\
& + \frac{\rho}{2}l^2\left[uw(X'_{w\delta b/2}\delta_{bp} + X'_{w\delta b/2}\delta_{bs} + X'_{w\delta s}\delta_s) + u^2(X'_{\delta b\delta b/2}\delta^2_{\delta b} + X'_{\delta s\delta s}\delta^2_s + X'_{\delta r\delta r}\delta^2_r)\right]
\end{aligned}
\quad (7)
$$

$$Y_H = \frac{\rho}{2} l^4 \left[Y'_{\dot r}\dot r + Y'_{\dot p}\dot p + Y'_{p|p|}p|p| + Y'_{pq}pq + Y'_{qr}qr \right] + \frac{\rho}{2} l^2 \left[Y'_0 u^2 + Y'_v uv + Y'_{v|v|} v\left(v^2+w^2\right)^{1/2} + Y'_{vw} vw \right] \quad (8)$$
$$+ \frac{\rho}{2} l^3 \left[Y'_{\dot v}\dot v + Y'_{vq} vq + Y'_{wp} wp + Y'_{wr} wr + Y'_r ur + Y'_p up + Y'_{v|r|} \frac{v}{|v|}\left(v^2+w^2\right)^{1/2} |r| \right]$$

$$Z_H = \frac{\rho}{2} l^4 \left[Z'_{\dot q}\dot q + Z'_{pp}p^2 + Z'_{qq}q^2 + Z'_{rp}rp \right] + \frac{\rho}{2} l^2 \left[Z'_{vv}v^2 + Z'_{w|w|} w\left(v^2+w^2\right)^{1/2} + Z'_{ww} \left| w\left(v^2+w^2\right)^{1/2} \right| \right] \quad (9)$$
$$+ \frac{\rho}{2} l^3 \left[Z'_{\dot w}\dot w + Z'_{vr} vr + Z'_{vp} vp + Z'_q uq + Z'_{w|q|} \frac{w}{|w|}\left(v^2+w^2\right)^{1/2} |q| \right] + \frac{\rho}{2} l^2 \left[Z'_0 u^2 + Z'_w uw + Z'_{|w|} u|w| \right]$$

$$K_H = \frac{\rho}{2} l^5 \left[K'_{\dot r}\dot r + K'_{\dot p}\dot p + K'_{p|p|}p|p| + K'_{pq}pq + K'_{qr}qr \right] + \frac{\rho}{2} l^3 \left[K'_0 u^2 + K'_v uv + K'_{v|v|} v\left(v^2+w^2\right)^{1/2} + K'_{vw} vw \right] \quad (10)$$
$$+ \frac{\rho}{2} l^4 \left[K'_{\dot v}\dot v + K'_{vq} vq + K'_{wp} wp + K'_{wr} wr + K'_r ur + K'_p up \right]$$

$$M_H = \frac{\rho}{2} l^5 \left[M'_{\dot q}\dot q + M'_{pp}p^2 + M'_{rr}r^2 + M'_{rp}rp + M'_{q|q|}q|q| \right]$$
$$+ \frac{\rho}{2} l^4 \left[M'_{\dot w}\dot w + M'_{vr} vr + M'_{vp} vp + M'_q uq + M'_{w|q|}\left(v^2+w^2\right)^{1/2} |q| \right] + \quad (11)$$
$$\frac{\rho}{2} l^3 \left[M'_0 u^2 + M'_{vv} v^2 + M'_w uw + M'_{|w|} u|w| \right] + \frac{\rho}{2} l^3 \left[M'_{w|w|} w\left(v^2+w^2\right)^{1/2} + M'_{ww} \left| w\left(v^2+w^2\right)^{1/2} \right| \right]$$

$$N_H = \frac{\rho}{2} l^5 \left[N'_{\dot r}\dot r + N'_{\dot p}\dot p + N'_{rr} r|r| + N'_{pq}pq + N'_{qr}qr \right] + \frac{\rho}{2} l^3 \left[N'_0 u^2 + N'_v uv + N'_{v|v|} v\left(v^2+w^2\right)^{1/2} + N'_{vw} vw \right] \quad (12)$$
$$+ \frac{\rho}{2} l^4 \left[N'_{\dot v}\dot v + N'_{vq} vq + N'_{wp} wp + N'_{wr} wr + N'_r ur + N'_p up + N'_{r|v|} v\left(v^2+w^2\right)^{1/2} r \right]$$

2.2.2 Çevresel Dış Yükler

Denizaltıya etkiyen çevresel dış yükler, dalga ve akıntı kuvvetleri olarak iki gruba ayrılabilir.

2.2.2.1 Dalga Kuvveti

Karışık denizlere ait gerçek verinin mevcut olmadığı durumlarda denizcilik hesaplarında genellikle idealleştirilmiş matematiksel spektrum fonksiyonlarından yararlanılır. Bunlardan en basiti ve en çok kullanılanı Pierson–Moskowitz spektrumu tam oluşmuş denizler için sabit hızda ve sonsuz bir periyot için sonsuz genişlikte bir saha üzerinden esen rüzgarlar için bir dalga spektrum bağıntısı verilmektedir.[10], [11]

Bu spektrum dalga frekansı ve rüzgâr hızına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$S_\xi = \frac{0.0081 g^2}{\omega^5} \exp\left[-0.74 \left(\frac{g}{V\omega} \right)^4 \right] \quad (13)$$

Burada, ω; dalga frekansı, V; Deniz yüzeyinden 19,5 m yukarıda ölçülen rüzgâr hızıdır. Dalga kuvveti ve momentlerinin birinci mertebeden bileşenleri denizaltının satha yakın olduğu durumlarda hareketini doğrudan etkileyecektir.[7]

$$F_{wi}(t) = \sum_{n=1}^{N} \left[\frac{F_{wa}}{\varsigma_a}(\omega)\varsigma_{an}.\cos\left(\omega_n t + \varepsilon_{\varsigma n} + \varepsilon_{F\varsigma\varsigma}\right) \right]; i = 1,2,...,6 \quad (14)$$

2.2.2.2 Akıntı Kuvveti

Akıntı ve rüzgar yüklerinin her ikisi de hız ve bu hızın yön vektörleriyle ifade edilirler. Vektör için ayrıca bir işaret tanımlaması gerekecektir ki, bunun için t=0 anında, denizaltının kıçından gelen akıntı sıfır pozisyonunda ve denizaltıyı sancağa döndüren söz konusu etkilerin ise pozitif yönde olduğu varsayımı yürütülür. Çalışmada akıntının etkisinin yalnız denizaltının ilerleme, yan öteleme ve savrulma hareketleri üzerinde geçerli olduğu varsayılmıştır.[12] Akıntı hızı V_R ve akıntının açısı γ_R olmak üzere denizaltıya etkiyen akıntı kuvvet ve momentleri aşağıdaki gibidir.

$$X_a = \frac{1}{2} C_X(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_T \tag{15}$$

$$Y_a = \frac{1}{2} C_Y(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L \tag{16}$$

$$N_a = \frac{1}{2} C_N(\gamma_R) \rho_w V_R^2 A_L L \tag{17}$$

Burada C_X, C_Y and C_N direnç katsayıları, ρ_w suyun özgül ağırlığı, A_T ve A_L, denizaltının enine ve boyuna projeksiyon alanları ve L denizaltının boyudur. İlgili direnç katsayıları C_i, akıntının geliş açısına bağlı olarak farklı değerler almaktadır.[12]

3. DENİZALTININ MANEVRA MODELİ

Bir önceki bölümde elde edilen 6 serbestlik dereceli hareket modeli, hidrodinamik kuvvetler ve çevresel dış yüklerle ilişkilendirilirse doğrusal olmayan bir manevra modeli elde edilir. Bölüm 2.2.1'de elde edilen hidrodinamik kuvvet ve moment bileşenleri, H indisi ile, diğer kuvvet ve momentler açık ifadeleri ile aşağıda denklemde yer almaktadır. [13], [14]

$$\begin{aligned} X = {} & m\left[\dot{u}_r - v_r r + w_r q - x_G\left(q^2 + r^2\right) + y_G\left(pq - \dot{r}\right) + z_G\left(pr + \dot{q}\right)\right] + X_H - \left(W - B\right)\sin\theta \\ & + T_p \cos\delta_R \cos\delta_E + F_x \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} Y = {} & m\left[\dot{v}_r + u_r r - w_r p + x_G\left(pq + \dot{r}\right) - y_G\left(p^2 + r^2\right) + z_G\left(qr - \dot{p}\right)\right] + Y_H \\ & + \left(W - B\right)\cos\theta\sin\phi + T_p \sin\delta_R \end{aligned} \tag{19}$$

$$\begin{aligned} Z = {} & m\left[\dot{w}_r - u_r q + v_r p + x_G\left(pr - \dot{q}\right) + y_G\left(qr + \dot{p}\right) - z_G\left(p^2 + q^2\right)\right] + Z_H \\ & + \left(W - B\right)\cos\theta\cos\phi - T_p \cos\delta_R \sin\delta_E + F_z \end{aligned} \tag{20}$$

$$\begin{aligned} K = {} & I_x\dot{p} + \left(I_z - I_y\right)qr - I_{xz}\left(pq + \dot{r}\right) + I_{xy}\left(pr - \dot{q}\right) - I_{yz}\left(q^2 - r^2\right) - mz_G\left(\dot{v} + ur - wp\right) \\ & + K_H + \left(y_G W - y_B B\right)\cos\theta\cos\phi - \left(z_G W - z_B B\right)\cos\theta\sin\phi \end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned} M = {} & I_y\dot{q} + \left(I_z - I_z\right)pr - I_{xy}\left(qr + \dot{p}\right) + \left(I_x - I_z\right)pr + I_{xz}\left(p^2 - r^2\right) + m\left[z_G\left(\dot{u} - vr + wq\right)\right] \\ & - m\left[x_G\left(\dot{w} - u_r q + v_r p\right)\right] + M_H - \left(x_G W - x_B B\right)\cos\theta\cos\phi - \left(z_G W - z_B B\right)\sin\theta \end{aligned} \tag{22}$$

$$N = I_z\dot{r} + \left(I_y - I_x\right)pq - I_{xy}\left(p^2 - q^2\right) - I_{yz}\left(pr + \dot{q}\right) + I_{xz}\left(qr - \dot{p}\right)$$
$$+m\left[x_G\left(\dot{v}_r + u_r r - w_r p\right) - y_G\left(\dot{u}_r - v_r r + w_r q\right)\right] + N_H - \left(x_G W - x_B B\right)\cos\theta\sin\phi \qquad (23)$$
$$-\left(y_G W - y_B B\right)\sin\theta + x_R\left(F_y + T_p\sin\delta_R\right)$$

M tekil olmamak üzere,

$$\begin{bmatrix}\dot{u}'\\ \dot{v}'\\ \dot{w}'\\ \dot{p}'\\ \dot{q}'\\ \dot{r}'\end{bmatrix} = M^{-1}\begin{bmatrix}X'\\ Y'\\ Z'\\ K'\\ M'\\ N'\end{bmatrix} \qquad (24)$$

Atalet matrisinin tersi alınıp (26)'da yerine konularak durum türevleri elde edilir.

4. DENİZALTININ KONTROLÜ

Kontrol sistemlerinden beklenen gereksinimler arttıkça uygulanan kontrol metodolojileride karmaşık bir hal almıştır. Klasik kontrol teorisini esas alan PID tipi kontrolcüler her ne kadar halen uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktaysa da, Lineer Optimal Kuadratik Regulatörler (LQR) özellikle kararlılığın garanti altına alınmak istendiği çok giriş–çok çıkışlı sistemlerin (MIMO) kontrolünde büyük kolaylık sağlar. Kuadratik performans ölçütüne ilişkin parametreler (Q ve R), ya da parametrelerin elemanlarına farklı ağırlıklar verilerek sistem cevabını ihtiyaca göre kolayca konfigüre etmeye olanak tanır.

Yukarıda bahsi geçen avantajlar doğrultusunda denizaltı gibi 6 serbestlik derecesine sahip sistemlerde LQR tipi kontrolcülerin kullanımı gerek rota takibi, gerekse derinlik kontrolü problemlerinde en iyi performansın elde edilmesinde büyük kolaylık sağlayacaktır. Ancak LQR tipi kontrolcülerin belirli koşullar altında hedeflenen performansı karşıladığı göz ardı edilmemelidir. En genel hal için kontrolörcü tasarımına ilişkin metodoloji aşağıdaki gibidir.[15]

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t)$$
$$y(t) = C(t)x(t)$$

durum uzay gösterimine sahip lineer zamanla değişen bir sistemi

$$J(x(t),u(t),t) = \frac{1}{2}\left[x_d(t_f) - y(t_f)\right]^T F(t_f)\left[x_d(t_f) - y(t_f)\right] + \frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f}\left(e(t)^T Q(t)\,e(t) + u^T(t)R(t)\,u(t)\right)dt$$

performans ölçütüne göre minimize edecek u(t) kontrol işareti

$$\dot{P}(t) = -P(t)A(t) - A^T(t)P(t) - Q(t) + P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t) \quad , \quad P(t_f) = F(t_f)$$

Riccati denkleminin çözümünden elde edilecek pozitif yarı tanımlı P(t) matrisi

$$u(t) = -K\,x(t) + f(t) \quad , \quad K = R^{-1}(t)B^T(t)P(t)$$

ifadesinde yerine yazılarak elde edilebilir.

Denizaltının istenen konuma gitmesini sağlamak üzere tasarlanacak kontrolör iki ayrı kontrolörün birleşimi şeklinde ele alınabilir. Bu kontrölörleri rota takip ve derinlik kontrolörü olarak isimlendirebiliriz. Denizaltının sabit derinlikte istenen bir konuma gitmesini sağlamak amacıyla oluşturulacak kontrolörün sapma açısı (ψ), sapma açısal hızı (r) ve yanal öteleme hızı (v) durum değişkenlerini kullanacağı açıktır. Dolayısıyla dümene uygulanması gereken kontrol kuralı [14]

$$u = -\left[k_\psi \left(\psi - \psi_c \right) + k_R \, r + k_v \, v \right] \quad , \quad K_{LQR_{rota}} = \left[k_\psi \quad k_r \quad k_v \right]$$

şekline oluşturulabilir. ψ_c burada mevcut konumun (x,y), hedeflenen (x_d, y_d) kordinatlarla yaptığı açıdır ve anlık olarak güncellenmektedir. İstenen kordinatlara erişilip erişilmediğini belirlemek üzere kontrolcüye girdi olacak hata işareti

$$e_{xy} = \sqrt{\left(x_c - x_s \right)^2 + \left(y_c - y_s \right)^2}$$

biçiminde yazılabilir. Burada x_c anlık konumun x bileşenini, x_s ise başlangıç konumunu temsil etmektedir. Bu durum için kontrolör parametreleri

$$k_\psi = 1.4142 \quad k_r = -1.4047 \quad k_v = 0.1486$$

şeklinde elde edilmiştir.

Denizaltının istenen derinliğe dalışını sağlayacak kontrolörün yunuslama açısı (θ), yunuslama açısal hızı (q) ve dalıp çıkma hızı (w) durum değişkenleri üzerinde etkindir. Dolayısıyla kıç ve pruva üzerine uygulanması gereken kontrol kuralı [14]

$$u = -\left[k_z (z - z_c) + k_\theta \theta + k_Q \, q - k_W \, w \right] \quad , \quad K_{LQR_{derinlik}} = \left[k_z \quad k_\theta \quad k_Q \quad k_W \right]$$

şeklinde yazılabilir. Hedeflenen derinlik seviyesine erişilmesi için gereken kontrol işaretinin üretilmesi için girdi olarak kontrolcünün ihtiyaç duyduğu hata işareti olarak dikey konum bilgisi yani $e_z = x_c - x_s$ kullanılabilir. Derinlik sabitleyici kontrolöre ilişkin kazanç değerleri

$$k_z = 0.6325 \quad k_\theta = 3.5185 \quad k_Q = 3.1385 \quad k_W = -0.1776$$

olarak elde edilmiştir.

Denizaltının mevcut hızını koruyabilmesi veya istenen bir hıza ulaşabilmesi için rota takibi ve derinlik sabitleyici kontrolörlerin yanı sıra hız sabitleyici bir kontrolöre daha ihtiyacı vardır.

Denizaltının hedeflenen seyir hızına ulaşması için atak hızı (U) durum değişkeninin kontrol edilmesi yeterli olacaktır. Bu nedenle daha basit yapıya sahip PID tipi bir kontrolör kullanılabilir. Dolayısıyla pervane dönüş hızına etkiyen kontrol işareti [14]

$$u_{pervane} = K_p (U_d - U_c) + K_I \sum^{\Delta t} (U_d - U_c) + K_D \left(U_{t+\Delta t} - U_t \right)$$

şeklinde yazılabilir. Burada U_d hedeflenen hızı, U_c ise mevcut hızı göstermektedir. PID kontrolöre ilişkin kazanç değerleri K_p = 100, K_D = 100, K_I =100 şeklinde elde edilmiştir.

5. SİMÜLASYON

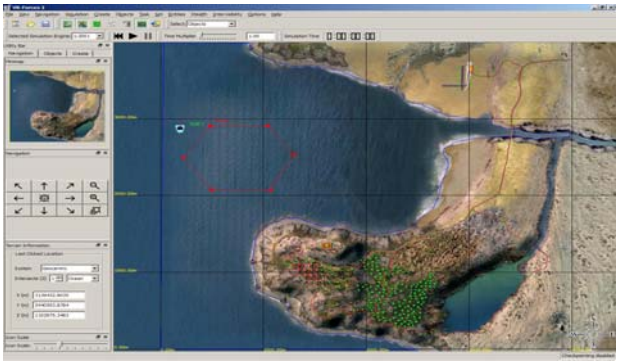
Örnek uygulama için seçilen denizaltının önemli parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. İlgili parametreler mevcut literatürde yer alan denizaltı modellerinden yararlanılarak belirlenmiştir. Bu parametreler, mevcut bir denizaltıyı temsil etmemektedir.

Çizelge 2. Örnek uygulama için seçilen denizaltının parametreleri

Tanım	Değer	Tanım	Değer
Toplam Uzunluk	58 m	Yükseklik	10 m
Toplam Genişlik	6 m	Blok Katsayısı	0.559
Deplasman Hacmi	11000 m^3	Kütle	1100 ton

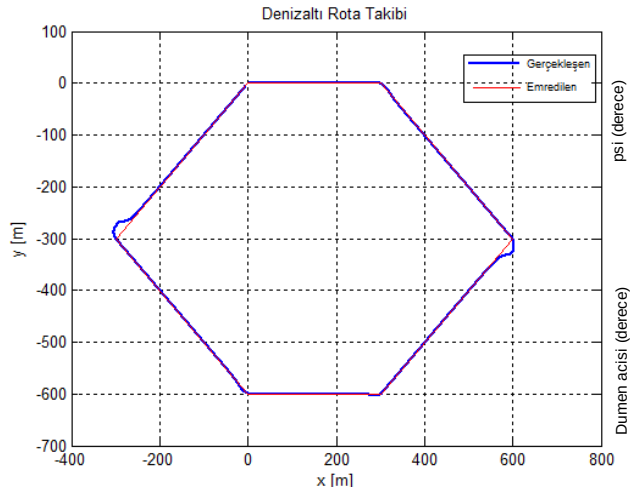
5.3.1 Rota Takibi

Örnek uygulamada, denizaltı platformu 10 m/s'lik sabit hızla, eşkenar olmayan bir altıgen rotayı takip etmesi hedeflenmiş, bununla ilgili rota bilgisi VR Forces'ın kullanıcı arayüzü kullanılarak girilmiştir.(Şekil 2)

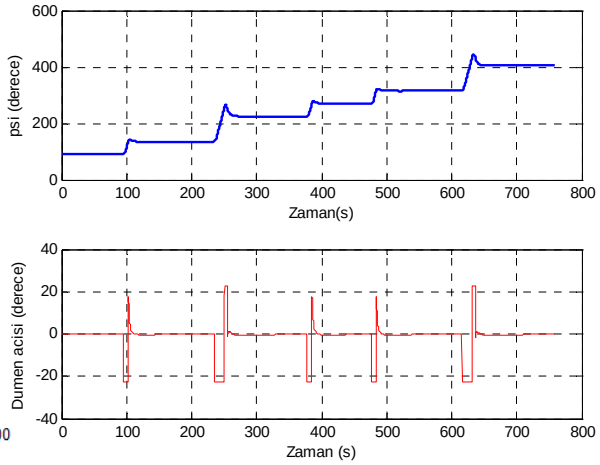


Şekil 2. Rota Bilgisinin Verildiği VR Forces Arayüzü

Simülasyon 800 s kadar çalıştırılıp aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3. Denizaltı Rota Takibi

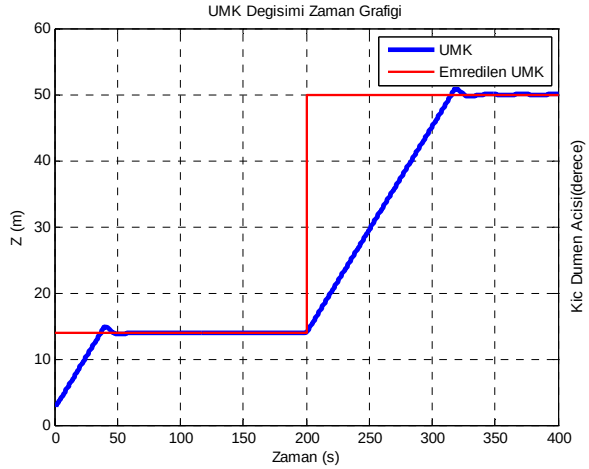


Şekil 4. Psi ve Dümen Açısı Değişimleri

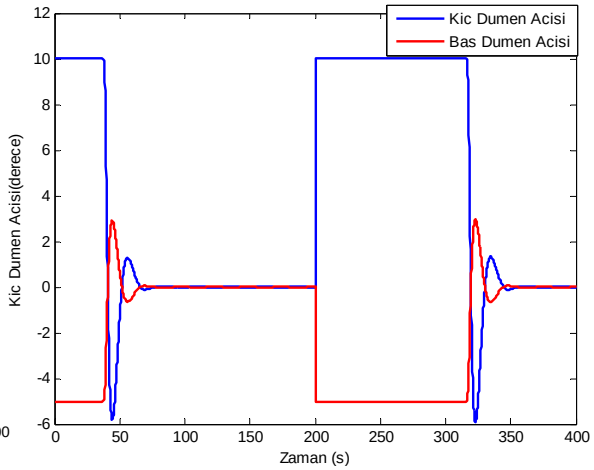
Model, rotayı istenen sadakat ve beklenen davranışlarla takip edebilmiş ve simülasyon açısından tatmin edici sonuçlar sağlamıştır.

5.3.2 Derinlik Kontrolü

Denizaltının derinlik kontrolündeki başarısını ölçebilmek için örnek uygulamada 10 Knot (5 m/s) hızla intikal etmekte olan denizaltıya, önce periskop umkuna (14 m) daha sonra da 50 m derinliğe inmesi komutu verilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen derinlik değişimi ve dümen açıları değişimi grafikleri aşağıda yer almaktadır.



Şekil 5. UMK değişimi Zaman Grafiği



Şekil 6. Dümen Açısı Değişimleri

Simülasyon sonucunda, 2.5 metre derinlikte seyreden denizaltı periskop umkuna (14 m) yaklaşık olarak 42 saniyede, periskop umkundan 50 metre derinliğe yaklaşık olarak 120 saniyede inmektedir. Sonuçlar, büyük bir geminin gerçekleştirmesi gereken hareket davranışlarına uygun ve simülasyon açısından da tatmin edicidir. Dümen açılarının değişimi incelendiğinde üretilen kontrol sinyallerinin, tatbik edilebilir ve istenilen seviyede olduğu gözlemlenmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ortam şartlarını ve hidrodinamik kuvvetleri hesaba katan, 6 serbestlik dereceli denizaltılar için genel bir hareket modeli geliştirilmiş ve bu hareket modeli için gerçeklenen yazılım modülü, VR-Forces arka uygulamasında bulunan bileşen mimarisine bir bileşik nesne olarak entegre edilmiştir. Denizaltının rota takibi ve derinlik kontrolü işlevlerini yerine getirebilmesi için LQR kontrollörler, sürat kontrolünü gerçekleştirebilmesi için PID kontrollör tasarlanmıştır. Kontrolcü sonuçlarının tatmin edici olması, sanal kuvvetler yaratan simülatör uygulamalarının, sadakat seviyesi yüksek, askeri simülasyonlara dönüştürülebilmesi için ilgili hareket yazılım modülünün kullanılabileceğini göstermiştir. Aynı zamanda ortam şartlarının simülasyonu ve etkilerinin ilgili platformlara yansıtılması simülasyon mimarisinin zenginleşmesini ve eğitim amaçlı kullanılabilirliğinin artırılmasını sağlamıştır. Gelecek çalışma olarak, farklı tipte kontrol tekniklerinin modele uygulanıp, kontrolcü sonuçlarının karşılaştırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Duman, I., Savaşan, H., Şahin, I., Bir Modelleme ve Simülasyon Standardı olarak HLA ve Simülasyon Uygulamalarında Kullanımı, DzKK Araştırma Merkezi Komutanlığı, 2003 Yayınları. http://www.armerk.dzkk.tsk.mil.tr

[2] VR-Forces Developer's Guide. Mak Technologies.

[3] Haklidir, M., Aldogan, D., Tasdelen, I., "High Fidelity Modeling and Simulation of Surface Platforms in a Computer Generated Forces Toolkit", The Society for Modeling & Simulation International [SCS] 2008 Summer Computer Simulation Conference (SCSC'08), Edinburgh, Scotland, 16-19 June 2008.

[4] M. Haklidir, D. Aldogan, I. Tasdelen, "Su Üstü Platformlarının Modellenmesi ve Ticari Bir Sentetik Hedef Simülatörü ile Entegreli Simülasyonu", USMOS 2007, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 18-19 Nisan 2007.

[5] SNAME(1950), The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Nomenclature for treating the motion of submerged body through a fluid, Technical Research Bulletin No. 1-5

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

[7] M. Gertler and G. R. Hagen, "Standard Equations of Motion for Submarine Simulation", Naval Ship Research and Development Center, Jun. 1967.

[8] Abkowitz, M. A., Stability and Motion Control of Ocean Vehicles, M.I.T. Press, Cambridge, Massachusetts, 1969.

[9] Key Pyo Rhee, Hyeon-Kyu Yoon, Young-Jae Sung, Sung-Hoon Kim, and Ju-Nyun Kang, "An Experimental Study on Hydrodynamic Coefficients of Submerged Body Using Planar Motion Mechanism and Coning Motion Device", International Workshop on Ship Manoeuvrability-25 Years CPMC, HSVA, Hamburg, Germany, Oct. 10-11, 2000.

[10] Berteaux, H. O., Buoy Engineering, Wiley and Sons, New York, 1976.

[11] Neşer, G., "Yanaşan Bir Geminin Hareketlerinin Zamanın Bağlısı Olarak Modellenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:8 S:1, 2006.

[12] Isherwood, R. M., Wind Resistance of Merchant Ships, RINA Trans., Vol. 115, pp. 327-338, 1972.

[13] F. A. Papoulias and H. A. Papadimitriou, "Nonlinear Studies of Dynamic Stability of Submarines in the Dive Plane", Journal of Ship Research, Vol. 39, No. 4, 1995.

[14] Brutzman, Donald P. "A Virtual World for an Autonomous Underwater Vehicle", PhD in Computer Science, Naval Postgraduate School, December 1994.

[15] D. S. Naidu, Optimal Control Systems, CRC Press, 2003.

EK BİLGİ

MEHMET HAKLIDIR

Mehmet.Haklidir@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 25 22

FAKS: 0 262 646 31 87

AHMET FAİK GÜVEN

Afaik.guven@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 26 58

FAKS: 0 262 646 31 87

ÖMER EROĞLU

Omer.eroglu@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 25 85

FAKS: 0 262 646 31 87

DENİZ ALDOĞAN

Deniz.Aldogan@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 25 66

FAKS: 0 262 646 31 87

İSA TAŞDELEN

Isa.Tasdelen@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 25 12

FAKS: 0 262 646 31 87

Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Çoklu Taşıma Seçenekli Çok Dönemli Stok Kontrollü Bir Doğrusal Programlama Modeli

Hasan Kürşat GÜLEŞ[(a)] Turan PAKSOY[(b)] Eren ÖZCEYLAN[(c)]

[(a)] İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya, hkgules@selcuk.edu.tr
[(b)] Endüstri Müh. Böl., Mühendislik Mimarlık Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya, tpaksoy@yahoo.com
[(c)] Endüstri Müh. Böl., Mühendislik Mimarlık Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya, eozceylan@selcuk.edu.tr

ÖZET

Günümüz iş dünyasında işletmeler, rekabet avantajı elde etmek için, tedarikçi işletmelerin yanı sıra, ürettikleri ürünlerin dağıtımından, satışından, hatta satış sonrası hizmetlerden sorumlu işletmelerle, bir bütün olarak hareket etmek, tüm bu süreçleri içeren bütünleşik planlar yapmak ve gerekli işbirliklerini oluşturmak zorundadırlar.

Tedarik zincirinin başarısı, zincir üyeleri arasında doğru bilginin hızlı bir biçimde gerekli yerlere iletilmesi, kaynakların etkin olarak kullanılması ve zincirin halkalarını oluşturan tüm işletmelerin iyi bir maliyet analizi ile etkin bir maliyet yönetimi gerçekleştirmeleriyle yakından ilgilidir. Bu başarıyı sağlamanın yolu, mevcut ağın en iyi şekilde tasarlanmasından geçmektedir.

Bu çalışmada, tedarik zinciri ağı tasarımı ve ağa uygun bir modelin kurulması problemi ele alınmıştır. Sırasıyla tedarikçi, fabrika, montajcı ve nihai müşteriden oluşan, çok aşamalı bir tedarik zinciri için, hipotetik verilere dayalı, malzeme ihtiyaç kısıtı altında, çoklu taşıma seçenekli, çok dönemli ve stok faktörünü de ele alan bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model profesyonel bir optimizasyon paket programı ile çözülerek optimum sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağ Tasarımı ve Optimizasyonu, Çok Dönem-Çoklu Taşıma Seçenekli, Malzeme İhtiyaç Kısıtı, Tedarik Zinciri Yönetimi.

Distribution Network Design and Optimizastion in Supply Chain Management: Under Material Requirements Constraints Multi Transportation Options Multi-Period A Linear Programming Model With Inventory Control

ABSTRACT

Today, enterprises along with suppliers, have to act as whole with enterprises which are responsible of distribution, sales, also services after sales, integrated plan includes all processes and create necessary cooperations to obtain competitive advantage.

Achievement of supply chain, directly depends on transfering correct information between necessary members, using of resources effective and realizing with good cost analysis of whole chain which consist of enterprises. Optimum network design provides this achievement.

In this study, designing supply chain network and the model suits network is considered. Linear programming model which includes a supply chain (consist of suppliers, factories, assembler and consumers) with material requirements constraint, multi transportation options, multi periods and inventory factor is developed. Proposed model is solved by a professional software package, and finally optimum results are discussed.

Key Words: Material Requirement Constraint, Multi Period-Multi Transportation Options, Network Design and Optimization, Supply Chain Management.

1. GİRİŞ

Uzun yıllar boyunca işletmeler, yeterli miktarda stok bulundurmak suretiyle, üretim ve dağıtım süreçlerini ayrı ayrı ele almışlardır. Ancak böyle bir yaklaşım, stok maliyetlerinin yükselmesine ve teslimat sürelerinin uzamasına yol açmaktadır. Pazarların küreselleşmesi sonucu zorlaşan rekabet koşulları ve artan müşteri beklentileri, işletmeleri tedarik zinciri boyunca stok ve taşıma maliyetlerini azaltmaya, müşteri memnuniyetine daha fazla önem vermeye zorlamıştır [1]. Dolayısıyla günümüzde maliyetleri düşürmek ve müşteri memnuniyetini artırmak için tedarik zincirinde yer alan satın alma, üretim, dağıtım gibi farklı faaliyetlerin bütünleşik bir yapıda optimize edilmesi gerekmektedir.

Yukarıda anlatılanların yanı sıra, bir tedarik zincirinin modellenmesinde farklı ve kimi zaman çelişen amaçların bir arada ele alınması gerekmekte, bu durum da oluşturulan modellerin çoğunlukla çok amaçlı olmasına neden olmaktadır. Örneğin üretim maliyetleri minimize edilirken dağıtım maliyetleri de göz önüne alınmalı, dağıtım maliyetlerinin minimizasyonu ise teslimat süreleri düşünülmeden yapılmamalıdır. Benzer şekilde, büyük partiler halinde sevkiyat yapılarak dağıtım maliyetlerinin optimize edilmesi, depolardaki stok maliyetlerinde artışa neden olacaktır. Tedarik zincirini oluşturan alt sistemler birbirine sıkı sıkıya bağlı olduklarından, bunların bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmaları gerekmektedir [2].

Bu çalışmada, Paksoy vd.[3]'nin fırsat maliyetli tedarik zinciri ağı tasarımı ve optimizasyonu çalışması, Tuzkaya ve Önüt [4]'ün iki aşamalı ve sadece tedarikçi-depo-imalatçıdan oluşan stok kontrollü doğrusal programlama modeli ve Paksoy [5]'un malzeme ihtiyaç kısıtı altında karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kombine edilerek, yeni bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

2. TEDARİK ZİNCİRİ YÖNETİMİ

Lojistik Yönetimi Konseyi, tedarik zinciri yönetimini (TZY), değer yaratmak amacıyla hammaddelerin, üretim sürecindeki stokların, nihai ürünlerin ve başlangıçtan tüketime kadar ilişkili bilgilerin, maliyet etkin akışının ve depolanmasının planlanması, uygulanması ve kontrolü süreci olarak tanımlamaktadır [6].

Tedarik zinciri yönetimi, işletmenin dışındaki tedarik işlerini sağlayanların yönetilmesi ve bunların etkin çalışması için işletmenin iç kaynaklarını bir bütün halinde ele alan temel bir işletme sistemidir. Tedarik zinciri yönetiminin başlangıç noktası tüketiciler, uç noktasını ise hammadde temin ve tedarik edenler oluşturmaktadır. Amaç, işletmenin imalat kapasitesinin artırılması, piyasaya karşı duyarlılığının geliştirilmesi ve tüketici ile tedarik işlerini üstlenenler arasında ilişkilerin iyileştirilmesi yoluyla işletmenin ileriye götürülmesidir [7].

Tedarik zinciri yönetiminde en önemli husus, tedarikçilerden müşterilere doğru olan malzeme, müşterilerden tedarikçilere olan para ve her iki yönlü şekilde olan bilgi akışlarının bütünleşik bir şekilde koordine edilmesidir.

2.1. Tedarik Zinciri Yönetimi Gelişim Süreci

Tedarik zinciri yönetimi, günümüzde enerji faktöründen dolayı en popüler terimlerin başında gelmektedir. TZ Yönetimi telaffuz edilmeden önce bazı süreçlerden geçmiştir. Bu süreçlerin başında da lojistik konusu gelmektedir. Lojistikten başlayarak TZ Yönetiminin hangi aşamalardan geçtiği aşağıda anlatılmaya çalışılmıştır [8].

Lojistiğin Dağıtılması: Depolama ve Taşıma

İlk organizasyonlardan, 1960'lara kadar, lojistik, işletmelere önemli rekabet avantajı sağlayan alanlardan biri olarak görülmüyor, yalnızca operasyonel bir fonksiyon olarak görülüyordu. Kütle üretimi ve dağıtımı çağında lojistik, depolama ve taşımada fiziksel dağıtım faaliyetleri olarak anlaşılıyordu. İşletmeler lojistik yönetimi faaliyetlerini parçalara bölüp, birden çok departmana sorumluluk veriyorlardı. Bu yaklaşımın temel sebebi o günün koşullarında kapsamlı ve zor problemleri çözmek için gerekli bilgisayarların olmaması ve yönetim biliminin yeterli derecede gelişmemiş olmasıydı.

Malzeme Yönetimi ve Fiziksel Dağıtım

1960'lı yıllarda lojistiğin dağıtılmasının etkin olmadığı anlaşılmaya başlanmıştır. Pazarda ürün çeşitliliği patlamasının olması, müşterilerin küçük sipariş miktarları talep etmeleri, çevrim süresinin kısalması ve artan rekabetle, lojistik fonksiyonunun dağılmış olmasının etkinlik ve maliyet kayıplarına yol açması sebebiyle, entegre lojistik sistem planlaması yaklaşımı ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bazı işletmeler, bir veya daha çok lojistik fonksiyonunu kapsayacak şekilde departman yaratarak çözmeye çalışmışlardır. Örneğin, pazar avantajı için taşımaya önem veren işletmeler, fiziksel dağıtım departmanı oluşturuyor ve üretim, pazarlama ve finansta bulunan dağıtım aktivitelerini bu departman altında gruplandırıyorlardı. Fakat lojistik müdürü yine üretim, pazarlama ve finans yönetimine rapor veriyordu. 1970'li yıllarda bilgi teknolojilerinin gelişmesi ve sayısal analizlerin uygulanması, rekabet ve ekonomik baskıların artmasının da etkisiyle lojistik organizasyonunda merkezileşme başlamıştı.

Lojistiğin Entegrasyonu

Önceki dönemde işletmeler, depolama, taşıma ve müşteri hizmetlerini merkezileştirmeye odaklanmışlardı. Bu, kısa süreli taktiksel avantajlar ve maliyet ekonomisi sağladı. Fakat artık sadece maliyet yönetimine odaklanılmıyor, stratejik üstünlük elde etmek için diğer departmanların stratejik planları ile entegre edilebilecek bu fonksiyonların nasıl yapılandırılması gerektiği de değerlendiriliyordu. Bu yeni bakış

ile lojistik, pazarlama ve üretim ile stratejik planlar oluşturmakta, işletme kaynaklarının paylaşımının belirlenmesinde ve hedeflerin tanımlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Gerek maliyet, gerek müşterilere sunulan değer, gerekse stratejik önemi bakımından lojistiğin bir işletme için önemi hayatidir. Fakat, son yıllarda işletmeler, yalnızca arz zinciri faaliyetlerini entegre biçimde yapmaya başlamışlardır. Ürünlerin ve hizmetlerin, hammadde kaynaklarından, nihai müşterilere doğru kesintisiz akışı sağlanmaya çalışılmış ve son yıllarda ters yönde akış lojistiği de değerlendirilmeye başlanmıştır.

Tedarik Zinciri Yönetimi Süreci

1990'larda pazardaki globalleşmenin ivme kazanması, hizmet kalitesinin artması, talepler, ortaklıklar ve işbirlikleri, organizasyonun yeniden yapılandırılması, bilgi ve teknolojideki gelişmelerin etkileri, işletmeleri entegre lojistik modelinin ötesinde yeni bulgular aramaya itti. Günümüzde, iş ortaklarıyla müşteri hizmetini ilerletmeyi ve tüm kanallar boyunca maliyeti azaltmayı hedefleyen faaliyetler yerine, kritik becerilerini birbirine bağlayan, tüm tedarik kanallarına rekabet avantajı sağlayan operasyonel entegrasyonlar söz konusudur. Bu safhada sadece lojistik faaliyetlerinin optimizasyonu değil, üretim, pazarlama, ürün dizaynı, dağıtım gibi diğer tüm faaliyetlerin de optimizasyonu söz konusudur.

2.2. Tedarik Zinciri Yönetimi Süreçleri

Global Tedarik Zinciri Forumu üyelerinin tanımladığı sekiz süreç aşağıda kısaca açıklanmıştır [9].

Müşteri İlişkileri Yönetimi: Müşterilerin isteklerine göre onlara ulaşmayı amaçlayan bir sistemdir. Tedarik zincirinde, bu sistem sayesinde, müşteri bazlı bir entegrasyon sağlanmış ve müşteri talep ve beklentilerine işletmeler duyarlı hale gelmişlerdir.

Müşteri Hizmet Yönetimi: Satış sonrasında müşterilerin beklentilerine göre onlara ürünler ile ilgili hizmet ulaştırılabilmesi, hatta müşteri talebinden müşteriye ürünün ulaştırılmasına kadar tüm sürecin takip edilmesi anlamına gelmektedir. Bununla ilgili olarak işletmeler, kendileri bu tür hizmetleri verme yönüne gidebilecekleri gibi aynı zamanda hizmet sağlayıcı işletmeler ile anlaşıp bu hizmetleri uzman işletmeler aracılığı ile yapmaya da çalışabilmektedirler.

Talep Yönetimi: Müşteri gereksinimleri ve tedarik zinciri arasındaki denge talep yönetimi süreci ile sağlanmaktadır. Bu yapı sağlanırken işletmenin talep yönetimi için üretim stratejilerini belirlemesi gerekmektedir.

Sipariş İşleme: Sipariş işleme ile birlikte işletmeler müşterileri ile bir ağ kurarak onların isteklerini anlamaya ve bunları uygulamaya koymaya çalışmaktadırlar. Bunu yaparken de maliyetlerini düşürmeyi amaçlarlar. Böylece müşteri ile işletme arasında eksik bir husus kalmamış ve entegrasyon istenildiği gibi sağlanmış olmaktadır.

İmalat Akış Yönetimi: İşletmeler, imalat akış yönetimi ile hammaddelerin nihai ürün haline gelene kadarki iş akışlarını incelerler ve gerekirse fabrika düzenlerinde değişiklik yoluna giderler. Bu husus aynı zamanda süreç tasarımında da değişiklik meydana getirmektedir. Yapılan bu süreç tasarımı ve bunun sonucunda oluşan fabrika düzeniyle, kurulacak iş istasyonu sayısının belirlenmesi ve bunların her birine verilecek görevlerin niteliğinin ortaya konulması kararları alınmaktadır.

Tedarikçi İlişkileri Yönetimi: Tedarikçi ilişkileri yönetimi, tedarikçilerle ilişkilerin çerçevesini ortaya koymaktadır. Böylece kilit tedarikçilerle yapılacak sıkı iş birliklerinin

önemi dile getirilmektedir. Tedarikçilerle ilişkiler işletmenin faaliyetlerini sürdürebilmesi açısından önemlidir.

Ürün Geliştirme ve Ticarileştirme: Üretim süreci sonucu oluşturulan ürünün daha önce geliştirilmesi gereklidir. Bu süreç de "ürün geliştirme" sürecidir. Ürün geliştirme, müşterilerin istek ve beklentilerinin tanımlanması ile başlayan ve bunların karşılanması amacıyla ürün veya hizmet tasarlanması ve bunların üretimini içeren bir süreçtir.

İade Yönetimi: Etkin bir iade yönetimi süreci, işletmelere verimliliklerini artırma yollarını bulmalarında ve projelerini gerçekleştirmelerinde yardımcı olabilir. Stratejik süreçte ilk olarak ekip, çevresel ve hukuki kurallara uyma prensiplerini gözden geçirir. Sonra ekip; iadenin önlenmesi**,** ters lojistik kanallarına giren ürünlerin ayıklanması, bir ürünün ne şekilde elden çıkarılacağı, yani bir satış kanalında mı satılacağı, bir aracıya mı satılacağı, bir yeraltı çöplüğüne mi gönderileceği gibi konularda prensipler geliştirmektedir.

3. MALZEME İHTİYAÇ KISITI ALTINDA ÇOKLU TAŞIMA SEÇENEKLİ VE ÇOK DÖNEMLİ BİR DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Tuzkaya ve Önüt'ün [4], stok kontrollü ve iki aşamalı olan matematiksel modeli, Paksoy vd. [3]'nin fırsat maliyetli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ve Paksoy [5]'un malzeme ihtiyaç kısıtı altında karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kombine edilerek, yeni bir model geliştirilmiştir.

Geliştirilen model, tedarikçiler, fabrikalar, montaj ve müşterilerden oluşan üç aşamalı bir tedarik zinciri problemine uygulanmıştır. Ağdaki süreç, dönemlerden (6 ay) oluşmaktadır. Tedarikçiler ve fabrikalar arasında tren, kara ve deniz yolları olmak üzere toplam üç alternatif taşıma seçeneği mevcuttur. Farklı oranlarda nihai ürünü oluşturan üç farklı komponent bulunmaktadır. Bunlar fabrikadan çıkmakta ve montajda birleştirilip nihai müşterilere ulaştırılmaktadır. Aşağıda ilk olarak modele ilişkin notasyonlar açıklanmış daha sonra amaç fonksiyonu ve kısıtlara yer verilmiştir.

Modelde kullanılan indisler $i \in I$, tedarikçiler kümesini; $j \in J$, fabrikalar kümesini; $k \in K$, müşteriler kümesini; $t \in T$, taşıma seçenekleri kümesini; $m \in M$, komponent kümesini; $p \in P$, dönem kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar:

X_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

W_{jmp} = j'nci üreticiden montaja m'nci komponentin p'nci dönemde taşınan miktarı.

Y_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşınan ürün miktarı.

C_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci üreticiye t'nci taşıma seçeneği ile p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{jmp} = j'nci fabrikadan montaja m'nci komponenti p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

C_{kp} = Montajdan k'ncı müşteriye p'nci dönemde taşıma birim maliyeti.

a_{ip} = i'nci tedarikçinin p'nci dönemde ki kapasitesi.

b_{jmp} = j'nci fabrikanın m'nci komponentinin p'nci dönemde ki kapasitesi.

c_p = Montajın p'nci dönemde ki toplam stok kapasitesi.

v_p = Montajın p'nci dönemdeki kapasitesi.

d_{kp} = k'ncı müşterinin p'nci dönemde ki talebi.

A_{tp} = t'nci taşıma seçeneğinin p'nci dönemde ki taşıma kapasitesi.

N_{ijtp} = p'nci dönemde i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneği ile mal gönderildiği takdirde oluşabilecek fırsat kaybı değeri (zaman birimi).

π = Tedarikçilerden fabrikaya mal gönderilirken meydana gelen gecikmelerin birim fırsat maliyeti (para birimi/zaman birimi).

α_{ijtp} = i'nci tedarikçiden j'nci fabrikaya t'nci taşıma seçeneğiyle p'nci dönemde ulaştırma süresi.

$N_{ijtp} = \alpha_{ijtp} - \min\{\alpha_{ijtp}\}$

R = Montajda bulunan stoğun birim elde tutma maliyeti.

F_j = j'nci fabrikadan montaja ürünü ulaştırma süresi.

G_k = Montajdan k'ncı müşteriye ürünü ulaştırma süresi.

Q_{mp} = m'nci komponentin p'nci dönemde montajda bulunan stok miktarı.

S_m = Montajda bulunan m'nci komponentin başlangıç stok miktarı.

Amaç Fonksiyonu:

$$\textbf{Min } [\sum_i\sum_j\sum_t\sum_p X_{ijtp}.C_{ijtp} + \sum_j\sum_m\sum_p W_{jmp}.C_{jp} + \sum_k\sum_p Y_{kp}.C_{kp}] + \quad (1)$$

$$[\sum_i\sum_j\sum_t\sum_p X_{ijtp}.N_{ijtp}.\pi] + \quad (2)$$

$$[\sum_p R\,(\sum_m\,(\sum_j W_{jm(p-Fj)} - w_m\cdot\sum_k Y_{k(p+Gk)} + Q_{(p-1)}))] \quad (3)$$

Kısıtlar:

$$\sum_j\sum_t X_{ijtp} \le a_{ip} \qquad \forall_{i,p} \quad (4)$$

$$W_{jmp} \le b_{jmp} \qquad \forall_{j,m,p} \quad (5)$$

$$\sum_k Y_{kp} \le v_p \qquad \forall_p \quad (6)$$

$$\sum_i\sum_j X_{ijtp} \le A_{tp} \qquad \forall_{t,p} \quad (7)$$

$$\sum_j W_{jm(p-Fj)} + Q_{m(p-1)} \ge w_m\cdot\sum_k Y_{k(p+Gk)} \qquad \forall_{m,p} \quad (8)$$

$$\sum_j W_{jm(p-Fj)} + Q_{m(p-1)} - w_m\cdot\sum_k Y_{k(p+Gk)} = Q_{mp} \qquad \forall_{m,p} \quad (9)$$

$$Y_{k(p+Gk)} \ge d_{kp} \qquad \forall_{k,p} \quad (10)$$

$$\sum_i \sum_t X_{ijtp} - \sum_m W_{jmp} = 0 \qquad \forall_{j,p} \tag{11}$$

$$\sum_m Q_{mp} \le c_p \qquad \forall_p \tag{12}$$

$$Q_{m0} = S_m \qquad \forall_m \tag{13}$$

$$X_{ijtp},\ W_{jmp},\ Y_{kp} \ge 0 \qquad \forall_{i,j,k,m,t,p} \tag{14}$$

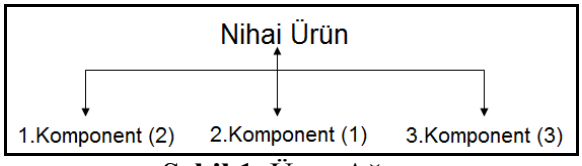
Amaç fonksiyonun ilk kısmı tedarikçilerden fabrikalara, fabrikalardan montaja ve montajdan da müşterilere olan taşıma maliyetlerini kapsamaktadır (1). İkinci kısım, tedarikçiler ile fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin seçiminde oluşabilecek fırsat kayıplarının maliyetini gösterirken (2), üçüncü kısım, o anki dönemde montajda bulunan stok maliyetini göstermektedir (3). Eşitlik 4, 5 ve 6 sırasıyla tedarikçi, fabrika ve montajın kapasite kısıtını sağlamaktadır. Eşitlik 7, tedarikçiler ve fabrikalar arasındaki taşıma seçeneklerinin dönem başına kapasite kısıtlarını göstermektedir. " j "' nci fabrikadan (p-Fj)' nci dönemde montaja taşınan miktar ile (p-1)' nci dönemde montajda bulunan stok miktarının, k'ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktardan büyük olması gereklidir (8). " j " 'nci fabrikadan (p-Fj)' nci dönemde montaja taşınan miktar ile (p-1)' nci dönemde montajda bulunan stok miktarından, k' ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktarı çıkartırsak, p' nci dönemde montajdaki stok miktarını elde ederiz (9). Eşitlik 10, müşteri talep kısıtını sağlamaktadır, k' ncı müşteriye (p+Gk)' nci dönemde taşınan miktar, k' ncı müşterinin p' nci dönemdeki talebinden küçük olamaz. Eşitlik 11, birinci aşama denge kısıtını sağlar, i' nci tedarikçiden j' nci fabrikaya t' nci taşıma seçeneğiyle p' nci dönemde taşınan miktar, p' nci dönemde j' nci fabrikadan montaja taşınan miktara eşit olmalıdır. " p "' nci dönemde montajda bulunan stok miktarı, montajın o dönemki stok kapasitesinden büyük olamaz (12). Eşitlik 13, 0' ncı dönemde montajda bulunan stok miktarının başlangıç stok miktarına eşit olmasını sağlamaktadır. Eşitlik 14 ise, işaret kısıtlarını göstermektedir.

4. SAYISAL ÖRNEK

Bu bölümde, anlatılan modele uygun olarak, hipotetik verilere dayalı, küçük ölçekli bir tedarik zinciri problemi sunulmuştur. Üç tedarikçi, iki fabrika, bir adet montaj ve üç adet müşteriden oluşan tedarik zinciri ağı için, geliştirilen model test edilmiştir. Modelde, tedarikçiler ve fabrikalar arasında sırasıyla tren, kara ve deniz olmak üzere üç çeşit taşıma şekli mevcuttur. Fabrikadan çıkan üç farklı komponent, farklı oranlarda montajlanarak müşterilere dağıtılmaktadır. Bir birim nihai ürün içinde, birinci komponentten iki adet; ikinci komponentten bir adet; üçüncü komponentten üç adet kullanılmaktadır (Şekil 1).

Aşağıda, sayısal örneğe ilişkin veriler tablolar halinde gösterilmiştir.

Toplam tedarikçi sayısı = 3 Toplam periyot sayısı = 6 Toplam fabrika sayısı = 2
Toplam müşteri sayısı = 3 Toplam taşıma seçeneği sayısı = 3
π = 0.01 TL S_m = 5000, 0, 0 (adet) R = 1 TL $F_{1,2}$ = 1, 1 $G_{1,2,3}$ = 1, 1, 1



Şekil 1. Ürün Ağacı

Tablo 1. Aşama 1'e (tedarikçilerden fabrikalara) ait veriler. α_{ijtp}, N_{ijtp}; C_{ijtp} *

		1. Tedarikçi			2. Tedarikçi			3. Tedarikçi		
	Periyot	Tren Yolu	Kara Yolu	Deniz Yolu	Tren Yolu	Kara Yolu	Deniz Yolu	Tren Yolu	Kara Yolu	Deniz Yolu
Fab.1	1	120,48;0.3	72,0;0.5	264,192;0.135	160,70;0.6	90,0;0.675	270,180;0.2	180,100;0.4	80,0;0.6	260,180;0.2
	2	168,72;0.325	96,0;0.625	336,240;0.175	200,114;0.65	86,0;0.8	310,224;0.25	178,108;0.35	70,0;0.55	290,220;0.3
	3	192,96;0.4	96,0;0.625	384,288;0.2	250,172;0.7	78,0;0.825	380,302;0.3	200,100;0.5	100,0;0.7	390,290;0.25
	4	240,120;0.5	120,0;0.8	504,384;0.275	220,104;0.5	116,0;0.75	450,334;0.35	300,170;0.3	130,0;0.45	430,300;0.2
	5	220,110;0.75	110,0;0.9	460,350;0.35	245,125;0.45	120,0;0.6	480,360;0.25	288,144;0.625	144,0;0.725	576,432;0.3
	6	250,145;0.6	105,0;0.7	500,395;0.4	200,100;0.35	100,0;0.55	500,400;0.2	230,130;0.3	100,0;0.4	300,200;0.25
Fab.2	1	240,120;0.5	120,0;0.8	480,360;0.25	270,160;0.3	110,0;0.5	500,390;0.2	238,138;0.45	100,0;0.6	480,380;0.3
	2	288,144;0.625	144,0;0.725	576,432;0.3	250,150;0.55	100,0;0.65	600,500;0.25	216,120;0.475	96,0;0.75	550,454;0.275
	3	230,130;0.3	100,0;0.4	300,200;0.25	230;140;0.6	90,0;0.8	320,230;0.35	230,150;0.25	80,0;0.375	400,320;0.15
	4	200,90;0.25	110,0;0.35	550,440;0.2	200,112;0.4	88,0;0.5	510,422;0.2	290,180;0.6	110,0;0.775	500,390;0.3
	5	250,172;0.7	78,0;0.825	380,302;0.3	120,48;0.3	72,0;0.5	264,192;0.135	270,160;0.3	110,0;0.5	500,390;0.2
	6	220,104;0.5	116,0;0.75	450,334;0.35	168,72;0.325	96,0;0.625	336,240;0.175	250,150;0.55	100,0;0.65	600,500;0.25

*((saat,saat); TL)

Tablo 2. Aşama 2'ye (fabrikalardan montaja) ve aşama 3'e (montajdan müşterilere) ait birim taşıma maliyetleri (TL).

		Montaj					
	Periyot	1	2	3	4	5	6
Fab. 1	1.Komponent	2	3	2	3	4	2
	2.Komponent	2	3	2	3	4	2
	3.Komponent	2	3	2	3	4	2
Fab. 2	1.Komponent	4	3	3	3	3	2
	2.Komponent	1	2	1	3	3	2
	3.Komponent	2	2	2	3	3	1
	1.Müşteri	4	2	3	3	4	2
	2.Müşteri	3	4	3	2	4	2
	3.Müşteri	3	2	4	2	3	2

Tablo 3. Kapasiteler ve Müşteri Talepleri (adet)

		Periyot					
		1	2	3	4	5	6
	1.Tedarikçi	6000	6000	6000	6000	6000	5000
	2.Tedarikçi	5000	6000	6000	6000	6000	6000
	3.Tedarikçi	6000	5000	5000	5000	5000	5000
Fab. 1	1.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	2.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	3.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Fab. 2	1.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	2.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	3.Komponent	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	Montaj	4000	4000	4000	4000	4000	4000
	Tren Yolu	5500	5500	5500	5500	5500	5500
	Kara Yolu	5500	5500	5500	5500	5500	5500
	Deniz Yolu	5500	5500	5500	4500	5500	4500
	1.Müşteri	500	1000	500	1000	750	1000
	2.Müşteri	1000	1000	1000	750	1000	1000
	3.Müşteri	500	1000	500	1000	500	1000
	Stok	2000	2000	2000	2000	2000	2000

4.1. Çözüm

LINDO paket programı ile elde edilen sonuçlar tablo 4.'te gösterilmiştir.

Tablo 4. LINDO paket programı ile çözüm sonuçları

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
$X_{1,1,1,1}$	2500	$X_{3,1,3,4}$	2750	$W_{2,2,1}$	3500	$Y_{2,7}$	1000
$X_{1,1,1,2}$	4500	$X_{3,2,1,2}$	1000	$W_{2,2,2}$	1500	$Y_{3,2}$	500
$X_{1,1,1,3}$	3500	$X_{3,2,2,1}$	500	$W_{2,2,3}$	4000	$Y_{3,3}$	1000
$X_{1,1,1,5}$	5000	$X_{3,2,2,3}$	3000	$W_{2,2,4}$	750	$Y_{3,4}$	500
$X_{1,1,2,5}$	500	$X_{3,2,2,5}$	5000	$W_{2,2,5}$	3000	$Y_{3,5}$	1000
$X_{1,2,1,1}$	3000	$W_{1,1,1}$	4000	$W_{2,3,1}$	4000	$Y_{3,6}$	500
$X_{1,2,1,4}$	5500	$W_{1,1,2}$	4000	$W_{2,3,2}$	4000	$Y_{3,7}$	1000
$X_{1,2,2,4}$	500	$W_{1,1,3}$	4000	$W_{2,3,3}$	4000	$Q_{1,0}$	5000
$X_{1,2,3,3}$	2500	$W_{1,1,4}$	1000	$W_{2,3,4}$	4000	$Q_{2,0}$	2000
$X_{2,1,2,3}$	2500	$W_{1,1,5}$	1500	$W_{2,3,5}$	4000	$Q_{3,0}$	7000
$X_{2,1,3,2}$	500	$W_{1,2,4}$	250	$Y_{1,2}$	500	$Q_{1,1}$	1000
$X_{2,2,1,5}$	500	$W_{1,3,1}$	4000	$Y_{1,3}$	1000	$Q_{3,1}$	1000
$X_{2,2,2,1}$	5000	$W_{1,3,2}$	2250	$Y_{1,4}$	500	$Q_{2,2}$	500
$X_{2,2,2,2}$	5500	$W_{1,3,3}$	4000	$Y_{1,5}$	1000	$Q_{1,3}$	1000
$X_{2,2,2,4}$	2750	$W_{1,3,4}$	3750	$Y_{1,6}$	750	$Q_{3,3}$	250
$X_{2,2,3,3}$	3000	$W_{1,3,5}$	4000	$Y_{1,7}$	1000	$Q_{2,4}$	1250
$X_{2,2,3,5}$	5500	$W_{2,1,1}$	1000	$Y_{2,2}$	1000	$Q_{1,5}$	500
$X_{3,1,1,3}$	2000	$W_{2,1,2}$	1000	$Y_{2,3}$	1000	$Q_{3,5}$	1000
$X_{3,1,2,4}$	2250	$W_{2,1,3}$	500	$Y_{2,4}$	1000	Amaç	332775
$X_{3,1,3,1}$	5500	$W_{2,1,4}$	4000	$Y_{2,5}$	750		
$X_{3,1,3,2}$	1250	$W_{2,1,5}$	4000	$Y_{2,6}$	1000		

Tablo 4.'te ki sonuçlara göre, tedarikçilerden 76000 adet ürün fabrikalara yollanmıştır. Bunlardan 27500'ü, birinci tedarikçiden tren, deniz ve kara yolları kullanılarak fabrikalara taşınmıştır. Birinci tedarikçi en çok tren yolunu kullanmışken, ikinci ve üçüncü tedarikçiler ilk aşamada kara yolunu daha çok tercih etmişlerdir. Fabrikalara gelen 76000 adet ürün, sırasıyla 25000, 13000, 38000 adet olmak üzere birinci, ikinci ve üçüncü komponent olarak montaja ulaştırılmıştır. İkinci aşamada, birinci ve son periyotta 16500 adet ürün montaja yollanmıştır. İkinci ve üçüncü aşamada ki birer periyotluk taşıma sürelerinden dolayı, birinci periyottaki müşterinin talebi montajda bulunan başlangıç stoğu ile karşılanmaktadır. Fabrikadan gelen komponentler en yakın üçüncü periyotta müşteriyle buluşmaktadır. Birinci periyottaki toplam 2000 adetlik müşteri talebi, montajdaki başlangıç stoğu ile karşılanmış ve bir sonraki döneme birinci ve üçüncü komponentten 1000'er adet stok artmıştır. $Q_{1,1}$ ve $Q_{3,1}$ stok miktarıyla, ilk periyotta fabrikalardan çıkan toplam 16500 adetlik komponent miktarı, üçüncü periyottaki müşteri talebini karşılamada kullanılmıştır. Başlangıç stoğu ile devreden stok miktarları toplamı 20500 adet olup, son döneme stok kalmayacak şekilde tüm müşteri talepleri karşılanmıştır.

5. SONUÇ

Günümüzde, artan rekabet koşullarının sonucu olarak, işletmelerin müşteri beklentilerinde ki değişimlere hızlı tepki verebilmelerinin önemi artmıştır. Müşteri isteklerine hızlı cevap verilebilmesi, büyük ölçüde tedarik zincirinin üyeleri arasındaki iletişime ve bilgi akışına bağlıdır. Müşteri isteklerine uygun üretimi gerçekleştirebilmek, müşteri talebine en hızlı şekilde yanıt verebilmeyi ve ürün çeşitliliğini arttırmayı gerektirmektedir. Ayrıca yüksek kalite, düşük üretim ve dağıtım maliyeti günümüz işletmelerinin temel hedefleri arasındadır. Söz konusu hedefler doğrultusunda ilerleyebilmek için mevcut tedarik zinciri ağı optimum şekilde yeniden tasarlanmalıdır.

Bu çalışmada, küreselleşen dünyada kendisine bir yönetim aracı olarak, vazgeçilmez bir yer edinen TZY' de dağıtım ağlarının tasarımı ve optimizasyonu problemi ele alınmıştır. Tuzkaya ve Önüt'ün [4] stok kontrollü doğrusal programlama modeli, Paksoy vd. [3]'nin fırsat maliyetli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli ve Paksoy [5]'un malzeme ihtiyaç kısıtı altındaki karma tamsayılı doğrusal programlama modeli kombine edilerek yeni bir model geliştirilmiştir. Model, hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnekle de test edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda, modelin tek tip ürün yapısı çok ürünlü hala getirilebilir, taşıma şekilleri tüm aşamalara yayılabilir, tek aşamadan oluşan tedarikçi yapısı çok katmanlı hala getirilebilir, zincir üzerinde ardışık olan malzeme akışı esnek bir yapıya dönüştürülebilir (tedarikçiden montaja, fabrikadan müşteriye vb.) ve belirsizlikler katılarak stokastik bir şekilde model tekrar kurulabilir.

6. KAYNAKLAR

[1] Chen, Z. L., 2004, "Integrated Production And Distribution Operations: Taxonomy, Models And Review", Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis, Kluwer Academic Publishers, New Jersey, 412-444.

[2] Dönmez, N., 2007, "Tedarik Zinciri Planlama İçin Bir Bulanık Çok Amaçlı Doğrusal Programlama Modeli", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

[3] Paksoy, T., Güleş, H. K., Bayraktar, D., 2007, "Design And Optimization of A Strategic Production-Distribution Model For Supply Chain Management: Case Study Of A Plastic Profile Manufacturer İn Turkey", Selçuk Journal of Applied Mathematics, Vol. 8, pp. 83-99.

[4] Tuzkaya, U., Önüt, S., 2009, "A Holonic Approach Based Integration Methodology For Transportation And Warehousing Functions Of The Supply Network", Computers and Industrial Engineering, 56: 708-723.

[5] Paksoy, T., 2005, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli", Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, S:14, pp. 435-454.

[6] Bakoğlu, R., Yılmaz, E., 2001, "Tedarik Zinciri Tasarımının Rekabet Avantajı Yaratması Açısından Değerlendirilmesi: Fast Food Sektörü Örneği", VI. Ulusal Pazarlama Kongresi, Erzurum.

[7] Yaman, Z., 2001, "Tedarik zinciri yönetiminde (SCM) bilgisayar Yazılımları ve SCM' ye Geçiş Uygulamaları", Kara Harp Okulu Bilim Dergisi, S:1, pp. 132-151.

[8] Türköz, Ö., 2007, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Gereksinim Planlaması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

[9] Albayrakoğlu, P., 2006, "İkram Servis İşletmelerinde Tedarik Zinciri Yönetimi ve Usaş Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Çok Ürünlü Bozulma Faktörlü Kapalı Çevrimli Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli

Eren ÖZCEYLAN[(a)] Turan PAKSOY[(b)] Hasan Kürşat GÜLEŞ[(c)]

[(a)] Endüstri Müh. Böl., Mühendislik Mimarlık Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya,eozceylan@selcuk.edu.tr.
[(b)] Endüstri Müh. Böl., Mühendislik Mimarlık Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya, tpaksoy@yahoo.com
[(c)] İşletme Bölümü, İktisadi ve İdari Bilimler Fak., Selçuk Üniversitesi, Konya, hkgules@selcuk.edu.tr

ÖZET

Tedarik zincirini oluşturan aktörlerin sayılarının ve yerlerinin tespiti, aralarındaki malzeme akış miktarının belirlenmesi ve taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesi, tedarik zinciri yönetimi içinde ağ tasarımı problemi olarak ele alınmaktadır. Son yıllarda, TZY' ye olan akademik ve ticari ilgi dikkat çekici bir şekilde artmıştır. Yapılan çalışmalarda, hammadde tedarikçilerinden nihai tüketiciye kadar olan süreçte rekabet üstünlüğü elde etmek ve müşteri tatminini sağlayabilmek için tedarik zincirini oluşturan öğeler arasındaki işbirliğinin önemi ve gereği vurgulanmaktadır.

Günümüzde işletmeler, bir yandan sahip oldukları tedarik zinciri ağlarını genişletirken, bir yandan da genişleyen aşamalar arasındaki iletişime ve geç cevap verilen müşteri taleplerine çözüm aramaktadırlar. Bahsedilen problemler, aşamaların atlatılması sayesinde, geleneksel tedarik zincirleri yerine esnek tedarik zincirlerinin tercih edilmesi ile daha kolay çözülebilmektedir.

Çok çeşitli ürünlerin, genişleyen ağlarda ki akışı, uzun mesafeler ve süreler aldığından, müşterilere ulaşana kadar ürünlerde bir takım bozulmalar olmaktadır. İstenen sayıda talebe cevap verilebilmesi için, bozulan bu miktarların aynı aşamada ve aynı anda yenileriyle değiştirilmesi gerekmektedir. Kapalı çevrimli esnek tedarik zincirlerindeki toplama ve geri dönüşüm merkezleriyle, bozulan bu ürünler ve diğer geri dönüşüm ürünleri sürece tekrardan dâhil edilebilmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen problemlerin bütünleşik bir şekilde çözülebilmesi adına, çok ürünlü bozulma faktörlü kapalı çevrimli esnek bir tedarik zinciri ağı tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin daha iyi anlaşılabilmesi için sayısal bir örnek sunulmuş, profesyonel paket programı ile sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

A Mixed Integer Linear Programming For Multi-Products Closed Loop Flexible Supply Chain With Deterioration Factor

ABSTRACT

Determining positions and count of actors, amount of product flow between and decreasing transportation costs are handled as network design problem in supply chain management. In recent years, commercial and academic interest in supply chain

management has increased remarkable. In the studies, importance and need of items that comprise the supply chain is highlighted to provide customer satisfaction and obtain competitive advantage in process between raw material suppliers and end customers.

Todays on the one hand, enterprises are expanding their own supply chain networks, on the other hand, they have to solve communication and long response time. Mentioned problems can be solved more easily with flexible supply chain instead of traditional supply chain due to jumping between stages.

Little deteriorations at multi-products can be performed because of flowing long time and far away distances. this amount of distortion needs to be replaced with new in the same phase and at the same time to respond the desired number of demand. This distortion and recycled products can be included into process again with collection and recycling centers in flexible supply chain.

In this study, to solve all problems mentioned above integrated, a new mixed integer linear programming is developped for multi-products closed loop flexible supply chain with deterioration factor. For a better understanding, a numerical example is presented, solved by a professional package programme and discussed.

1. GİRİŞ

Üretim ve dağıtımdaki ilerlemeler yüzünden yeni ürün ve hizmetlerin, geliştirme maliyeti düşmekte ve pazarlamanın ağırlığı artmaktadır. Bu artan müşteri talepleri, yerel ve küresel rekabet ve tedarik zinciri üzerindeki baskıyı arttırmaktadır. Rekabette, ayakta kalabilmek için firmalar kendilerini tekrar keşfedip tedarik zincirlerini yüksek maliyetli kırtasiye egzersizinden esnek ve bu günün gereksinimlerine yönelik bir etkinlik haline getirmek zorundadırlar. Geçmişte sabit yatırım tedarik zincirinin en önemli parçası olarak görülürken, günümüzde müşteri merkezli bir yönelim, rekabet edebilecek bir yapının temel taşı olarak görülmektedir [1].

Geleneksel tedarik zincirleri, müşteri odaklı bir yapıyı sağlamada gerekli şartları sağlamamaktadır. Müşteriye malın teslimi için ürünün belli aşamalardan geçirilmesi, ardıl bir sıranın olması, gereksiz taşıma maliyetlerine ve sürelerine neden olmaktadır. Esnek tedarik zinciri yapısıyla, müşteriye istediği zamanda istediği aşamada cevap verilebilmektedir. Ulaşılmak istenen müşteri sayısının artması, işletmelerde, beraberinde ürün çeşitliğini de getirmektedir. Bu sorunlara birde ürünlerin taşınma esnasındaki bozulmalarını da katarsak, tedarik zinciri ağının bütünleşik bir işbirliği sonucunda tasarlanması elzem olmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu süreci ve işbirliğini matematiksel olarak ifade etmek adına, tedarik zinciri yönetiminde üretim/dağıtım ağları tasarımı ve optimizasyonu için yeni bir karma tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model, çok ürünlü, çok aşamalı, kapalı çevrim esnek bir tedarik zinciri ağına uygulanmıştır. Giriş niteliğindeki birinci bölümün ardından, ikinci bölümde konuyla ilgili yapılan literatür taramasına yer verilmiş, üçüncü bölümde geliştirilen model, notasyonları, kısıtları ve amaç fonksiyonu ile beraber açıklanmış, son bölümde ise hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnekle, profesyonel bir paket programında test edilmiş ve elde edilen optimum sonuçlar yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, tedarik zinciri dağıtım ağı tasarımına ilişkin geçmişte yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Williams (1981), tedarik zinciri ağların üretim ve dağıtım operasyonları için amacı maliyetleri minimize etmek olan yedi sezgisel algoritma sunmuştur [2]. Cohen ve Lee (1989), tarafından geliştirilen deterministik karma tamsayılı doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli, bu alandaki öncü çalışmalardan biridir. Önerilen model, ekonomik sipariş miktarı tekniğine dayalı olarak küresel bir tedarik zinciri planı geliştirmektedir. Bu kapsamda imalat tesisleri ve dağıtım merkezleri için vergi sonrası karları en çoklamakta ve aynı zamanda malzeme ihtiyaçlarını ve tüm ürünler için atamaları belirlemektedir [3]. Pyke ve Cohen (1993), imalat tesisi, depo ve perakendecilerden oluşan üç seviyeli bütünleşik bir tedarik zinciri için stokastik alt modeller kullanarak matematiksel bir programlama modeli geliştirmişlerdir. Tek ürünün söz konusu olduğu model, servis düzeyi kısıtı altında toplam maliyeti en küçükleyen ekonomik yeniden sipariş aralığını, ikmal parti hacimlerini ve perakendeciler için en büyüklenen sipariş miktarı seviyesini belirlemektedir [4]. Beamon (1998)'a göre, Arntzen vd. (1995), küresel tedarik zinciri yönetimi olarak "GSCM" adlandırılan karma tam sayılı bir model geliştirmiştir. GSCM, malzeme listesi, talep miktarları, maliyetler ve vergiler gibi girdileri kullanarak, faaliyet günlerini ve üretim, stok, malzeme taşıma ve ulaştırmaya ilişkin maliyetleri en azlayan dağıtım merkezlerinin sayısını ve yerlerini, müşteri- dağıtım merkezi ve ürün-tesis atamalarını belirlemektedir [5, 6]. Özdamar ve Yazgaç (1997), bir merkezi üretim tesisi ile farklı bölgelerde bulunan depolama merkezlerini kapsayan bir sistem için bir üretim-dağıtım modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, stok maliyetleri ve taşıma maliyetlerini de kapsayan toplam sistem maliyeti minimize edilmiştir. Üretim kapasitesi, stok dengesi eşitlikleri ve filo büyüklüğü, sistemin kısıtlarını oluşturmuştur [7]. Petrovic vd. (1999), bulanık ortamda, seri bağlı bir tedarik zincirinin davranışını modellemişlerdir. Tanımlanan bulanık tedarik zinciri modeli, tedarik zincirindeki her bir stok için belirsizlik altında, makul maliyetler ile tedarik zincirinin kabul edilebilir bir servis düzeyini veren sipariş miktarlarını belirlemek için geliştirilmiş ve özel amaçlı benzetim programı ile işletilerek sınırlı bir zaman ufku süresince seri bağlı tedarik zincirinin performans ölçüleri ve dinamikleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak belirsiz müşteri talebinin ve tedarik zinciri boyunca belirsiz teslimlerin, tedarik zincirinin davranışına büyük etkisi olduğu ortaya konmuştur [8]. Ganeshan vd. (2001), stok parametrelerinin ve yönetim tekniklerinin geniş bir perakende tedarik zincirinin performansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Tedarik zinciri performansının, tahmin hatası, aşamalar arasındaki iletişimin biçimi ve planlama sıklığı olmak üzere üç stok planlama parametresine olan duyarlılığı bir örnek olay üzerinde simülasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Sonuç olarak, 3 parametrenin de tedarik zinciri performansı üzerinde etkili olduğu bulunmuştur. Artan tahmin hataları, hizmet seviyesini ve yatırımın geri dönüşünü azaltmakta ve çevrim süresini artırmaktadır. Planlama sıklığının artışı yatırımın geri dönüşünü ve hizmet seviyelerini artırmakta, çevrim sürelerini düşürmektedir [9]. Sakawa vd. (2002), merkeziyetçi olmayan iki seviyeli etkileşimli bulanık programlama yaklaşımı ile ev aletleri imal eden ana sanayi ile tedarikçilerinin amaçları arasında bir uzlaşma sağlamaktadır. Ev imalatçısı işletme işbirlikçi bir yaklaşım ile fabrika ve depolarından ürünleri müşterilere

taşımak için dış kaynak sağladığı iki tür acentenin amaçlarını da değerlendirmektedir. Bu acentelerden biri düzenli partileri, diğerleri küçük partileri taşımaktadır. İşletmenin amacı taşıma maliyetini ve taşıma zamanına göre fırsat maliyetini en azlamak iken acentelerin amacı karlarını en çoklamaktır. Acenteler bu amacı sağlayan işgücü atamasını gerçekleştirirken şoförlerin kabiliyetlerini de dikkate almaktadır. Bu taşıma ve işgücü atama problemi merkeziyetçi olmayan iki seviyeli tamsayılı programlama problemi olarak formüle edilmiş, rasyonel ve etkin bir plan ortaya koyabilmek ve işletmeler arası işbirliğini yansıtabilmek için etkileşimli bulanık programlama kullanılmış ve her bir işletme için tatmin edici bir sonuç elde edilmiştir [10]. Syarif vd. (2002), belirli bir kapasiteye sahip potansiyel tesislerin kurulmasının sabit maliyeti ile müşteri talebinin tesislerden taşınması maliyeti toplamının en azlayacak tesislerin ve dağıtım ağının en uygun tasarımın elde etmeye çalışmışlardır. NP-zor olan karma tamsayılı doğrusal yapısındaki bu problemi çözmek için Genetik Algoritmalara dayalı bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritmanın performansı basit genetik algoritmalar ve LINDO ile karşılaştırılmış, basit genetik algoritmalara göre, sezgisel çözümler ve bilgisayar işlem zamanı bakımından daha iyi sonuçlar elde edildiği gösterilmiştir [11]. Yan vd. (2003), mantık kısıtları kullanarak, tedarik zinciri tasarımı için stratejik bir model önermişlerdir. Tedarikçiler, üreticiler, dağıtım merkezleri ve müşteri bölgelerinden oluşan çok aşamalı tedarik zinciri için malzeme ihtiyaçlarını da göz önüne alan bir tasarım gerçekleştiren üretim-dağıtım modeli karma tamsayılı yapıdadır [12]. Yılmaz (2004), üç aşamalı üretim-dağıtım ağı için stratejik planlama problemini göz önüne almıştır. İncelenen problem tek ürünlü, çok tedarikçili, çok üreticili ve çok dağıtıcılı deterministik bir üretim ağıdır. Amaç, sistemin üretim, dağıtım, taşıma ve kapasite artırma sabit maliyetlerini minimize etmektir [13]. Chen ve Lee (2004), talep miktarlarının ve ürün fiyatlarının belirsiz olduğu birçok aşamalı tedarik zinciri şebekesinde, belirlenen ölçülemeyen amaçlara ulaşabilmek için çok ürünlü, çok aşamalı ve çok dönemli bir planlama modeli önermişlerdir. Belirsiz talep miktarlarının modellenmesinde, bilinen olasılıklara sahip farklı senaryolar kullanılmış; satıcıların ve alıcıların ürün fiyatları ile ilgili birbirine uymayan tercihleri ise bulanık kümeler kullanılarak ifade edilmiştir [14]. Nagurney ve Toyasaki (2005), çok katmanlı tedarik zinciri yapısındaki tersine tedarik zincirinde, e-geri dönüşüm dengesini sağlamaya çalışmışlardır [15]. Gen ve Syarif (2005), çok aşamalı ve çok dönemli bir tedarik zinciri ağı için melez bir genetik algoritma geliştirmişlerdir [16]. Paksoy (2005), malzeme ihtiyaç kısıtı altında çok aşamalı bir tedarik zinciri ağı tasarımı için karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir [17]. Altıparmak vd. (2006), çok amaçlı bir tedarik zinciri şebekesi tasarımı problemi için optimum sonuçlar kümesini bulmak amacıyla genetik algoritmalara dayanan yeni bir çözüm yöntemi önermişlerdir [18]. Lin vd. (2007), melez bir genetik algoritma yöntemiyle, geleneksel bir tedarik zinciri ağı için elde ettiği sonuçları esnek bir tedarik zinciri ağında da çözerek karşılaştırmış ve elde ettiği sonuçlarla esnek tedarik zinciri yapısının avantajlarından bahsetmiştir [19]. Wang (2007), daha önceki çalışmalarda tedarik zincirinin kusursuz bir dengede çalıştığı varsayımını değiştirerek, aşamalar arasındaki dengesizliği kusurlu tedarik zinciri kavramıyla açıklamıştır. Kusurlu tedarik zincirlerinde ağ tasarımında maliyet minimizasyonu için karınca kolonisi yöntemini kullanmıştır [20]. Yang vd. (2009), hammadde tedarikçileri, üreticiler, perakendeciler, müşteriler ve onarım merkezinden oluşan kapalı bir tedarik zinciri ağı için genel bir optimizasyon modeli geliştirmişlerdir.

Değişimsel eşitsizlikler teorisiyle aşamalar arasındaki dengeyi sağlayarak ağ planlaması yapmışlardır [21]. Tuzkaya ve Önüt (2009), tedarikçi-depo-üreticiden oluşan iki aşamalı bir tedarik zinciri için holonik sistem yaklaşımıyla yok satma ve elde tutma maliyetlerini minimize eden bir model geliştirmişlerdir [22].

Bu çalışmada, Lin vd. [19]'in esnek tedarik zincirli çalışmasına ek olarak Yang vd. [21]'nin kapalı çevrimli tedarik zinciri yapısı kombine edilerek çok ürünlü çok aşamalı bir tedarik zinciri için karma tamsayılı yeni bir doğrusal programlama modeli önerilmiştir.

3. Çok Ürünlü Bozulma Faktörlü Kapalı Çevrimli Esnek Bir Tedarik Zinciri İçin Karma Tamsayılı Bir Doğrusal Programlama Modeli

Bu bölümde, çok ürünlü, bozulma faktörlü, kapalı çevrimli esnek bir tedarik zinciri için geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli anlatılmaktadır. Geliştirilen model ile geleneksel tedarik zincirindeki dezavantajlar giderilmeye çalışılmıştır.

Modelde kullanılan indisler; $i \in I$, fabrikalar kümesini; $j \in J$, depo kümesini; $k \in K$, dağıtım merkezleri kümesini; $l \in L$, potansiyel perakendeciler kümesini; $m \in M$, müşteriler kümesini; $t \in T$, nihai ürün kümesini tanımlamaktadır.

Notasyonlar;

X_{ijt} = i'nci fabrikadan j'nci depoya taşınan t'nci ürün miktarı.

Y_{ikt} = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

Z_{ilt} = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

W_{imt} = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

V_{jkt} = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

A_{jlt} = j'nci depodan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

B_{jmt} = j'nci depodan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

D_{jt} = j'nci depodan onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

E_{klt} = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürün miktarı.

F_{kmt} = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

G_{kt} = k'ncı dağıtım merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

H_{lmt} = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

I_{lt} = l'nci perakendeciden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürün miktarı.

J_{mt} = m'nci müşteriden toplama merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

K_t = Toplama merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

L_t = Toplama merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

M_{mt} = Onarım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürün miktarı.

N_t = Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürün miktarı.

O_{it} = Geri dönüşüm merkezinden i'nci fabrikaya taşınan t'nci ürün miktarı.

C_{ijt} = i'nci fabrikadan j'nci depoya taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{ikt} = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{ilt} = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{imt} = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jkt} = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jlt} = j'nci depodan l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jmt} = j'nci depodan m'nci müşteriye taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{jt} = j'nci depodan onarım merkezine taşınana t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{klt} = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{kmt} = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{kt} = k'ncı dağıtım merkezinden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{lmt} = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{lt} = l'nci perakendeciden onarım merkezine taşınan t'nci bozuk ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{mt} = m'nci müşteriden toplama merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_t = Toplama merkezinden onarım merkezine taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

P_t = Toplama merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınana t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

R_{mt} = Onarım merkezinden m'nci müşteriye taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

S_t = Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

C_{it} = Geri dönüşüm merkezinden i'nci fabrikaya taşınan t'nci ürünün birim taşıma maliyeti.

T = Açılacak toplam fabrika sayısının üst sınırı.

U = Açılacak toplam dağıtım merkezi sayısının üst sınırı.

φ_i = i'nci fabrikanın sabit işletme maliyeti.

ϕ_i = $\begin{cases} 1, & \text{i'nci fabrikada üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$

δ_k = k'ncı dağıtım merkezinin sabit işletme maliyeti.

Δ_k = $\begin{cases} 1, & \text{k'ncı dağıtım merkezinde üretim gerçekleşirse,} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$

a_{it} = i'nci fabrikanın t'nci ürün kapasitesi.

b_{jt} =j'nci deponun t'nci ürün kapasitesi.

d_{kt} =k'cı dağıtım merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

e_{lt} = l'nci perakendecinin t'nci ürün kapasitesi.

f_{mt} = m'nci müşterinin t'nci ürün talebi.

g_t = Toplama merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

h_t = Onarım merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

j_t =Geri dönüşüm merkezinin t'nci ürün kapasitesi.

α = i'nci fabrikadan j'nci depoya mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

β = i'nci fabrikadan k'ncı dağıtım merkezine mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

χ = i'nci fabrikadan l'nci perakendeciye mal taşırken ki oluşan bozunma oranı.

ε = i'nci fabrikadan m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

γ = j'nci depodan k'ncı dağıtım merkezine mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

η = j'nci depodan l'nci perakendeciye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

κ = j'nci depodan m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

λ = k'ncı dağıtım merkezinden l'nci perakendeciye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

μ = k'ncı dağıtım merkezinden m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

ν = l'nci perakendeciden m'nci müşteriye mal taşınırken ki oluşan bozunma oranı.

ϖ = m'nci müşteriden toplama merkezine götürülmek üzere toplanan ürün oranı.

π = Toplama merkezinden onarma merkezine giden ürünlerin genele oranı.

ϑ = Onarım merkezinden müşterilere giden ürünlerin oranı.

Amaç Fonksiyonu;

$$MIN[\sum_i\sum_j\sum_t X_{ijt}\cdot C_{ijt} + \sum_i\sum_k\sum_t Y_{ikt}\cdot C_{ikt} + \sum_i\sum_l\sum_t Z_{ilt}\cdot C_{ilt} + \sum_i\sum_m\sum_t W_{imt}\cdot C_{imt} + \sum_j\sum_k\sum_t V_{jkt}\cdot C_{jkt} +$$
$$\sum_j\sum_l\sum_t A_{jlt}\cdot C_{jlt} + \sum_j\sum_m\sum_t B_{jmt}\cdot C_{jmt} + \sum_j\sum_t D_{jt}\cdot C_{jt} + \sum_k\sum_l\sum_t E_{klt}\cdot C_{klt} + \sum_k\sum_m\sum_t F_{kmt}\cdot C_{kmt} +$$
$$\sum_k\sum_t G_{kt}\cdot C_{kt} + \sum_l\sum_m\sum_t H_{lmt}\cdot C_{lmt} + \sum_l\sum_t I_{lt}\cdot C_{lt} + \sum_m\sum_t J_{mt}\cdot C_{mt} + \sum_t K_t\cdot C_t + \sum_t L_t\cdot P_t +$$
$$\sum_m\sum_t M_{mt}\cdot R_{mt} + \sum_t N_t\cdot S_t + \sum_i\sum_t Q_{it}\cdot C_{it}] \qquad (1)$$

$$[\sum_i \varphi_i \cdot \phi_i + \sum_k \delta_k \cdot \Delta_k] \quad (2)$$

<u>Kısıtlar;</u>

$$\sum_j X_{ijt} + \sum_k Y_{ikt} + \sum_l Z_{ilt} + \sum_m W_{imt} \le a_{it} \cdot \phi_i \qquad \forall_{i,t} \quad (3)$$

$$\sum_i \phi_i \le T \quad (4)$$

$$\sum_k V_{jkt} + \sum_l A_{jlt} + \sum_m B_{jmt} + D_{jt} \le b_{jt} \qquad \forall_{j,t} \quad (5)$$

$$\sum_l E_{klt} + \sum_m F_{kmt} + G_{kt} \le d_{kt} \cdot \Delta_k \qquad \forall_{k,t} \quad (6)$$

$$\sum_k \Delta_k \le U \quad (7)$$

$$\sum_m H_{lmt} + I_{lt} \le e_{lt} \qquad \forall_{lt} \quad (8)$$

$$K_t + L_t \le g_t \qquad \forall_t \quad (9)$$

$$\sum_m M_{mt} + N_t \le h_t \qquad \forall_t \quad (10)$$

$$\sum_i O_{it} \le j_t \qquad \forall_t \quad (11)$$

$$(1-\alpha)\sum_i X_{ijt} - \sum_k V_{jkt} - \sum_l A_{jlt} - \sum_m B_{jmt} = 0 \qquad \forall_{j,t} \quad (12)$$

$$\alpha \sum_i X_{ijt} - D_{jt} = 0 \qquad \forall_{j,t} \quad (13)$$

$$(1-\beta)\cdot\sum_i Y_{ikt} + (1-\gamma)\sum_j V_{jkt} - \sum_l E_{klt} - \sum_m F_{kmt} = 0 \qquad \forall_{k,t} \quad (14)$$

$$\beta \cdot \sum_i Y_{ikt} + \gamma \cdot \sum_j V_{jkt} - G_{kt} = 0 \qquad \forall_{k,t} \quad (15)$$

$$(1-\chi)\cdot\sum_i Z_{ilt} + (1-\eta)\cdot\sum_j A_{jlt} + (1-\lambda)\cdot\sum_k E_{klt} - \sum_m H_{lmt} = 0 \qquad \forall_{l,t} \quad (16)$$

$$\chi \cdot \sum_i Z_{ilt} + \eta \cdot \sum_j A_{jlt} + \lambda \cdot \sum_k E_{klt} - I_{lt} = 0 \qquad \forall_{l,t} \quad (17)$$

$$(1-\varepsilon)\cdot\sum_i W_{imt} + (1-\kappa)\cdot\sum_j B_{jmt} + (1-\mu)\cdot\sum_k F_{kmt} + (1-\nu)\cdot\sum_l H_{lmt} \ge f_{mt} \qquad \forall_{m,t} \quad (18)$$

$$\varpi \cdot f_{mt} - J_{mt} = 0 \qquad \forall_{m,t} \quad (19)$$

$$\pi \cdot \sum_m J_{mt} - K_t = 0 \qquad \forall_t \quad (20)$$

$$(1-\pi)\cdot\sum_m J_{mt} - L_t = 0 \qquad \forall_t \quad (21)$$

$$\vartheta \cdot K_t - \sum_m R_{mt} = 0 \qquad \forall_t \quad (22)$$

$$(1-\vartheta)\cdot K_t - N_t = 0 \qquad \forall_t \quad (23)$$

$$L_t + N_t - \sum_i O_{it} = 0 \qquad \forall_t \tag{24}$$

$$\phi_i, \Delta_k = \{0,1\} \qquad \forall_{i,k} \tag{25}$$

$$X_{ijt}, Y_{ikt}, Z_{ilt}, W_{imt}, V_{jkt}, A_{jlt}, B_{jmt}, D_{jt}, E_{klt}, F_{kmt}, G_{kt}, H_{lmt}, I_{lt}, J_{mt}, K_t, L_t, M_{mt}, N_t, O_{it} \geq 0 \qquad \forall_{i,j,k,l,m,t} \tag{26}$$

Amaç fonksiyonunun ilk kısmı ağdaki tüm taşıma maliyetlerinin en küçüklenmesini sağlamaktadır (1). İkinci kısım, potansiyel fabrikaların ve dağıtım merkezlerinin sabit işletme maliyetlerinin en küçüklenmesidir (2). Eşitlik 3, fabrikalardan çıkan tüm ürün çeşitlerinin fabrika kapasitesinden büyük olamayacağını göstermektedir. Açılabilir fabrika sayısının üst sınırıdır (4). Depolardan çıkan ürünlerin depo kapasitesinden büyük olamayacağını göstermektedir (5). Dağıtım merkezlerinin kapasite kısıtı sağlanmaktadır (6). Açılabilir dağıtım merkezlerinin üst sınırıdır (7). Eşitlik 8, perakendeci kapasite kısıtını göstermektedir. Toplama, onarım ve geri dönüşüm merkezlerine ait kapasite kısıtlarını göstermektedir (9, 10, 11). Eşitlik 12 ve 13, birinci aşama denge kısıtıdır. İkinci aşamaya ait denge kısıtı, eşitlik 14 ve 15 da gösterilmektedir. Üçüncü aşama denge kısıtı (16, 17). Müşterilere gelen nihai ürün çeşitleri müşteri talebinden küçük olamaz (18). Müşteriler ve toplama merkezleri arasında ki dengenin sağlanmasıdır (19). Toplama merkezi ile onarım merkezi arasındaki denge kısıtı (20). Toplama merkezinden direk geri dönüşüme giden ürüne ait denge kısıtı (21). Onarım merkezi ile müşteriler arasındaki denge kısıtı (22). Onarım merkezi ve geri dönüşüm merkezi arasındaki denge kısıtı (23). Geri dönüşüme gelen tüm ürünlerin onarım ve toplama merkezinden gelmesini sağlanır (24). Eşitlik 25, potansiyel fabrika ve dağıtım merkezlerinin açılıp açılmamasını sağlamaktadır. Eşitlik 26 ise işaret kısıtıdır.

4. SAYISAL ÖRNEK

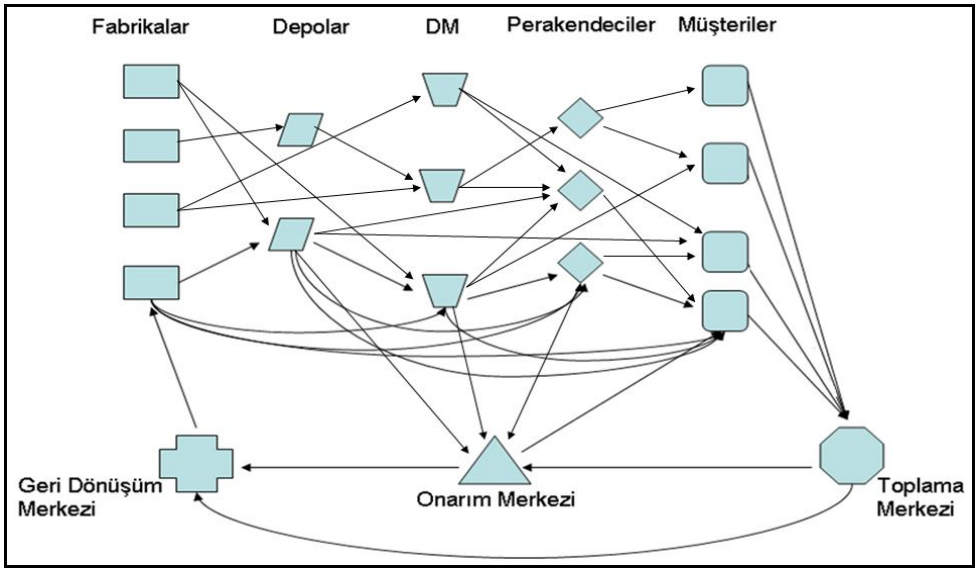
Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modelin daha iyi anlaşılabilmesi için üçüncü bölümdeki açıklamaların dışında, hipotetik verilere dayalı sayısal bir örnek verilmiştir. Örnek, potansiyel fabrikalardan, depolardan, potansiyel dağıtım merkezlerinden, perakendecilerden, nihai müşterilerden, toplama, onarma ve geri dönüşüm merkezlerinden oluşan, çok aşamalı esnek bir tedarik zinciri ağına sahiptir (Şekil 1). Nihai müşteriye iki çeşit ürün sunulmaktadır. Zincirin esnek yapısından dolayı, fabrikalardan hem depolara hem de diğer öğelere ürün taşınabilmektedir. Aynı durum depolar, dağıtım merkezleri, perakendeciler ve toplama merkezi içinde geçerlidir. Aşamalar arasında ürünler taşınırken taşımalardan kaynaklanan problemlerden dolayı ürünlerde bir takım bozulmalar olmaktadır. Bozulan ürünler belli miktarlarla, onarım merkezine yollanmakta, eğer sorun giderilirse müşterilere gönderilmekte aksi takdirde tekrardan sürece dâhil edilmek üzere geri dönüşüm merkezine yollanmaktadır. Müşterilerden toplanan kullanılmış ürünler, toplama merkezlerinde durumlarına bakılarak gerekli ise geri dönüşüm merkezine ya da onarım merkezine yollanmaktadır. Geri dönüşüm merkezine gelen ürünler bir takım işlemlerden geçirilerek sürece tekrardan dâhil edilmek üzere fabrikalara yollanmaktadır.

Aşağıda sayısal örneğe ilişkin veriler verilmiştir. Geliştirilen karma tamsayılı doğrusal programlama modeli bu veriler doğrultusunda, LINDO paket programında çözülmüş, sonuçlar elde edilmiş ve yorumlanmıştır.

Toplam Potansiyel Fabrika Sayısı: 4 Toplam Potansiyel Dağıtım Merkezi Sayısı: 3
Toplam Depo Sayısı: 2 Toplam Perakendeci Sayısı: 3
Toplam Müşteri Sayısı: 4 Toplam Nihai Ürün Çeşidi: 2
T: Açılabilir Fabrika Sayısı Üst Sınırı U: Açılabilir DM Üst Sınırı

$\alpha, \beta, \chi, \varepsilon, \gamma, \eta, \kappa, \lambda, \mu, \nu = \{\%\ 10\}\ \ \varpi = \%\ 20,\ \ \pi = \%\ 30,\ \ \vartheta = \%\ 40$

$g_t = \{10000, 10000\},\ \ j_t = \{10000, 10000\},\ \ h_t = \{10000, 10000\}$



Şekil 1. Kapalı Çevrimli Esnek Tedarik Zinciri

Tablo 1. Birinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Fabrika		**2. Fabrika**		**3. Fabrika**		**4. Fabrika**	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. Depo	1	2	1	1	1	2	2	1
2. Depo	1	2	2	1	1	1	1	1
1. DM	2	1	2	2	1	3	2	1
2. DM	2	1	1	2	1	4	3	3
3. DM	1	1	1	3	1	2	3	3
1. Perakendeci	2	2	1	1	1	1	1	1
2. Perakendeci	1	2	1	2	1	2	1	1
3. Perakendeci	1	2	1	1	1	1	1	1
1. Müşteri	5	5	3	3	4	3	4	5
2. Müşteri	5	5	4	4	3	3	4	4
3. Müşteri	4	4	4	4	4	4	5	3
4. Müşteri	3	3	5	5	4	4	4	4

Tablo 2. İkinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Depo		2. Depo	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. DM	1	1	2	2
2. DM	1	1	1	2
3. DM	1	1	1	1
1. Perakendeci	2	1	1	5
2. Perakendeci	3	2	2	1
3. Perakendeci	1	3	2	1
1. Müşteri	3	2	4	1
2. Müşteri	2	2	1	2
3. Müşteri	3	4	1	1
4. Müşteri	2	2	1	1
Onarım Merkezi	1	1	1	1

Tablo 3. Üçüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. DM		2. DM		3. DM	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. Perakendeci	2	1	3	1	1	1
2. Perakendeci	1	2	1	1	1	1
3. Perakendeci	1	1	1	1	1	1
1. Müşteri	2	2	4	1	2	1
2. Müşteri	1	2	5	1	3	4
3. Müşteri	1	4	5	1	1	3
4. Müşteri	3	1	3	1	1	1
Onarım Merkezi	3	1	2	1	3	1

Tablo 4. Dördüncü Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Perakendeci		2. Perakendeci		3. Perakendeci	
	1. Ürün	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**	**1. Ürün**	**2. Ürün**
1. Müşteri	1	1	1	2	3	1
2. Müşteri	2	1	1	1	1	1
3. Müşteri	1	1	1	2	2	1
4. Müşteri	1	1	1	1	1	2
Onarım Merkezi	2	1	2	1	3	2

Tablo 5. Beşinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

		1. Müşteri	2. Müşteri	3. Müşteri	4. Müşteri
Toplama Merkezi	**1. Ürün**	2	3	3	2
	2. Ürün	1	1	1	1

Tablo 6. Altıncı Aşama Taşıma Maliyetleri (TL)

	Onarım Merkezi	Geri Dönüşüm Merkezi
1. Ürün	2	4
2. Ürün	3	3

Tablo 7. Yedinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Müşteri	2. Müşteri	3. Müşteri	4. Müşteri	Geri Dönüşüm Merkezi
1. Ürün	2	3	2	3	3
2. Ürün	1	1	1	1	2

Tablo 8. Sekizinci Aşama Birim Taşıma Maliyetleri (TL)

	1. Fabrika	2. Fabrika	3. Fabrika	4. Fabrika
1. Ürün	2	3	2	1
2. Ürün	1	1	1	2

Tablo 9. Fabrika ve Dağıtım Merkezi Sabit Açılış Maliyeti (TL)

	1. Fabrika	2. Fabrika	3. Fabrika	4. Fabrika	1. DM	2. DM	3. DM
Sabit Maliyet	5000	6000	6500	4500	300	500	700

Tablo 10. Kapasite ve Talep Miktarları

	1. Fab	2. Fab	3. Fab	4. Fab	1. Depo	2. Depo	1. DM	2. DM	3. DM
1. Ürün	3000	2500	3200	3100	2900	2800	2300	2150	2200
2. Ürün	3000	2500	3200	3100	3100	3000	2000	1900	2100

Tablo 10'un Devamı (adet)

	1. Per	2. Per	3. Per	1. Müştr	2. Müştr	3. Müştr	4. Müştr
1. Ürün	1000	1000	1200	1800	1500	1600	1600
2. Ürün	1050	900	1100	1600	1900	1900	2000

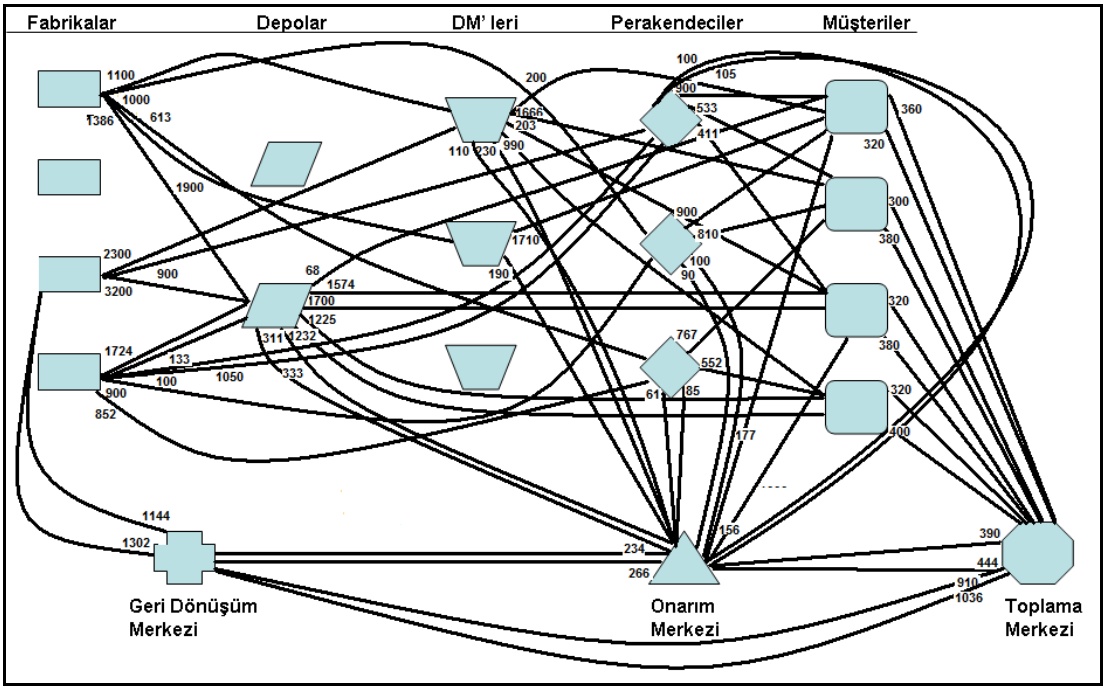
4.1 Çözüm

LINDO paket programı ile elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. LINDO paket programı ile elde edilen sonuçlar

Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer	Değişken	Değer
$X_{1,2,1}$	1386	$B_{2,3,1}$	1574	$H_{1,2,2}$	533	$J_{2,2}$	380
$X_{3,2,2}$	3200	$B_{2,3,2}$	1700	$H_{1,3,2}$	411	$J_{3,1}$	320
$X_{4,2,1}$	1724	$B_{2,4,1}$	1225	$H_{2,1,1}$	900	$J_{3,2}$	380
$X_{4,2,2}$	133	$B_{2,4,2}$	1232	$H_{2,2,2}$	810	$J_{4,1}$	320
$Y_{1,1,2}$	1100	$D_{2,1}$	311	$H_{3,2,2}$	767	$J_{4,2}$	400
$Y_{1,2,2}$	1900	$D_{2,2}$	333	$H_{3,4,1}$	552	K_1	390
$Y_{3,1,1}$	2300	$F_{1,1,1}$	200	$I_{1,1}$	100	K_2	444
$Z_{1,2,1}$	1000	$F_{1,2,1}$	1666	$I_{1,2}$	105	L_1	910
$Z_{1,3,1}$	613	$F_{1,3,1}$	203	$I_{2,1}$	100	L_2	1036
$Z_{3,1,1}$	900	$F_{1,4,2}$	990	$I_{2,2}$	90	$M_{1,2}$	177
$Z_{4,1,1}$	100	$F_{2,1,2}$	1710	$I_{3,1}$	61	$M_{3,1}$	156
$Z_{4,1,2}$	1050	$G_{1,1}$	230	$I_{3,2}$	85	N_1	234
$Z_{4,2,2}$	900	$G_{1,2}$	110	$J_{1,1}$	360	N_2	266
$Z_{4,3,2}$	852	$G_{2,2}$	190	$J_{1,2}$	320	$O_{3,1}$	1144
$B_{2,1,2}$	68	$H_{1,1,1}$	900	$J_{2,1}$	300	$O_{3,2}$	1302
						Amaç	67473

LINDO paket programından çıkan sonuçlara göre fabrikalardan birinci, üçüncü ve dördüncü fabrikalar, dağıtım merkezlerinden ise birincisi ve ikincisi açılmıştır. Birinci depo, malzeme akışında görev almamıştır. Fabrikalardan 17158 adet ürün, depolara, dağıtım merkezlerine ve perakendecilere gönderilmiş fakat müşterilere direk bir taşıma olmamıştır. İkinci depodan sadece müşterilere mal akışı gerçekleşmiştir.



Şekil 2. Optimum Tedarik Zinciri Ağı

Fabrikalardan depoya mal taşınırken birinci üründen 311 adet, ikinci üründen de 333 adet üründe bozulma meydana gelmiş ve tamir edilmesi için onarım merkezine gönderilmiştir. Dağıtım merkezlerinden yalnızca müşterilere ve onarım merkezine bir malzeme hareketi söz konusudur. İkinci aşamadaki taşımadan kaynaklı çıkan problemlerden dolayı 230 adet birinci ürün, 300 adet de ikinci ürün onarım merkezine gönderilmiştir. Perakendecilerden müşterilere 2352 adet birinci ürün, 2521 adet de ikinci ürün teslimatı olmuştur. Üçüncü aşamadaki taşıma problemlerinden dolayı, birinci üründen 261 adet, ikinci üründen ise 280 adet ürün, perakendecilerden onarım merkezine yollanmıştır. Tüm aşamalardaki taşıma kaynaklı bozulan ürünler, onarım merkezinden tekrar müşterilere yollanmıştır. Birinci müşterini toplam 3400, ikinci müşterinin 3400, üçüncü müşterinin 3500 ve dördüncü müşterinin de 3600 adet ürün olan talepleri, fabrikalar hariç onarım merkezide dahil olmak üzere tüm aşamalardan karşılanmıştır. Müşterilerden birinci ürün için 1300 adet, ikinci üründen ise 1480 adet malzeme toplama merkezlerine götürülmüştür. Buradan birinci ürünün 390 adedi onarım merkezine, kalan 910 adet ise direk geri dönüşüm merkezine gönderilmiştir. Onarım merkezinden geri dönüşüm merkezine, fabrikalara yollanması için birinci üründen 234, ikinci üründen ise 266 adet ürün gönderilmiştir. Geri dönüşüm merkezinden, üçüncü fabrikaya, ürünlerin sürece tekrardan dahil edilmesi için sırasıyla 1144 ve 1302 adet ürün teslim edilmiştir.

5. SONUÇ

Küresel ekonominin ve e-ticaretin hüküm sürdüğü günümüz piyasalarında, eğer işletmeler kendi pazarlarında lider olmak istiyorlarsa, uluslar arası tedarik zinciri ağına ve lojistik bilgisine sahip olmak zorundadırlar. Ağ boyutuyla, taşıma maliyetleri ve müşterilere cevap verme süresi doğru orantılıdır. TZ Yönetimi bu aşamada bir ikilem

yaşamaktadır. Bir yandan pazarda pay kapabilmek için uluslar arası bir tedarik zinciri ağına sahip olmak gerekirken, bir yandan da bu zincirin getirdiği yüksek taşıma maliyetleri ve gecikme süreleriyle de başa çıkması gerekmektedir.

Bu çalışmada anlatılan yeni model, dağıtım ağları tasarımında tedarik zinciri yönetimine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Global bir şekilde genişleyen ağlara, yeni öğelerinde katılmasıyla ağ optimizasyonu zorlaşmaktadır. Pazarda pay kapabilmek için, ürün çeşitliliğinin artırılması esnasında oluşan problemlere, azalan kaynakların yarattığı zorlukları da katarsak, dağıtım ağları tasarımının işletmeler için çözülmesi gereken büyük bir sorun olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları çözmek için işletmeler, geleneksel tedarik zinciri yapısını da içine alan esnek tedarik zincirlerini tercih etmelidirler. Genişleyen ağlarda ürünlerin akışı uzun süreler ve mesafeler aldığından bu süre zarfında ürünlerde bir takım yıpranmalar ve bozulmalar olabilmektedir. Bozulan bu ürünler müşteri taleplerinin karşılanmasından kullanılmamalıdır. Bunun önüne geçebilmek için eş zamanlı bir şekilde, bu ürünlerin tamir edilmesi gerekmekte ve taleplerin diğer ürünlerle beraber karşılanması sağlanmalıdır. Tüm bu sorunlara ek olarak, kaynakların da gitgide azalması işletmeleri geri dönüşüme sevk etmektedir. Müşterilerden toplanan ürünlerin tekrardan işleme sokularak zincire dahil edilmesi kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Geliştirilen model, yukarıda sayılan tüm problemleri çözmek adına, içinde bozulma faktörü ve geri dönüşüm sürecini de kapsayacak şekilde, çok ürünlü çok aşamalı kapalı çevrimli esnek bir tedarik zinciri ağının tasarımında kullanılmıştır.

Sırt çantası (Knapsack) problemi ile kaynak tahsisi (resource allocation) probleminin kombinasyonu olan bu tarz problemler literatürde NP-hard olarak tanımlanmıştır [11]. Dolayısıyla, önerilen modelin problem hacmi veya boyutu büyüdükçe optimizasyon paket programlarıyla çözüm zorlaşacak ve sezgisel çözümlere başvuru ihtiyacı doğacaktır. Bu nedenle, ileriki çalışmalarda bu ve benzer modellerin sezgisel yaklaşımlarla ele alınması önerilebilir.

Bu çalışmaya ek olarak ileriki çalışmalarda modelin statik yapısı periyotlar katılarak dinamikleştirilebilir, tedarikçi katman sayısı komponent miktarıyla doğru orantılı olacak şekilde artırılabilir, fırsat maliyeti faktörüyle çoklu taşıma seçenekleri eklenebilir, gerçek hayattaki belirsizleri de içerecek şekilde stokastik bir yapıda model tekrar kurulabilir.

KAYNAKLAR

[1] http://www.cisco.com/web/TR/solutions/ent/bus_solutions/scm_home.html

[2] Williams, Jack F., 1981, "Heuristic Techniques for Simultaneous Scheduling of Production and Distribution in Multi-Echelon Structures: Theory and Empirical Comparisons", Management Science, 27(3): 336-352.

[3] Cohen, M.A., Lee, H.L., 1989, "Resource Deployment Analysis of Global Manufacturing and Distribution Networks", Journal of Manufacturing and Operations Management, Vol 2, pp. 81-104.

[4] Pyke, D.F., Cohen, M.A., 1993, "Performance Characteristics of Stochastic Integrated Production-Distribution Systems, European Journal of Operational Research", Vol 68, Issue 1, pp. 23-48.

[5] Beamon, B.M., 1998, "Supply chain design and analysis: models and methods", International Journal of Production Economics, Vol. 55:3, pp. 281-294.

[6] Arntzen, Bruce C., Gerald G.B., Terry P.H., Linda L.T., 1995, "Global Supply Chain Management at Digital Equipment Corporation", Interfaces, Vol: 25, pp. 69-93.

[7] Özdamar, L., Yazgaç, T., 1997, "Capacity Driven Due Date Settings in Make-to-Order Production Systems", International Journal of Production Economics, Vol 49, Issue 1, pp. 29-44.

[8] Petrovic, D., Roy, R., Petrovic, R., 1999, "Supply Chain Modeling Using Fuzzy Sets", International Journal of Production Economics, Vol 59, pp. 443-453.

[9] Ganeshan, R., Bone, T., Stenger, A.J., 2001, "The Impact of Inventory and Flow Planning Parameters on Supply Chain Performance: An Exploratory Study", International Journal of Production Economics, Vol 71, pp. 111-118.

[10] Sakawa, M., Nishizaki, I., Uemura, Y., 2002, "A Decentralized Two-Level Transportation Problem in Housing Material Manufacturer: Interactive Fuzzy Programming Approach", International Journal of Operational Research, Vol 141, pp. 167-185.

[11] Syarif, A., Yun, Y., Gen, M., 2002, "Study on multi-stage logistics chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach", Computers and Industrial Engineering, Vol 43, Issue 1-2, pp 299-314.

[12] Yan, H., Yu, Z., Cheng, T.C.E., 2003, "A Strategic Model For Supply Chain Design with Logical Constraints: Formulation and Solution", Computers&Operations Research, Vol 30, Issue 14, pp. 2135-2155.

[13] Yılmaz, P., 2004, "Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion", Yüksek Lisans Tezi, Sabancı University Graduate School of Engineering and Natural Sciences, İstanbul, 1-20.

[14] Chen, Z., Lee., 2004, "Integrated production and distribution operations: taxonomy, models and review", Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Busines Era, Kluwer Academic Publishers, New Jersey, 412-444.

[15] Nagurney, A., Toyasaki, F., 2005, "Reverse Supply Chain Management and Electronic Waste Recycling: A Multitired Network Equilibrium Framework For e-Cycling", Transportation Research Part E, pp. 1-28.

[16] Gen, M., Syarif, A., 2005, "Hybrid genetic algorithm for multi-time period production distribution planning", Computers and Industrial Engineering, Vol 48, pp. 799-809.

[17] Paksoy, T., 2005, "Tedarik Zinciri Yönetiminde Dağıtım Ağlarının Tasarımı ve Optimizasyonu: Malzeme İhtiyaç Kısıtı Altında Stratejik Bir Üretim-Dağıtım Modeli", Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, S:14, pp. 435-454.

[18] Altıparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy, T., 2006, "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks", Computers and Industrial Engineering, 51: 197-216.

[19] Lin, L., Gen, M., Wang, X., 2007, "A Hybrid Genetic Algorithm for Logistics Network Design with Flexible Multistage Model", International Journal of Information Systems for Logistics and Management, Vol 3, No 1, pp. 1-12.

[20] Wang, H.S., 2007, ”A two-phase ant colony algorithm for multi echelon defective supply chain network design”, European Journal of Operation Research, doi: 10.1016/j.ejor.2007.08.037.

[21] Yang, G., Wang, Z., Li, X., 2009, “The Optimization of the Closed-Loop Supply Chain Network”, Transportation Research, Part E, pp. 16-28.

[22] Tuzkaya, U., Önüt, S., 2009, “A holonic approach based integration methodology for transportation and warehousing functions of the supply network”, Computers and Industrial Engineering, 56: 708-723.

ÜÇ BOYUTLU SANAL ÇEVRE GÖRSEL İPUÇLARININ HELİKOPTER SİMÜLATÖRLERİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Yasemin Çetin [(a)], Erdal Yılmaz [(b)], Yasemin Yardımcı [(c)]

[(a)] ODTÜ, Enformatik Enstitüsü, ycetin@ii.metu.edu.tr

[(b)] Harita Genel Komutanlığı, eyilmaz@hgk.mil.tr

[(c)] ODTÜ, Enformatik Enstitüsü, yardimy@ii.metu.edu.tr

ÖZ

Görsel ipuçları helikopter uçuşlarının olmazsa olmaz parçalarındandır. Havır için gerekli ipuçları yere yakınlık ve küçük hareketlerden dolayı özellikle fazladır.

Bu araştırmada, sahnedeki Üç Boyutlu (3B) nesnelerin yoğunluk ve yüksekliklerinin, havır ve alçak irtifa uçuşuna olan etkileri üzerinde çalışılmıştır. Üç LCD ekran ve uçuş kontrol setine sahip PC-tabanlı bir simülatör üzerinde on profesyonel askeri pilot deneye katılmıştır.

Sonuçlar nesne yoğunluğu ve yüksekliğinin düşey ve yatay havır performansını etkilediğini fakat önceki bulguların aksine artan nesne yoğunluğunun performansı sürekli olarak geliştirmemediğini, belli bir yoğunluktan sonra performansın azaldığını göstermektedir. Havır ve alçak irtifa uçuşlarında irtifa kontrolü küçük nesnelerden olumlu olarak etkilendiği halde pilotlar büyük ve karma nesnelerden oluşan sahneleri tercih etmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3B Nesne, Alçak İrtifa Uçuşu, Görsel İpucu, Havır, Uçuş Simülatörü.

EVALUATION OF VISUAL CUES OF THREE DIMENSIONAL VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR HELICOPTER SIMULATORS

ABSTRACT

Visual cues are an essential part of helicopter flight simulators. The required cues for hover are especially large due to closeness to the ground and small movements.

In this research, the effect of density and height of the Three Dimensional (3D) objects in the scene on hovering and low altitude flight is studied. Ten professional military pilots participated in the experiments conducted on a PC-based flight simulator with three LCD monitors.

Results revealed that object density and height affect the horizontal and vertical hovering performance but, contrary to the previous work, increasing the object density does not always improve the performance but declines after a density level. In hover and low altitude flight, altitude control is positively affected by smaller object height. However, pilots prefer the scenes composed of tall and mixture objects

Keywords: 3D Object, Flight Simulator, Hover, Low Altitude Flight, Visual Cue.

1. GİRİŞ

Helikopter uçuş simülatörleri eğitim, araştırma ve geliştirme amaçlarıyla askeri ve sivil havacılık tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Simülatörler kullanıcılarına güvenlik, erişilebilirlik ve maliyet açısından avantajlar sağlamaktadır. PC-tabanlı uçuş simülatörleri düşük maliyet ve taşınabilirlik özellikleriyle gelişmiş uçuş simülatörlerine alternatif oluşturmaktadır.

PC ve Internet teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, simülatörler hızla gelişip geniş kullanım alanlarına sahip oldular. Simülatörlerin yaygın kullanımı güvenirlilik, geçerlilik ve risk açısından sorgulanmalarına neden oldu. PC-tabanlı simülatörlerin uçak uçuş eğitiminin bazı aşamalarını (prosedür, alet ve yeni görevlerin eğitimi aşamalar) olumlu olarak etkilediğini çalışmalar göstermektedir [1]. Fakat gerçeğe benzerlikteki eksiklikler eğitim süresinin uzamasına ve yeniden öğrenme sürecine neden olabilmektedir. Simülatör eğitiminin gerçek uçuşa yanlış transfer edilmesi ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Bu yüzden PC-tabanlı uçuş simülatörlerinin etkinliğinin değerlendirilebilmesi için görsel ve çevresel ipuçlarının açığa çıkarılması gerekmektedir.

Performans için yeterli ve en az sistem yükü getiren Pencere Dışı Görsel Bileşen (PDGB) ipuçlarının belirlenmesi, maliyet açısından optimize edilmiş simülatörlerin tasarlanması için önem arz etmektedir.

Bu çalışma havır ve alçak irtifa uçuşlarında pilotların PC-tabanlı uçuş simülatöründeki uçuş performansına 3B nesnelerin etkisini araştırmaktadır. 3B nesnelerin yoğunlu ve yükseklik parametreleri değiştirilerek pilotların kat edilen mesafe, kat edilen irtifa, mesafe tahmini ve hız tahminleri ölçülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçları simülatör tasarımı ve geliştirilmesi aşamalarında tasarımcılara yol gösterici olabilecek, uçuş için gerekli yeterlikte ve en az sistem yükü gerektiren maliyet/etkinlik bakımından optimize edilmiş simülatörler tasarlanabilecektir. Ayrıca pilot eğitimi için gerekli uçuş eğitim programlarının düzenlenmesi aşamasında elde edilen bilgilerin faydalı olabileceği düşünülmektedir.

2. LİTERATÜR

Alçak irtifa uçuşu için gerekli PDGB ipuçlarının belirlenmesi için çok sayıda araştırma yapılmıştır[2-13]. Bu araştırmaların büyük çoğunluğu uçaklar için olup alçak irtifa helikopter uçuşu ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Helikopter uçuşlarının en önemli parçalarından biri olan havır hız ve yükseklik bakımından jet uçaklarından oldukça farklıdır. Havır için gerekli olan ipuçları yüzeye yakın ve küçük hareketler gerektirdiği için sayı olarak fazla ve detaylıdır.

Kleiss, alçak irtifa uçak uçuşlarında pilotların performanslarının üç PDGB' den etkilendiğini bulmuştur [3]. Bunlar arazi şekli, yüzey dokusu ve 3B nesnelerdir. Karaahmetoğlu [4], helikopter uçuşlarında havır için doku çözünürlüğü ve arazi şeklinin etkisini incelemiş, arazi şeklinin önemli olduğunu, yüzey dokusu çözünürlüğünün ise ancak yüzeyde iki boyutlu seçilebilen nesneler olduğunda önem kazandığını belirlemiştir. 3B nesneler üzerinde çalışma yapmamıştır.

3B nesneler ile ilgili yapılan araştırmalar dört başlık altında toplanabilir.

1-Nesne Tipi: Kleiss,150 fit başlangıç irtifası ve 450 kt sabit hızda, nesnelerin detaylarının artmasının, örneğin piramit (düşük seviye detay) ve çam ağacı (yüksek seviye detay), pilotların irtifa değişikliğini fark etme performanslarını etkilemediğini bulmuştur [7]. Bu çalışmadaki hız ve irtifa değerleri jet uçaklarına ait olup havır (5-15 fit sıfır hız) için uygun değildir. Bu yüzden nesne detayları havır için önemli olabilir ve araştırılması gerekmektedir.

2-Nesne Yoğunluğu: Peitso havır için gerekli nesne yoğunluğunu tespit etmek için PC-tabanlı uçuş simülatöründe bir deney gerçekleştirmiştir [10]. 3B nesnelerin yoğunluğunun pozisyon sabitleme ve konum değişimini algılama üzerinde etkili olduğunu bulmuştur. %1, %0.25 ve %0 3B bitki örtüsü yoğunluklarının pilotların yatay konum performansına etkisini karşılaştırmıştır (%1 ortalama 1 nesne/100 $m^{2'}$ karşılıktır). Yatay eksende istikrarlı havır için gerekli nesne yoğunluğunun %1 civarında olduğunu saptamıştır. Bu çalışmada kullanılan simülatörden dolayı dikey konum performansı ölçülememiştir.

De Maio, 10 deneyimli pilot ile 600 kt ve 150 fitte, 3B nesnelerin irtifa tahmininde etkili olduğunu bulmuştur [12]. Ayrıca, mi^{2}' de 12-15 nesnenin (veya km2'de 4.63-5.79 nesne) irtifayı korumak için yeterli olduğunu saptamıştır[15] .

Kleiss, 12 profesyonel pilotla gerçekleştirdiği araştırmada, km2'de 4,17 ve 67 nesne yoğunluklarının pilotun irtifa değişimi algılarına etkilerini denemiştir[7]. Nesne yoğunluğu arttıkça pilotların irtifa değişimine verdiği reaksiyonların doğruluk yüzdesi ve süreleri gelişmiştir.

Ponogracic, 400 kt hız ve 100 metre yükseklikte 12 pilotun, 100m irtifadan (± 20 m toleransla) sapma sürelerini ölçmüştür [8]. İrtifa kontrolü için km2'de 4'ten fazla nesnenin yeterli olduğunu ve nesne sayısını arttırmanın performansı önemli ölçüde iyileştirmediğini bulmuşlardır.

Alçak irtifa uçuşu için gerekli nesne yoğunluğunun belirlenebilmesi için yapılan araştırmaların birçoğu havır için uygun olmayan yüksek hızdaki uçuşlardır. Ayrıca bu çalışmalar uçuş için gerekli en az nesne yoğunluğunu analiz etmektedir. Oysa nesne yoğunluğunun bir kırılma noktası olabileceği, bu noktadan sonra nesne yoğunluğunu arttırmanın performansı düşürebileceği de düşünülmektedir. Bu yüzden havır için gerekli en az ve en çok nesne yoğunluğunun araştırması gerekmektedir.

3. Nesnelerin Dağılımı: Kleiss ve Hubbard tarafından yürütülen bir çalışmada, 450 kt ve 150 fit başlangıç irtifasında, nesnesiz, eşit aralıklı ve gruplanmış nesnelerin irtifa algısına etkisi karşılaştırılmıştır [2]. Sonuçlar göstermektedir ki, irtifa değişimi algısı gruplanmış nesnelerden olumlu olarak etkilenmektedir. Nesne dağılımının bir diğer boyutu da dağılımdır. Dağılım düzenli ve rastgele olabilmektedir. Havır oldukça düşük irtifada (3-15 fit) gerçekleştirilmektedir. Yatay ve düşey konum değişikliklerinin düzenli dağılıma sahip sahnelerde daha hızlı fark edilebileceği düşünülmektedir.

4. Nesne Yüksekliği: Ponogracic irtifa kontrolünün nesnelerin yüksekliği arttıkça artacağını savunmaktadır [8]. Fakat bu iddialarını deneylerle desteklememişlerdir. Ayrıca 3B nesnelerin yüksekliklerini birbirine benzerlik ve farklılık açısından araştıran bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu amaçla nesnelerin yükseklik değerlerinin ve aynı ve farklı olduğu nesnelerden oluşan sahnelerin etkisinin araştırılması gerekmektedir.

3.YÖNTEM

Havır için gerekli 3B nesnelerin yoğunluk ve yüksekliklerini belirleyebilmek için deneyler profesyonel helikopter pilotları kullanılarak yapıldı. On profesyonel helikopter pilotu deneye katıldı. Bütün katılımcılar normal ya da normale dönüştürülmüş görüşe sahipti. Yaş ortalamaları 28.9 (SS=1.3 Aralık=27-33) ve toplam uçuş saati ortalamaları 1072 saatti (SS=4.2 Aralık=1-7). Son uçuşları üzerinden geçen süre ortalama süre 4.2 gündür (SS=2.3 Aralık= 1-7). Deney katılımcıların programına uygun olarak tek oturumda Kara Havacılık Okul Komutanlığı'nda gerçekleştirildi. Katılımcılar orta monitörden yaklaşık olarak 80 cm uzakta oturdular.

3.1 Deney Düzeneği

Deney için ticari olarak erişilebilir donanım kullanılarak PC-tabanlı bir uçuş simülatörü oluşturuldu. Sistem daha önce Karahmetoğlu'nun tez çalışmasında kullanılmıştır [9]. Bir PC, üç LCD monitör, sahneyi üç monitöre bölmeyi sağlayan bir grafik kartı ve uçuş kontrol setinden oluşmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2). Ekran çözünürlüğü 3840 X 1024 piksele ayarlanmıştır.



Şekil 1. Sistem Genel Görünümü



Şekil 2. Uçuş Kontrolleri

Bu çalışmada üç adet yazılım kullanılmıştır: X-Plane, Overlay Editor ve Google SketchUp. X-Plane 9.0 esnek ve gerçekçi yapısından dolayı tercih edilmiştir. Deneyde katılımcılara helikopter alet paneli gösterilmemiştir. Bunun nedeni uçuş aletlerinden kaynaklı ipuçlarının performansı etkilemesini engellemektir. Uçuş verileri X-Plane'in Veri Giriş & Çıkış aracı ile kaydedilmiştir. Sahneler Overlay Editor 2.0 kullanılarak oluşturulmuştur. 3B nesneler (ağaç) Google SketchUp 6 ile tasarlanmıştır. Farklı yükseklik ve yönde ağaç modelleri oluşturulmuştur.

3.2 Deney Faktörleri

Deneyde iki faktör bulunmaktadır: 3B nesne Yükseklik (2m,5m,10m ve karışık) ve Yoğunluk(km^2' de 36,144, 576, 1296 nesne) değerleri. Deney için, her set farklı yükseklik ve yoğunluğa sahip nesnelerden oluşan 16 farklı sahne hazırlanmıştır.

Kleiss &Hubbard[2] ve Karaahmetoğlu[9] yaptıkları çalışmalarda arazi şekillerinin irtifa kontrolü üzerinde etkisi olduğunu bulmuşlardır. Lemos ise nesnenin gölgesinin uçuş sırasında yatay dengeyi sağlamayı etkilediğini belirtmektedir[11]. Bu faktörlerin 3B

nesnelerle de etkileşime girip sonucu etkileyebileceği göz önüne alınarak deneyde düz zemin ve gölgesiz nesneler kullanıldı.

3.3 Yordam

Deney dört aşamadan oluşmaktadır: ön bilgilendirme, alışma, veri toplama, son bilgilendirme. Ön bilgilendirme aşamasında katılımcılar deneyin amacı ve prosedür hakkında bilginin bulunduğu gönüllü katılım formunu okuyarak imzaladılar. Daha sonra deney öncesi anket katılımcılar tarafından doldurudu. Bu anket ile katılımcının cinsiyet, yaş, toplam uçuş saati, son uçuşu üzerinden geçen süre, en sık kullandıkları helikopter türü, simülatör deneyimi bilgileri ve simülatörlerin gerçeklik ve kullanım alanları hakkındaki görüşleri alındı.

Alışma aşaması yaklaşık olarak on dakikalık veri toplamaya başlamadan önce katılımcıların simülatöre uyum sağlaması amacıyla yaptığı uçuştur. Yapılan deneyde en kısa alışma süresi 5 dakika, en uzunu ise 19 dakika sürdü.

Her uçuş seti iki kısımdan oluşmaktadır; havır ve alçak irtifa uçuşu. Her setten önce helikopter pozisyonu başlangıç noktasına geri ayarlanmaktadır. Havır kısmında veri kaydı katılımcı havır için havalandıktan sonra başlatıldı. Kat edilen mesafe ve irtifa verileri iki dakika süresince kaydedildi. İki dakika sonunda süreç sonlandırıldı. Katılımcılardan sahnenin havır için uygunluğunu 1'den 5'e kadar (iyiden kötüye) puanlamaları istendi. Alçak irtifa uçuşu kısmında veri kaydı katılımcı alçak irtifa uçuşu için havalandıktan sonra başlatıldı. Kat edilen mesafe ve irtifa, helikopterin hızı kaydedildi. Süreç katılımcı yer değiştirmenin 2 km olduğunu söylediğinde sona erdirildi. Katılımcılardan sahnenin alçak irtifa için uygunluğunu 1'den 5'e kadar (iyiden kötüye) puanlamaları istendi. Bu iki kısım 16 kombinasyon (4 yoğunluk*4yükseklik) için tekrarlandı.

Son bilgilendirme aşamasında ise katılımcılarda deneyde kullanılan simülatör hakkındaki görüşlerini derleyen deney sonrası anketi doldurmaları istendi. Daha sonra katılımcılara çalışmanın amacı ve iletişim bilgilerini içeren son bilgilendirme formu verildi.

4. DENEY SONUÇLARI

Deney sırasında katılımcıların performansı uçuş türüne göre Çizelge 1'de belirtildiği gibi ölçülmüştür.

Havır uçuşlarında iki dakika süresince helikopterin yatay ve düşey konumu kaydedildi. 1-saniye, 5-saniye ve 10-saniyelik aralıklardaki pozisyonlar, bu aralıklardaki verilerin ortalaması alınarak hesaplandı. Ortalama verilerin arasındaki mesafeler toplanarak kat edilen mesafe (KM) hesaplaması yapıldı. Kat edilen İrtifa (Kİ) ise ortalama verilerin arasındaki irtifanın mutlak değerleri toplanarak hesaplandı. 1,5 ve 10 saniyelik aralıklar karşılaştırıldı ve anlamlı bir fark bulunmadı. Bu yüzden ortalama alınırken 5 saniyelik aralık seçildi.

Alçak irtifa uçuşlarında helikopterin yatay, düşey konumu ve uçuş hızı katılımcı yer değiştirmenin 2 km olduğunu belirtinceye kadar kaydedildi. Başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki mesafe katılımcının uçtuğu mesafenin hesaplanmasında kullanıldı. Kat edilen mesafeden 2000 m çıkarılarak bu değerin mutlak değeri Mesafe Tahmin Hatası (MTH) olarak kullanıldı. Kİ, en yüksek irtifa değerin yarısından fazla olan irtifalar için

hesaplandı. En yüksek değerin yarısından fazla olan irtifaların ortalaması irtifa değerinden çıkarıldı ve mutlak değerleri alıp toplanarak Kİ elde edildi. Hız Tahmin Hatası (HTH) katılımcının hız tahmini ve X-Plane veri çıktısındaki hız değerinin farkının mutlak değeri alarak hesaplandı.

Çizelge 1. Performans Ölçütleri

Uçuş Türü	**Performans**
Havır	Kat edilen Mesafe (KM)
	Kat edilen İrtifa (Kİ)
	Pilot Sahne Puanı
Alçak İrtifa Uçuşu	Kat edilen Mesafe (KM)
	Kat edilen İrtifa (Kİ)
	Pilot Sahne Puanı
	Hız

4.1 İstatistiksel Model

Deneyin bağımsız değişkenleri; nesne yoğunluğu(4 seviye) ve nesne yüksekliğidir(3 seviye). Ayrıca nesne yüksekliğinin diğer üç seviyenin karışımından oluşan dördüncü bir seviyesi bulunmaktadır. Bu deneyde tam faktöriyel tasarımı kullanılmıştır. Bu yüzden deney 16 setten (4 nesne yoğunluğu * 4 nesne yüksekliği) oluşmaktadır. Öğrenme etkisini ortadan kaldırmak için rasgeleleştirilmiş blok tasarımı kullanılmıştır. 16 set rastgele sıralanmış ve katılımcılar tüm setlerde uçuş gerçekleştirmiştir.

Tüm performans ölçümleri için iki analiz yapılmıştır. İlkinde, 4 nesne yoğunluğu ve 3 nesne yüksekliği analiz edilmiştir. İkincisinde ise nesne çeşitliliğinin etkisini gözlemlemek için nesne yüksekliğinin "karma" seviyesi de analize eklenmiştir.

Deney faktörlerin sadece seçilen seviyede geçerli olduğu varsayılarak sabit etki modeli seçilmiştir. Tüm performans ölçümleri için öncelikle öğrenme etkisi incelenmiş, daha sonra ilgili faktörlerde varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır.

Deney seti sırasının havır performansı üzerinde etkisi olup olmadığını anlamak için set sırası ve KM-Kİ performansları için ANOVA yapılmıştır. Deney sırasının KM ($p=0.526$, $\alpha=0.05$) ve Kİ ($p=0.341$, $\alpha=0.05$) üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı bir etkisi olmadığı bulunmuştur.

Performans sonuçları analiz edilmeden modele uygunluğu sorgulanmıştır. Uygun modellerde artık değerler(residuals) bir örüntü takip etmezler. Modele uyum göstermeyen performans verileri dönüştürülerek uyumlu hale getirilebilmektedir. Havır uçuşu KM ve Kİ verilerinin logaritması, alçak irtifa uçuşu MTH verilerinin karekökü, Kİ verilerinin logaritması alınarak modele uygun hale dönüştürülmüşlerdir. Bu makalede havır uçuşlarının sonuçları sunulmuştur. Alçak irtifa uçuşlarının analizi için [15] numaralı referanstaki tezi inceleyebilirsiniz.

4.2 Yatay Havır Performansı

Nesne yoğunluğu ve yüksekliğinin yatay havır performansı üzerindeki etkilerini anlamak için kat edilen mesafe verisi analiz edilmiştir. Nesne Yoğunluğu(4 seviye) ve Nesne Yüksekliği(3 seviye) faktörleri için KM üzerinde ANOVA uygulanmıştır. Hem esne

yoğunluğu($p=0.026$, $\alpha=0.05$) hem de nesne yüksekliğinin($p=0.047$, $\alpha=0.05$) KM performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu bulunmuştur.

Nesne yüksekliği arttırıldığında KM performansının düştüğü gözlemlenmiştir. En iyi KM performansı 2m, ikincisi 5m ve son olarak da 10m'dir. Nesne yoğunluğunda ise km^2'de 576 ve 1296 nesnede, km^2'de 36 ve 144 nesneye göre daha iyi KM performansı elde edilmiştir. En iyi sonuç 576 nesnede gerçekleştirilip, bu noktadan sonra yoğunluk artmasına rağmen performansta düşüş gözlenmiştir.

Nesne yüksekliği ve yoğunluğunun KM performansı üzerinde anlamlı bir etkisi olmasına rağmen, etkileşimlerinin(nesne yoğunluğu*nesne yüksekliği $p=0.937$, $\alpha=0.05$) istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi yoktur.

Farklı yükseklikte nesnelerden oluşan sahnenin KM performansı üzerindeki etkisini tespit etmek için nesne yüksekliğine "karma" seviyesi eklenerek analiz edilmiştir. Karma seviyesi 5m seviyesine benzer sonuç vermiştir. Bu seviye, aynı sayıda 2m, 5m ve 10m yükseklikteki nesnelerden oluşmaktadır ve ortalama yüksekliği 5.66 m'dir. Bu yüzden 5m seviyesine yakın sonuç vermesi şaşırtıcı olmamıştır.

4.3 Dikey Havır Performansı

Katılımcı, nesne yoğunluğu ve nesne yüksekliği faktörlerinin Kİ performansı üzerindeki etkisini saptamak için ANOVA karşılaştırması düzenlenmiştir. Nesne yoğunluğunun ($p=0.030$, $\alpha=0.05$) ve nesne yüksekliğinin($p=0.000$, $\alpha=0.05$) Kİ performansı üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır.

Kİ performansı nesne yüksekliği ile ters orantılıdır. Nesne yüksekliği azalttıkça performans artmaktadır. En iyi performans 2 m'lik nesnelerden oluşan sahnelerde gösterilirken, en kötüsü ise 10m'lik nesnelerden oluşan sahnedir. Nesne yoğunluğunda ise en iyi Kİ performansı km^2'de 576 nesnede elde edilmiştir. Nesne yoğunluğu ve nesne yüksekliğinin etkileşiminin($p=0.148$, $\alpha=0.05$) Kİ performansı üzerinde anlamlı bir etkisi gözlenmemiştir.

Kİ performansı üzerindeki etkisini ayırtedilebilirliğin etkisini tespit etmek için nesne yüksekliğine "karma" seviyesi eklenerek analiz edilmiştir. Bu seviye yine 5m seviyesine çok yakın sonuç vermiştir.

Havır için gerekli olan spesifik irtifa yüksekliğinin küçük nesnelerin performans üzerindeki olumlu etkisini açıklayabileceği düşünülmektedir. Havır 3-15 fit irtifada gerçekleştirilmekte ve bu yükseklikten küçük nesneler (2m'lik nesne) yukarıdan görülebilmekte ve pilotlar 2m'lik nesnelerden kaçınma zorunluluğu hissetmemektedir. Ayrıca 5m'lik nesneler yaklaşık olarak uçuş irtifasına eş yüksekliktedir.

Pilotların uçuş saati ve simülatör kullanım saati deneyimlerinin performansları etkileyebileceği düşünülmektedir. Yapılan korelasyon analizinde toplam uçuş saati ile düşey havır performansı arasında istatistiksel olarak anlamlı negatif korelasyon olduğu saptanmıştır. Bu daha az uçuş deneyimi olan pilotların daha iyi performans gösterdiği anlamına gelmektedir. Bunun nedeninin deneyimli pilotların simülatöre adapte olmalarının zorluğu olabileceği düşünülmektedir.

4.5 Pilot Puanlaması

Her uçuş setinden sonra pilotlardan sahneye havır hareketine uygunluk açısından puan vermeleri istenmiştir (1=En iyi, 5= En kötü).

Pilotlar havır için yüksek (uzun) nesneli sahneleri tercih etmiştir. Özellikle karışık nesnelerden oluşan sahneler en iyi puanı almıştır. Bu sonuçları pilotların havır performansları ile karşılaştırdığımızda alınan sonuçlar ile uyuşmadığını görüyoruz. Pilotlar en iyi küçük nesneler ile performans elde etmelerine rağmen yüksek nesneleri tercih etmektedir.

Ayrıca pilotlar havır için yüksek nesne yoğunluğuna sahip sahnelerin seyrek nesne yoğunluğuna sahip olanlardan daha iyi olduğunu düşünmektedirler. Bu artışın bir tepe noktası bulunmakta ve bu noktadan sonra nesne yoğunluğunun arttırılmasının sahne uygunluğunu zedelediğini düşünmektedirler. Bu sonuçlar performans değerleri ile uyum göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma havır ve alçak irtifa uçuşu için gerekli PDGB ipuçlarının belirlenmesi için yapılmıştır. 3B nesnelerin yoğunluk ve nesne yüksekliği parametreleri araştırılmıştır. 10 profesyonel deneye katılmıştır. PC-tabanlı bir simülatör geniş açılı görüş ve uçuş kontrol seti ile birlikte kullanılmıştır. Uçuş sırasında pilotların yatay ve düşey konum sabitleme performansları ölçülmüştür. Ayrıca pilotlar her sahneyi havır için uygunluk açısından puanlamıştır.

Sonuçlar göstermektedir ki, yatay ve düşey havır performansı nesne yoğunluğu ve nesne yüksekliğinden önemli olarak etkilenirken yoğunluk ve yüksekliğin etkileşiminden etkilenmemektedir. Pilotlar yüksek yoğunlukta nesnelerin bulunduğu sahnelerde daha iyi performans göstermişler ve en iyi sonucu km2'de 576 nesne almışlardır. Ayrıca pilotlarda havır için yoğun sahneleri tercih etmiştir. Performans sonuçları ve pilot değerlendirmelerinde km2'de 576 nesnede bir kırılma noktası oluşmuş, bu noktadan sonra düşüş gözlenmiştir.

Pilotlar küçük nesnelerin bulunduğu sahnelerde daha iyi performans sergilemişlerdir. Küçük nesnelerin avantajı hareketin alçak irtifa gerektirmesi olarak açıklanabilir. Havır 1-5 m arasında gerçekleştirilmektedir. 2m yüksekliğindeki nesneler bu ortamda güçlü ipuçları sağlayabilir. Pilotlar küçük nesnelerden oluşan sahnelerde nesneye yaklaşarak helikopter pozisyonu daha doğru kontrol etmiş olabilirler. Pilotların sahne puanlamaları ve performans değerleri nesne yüksekliği açısından uyumlu değildir. Küçük nesnelerle daha iyi performans göstermelerine rağmen pilotlar uzun nesneleri ve özellikle karışık nesnelerden oluşan sahneleri tercih etmektedir. Karışık nesnelerden oluşan sahneler çeşitlilik içermektedir. Bunun da pilotların tercihlerini etkilemiş olabileceği düşünülmektedir.

Bu deneyin sonuçları, Peitso[10] 'nun çalışmasındaki nesne yoğunluluğunun artmasının yatay havır performansını geliştirdiği saptaması ile tutarlılık göstermektedir. Fakat Peitso bu artışın devamlı olduğunu savunurken, biz deney sonucunda km^2'de 576 nesneden fazlasının performansı düşürdüğünü saptadık. Bu noktada bizim çalışmamızda kullanılan nesnelerin (2-10 m) Peitso' nun çalışmasında kullanılan nesnelerden(yaklaşık 60 cm) daha büyük olduğunu hatırlatılması yerinde olacaktır.

Bu çalışmada hareketsiz nesneler yoğunluk, yükseklik ve benzerlik açısından analiz edilmiştir. Sabit nesnelerin sahnede düzenli ya da gelişigüzel dizilişinin havır ve alçak irtifa uçuşu üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmelidir. Ayrıca nesnelerin ayırt edilebilirlik özelliği de önemli bir ipucu olabileceği düşünülmektedir. Örneğin aynı renk ağaçlardan oluşan bir sahne, içerisinde farklı bir renk ağaç içeren sahne ile karşılaştırılabilir. Hareketli nesnelerin havır ve alçak irtifa uçuşu üzerindeki etkileri incelenmelidir.

Nesnelerin kenar ve köşe bilgilerinin uçuş performansını etkileyebileceği düşünülmektedir. Bu yüzden kenar ve köşe bilgisine sahip olmayan nesnelerin de etkisi araştırılmalıdır. Nesne yoğunluğu ve yüksekliğinin yatay ve düşey havır performansını etkilediği yapılan deneyde bulunmuştur. Arazi şekilleri ve nesnelerin yükseklik ve yoğunluğu arasındaki etkileşim henüz bilinmemektedir.

Bu çalışmada geniş görüş alanı kullanılmıştır. Dar görüş alanı ve geniş görüş alanı karşılaştırması ve LCD monitörler dışında diğer görüntüleme araçlarının uçuş performansına etkisi araştırılabilir. Deney esnasında katılımcıların göz hareketleri stereo kamera seti ile kaydedilmiştir. Bu çalışmada bu veriler analiz edilmemiştir. Göz hareketlerinin incelenmesi için ileride bir çalışma yapılması düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] D'Alessandro, N. (2007). Transfer_PCATDs_aviation_ training_learning_v1-1.pdf Retrieved January 20, 2008 from http://www.insitesolutions.com.au/Documents/Transfer_PCATDs_aviation_%20training_learning_v1-1.pdf

[2] Kleiss, J., & Hubbard, D. (1995). Effect of Terrain Shape and Object Grouping on Perception of Change in Altitude in a Flight Simulator. Dayton, OH: University of Dayton Research Institue.

[3] Kleiss, J. (1990). Terrain Visual Cue Analysis for Simulating Low-Level Flight: A Multidimensional Scaling Approach. Dayton, OH: Univesity of Dayton Research Institue.

[4] Karaahmetoğlu C. ,Yılmaz E.,Yardımcı Y. & Köksal G., (2006) Out-the-window scene properties in pc-based helicopter simulators. "Enhanced and Synthetic Vision 2006, Proceedings of the SPIE", 6226, (2006), p. 62260O

[5] Schnell, T., & Katherine Lemos, S. (2002). Terrain Sampling Density and Texture Requirements for Synthetic Vision Systems. Iowa City, IA: Center for Computer Aided Design, Operator Performance Laboratory (OPL), The University of Iowa,.

[6] Kleiss, J. (1995). Perceptual Dimensions of Simulated Scenes Relevant for Visual Low- Altitude Flight. Dayton, OH: University of Dayton Research Institue.

[7] Kleiss, J. (1992). Tradeoffs among types of scene detail for simulating low-altitude flight. Paper presented at the Systems, Man and Cybernetics, 1992., IEEE International Conference.

[8] Pongracic, H., Doman, J., Grabovac, M., Yildiz, J., & Smith, S. (2003). An initial investigation into visual cues for altitude perception in terrain following flight. Paper presented at theSimTecT.

[9] Karaahmetoğlu,C. (2005) Out-the-window scene properties in pc-based helicopter simulators.Orta doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

[10] Peitso, L. (2002). Visual Field Requirements for Precision Nap-of-the-Earth Helicopter Flight. Naval Postgraduate School, Monterey, CA.

[11] Lemos, K., Schnell, T., Etherington, T., Vogl, T., & Postikov, A. (2003). Synthetic vision systems: human performance assessment of the influence of terrain density and texture. Paper presented at the Digital Avionics Systems Conference, 2003. DASC'03. The 22nd.

[12] Chung, W. (2000). A review of approaches to determine the effectiveness of ground-based flight simulation. Paper presented at the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference.

[13] Keller, M., Schnell, T., Lemos, K., Glaab, L., & Parrish, R. (2003). Pilot performance as a function of display resolution and field of view in a simulated terrain following flight task using a synthetic vision system. Paper presented at the Digital Avionics Systems Conference, 2003. DASC'03. The 22nd.

[14] Johnson, W., Schroeder, J., Center, N., & Field, M. (1995). Visual-motion cueing in the control of altitude. Paper presented at the Systems, Man and Cybernetics.'Intelligent Systems for the 21st Century'., IEEE International Conference.

[15] Çetin, Y. (2008). Evaluation of Visual Cues of Three Dimensional Virtual Environments For Helicopter Simulators. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

TEŞEKKÜR

Kara Havacılık Okul Komutanlığı'na, Cüneyt Karaahmetoğlu ve Hüseyin Levent İpek'e çalışmaya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

EK BİLGİ

Yasemin Çetin

Adres: ODTÜ Enformatik Enstitüsü Salon3

e-posta= ycetin@ii.metu.edu.tr

Telefon= 0 535 839 1004

Fax = 210 3745

HAREKETLİ ETMENLER İÇEREN BENZETİMLERDE BELLEK İÇİ UZAMSAL DİZİN YAPILARI VE UZAMSAL SORGULAMALAR

Burak İLTER [(a)], Serkan ÜNSAL [(a)], Mert TAŞ [(a)], Tayfun TEKİN [(a)], Adnan YAZICI [(b)], Halit OĞUZTÜZÜN [(b)]

(a) HAVELSAN A.Ş., ARGE Binası ODTÜ Teknokent, 06531, Ankara, Türkiye, {bilter, sunsal, merttas, ttekin} @havelsan.com.tr
(b) Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara, Türkiye, {yazici, oguztuzn} @ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Hareketli nesneler içeren uygulamalar, uzamsal nitelikte olan temsili ortam verisi üzerinde çeşitli sorgulamalar yapma ihtiyacında bulunmaktadırlar. Bu tip uygulamalarda varlıkların konum değişiklikleri çok sık olmaktadır. Yapılan bu çalışmayla literatürde yer alan uzamsal dizin yapılarının hem sorgulama hem de güncelleme performansları göz önüne alınarak bu tip uygulamalara uygun bir altyapı çözümü getirilmiştir. Mevcut yapılarda güncelleme konusunda getireceği yükü azaltan pratiğe yönelik bir uyarlama yapılarak bir bellek içi uzamsal dizin yapısı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Grid-file, kd-tree, uzamsal dizin yapıları, uzamsal sorgular, temsili ortamlar, performans analizi.

ABSTRACT

Applications which include moving objects have the requirement of running various queries on spatial data. Location changes are very frequent in this type of applications. This study provides a solution for this type of applications, keeping in mind not only query but update performances of the spatial index types in the literature. An in-memory spatial index is developed making some adaptations which speeds up the updates to the existing structures.

Keywords: Grid-file, kd-tree, spatial index structures, spatial queries, synthetic environments, performance evaluation.

1. GİRİŞ

Askeri etmen tabanlı benzetimler genellikle çok sayıda etmen içermektedir. Bu etmenler benzetim boyunca hareket etmekte ve benzetimin akışına göre çeşitli eylemlerde bulunmaktadır. Bu tip benzetimler, her bir simülasyon zaman biriminde gerçekleşen algılama, patlama gibi olaylar kapsamında veya yarı-otonom etmenlerin karar verebilmeleri için gerekli olan verileri toplamak amacıyla çeşitli konumsal sorgulamaların yapılmasını gerektirmektedir. Bu sorgulamalar her zaman biriminde

benzetimde kullanılan harita büyüklüğü ve etmen sayısının fazlalığına bağlı olarak sisteme ciddi yükler getirebilmektedir. Bu tip benzetimlerdeki diğer hesaplamalar ve genellikle benzetimlerin gerçek zamana yakın veya daha hızlı çalışma ihtiyaçları da göz önüne alındığı zaman bu sorgulamaların mümkün olduğu kadar hızlı cevaplanmasının kritik önem arz ettiği anlaşılmaktadır.

Sorgulamaları çözümü zor bir problem haline getiren etmenlerin hareketli olması ve benzetim boyunca sıklıkla konum değiştirmeleridir. Bu yüzden geliştirilecek bir uygulamanın sadece sorgulama değil güncelleme performansının da yüksek olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Uzamsal (Ing. spatial) veri yapılarıyla ilgili literatür tarandığı zaman bu tip yüksek performans gereksinimi olan konumsal sorgulama ihtiyaçlarının bellek içinde tutulan dizin yapılarıyla karşılandığı görülmektedir. Bu dizin yapılarının başlıcaları olarak kd-tree, r-tree, g-tree, grid file ve quadtree sayılabilir ([1], [2], [3], [4], [5], [6]). Bellek içinde tutulan bu dizin yapılarının klasik veritabanı yönetim sistemlerinde kullanılan B-tree veya B+tree yapılarından temel olarak farkı iki veya daha fazla boyutu desteklemeleri ve dolayısıyla uzamsal verilerin dizinlenebilmesini mümkün kılmalarıdır. Harekat sahası temsili ortamlarında çoğunlukla iki veya üç boyut kullanılmakta olduğundan B-tree veya bu yapıdan türeme olan dizin yapılarıyla başarılı sonuçlar elde edilememektedir.

Bahsedilen problemlere pratik bir çözüm getirebilmek için HAVELSAN A.Ş. tarafından Hareketli Nesne Veritabanı Altyapısı (HANVA) projesi yürütülmektedir. Bu çalışmada HANVA Projesi kapsamında bellek içi uzamsal dizin yapıları çerçevesinde gerçekleştirilen faaliyetler anlatılmaktadır.

HANVA kapsamında öncelikle nesneleri tutmak için bir veri yapısı tasarlanmıştır. Veri yapısı güncellemelerin sık olması durumunda büyük değişikliklere uğramayacak, bu şekilde güncellemelere hızlı cevap verebilecek bir ızgara yapısı şeklindedir. Daha sonra sık kullanılacak sorgular belirlenmiştir. Sorgular belirlenirken askeri ve sivil hareketli nesne uygulamalarında ihtiyaç duyulabileceği öngörülen uzamsal tüm sorgular sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Projenin bu aşamasında öncelikli ihtiyaç olarak iki boyutlu sorgulamalara cevap verebilmek yeterli görülse de ileri aşamalarda üç boyutlu uzamsal sorgu ihtiyaçlarını da karşılamak hedeflenmektedir. Bu yüzden üç boyutlu sorgular da sorgu belirleme çalışmasında incelenmiştir. İki boyutlu gösterimde, üçüncü boyut olan yükseklik nesnenin bir özniteliği olarak temsil edilirken, gerçek üç boyutlu gösterimde yükseklik boyutu diğer iki uzamsal boyut ile aynı şekilde ele alınmaktadır. Bu iki yöntem arasında bir tercih yapılabilecek veya her ikisinin de gerçekleştirimi yapılarak performans karşılaştırmasına gidilecektir. Sorgular belirlendikten sonra ızgara yapısının hücrelerine nasıl ulaşılacağıyla ilgili iki ayrı dizin yapısı, Grid File ve Kd-Tree, kullanımı adapte edilip denenmiş ve bir performans testi ile bu iki yapı/yöntem karşılaştırılmıştır.

2. IZGARA YAPISI

Hareketli nesneleri içeren dizin yapılarının sadece sorgulama değil güncelleme ihtiyaçlarının da fazla olduğu göz önüne alındığı zaman kullanılacak olan dizin

yapısının güncellemeleri hızlı yapabilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bunun için HANVA kapsamında benzetimin altyapıda kullandığı haritanın köşe koordinatları kullanılarak iki boyutlu olarak "ızgara" (Ing. grid) adı verilen sabit en ve boyda dörtgenlere bölme yöntemi denenmiştir. Izgara yapısını oluşturan her bir dörtgense "hücre" olarak adlandırılmıştır. Benzetimde kullanılan haritanın kuzey-batı ve güney-doğu köşelerinin koordinatları alındıktan sonra kullanılan hücre boyuna göre ızgaranın hücreleri oluşturulmaktadır.

Yukarıdaki şekilde verilen ızgarada görüldüğü gibi her ızgaranın *x* (doğu-batı) ve *y* (kuzey-güney) boyutlarında bir anahtar numarası bulunmaktadır. Örneğin ilk hücrenin anahtar numarası (0, 0) olmaktadır. Izgara yapısındaki her bir hücrede yer alan varlıklarla ilgili bilgiler ayrı bir veri yapısında tutulmuştur. Izgaranın hücresinin anahtarı o hücredeki verilere ulaşırken kullanılmaktadır.

Izgara yapısının en baştan oluşturulabiliyor olması sebebiyle klasik dizin yapılarının aksine içinde hiç veri (varlık) olmayan hücrelerin bulunması olasıdır. Bu durum sorgulamalarda bir dezavantaj olarak görülebilirse de güncellemeler sırasında dizin yapısının hiç değişmemesini sağlamasıyla önemli bir kazanç sağlamaktadır. Klasik dizin yapılarında içinde varlık olmayan düğümler (İng. node) silinmekte ve dizin yapısında o düğümün altında bulunan varlıklar, bazı durumlarda da tüm dizin, baştan yapılandırılmaktadır. Bu da güncellemenin sık olduğu uygulamalarda zaman kaybına sebep olmaktadır.

Aşağıdaki alt başlıklarda dizin yapısında güncelleme gerektiren 3 işlem olan varlık ekleme, varlıkların konum değiştirmesi ve varlık silinmesinin ızgara yapısında nasıl ele alındığı kısaca anlatılmıştır.

2.1 Varlık Ekleme

Benzetime yeni bir varlık eklendiğinde varlığın koordinatlarının hangi hücreye düştüğü ızgara yapısının başlangıçta girdi olarak alınmış olan köşe koordinatları ve hücre boyu bilgisi kullanılarak hesaplanmaktadır. Daha sonra o hücredeki varlık listesine yeni varlık tam konum bilgisiyle (*x* ve *y* koordinatları) beraber eklenmektedir.

2.2 Konum Değiştirme

Varlık eklemeye benzer şekilde mevcut bir varlığın konumu değiştiği zaman yeni konumunun hangi hücrede yer aldığı matematiksel olarak hesaplanmakta ve varlık o hücreye ait veri yapısına eklenmektedir. Bir varlık konum değiştirdiği zaman eski konum bilgisi de alınmakta, yeni konum farklı bir hücredeyse, önce varlık eski hücresinden silinmekte, sonra yeni hücresine eklenmektedir.

2.3 Varlık Silme

Benzetimden bir varlığın silinmesi gerektiği zaman, varlığın konum bilgisi kullanılarak hangi hücrede olduğu bulunmakta ve o hücreden varlık silinmektedir.

3. UZAMSAL SORGULAR

Izgara yapısında varlıkların konumlarının güncellenmesinin ve varlık eklenmesinin kolayca yapılabileceği bu şekilde gösterdikten sonra benzetimlerde her birim zamanda çok miktarda yapılacak olan sorgulamaların neler olduğunu listelersek:

a) Verilen bir yön, açı ve yarıçaptaki daire parçası içinde kalan varlıkların bulunması,

b) Verilen bir çokgenin içinde kalan varlıkların bulunması,

c) Verilen bir daire içinde kalan varlıkların bulunması,

d) Verilen iki çizgi grubu arasında kalan varlıkların bulunması,

e) Verilen bir koordinata en yakın *k* varlığın bulunması,

f) Verilen bir çizgiye en yakın *k* varlığın bulunması.

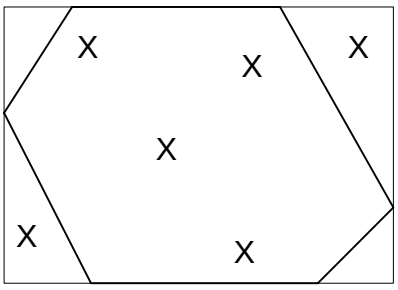
Sorgular içerisinde kullanılan çizgi kavramı, bir doğru parçasını ifade etmektedir. Bir çizgi grubuysa, birbirine sıralı olarak bitiştirilmiş doğru parçalarından oluşmaktadır.

Bunlardan başka kullanılan sorgular varsa da birim zamanda kullanılma sıklıkları bu sayılan sorgulara göre düşük olduğundan burada listelenmemişlerdir. Bu sorgulardan ilk sırada verilen daire parçası içinde kalan varlıkların bulunması sorgulaması benzetimlerde etmenlerin algılamaları kapsamında her birim zamanda her etmen tarafından yapılmakta olduğundan sayıca diğerlerine göre oldukça fazla olmaktadır.

Bu sorgulamalardan ilk dördü literatürde aralık arama (İng. range query), son ikisiyse en yakın komşuluk (İng. k-nearest neighborhood) olarak geçmektedir. Bu iki kategorideki sorguların çalıştırılma biçimleri aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1 Aralık Arama

Bu sorgularda verilen eğer bir kapalı alan değilse (örnek: iki çizgi grubu arasında kalan varlıkların bulunması) öncelikle bu alan mantıksal olarak kapalı hale getirilmiştir. Kapalı alanın içinde kalan varlıkların bulunmasında kullanılan yöntem, öncelikle o alanın çevreleyen dörtgenini hesaplamaktadır.. Çevreleyen dörtgen eksenlere göre hizalanmıştır. Çokgen sorgulamasında kullanılan çevreleyen dörtgen için örnek bir çizim aşağıda verilmiştir.



Şekil 1. İçinde varlıklar olan çokgen ve çevreleyen dörtgeni

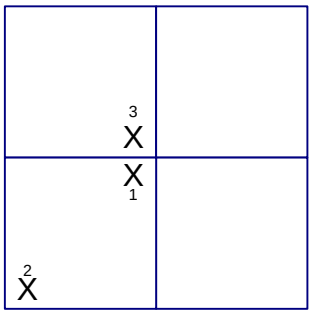
Çevreleyen dörtgen bulunduktan sonra bu dörtgenin köşe noktalarının ızgara yapısında hangi hücrelerin içinde kaldığı bulunmaktadır. Daha sonra bu köşeleri içeren ve arada kalan tüm hücreler taranarak bu hücrelerdeki varlıklar bir listeye eklenmektedir. Son

olarak da bu listedeki varlıklar üstünden tek tek geçilerek bir filtreleme yapılmakta ve gerçekten sorgulanan alan içinde kalıp kalmadığı test edilmekte, testi geçemeyen varlıklar cevap kümesinden silinmektedir. Son filtrelemenin amacı sorgulanan alanın içinde olmamasına rağmen çevreleyen dörtgenin içinde olan varlıkları eleyebilmektir. Bu noktanın daha iyi anlaşılabilmesi için yukarıda verilmiş olan şekil içine bazı varlıklar yerleştirilmiştir. Bu şekildeki iki varlık filtreleme işlemi sonucunda elenecektir.

3.2 En Yakın Komşuluk

Aralık arama yöntemiyle benzerlikler içerse de bu tip sorgulardaki temel ayrım kapalı bir alan bulunmayışıdır. Bu yüzden bir noktaya yakınlık testi yaparken o noktayı içeren hücre ve onun çevresindeki hücrelerdeki varlıkları alarak bu varlıklarla verilen nokta arasındaki mesafeyi ölçerek en yakın *n* varlık bulunmaktadır. Eğer bu hücrelerde hiç varlık yoksa onların da komşu hücreleri taranmakta ve yeterli sayıda varlık bulunana veya haritanın tamamı taranana kadar bu işlem tekrarlanmaktadır. Bu işlemin yeterli sayıda varlık bulunana kadar devam etmesi durumunda çok zaman alabileceği öngörüsüyle bu tip sorgular için bir limit mesafe tanımlanmıştır. Bu limit mesafeden daha uzaktaki varlıklar için test yapılmamaktadır.

Burada sadece o noktayı içeren hücreyi almak yeterli olmamaktadır. Bunun sebebi yan hücrelerde o noktaya daha yakın başka bir varlığın olabilmesidir. Bununla ilgili örnek bir çizim aşağıda verilmiştir.



Şekil 3. En yakın komşuluk testi

Yukarıdaki şekilde üç adet varlığın konumu X işaretiyle gösterilmiş, varlıkların numaraları ise daha küçük punto ile X işaretinin yanına yazılmıştır. Şekilde verilen 1 numaralı varlık ile 2 numaralı varlık aynı, 3 ise farklı hücrede yer almalarına rağmen 1 ile 3 numaralı varlık birbirlerine 1 ile 2'den daha yakındır.

Çizgiye en yakın komşuluk testindeyse o çizginin kestiği tüm hücreler ve onun çevre hücreleri bulunmakta, daha sonra da bu hücrelerdeki varlıkların çizgiye olan mesafeleri hesaplanmaktadır.

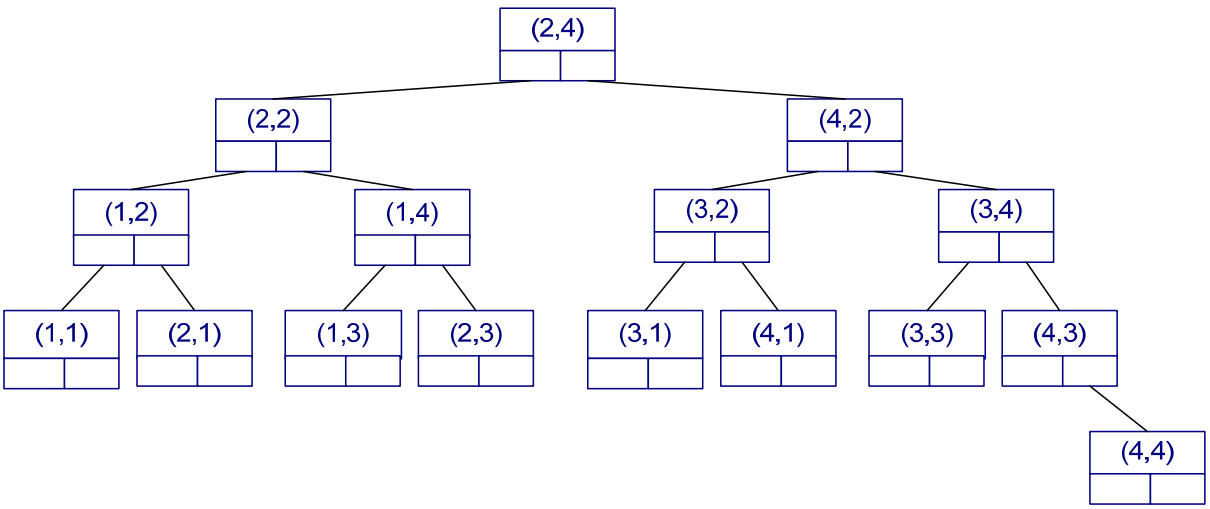
4. DİZİN YAPISI

Sorgulama sonucu bulunan hücrelere ulaşmak için ilk etapta iki yöntem denenmiştir. Birincisi hücrelerin her birinin adresini bir kd-tree yapısında tutmak, ikincisiyse hücrelere numaraları üstünden ulaşmaktır. Bu iki yöntem aşağıdaki alt başlıklarda incelenmiştir.

Bu iki yöntem varlıkların uzamsal sorgulamalar kapsamında noktasal olarak kabul edebilmeleri ve ikiden fazla boyutu destekleyebilmeleri açısından tercih edilmişlerdir.

4.1 KD-Tree

Kd-tree dizin yapısı uzamsal dizin yapıları içinde en yaygın ve en sık kullanılan yapılardandır [2]. En önemli avantajları çok boyutlu yapıları desteklemesi, varlıkların noktasal olarak temsil edilmesi durumunda noktasal sorgulamalara imkan sağlamasıdır. Kd-tree yapısında kullanılan boyut sayısına göre konumsal olarak en ortadaki varlığın konumu kökün konumu olarak kabul edilir. Bundan sonra her adımda varlıklar bir sonraki boyuta göre ikiye bölünerek sağ ve sol dallara yerleştirilir. HANVA kapsamında varlıkların nokta ile temsil edildiği kabul edildiğinden ve ilk aşamada iki boyutlu bir gerçekleştirim yapılsa da daha sonra üç veya daha fazla boyutlu bir yapıya geçilmesi planlandığından gerçekleştirimde bir seçenek olarak denenmesine karar verilmiştir. Kd-tree yapılarının temel bir dezavantajı olan ağaç yapısının dengesiz olabilmesi ve bu yüzden arama sürelerinin uzama olasılığının önüne ızgara yapısı üzerinde kd-tree yapısının uygun bir şekilde adapte edilmesi sayesinde geçilmiştir. Böylece kd-tree her zaman ya tam dengeli ya da tama yakın dengeli olmaktadır. Örneğin 4x4'lük ızgara yapısını oluşturan hücrelerin kd-tree yapısı aşağıdaki gibi olacaktır.



Şekil 4. 4x4'lük ızgara yapısı için oluşturulan bir kd-tree

Kd-tree yapısında içinde varlık olmayan hücrelerin içine bakılarak zaman harcanmaması için o hücreler boş olarak işaretlenmiş ve boş hücreler arama sırasında atlanarak ilerlenmiştir.

4.2 GRID-FILE

Bu yapıda hücrelerin anahtarları doğrudan kullanılarak o hücredeki varlıklara ulaşılmıştır. Bu yapıda da boş hücreler için hücrenin boş olmasıyla ilgili bir bilgi tutularak arama zamanları kısaltılmıştır.

5. KARŞILAŞTIRMA

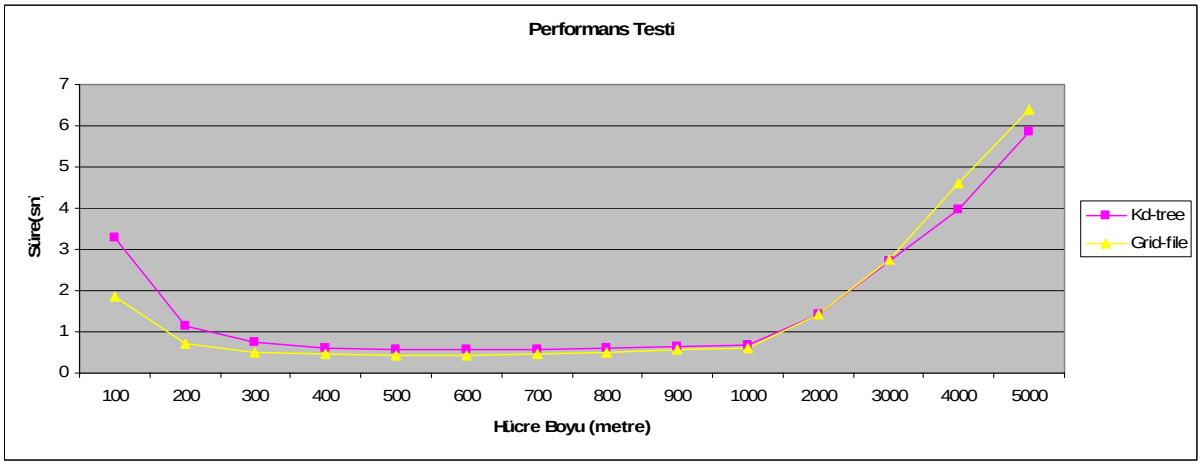
Kd-tree ve grid-file yapılarını karşılaştırmak için HAVELSAN'da gerçekleştirilen bir askeri benzetim projesinden faydalanılarak bir senaryo hazırlanmıştır. Bu benzetim projesi yarı otonom çalışacak olan etmen tabanlı ve kullanıcı müdahalesine kapalı olarak çalışacak bir sistemdir. Bu projede bir birim zamanda gerçekleşmesi beklenen uzamsal işlemler senaryoya dahil edilmiştir. Projede kullanılması düşünülen bir benzetim birim zamanı bir saniyedir. Birim zamanın mümkün olduğu kadar gerçek zamana yakın olması hedeflenmektedir.

Test senaryosu şu şekildedir:

1. Harita boyutları olarak 17x17 km kullan.
2. Hücre boyu olarak 100 metre kullan.
3. Dizin yapısını oluştur.
4. 2000 etmeni rastgele koordinatlarda yarat. (varlık tipleri ve sayıları: 200 tank, 50 helikopter, 25 suüstü platformu, 200 ZPT, 25 top, 1500 er)
5. 1000 durağan varlığı rastgele koordinatlarda yarat (tip: 500 ağaç, 300 mevzi, 200 engel)
6. Benzetimde 1 birim zaman içinde gerçekleşeceği düşünülen uzamsal işlemleri yap:
    a. Süre ölçümünü başlat.
    b. Dizinde bulunan 500 etmenin konumunu rastgele değiştir (helikopter için yer değişikliği en fazla 150 metre, er için en fazla 6 metre, diğer etmenler için en fazla 20 metre).
    c. Dizinde bulunan 20 durağan varlığı sil.
    d. Dizinde 20 tane yeni durağan varlık oluştur.
    e. Dizinde bulunan 3 adet etmeni sil.
    f. Dizinde merkez koordinatı rastgele belirlenen bir daire parçası içinde hangi varlıkların bulunduğunu sorgula. (algı testi)
        i. 2000 kere açı 120 derece, yarıçap 1000 metre olsun.
        ii. 800 kere açı 10 derece, yarıçap 2000 metre olsun.
        iii. 600 kere açı 5 derece, yarıçap 3000 metre olsun.
    g. Dizinde bir çokgen alan içinde hangi varlıkların bulunduğunu sorgula.
        i. Koordinatları rastgele belirlenen 100x100'lük bir kare içinde bulunan erlerin bulunması. (3 kere)
    h. Dizinde merkez koordinatı rastgele belirlenen, yarıçapı 50 metre olan bir daire içinde kalan (hasar testi)
        i. Erleri bul. (15 kere)
        ii. Erleri ve topları bul. (5 kere)
        iii. Tankları bul. (3 kere)
    i. Dizinde rastgele belirlenen bir noktaya en yakın 5 varlığı bul. (3 kere)

j. Dizinde rastgele belirlenen bir noktaya en yakın 5 tank ve ZPT'yi bul. (3 kere)
k. Süre ölçümünü bitir. 6.a adımından 6.k adımına kadar tüm işlemlerin ne kadar zaman aldığını hesapla.

Bu senaryoya göre hazırlanmış olan bir performans testi 8 Intel Xeon 2.66 GHz işlemcili, 3 GB RAM'i olan bir bilgisayarda grid-file ve kd-tree için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Elde edilen süreleri içeren bir grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. Performans testi sonuç karşılaştırması

Senaryonun toplam süresini belirlemekte daire parçası sorgu sayısının (algı testi) kritik önemde olduğu gözlenmiştir. Bu sorgu sayıca çok fazla olduğundan toplam zamanın büyük çoğunluğunu daire parçası içinde kalan varlıkların bulunması almıştır.

Güncelleme işlemlerinin her iki dizin yapısında da ızgara kullanıldığından ve bu sayede dizin yapısındaki değişikliklerin sıklığı azaltılmış olduğundan önemli bir yük getirmediği görülmüştür.

Performans testi sonucunda grid-file yönteminin kd-tree yöntemine düşük hücre boylarında (özellikle 200 metre hücre boyundan küçük değerlerde) göre biraz daha iyi sonuç verdiği, hücre boyu 3000 metreden büyük olduğunda ise kd-tree nin grid file'a göre biraz daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. En iyi sonuç hücre boyu olarak 500 metre kullanılan grid-file testinde alınmıştır.

Askeri benzetim kapsamında tasarım gereği etmenler yerel ağ üzerine dağıtılmış olarak çalışacaklardır. Etmenlerin dağıtık olması her bilgisayarda çalışacak sorgu sayısının da düşmesi anlamına gelecektir. Yine de yapılan performans testi sonucunda tüm etmenler aynı bilgisayarda bulunsa bile uzamsal sorgulama ve güncelleme işlemlerinin bir saniyenin çok altında kaldığı görülmüştür. Kalan zamanın benzetimde gerçekleşecek diğer işlemler için yeterli olup olmayacağı benzetim projesinin gereksinim ve kullanımına bağlı olarak entegre sistem performans testleriyle değerlendirilmesi gerekir.

6. SONUÇ

HANVA kapsamında hareketli nesneler içeren ve uzamsal sorgulamalara ihtiyaç duyan askeri/sivil benzetim veya diğer tipteki uygulamalarda etkin olarak kullanılabilecek bir bellek içi uzamsal dizin yapısı geliştirilmiştir.

Izgara yapısında hücre boyunu değiştirerek ve kullanılacak olan uygulamanın içereceği tahmini sorgu tipi ve sayısında sorgulamalar yapılarak HANVA kapsamında geliştirilen bellek içi uzamsal dizin yapısından optimum sonuç alınabileceği belirlenmiştir. Optimum sonuçların deneme yapılan bu senaryo için hücre başına düşen varlık sayısının 4-5 olduğu durumlarda gerçekleştiği görülmüştür.

Projenin daha sonraki aşamalarında boyut sayısının üçe ve zaman kalması halinde, uzamsal olmayan bir özellik olan varlık tipinin de dahil edilerek dörde çıkarılması planlanmaktadır. Bahsedilen iki boyutun eklenmesi sırasında diğer dizin yapıları tekrar değerlendirilerek karşılaştırma çalışmasına dahil edilebilmeleri mümkün olacaktır. Bunun haricinde şu aşamada performans testleri sonucu en çok zamanı aldığı belirlenmiş olan daire parçası sorgulamalarına daha hızlı cevap alınabilmesini sağlayacak yeni algoritmalar üstünde çalışılacaktır.

Hem grid-file yapısının ve hem de kd-tree yapısının altyapı olarak ızgara yapısını kullanmalarıyla benzetimin gerçek zaman ihtiyacını karşılayabilecek şekilde performans verdiği gözlenmiştir. Uygulama bağlamında, grid-file yapısıyla kd-tree'ye göre daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

7. TEŞEKKÜR

Makalenin içeriğin oluşturan çalışma sırasında desteklerini esirgemeyen HAVELSAN A.Ş. Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü çalışanlarından Anıl Yiğit FİLİZ'e, Ahmet Birol ÇAVDAR'a ve Şafak TULUMOĞLU'na teşekkür ederiz. Makalenin gözden geçirmesinde katkıları bulunan HAVELSAN A.Ş. Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü çalışanlarından Pınar EVRENSEL ve Mesut GÖZÜTOK'a yapıcı yorumları için teşekkür ederiz.

TÜBİTAK Teknoloji ve Yenilik Programları Daire Başkanlığı'na (TEYDEB) bu makalenin konusu olan HANVA projesini (proje no: 3070760) desteklediği için teşekkür ederiz.

8. KAYNAKÇA

[1] Samet, H., (2006), Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures, Morgan Kaufman.

[2] Procopiuc O., Agarwal P.K., Arge L., Vitter J.S., (2003), "Bkd-Tree: A Dynamic Scalable kd-tree", T.Hadzilacos et al. (Eds.): SSTD 2003, LNCS 2750, sy: 46-65.

[3] Gaede V., Günther O., (1998), "Multidimensional Access Methods", ACM Computing Surveys, Vol. 30, No. 2, sy: 170-231.

[4] Kumar, A., (1994), "G-Tree: A New Data Structure for Organizing Multidimensional Data", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 6, No. 2, sy: 341-347.

[5] Guttman, A., (1984), “R-Trees A Dynamic Index Structure for Spatial Searching”, ACM 0-89791-128-8/84/006/0047, sy: 47-57.
[6] Beckmann N., Kriegel H.P., Schneider R., Seeger B., (1990), “The R*-Tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles”, ACM 089791 365 5/90/0005/0322, sy: 322-331.

EK BİLGİ

Burak İLTER, Serkan ÜNSAL, Mert TAŞ, Tayfun TEKİN
Muharebe Simülasyonları Grup Müdürlüğü, HAVELSAN A.Ş. ARGE Binası,
Teknokent ODTÜ, 06531 ANKARA, TÜRKİYE
bilter@havelsan.com.tr, sunsal@havelsan.com.tr, merttas@havelsan.com.tr,
ttekin@havelsan.com.tr
+90 312 2927458 (Telefon)
+90 312 2927486 (Fax)

AISI 4340 ÇELİĞİNİN FARKLI AÇILARLA ATILAN 7,62 mm AP MERMİSİNE KARŞI BALİSTİK LİMİTİNİN SAYISAL BENZETİMLE BELİRLENMESİ

Gökhan ÖZTÜRK [(a)], Prof. Dr. R. Orhan YILDIRIM [(b)]

[(a)] Arş. Gör., Makine Müh. Böl., ODTÜ - ANKARA, ozgokhan@metu.edu.tr

[(b)] Prof. Dr., Makine Müh. Böl., ODTÜ - ANKARA, orhany@metu.edu.tr

ÖZ

Bu bildiride, AISI 4340 çeliğinden oluşan plakaların, farklı NATO açılarında çarpan 7,62 mm AP (zırh delici) mermilerine karşı balistik limit kalınlıklarının doğrusal olmayan açık yapısal çözümleme hidrokod yazılımı olan AUTODYN kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Merminin çarpma açısı 0^o ile 80^o arasında 10^o'lik aralıklarla değiştirilirken merminin ilk hızı 785 m/s olarak kabul edilmiştir. Bu atış koşulları altında, her bir çarpma açısı için hedef plakaların kalınlıkları 1 mm artım miktarıyla değiştirilerek o çarpma açısında delinen en kalın ve delinmeyen en ince plaka kalınlıkları belirlenmiş ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: 4340, Açılı Çarpma, Balistik, Çelik Zırh

DETERMINATION OF BALLISTIC LIMIT OF AISI 4340 STEEL PLATES UNDER OBLIQUE IMPACT OF 7.62 mm AP PROJECTILES BY NUMERICAL SIMULATONS

ABSTRACT

In this paper, it is aimed to determine the ballistic limit thicknesses of AISI 4340 steel plates under oblique impact of 7.62 mm AP (Armor Piercing) projectiles by using a commercial non-linear explicit hydrocode software package AUTODYN. Projectile velocity is assumed to be 785 m/s just before impact and NATO angle of the projectile is changed from 0^o to 80^o by 10^o increments. For each angle of attack, thicknesses of the target plates are changed by 1 mm increments and as a result, the minimum plate thickness that is perforated and the maximum plate thickness that is not perforated are determined and presented in tabulated and graphical forms.

Keywords: 4340, Ballistic, Oblique Impact, Steel Armor Plate

GİRİŞ

Çelik plakaların zırh delici mermilerle delinmesi, savunma sistemleri içinde kullanım alanının genişliği sebebiyle sıklıkla incelenen konular arasındadır. Ancak bu incelemeler çoğunlukla en kritik çarpma durumu olan dik atışlarla sınırlı kalmaktadır. Bununla birlikte az sayıda da olsa eğik çarpma ve sekme koşullarını deneysel, analitik ve sayısal yöntemler kullanarak inceleyen yayınlar da vardır. Örneğin 1975 yılında yapılan bir yayında, Awerbuch J., Bodner S.R. [1] 5,6 mm kurşun çekirdekli mermilerin saf alüminyum (1100-H14) ve alüminyum alaşımı (6061-T6) plakalara 75^o'ye kadar NATO açılarıyla çarpmasını analitik ve deneysel yöntemler kullanarak incelemiştir. Sonrasında Gupta N.K., Madhu V. (1997) [2], yumuşak çelik, alüminyum ve RHA plakaların 7,8 mm sert çelik çekirdekli mermilerle delinmesini 60^o'ye kadar deneysel yöntemlerle incelemiş, sonrasında da bu veriler ışığında analitik bir model oluşturmuştur. 2002 yılında ise Woong Lee, Heon-Joo Lee, Hyunho Shin [3], tungsten alaşımı kinetik enerjili mühimmatın 6,25 mm kalınlıktaki RHA ve S-7 çeliği plakalara çarpmasını 3^o'den 25^o'ye analitik, deneysel ve sayısal yöntemlerle ele almış; kritik sekme açılarını incelemiş ve hedef plakaların sertliğinin arttırıldığında sekmenin daha düşük açılarda ortaya çıktığını görmüştür. Sonrasında Kamran Daneshjou, Majid Sahravi (2008) [4] bu çalışmaya SPH metoduyla yapılan benzetimleri eklemiş ve SPH metodunun uzun çubukların sekmesini gerçeğe daha yakın açıkladığını görmüştür. Son olarak, yine 2008 yılında Zhou D.W., Stronge W.J. [5], küt ve yarım küre uçlu 12,68 mm sert çelik mermilerin 316L çeliğini 0, 30 ve 45^o ile delmesini 50-150 m/s hızları arasında deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Sonuç olarak ise küt uçlu mermilere karşı katmanlı plakaların, aynı malzeme ve toplam kalınlığa sahip yekpare plakalardan daha yüksek balistik limitlere sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Bu bildiride yapılan çalışmalarda ise, AISI 4340 çeliğinden oluşan farklı kalınlıklardaki plakalara 785 m/s ilk hıza sahip 7,62 mm'lik zırh delici (AP – Armor Piercing) mermiler farklı NATO açılarında atılarak delinen en kalın ve delinmeyen en ince plakalar belirlenmiştir. Yapılan analizlere genel olarak bakacak olursak, 1 mm'lik artım miktarıyla plaka kalınlığı 1 mm'den 13 mm'ye, NATO açısı ise 10^o'lik artımlarla 0^o'den 80^o'ye çıkarılmış ve bu aralıktaki çarpma koşulları incelenmiştir.

1. HEDEF VE MERMİ GEOMETRİLERİ

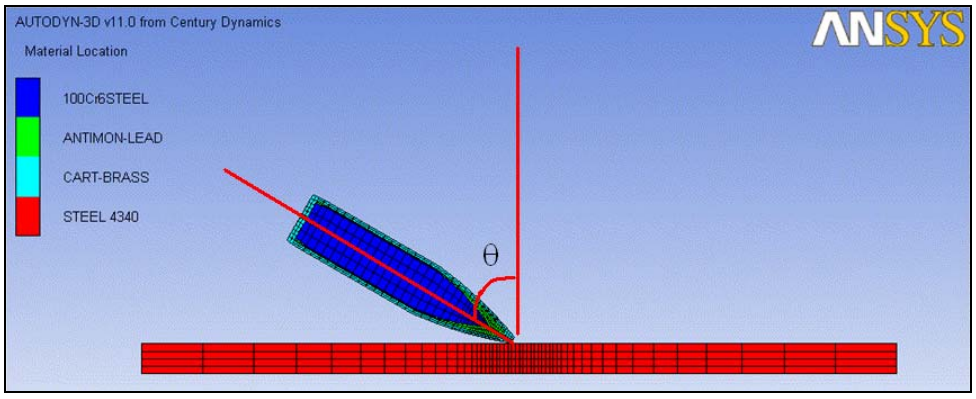
Benzetimler ticari bir hidrokod yazılımı olan Ansys-AUTODYN v.11 kullanılarak, 3 boyutlu yarım simetrik olarak (Şekil 1) hazırlanmış ve koşturulmuştur. Hem mermi hem hedef plakalar Lagrange çözücüsü ile modellenmiştir. Çarpma açısı, hedef plakanın normali ile merminin geliş doğrultusu arasındaki açı olarak tanımlanmıştır (Şekil 1).

Hedef plakalar 100 mm x 100 mm boyutlarında ve çeşitli kalınlıkdadır. Genel olarak plaka kalınlığı boyunca her 1 mm'ye 1 ağ elemanı gelecek şekilde (Şekil 1) modelleme yapılmış, plaka eni ve boyu doğrultusundaki ağ elemanları da merminin çarptığı noktalarda sıklaşacak şekilde (Şekil 2) ayarlanmıştır. Ayrıca plakalar kenarlarından sınır koşullarıyla sabitlenmiştir (Şekil 2).

Daha önce de bahsedildiği üzere mermi olarak 7,62 mm AP seçilmiş, yarım simetrik olarak modellenmiş (Şekil 2 ve 3) ve ilk hız olarak 785 m/s tanımlanmıştır. Mermi özellikleri Şekil 3 ve Çizelge 1'de sunulmuştur [6]. Mermi modeli ve bu modelde kullanılan çekirdek malzemesi olan 100Cr6 için gerekli olan Johnson-Cook malzeme modeli parametreleri daha önce hazırlanmış bir tez çalışmasından alınmıştır [7]. Dolgu malzemesi (kurşun) ve gömlek (pirinç) için gereken malzeme parametreleri ise kullanılan yazılımın malzeme kütüphanesinden alınmıştır.

Hedef plakalar AISI 4340 malzemesi ile modellenmiş, hal denklemi olarak doğrusal hal denklemi, dayanım modeli olarak Johnson-Cook dayanım modeli, kırılma modeli olarak ise yine Johnson-Cook kırılma modeli kullanılmıştır. Modelleme için gerekli malzeme parametreleri, kullanılan hidrokod yazılımının malzeme kütüphanesinden alınmış ve Çizelge 2'de sunulmuştur.

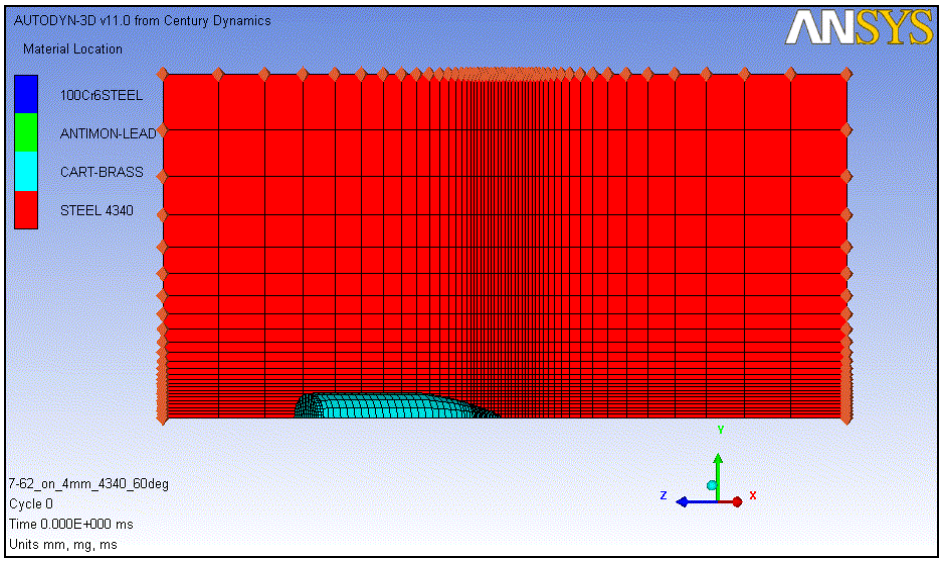
Lagrange çözücüsünün doğası gereği, ağ elemanları fazla deforme olduğunda benzetim çok küçük zaman aralıklarına bölünmekte, ilerleyen safhalarda da durmaktadır. Bu duruma çözüm olarak erozyon algoritmaları kullanılmakta ve çok fazla deforme olan ağ elemanlarının çözüm ağından silinmesi sağlanmaktadır. Bu bildiri için yapılan benzetim çalışmalarında da benzetimin yarıda kesilmemesini sağlamak adına hedef plaka için %150 artımsal geometrik, mermi malzemeleri için de %150 anlık geometrik gerinim ölçütü tanımlanmıştır.



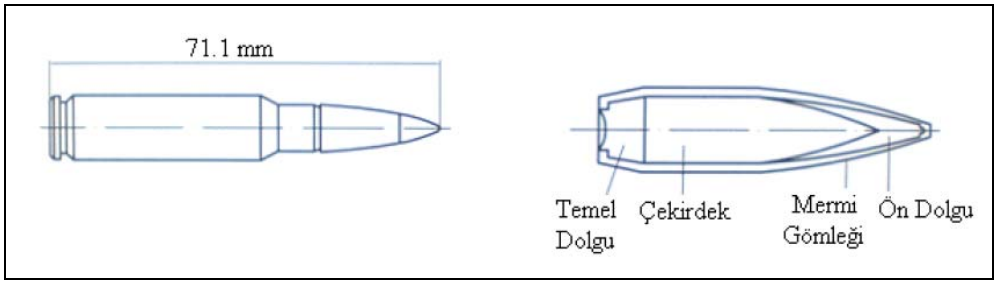
Şekil 1. Kullanılan Açı Tanımlaması

Sonuçlar sunulurken "delinmedi" olarak adlandırılan plakalarda 2 çeşit davranış görülmüştür. İlk çeşit davranış özellikle yüksek çarpma açısı ve düşük plaka kalınlığı birleşimlerinde görülen sekme durumudur. Bu durumda mermi plakanın içerisine dalmakta, açısını değiştirmekte ve çarptığı yönde ancak farklı bir açıyla çıkmaktadır (Şekil 4). İkinci çeşit davranış ise saplanma durumudur. Bu durum çoğunlukla düşük açılı çarpmalarda görülmekte olup çarpma sonlandığında mermi, plaka içerisine gömülüp kalmaktadır (Şekil 5). Bu iki durumda da bazen hedef plaka delinmesine

rağmen, merminin diğer tarafa geçişi engellendiği için plakalar delinmedi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2. Ağ Elemanları ve Sınır Koşulları



Şekil 3. 7,62 mm AP Mermisi

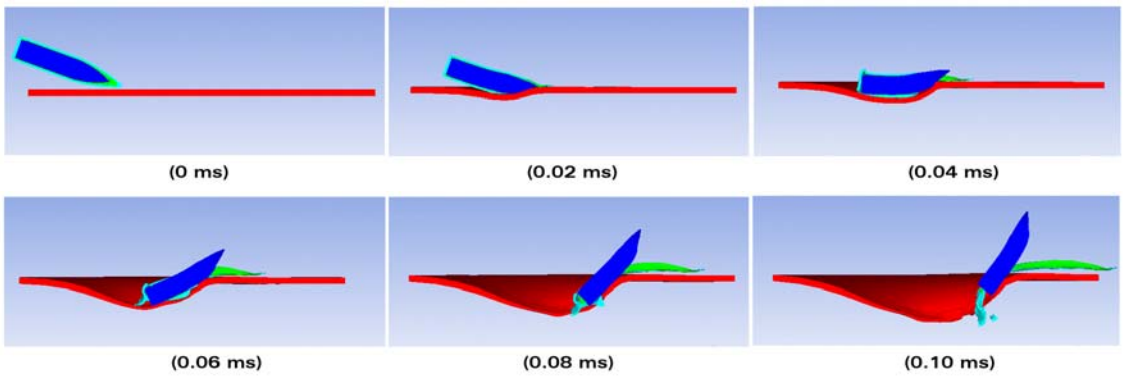
Çizelge 1. Mermi Özellikleri

Fişek Uzunluğu	71,12 ± 0,76 mm
Fişek Ağırlığı	25,47 ± 1,75 g
Gömlek Malzemesi	7,62 x 51 mm Pirinç (CuZn30)
Çekirdek Malzemesi	DIN 100Cr6 (61-62 HRC)
Mermi Ağırlığı	9,75 ± 0,7 g
Mermi Uzunluğu	32,95 mm

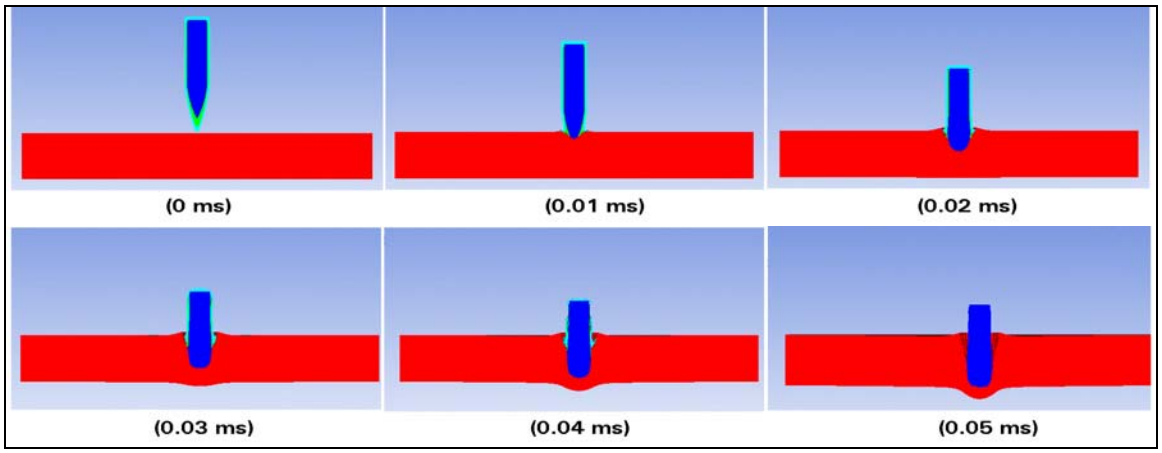
Burun Çeşidi	Konik (yarım koniklik açısı: 17º)

Çizelge 2. AISI 4340 Malzeme Parametreleri

MODEL	PARAMETRE	DEĞER
Johnson-Cook Dayanım Modeli	**σ_0**	792 MPa
	B	510 MPa
	C	0,014
	m	1,03
	n	0,26
Doğrusal Hal Denklemi	**Referans yoğunluğu**	7830 kg/m^3
	Hacim modülü	159 GPa
	Özısı	477 J/kgK
Johnson-Cook Kırılma Modeli	**D1**	0,05
	D2	3,44
	D3	-2.12
	D4	0.002
	D5	0,61



Şekil 4. Sekme Durumu (70^o NATO Açısı, 2 mm Plaka Kalınlığı)



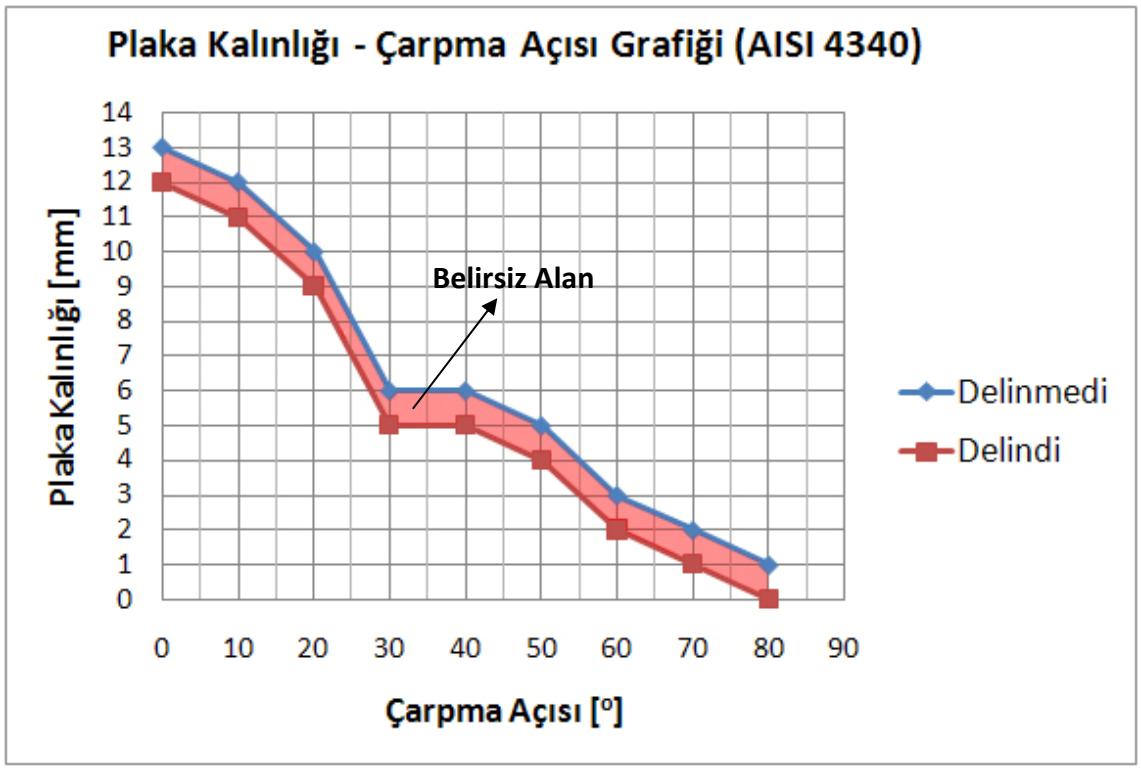
Şekil 5. Saplanma Durumu (13 mm'lik Plakaya Dik Atış)

2. SONUÇLAR

Bildiri için yapılan benzetim çalışmalarında çarpma açısı 0^o'den 80^o'ye 10^o'lik aralıklarla arttırılmış, her çarpma açısı için delinen en kalın ve delinmeyen en ince plakalar 1 mm'lik artım miktarlarıyla belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 3 ve Şekil 6'da sunulmuştur.

Çizelge 3. Benzetim Sonuçları

Çarpma Açısı [^{o}]	Delinmeyen En İnce Plaka [mm]	Delinen En Kalın Plaka [mm]
0	13	12
10	12	11
20	10	9
30	6	5
40	6	5
50	5	4
60	3	2
70	2	1
80	1	-



Şekil 6. Benzetim Sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde, balistik koruma açısından en büyük farkın 20^o ile 30^o NATO açıları arasında görülmektedir. Bu aralıkta çarpma açısındaki 10^o'lik artış, koruma için gerekli plaka kalınlığında 4 mm'lik bir azalma anlamına gelmektedir. Bu da 10 mm olan delinmeyen en ince plaka kalınlığının 6 mm'ye düşmesine, sonuç olarak da toplam zırh ağırlığında %40'lık bir azalmaya karşılık gelmektedir. Bununla birlikte 30^o ile 40^o arasında balistik koruma açısından bir fark görülmemekte, iki durumda da 5 mm kalınlığındaki plakalar delinirken 6 mm kalınlığındakiler delinmemiştir.

KAYNAKÇA

[1] Awerbuch J., Bodner S.R.,(1975),"An investigation of oblique perforation of metallic plates by projectiles",Technion-Israel Institute of Technology

[2] Gupta V., Madhu N. K.,(1997), "An experimental study of normal and oblique impact of hard-core projectile on single and layered plates", International Journal of Impact Engineering, Volume 19, Issues 5-6, pp. 395-414

[3] Heon-Joo L.ee, Hyunho S.,(2002) "Ricochet of a tungsten heavy alloy long-rod projectile from deformable steel plates", J. Phys. D: Appl. Phys. 35 2676

[4] Daneshjou K., Sahravi M.,(2008), "Analysis of critical ricochet angle using two space discretization methods", Engineering with Computers

[5] Zhou D.W., Stronge W.J.,(2008), “Ballistic limit for oblique impact of thin sandwich panels and spaced plates”, International Journal of Impact Engineering Volume 35 pp. 1339–1354

[6] MIL-C-60617A, Military Specification, Cartridge, 7.62 mm: NATO, Armor Piercing, M61, 1991.

[7] Bilici, M. A.,(2007), “An Investigation On The Ballistic Behaviour of Alumina/Aluminium Armor Structures”, Doktora Tezi, ODTÜ, Makine Mühendisliği Bölümü

MONOLİTİK RHA ZIRH PLAKALARININ 7.62 mm ZIRH DELİCİ MERMİ KARŞISINDAKİ DAVRANIŞININ BİLGİSAYAR BENZETİMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Tansel Deniz [(a)], Namık Kılıç [(b)], Orhan Yıldırım [(c)]

[(a)] Y. Lisans Öğr. ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, e139240@metu.edu.tr

[(b)] OTOKAR A.Ş., Ar-Ge Direktörlüğü, BDM Birimi, 54580, Sakarya, nkilic@otokar.com.tr

[(c)] Prof. Dr. ODTÜ, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, orhany@metu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, RHA zırh malzemesi için literatürden elde edilen malzeme modeli kullanılarak gerçek atış yapılmadan bu malzemenin 7.62 mm zırh delici mermi karşısındaki davranışı belirlenmeye çalışılmıştır. LS-Dyna yazılımı kullanılarak açık zaman integrasyonu yöntemi ile zırh-plaka çarpma olayının bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimler ışığında çeşitli hızlarda gelen mermiyi durdurabilecek balistik kalınlıklar belirlenmiş, farklı kalınlıklar için mermi artık hızının (V_R) çarpma hızına (V_0) bağlı olarak değişimi gösterilmiş ve sabit hız alınarak artık hızın plaka kalınlığına bağlı olarak değişimi saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balistik, Darbe, LS-Dyna, Penetrasyon, Zırh

DETERMINATION OF BALLISTIC PERFORMANCE OF MONOLITHIC RHA ARMOUR PLATES AGAINST 7.62 mm AP PROJECTILES BY COMPUTER SIMULATIONS

ABSTRACT

In this study, the aim is to determine the ballistic performance of RHA plates against 7.62 mm AP projectile without carrying out real tests. Material parameters are compiled from the literature and the simulations are done by the commercial hydrocode software LS-Dyna. By the help of these simulations, ballistic thicknesses of armour plates against various projectile velocities are found, the change of residual velocity of projectile (V_R) versus incident projectile velocity (V_0) for various thicknesses of armour plates are determined and the change of residual velocity versus armour thickness for a constant incident velocity is shown.

Keywords: Armour, Ballistic, Impact, LS-Dyna, Penetration

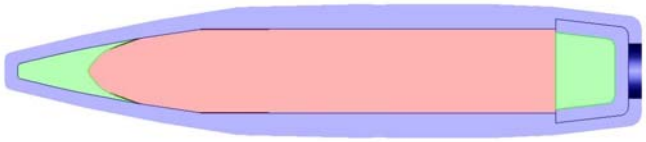
1. GİRİŞ

Asimetrik tehdidin yüksek olduğu savaş alanları göz önüne alındığında, zırhlı araçlar daha üst düzeyde koruma seviyelerine ihtiyaç duyabilir. Hafif zırhlı araçlar söz konusu olduğunda bu araçların koruma seviyesi çeşitli zırh delici mermilere karşı yetersiz kalmaktadır. Bu gibi durumlarda aracın koruma seviyesini arttırmak adına ilave zırh uygulaması geçerli bir yöntemdir [1]. Bu yöntem sayesinde araç üzerindeki zırh uygulamaları esnek, değişebilir ve hatta zamanla tekrar tanımlanabilir kılınır. İlave zırh uygulaması çelik, seramik veya çok katmanlı kompozit zırh uygulamalarından herhangi birisi olabilir.

Bu bildirideki amaç, gerçekte uygulanan atış testlerinin mümkün olan en az mertebede yapılmasını sağlayabilecek bir öngörünün sayısal benzetimler yolu ile kazanılabileceğinin gösterilmesidir. Bu amaçla, üzerinde bir çok kez çalışılmış olan RHA (Rolled Homogeneous Armour) çeliği seçilmiş, literatürden alınan malzeme bilgileri ışığında bu çeliğin 7.62 mm AP mermisi karşısındaki balistik başarımı konusunda öngörülerde bulunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında çeşitli hızlar için zırh delici mermiyi durdurabilecek olan RHA çelik plaka kalınlıkları bulunmuştur. Ayrıca farklı kalınlıklardaki zırh plakaları için mermi artık (çıkış) hızının (V_R) mermi giriş hızına (V_0) göre değişimi gösterilmiştir. Buna ek olarak sabit bir mermi giriş hızı için mermi artık hızının çeşitli plaka kalınlıkları için değişimi saptanmıştır. Sayısal benzetimler ticari bir hidrokod yazılımı olan LS-Dyna yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Benzetimlerde kullanılan zırh delici mermi; çelik çekirdek, ceket malzemesi olarak fişek pirinci ve dolgu malzemesi olarak antimon-kurşun alaşımı malzemelerinden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. 7.62 mm zırh delici mermi konfigürasyonu

2. SAYISAL MODELLEME

2.1. Sayısal Benzetimde Kullanılan Metodoloji

LS-Dyna ile yapılan bilgisayar benzetimlerinde, bir çok benzetim yapılacak olması ve hızlı neticelere ihtiyaç duyulması nedeniyle Şekil 1'de gösterilen zırh delici merminin zırh plakasına çarpma olgusu 2 boyutlu ve eksenel simetrik olarak modellenmiştir.

Sonlu elemanlar metodolojisi olarak 4 farklı alternatif bulunmaktadır:

- Lagrange
- Euler
- ALE
- SPH

Lagrange kodları bir kütle elemanının hareketini takip eder. Bundan dolayı örgü yapısı malzemeyle birlikte yer değiştirir. Daha basit kodlar oldukları için her bir çevirim başına daha az işlem yapılır. Bundan dolayı teorik olarak hesaplamaları daha hızlı ilerler [2]. Ayrıca malzeme arayüzleri, serbest yüzeyler ve daha önceki yüklemeye bağlı malzeme davranışı Lagrange örgü yapısı ile daha rahat takip edilir [3]. Bu yapının sahip olduğu en büyük dezavantaj ise malzemede çok fazla deformasyon olduğunda örgü yapısının çok fazla bozulması ve bundan dolayı hatalı ve verimsiz sonuçlar vermesi veya yazılımın hata vererek durmasıdır. Modelleme yapılması kolay olduğu ve benzetimler esnasında hızlı sonuçlar verdiği için bu metot tercih edilmiştir. Bu metodla ilgili sorunların yaşanmaması için ise ince sayılabilecek bir örgü yapısı kullanılarak modelleme yapılmıştır.

Euler kodlarında ise Lagrange çözücüsünün tersine kontrol hacmi yöntemi kullanılır [5]. Örgü yapısı sabit kalırken malzeme akışından etkilenmez. Euler örgü yapısı ideal olarak çok yüksek deformasyonları ve akışkanları modellemek için kullanılmaktadır. Fakat serbest yüzeyleri, malzeme arayüzlerini ve daha önceki yüklemeye bağlı malzeme davranışını takip etmek daha zordur. Zukas [5] tarafından yapılan bir çalışmada ise Euler metodunun, mermi-zırh delinmesi benzetimlerinde Lagrange metodu kadar rahat kullanılamadığı belirtilmiştir.

ALE çözücüsü ise Lagrange kodunun sahip olduğu dezavantajları indirgemek adına yine aynı kodda fazladan bir işlem basamağı eklenmesiyle oluşturulmuştur [3]. Buna göre, tipik bir Lagrange çeviriminden sonra örgü yapısı bozulmaya başladığı için örgü yapısı yeniden belirlenir (rezoning). Bu metot LS-Dyna kapsamında 2 boyutlu olarak kullanılamadığı [4] için bu çalışmada göz önüne alınmamıştır.

Örgü yapısı gerektirmeyen ve bundan dolayı Lagrange çözücüsüne has avantajlara sahip olup aynı dezavantajları taşımayan SPH metodu [6] ise daha önceki tecrübelerimize dayanarak, öncelikli olarak alümina seramik gibi sert ve kırılgan malzemelerin modellenmesinde kullanıldığı için kullanılan metodolojide yer verilmemiştir.

Modellemede kullanılan eleman formülasyonuna yönelik ise eksenel simetrik yapılar için kullanılabilecek olan iki çeşit formülasyon yer almaktadır. Bunlardan LS-Dyna kullanıcı el kitabında [4] 14 numaralı formülasyonun daha ziyade patlama analizlerinde, 15 numaralı formülasyonun ise diğer yapısal çözümlemelerde kullanıldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada 15 numaralı hacim ağırlıklı eksenel simetrik eleman formülasyonu kullanılmıştır. Bu elemanlar, benzetim sırasında eksenel simetri sınır koşullarını ihlal edebileceği için daha sonra tekrar sınır koşulu tanımlanmıştır.

Bunlara ek olarak benzetimlerin gidişatını değiştirebilen bir etmeni de göz ardı etmemek gerekir. Bu etmen Hourglass enerjisi olarak adlandırılan ve gerçekte böyle bir enerji olmamasına rağmen sayısal benzetimlerde görülen farazi bir enerji çeşididir [4]. LS Dyna ile yapılan analizlerde kabuk elemanı kullanılıyor ise, bu enerjinin ortaya çıkmaması için alınabilecek bir önlem de 16 numaralı tam integrasyonlu kabuk elemanını kullanmaktır. Fakat bu çalışma dahilinde yapılan analizler eksenel simetrik olarak yapıldığı için bu enerjinin ortaya çıkmasını engelleyebilecek diğer bir yöntem olan "*CONTROL_HOURGLASS" seçeneğidir. Bu kontrol kartı kullanılarak sayısal benzetimlerdeki hourglass enerjisi sorunu çözülmüştür.

2.2. Malzeme Modelleri

Benzetimlerde kullanılan malzeme modeli parametreleri literatürden derlenmiştir. Daha önce sözü edildiği gibi zırh delici mermi üç farklı malzemenin kombinasyonundan oluşmaktadır. Çekirdek malzemesi için menşei belli olmamakla beraber Buchar ve arkadaşları [7] tarafından sunulan Johnson-Cook dayanım ve kırılma modeli parametreleri kullanılmıştır. Hal denklemi (EOS) olarak da lineer hal denklemi kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olan antimon-kurşun alaşımı için izotropik elastik kırılma modeli kullanılmıştır. Ceket malzemesi olarak yer alan fişek pirinci için ise lineer hal denklemi ve Johnson-Cook dayanım modeli kullanılmıştır.

Zırh plakası olarak seçilen RHA çeliği için McIntosh [8] tarafından yapılan bir çalışmadaki sayısal benzetimlerde kullanılan plastik kinematik modelinden yararlanılmıştır.

2.3. Örgü Yapısı

Zırh delici mermi için 2 boyutlu eksenel simetrik örgü yapısı oluşturulmuş ve 2194 eleman kullanılarak Şekil 2'de gösterilen model oluşturulmuştur.



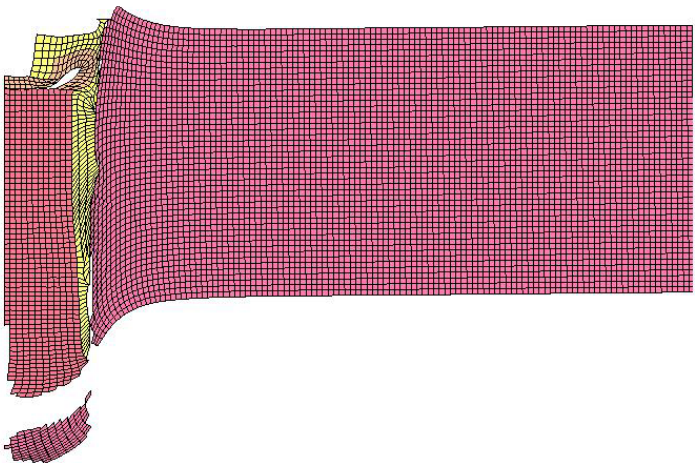
Şekil 2. 7.62 mm zırh delici mermi için oluşturulan örgü yapısı

Hedef plakaları için yarıçap olarak 80 mm seçilmiş olup bu değerin plaka için sınır koşullarının etkisinin görülmeyeceği bir değer olduğu varsayılmaktadır. Mermi modeline uyumlu olması açısından her bir kalınlıktaki plakanın modellenmesi sırasında eleman boyunun 0.25 mm'ye yakın bir değer olmasına çalışılmıştır.

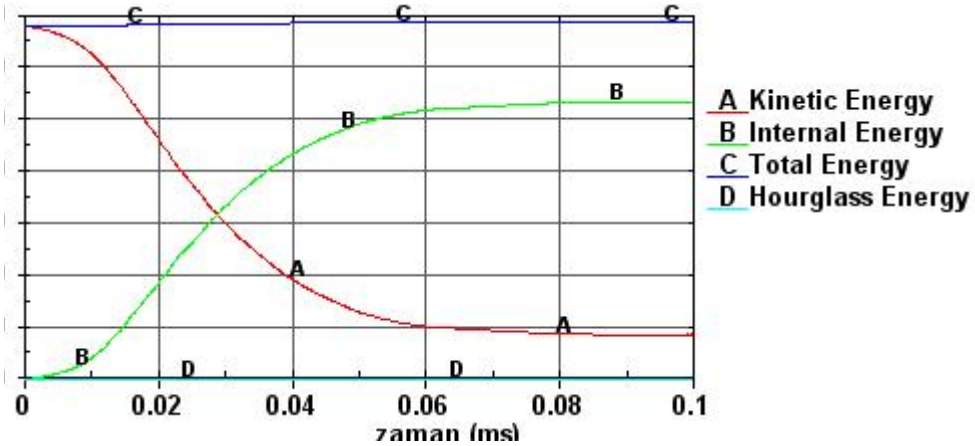
3. SAYISAL BENZETİM SONUÇLARI

Bölüm 2'de belirtilen bilgiler ışığında sayısal benzetimler koşturulmuştur. Bunlara örnek olarak Şekil 3'te 860 m/s hızla gelen merminin 12 mm'lik plakaya çarpma benzetiminin sonuç görüntüsü verilmiştir. Benzetim sonunda merminin plakayı deldiği fakat artık hızı kalmadığı için saplanıp kaldığı gözlemlenmiştir. Bu benzetim için elde edilen enerji bilançosu (Şekil 4) incelendiğinde delme işleminde ilk 0.06 ms boyunca merminin kinetik enerjisinin yaklaşık %85'i harcanarak şekilde görüldüğü gibi plastik işe dönüştüğü görülmüştür. Yine aynı şekilde benzetimde hourglass enerjisi probleminin görülmediği anlaşılmıştır. Şekil 5'te ise yine aynı benzetim boyunca mermi çekirdeğinin hız değişimi verilmiştir. Bu şekilden de anlaşıldığı gibi delme işlemi ilk 0.06 ms içerisinde gerçekleşmiştir.

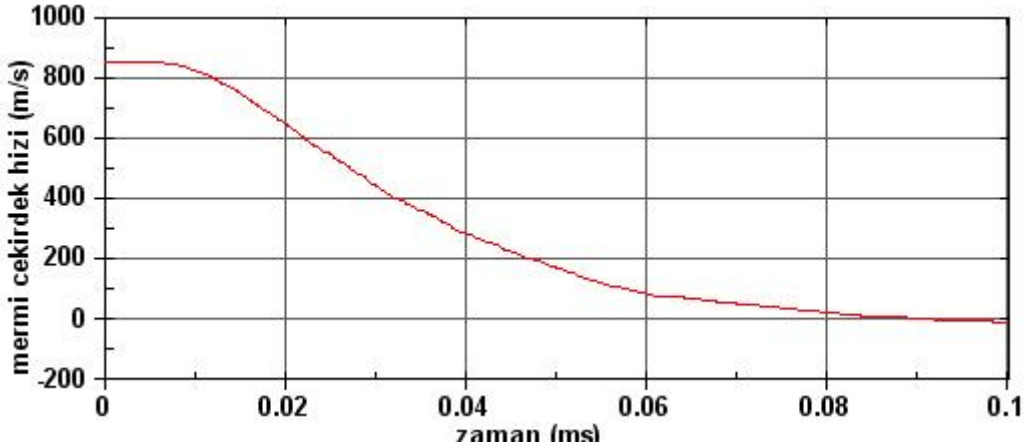
Yapılan sayısal benzetimler sonucunda çeşitli hızlarda gelen zırh delici mermiyi durdurabilecek olan balistik kalınlıklar Şekil 6'da verilmiştir. 850 m/s hızda gelen bir zırh delici merminin çarptığı plakalar için mermi artık hızının plaka kalınlığına bağlı olarak değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir. Bunlara ek olarak, çeşitli plaka kalınlıkları baz alınarak mermi artık hızının mermi giriş hızına göre değişimi Şekil 8'te gösterilmiştir.



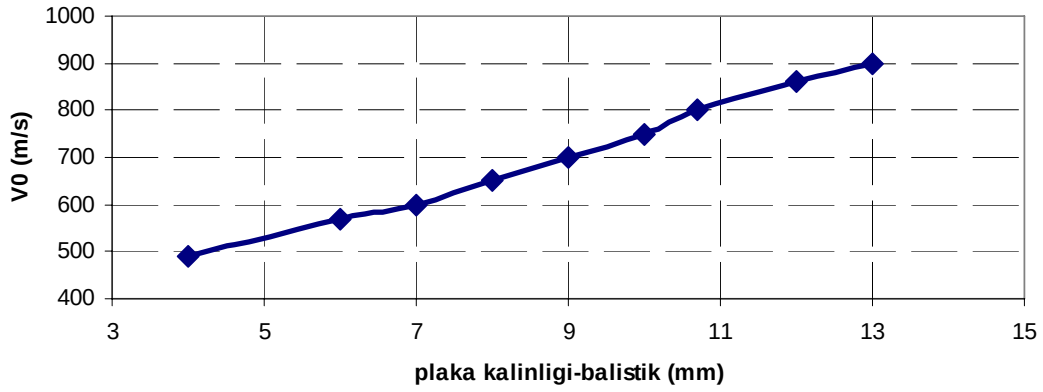
Şekil 3. t_{plaka} = 12 mm, V_0 = 860 m/s; benzetim sonu görüntüsü (plakanın ortasına yaklaşılmıştır)



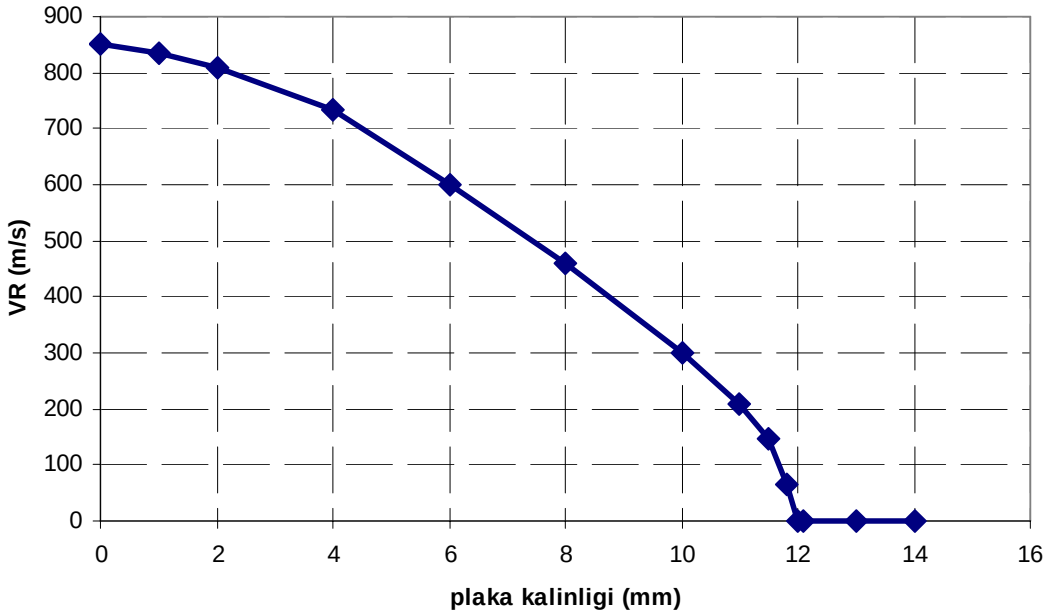
Şekil 4. t_{plaka} = 12 mm, V_0 = 860 m/s benzetim enerji bilançosu



Şekil 5. t_{plaka} = 12 mm, V_0 = 860 m/s benzetiminde mermi çekirdek hızının değişimi



Şekil 6. Çeşitli mermi giriş hızları için balistik plaka kalınları

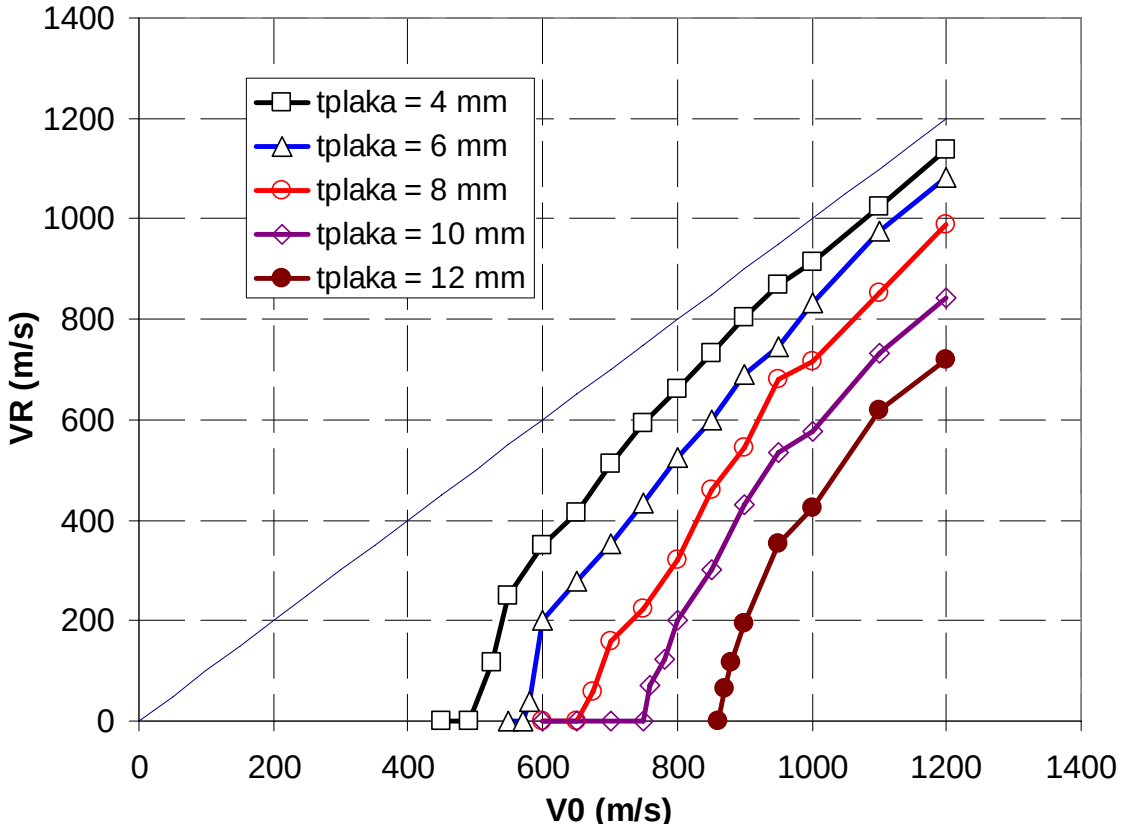


Şekil 7. Mermi artık hızının plaka kalınlığına göre değişimi (V0 = 850 m/s için)

4. DEĞERLENDİRME

Benzetimler sonucunda 500 m/s ile 900 m/s mermi geliş hızı aralığı için bulunan balistik plaka kalınlığının doğrusal bir şekilde arttığı gözlenmiştir (Şekil 6). Ayrıca 850 m/s hızla gelen bir mermi karşısında mermi artık hızının plaka kalınlığına bağlı olarak değişiminde (Şekil 7) ise balistik kalınlığa yaklaşılırken artık hızın giderek artan bir eğimle düştüğü, 4 ve 10 mm arası orta dereceli kalınlıklar için doğrusal bir şekilde devam ettiği ve düşük plaka kalınlıklarında ise V_0'a yakınsadığı gözlemlenmiştir. Bu şekil için, mermi hızının arttırıldığında bu şeklin yukarı doğru kayması, azaltıldığında ise aşağı doğru kayması beklenebilir. Son olarak; Şekil 8'te ifade edilen 4 ile 12 mm arasındaki plaka kalınlıkları için mermi artık hızının mermi giriş hızına göre değişimi ise beklenildiği gibi yüksek hızlar için 45 derecelik eğim çizgisine yakınsar biçimde çıktığı, belirtilen kalınlık için balistik hıza yaklaşıldığında ise giderek artan bir eğimle düştüğü gözlemlenmiştir. Bu şekil için plaka kalınlığının giderek düşürülmesi söz

konusu olduğunda elde edilen şeklin giderek 45 derecelik eğim çizgisine yakınsayacağı öngörülebilir.



Şekil 8. 4, 6, 8, 10 ve 12 mm kalınlıktaki RHA plakaları için mermi artık hızının mermi giriş hızına göre değişimi

5. SONUÇ

Bu çalışma ile balistik zırh tasarımında kullanılacak olan plaka kalınlıklarının bilgisayar benzetimleri yolu ile öngörülebilirliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Zırh plakaları için basit bir malzeme modeli kullanıldığı halde benzetimlerde tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Kullanılan malzeme modelleri daha detaylı testlere dayandırıldığında sonuçların gerçeğe daha yakın olacağı aşikardır.

Değişen mermi hızları (V_0) için elde edilen balistik plaka kalınlıkları incelendiğinde mermi hızının artması ile mermiyi durdurabilecek balistik kalınlıkların doğruya yakın bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Sabit bir mermi hızı için plaka kalınlığının artık hıza (V_R) etkisi incelendiğinde ise düşük plaka kalınlıkları için mermi artık hızının mermi giriş hızına yakınsadığı, balistik kalınlığa doğru gidildikçe orta dereceli kalınlıklar için mermi artık hızının doğrusal bir şekilde değiştiği ve balistik kalınlığa yakın noktalarda giderek artan bir eğimle mermi artık hızının sıfıra düştüğü görülmüştür. Çeşitli plaka kalınlıkları için mermi giriş hızındaki değişimin mermi artık hızı üzerine etkisi incelendiğinde ise yüksek hızlar söz konusu olduğunda mermi artık hızının 45 derecelik eğim çizgisine yaklaştığı, mermi giriş hızı düşürülerek balistik hıza yaklaşıldığında ise mermi artık hızının giderek artan bir eğimle düştüğü gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Sanchez Galvez V., Sanchez Paradela L., "Analysis of failure of add-on armour for vehicle protection against ballistic impact", Eng Fail Anal (2008), doi: 10.1016/j.engfailanal.2008.09.007

[2] Zukas J.A., Nicholas T., Swift H.F., Greszczuk L.B., Curan D.R.; "Impact Dynamics", J. Wiley, New York, 1982

[3] Century Dynamics Inc., "Autodyn Theory Manual", Revision 4.3, 2005

[4] J. Hallquist, (2007),"Ls-Dyna Keyword User's Manual Version 971", Ls-Dyna Manual, LSTC, Livermore, CA, USA

[5] Zukas J.A., Scheffler D.R.; "Impact effects in multilayered plates", International Journal of Solids and Structures, 38, (2001), pp. 3321-3328

[6] Century Dynamics Inc., "SPH User Manual & Tutorial", Revision 4.3, 2005

[7] Buchar J., Voldrich J., Rolc S., Lisy J.; "Ballistics performance of the dual hardness armour", 20th International Symposium on Ballistics, Orlando, FL, 23-27 September 2002

[8] McIntosh G.W.J.; " Finite element analysis of the effect of flyer plate impacts on rod projectiles and shaped charges", Defence R&D Canada – Valcartier, Technical Memorandum, DRDC Valcartier TM 2003-373, March 2004

EK BİLGİ

Tansel Deniz; Yüzüncü Yıl İşçi Blokları Mahallesi 420. Sok. No: 245/2 Çankaya/ANKARA 06530; e139240@metu.edu.tr, tanseldeniz@gmail.com; 905552214209

Ayrı bir sayfada bildiri ile ilgili iletişim bilgilerinin (ad, soyad, adres, eposta, telefon, fax) sunulması gerekmektedir.

FUZZY LOGIC BASED APPROACH TO DESIGN OF GCS SIMULATOR FOR AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES

Omer Cetin[1], M.Çetin Kaplan[2], Abdullah Aydın[3]

1 Turkish Air Force Academy, ASTIN, o.cetin@hho.edu.tr, Yesilyurt, Istanbul, 34807 Turkey

2 Turkish Air Force Academy, kaplan4312@hho.edu.tr, Yesilyurt, Istanbul, 34807 Turkey

3 Turkish Air Force Academy, aydin4313@hho.edu.tr, Yesilyurt, Istanbul, 34807 Turkey

Abstract: This paper proposes a simulator for UAVs (unmanned aerial vehicles) which has fuzzy logic based autonomous navigation controller. Three fuzzy logic modules are developed under the main navigation system for the control of the altitude, the speed, and the heading, through which the global position (latitude-longitude) of the air vehicle is controlled. Simulator is a kind of platform independent design in this work. While designing UAV simulator, 6 degree-of-freedom nonlinear generic manned/unmanned aerial vehicle model and Aerosim Aeronautical Simulation Block Set with MATLAB's standard configuration. The Aerosonde UAV model is used in the simulations as a simple platform in order to demonstrate the performance and the potential of the simulator. Additionally, FlightGear open source flight simulator, Borland Delphi programming tools, Google Earth and Google Maps are deployed in order to get visual outputs of simulator components like mission planning, payload model and user interfaces. Despite the simple design procedure, the simulated test flights indicate the capability of the approach in achieving the desired performance.

Keywords: UAV Simulator, Fuzzy Logic Based Autonomous Flight, GCS simulation

BULANIK MANTIK TABANLI YAKLAŞIM İLE OTONOM İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN YER KONTROL SİSTEMİ SİMÜLATOR DİZAYNI

Omer Cetin[1], M.Çetin Kaplan[2], Abdullah Aydın[3]

1 Hava Harp Okulu, HUTEN, o.cetin@hho.edu.tr, Yesilyurt, İstanbul, 34807 Turkey

2 Hava Harp Okulu, kaplan4312@hho.edu.tr, Yesilyurt, Istanbul, 34807 Turkey

3 Hava Harp Okulu, aydin4313@hho.edu.tr, Yesilyurt, Istanbul, 34807 Turkey

Önsöz: Bu çalışma kapsamında bulanık mantık tabanlı seyrüsefer sistemlerine sahip bir insansız hava haracı yer kontrol istasyonu simülatörü geliştirilmiştir. Seyrüsefer sistemi İHA'nın irtifa, yön ve hızını kontrol altında tutarak küresel konumunu denetlemek üzere geliştirilmiş üç temel bulanık mantık denetleyicisinden faydalanmaktadır. Geliştirilen simülatör kısmen platformdan bağımsız bir mimaridedir. İHA simülatörünün geliştirilmesinde 6ncı dereceden serbesiyet sağlayan doğrusal olmayan denklemler ile insanlı / insansız hava araçlarının modellenmesinde kullanılan Aerosim Aeronautical blok setlerinden standart Matlab ortamında faydalanılmıştır. Simülatörün başarısını ve performansını göstermek için örnek platform olarak Aerosonde İnsansız Hava Aracı seçilmiştir. İlave olarak simülatörün geliştirilmesi sırasında görev planlanması gibi görsel ara yüzlerin geliştirilmesinde açık kaynak kodlu FlightGear uçuş simülasyon yazılımı, Borland Delphi programlama ortamı araçları, Google Earth ve Maps'den faydalanılmıştır. Basit geliştirme yapısına rağmen icra edilen testler neticesinde istenilen başarı seviyesine erişilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA Simülatörü, Bulanık Mantık Tabanlı Otonom Uçuş Sistemi, YKİ simülasyonu

1.Giriş

İHA sistemleri pilotsuz uçaklardır, uzaktan kontrol edilebilirler ve otonom tabanlı uçuş planına veya daha karmaşık değişken otonom sistemlere göre uçabilirler. İHA sistemleri keşif, yangın söndürme, doğal afetler gibi birçok askeri ve sivil uygulamalarda kullanılmaktadırlar. İHA platformları boyutları, şekilleri, konfigürasyonları, karakteristikleri ve amaçlarına bağlı olarak sınıflandırılırlar. İHA sistemleri son beş yılda çok büyük ilgi görmüştür. İHA'lar karmaşık algılayıcı sistemlere sahip gerçek uçak boyutlarına ulaşanlardan, mikro boyutta olanlara kadar çok geniş bir yelpazeye yayılmışlardır. Düşük maliyetli hafif İHA sistemlerinin harekât da kullanımı, keşif sistemlerinde ilave esneklik sağlayan, bulunduğu yerin çeşitli

bilgisini sağlayabilen ve eşzamanlı harekât temposuna uyum sağlayarak yardım eden yeni bir konsepttir.

İHA operatörleri İHA sistemleri kadar önemlidir. İHA'lar otonom uçar ancak özellikle görev planlamasında, karar desteğinde ve acil işlemlerde sık sık operatörün desteğine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla İHA operatörlerinin özel çalışma metodları vardır. Bu çalışmalar çok pahalı ve kritik eğitimlerdir. İHA görevi zorlaştığında, normal olarak İHA yapıları da daha karmaşık ve pahalı teknolojilere dönüşür ve İHA'nın yönetimi daha zor bir iş olur. Bu karmaşık ve pahalı yapıyı idare etmek çok iyi bir eğitimi gerektirir. Görevi başarıyla tamamlamak için, operatör desteği çok önemli bir iştir. Özellikle beklenmedik acil durumlarda, operatörün görevi çok kritiktir ve hızla karar vermelidir. Operatörler her durum için hazır olmalı ve olası her durum ve şarta daha önceden çalışmış olmalıdır. Simülatörler geleneksel insanlı uçak sistemlerindeki gibi; İHA operatörlerinin yukarıda bahsedilen egzersizleri yapmaları için tasarlanmıştır. Operatörler, simülatörler yardımıyla gerçek durumlara yönelik çalışmları, gerçekte karşılaşmadan önce hazır olabilmek için, farklı senaryolar kapsamında deneyebilirler.

İHA sistemleri gibi simülatör sistemleri de karmaşık ve pahalı sistemlerdir. Simülatörün başarısı, sistemin gerçekliğe yakınlığıyla ölçülür. [1] Simulatör sistemi İHA'yı olabildiğince benzetmeyi amaçlar. Gerçeklik ölçüsü, simülatör sisteminin kalitesini belirler. İHAlar karmaşık yapılar olduğundan, modelleme de karmaşık bir görevdir. [2] Bu yüzden karmaşık sistemi simule etmek için farklı yaklaşımlar vardır. [3] Bunlardan biri sistemin bütünlüğünü bozmadan karmaşık parçaları basit bileşenlere ayırıp bunları tek tek ele almaktır. Bu ayırma süreci, simülasyon için zor bir görevdir. Ayırma sürecinden önce sistem iyi tanımlanmalıdır. Her bileşeni ayırdıktan ve modelledikten sonra, bu bileşenler arasında veri transfer tanımlamaları, veri bütünlüğü, senkronizasyon gibi bazı güçlükler olacaktır.

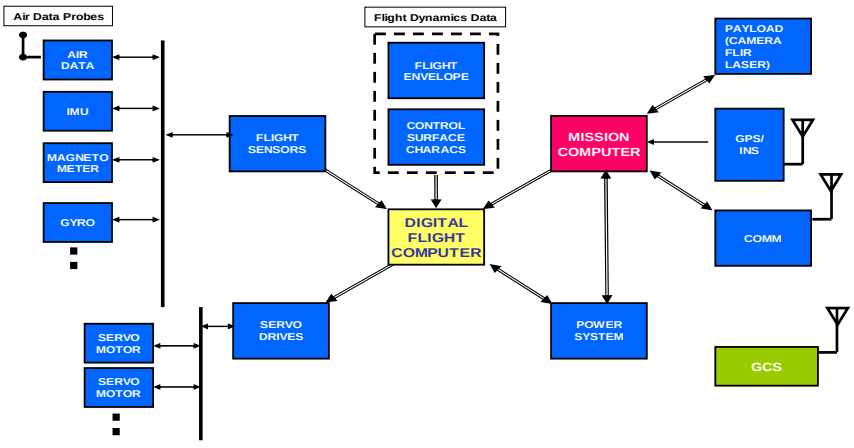
Simülasyon sistemleri çoğunlukla sisteme özgü çözümlerdir. Dolayısıyla, bir simülatör bir sistem simülatörü olarak geliştirildiğinde simülasyon tekniği ve özel sistem mimarisinden dolayı, diğer sistemler için genel olarak kullanılmaz. Ancak küçük değişiklikler ile değişik çeşitli sistemleri benzetebilir bir mimaride geliştirilebilirler. Fakat bu sistemlerinde aynı türden özelliklere sahip çok benzer sistemler olmaları gerekir. Veya tümüyle olmasa da, simülatör içerisinde bulunan bir takım bileşenler farklı sistemlerin simülasyonları için kullanılabilir. Karmaşık ve büyük simülatörler pahalı çözümlerdir ve onları sistem özel çözümler olarak tasarlamak maliyetlerini artırır. Ancak görülmektedir ki simülatör bir sistem için özel bir çözüm olarak tasarlandığında, modelleme kesinlikle daha gerçekçi ve daha kaliteli olmaktadır.

Çeşitli İHA'lar için geliştirilen İHA simülatörleri sadece operatör eğitimleri için değil aynı zamanda yeni geliştirilen İHA bileşenlerinin sınanması amacıyla da kullanılır. Her bilimsel çalışma İHA üzerinde kullanmadan önce test edilmelidir. Etkili test görevlerinden birisi simülatör kullanmaktır. Bu yöntem etkili, ucuz ve güvenlidir. Operatör eğitimi için tasarlanan veya test platformu olarak geliştirilen simülatörler, gerçek İHA'nın yerine etkili ve güvenli sınama ortamlarıdır.

Bu çalışmada öncelikle İHA'nın matematik modeli tasarlanacaktır. İHA'nın matematik modeli tasarlanırken, modelin bileşenlerine ayrımı ve her bir bileşen için metotların teker teker geliştirilmesi gerçekleştirilecektir. İHA modeli bu şekilde daha az karmaşık ve daha anlaşılabilir kılınacaktır. İHA'nın modellemesi ile İHA'nın tepkilerini, duruşlarını ve hareketlerini gerçek dünya şartlarına benzer biçimde simülasyon ortamında anlayabileceğiz. Dolayısıyla dünya ve atmosfer koşullarını da İHA matematik modeliyle beraber modellememiz gerekecektir. Daha sonra, uçuş zarfı ve uçuş kontrol yüzeyleri karakteristikleri içeren uçuş bilgisayarı mimarisini tasarlayacağız. Ve tüm bu modelleri birer platform bağımsız model olarak tasarlayacağız. Dolayısıyla bu simülatörü benzer türden farklı İHA sistemleri için ufak uyarlamalar ile kullanabileceğiz. Uçuş bilgisayarı tasarımı tamamlandıktan sonra görev bilgisayarını modelleyeceğiz. Görev bilgisayarını bulanık mantık denetleyicilerinden faydalanarak tasarlayacağız. Bu çalışmada İHA'nın görevlerini genelde keşif görevleri olarak görmekteyiz. Dolayısıyla faydalı yükümüz de bir kamera sistemi olacaktır. Ve bu kamera sistemi de bu çalışma kapsamında modellenecektir. Modelleri tamamladıktan sonra kullanıcılar ile simülasyonun iletişimi ve İHA modelinin değişik konumlardaki durum bilgilerini aktarmak için grafiksel kullanıcı arayüzleri geliştireceğiz. Bu kapsamda, İHA yer kontrol istasyonu mimarisinde bulunan hemen hemen tüm bileşenleri geliştireceğiz.

Bu çalışma kapsamında geliştireceğimiz İHA simülatörünü İHA operatörlerini eğitmek ve deneysel geliştirme görevlerini test etmek için kullanabileceğiz. Simülatörün geliştirilmesinin ve İHA bileşenlerinin modellenmesi esnasında Matlab Simulink, Borland Delphi, Aerosim Block Library, Flight Gear açık kaynak simülatörü, Google Earth ve Google Maps uygulamalarından faydalanacağız.

2.Geleneksel İHA Kontrol Mimarisi



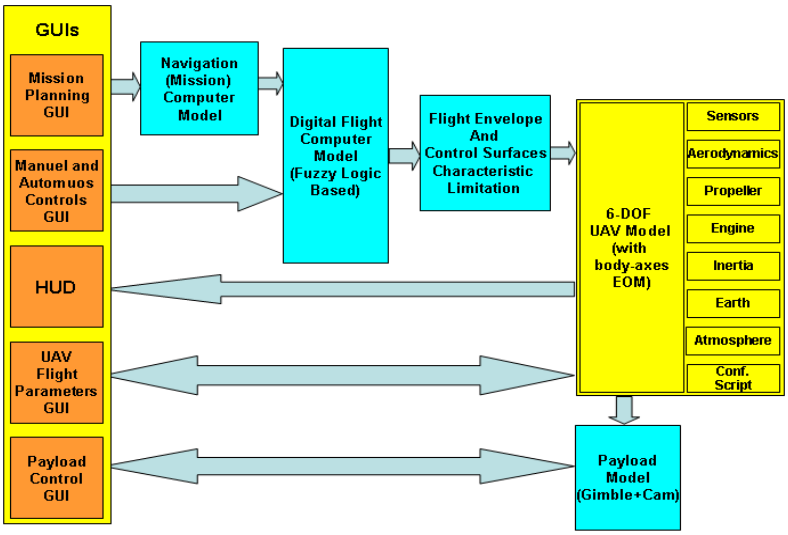
ŞEKİL 1. Geleneksel İHA Kontrol Mimarisi

İHA simülatör tasarımına değinmeden önce, geleneksel İHA sistemi kontrol mimarisini incelemeliyiz. Bir İHA sisteminin amacı içinde bulunduğu uçuş ortamını tanımlayan uçuş algılayıcılarının verilerini kullanarak kararlı uçuş durumunu devam ettirdiği sürece görevini

başarıyla sonuçlandırmaya çalışmaktır. Dolayısıyla, birkaç çeşit donanım, yazılım ve alt yapı sistemi mevcuttur. Bu mimari İHA sistemlerinin tiplerine göre değişiklikler gösterse de en genel biçimiyle şekil-1'de görüldüğü biçimdedir. Bu mimari bileşenleri makale kapsamında geliştirilen simülatörün kısımlarının incelenmesi sırasında ayrıntılı olarak ele alacağız. Simülatör sitemimizde de bu genel mimariyi baz alacağız. Simülatör bileşenleri bu mimarinin bileşenlerini modelleyeceklerdir.

3. İHA Simülatörünün Bileşenleri ve Uygulanması

Simülatörün her temel bileşeni İHA matematiksel uçuş modeli gibi bir takım alt bileşenlere de sahip olabilir. Bileşenler arasında veri aktarım değişkenleri bulunmaktadır. Bu aktarım parametreleri çoğunlukla genel ve tüm modüllerce erişilebilen değişkenlerdir ve çok yönlü veri transferinde çalışırlar. Simülatörün her bileşeninin girdileri, çıktıları ve hedefleri vardır. Simülatörün bu bileşenlerini Şekil 2'de görebiliriz. Şimdi bu bileşenlerin bu çalışma kapsamında nasıl geliştirildiğine dair detaylı bilgilere geçebiliriz:



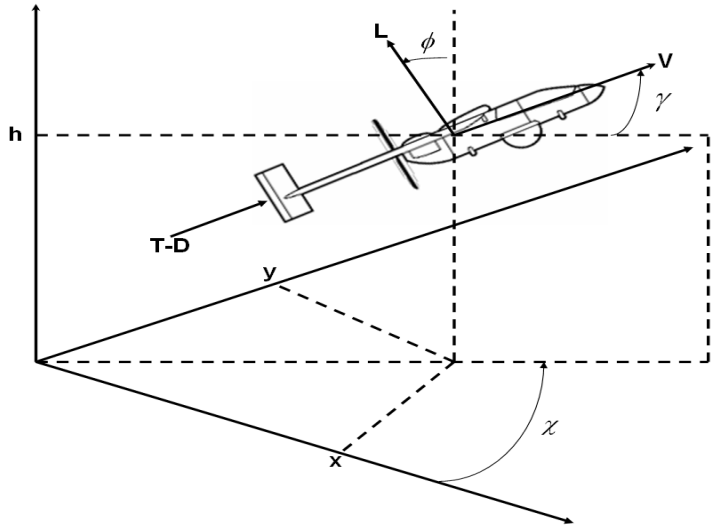
ŞEKİL 2. İHA Simülatörünün Temel Bileşenleri

3.1. Platformdan Bağımsız İHA Matematiksel Modellemesi

Bu çalışma kapsamında ortaya konulan simulator uygulamasında Aerosim blok kütüphanesinde yer alan 6'ıncı dereceden serbesiyet denklemlerine dayalı hava aracı modelinden (6DOF) faydalanılmıştır. 6DOF uçak modeli, bir uçağın hareketlerini ve uçuş karekteristiklerini modellemek için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. [1] Sabit kanatlı uçak modellemesi olarak kullanılan 6DOF modeli ile yalpa (yaw), tırmanma (pitch) ve dönme (roll) eksenlerinde oluşan tüm hareketleri uçağın ağırlık merkezinde oluşturulan üç yönlü eksende tanımlayabiliriz. Üç eksen üzerinde oluşan toplam altı hareket olduğundan dolayı bu model altı boyutlu olacaktır. Aslında bu model üzerinde tanımlanan on iki değişken vardır. Bunların altısı durum değşikenlerini, diğer altısı ise bu durumlardaki değişimlerin oranlarını göstermektedir.

İHA platformunun modellenmesinde bir çerçeve tanımlamamız gerekmektedir. Bu amaçla platformun içerisinde bulunduğu ve hareket ettiği üç boyutlu uzay tanımlamasına değinmemiz

gerekmektedir. Bu temel kooordinat ekseni adını verdiğimiz çerçeveyi şekil 3'de görebilirsiniz. Platform üzerinde tanımlanan fiziksel ve momentsel noktaların yerleri özel bir yaklaşım ile oluşturulmuş olan farklı bir eksen sistemi ile belirlenmektedir. Bu noktaların yerlerini, diğer aerodinamik değerleri ve sabitleri belirlemek için system kapsamında bir tanımlama dökümanından faydalanmaktayız. Böylelikle geliştirilen bu modelin faklı İHA platformları için kısmen uyarlanabilir olmasını sağlamış oluyoruz. Dolayısıyla matematiksel modelimiz platformdan bağımsız bir hale gelmiş oluyor. Fakat her ne kadar platformdan bağımsız bir model geliştirdiğimizi söylesek de modellenen İHA platformlarının aynı sınıftan ve pervaneli tipte olmaları gibi yapısal ortak özellikleri de olmalıdır.



ŞEKİL 3. İHA yapısının matematik modellemesi

Şekil 3'de de görüldüğü üzere "x","y" ve "z" IHA platformu yapısı üzerinde tanımlı olan İHA'nın hareket eksenleridir. Dünya eksen yapısında ise "X" ve "Y" eksenleri kullanılır. Açısal hareketleri tanımlarken bu iki sistem arasındaki farklılıklardan yararlanılmaktadır. Bu yapıda "h" platformun irtifasını, "x" ve "y" yer pozisyonunu (GPS koordinat sisteminde olduğu gibi enlem ve boylam cinsinden) temsil eder. "T" itki kuvveti vektörünü, "D" ise sürükleme kuvveti vektörünü gösterir. "V" platformun hızını, "L" kaldırma vektörünü gösterir. "λ","γ" ve "ø" ise platformun açısal pozisyonunu sırasıyla baş, yatış ve yunuslama olarak göstermektedir.

İHA platformu bir uçak olduğu için uçarken kararlı ve dengede bir pozisyondadır. Eğer dönmek veya tırmanmak istiyorsa, bu kararlı pozisyonunu dönmek veya tırmanmak istediği yöne doğru bozar. Bu bozulmaları kullanarak platformun hareketlerini kontrol ederiz.

İHA platformunun hareketleri doğrusal olmadığı için İHA'nın hareketlerini nokta-kütle (point-mass) modeli ile tanımlayabiliriz. Nokta-kütle modeli geleneksel hava araçları için geliştirilmiştir. Altı eşitliğe dayanır(1):

$$\dot{x} = V.cos\gamma.cos\chi$$

$$\dot{y} = cos\gamma.Stn\chi$$

$$\dot{h} = V.sin\gamma$$

$$\dot{\gamma} = \frac{g}{V}(n.cos\phi - cos\gamma) \qquad (1)$$

$$\dot{\chi} = \frac{g}{V}.\frac{n.sin\phi}{cos\gamma}$$

$$\dot{V} = \frac{T-D}{m} - g.sin\gamma$$

Bu denklem sisteminde "m" platformun toplam kütlesini, denklem (2) de ise "V" platformun hızını ifade eder.

$$V = \sqrt{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2)} \qquad (2)$$

Platformun modellenmesinde modeli alt bileşenlerine ayırırız. Bu alt bileşenleri sensor, aerodinamik, pervane, motor, durağanlık ve pozisyon modelleri olarak adlandırabiliriz. Böylece modelin anlaşılması açısından karmaşıklığı azaltılmış oluruz. Bu alt bileşenleri şekil 2'de görebiliriz. Kısaca sensör modeli; nemlilik, sıcaklık ve rüzgâr sensörleri, altimetre, hava hızı göstergesi ve cayro modellerinden oluşur ve her durum için bu sensorların ürettiği verileri hesaplar. Aerodinamik model kaldırma çarpanını, sürükleme çarpanını, yan kuvvet çarpanını, yunuslama momenti çarpanını, yatış momenti çarpanını ve sapma momenti çarpanını, referans noktasını, aerodinamik parametre bağlarını ve aerodinamik referans parametrelerini kullanarak platformun her durumu için bu bilgileri yeniden hesaplar. Pervane modeli; pervane başlığı pozisyonu, ilerleme oranı, itki çarpanı, güç çarpanı, pervane yarıçapı, pervane durgunluğu ve bunların bilgi ve hesaplamalarını içerir. Motor modeli, motor RPM'ini, manifold basıncını, yakıt akışını, motor gücünü, motor şaftı durgunluğunu deniz seviyesinde ve her irtifa değişimde yeniden hesaplar. Uçak kütlesi, ağırlık merkezi noktası ve durgunluk momenti platformun her pozisyon değişimde ve değişen kütlesinde İHA'nın durgunluk modelince hesaplanır. Son bileşen olan dünya alt modeli de platformun pozisyonunu, dünya manyetik modelinden, tarih ve başlangıç noktası parametrelerinden faydalanarak her durum için hesaplar.

Temel olarak İHA matematiksel modeli yukarıda tanımlanmıştır. 6 DOF İHA modeli ve alt bileşenleri ile ilgili daha detaylı bilgiye kaynak [2, 3, 5, 19]'da bulabilirsinininiz. Bu çalışma kapsamında geliştirilen matematiksel İHA platformu modeli örnek platform olarak seçilen Aerosonde İHA platformunun özelliklerine uygun olarak düzenlenmiştir. [25]

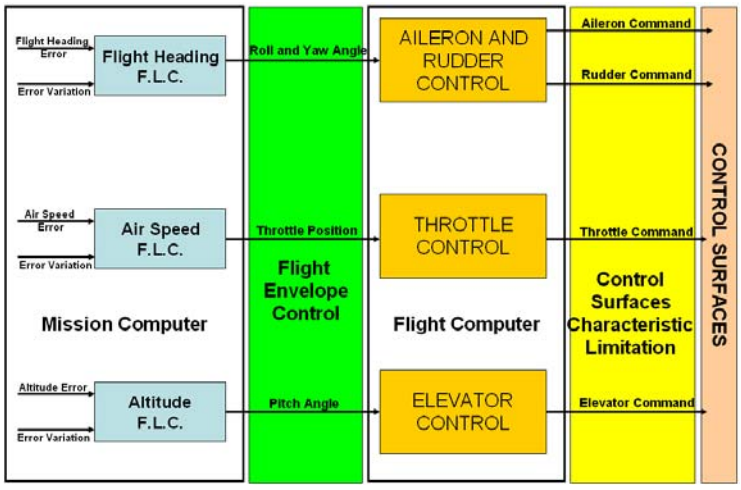
3.2. Uçuş Zarfı ve Kontrol Yüzeylerinin Karakteristik Limitleri

İHA platformu otonom bir şekilde uçarken; uçuş bilgisayarı, uçuş ve kontrol kumanda yüzeylerinin limitlerini, kararlı uçuş şartlarını korumak için bilmelidir. Kararlı uçuşu sağlayabilmek için İHA'nın davranışları güvenli bir çerçeve içinde olmalıdır. Bu çalışma kapsamında bu güvenli çerçeveyi en temel anlamda bir uçuş zarfı olarak tanımlıyoruz. Aslında bu konu çok karmaşık bir iştir. Fakat bu çalışmada basit koşullar altında incelenmektedir. Uçuş zarfı, kararlı uçuşu sağlamak için kumandalarda sınırlamalar yapar. Kararlı uçuşa devam edebilmek için uçuş karakteristikleri uçuş zarfı kadar önemlidir. Platformun her kontrol yüzeyi bu kararlılığı bozar ve riskli durumlarda sınırlandırılmalıdırlar.

Limit	Minimum Değer	Maksimum Değer
Sürat Limiti	30 Knot (~15 m/s)	80 Knot (~40 m/s)
Yunuslama Limiti	-15^0	30^0
Yatış Limiti	-30^0	30^0
RPM Limiti	400 rpm	1000 rpm
Gaz Kolu Pozisyonu Limiti	0.1 (idle)	1.3 (military)

Tablo-1 Aerosonde İHA Platformu Düz Uçuş Durumunda Uçuş Zarfı Limitleri

Kontrol yüzeylerinin hareketleri bu sınır değerleri aşmamalıdır. Bu sınır değerler platformun her konumu için tekrar hesaplanarak yeniden belirlenmektedir. Bu çalışma kapsamında limitlerin ve uçuş zarfının temel amacı, platformu stol durumundan korumaktır. Bu değerler platforma özel değerlerdir. Çünkü farklı İHA platformu karakteristikleri için değişirler. Bu çalışmada uçuş zarfı kontrol yüzeylerinin karakteristik limitlerini hesaplayan bu modülün platformdan bağımsız bir model olması için, limitleri bir konfigürasyon dosyası kullanarak simülatör ortamına alıyoruz. Aerosonde İHA sistemi için bu limitler düz uçuş koşulları altında tablo 1'de gösterilmiştir.



ŞEKİL 4. Kontrol Yüzeyleri Karakteristik Limitleri Ve Uçuş Zarfı Modeli Çalışma Süreci

Geliştirilen İHA simülatör sisteminde, genel olarak İHA sistemlerinde uygulandığı biçimde, görev bilgisayarı hedef uçuş başı, hız ve irtifa komutlarını üretir. Bu komutlar uygulanmak ve kontrol yüzeyi komutlarına dönüştürülmek üzere uçuş bilgisayarına gönderilir. Uçuş bilgisayarı tarafından istenen konuma ulaşmak için üretilen kontrol yüzeyi değerleri, limit değerleri aşmaması ve stol olunmaması için uçuş zarfı kontrolörüne transfer edilerek kontrol

edilir. Kontrol yüzeyleri karakteristik limitleri ve uçuş zarfı modeli bu komutları kontrol eder ve gerekliyse sınırlandırır. Sonra bu komutlar uçuş bilgisayarı tarafından uçuş kontrol yüzeylerini idare eden kontrolörlere transfer edilir. Bu süreç şekil 4' de görülebilir. Bu çalışma kapsamında Kontrol yüzeyleri karakteristik limitleri ve uçuş zarfı modeli Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.3 Dijital Uçuş Bilgisayarı Mimarisi

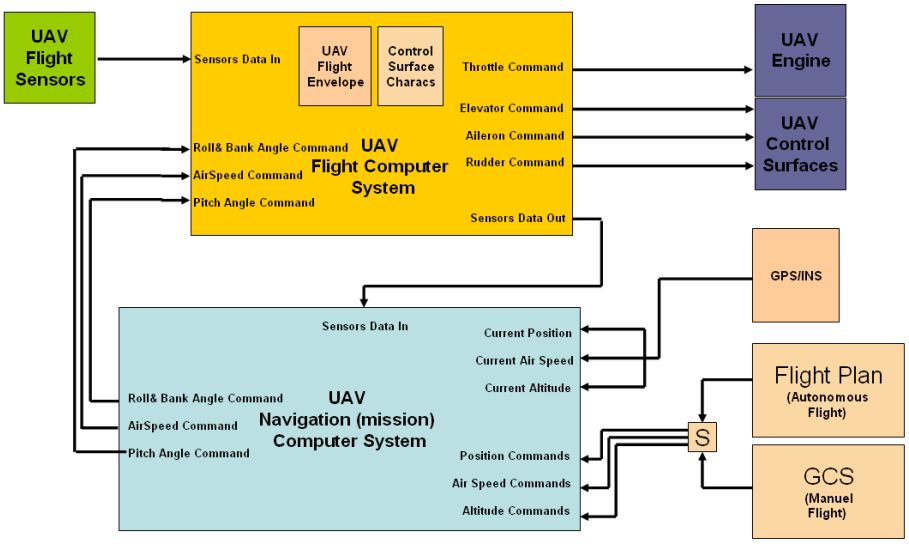
İHA sisteminin en önemli bileşenlerinden biriside sayısal (dijital) uçuş bilgisayarı (DFC) sistemidir. Temel manada uçuş bilgisayarı İHA'nın yöneticisidir. Bu bileşen, İHA üzerindeki tüm diğer alt sistemleri kontrol eder. Bir çeşit basit karar verme modülüdür. Diğer bir ismi ana (birinci) uçuş bilgisayarıdır. Uçuş bilgisayarını tasarlarken faydalanılan bulanık kontrol [4, 5], uyarlanır kontrol [6], nöron ağları [7], genetik algoritmalar [8, 9] ve lyapunou teorisi [10], vb… çeşitli tekniklerden faydalanıldığı görülmektedir. Bu bilgisayarın asıl görevi, İHA'nın uçuşunu görevin amacına ulaşmaya yönelik gerçekleştirirken, kararlı uçuş şartları altında istenen biçimde uçuşa devam etmesini sağlamaktır. Kararlı uçuş şartları altında istenen uçuşu icra edebilmek için bilgisayar, uçuş zarfı içinde kalmak şartıyla hava aracının kontrol yüzeylerine komutlar verir. Böylelikle istenilen irtifa, yön ve sürat gibi değişimleri kontrol ve icra eder. Asli görevine ilave olarak bu görevi yerine getirebilmek için güç sistemlerini, sürücü sistemlerini ve uçuş algılayıcı sistemlerini yönetir ve görev bilgisayarı ile sürekli haberleşme halinde kalır.

Geliştirilen simülatör kapsamında da DFC sistemi gerçek bir İHA sistemindeki gibi diğer bileşenleri kontrol eden ve platform modelinin tanımlanan uçuş zarfı içerisinde kararlı biçimde uçuşuna devam etmesini sağlayan karakteristiktedir. Simülasyon DFC sistemi platformun bir sonraki pozisyonu ve hareketlerini belirlenen zaman aralıklarında sürekli olarak hesaplar. Bu pozisyon tahmin etme süreci, İHA kontrollerinden ve platformun içinde bulunduğu ortam bilgilerinden faydalanarak hesaplanır ve platformun üç boyutlu uzay içindeki yeni durum bilgilerini verir. Her simülatör bileşeni platformun hareketlerini ve özelliklerini etkiler. Simülatör bünyesindeki DFC bileşeninin ana amacı, Simülatör bünyesindeki bir diğer bileşen olan görev bilgisayarının ürettiği komutları kullanarak gerekli hareketleri belirlemek ve uygulamaya çalışmaktır. Bu komutları yerine getirmeye çalışırken, DFC sistemi aynı anda hem platformun içinde bulunduğu pozisyonu kontrol eder hem de platformu istenmeyen durumlardan korur.

İHA simülatör sistemi bünyesindeki DFC sistemi, kontrol yüzeylerini ve diğer kontrolleri servo motor sistemlerini benzeten modelleri yöneterek idare eder. Bu çalışma kapsamında servo motor kontrollerini ve motorları modellememekteyiz. Verilen komutların doğrudan kontroller tarafından yerine getirildiğini ve kontrol yüzeylerinin istenilen pozisyonunu aldığını kabul etmekteyiz. Genel anlamda İHA görev bilgisayarı tarafından üretilen komutlar DFC ye ulaştığında bu komutları yerine getirmek için DFC tarafından üretilen kontrol yüzeyi ve itki sistemleri komutları uygulanmış kabul edilirler. Bu mimari şekil 5'de gösterilmektedir.

Üretilen komutlar neticesinde değişen İHA matematiksel modelinin yeni parametreleri bu yeni durum için tekrar DFC tarafından hesaplanır ve sistemin tümüne gönderilir. Bu bir kapalı

çevrim dâhilinde sürekli tekrar eden bir şekilde çalışır. Bu model Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.



ŞEKİL 5. UAV Dijital Uçuş Sistemi ve Görev Bilgisayar Sistemi Dizaynı

3.4 Bulanık Mantık Tabanlı Görev Bilgisayar Dizaynı

İHA'nın üstlendiği görevi icra edebilmesi için gerekli bileşenlerden birisidir. Çeşitli İHA sistemleri farklı amaçlar için kullanılırlar. Ancak her İHA sisteminin bir görevi vardır. Görev bilgisayarı, bir çeşit İHA sisteminin görevini gerçekleştirmesinde kullanılan karar verme mekanizmasıdır. İHA platformu, uçuş bilgisayarının yönetimi ile kararlı uçuş koşulları altında uçarken, görev bilgisayarı platformun istenen hedeflere ulaşması için bir takım komutlar üretir. Görev bilgisayarı İHA sisteminin seyrüsefer bileşenini oluşturur. Bilgisayarın seyrüsefer görevini icra edebilmesi için farklı altyapılardan faydalanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak faydalanılanı GPS tabanlı seyrüsefer şeklidir. Görev bilgisayarı platformu yönlendirmek için bazı konum ve hareket algılayıcılarından faydalanır. İHA sistemleri görevlerini icra etmek için faydalı yükler kullanırlar. Bu faydalı yükler de görev bilgisayarı tarafından kontrol edilir ve yönetilir. Aslında seyrüsefer yapısı görev bilgisayarının bir parçasıdır. Çünkü seyrüsefere paralel görev bilgisayarının birçok görevi vardır, faydalı yük kontrolü ve yer kontrol istasyonu bağlantısı, vb…

Görev bilgisayarı uçuştan önce tasarlanan ve uçuş esnasında (LOS, line of sight, menzil içinde uçuş esnasında) değişikliklere uğrayabilen bir rotayı otonom olarak izlemeye gayret gösterir. Uçuş ve görev bilgisayarı uçuş süresince her zaman aktiftir fakat seyrüsefer bileşeni özellikle otonom uçuşlarda kullanılır ve manüel uçuşta devre dışı bırakılır. Otonom uçuş boyunca görev bilgisayarı seyrüsefer bileşeni platformun pozisyon değerlerini algılayıcılardan (GPS, altimetre, INS, vb..) temin eder ve bu değerler ile görev paterni içerisinde gidilmek istenilen yol noktası pozisyon değerleriyle eşleştirilir. Seyrüsefer bileşeni platformun sıradaki hedef noktasına ulaşması için gerekli olan manevralara karar verdikten sonra bu verileri uçuş bilgisayarına kontrol yüzeylerine aktarması ve uygulatması için gönderir.

İHA sisteminin görev planlama mantığı, hedefe en kısa yoldan ve güvenli koşulları muhafaza ederek ulaşmaktır. Platform sırasıyla her bir istenen yol noktasına ulaştığında bir sonrakine ulaşmayı hedefleyecektir. Örnek olarak birden çok sıralı yol noktasından oluşan bir uçuş rotası belirleyelim ve platformun bu noktalara sıralı biçimde ulaşmasını isteyelim. Bu yol noktaları belirlenirken platformun kabiliyetleri mutlaka göz önüne alınmalıdır. İHA platformunun fiziksel özellikleri istenen bu noktalara erişmek için yeterli olmalıdır. Periyodik zaman aralarında platform kendi konumu ile sıradaki varılmak istenen yol noktasının bilgilerini karşılaştıracak ve gerekli verileri hesaplayıp direkt o noktaya doğru uçmaya başlayacaktır. Bir yol noktası tarif edilirken üç boyutlu bir sistemde noktanın pozisyonu enlem, boylam ve yükseklik olarak üç parametre ile ifade edilecektir. Aynı üç boyutlu sistem içerisinde yer alan İHA platformu kendi konum parametrelerini varılmak istenen noktanın parametreleri ile sürekli karşılaştırarak rotasını buna uygun biçimde yeniden hesaplayacaktır. Ortak bir konumlandırma sistemi oluşturması açısından bu çalışma kapsamında WGS84 dünya modeli üzerinde GPS koordinat sistemini kullanacağız.

Rotanın hesaplanmasında ise iki GPS koordinatı arasında en kısa dairesel yolu birden fazla hesaplama yöntemi vardır. Bunlardan bir tanesi "Harvesine" metodudur (3). Bu metodta R dünyanın yarıçapı, Δlat da iki enlem arasındaki farkı, Δlong ise iki meridyen arasındaki farkı gösterir. d ise iki GPS koordinatının farkını gösterir. Bu metod ile iki GPS koordinatı arasındaki mesafeyi bulabiliriz.

$$
\begin{aligned}
R &= 6.371 \\
\Delta lat &= lat_2 - lat_1 \\
\Delta long &= long_2 - long_1 \\
a &= sin^2\left(\frac{\Delta lat}{2}\right) + \cos(lat_1).\cos(lat_2).sin^2\left(\frac{\Delta long}{2}\right) \\
c &= 2.atan2(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}) \\
d &= R.c
\end{aligned}
\tag{3}
$$

Fakat iki GPS koordinatı arasındaki mesafenin hesaplanması bu noktaya gitmek için yeterli değildir. Bu yüzden mevcut pozisyondan hedef pozisyona olan başı da hesaplamak zorundayız. Formül (4)'ü kullanarak bu açıyı hesaplayabiliriz.

$$\theta = atan2(\sin(\Delta long).\cos(lat_2).\cos(lat_1).\sin(lat_2) - \sin(lat_1).\cos(lat_2).\cos(\Delta long)) \tag{4}$$

Bu formül +180 ile -180 arasında bir değer döndürecektir. Fakat manyetik baş 0 ile 360 derecesi arasında olmalıdır. Bu yüzden formül (5)'i kullanarak bulduğumuz açıyı manyetik açıya çevirmek zorundayız.

$$(\theta + 360) \bmod 360 \tag{5}$$

Diğer taraftan mesafe ve baş ile GPS hedefinin konumunu bulabiliriz. Böylece üzerinde bulunduğumuz baş açısı ve tahmini mesafeyi kullanarak varılmak istenen noktaya ulaşıp ulaşamayacağımızı da teyit edebiliriz. Eğer şu anki konumumuzu, varılmak istenen noktaya mesafeyi ve uçtuğumuz baş açısını biliyorsak formül (6) ile hedef koordinatlarını hesaplayabiliriz.

$$lat_2 = \operatorname{asin}\left(\sin(lat_1).\cos\left(\frac{d}{R}\right) + \cos(lat_1).\sin\left(\frac{d}{R}\right).\cos(\theta)\right)$$

$$long_2 = long_1 + atan2\left(\sin(brng).\sin\left(\frac{d}{R}\right).\cos(lat_1).\cos\left(\frac{d}{R}\right) - \sin(lat_1).\sin(lat_2)\right) \quad (6)$$

Dünya küresel olduğu için bulunduğumuz konum ile hedef nokta arasındaki mesafe bir yay olacaktır. Ancak uçulan mesafe dünyanın çevresine nispeten çok küçük bir mesafe olduğundan iki nokta arasını doğrusal bir rota kabul edebiliriz.

Bu bilgilere ek olarak bir de varılmak istenen noktanın üçüncü boyutunu oluşturan bir irtifa değeri vardır. İHA platformunun mevcut konum bilgisi içerisinde bulunan irtifası ile varılmak istenen noktanın irtifası karşılaştırılarak bir eğim oluşturulur. Bu noktada iki farklı yol izlenebilir. Bunlardan birincisi bu eğimi takip ederek istenen irtifaya seviye seviye ulaşmak ve tam noktada bu irtifada olmak, bir diğeri ise istenilen irtifaya platformun fiziksel kabiliyetlerinin elverdiği en çabuk sürede ulaşmak. Bir İHA platformu bir hava aracı olduğundan bir kabulden bahsetmek bu noktada önemli olacaktır. Genellikle hava araçları şayet bir irtifaya tırmanılması isteniliyorsa emniyet açısından bu irtifayı bir an önce almak isterler ve yine aynı sebepten ötürü bir irtifaya alçalması isteniyorsa bu irtifaya tam olarak istenen noktada varmayı tercih ederler. Yani alçalışta bir eğimi izlerler fakat tırmanırken performanslarının imkân verdiği ölçüde bir an evvel irtifaya çıkmaya çalışırlar. Bu çalışma kapsamında platformumuzun fiziksel kabiliyetinin elverdiği ölçüde en kısa zamanda istenen irtifayı elde etmeye çalışacağız. Alçalışta ise istenen noktada istenen irtifada olmayı amaçlayacağız.

Bu aşamaya kadar İHA platformumuzun rotası üzerinde uçarken bir sonraki yol noktasına ulaşmak üzere nasıl bir eylem içerisinde olması gerektiğini ve bu işlemleri nasıl planlayacağına değindik. Bu işlemleri icra ederken farklı hesaplama tekniklerinden faydalanılabilir. [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17] Bunlardan bir tanesi de bulanık mantık denetleyicilerinden faydalanmaktır. [11, 12, 18] Bu çalışma kapsamında İHA platformumuzun otonom uçuşta rota planlaması dâhilinde nasıl davranacağına karar vermesini sağlayan bulanık mantık denetleyicileri geliştirilmiştir.

Temel olarak bulanık mantık sistemi üç ana bölümden oluşur; bulanıklaştırma, bulanık ilişkilendirme ve durulaştırma. Bulanıklaştırma işlemi net değerlere sahip girişlerin bulanık kümelere atanması işlemidir. İkinci aşamada ise Bulanık kümelerdeki değerler “If-Then” kuralları ile ilişkilendirilerek bulanık çıkışlar oluşturulur. Son aşama olarak da bulanık çıkışlar durulaştırma işlemi ile net çıkışları oluşturur. [5]

Bir bulanık mantık kuralında birden fazla koşul bulunabilir. Bu koşullar birbirleriyle AND, OR, NOT gibi operatörler ile bağlanırlar. Denetleyicinin tasarımında aşağıdaki gibi kullanılmıştır:

$$R^{(l)}: If\ (x_1 is X_1^l)\ \ AND....AND\ \ (x_n is X_n^l)\ \ THEN\ y_1 is Y_1^l,....,y_k is Y_k^l \qquad (7)$$

Burada R^l'nin l^{th} inci kuralıdır. $x=(x_{l_1},...,x_n)^T \in U$ ve $y=(y_l,...,y_k)^T \in V$ giriş ve çıkışlara ait sözel değişkenler olup sırasıyla $U,V \subset \Re^n$ uzayına üye giriş ve çıkış değişkenleridir. $(X_{l_1},...,X_n)^T \subset U$ ve $(Y_1,...,Y_k)^T \subset V$ ise giriş ve çıkışların bulanık kümelerdeki sözel etiketleridir ve n ve k giriş çıkış değişken sayısıdır.

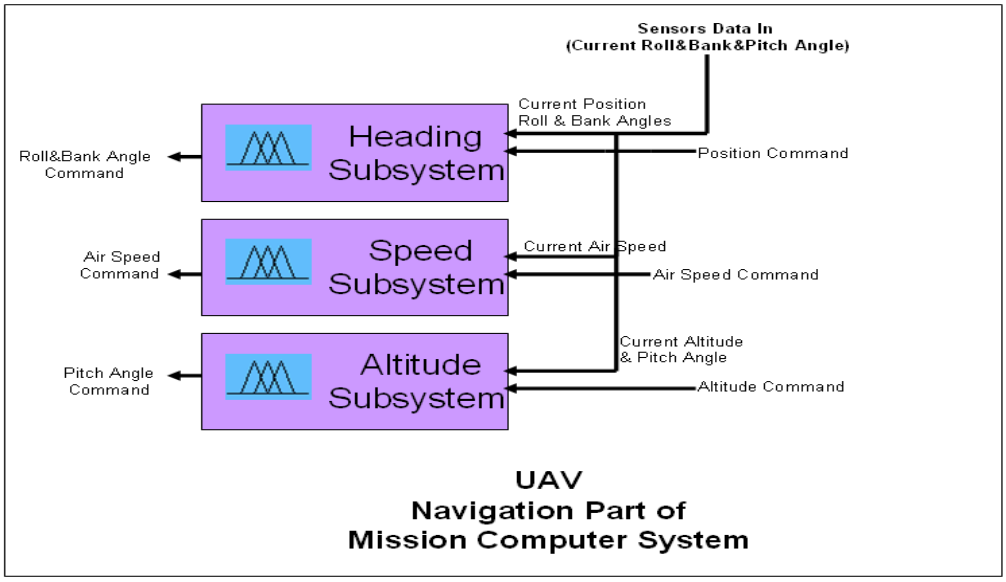
Bu çalışmada tasarlanan bulanık mantık tabanlı denetleyicilerde çok girişli, tek çıkışlı $(k=1)$ tekil bir bulanıklaştırıcı kullanılmıştır. Şekil 8'de görüldüğü gibi tüm giriş ve çıkışlar için üçgen üyelik fonksiyonları, AND operatörü ile kullanılmıştır. Durulaştırma işlemi ise Centroid metodu ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bulanık denetleyicinin çıkışı aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$Y_j = \frac{\sum_{l=1}^{M}(\prod_{i=1}^{N}\mu x_i^l(x_i))y_j}{\sum_{l=1}^{M}\prod_{i=1}^{N}\mu x_i^l(x_i)} \qquad (8)$$

N ve M girdi değerleri ve kuralların tamamını simgelediğinde, μx_i^l birinci girdi ayarını ve girdi değerini etkiler.

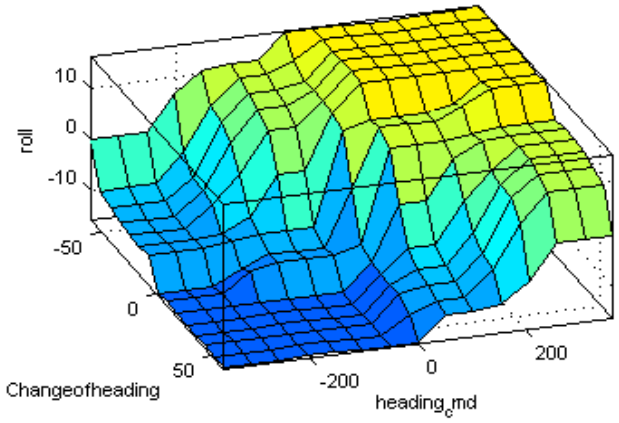
Bu çalışma kapsamında görev bilgisayarı seyrüsefer bileşenin üzerine düşen işlemleri yerine getirebilmesi için üç farklı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Bunlar uçuş başı, irtifa ve hava sürati bulanık mantık kontrolleridir. İHA platformunun istenilen görev profilini icra edecek biçimde otonom uçuşu sağlayabilmesi için bu üç kontrol birlikte çalışırlar. İHA sistemi görev bilgisayarı seyrüsefer bileşeni şekil 6'da görüldüğü biçimde üç ana alt sistemden oluşmaktadır. Bunlar her biri bünyesinde bir bulanık mantık kontrolörü bulunan uçuş başı, uçuş sürati ve irtifa belirleme alt sistemleridir. Bu alt sistemler bünyelerinde bulunan bulanık mantık denetleyicileri ile yukarıda bahsedilen biçimde paralel çalışarak İHA platformunun otonom seyrüsefer kabiliyetini oluşturmaktadırlar.

Literatür incelendiğinde karşımıza iki tip bulanık mantık tabanlı denetleyici çıkmaktadır. Bunlardan ilki pozisyon tipi bulanık denetleyicilerdir ve bu denetleyiciler çıkış sinyalini (u) hata (e) ve hatanın türevinden (Δe) oluşturmaktadırlar. İkincisi ise hız tipi bulanık denetleyiciler olup, bu tip denetleyicilerin çıkışı kontrol sinyalindeki değişimi (Δu) girişleri plan hata ve hatanın türevinden oluşturduğu görülmektedir. İlk tip PD Bulanık Mantık Tipi Denetleyici sonraki ise PI Bulanık Mantık Tipi Denetleyici olarak adlandırılır. Bu konu hakkında daha ayrıntılı bilgi için referans [5, 18] den faydalanılabilir.



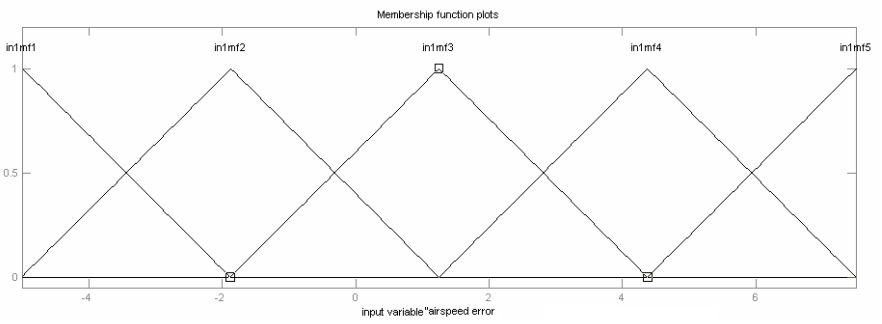
Şekil 6. İHA Görev Bilgisayarı Otonom Seyrüsefer Bileşeni Mimarisi

Doğrusal olmayan İHA platformu modelinden ve kontrol parametrelerinin tiplerinden ötürü kontrol değişkenin gerçek değerini hesaplamak yerine onun değişimini ön görmek bu çalışmada daha iyi bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışma kapsamında PI tipi bulanık mantığı tercih etmemizdeki asıl sebep budur.



Şekil 7. IHA Görev Bilgisayarı Uçuş Başı Bulanık Mantık Denetleyicisi Çıkış Yüzeyi

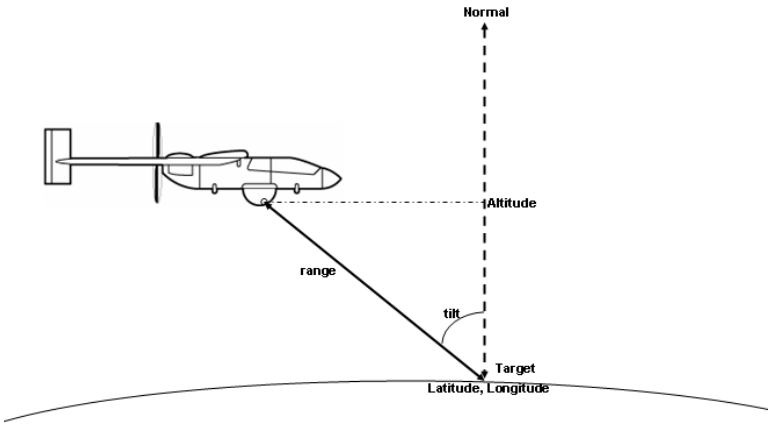
Kural tabloları temel bilgilerden ve deneyimlerden faydalanılarak tanımlanmıştır. Şekil 7'de kontrol çıkış yüzeylerinden bir tanesi görülmektedir. Platform hedef ± 01 derece pozisyonuna geldiği zaman (GPS koordinat sistemine göre) bu bize platformun istenen hedef noktaya ulaştığını ve sıradaki noktaya yeni hedef olarak geçiş yaptığını gösterir. Eğer platform ters yönden esen rüzgâr gibi çevresel nedenlerden ya da hatalı operatör görev planlamasından dolayı hedef ± 01 derece pozisyon aralığına gelemez ise bu durumda İHA platformu dairesel bir paterne girer ve tekrar bu noktaya ulaşmaya çalışır. Ulaştığında bir sonraki noktaya doğru yönelir.



ŞEKİL 8. IHA Görev Bilgisayarı Uçuş Başı Bulanık Mantık Denetleyicisi Girişi

3.5 Faydalı Yük Modeli

Bu çalışma kapsamında İHA sistemimizin faydalı yükü bir çeşit optik kamera ve bu kameranın hareketlerini denetleyen kontrolleridir. Amacı hedef noktanın görüntüsünü elde etmektir.



Şekil 9. IHA Faydalı Yük Modeli

Hedef nokta görüntüsünü elde edebilmek için değişik yetenekler mevcuttur. Birincisi manuel kumanda yöntemidir. Diğerleri baş açısı takip metodu ve hedef nokta takip metodudur. Menüel kontrol metodu aktif olduğu zaman kamera hareketleri bir kol yardımıyla operatör tarafından kontrol edilir. Bu kol ile İHA operatörü kameranın yönünü platformun hareketinden bağımsız olarak iki eksende değiştirebilir. Baş açısı takip metodunu kullandığı zaman ise kamera platformun uçuş baş açısını otonom biçimde izleyecektir. Aynı zamanda yatay pozisyonu manuel olarak kontrol edilebilir. Üçüncü seçenek kullanıldığında kamera sistemi sürekli olarak istenen bir noktayı İHA platformunun hareketlerinden bağımsız olarak takip edecektir. Bu işlevi platformun ve hedef noktanın konum verilerini kıyaslayarak sürekli hesap edecek ve pozisyonunu ayarlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında geliştirilen simülatörde, faydalı yükümüz olan kamera sistemimizin elde ettiği görüntüler olarak Google Earth uygulamasından sağlanan resimleri kullanmaktayız. Google Earth KML kullanarak bir faydalı yük kontrol yapısı geliştirilmiştir. [20] Basit olarak bir Google Earth KML kodunu formül 9'da görebilmekteyiz.

GoogleEarth.SetCameraParams(Latitude,Longitude,Range,Altitude,Tilt,Pan,Speed) (9)

İHA kamera sisteminin irtifası, hedef nokta ile platform arasındaki yükseklik farkına eşittir, yatay bakış açısı ise İHA sistemi kamera açısı ile hedef nokta arasındaki açıdır. Menzil hedef nokta ile platform arasındaki uzaklıktır. Pan kameranın yatayla yaptığı açıdır. Tilt ise dikeyle yaptığı açıdır. Bu değerler şekil 9'da görülebilmektedir. Formül 3'de verilen Harvesine metodunu kullanarak menzil değerini hesaplayabiliriz.

$$DisX = PosX - TarX$$

$$DisY = PosY - TarY \qquad (10)$$

$$Tilt = Arctan(\frac{DisX}{DisY})$$

İHA'nın ve hedef noktasının arasındaki yatay uzaklık farkı 'Disx', dikey uzaklıkları arasındaki fark 'Disy' 'dir. Formül (10)'deki gibi Disx ve Disy değerlerini kullanarak tilt açısı hesaplanabilir.

3.6 YKİ Tasarımı ve Grafik Kullanıcı Ara Yüzleri

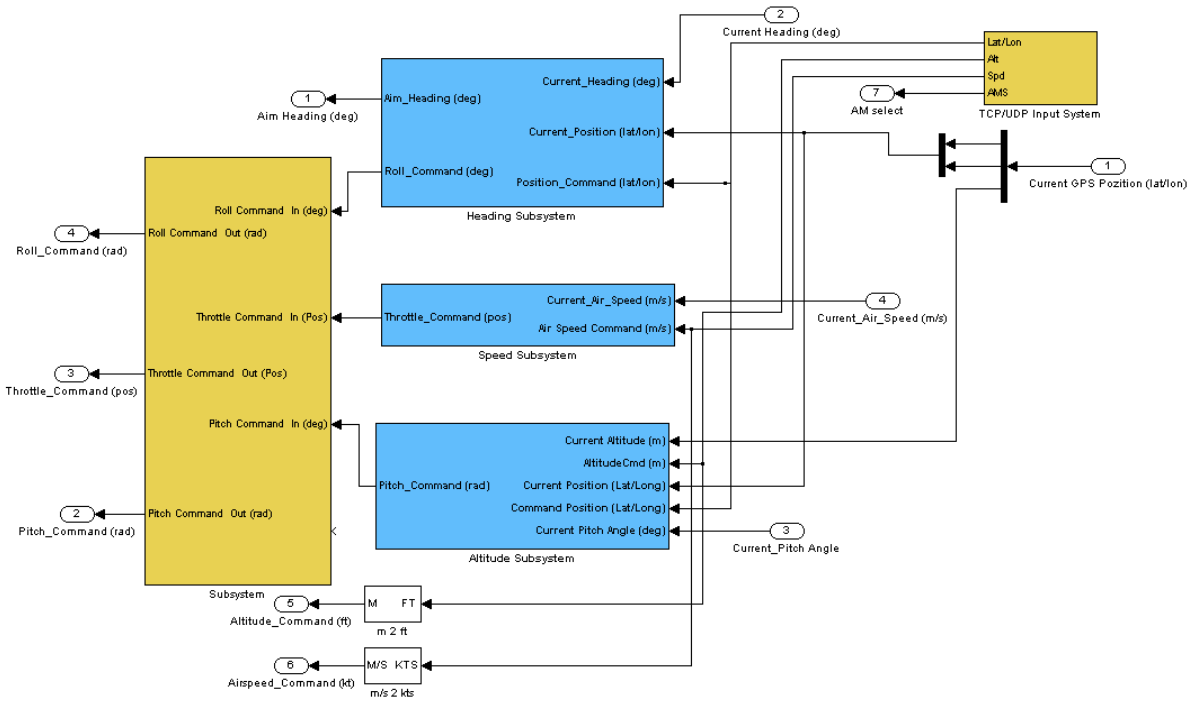
Simülasyon dizaynındaki en önemli konulardan biri de geliştirdiğimiz YKİ'nin mümkün olduğunca gerçekçi olmasıdır. Kullanıcı gerçek bir İHA sistemini kontrol ettiğini düşünmelidir. Öyleyse kullanıcı ara yüzlerinin ve grafiklerin mümkün olduğunca gerçekçi olması çok önemlidir. Çünkü kullanıcı simülatörün içini göremez, sadece sistemin dışarıdan görüntüsünü bu ara yüzler aracılığıyla görebilir. Bu çalışmada YKİ'unu tasarlarken General Atomics tarafından üretilen şekil 10'da görülen, havadan keşif görevleri için halen kullanılan profesyonel bir sistem olan GNAT GCS sistemi gibi birkaç gerçek YKİ'ndan esinlendik. Bizde projemizde benzer bir dizayn kullandık. Günümüz İHA sistemlerinde kullanılan yer kontrol istasyonları İHA sistemlerinin sınıflarına bağlı olarak büyük benzerlikler göstermektedir. Bazı mini İHA sistemlerinin bir laptopta geliştirilmiş YKİ dizaynı gibi taşınabilir mimarileri de mevcuttur.



ŞEKİL 10. GNAT İHA Sistemi Yer Kontrol İstasyonu

Şekil 11'de Matlab ortamında tasarlanan İHA sistemi bilgisayar ve diğer bileşenleri ile Delphi ortamında tasarlanan YKİ'u grafik ara yüzleri arasındaki TCP ve UDP ağ bağlantılarına ait

Simulink blok diyagramı görülmektedir. Bu bağlantılar kullanılarak GUI'ler uçuş ve görev bilgisayarlarına, operatör veya görev planlama sistemi komutlarını gönderirler.



Şekil 11. Uçuş ve Görev Bilgisayarı ile YKİ Grafik Ara Yüzleri Arasında Oluşturulan TCP/UDP Bağlantının Matlab Ortamında Gösterimi

Bu çalışma kapsamında geliştirdiğimiz yer kontrol istasyonunun dört ana bileşeni bulunmaktadır. Bunlar Kontrol sistemleri uçuş ve sistem göstergeleri ekranı, Head Up Display (HUD) ekranı, seyrüsefer ve görev planlama ekranı ile faydalı yük kontrol ekranlarıdır.

Seyrüsefer ve görev planlama ara yüzü bir çeşit interaktif grafik dizayndır. Görevin rota, irtifa bilgileri ve bunlara ait GPS koordinatlarını içeren, İHA'nın iniş ve kalkış yapacağı meydanları belirlenmesine imkân tanıyan ve hedef hakkındaki bilgilerin sisteme girildiği ara yüzdür. [23, 24] Bu noktalar tanımlanırken kullanıcı bir GPS tabanlı harita kullanır. [21] Bu çalışmada bu harita olarak Google haritalarını kullanmaktayız. Google haritalarını, hazırladığımız program ile GPS tabanlı koordinat sisteminde kullanabilmekteyiz. Harita üzerinden kullanıcı, kalkış meydanını ve yönünün seçiminden sonra, haritayı tıklayarak ilk noktayı seçer ve noktanı irtifasını tanımlar. İlk noktadan sonra diğer noktaları da sırasıyla bu şekilde tanımlar. 20 nokta tanımlayabilir ve bunlardan en az bir tanesi hedef nokta olmalıdır. Bu noktalar belirlenirken İHA platformunun kabiliyetleri muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır. Şayet belirlenen noktalar arasındaki mesafe ve dönüş yarıçapı gibi değerler İHA platformumuzun fiziksel yetenekleri ile bağdaşmayan noktalar ise platform bu noktalara erişmek için istenmeyen hareketler icra edebilir ya da noktayı takip edemez. Son olarak da iniş meydanı ve yönü tanımlanır. İzlenilen yolu kullanarak, İHA paterni SID ve TACAN yaklaşma olarak geleneksel havacılık alet uçuş kurallarındaki gibi tanımlanabilir. Bu konudaki detaylı bilgileri daha önceki çalışmalarımızda bulabilirsiniz. [5] Görev planlama icrasının ardından, görevi icra eden platformun anlık pozisyon bilgilerini takip etmek için de seyrüsefer ve görev

planlama ara yüzü kullanılır. Böylece İHA platformunun her an nerede olduğu bilgisi görülebilir. Ayrıca platform uçarken uçuş planı güncellenebilir. İzlenen rotadaki sıradaki noktayı pas geçebilir ya da yeniden konumlandırabilir, inilecek havaalanı veya pisti değiştirebiliriz.

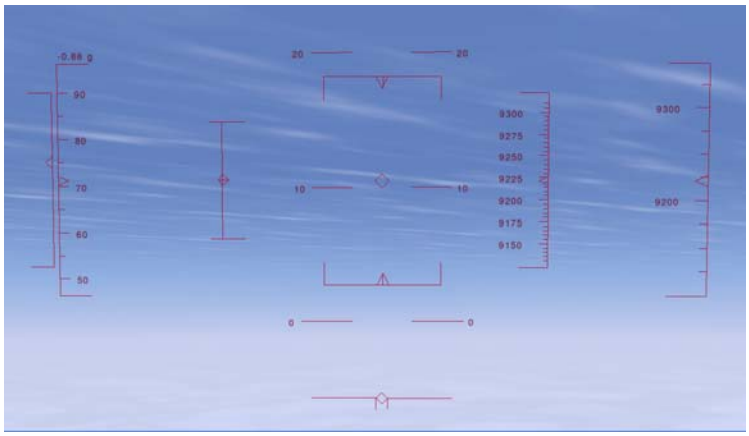


Şekil 12. İHA Simülatörü Kontrol Sistemleri Uçuş ve Sistem Göstergeleri Ara yüzü

Kontrol sistemleri uçuş ve sistem göstergeleri ekranı da kullanıcıya bilgiler veren ve kullanıcıdan veriler alan şekil 12'deki gibi iki yönlü veri alışverişinde bulunan bir uygulamadır. Kullanıcı bu ara yüzü kullanarak İHA'nın tüm kabiliyetlerini kontrol edebilir. Ayrıca sisteme ait tüm değerleri de görebilir. Kullanıcı tüm çalışmaları bu ekrandan yönetebilir ve platformun durumunu görebilir. Kısacası kullanıcı ara yüzü kullanarak oto pilotu, iletişimi, uçuş göstergelerini, motoru, sensorları ve manüel kontrolleri seçerek yönetebilir. Bu kontrol ara yüzü Active X denetimlerini kullanarak Borland Delphi IDE de tasarlanmıştır. Havacılıkta genellikle kullanılan uçuş ve sistem göstergeleri Active X denetimlerinden faydalanarak simüle edilmiştir. Tüm istekler yerel ağ üzerinden TCP bağlantı kullanarak, Matlab Simulink ortamında geliştirilen uçuş bilgisayarına gönderilir. Uçak durum göstergeleri ve kontrol ara yüzü uçuş bilgisayarına daima eş zamanlı olarak bağlıdır. Bu bağlantının sağlandığını iletişim tabını kullanarak görebiliriz. Bu iletişimin kaybolması da simülasyon kapsamında haberleşme yapısında meydana gelen bir acil durum senaryosunu oluşturmaktadır. Oto pilot tabında seyrüsefer ve görev planlama ara yüzü kullanarak tasarlanmış paterni görebiliriz. Ayrıca bu ekran kullanarak kontrol edilebilen farklı otonom uçuş tipleri vardır. Bunlar üç tanedir. Bir tanesi tam otonom uçuştur (oto seyrüsefer). Bu uçuş seçeneğinde rota görev planlama ara yüzü kullanarak önceden planlanmıştır. Platform bu değerlere bağlı olarak tamamen otonom bir uçuş icra eder. İkincisi ise yarı otonom seçeneğidir. Bu seçeneği kullanarak kullanıcı İHA'nın baş, yükseklik ve hız değerini manüel olarak girer ve platform bu değerleri otonom biçimde elde etmeye çalışır. Üçüncü seçenek ise birinci ve ikinci seçeneklerin karışımıdır. Üçüncü seçeneği kullanarak İHA izlenecek yolu takip ederken operatör sadece yükseklik ve hız değerlerini değiştirebilir. Kullanıcı manüel kontrol tabını seçerek oto pilotu devreden çıkarabilir. Kullanıcı gaz kolu ve joystick kullanarak İHA platformunu uçurmaya başlar. Kullanıcı isterse tekrar otonom uçuşa dönebilir, tekrar oto pilotu aktif hale getirebilir. Bu çalışmada İHA'nın kalkışı ve inişi manuel usullerle yapılır. Yani operatör bu uçuş evrelerinde platformu manüel olarak kontrol etmelidir.

Ayrıca oto pilot sisteminde yaşanan bir arıza durumunda veya limit dışı çevresel faktörler yüzünden platform istemeyen bir duruma düşerse uçuşa manüel kontroller ile devam edilmelidir.

Acil durumlarda, bu ara yüz kullanıcıya düşük seviye yakıt uyarısı, yüksek motor sıcaklığı uyarısı, stall uyarısı… Vb. ikazlarda bulunur. Kullanıcı uyarıyı düzeltmek için, uyarının aktarıldığı sistemi yönetir. Sistemlerin yönetimi için kritik tuşlar ve uyarı tabloları mevcuttur. Operatör problemi çözmek için bu tabloları ve acil durum kontrol listesini kullanır. Operatör bir değeri değiştirdiğinde, bu işlem İHA modelini ve uçuş bilgisayarını en kısa zamanda etkiler. İHA'nın ilgili sisteminde değişiklikler uygulanır. Bu değişikleri ara yüzün sol tarafında bulunan görsel uçuş göstergelerinden izlenebilir. Böylece operatör tam olarak istediği eylemi yapmaya çalışır.



Şekil 13. HUD Ara Yüzünden ve Göstergelerinden Bir Görünüm

HUD İHA platformunun burun kısmında bulunan ve faydalı yükten bağımsız olarak çalışan sabit bir kameradan görüntü alan bir çeşit göstergedir. Operatörün manüel uçuş modunda özellikle faydalandığı bir ara yüzdür. Görüntünün üzerinde temel uçuş göstergeleri mevcuttur. Bu göstergeleri kullanan operatör görerek uçuş şartlarında görüşü kaybetmeden uçuş yapabilir. Bu göstergeler hedef yol noktası yönü, yatış ve tırmanış açıları, hız, G yükü, yerden yükseklik ve deniz seviyesinden yükseklik gibi platformun bilgilerini gösterir. Ayrıca operatör stall ikazını bu ekranda da görebilir. Bu simülasyon ara yüzünde açık kaynak kodlu simülatör yazılımı olan Flight Gear yazılımından faydalanılmıştır. [22] Flight Gear yazılımı İHA sistemi HUD ile uyum sağlayabilmesi için bir takım yazılım eklemeleri ile tekrar düzenlenmiştir. Uçuş bilgisayarı verilerini HUD ekranına UDP ağ bağlantısı üzerinden tek yönlü bir şekilde iletmektedir. Platformun parametre değerleri değiştiği an eş zamanlı olarak HUD bize değişiklikleri gösterir. Şekil 13'de buna bir örnek gösterilmektedir.

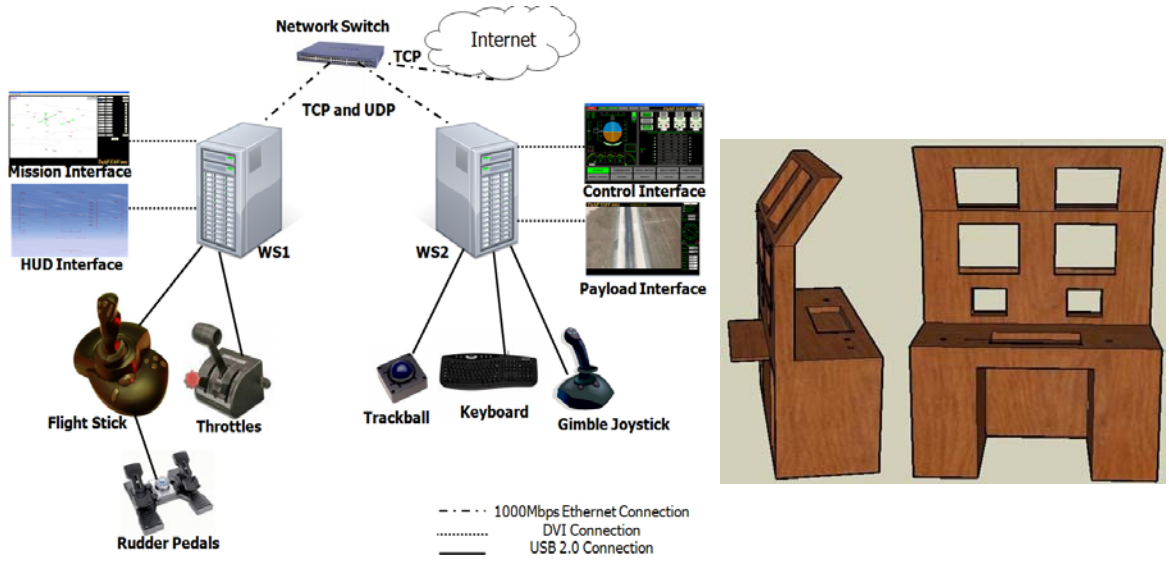
Faydalı yük kontrol ara yüzü interaktif ve grafiksel bir yazılımdır. İHA sisteminin görevini gerçekleştirebilmesi için faydalı yüke ihtiyaç duyulmaktadır. İHA sistemi eğer faydalı yük taşımıyorsa bu İHA sistemine herhangi bir görev yüklenemez. Bu yüzden her İHA sistemi görev şekline uygun bir faydalı yüke sahiptir. Önceden de belirtildiği gibi bu çalışmada keşif görevi için optik kamera sistemleri kullanacağız. Kullanılan kamera iki eksende platformdan bağımsız olarak hareket edebilmektedir. İki eksende yani yatay ve dikey olarak hareket imkanımız vardır. Pan yatay hareket, tilt ise dikey harekettir. Kameramızın yönünü

değiştirmek için adı “Gimble” olan bir mekanizma kullanılmaktadır. Bu mekanizma bünyesinde kameramızı iki eksende hareket ettirmek için bağımsız çalışan iki motor bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen faydalı yük sistemi modeli ile kamera çekimlerini görebilir, operatör istediğinde resim olarak kaydedebilir ve kameranın yönünü iki eksende değiştirebiliriz. Bu simülatör çalışmasında kamera görüntüleri olarak Google Earth uygulamasından edinilen görüntüler kullanılmaktadır. Geliştirilen ara yüz yazılımı İHA görev bilgisayarından aldığı konum bilgisi ile kameranın bakış açısını kullanarak internet üzerinden görüntüleri temin etmektedir. Payload kamera açılarını hesapladıktan sonra görüntülerde gerekli düzeltmeler yapılır ve ekranda görüntülenir. Böylece operatör o anki görüntüleri elde eder. Operatör istediği anda bir resim kaydını bu kol üzerindeki butona basarak gerçekleştirebilir. Bu yüzden faydalı yükü kullanabilmek için başka bir kişiden yardıma ihtiyaç duyulmamaktadır. Faydalı yük olarak kullanılan kameraya ait kontrol ara yüzü şekil 14’de görülmektedir.



Şekil 14. IHA Simülatörü Faydalık Kontrol Ara Yüzü

Simülatör yazılımı iki iş istasyonu (Workstation) üzerinde çalışmaktadır. Bu iki iş istasyonu aynı ağ üzerindedir. Fakat aynı zamanda ikinci istasyonun internet bağlantısı da gerekmektedir. TCP ve UDP tipi bağlantılarla 1000 mbps hızında veri transferi olan bağlantılar oluşturulmuştur. Dört adet standart 20 inch lik LCD ekran YKİ ara yüzleri için kullanılmıştır. Pedallar, uçuş kolu ve gaz kolları birinci istasyona bağladır. Bu düzenek İHA sistemini manüel olarak uçurmamızı sağlar. Trackball, klavye ve diğer kol ikinci iş gurubuna bağlıdır. Kontrol ara yüzü üzerindeki İHA parametrelerini kontrol ederken ve yapılacak işler belirlenirken trackball ve klavye kullanılır. İkinci kol kameranın pozisyonunu manüel olarak kontrol edilmesini sağlar. Bunun yanında iletişim için kulaklık ve mikrofon bulunur. Bu donanım parçalarını bağlantıları ve hepsini bir arada tutan kasa dizaynı ile birlikte şekil 15’de görebiliriz. Bütün bu bileşenler simülatörün donanımsal parçalarıdır. Simülatörü tasarlarken önemli olan oparatörün görüş kabiliyetidir. Oparatör sistemdeki bütün ekranları aynı anda görebilir ve oturduğu yerden klavye, kol ve dümen pedallarıyla bütün kontrolleri gerçekleştirir. Simülasyon kontrolü için arka tarafta bir diz üstü bilgisayar bulunmaktadır. Bu bilgisayar ile operatörün tüm işlevleri kayıt altına alınabilmekte ve simülasyon senaryoları yönetilmektedir.



ŞEKİL 15. İHA Simülatörü Donanım Bileşenleri Ve Bağlantı Tipleri ile Kasa Dizaynının Gösterimi

4.Normal Usuller Ve Acil Durum Katoloğu

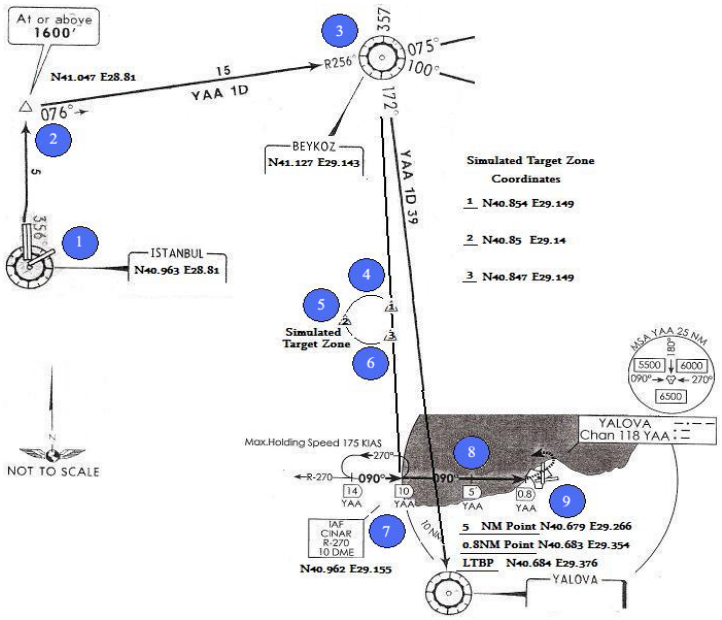
Bu çalışma kapsamında İHA simulatörünü kullanan İHA operatörünün normal ve acil durum usullerini kavrayabilmesi ve herhangi bir durumda kullanabilmesi için bir de uçuş kontrol listesi (Flight Checklist) geliştirilmiştir. Bu kontrol prosedürlerinin oluşturulması esnasında gerçek bir İHA sistemi olan GNAT sisteminden esinlenilmiştir. Kontrol listesi kalkış, iniş, düz uçuş gibi temel usulleri içerdiği gibi havada motor durması, iniş takım arızası, iletişim bağlantısının kopması gibi temel acil durum usullerini de kapsamaktadır. Örnek olarak bu acil durum usullerinden olan havada motor arızası prosedürleri aşağıda verilmiştir.

Havada Motor Arızası Acil Durum Usulleri (Engine Fault Emergency in Flight)

1) Air Speed - Best gliding speed (60 Knot)
2) Engine starting switch - Off
3) Payload power - Off
4) AV TX#2- Off (Payload Communication)
5) Navigation and Strobe Lights - Off
6) Transponder - Off
7) Try to turn back base

5.Örnek Görev Uçuşu Tanımlaması

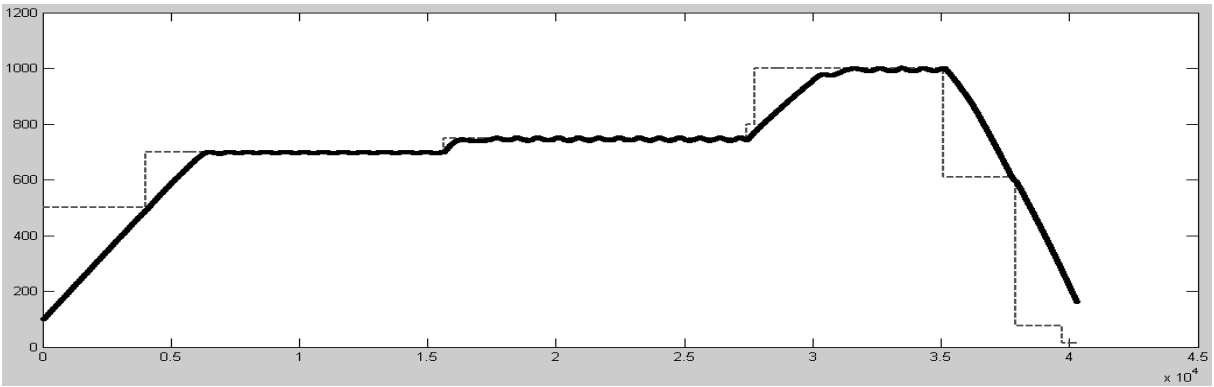
Bu örnek simulatör sistemin başarısını görebilmemiz için planlanmış basit bir keşif görevi senaryosudur. Kalkış meydanı olarak İstanbul Atatürk Havalimanını (LTBA) ve iniş meydanı olarak da Yalova Askeri Havaalanı (LTBP) örnek meydanlar olarak seçtik. Keşif görevinin temsili amacını ise Marmara Denizi'nde bulunan Sedef Adasının fotoğraflarını çekmek olarak belirledik. Bu ada yerleşime açık bir adadır ve herhangi bir askeri özelliği bulunmamaktadır. Bu çalışmada bu adadaki olası bir yangın ihbarını değerlendirmek üzere havadan resimlerini almak amacıyla İHA görevi icra edeceğiz.



Şekil 16. Simülatör Ortamında Uygulanan Örnek Uçuş Planı

Kalkış meydanımızı belirlememiz ardından Görev Planlama arayüzümüzden faydalanark görevin esnası sırasında İHA'mızın sırasıyla uğramasını planladığımız yol noktalarını sırasıyla belirlemeliyiz. Kalkış meydanı olarak seçtiğimi Atatürk Havalimanının ticari uçuş yoğunluğu çok yüksek olduğundan kalkışımızı bir SID (Standart Instrument Derparture) ye uygun olarak planlamamız gerekmektedir. Aynı zamanda iniş meydanımız olan Yalova Meydanı askeri bir havalimanı olduğundan, inişimizi de TACAN usullerine uygun olarak planlayacağız. Bu durumda uçuş planımız Şekil 16'daki benzer bir rota olacaktır.

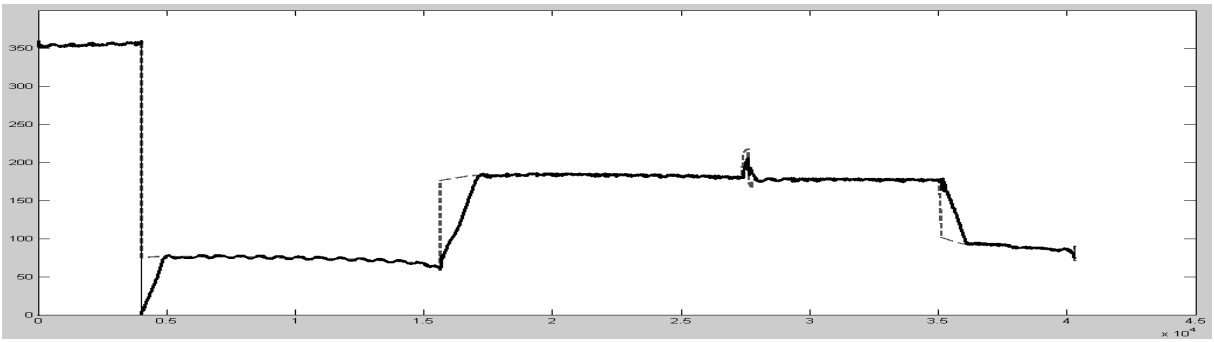
6. Örnek Görev Uçuşu Sonuçları Ve Değerlendirmeler



Şekil 17. İrtifa / Zaman Diyagramı (metre / simülasyon zamanı)

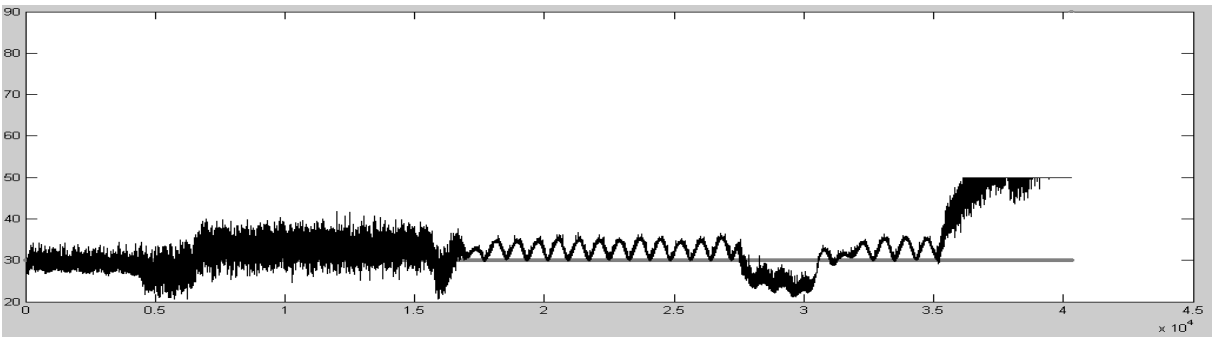
Şekil 22'den de görüleceği üzere test rotası üzerinde İHA platformunun istenen irtifa değerlerini başarı ile sağladığı anlaşılmaktadır. İstenen irtifaya platform fiziksel özelliklerinin el verdiği en hızlı sürede ulaşmış ve alçalışta da istenen irtifayı istenen noktada elde etmeyi başarmıştır. Bu ölçümler rastgele gelişen rüzgârın bozucu etkileri altında elde edilmiştir. İHA platformu istenen irtifalara ±50 metre hata ile ulaşmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirirken platformun maksimum hücum açısı +25 ile -20 derecelerinde sınırlandırılmıştır. Böylece aşırı hızlanma ve stall durumlarından kaçınılmıştır. Bu noktada bu çalışma kapsamında otonom

uçuşta geliştirilen bulanık mantık kontrolleri ve manüel uçuşta operatör istenen irtifaları başarı ile sağlamıştır diyebilmekteyiz.



Şekil 18. Uçuş Başı / Zaman Diyagramı (derece / simülasyon zamanı)

Şekil 18 ise bize uçulan rota üzerinde uçuş esnasında tutulması istenen uçuş başları ile o anki uçuş başlarını göstermektedir. Rastgele rüzgâr etkisi altında icra edilen uçuş neticesinde otonom ve manüel uçuş koşulları altında tutulması gereken uçuş başı açılarının başarı ile yerine getirildiği görülmektedir. İstenen hücum açışına erişmek hususunda yaşanan gecikmelerin en büyük nedeni yatış ve kayış açılarının istenmeyen durumlara girmemek için uçuş zarfı tanımlamasında belirtilen değerler ile sınırlandırılmış olmasıdır.

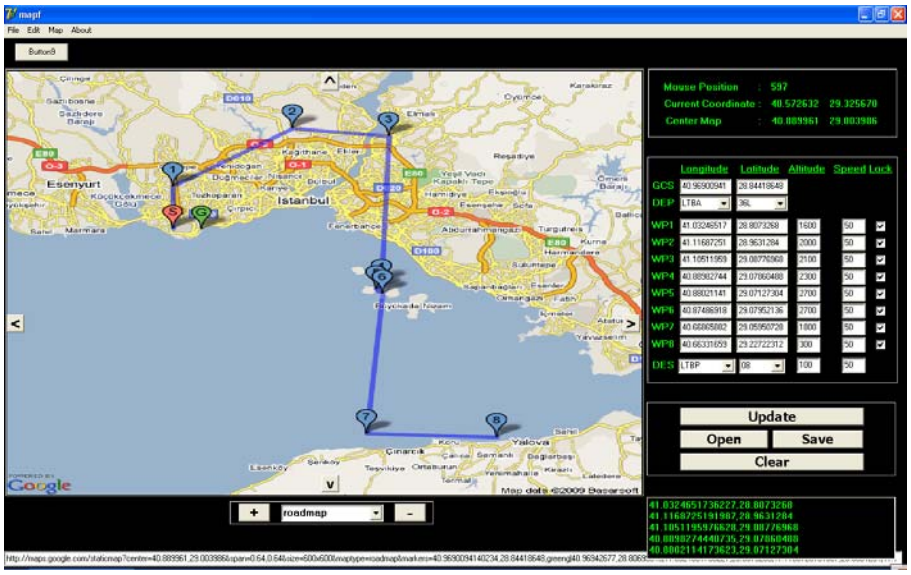


Şekil 19. Hava Sürati / Zaman Diyagramı (metre/saniye / simülasyon zamanı)

Hava süratindeki değişimler şekil 19'da görüldüğü biçimde gerçekleşmiştir. Uçuşun bu safhası boyunca istenen hava sürati 30 m/s olarak sabitlenmiştir. Şekilden de anlaşılacağı biçimde rüzgarın bozucu etkisi altında değerlerde çok hızlı değişimler ölçülmüştür. Otonom uçuş süresince istenen hava süratini tutmakta zorluklar yaşanmıştır. Bunun en büyük sebebi bulanık mantık kontrollerinin hava süratini tutmak için sadece gaz kolundan faydalanmalarıdır. Şayet gaz koluna paralel olarak hücum açısında bir kontrol mekanizması hava süratine bağlı olarak geliştirilse idi bu değerlerin istenen değerlere daha yakın olacağı öngörülmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında görülmek istenen sonuçlardan birisi de gaz kolunun hava sürati üzerindeki etkisinin ölçülmesidir.

Şekil 20'den uçulması planlanan uçuş rotası görülebilmektedir. Simülatör çalıştığı sürece İHA platformunun anlık konum bilgisi bir grafik üzerinde tutulmaktadır. Bu grafik şekil 21'den görülebilir. Bu grafik yaklaşık 100 km x 100 km'lik bir alan üzerinde GPS tabanlı koordinat sistemine göre çizilmiştir. Şekil 21'de görülen icra edilen uçuş rotası ile şekil 20'de görülen

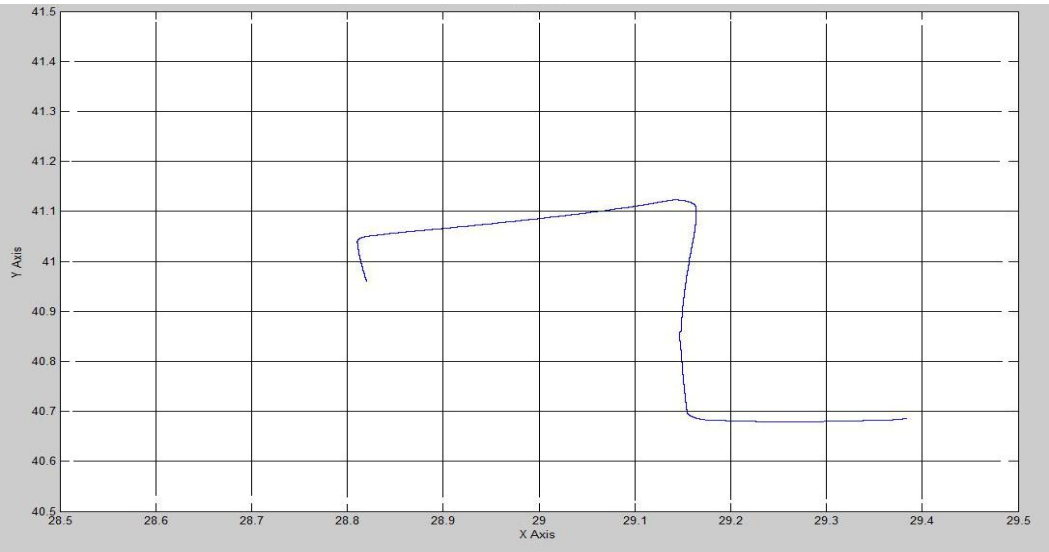
uçulmak istenen rota verileri karşılaştırıldığında, simülatörün rüzgarın bozucu etkileri de göz önüne alındığında rotayı başarı ile uçtuğu gözlemlenmektedir. İHA platformu test uçuş paterni üzerindeki istenilen noktalara 01 derece (00’ 00’’ 010 GPS tabanında) hata payı ile ulaşmıştır.



Şekil 20. İHA simülatörü Görev Planlama ve Platform Takip Ekranı

Bu çalışma kapsamında geliştirilen bulanık mantık tabanlı görev bilgisayarı seyrüsefer modülünün amacı mümkün olduğunca az operatör müdahalesi ile İHA platformunun tanımlanan uçuş paternini icra etmesidir. İniş ve kalkış süreçleri haricinde İHA platformumuz istenilen rotayı başarılı bir biçimde icra edebilmektedir. Bu rotanın icrası esnasında platformumuzun istenmeyen uçuş durumlarına düşmemesi de bir noktaya kadar sağlanmıştır. Simülatör çerçevesinde geliştirilen bu otonom uçuş modülü ile bir İHA operatörüne otonom uçuş ile ilgili temel bilgilerin verilebilmesi için gerekli altyapı sağlanmıştır. Özellikle operatörlerin İHA sisteminin otonom uçuşunu anlamaları açısından simülatör bu işlemi gerçekleştirerek başarılı olmuştur. Rüzgâr gibi bozucu etkiler ve yanlış uçuş rotası planlanması durumunda İHA platformunun her an istenmeyen bir duruma ya da çok farklı bir rotaya sapabileceği operatörlerin kavrayabileceği biçimde görsel öğeler ile desteklenerek gösterilmiştir.

Ayrıca bu çalışma kapsamında otonom uçuş ile normal insanlı hava araçlarının kullandığı SID ve TACAN gibi alet ve alçalma usullerinin İHA sistemleri tarafından belli bir noktaya kadar otonom biçimde icra edilebileceği de gösterilmiştir. İHA sistemlerinin görsel ara yüzleri bu simülatör kapsamında mümkün olduğunca benzetilmeye çalışılarak operatörün bu göstergelere hâkim olması açısından önemli bir eğitim ortamı sağlanmıştır. Bir matematiksel İHA modeli simülatör geliştirilmesi kapsamında ortaya konularak, simülatörün bilgisayar sistemleri gibi diğer sistemlerinde yapılan değişikliklerin doğrudan uygulanmadan önce sınanabileceği ve sonuçlarının görülebileceği bir ortamda bu çalışma kapsamında kazanılmıştır.



Şekil 21. İHA Platformu Konum Gösterim Diyagramı (Enlem/Boylam GPS koordinat sisteminde)

Bulanık mantık denetleyicileri ile otonom bir uçuş yapma imkânının varlığı da bu çalışma kapsamında ortaya konmuş ve sonuçlar görsel öğeler ile desteklenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarımızda simülatörümüze otonom uçuş ve kalkış imkânın eklenmesi gibi günümüzde İHA sistemlerinde yaygın kullanılan mekanizmaları yerleştirerek yeni teknolojileri gösterebilecek bir yapı haline getirmeyi amaçlamaktayız. Basit mimarisi ve maliyet etkin bir çözüm olması açısından simülatörümüzün başarılı bir çalışma olduğunu ve günümüzde İHA sistemlerinin eğitim ve geliştirme gibi çalışma alanlarında kullanılabilir bir yapı olduğu kanaatindeyiz.

Referanslar

[1] Frank L. Lewis and Brian L. Stevens, *Aircraft Control and Simulation*, Wiley Interscience, ISBN 0-471-61397-5, (1992)

[2] C. Rodney Hanke, *The Simulation Of A Large Jet Transport Aircraft Volume I: Mathematical Model*, NASA CR-1756, (1971)

[3] Max Baarspul, *A Review Of Flight Simulation Techniques*, Progress in Aerospace Science, Vol. 27, (1990)

[4] L.Doitsidis, K.P. Valavanis, N.C. Tsourveloudis, M. Kontitsis, *A Framework For Fuzzy Logic Based UAV Navigation And Control*, International Conference on Robotics and Automation, Volume 4, Page(s): 4041 – 4046, (2004)

[5] Sefer Kurnaz , Omer Cetin and Okyay Kaynak , *Fuzzy Logic Based Approach to Design of Flight Control and Navigation Tasks for Autonomous Unmanned Aerial Vehicles,* Journal of Intelligent and Robotic Systems, Volume 54, Numbers 1-3, (2009)

[6] C.J.Schumacher, Rajeeva Kumar, *Adaptive Control Of Uavs In Close-Coupled Formation Flight*, American Control Conference, Volume 2, Page(s):849 – 853, (2000)

[7] W.R.Dufrene, Jr,, *Application Of Artificial Intelligence Techniques In Uninhabited Aerial Vehicle Flight*, The 22nd Digital Avionics Systems Conference, vol.2, Page(s):8.C.3 - 8.1-6, (2003)

[8] Y.Li, N. Sundararajan, P. Sratchandran:, *Neuro-Controller Design For Nonlinear Fighter Aircraft Maneuver Using Fully Tuned RBF Networks*, Automatica, Vol.37, pp. 1293-1301, (2001)

[9] J.A.Marin, R.Radtke, D.Innis, D.R.Barr, A.C.Schultz, *Using A Genetic Algorithm To Develop Rules To Guide Unmanned Aerial Vehicles*, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, vol.1, Page(s):1055 - 1060, (1999)

[10] W.Ren, R.W.Beard, *CLF-Based Tracking Control For UAV Kinematic Models With Saturation Constraints*, The 42nd IEEE Conference on Decision and Control, vol.4, Page(s):3924 - 3929, (2003)

[11] L. Doitsidis, K. P. Valavanis, N. C. Tsourveloudis, M. Kontitsis, *A Framework For Fuzzy Logic Based UAV Navigation And Control*, IEEE International Conference on Robotics & Automation New Orleans, LA, (2004)

[12] Verbruggen, Zimmerman, Babuska, *Fuzzy Algorithms for Control*, Kluwer Academic Publishers, U.S.A.(1999)

[13] Schumacher, C.J., Kumar, R., *Adaptive Control Of UAVs In Close-Coupled Formation Flight*, American Control Conference 2, Page(s):849-853, (2000)

[14] Andrievsky, B., Fradkov, A., *Combined Adaptive Autopilot For An UAV Flight Control*, International Conference on Control Applications, Page(s): 290-291, (2002)

[15] Ren, W., Beard, R.W., *CLF-based Tracking Control for UAV Kinematic Models with Saturation Constraints*, 42nd IEEE Conference on Decision and Control, (2003)

[16] W. Banks, G. Hayward, *Fuzzy Logic in Embedded Microcomputers and Control Systems*, Published by Byte Craft Limited A2-490 Dutton Drive Waterloo, Ontario Canada, (2001)

[17] Sundararajan, Y.Li, N., Sratchandran, P., *Neuro-Controller Design For Nonlinear Fighter Aircraft Maneuver Using Fully Tuned RBF Networks*, Automatica 37, Page(s): 1293-1301, (2001)

[18] Kurnaz, S., Kaynak, O. and Konakoğlu, E., *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Based Autonomous Flight Control Of Unmanned Air Vehicles*, Advances in Neural Networks, (2007)

[19] Aerosim, Aeronautical Simulation Block Set v1.1, Users Guide, www.u-dynamics.com, Baldonado, M., Chang, C.-C.K., Gravano, L., Paepcke, A., The Stanford Digital Library Metadata Architecture. Int. J. Digit. Libr. Page(s):108–121 (1997)

[20] *Google Earth KML Tutorial*, http://code.google.com/intl/tr/apis/kml/documentation/kml_tut.html [Last Reached 12.Feb.2009]

[21] *Google Maps API Concepts,* http://code.google.com/intl/tr/apis/maps/documentation/ [Last Reached 12.Feb.2009]

[22] *FlightGear Open-source Flight Simulator*, www.flightgear.org [Last Reached 12.Feb.2009]

[23] Dathbun, D., Kragelund, S., Pongpunwattana, A., Capozzi, B., *An Evolution Based Path Planning Algorithm For Autonomous Motion Of A UAV Through Uncertain Environments*, 21st Digital Avionics Systems Conference 2, (2002)

[24] Schiller, I., Draper, J.S., *Mission Adaptable Autonomous Vehicles. IEEE Conference On Neural Networks For Ocean Engineering* , Page(s): 143–150, (1991)

[25] *Aerosonde – Global Robotic Observation System*, www.aeronde.com [Last Reached 12.Feb.2009]

TAKTİK KOMUTA, KONTROL VE BİLGİ SİSTEMLERİNDE GENİŞLEYEBİLİR İŞARETLEME DİLİ İLE BİÇİMLENDİRİLMİŞ MESAJ TEKST FORMATI (XML-MTF)'NIN KULLANILMASI*

Hüseyin SAYIN [(a)], Ahmet COŞAR [(b)]

[(a)] Kara Kuvvetleri Eğitim ve Doktrin Komutanlığı, Ankara, hssayin@yahoo.com

[(b)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, acosar@metu.edu.tr

ÖZ

Bilgi yüzyıllardır askeri harekâtların merkezinde olmuştur. Muharebe sahasındaki komuta kontrol ortamı; komutanların yenilikler yapabilmesine ve süratle yeni görevler almasına imkân sağlaması maksadıyla bilgiyi bulacak, kolayca erişmesini sağlayacak, bunları işleyecek ve süratle karar vermesini sağlayacak araçlar sağlamalıdır. Sistemlerin birlikte çalışabilmeleri için "**bilgi merkezli"** bir yaklaşım gereklidir.

Son 40-50 yıldır, mesaj tekst formatları (MTF-metin tabanlı mesajlar) askeri harekâtların tüm safhalarında bilgi değişiminin temel araçlarından biri olmuştur ve olmaya da devam edecektir.

Artan askeri harcamalar, büyük hacimlerdeki bilginin bulunması, kolayca erişilebilmesi, işlenebilmesi ve karşılıklı olarak değiştirilebilmesi için askeri ve mevcut endüstri standartlarını kullanarak, belli askeri ihtiyaçları karşılayacak şekilde hazır ticari yazılımların benimsenmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu makalede, Taktik mesajlaşma çeşitleri ve Genişleyebilir İşaretleme Dili (Extensible Markup Language-XML) ile biçimlendirilmiş Metin Tabanlı Mesajların Taktik Komuta Kontrol ve Bilgi Sistemleri (TKKBS)nde kullanılabilirliği incelenmiş, XML ve Genişleyebilir İşaretleme Dili ile biçimlendirilmiş Metin Tabanlı Mesaj (XML-MTF)ların ne olduğu açıklanmıştır. En sonunda da, Kara Kuvvetleri Taktik Komuta Kontrol ve Bilgi Sistemlerinde XML teknolojilerinin etkin olarak kullanılabilirliğini doğrulamak için bir tugayın mesaj trafiği (formatlı mesaj) ve telsiz sistemleri üzerinden gönderilebilirliği, geliştirilen modelleme ve benzetim aracı ile test edilmiştir.

Ayrıca; günümüz modern silahlı kuvvetlerinin mesaj tabanlı bilgi değişim ihtiyaçları gözden geçirilerek önemli hususlara dikkat çekilmekte ve bu ihtiyaçları karşılamak için yapılması gerekenler vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: XML, MTF, XML-MTF, Birlikte Çalışabilirlik, Modelleme ve Simülasyon (MOS).

* Bu bildiride ifade edilen fikirler tümüyle yazarlara ait olup Türk Silahlı Kuvvetlerini ve bildiride adı geçen diğer kurum ve kuruluşları hiç bir surette bağlamamaktadır.

ABSTRACT

Information has been at the core of military operations through the ages. The battlespace command and control infosphere must support the commander for innovation and rapid acquisition of new mission with the means to find, to retrieve easily, to manipulate information and to rapid decision making. An "**information-centric**" approach is needed for systems to work together effectively.

Last 40-50 years, Message Test Formats (MTFs) have been one of the primary means for exchanging information to support the full spectrum of military operations and will have been going on.

Increasing military expenses makes the commercial off-the-shelf software adopted to meet unique military requirements to find, retrieve, process and exchange large volumes of information by using military and current industry standards.

In this article; the used tactical message types and Extensible Markup Language Message Text Format (XML-MTF)'s usability in Tactical Command and Control Information System (TC2IS) are examined, then what the XML and XML-MTFs are explained. Finally; message traffic (MTFs) which is sent by wireless radio of a brigade is simulated to verify that XML technology can be used effectively in Tactical Command Control and Information System (TC2IS).

In addition, important subjects are taken into consideration while MTF data exchange necessity of today's modern Armed Forces is examined and be emphasized what to do.

Keywords: XML, MTF, XML-MTF, Interoperability, C4I, Modeling ve Simulation (M&S).

1. GİRİŞ

Sayısal bilgi hızlı bir şekilde askeri faaliyetlere her yönüyle bütünleşmiştir. Gelecekteki askeri harekât, geçmişte olduğundan çok daha fazla karmaşık ve tahmin edilemez olacaktır. Harekâtlar artan bir zaman baskısı altında ve farklı şekiller alırken bilginin yönetimi askeri gücün merkezine doğru yaklaşmaktadır. Bilgi üstünlüğü muharebede fark yaratabilecek bir kuvvet çarpanı haline gelmiştir. Yeni bilgi çağı kavramları ve teknolojileri ile desteklenen komuta ve kontrol sistemleri, harekât ortamında komutanlara doğru bilgiyi, uygun biçimde, istediği **yerde ve zamanda** sağlayabilmelidir [1]. Bununla; komutanın emir ve niyetinin daha iyi anlaşılabilmesi, etkin müşterek planlama, yatay ve düşey uyum, paylaşılmış durumsal farkındalık, eş zamanlı etki ve operasyonel çeviklik elde edilmiş olacaktır. Komuta Kontrol ve Bilgi Sistemleri (KKBS)'nin ve karar verici unsurların bütünleşik bir sistem gibi etkin şekilde birlikte çalışmalarını sağlayabilmek için "bilgi merkezli" bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Bilgisayarlar ve sayısal muhabere vasıtalarından önce, ses tabanlı bilgi değişim süreçleri ve araçları tanımlanmış ve kullanılmaktaydı. Bilgisayarların icat edilmesiyle birlikte metin sese tercih edilmeye başlandı. Sonuçta; sesli iletişim sayısal metin tabanlı süreçlere dönüşmeye başladı.

MTF, son 40-50 yıldır yapılan askeri harekâtların tüm safhalarında temel bilgi değişim araçlarından biri olmuştur ve olmaya da devam edecektir MTF; Türk Silahlı Kuvvetleri(TSK)nin ana bilgi değişim araçlarından bir tanesidir. TSK de yıllardır yaptığı analizler sonucunda NATO ile uyum sağlama, komuta kontrol projelerinin karşılıklı çalışabilirlikleri ve bilgi değişimi çalışmaları kapsamında Mesaj Formatlama Sistemi (MEFORS) projesini başlatmış ve metin tabanlı bilgi değişim ihtiyaçlarını belgeye dayalı hale getirmiştir. Yapısal mesaj metin sözdizimine, biçimlerine ve uygulanmasına çok uzun zaman önce başlanmıştır ve hala kullanımdadır.

Bilgi değişim araçlarının maliyetlerini düşürebilmek için mevcut endüstri standartlarını kullanan; büyük hacimlerdeki bilginin bulunabilmesini, kolayca erişilebilmesini, işlenebilmesini ve karşılıklı olarak değiştirilebilmesini sağlayan araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı teşkilatlar/kurumlar arasında bilgi değişiminin sağlanabilmesi için özel biçimler gerekmektedir. Bu arayışlar, bu çalışmanın da amacı olan belli askeri ihtiyaçları karşılayan ve kolay uyum sağlayan hazır ticari yazılım arayışlarını artırmıştır. Askeri bilgi sistemleri ile ticari bilgi sistemlerinin ihtiyaçlarının örtüştürülmesi ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır.

Genişleyebilir İşaretleme Dili (XML) teknolojisi ve standartları özellikle savunma uygulamaları için geliştirilmemiş olmasına karşın temel askeri mesajlaşma ihtiyaçlarını da kapsayacak şekilde gelişmesini sürdürecek gibi görünmektedir. XML; askeri bilgi standartlarının ticari teknolojilerle yenileştirilmesinde ve geliştirilmesinde kullanılabilir.

XML, metin tabanlı mesajlarda kullanılabilir. Fakat, XML gerekenden çok fazla sözle ifade edilebilmektedir. XML belgelerinin içinde gereğinden fazla veri bulunmaktadır. Böyle olmasına rağmen, XML'in metin tabanlı mesajlarda kullanılma çabaları başarıya ulaşacak gibi görünmektedir. Mevcut bilgi değişim yöntemlerine göre düşük maliyetli, geliştirilmiş bir seçenek sunmaktadır. Bütün bu çalışmalar başarıya ulaşırsa, XML savunma sistemleri için daha iyi karşılıklı çalışabilirlik ve daha fazla yetenekler sunmaktadır. Fakat XML'in tek başına kullanılması düşünülmemelidir.

Bu çalışmalar, bütün XML etiketlerinin ve Belge Türü Tanımlamaları (DTDs)nın uyması gereken ve kaynak olarak kullanabileceği mükemmel bir model sağlar. Savunma bilgi değişim sözdizimi ve güçlü yazılım endüstrisinin faydalarını kullanarak, XML K.K.K.lığı KKBS'sine düşük maliyetlerde daha iyi karşılıklı çalışabilme ve daha fazla yetenekler sunabilir.

Çalışma bütününde izlenen yöntem şu şekildedir. İkinci bölümde; muharebe sahasındaki bilgi değişimi, taktik sahadaki askeri bilgi değişim standartları, askeri mesajlarla bilgi değişim mekanizmalarının son durumları ile XML teknolojisinin gözden geçirilmesi detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü bölümde XML ile ilgili literatürde yer alan çalışmalar özet olarak sunulmuştur. Bir sonraki bölümde; hayali olarak modellemiş bir tugayın MTF ve XML MTF kullanılması durumunda taktik sahadaki iletişim alt yapısının yeterliliği geliştirilen "Komuta ve Kontrol Mesajlaşması için Ağ Benzetim Aracı" ile araştırılmıştır. Son bölümde ise çalışmamızdan elde ettiğimiz bulgular ışığında XML-MTF'in taktik KKBS'lerde kullanılabilirliği konusunda genel bir değerlendirme yapılmış ve müteakip çalışmalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. ASKERİ BİLGİ DEĞİŞİM STANDARTLARI

Modern dünyada, KKBS'nin etkinliği; karargâhlar (kamu kurumları ve savunma kuruluşları) ve harekât alanındaki birlikler arasında uygun zamanda, uygun yerde, sürekli ve anlaşılabilir bilgi değişiminin yapılabilmesine bağlıdır. Eski sistemlerin günümüzdeki gelişmiş veritabanı ve bilgi değişim teknolojileriyle değiştirilmesinin maliyetleri mutlaka göz önüne alınmalıdır. Mevcut sistemlerle harekât alanındaki ihtiyaçların karşılanmasını sağlayacak maliyet etkin çözümlere ihtiyaç vardır.

Bunun için büyük hacimlerdeki bilginin bulunabilmesini, kolayca erişilebilmesini, işlenebilmesini ve farklı teşkilatlar/kurumlar arasında karşılıklı olarak değiştirilebilmesini sağlayan özel biçimlere ve araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. KKBS'lerin karşılıklı çalışma problemlerinin çözülmesi için bazı temel askeri bilgi değişim standartları kullanılmaktadır. Temel askeri bilgi değişim standartlarını;

1. İkili (Binary) sistem uyumlu veri değişimi,
2. MTF'le bilgi değişimi,
3. Veri tabanları arası bilgi değişimi

olarak sayabiliriz.

2.1. İkili sistem uyumlu veri değişimi

İkili sistem uyumlu veri değişimi genellikle Taktik Veri Bağlantıları (TVB) (**T**actical **D**ata **L**inks-**TDLs**)na dayanır. TVB; deniz ve hava komuta kontrol sistemlerinde durumsal farkındalığı desteklemek için özel bir bilgi alt yapısı sağlar. TVB'yi kullanan sistemler arasında; hava araçları muharebe sistemleri, gemiler, komuta ve kontrol birimleri, yer konuşlu hava savunma birlikleri ve süratli sayısal bilgi değişimine ihtiyaç duyan diğer taktik muharebe sistemlerini sayabiliriz.

İkili sistem uyumlu veri biçimlerine;

1. Taktik Bağlantılar (Tactical Links),
2. Sabit Uzunluktaki Mesaj Biçimi (Fixed Message Format-FMF),
3. Değişebilir Uzunluktaki Mesaj Biçimi (Variable Message Format-VMF)ni

sayabiliriz.

2.1.1. Taktik Bağlantılar (Tactical Links)

Taktik bağlantılar; genellikle hava savunma birlikleri radar, komuta ve ateş unsurları arasındaki bilgi değişimi, komuta ve kontrol merkezleri ile müşterek hava ve deniz bölgesi harekât merkezleri (kara konuşlu hava savunma birlikleri, deniz kuvvetleri radarları ve uçaklar) arasındaki keşif bilgilerinin (radar kapsama alanı görüntü bilgileri) değişiminde kullanılır. Taktik bağlantılara Link1, Link-4/4A, Link-11/11B, Link-16, Link-22'yi sayabiliriz [2].

2.2. 2. Sabit Uzunluktaki Mesaj Biçimi (SUMB)

Sabit Uzunluktaki Mesaj Biçimi (SUMB) (Fixed Message Format-FMF), iletişim araçlarının bant genişliklerinin sınırlı olduğu muharebe ortamlarında gerçeğe yakın zamanlı veri değişimi için kullanılır. Hava savunma birliklerinin bilgi değişimi, keşif ve

gözetleme bilgilerinin değişimini desteklemek, görev verme, silah atamaları ve kontrol verilerinin değişimini desteklemek maksadıyla geliştirilmiştir. Verinin biçimine bakılmaksızın verinin her bir ikili sayının/bitin (1, 0 verisi) sıralamasının ne anlama geldiği konusunun kararlaştırılmış olması gerekir. İnsanlar tarafından okunamaz.

2.2.3. Değişebilir Uzunluktaki Mesaj Biçimi (SUMB)

Değişebilir Uzunluktaki Mesaj Biçimi (DUMB) (Variable Message Format-VMF), iletişim araçlarının bant genişliklerinin sınırlı olduğu muharebe ortamlarında gerçeğe yakın zamanlı veri değişimi için kullanılır. SUMB; mesaj, veri elemanı ve iletişim protokolünden oluşur. Link-16 SUMB mesajlarının gönderilmesinde kullanılan bir alt yapıdır. Mesajın metin içeriği, iletişim ve ağ fonksiyonlarından ayrılır. Hem mesajın içerdiği bilgi alanlarının hem de mesajın uzunluğunun değişken olmasından (Sadece bilgi içeren alanlar gönderilir.) dolayı uygulaması karışık ve zor bir protokoldür. Karaktere yönelik MTF ve ikili sistem uyumlu (bit-oriented) taktik bağlantı mesaj standartlarını içerisinde barındırmasından dolayı, muharebe sahasının sayısallaştırılmasında karşılıklı çalışabilirlik ve bant genişliği sorunlarını çözmekte yaygın olarak kullanılan bir araçtır.

2.3. Veri tabanları arası bilgi değişimi

Veritabanları günümüzde en yoğun kullanılan veri saklama araçlarındandır. Farklı veritabanları kullanan, tümleşik ve saydam olarak karşılıklı, uyum içinde çalışabilen sistemler veriye yönelik yöntemlere (metodolojilere) ve teknolojilere ihtiyaç duyarlar. Bu ihtiyaçları karşılamak için tüm sistemlerin aynı veriyi kullandığı ortak veritabanları ile yapmak kolay bir yoldur. Bilgi ve bilgi değişim ihtiyaçları bir veri modelinde tanımlanarak sistemler arasındaki bütünleşme (entegrasyon), karşılıklı çalışabilirlik, esneklik ve etkinlik kolayca sağlanabilir. Kara Kuvvetleri Komutanlığı; KKBS'leri arasında bilgi değişimi yapabilmek ve NATO ülkeleri KKBS'leri ile de kolay bilgi değişimini sağlayabilmek maksadıyla NATO LC2IEDM (Land Command and Control Information Exchange Data Model) veri modelini esas alan Kara Kuvvetleri Bilgi Değişim Veri Modeli (KKBDVM)'ni ve değişim mekanizmasını geliştirmiştir.

3. XML VE XML'LE BİÇİMLENDİRİLMİŞ MESAJLAR

3.1. İŞARETLEME DİLLERİNE VE XML'E GENEL BAKIŞ

İşaretleme terimi sayısal belgeleri etiketlemek maksadıyla; metinin görünüşünü, biçimini değiştirmek, belgenin yapısını ve anlamını belirlemek maksadıyla yazıcı, internet gibi araçlara çıktısının alınmasını ifade etmek maksadıyla kullanılmaktadır. Bunların genel olarak en yaygın olarak kullanılanları RTF (Rich Text Format), HTML (Hypertext Markup Language), SGML (Standard Generalized Markup Language) ve XML'dir. The World Wide Web Consortium (W3C) tarafından 1996'da tanımlanmış, 1998'de genel maksat bilgi değişim standardı olarak onaylanmıştır.

XML'le biçimlendirilmiş bir belge (ya da bir kısım bilgi/veri) temel olarak üç ana bölümden oluşur: yapısı, içeriği ve biçimi. İçerik, sunum biçimi ve arayüz kuralları XML cümlelerinden ayrılmıştır. Bu bir eksiklik değil, kalite özelliğidir. Web'deki telsiz telefonlar, kişisel sayısal yardımcılar (personal digital assistant-PDA), vb. araçlardaki görüntüleme, bant genişliği, hafıza ve işlemci kısıtlarından dolayı yeniden yapılandırma çalışmaları sonucunda ortaya çıkmıştır. XML'in söz dizimi bilgisayarlar ve insanlar

tarafından kolayca okunabilir. Lisans ücreti yoktur. Platform ve satıcı bağımsızdır. Endüstride yaygındır. İnternette en yaygın desteklenen yapıdır. XML belgenin bir defa yazıldıktan sonra birçok ortam ve araçta yayınlanmasına imkân sağlar.

XML tek başına kullanılmaz. XML Belge Türü Tanımı (Document Type Definition-DTD), XML Şema, XML Ad Uzayı (Namespaces), Belge Nesne Modeli (Document Object Model-DOM), Biçim Sayfası Dilleri (Basamaklı Biçim Sayfaları-CSS, Genişleyebilir Biçim Sayfası Dili-XSL), Genişleyebilir Bağlama Dilleri-XLL (Genişleyebilir Bağ Dili-XLink, XML İşaret Dili-XPointer) teknoloji ailesinden oluşur.

3.2. XML'LE BİÇİMLENDİRİLMİŞ MESAJ TEXT FORMATI (MTF)

Askeri bilgi sistemlerinin karşılıklı çalışmaları ve bilgi değişimi için yaygın olarak kullanılan araçlardan bir tanesi de metin tabanlı mesajlar (MTF)dır. MTF'ler karakter/metin tabanlı olmalarından dolayı insanlar tarafından kolaylıkla okunabilir ve anlaşılabilirler.

NATO'da kullanılan MTF sistemleri; mesajların uygulamalar tarafından okunabilirliğini ve içindeki bölümlerin ayrıştırılmasını sağlamak için ayraç olarak bölme işareti (eğik çizgi) kullanmaktadır. Şekil 1'de de örneği görülen ADatP-3 (Allied Data Publication Number 3) kurallarını kullanan)'ta hem elle hem de bilgisayarda kullanılabilen standart hale getirilmiş, karakter uyumlu metin tabanlı mesajların kuralları, yapıları ve sözlükleri tanımlanmıştır.

Askeri mesajlarla sayısal bilgi değişiminin kolaylıkla yapılabilmesi için birçok standart geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; NATO ADatP-3, USMTF, ADFORMS ve VMF'dir. NATO ADatP-3'ün kullandığı bu mesajlardaki süreçler hem kullanıcı tarafından kullanılabilirliği kolay değildir, hem de verileri işlemek için geliştirilen programlar pahalıdır.

XML'in hem insanlar tarafından okunabilirliği, hem de bilgisayarlar tarafından kolay işlenebilmesi bilgi değişiminde yaygın bir araç olmasının yanı sıra, biçimlendirilmiş verilerle yapılandırılmamış gerçek dünya arasındaki köprü oluşturmuş olur[3]. Aynı zamanda askeri bilgi standartlarının ticari teknolojilerle değiştirilmesine de bir başlangıç olabilir. XML; askeri birliklerin/karargâhların kendi aralarında mesajla bilgi değişiminin yanı sıra, diğer kamu kurumları ile bilgi değişimi ihtiyaçlarının karşılanması için de uygun bir araç olabilir.

XML'in insanlar tarafından kolay okunabilmesi ve makineler/bilgisayarlar tarafından hızlı işlenebilmesi, karar vericilerin bilgileri hazmetmeleri için çok az zamana sahip oldukları ortamlar için çok kritiktir. XML'le düzenlenmiş MTF'leri, önceden geliştirilmiş programların anlayabileceği şekile dönüştürecek çok küçük bir modülün hazırlanması yeterli olacaktır. Ayrıca XML'in kullanılması durumunda; bu mesajlarda bilgiyi yapılandırmak için gerekli olan kurallar tanımlanacaktır. NATO AdatP-3 mesaj kuralları 174 sayfa iken XML kuralları 40 sayfadır.

XML; çok karmaşık yapılandırılan bu standartların üstünde yaygın olarak kullanılabilecek bir yapı oluşturulmasını sağlayabilir. Askeri standartların XML sürümlerinin oluşturulması oldukça kolay olacaktır. NATO; AdatP-3'le biçimlendirilmiş mesajların XML sürümlerini oluşturarak isteyen ülkelerin kullanımına sunmuştur.

XML; verinin kullanılmasını ve karşılıklı olarak değişimini daha da kolaylaştırır. Kullanıcılar tarafından daha kolay düzenlenebilir. XML; dosya boyutunu büyük ölçüde artırır. Şekil 1'de görüldüğü gibi XML'le biçimlendirme, metin içinde kullanılan karakter sayısını 2-10 kat artırır. Kısacası XML'le biçimlendirilmiş metin/belge içinde; öznitelik adları, elemanlar, yazılmayan karakterinde bulunduğu gerekenden çok fazla veri bulunmaktadır. Bundan dolayı sıkıştırma için en uygun adaydır.

AdatP-3'LE BİÇİMLENDİRİLMİŞ MESAJ

……
HAVAHRK/020200Z/6/TU/F16/İN:**401**/
/YÜKSEKLİK:**12000FT**//
……

XML-MTF MESAJI

<hava_harekatı_veri>
<tarih-saat> **020200Z** </ tarih-saat >
<miktar> **6** </miktar>
<ülke> **TU** </ülke>
<ucak_tipi> **F16** </ucak_tipi>
<iz_no> **401** </iz_no>
<yükseklik> **12000 ft** </yükseklik>
...
</ hava_harekatı_veri >

Test maksatlı olarak çeşitli boyutlarda 30 adet AdatP-3 ve XML eşleniği olan mesajlar oluşturularak; yaygın olarak kullanılan çeşitli sıkıştırma programları ile sıkıştırma zamanlarının göndermeye etkileri incelenmiştir. Bu deney sonucunda dosya boyutu küçük olan mesajlarda çok büyük bir fark olmadığı görülmüştür. Oluşturulan XML'le biçimlendirilmiş mesajların metin bölümleri, boş etiket dosyalarının boyutlarından büyük olduğunda ve mesaj dosya boyutu Megabyte'lar seviyesine çıktığında dikkate alınabilir. Çok büyük (10-20 megabyte) boyuttaki XML belgelerinin diskte kapladığı alanın fazlalığı, kullandığı hafızanın büyüklüğü ve işlemci (CPU)'ye getirdiği ek yükten dolayı çok kullanışlı olduğu söylenemez. Doğru sıkıştırma yönteminin seçilmesi bazen doğru veri gösteriminin seçilmesinden daha az önemlidir.

4. KOMUTA VE KONTROL MESAJLAŞMASI İÇİN AĞ BENZETİM ARACI

4.1. KAVRAMSAL GÖZDEN GEÇİRME

MTF bütün askeri birlikler için hayati öneme sahiptir. XML, metin tabanlı mesajlarda kullanılabilir. Fakat XML gerekenden çok fazla sözle ifade edilebilmektedir. XML belgelerinin içinde gereğinden fazla veri bulunmaktadır. İletişim araçlarının bant genişliklerinin sınırlı olduğu muharebe ortamlarındaki ihtiyaçlar ile birliklerin teşkilat yapıları çok iyi analiz edilerek en iyi ağ yapısı geliştirilmelidir. Bu maksatla bir tugay komutanlığı; tüm muharip ve muharebe destek unsurlarıyla birlikte komuta kontrol bağlantıları ve kullandıkları iletişim araçları modellenerek, AdatP-3 ve XML ile biçimlendirilmiş mesajların kullanılması durumundaki bant genişliklerinin yeterlilikleri geliştirilen "Komuta ve Kontrol Mesajlaşması için Ağ Benzetim Aracı" kullanılarak araştırılmıştır. Bu araç; birlikler ile ast birlikleri arasındaki mesajlaşmanın modellenmesi ve analizinin yapılması maksadıyla geliştirilmiştir.

4.2. Benzetim Aracının Fonksiyonel ve Davranışsal Yetenekleri

"Komuta ve Kontrol Mesajlaşması için Ağ Benzetim Aracı" ile birlik türleri, birlikler, tanımlanan birlikler arasındaki iletişim bağlantıları, bağlantıların kapasiteleri, birlikler tarafından kullanılan mesaj türleri, mesaj bilgileri (boyutu, XML dönüştürme faktörü, sıkıştırılmış dosya boyutu, sıkıştırma süresi, vb.), birlikler arasında gönderilen mesaj miktarları, vb. değişkenler kullanılarak olarak tanımlanabilmektedir. Birliklerin

aralarındaki iletişim araçlarından; farklı biçimlendirilmiş mesaj alternatiflerine göre gönderilen mesajların benzetimi yapıldıktan sonra, her bir iletişim hattının mesajlaşma trafiğinin karşılaştırmalı analizinin yapılması maksadıyla çeşitli grafikler oluşturulabilmektedir.

4.3. Kullanılan Mantık ve Algoritmalar

Hattın Meşgul Olduğu Zamanlarının Üretilmesi: Askeri telsiz muhabere araçları; muharebede mesaj göndermek için telsiz susması, düşman elektronik karıştırması, en önemlisi ses haberleşmesi gibi nedenlerden dolayı her zaman uygun olmazlar. Bundan dolayı telsiz susmasının başlangıç ve bitiş saatleri, gün içindeki hattın sürekli olarak meşgul olacağı saatlerin rastgele üretilmesi için hattın en az ve en çok meşgul edilme zaman dilimleri, hat meşgul sürelerinin rastgele üretilebilmesi için hattın toplam meşgul olma süresinin belirlemesine ihtiyaç duyulan değişkenler tanımlanmaktadır. Bu sınırlamalar dâhilinde her bir mesajın gönderme zamanları (saati, dakikası ve saniyesi) rastgele üretilir.

Mesaj Gönderme Süreci: Mesajların başlık ve gövde kısımları kullanılarak mesaj boyutu hesaplanır. XML mesaj boyutları XML dönüşüm faktörleri (başlık ve gövde metni için ayrı ayrı) kullanılarak hesaplanır. Mesajlar gönderilme zamanlarına ve önceliklerine göre bir kuyrukta sıralanır. Hatların meşgul olmasını kontrol edilmesini müteakip boş olduğunda gönderilir. Hat meşgulse, hat uygun olana kadar bekleme kuyruğuna alınır. Hattın serbest olduğunda bekleme kuyruğundaki tüm mesajlar gönderilir.

4.4. Varsayımlar ve İlişkiler

Hayali olarak oluşturulan bir tugay; bölük seviyesine kadar modellenmiştir. Muhabere alt yapısı (ana muhabere hatları) için tugayın hiyerarşik yapısı dikkate alınmıştır. Komuta ilişkisi olan her bir birlik için ayrı bir veri hattı tahsis edilmiştir. Her bir hatta kullanılan cihazların (el telsizleri, araç telsizleri, vb.) farklı olmasından dolayı bant genişlikleri ayrı ayrı tanımlanmış ve kullanılmıştır. Zaman Paylaşımlı Çoklu Erişim (TDMA) imkânı olan telsizlerde ses ve veri haberleşmesinin birbirinden etkilenmediği farz ve kabul edilmiştir. Bir birliğin sadece üs, ast ve yanındaki birliklere mesaj gönderebildiği varsayılmıştır.

Her bir mesaj türü sekiz farklı boyutta (normal, en az, ortalama, en çok, XML, en küçük XML, ortalama XML, en büyük XML ve bunların sıkıştırılmış biçimleri) tanımlanmıştır. Dosya sıkıştırma süresi; ortalama dosya boyutu "Cabinet Maker" sıkıştırma programı kullanılarak otomatik olarak hesaplanmıştır. Ortalama dosya boyutu ile sıkıştırılmış dosya orantılanarak sıkıştırma oranı hesaplanmıştır. Sıkıştırma oranı; diğer dosyaların boyutlarıyla çarpılarak sıkıştırılmış dosya boyutları hesaplanmıştır. Ortalama mesaj boyutunun 1500 bit olduğu (mesaj başlığı ve mesaj gövde metni) kabul edilmiştir.

4.5. Analizler ve Karşılaştırma Grafikleri

Yukarıdaki varsayımlar altında modellenen tugayın mesajları iletişim hattının dolu olduğu zamanlar, mesaj gönderme zamanları üretildikten sonra simülasyon çalıştırılır. Bir kapalı simülasyonun tamamlanması ve bilgilerin veritabanına kaydedilmesini müteakip mesaj sayısı mesaj sayısı çarpanı (birden sekize kadar) ile çarpılarak artırılır

ve otomatik olarak simülasyon baştan devam eder. Her bir hat ve her bir mesaj türü için mesaj bekleme süreleri (milisaniye olarak) karşılaştırma grafikleri ve karşılaştırma tablosu kullanılarak analiz edilir. Gönderilen en büyük mesaj boyutu 20 megabyte seviyesindedir. Gerçekte bu büyüklükte bir mesaj olması imkânsızdır. Bu boyutlardaki mesajlar; sistemin sınırlarını tespit etmek ve iletişim hattına yük testi uygulamak amacıyla denenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların kontrolü maksadıyla çalışma en az 250 defa tekrarlanmıştır. Toplam denemeler sonunda; yaklaşık olarak iki milyon mesaj gönderilerek değerlendirmeye alınmıştır. Test ve deneme maksatlı olaak kullanılanlar bu rakama dahil değildir.

Yaptığımız çalışmada; en büyük boyuttaki XML mesajı bekleme zamanlarının, diğerleriyle karşılaştırıldığında üssel olarak arttığı görülmesine karşın, hat doluluk oranının normalden 2-10 kat, mesaj sayısının normalden 8 kat artırıldığı, en büyük mesaj boyutu ve bunların XML karşılıklarının testlerinde dahi mesajların çok düşük bekleme oranları ile gönderilebildiği görülmüştür.

XML dosya boyutunun; AdatP-3'le biçimlendirilmiş mesaj boyutlarına göre 4-10 kat fazla olduğu görülmektedir. Bu da XML dokümanının içinde çok fazla tekrarlanan metin bulmasından ve etiketlerden kaynaklanmaktadır. XML metin dosyalarının 4-20 kat sıkıştırma oranlarına sahip olduğu program aracılığıyla yapılan hesaplamalarda tespit edilmiştir. XML dosya boyutu büyüdükçe sıkıştırma oranının da arttığı görülmektedir. Sıkıştırma kullanıldığında az yer kapladığı, bununla orantılı olarak mesaj gönderme ve bekleme sürelerinin azaldığı görülmektedir. Böyle olmasına karşın sıkıştırma verilerin yoğunluğunun artmasından dolayı, bir byte verinin bozulmasının tüm mesajın kaybolmasına neden olabileceği, yapılan testlerde ve araştırmada kullanılan sistemler sayesinde göz ardı edilebileceği sonucuna varmıştır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

XML'in söz dizimi bilgisayarlar ve insanlar tarafından kolayca okunabilir. Lisans ücreti yoktur. Platform ve satıcı bağımsızdır. Endüstride ve internette en yaygın desteklenen yapıdır. XML belgenin bir defa yazıldıktan sonra birçok ortam ve araçta yayınlanmasına imkân sağlar.

Fakat XML gerekenden çok fazla sözle ifade edilebilmektedir. XML belgelerinin içinde çok fazla tekrarlanan veri bulunmaktadır. Buda XML belgelerinin dosya boyutlarını artırmaktadır. Büyüklük; gönderme zamanı ve kapladığı yer bakımından önem kazanmaktadır. Günümüzde disklerin ucuzlamış olması ve gönderme zamanının toplam işlem içinde çok az yer tutması; bunları XML'in zayıflığı olmaktan çıkarmaktadır. XML, mesaj tabanlı metinlere göre okunabilirliği daha fazladır. Aynı zamanda bilgisayarlar tarafından işlenebilmesi için özel yazılımlara ihtiyaç yoktur.

Artan askeri harcamalar; askeri bilgi değişim ihtiyaçlarının hazır ticari yazılımlarla karşılanabilmesini zorunlu kılmaktadır. Silahlı kuvvetlerin farklı birliklerine ve karargâhlarına ait komuta kontrol bilgi sistemleri, özellikle kamu kurum ve kuruluşları ile hükümet dışı organizasyonlar arasındaki bilgi değişimi ve karşılıklı çalışabilirliğin sağlanmasında önemli bir unsur olacağını değerlendirilmektedir [4] [5].

Basitliği, esnekliği, çok yönlülüğü, karşılıklı değiştirilebilirliği ve düşük geliştirme maliyetleri günümüzde XML'i cazip hale getirmiştir. Günümüz bilgi değişim

yöntemlerine bir alternatiftir. XML bütün bilgi değişim uygulamaları için en iyi çözüm yolu değildir; fakat çözüm üretmek için alternatif olarak düşünülmelidir [6].

Yapılan bu çalışmada XML-MTF'in muharebe sahasında (kara) telsiz sistemlerinden gönderilebilmesi için bant genişliklerinin yeterliliği ve veri sıkıştırmanın kullanılabilirliği ortaya konmuştur. XML'in sağladığı kolaylıklar düşünüldüğünde; bilgi değişim araçları, standartları ve kullanıcılar açısından önümüzdeki yıllarda da kuvvetli bir desteğe sahip olacağı değerlendirildiğinden silahlı kuvvetlerde mesaj tabanlı bilgi değişim aracı olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir [4].

KAYNAKÇA

[1] Alberts, D.S., Garstka, J.J., Hayes, R.E., and Signori, D.A., "Understanding Information Age Warfare", Command and Control Research Program (CCRP), Washington, pp. 15-30, 2001.

[2] "Tactical Information Links (TADIL)", Federation of American Scientists Intelligence Resource Program page, URL:http://www.fas.org/irp/program/disseminate/tadil.htm, (Last visited January 2009).

[3] Cherinka, R.D.,& Miller, R.W., " Using XML-based Web Services to Enhance Information Interoperability in the Department of Defense", XML Conference & Exposition 2001, Florida, December 2001.

[4] Macleod, I., "Use of Cots Technology In C2 Information Systems: Balancing The Benefits And Risks", Journal of Battlefield Technology, Argo Press, Volume 4, Number 1, March 1998.

[5] Sayın, H., "Tactical Messaging and Usage of Extensible Markup Language Message Text Formats in The Tactical Command Control and Information Systems ", Middle East Technical University, Turkey, pp.127-128, November 2003.

[6] Norman, P., "A Study of eXtensible Markup Language (XML)", Decerno AB, Näsby Park, Sweden, pp.14-23, February 1999.

KIRPICILI ARAYICIYA SAHİP GÜDÜMLÜ FÜZE PROTOTİP ANALİZ YAZILIMI

Mehmet Cihan Şahingil, Murat Akgül

TÜBİTAK UEKAE (Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü) İLTAREN

Şehit Yzb. İlhan TAN Kışlası, Ümit Mah. 2432. Cad. 2489. Sok. 06800 Ümitköy ANKARA

{mehmets, murat.akgul}@iltaren.tubitak.gov.tr

ÖZ

Kızıl ötesi (KÖ) güdümlü füze sistemleri ile ilgili ilk çalışmalar, İkinci Dünya Savaşı sonrasında, duyulan ihtiyaca yönelik olarak başlatılmıştır. Bu geliştirme süreci günümüzde de devam etmektedir. Bu bağlamda, günümüz görev planlayıcıları, güdümlü füze sistemleri için vurma/ıskalama olasılığı, ıskalama mesafesi ve elektronik harp teknik ve taktiklerine karşı gürbüzlük gibi, görev başarı ölçütlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine her zamankinden daha fazla ihtiyaç hissetmektedir.

KÖ güdümlü füze sistemlerinde, hedef konumunun kestirilmesi için kullanılan arayıcılar zaman içerisinde büyük gelişim göstermiştir. İlk nesil sistemlerde dönen kırpıcılar kullanılırken, sonraki nesillerde başarımı arttırmak için konik tarama, rozet tarama, sezimci dizili tarama, görüntüleme ve çoklu spektrumda görüntüleme gibi çözümler kullanılmıştır. Kırpıcılı sistemler ilk sistemler olmalarına rağmen halen birçok ülkenin envanterinde bulunmaları sebebiyle, bu sistemlerin analizi önem arz etmektedir.

Bu çalışma kapsamında, kırpıcılı bir arayıcıya sahip güdümlü füze ile bazı Elektronik Taarruz (ET) becerilerine sahip bir hedefin yer aldığı senaryolarda, güdümlü füze vuruş başarımlarını ve ET uygulamasının etkinliğini kestirebilmek için gerçekleştirilmiş olan prototip yazılım ele alınmıştır. Isı fişeği gibi sahte hedeflerin ve karıştırıcı sistemlerin konu edildiği senaryolarda başarımın olabildiğince hassas bir şekilde tahmin edilebilmesi için, yazılım arayıcı alt sistemleri arasındaki sinyalleri oluşturan modellerden oluşmaktadır. Makalede bu yazılım kullanılarak gerçekleştirilebilecek analiz türleri belirtilmiş ve ET uygulamasını konu alan bir senaryo için gerçekleştirilen analizlerin sonuçları özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Arayıcı, Elektronik Taarruz, Güdümlü Füze, Karıştırıcı, Kırpıcı.

A PROTOTYPE ANALYSIS SOFTWARE OF GUIDED MISSILES WITH RETICLE BASED SEEKER

ABSTRACT

The first studies about the infrared guided weapons started after the World War II due to the necessity. And nowadays, the development process still goes on. In this connection, today's mission planners urge for accurate prediction of mission success more than ever, for guided weapons such as probability of miss/hit, miss distance and mission's robustness to electronic warfare techniques and tactics.

The seekers which are used by the IR guided missiles to estimate the position of the target was evolved. While in the first generation systems spinning reticles are used, in the following generations, conical scan, rosetta scan, detector array scan, imaging and multi spectrum imaging systems are used to increase the success. Although the reticle systems are early generation systems, the analysis of these systems is important because lots of countries still have these systems in their inventory.

In this paper, the prototype software which is developed to predict the hit success of guided missile in scenarios containing a guided missile with a reticle based seeker and a target with some electronic attack capabilities is considered. To predict the success of a missile as sensitive as possible in scenarios with flares and jammers, the simulator is composed of models that generates the signals between the seeker subsystems. In the present paper, the possible analysis types that can be made using this software are stated and the analysis results of a scenario related with an electronic attack application are summarized.

Keywords: Electronic Attack, Guided Missile, Jammer, Reticle, Seeker.

1. GİRİŞ

Güdümlü füze sistemlerinin harekât etkinliklerindeki öneminin her geçen gün arttığı bilinmektedir. Bu gelişmelerin paralelinde, gerek geliştirici gerekse kullanıcı olarak güdümlü füze sistemlerinin vuruş başarımlarının kestirilmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla vuruş başarımlarını tahmin edecek simülatörlere olan ihtiyaç oldukça fazladır [1]. Bu çalışma kapsamında güdümlü füze etkinlik analizi için geliştirilmiş olan Kırpıcılı Güdümlü Füze Simülatörü (KGFS) prototip yazılımı tanıtılmıştır.

Güdümlü füze sistemlerinden korunmak için ısı fişeği gibi sahte hedefler oluşturmak ya da platform üstünde bulunan karıştırıcı sistemleri kullanarak güdümlü füze arayıcı sisteminin hedef konum kestirimini zorlaştırmak veya bozmak gibi Elektronik Taarruz (ET) uygulamaları mevcuttur. Bu yazılımda özellikle arayıcı sistemi ile hedef, ısı fişeği ve karıştırıcı sistemlerinin KÖ ışıma modelleri sinyal seviyesinde ele alınmıştır.

Takip eden bölümde KGFS yazılımı kapsamında ele alınan kırpıcılı arayıcıya sahip güdümlü füzelerin genel özellikleri, kırpıcı ve kipleme kavramları, güdümlü füze arayıcısına ait işlemcinin genel çalışma adımları, arayıcılarda karşılaşılan problemler ve arayıcıların karıştırılması konuları ayrıntılandırılmıştır. KGFS genel yapısı ve kabiliyetleri bir sonraki bölümde açıklanmıştır. Son bölümde ise değerlendirmeler

yapılıp, oluşturulan prototip yazılım ile ilgili gelecekte yapılması öngörülen çalışmalar sunulmuştur.

2. KGFS Prototip Yazılımı

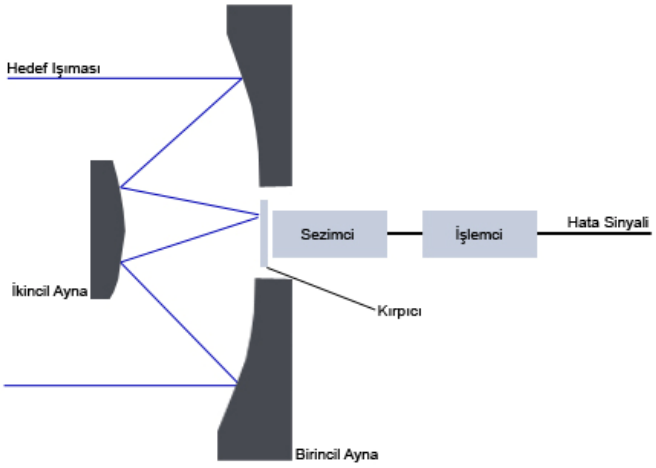
KGFS prototip yazılımı, tehdit sistem modelleri, ortam modeli ve hedef sistem modelinden oluşmaktadır. Yazılımda kullanılan ortam modeli, hedef(ler)e ait platform(lar) ve arkaplan gürültüsünden oluşmaktadır. Yazılım kapsamında oluşturulan tehdit ve hedef sistem modelleri takip eden bölümlerde detaylandırılacaktır.

2.1 Tehdit Sistem Modelleri

KGFS prototip yazılımı kapsamında tehdit sistem modelleri açısından, güdüm ve arayıcı sistemleri modellenmiştir. Güdüm sistemi, birden fazla güdüm tipi kullanımına izin veren bir yapıya sahiptir.

2.1.1 Arayıcı Sistemler

Kızıl ötesi bantta çalışan arayıcıların günümüze kadar yaşadıkları değişimler sonucunda oluşan nesillerden ilk ikisi olarak kabul edilen dönü taramalı ve konik taramalı sistemlere ait arayıcıların genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Buradaki işlem basamaklarında, ilk olarak hedeften alınan ışıma optik sistem vasıtasıyla kırpıcı üzerine odaklanır. Kırpıcıda kiplenen sinyal, sezimci tarafından elektriksel sinyale dönüştürülür. Ardından sinyal işlenerek hedef konum bilgisi çıkartılır. İşlemci içerisinde yer alan sinyal işleme modülleri arayıcı ve kırpıcı tipine bağlı olarak belirlenmektedir. Dolayısıyla yazılımda her farklı tehdit sistem tipi için işlemci içerisindeki sinyal işleme basamakları özelleştirilmektedir. Yazılımda modellenen dönü ve konik taramalı sistemler takip eden bölümlerde detaylandırılmıştır.

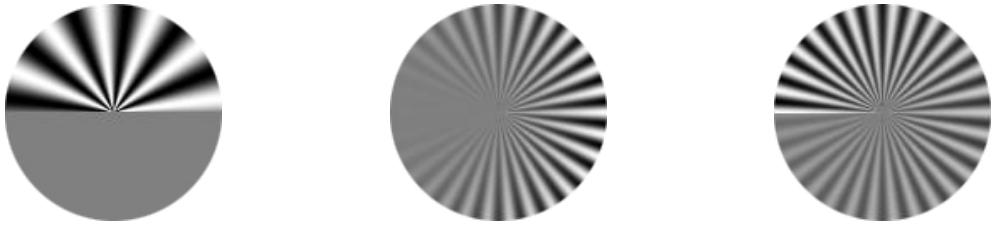


Şekil 1. Dönü ve Konik Taramalı Kırpıcılı Sistemler İçin Arayıcı Yapısı.

2.1.1.1 Dönü Taramalı Sistemler

Dönü taramalı arayıcılar, en eski arayıcı tiplerindendir. Bu tip arayıcılarda, Şekil 1'de gösterilen ikincil ayna sabitken, kırpıcı dönme hareketi yapar. Dönü taramalı kırpıcılarda kullanılan kırpıcı tipine göre, üretilen sinyal genlik kiplemeli veya frekans

kiplemeli olabilir. Başka bir deyişle hedef konum bilgisi, kiplenmiş sinyalin genliğinde veya frekansında kodlanmış haldedir. Dönü taramalı arayıcıya ait genlik kiplemeli kırpıcılara Şekil 2'de ([3], [4], [6]), frekans kiplemeli kırpıcılara Şekil 3'te ([4]) örnekler verilmiştir.



(a) (b) (c)

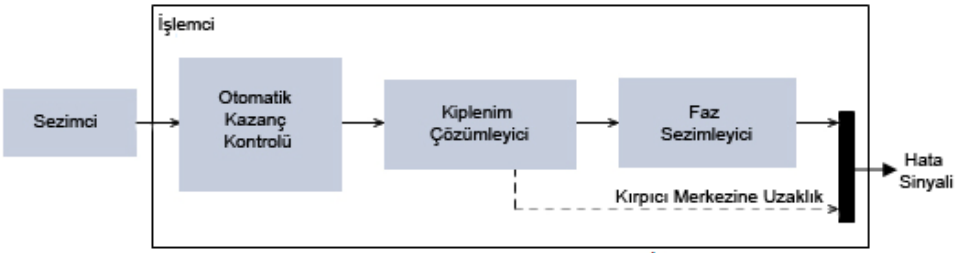
Şekil 2. Genlik Kiplemeli Kırpıcı Tipleri.



(a) (b) (c)

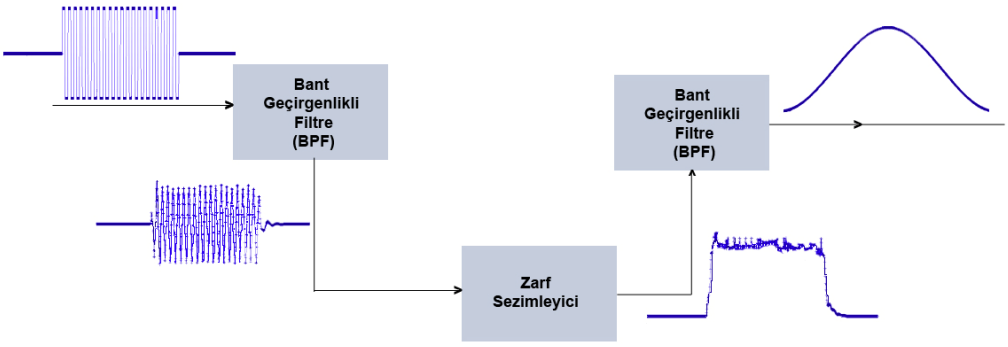
Şekil 3. Frekans Kiplemeli Kırpıcı Tipleri.

Hedefe ait konum bilgisinin kestirilmesi, kiplenmiş sinyalin işlenmesiyle gerçekleşir. Bu işlem, Şekil 1'de gösterilen "İşlemci" bloğu içerisinde yapılır. KGFS yazılımında genel işlemci yapısı Şekil 4'te gösterildiği gibi modellenmiştir[5].



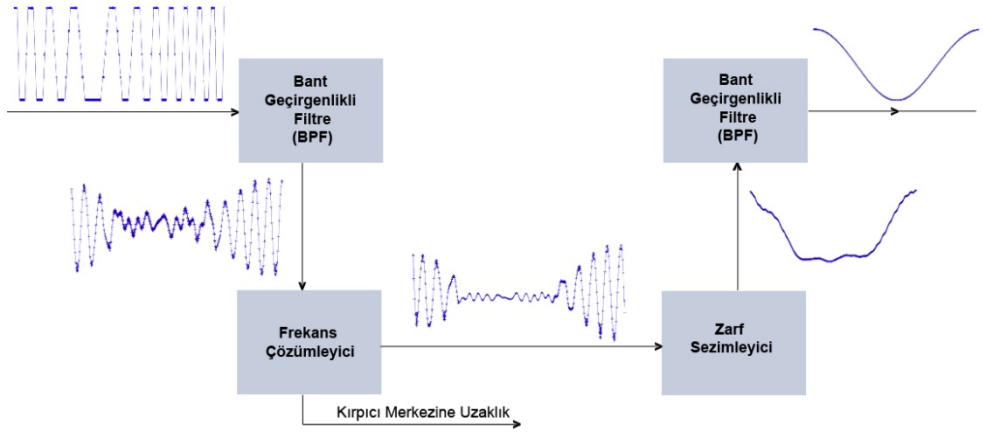
Şekil 4. Kırpıcılı Arayıcılardaki Genel İşlemci Yapısı.

Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC), kuvvetli hedef sinyallerini belirli bir seviyeye çekip arkaplan gürültüsünü bastırır ve daha etkin bir konum kestirimi yapılmasını sağlar [8].
"Kiplenim Çözümleyici" birimi, kırpıcıda kiplenen sinyalin çözümlemesini yapan birimdir. Hedefin kırpıcı merkezine olan açısal uzaklığı bu birim içerisinde hesaplanır. Çıktı olarak, hedefin açısal konumunu fazında barındıran sinüs benzeri bir sinyal verir. Şekil 2-a'da gösterilen genlik kiplemeli kırpıcı tipi için kullanılabilecek kiplenim çözümleyici modeli ile modeldeki blokların KGFS yazılımı kullanılarak elde edilen girdi ve çıktı sinyalleri Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kiplenim Çözümleyici Birim (Doğan Güneş Kırpıcı).

Şekil 3-a'da gösterilen frekans kiplemeli kırpıcı için kullanılan kiplenim çözümleyici modeli ile modeldeki blokların KGFS yazılımı kullanılarak elde edilen girdi ve çıktı sinyalleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Frekans ve genlik kiplemeli kırpıcılar için kullanılan kiplenim çözümleyici blokları arasındaki fark, "Frekans Çözümleyici" bloğudur [5]. Bu blokta frekans kiplemeli sinyal genlik kiplemeli sinyale dönüştürülür.



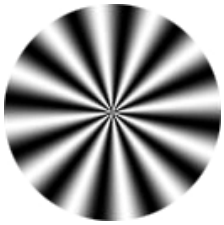
Şekil 6. Kiplenim Çözümleyici Birim (Lovell Kırpıcı).

"Faz Sezimleyici" birimi, "Kiplenim Çözümleyici" biriminden alınan sinüs benzeri sinyaldeki faz kaymasını bularak, hedefin açısal konumunu kestirir. İşlemciden çıktı olarak verilen "Hata Sinyali", güdüm birimine gönderilerek, füzenin hedefe doğru yönelmesi sağlanır.

Dönü taramalı arayıcılarda en temel problem, belirli durumlarda kipleme kalitesinin düşmesidir. Hedefin kırpıcı merkezine yaklaşması bu tür durumlardandır. Hedef genişliğinin kırpıcı üzerindeki yaprak genişliğine göre büyük olması veya toplam görüş alanı içerisinde birden fazla ışıma kaynağının bulunması, bu tip arayıcılar için diğer önemli sorunlardandır. Bu durumlardan kaynaklanan problemlere literatürde çeşitli analiz ve çözümler sunulmuştur [8], [13]-[17]. Ayrıca ısı fişeklerinin, arayıcının izleme döngüsünü kıramaması için önerilen EK (Elektronik Korunma) çözümleri de literatürde ilgili makalelerde incelenmiştir [18]-[22].

2.1.1.2 Konik Taramalı Sistemler

Dönü taramalı arayıcıların bazı zafiyetlerini çözmek maksadıyla geliştirilmiştir. Bu tip arayıcılarda, Şekil 1'de gösterilen ikincil ayna dönerken, kırpıcı sabittir. Konik taramalı arayıcıya ait kırpıcı modeli olarak genellikle vagon tekerleği kırpıcı (Wagon Wheel Reticle) kullanılır (Şekil 7).



Şekil 7. Vagon Tekerleği Kırpıcı.

Dönü taramalı arayıcılardan farklı olarak konik taramalı arayıcılarda kırpıcı sabit tutulup, optik sistemin dönen parçaları yardımıyla, anlık görüş alanı kırpıcı üzerinde döndürülür. Elde edilen kiplenmiş sinyal, hedefin görüş alanının merkezinden uzaklığına göre, FM veya FM/AM sinyal olabilmektedir [7].
KGFS yazılımı kapsamında kullanılan konik taramalı arayıcılardaki kiplenim çözümleme birimi de Şekil 6'da gösterilen akış şemasındaki gibi işler. Fakat dönü taramalı arayıcılardaki frekans çözümleyici biriminin yapısı ile konik taramalı arayıcılardaki frekans çözümleyici biriminin yapısı birbirinden farklıdır [7].

2.2 Hedef Sistem Modelleri

KGFS prototip yazılımı, hedef kızıl ötesi iz ve karıştırıcı sistem modellerine sahiptir. Ayrıca hedefin geometrik özellikleri ve kinematik davranışları da modellenmiştir. Hedeflerin kızıl ötesi izi için, hedef sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan ışıma değeri kullanılmaktadır. KGFS yazılımında, ET uygulamalarından ısı fişeği ve karıştırıcı sistem([1], [9]) modellenmiştir. Isı fişeği, sıcaklığı yüksek bir hedef platformu olarak modellenmektedir. Yazılım kapsamında modellenen hedef karıştırıcı sistemi takip eden bölümde detaylandırılacaktır.

2.2.1 Karıştırıcı Sistem Modeli

Karıştırıcı sistemlerdeki temel yaklaşım, güdümlü füze arayıcısına kiplenmiş hedef sinyaline benzer sinyaller göndererek arayıcının izleme döngüsünü kırmaktır [1].



AN/ALQ-157



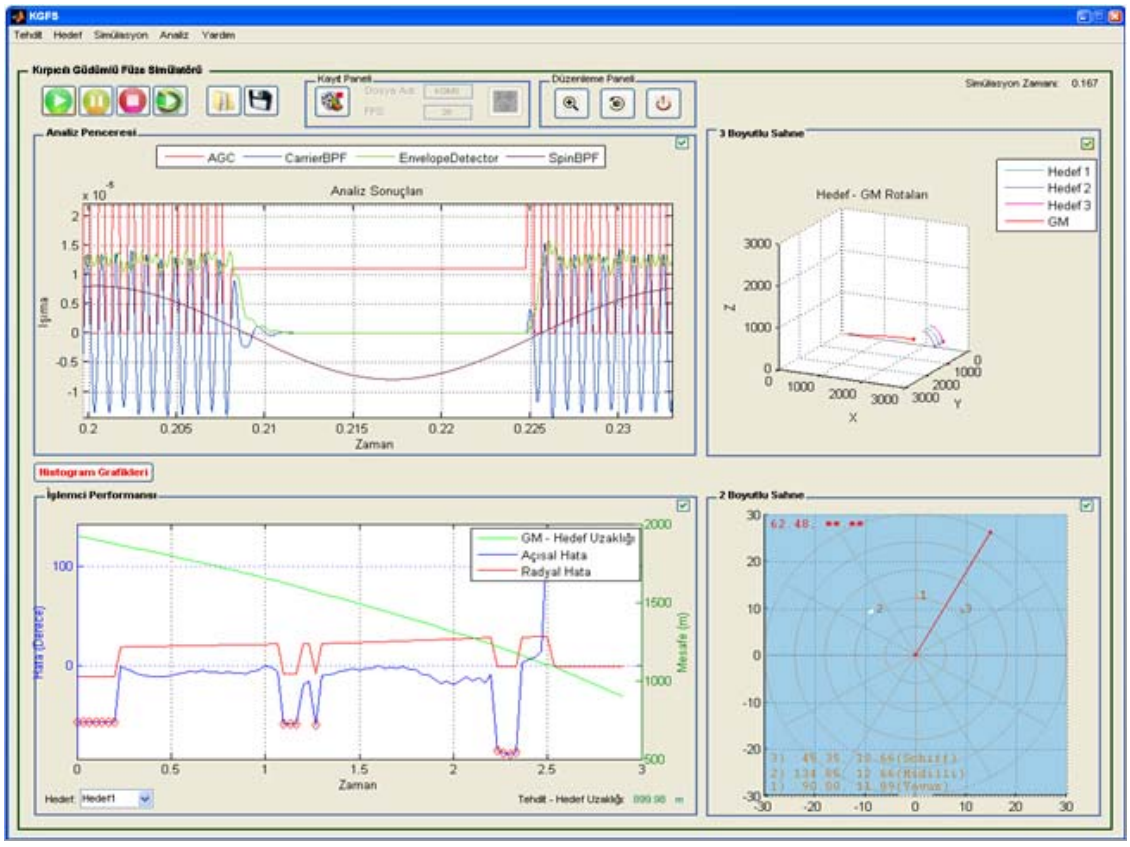
AN/ALQ-144A

Şekil 8. Karıştırıcı Sistem Örnekleri [10], [11]**.**

Kullanımda olan kızıl ötesi karıştırıcı sistemlere örnek olarak AN/ALQ-157, AN/ALQ-144, AN/ALQ-147, CHALLANGER, AN/VLQ-8A, MODIR verilebilir [12]. Şekil 8'de karıştırıcı sistemlere ait örnekler gösterilmiştir [10], [11].
KGFS prototip yazılımında bulunan karışıtırıcı modeli her yönde yayın yapıp birden fazla karıştırma programını art arda oluşturabilmektedir. Her bir karıştırma programının tanımlanmasında kullanılan parametreler, taşıyıcı frekans, genlik ve frekans kipleme parametreleri ile faz bilgisi olarak sıralanabilir.

3. KGFS Analiz Kabiliyetleri ve Örnek Senaryo İncelemesi

KGFS yazılımı, kızıl ötesi sahne üzerinden kırpıcılı arayıcıya sahip güdümlü füze sisteminin başarım simülasyonunu gerçekleştirmektedir (Şekil 9). MATLAB ortamında, nesne tabanlı programlama kullanılarak geliştirilmiştir.



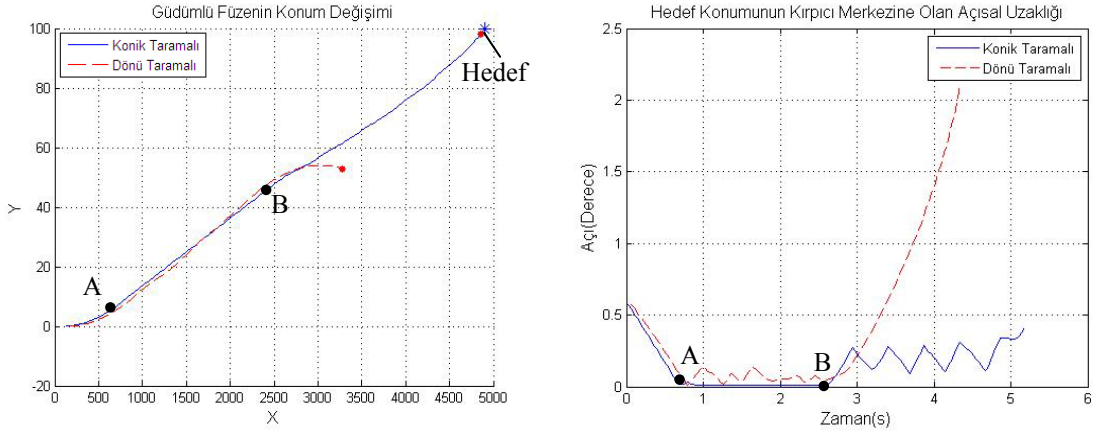
Şekil 9. KGFS Arayüzü.

Prototip yazılımı kullanılarak üretilebilen verilerin başlıcaları şu şekilde sıralanabilir;

- İşlemci içerisinde yer alan her bloğunun çıktı sinyalleri,
- Hedef(ler)in ve güdümlü füzenin konum/yönelim bilgileri,
- İşlemcinin hedef konumu kestirimi ile ilgili hata sinyalleri ve istatistikleri.

Prototip yazılımda, güdümlü füze sisteminin sabit, sabit hızlı veya ivmeli hedeflere göre vuruş başarımları incelenebilir. KÖ sahneyi oluşturan hedef, ısı fişekleri ve arkaplana ait bileşenlerin güdümlü füze sisteminin algıladığı iki boyutlu ölçüm uzayındaki geometrik konum değişimleri değerlendirilebilir. Sahnedeki her bir nesneye farklı

sıcaklık değerleri verilebildiğinden, ısı fişeği kullanan hedefleri içeren senaryolar da düzenlenebilir.
Bunların dışında her hedef üzerine eklenebilen karıştırıcı için birden fazla karıştırma programı belirlenebilmekte ve ilgili program simülasyonun istenen bir anında aktif duruma getirilebilmektedir. Karıştırıcıların aktif hale getirilmesi ise ideal kabul edilen "Erken Uyarı Sistemi" modeli kullanılarak yapılır.
Bunların dışında farklı tip güdümlü füze arayıcıları (dönü taramalı ve konik taramalı) kullanılabilmekte ve dönü taramalı arayıcılar için farklı tip kırpıcılar kullanılarak, kırpıcı tiplerinin etkinliklerinin incelenmesi mümkün olmaktadır. Her bir arayıcı ve kırpıcı tipine ait işlemcinin parametreleri düzenlenerek işlemci performansının gözlenmesi de sağlanabilir. Ayrıca yazılım, güdümlü füze için farklı güdüm tekniklerinin kullanılmasına da izin vermektedir.



(a) (b)

Şekil 10. Karıştırıcının Güdümlü Füze İzleme Döngüsüne Etkisi.

Toplam görüş alanı 4° olan güdümlü füzeler ile ET yeteneğine sahip hedef arasındaki etkileşimi konu alan iki farklı senaryonun sonuçları Şekil 10'da görülmektedir. Birinci senaryoda kullanılan güdümlü füze dönü taramalı arayıcıya sahipken, ikinci senaryoda konik taramalı arayıcıya sahiptir. Şekil 10-a'da güdümlü füzelerin konum değişimleri, Şekil 10-b'de ise hedef konumunun görüş alanı merkezine olan açısal uzaklığının değişimleri gösterilmektedir. Simülasyonun başlangıcında hedef görüş alanının merkezinde değildir. Güdümlü füze Şekil 10-a'da gösterilen A konumuna geldiğinde, hedefe doğru yönlenme işlemi tamamlanır. Bu konumunda hedef görüş alanının merkezindedir. Fakat dönü taramalı kırpıcılar, görüş alanının merkezinde olan hedeflerden gelen ışımaları düzgün kipleyememektedir. Bu durum, güdümlü füzeye ait arayıcının düzgün karar verememesine, dolayısıyla dönü taramalı güdümlü füzenin yalpalamasına neden olur. Diğer taraftan, konik taramalı arayıcılarda bu sorun ortadan kalkmıştır. Dolayısıyla hedef görüş alanının merkezindeyken füze yalpalama hareketi yapmaz. Bu etki Şekil 10-b'de A ve B noktaları arasında açıkça görülmektedir. Güdümlü füze Şekil 10-a'da gösterilen B konumuna geldiğinde hedef üzerindeki karıştırıcı aktif hale getirilir. Bu senaryolarda tehdit parametrelerinin bilindiği kabul edilerek karıştırma programları oluşturulmuştur. Dönü taramalı arayıcıya sahip füzede, hedef konumunun kırpıcı merkezine olan açısal uzaklığı, karıştırıcı açıldıktan kısa bir

süre sonra hızla artmaya başlamakta ve nihayet 4.2. saniyede hedef toplam görüş alanından çıkmaktadır (Şekil 10-b). Fakat konik taramalı arayıcılar karıştırıcı etkilerine karşı daha dirençli olduklarından [23], dönü taramalı arayıcıya uygulanan karıştırıcı sinyali konik taramalı arayıcıya da uygulandığında, hedefin güdümlü merminin görüş alanı dışına çıkmadığı görülmektedir (Şekil 10-b).
Burada arayıcı modülü tarafından gerçekleştirilen sinyal işleme aşamaları açık kaynaklarda yer alan bilgiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılımın sağladığı sonuçlar sağlanacak bilginin doğruluğu ve detay seviyesi oranında gerçeğe yakın olacaktır.

4. SONUÇ

KGFS, kırpıcılı arayıcıya sahip güdümlü füze ile ısı fişeği ve karıştırıcı sistemlerini kullanabilen bir hedef arasındaki muhtemel senaryoların tanımlanabileceği bir prototip yazılımdır. Güdümlü füze vuruş başarımları ile ET uygulamalarının etkinliklerini öngörmekte kullanmak maksadıyla, açık kaynaklardan elde edilen bilgiler kullanılarak hazırlanmıştır. Kırpıcılı sistemlerle ilgili literatürde bahsi geçen zafiyetler gerçekleştirilen simülasyonlarda gözlemlenebilmektedir. Dolayısıyla bu tip arayıcılara sahip güdümlü füze sistemlerinin zafiyetlerini, sağlanacak bilgiler oranında, tespit etmenin mümkün olduğu değerlendirilmektedir.
Yazılımın ilerleyen sürümlerde mevcut karıştırıcı sistem modeli başta olmak üzere bu sistemle etkileşerek çalışan diğer platform üstü sistemlere ait modellerin geliştirilmesi planlanmaktadır. Geliştirilecek olan ET tekniklerinin mümkün olduğunca tehdit parametrelerinden bağımsız hale getirilmesi ya da bu parametrelerin angajman sırasında kestirilmesine yönelik problemler gelecekte öngördüğümüz çalışmalardandır.

5. KAYNAKÇA

[1] Süleyman Gökhun Tanyer (2005), "Kızılötesi Pasif Güdümlü Mermi Elektronik Harp Etkinlik Analizi Prototip Yazılımı", USMOS Konferansı Makalesi.

[2] Sinan Avşar, Yakup Özkazanç (2004), "Kızılötesi Arayıcıların Karıştırılması", IEEE, 0-7801-8318-4104.

[3] Ronald G. Driggers, Carl E. Halford, Glenn D. Boreman, Dougles Lattman, Kevin F. Williams (1991), "Parameters of Spinning FM Reticles", Applied Optics, Vol. 30, No. 7.

[4] Ronald G. Driggers, Carl E. Halford, Glenn D. Boreman (1991), "Parameters of Spinning AM Reticles", Applied Optics, Vol. 30, No. 7.

[5] Robert O'B. Carpenter (1963), "Comparison of AM and FM Reticle Systems", Applied Optics, Vol. 2, No. 3.

[6] Gustaf Olsson (1994), "Simulation of Reticle Seekers By Means of an Image Processing System", Optical Engineering, Vol. 33 No.3.

[7] Jeong-Su Oh , Kyung-Soo Doo, Surng-Gahb Jahng, Dong-Sun Seo, Jong-Soo Choi(1999), "A Novel Digital SignalProcessing Scheme for a Stationary Reticle Seeker", IEEE, 0-7803-5739-6/99.

[8] Hyun-Ki Hong, Surng-Gahb Jahng, Kyoung-Soo Doo, Jong-Soo Choi, (2003) "Reticle – Rotating Systems", Encyclopedia of Optical Engineering, pp. 2431 – 2444.

[9] D. C. Schleher (2004), "Bilgi Çağında Elektronik Harp", Doruk Yayıncılık.

[10] BAE Systems (2002), "AN/ALQ-157 Infrared Counter Measure Systems", BAE Systems.

[11] BAE Systems (2001), "AN/ALQ-144A Countermeasures Sets", BAE Systems.

[12] F. P. "Buck" Dube (1999), "International Electronic Countermeasures Handbook", Horizon House Publications.

[13] Hyun-Ki Hong, Sung-Hyun Han, Jaon-Soo Choi (1997), "Simulation of an Improved Reticle Seeker Using The Segmented Focal Plane Array", Optical Engineering, 0091-3286.

[14] James Samuel Taylor Jr., Ronald G. Driggers (1992), "Tracking With Two FM Reticles", SPIE, Vol. 1697 Acquisition , Tracking, and Pointing VI, pp. 481-491.

[15] James Samuel Taylor Jr, Keith Alan Krapels (1991), "FM Reticle Trackers in the Pupil Plane", SPIE, Vol. 1478 Sensors and Sensor Systems for Guidance and Navigation, pp. 41-49.

[16] Ronald G. Driggers (1991), "Discrete Frequency-Versus-Radious Reticle Trackers", SPIE, Vol. 1478 Sensors and Sensor Systems for Guidance and Navigation, pp. 24-32.

[17] Ronald G. Driggers, Carl E. Halford, Glenn D. Boreman (1991), "Marriage of Frequency Modulation Reticles To Focal Plane Arrays", Optical Engineering, Vol. 30 No.10, 1516-1520.

[18] Jeong-Su Oh, Kyung-Soo Doo, Yong-In Yoon, Dong-Sun Seo, Jong-Soo Choi (2001), "New Two-Color Cancellation Algorithm For Counter-Countermeasures Of Infrared Seekers", Optical Engineering, 40(8), pp. 1699-1708.

[19] Jeong-Su Oh, Seok-Han Lee, Jin-Tae Kim, Jong-Soo Choi (2005), "Two-Color Infrared Counter-Countermeasure Based On The Signal Ratio Between Two Detection Bands For A Crossed-Array Tracker", Optical Engineering, Vol 49(9), 096401-(1-7).

[20] Hyun-Ki Hong, Sung-Hyun Han, Jong-Soo Choi, "Simulation Of The Spinning Concentric Annular Ring Reticle Seeker and an Efficient Counter-Countermeasure", Optical Engineering, 36(11), pp. 3206-3211.

[21] Hyun-Ki Hong, Surng-Gabb Jahng, Sung-Hyun Han, Jong-SooChoi (1998), "Analysis of the Spinning CAR Reticle Seeker and an Efficient Counter-Countermeasures Algorithm", SPIE, Vol. 3365, pp. 169-178.

[22] Sung-Hyun Han, Hyun-Ki Hong, Jong-Soo Choi (1997), "Dynamic Simulation of Infrared Reticle Seekers and an Efficient Counter-Countermeasure Algorithm", Optical Engineering, 36(8), pp. 2341-2345.

[23] M. A. Richardson (2004), "Guided Weapons Technology Course", The Royal Military College of Science, Cranfield University, Department of Aerospace, Power and Sensors.

1. Yazar

Ad	Mehmet Cihan
Soyad	Şahingil
Adres	TUBİTAK UEKAE İLTAREN Şehit Yzb. İlhan TAN Kışlası, Ümit Mah. 2432. Cad. 2489. Sok. 06800 Ümitköy ANKARA
Eposta	mehmets@iltaren.tubitak.gov.tr
Telefon	(0312) 2916052
Fax	(0312) 2916004

2. Yazar

Ad	Murat
Soyad	Akgül
Adres	TUBİTAK UEKAE İLTAREN Şehit Yzb. İlhan TAN Kışlası, Ümit Mah. 2432. Cad. 2489. Sok. 06800 Ümitköy ANKARA
Eposta	murat.akgul@iltaren.tubitak.gov.tr
Telefon	(0312) 2916053
Fax	(0312) 2916004

Sim-PETEK : Simulasyonlar için Paralel ve Dağıtık Koşum Altyapısı

Doruk Bozağaç, Gülşah Karaduman, M. Nedim Alpdemir

TÜBİTAK UEKAE / İLTAREN, Şehit Yzb. İlhan Tan Kışlası 8. Cad 417 Sok. Ümitköy ANKARA, {dorukb, gulsahk, nedima}@iltaren.tubitak.gov.tr

ÖZ

Bu bildiride tanıtılan Simülasyonlar için Paralel ve Dağıtık Koşum Altyapısı (Sim-PETEK), Grid üzerinde simülasyon koşu ve deneme (ör. Monte Carlo denemeleri) dağıtımı ve yönetimini sağlayan bir yazılım orta katmanı sunmaktadır. Sim-PETEK, kurumumuzda yürütülen modelleme ve simülasyon projelerinde geliştirilmiş olan, tek düğüm-çok işlemci modeline dayalı bir koşu dağıtım altyapısını, coğrafi olarak dağıtık çok-düğüm-çok-işlemciden oluşan heterojen bir kaynak havuzunu optimize olarak yönetmeyi sağlayan bir altyapıya dönüştürmeyi hedeflemektedir. Sim-PETEK, Grid üzerindeki kaynak yönetimini, Web Services Resource Framework (WS-RF) uyumlu program ara yüzleri ve mesaj yapıları ile standartlara dayalı ve servis-tabanlı bir yazılım orta katmanı üzerinden sağlayarak, kendi üzerine geliştirilecek uygulamalar için, çok katmanlı, esnek ve ölçeklenebilir bir yazılım mimarisine imkan vermektedir. Sim-PETEK'i Grid üzerinde herhangi bir iş kümesini dağıtan genel amaçlı altyapılardan ayırarak yukarıda sözü edilen simülasyon uygulamalarına özel kılan nokta, simülasyon koşularının ve Monte Carlo denemelerinin tanımlanması, dağıtımı, dağıtım sonrası denetimi ve gözetlenmesi, sonuçların füzyonu gibi konularda altyapıyı oluşturan unsurların, simülasyon alanına özel (ancak belli bir simülasyon uygulamasından bağımsız) yapılar ve kavramlar içermesidir.

Anahtar Kelimeler: Simulasyon, grid, yüksek performanslı hesaplama, dağıtık hesaplama, servis-tabanlı kaynak yönetimi

Sim-PETEK : A Parallel Simulation Execution Framework for Grid Environments

ABSTRACT

In this paper we introduce a framework for parallel and distributed execution of simulations (Sim-PETEK), a middleware for optimizing the total run time of batch runs and Monte-Carlo trials. Sim-PETEK proposes an application independent solution that is based on our previous work to paralellize simulation runs in a single node, multiple CPU setting. Our new framework aims at managing a heterogeneous computational resource pool consisting of multiple CPU nodes distributed on a geographically dispersed network, through a service oriented middleware layer that is compliant to Web Services Resource Framework (WS-RF) standard, thereby providing a scalable and flexible architecture for simulation software developers. What differentiates Sim-PETEK from a general-purpose, Grid-based job distribution middleware; is a number of simulation-specific aspects regarding the specification, distribution, monitoring, result collection and aggregation of simulation runs.

Keywords: Simulation, grid, high performance computing, paralel computing, software framework

1. GİRİŞ

Yüksek hesaplama gücü gerektiren, büyük miktarda verilerle çalışan, belli bir hesaplama işinin çok sayıda tekrar edilmesini gerektiren uygulamalar ortaya çıktıkça, yüksek işlem gücüne sahip bilgisayarlara, ya da çok sayıda farklı özellikteki ağda dağıtık bilgisayarın paralel olarak kullanımına yönelik çözümler de kendine yer bulmaya başlamıştır. Son yıllarda, özellikle ağda dağıtık bilgisayar kümelerinin kullanımını kolaylaştırmak ve standart bir programlama ara yüzü üzerinden erişimi sağlamak amacıyla orta katman yazılımlarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu alanda Grid altyapıları adıyla bilinen çözümler ise önemli bir araştırma alanını oluşturmaktadır. Grid çözümleri içinde, Servis Yönelimli Mimariler (SYM) alanındaki bulgu ve ürünlerin katkılarını kullanarak Servis-Tabanlı orta katmanlara dayalı çözümleri merkeze alan yaklaşımlar, bu alandaki çalışmalar içinde özellikle ilgi odağı olmaktadır. Simülasyon uygulamalarında, Grid altyapıları tarafından sunulan kabiliyetlerin kullanılması olgusu nispeten yeni olmakla birlikte, özellikle mevcut Dağıtık Simülasyon altyapılarının Grid uyumlu hale getirilmesi, veya yeni Grid uyumlu dağıtık simülasyon altyapılarının oluşturulmasına ilişkin çalışmaları literatürde bulmak mümkündür [1],[2],[3].

Bu bildiride tanıtılan Simülasyonlar için Paralel ve Dağıtık Koşum Altyapısı (Sim-PETEK), Grid altyapılarından faydalanma noktasında katma değeri dağıtık simülasyon alanından daha yüksek olan *simülasyon koşu ve denemelerinin dağıtımı* konusunda, jenerik bir çözüm sunmaktadır. Sim-PETEK'in katkısı özetle, kurumumuzda yürütülen modelleme ve simülasyon projelerinde geliştirilmiş olan, tek düğüm-çok işlemci modeline dayalı bir koşu dağıtım altyapısını, çok-düğüm-çok-işlemciden oluşan bir kaynak havuzunu akıllı bir optimizasyon yaklaşımıyla ve standartlara dayalı, servis-tabanlı bir yazılım orta katmanı üzerinden etkin ve dinamik (uyarlamalı) olarak yönetmeyi sağlayan bir altyapıya dönüştürmektir. Sim-PETEK'i Grid üzerinde herhangi bir iş kümesini dağıtan genel amaçlı altyapılardan ayırarak simülasyon uygulamalarına özel kılan nokta, simülasyon koşularının tanımlanması, dağıtımı, dağıtım sonrası denetimi ve gözetlenmesi, sonuçların füzyonu gibi konularda altyapıyı oluşturan unsurların simülasyon alanına özel kavramlar içermesidir.

1.1 Simülasyon Uygulamalarında Monte-Carlo Denemeleri ve Çoklu Koşu

Monte Carlo simülasyonları rastgele değişkenlerin simülasyon üzerindeki etkisini incelemek ve olası sonuçların dağılımını görmek için kullanılır. Rastgele girdilerin etkileri incelenecek olan parametreler için değer aralıkları tanımlanır ve bu değer aralıkları içerisinde rastgele değerler seçilerek simülasyon koşuları yapılır. Sonuçlar histogram ile incelenerek bir araya getirilir. Bu yöntemdeki her bir koşuya Monte Carlo denemesi (Monte Carlo Run) adı verilir.

Rastgele değişkenler yerine belli durum değişkenlerinin etkileri incelenmek istenirse, yine değer aralığı tanımlanır fakat etkileri incelenirken etkileri görülmek istenen değişkenlerin değer aralıkları adımlara bölünür ve her bir adım için diğer parametreler aynı kalmak kaydıyla simülasyon koşusu yapılarak sonuçlar incelenir. Bu yöntemdeki koşulara çoklu koşu (Batch Run) adı verilir.

Çoklu koşu yapılırken her bir koşunun Monte Carlo denemeleri şeklinde tekrarlanması ile sonuçların ağırlıklı ortalaması bulunabilir ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilir.

Bunun için her bir çoklu koşunun parametreleri aynı tutulup sadece rastgele değişkenleri değiştirilir ve bu şekilde yapılan koşuların sonuçları bir araya getirilerek yorumlanır. Örneğin, iki çoklu koşu parametresinden biri M, diğeri N adet farklı değer alabiliyorsa toplam B = M x N değer grubu vardır, dolayısıyla B = M x N adet çoklu koşu gerçekleştirilecektir. Her koşu için T adet Monte Carlo denemesi yapılmak isteniyorsa, simülasyon toplam B x T kere çalıştıracaktır.

2. GRİD ORTAMLARI VE SİMÜLASYON UYGULAMALARI

Grid, ağ üzerindeki hesaplama ve veri kaynaklarının dağıtık, çok kaynaklı ve çok kullanıcılı bir ortamda işlem-yoğun problemleri çözmek için kullanılmasını sağlayan ortak protokollerin genel adıdır. Grid teknolojilerinin ortaya çıkması, dağıtık hesaplama kaynaklarının ortak çalışmasına ve coğrafi olarak dağıtık olan veri kümelerine erişimin kolaylaşmasına olanak sağlayarak büyük ölçekli dağıtık simülasyonlar için yeni fırsatlar sunmuştur. Son yıllarda, grid teknolojilerinin sunduğu avantajlardan yararlanarak HLA (High Level Architecture, Yüksek Seviyeli Mimari) simülasyonlarının İnternet üzerinde yürütülmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır [4].

2.1 Servis Yönelimli Yaklaşım

Servis yönelimli mimariler (Service-Oriented Architecture, SOA) hedeflenen işlevselliğe ulaşabilmek için servis kümelerini kullanan mimari tasarımlar şeklinde tanımlanabilir. Servis kümelerini oluşturan servisler ise bir ya da daha çok isteği kabul edip, bu isteklere ait cevapları iyi tanımlanmış ara yüzler aracılığıyla geri dönen özerk sistemlerdir [5]. Servis ara yüzleri, servislerin gerçekleştiriminden bağımsızdır ve bu durum servislerin gevşek bağlı yapıda olmaları anlamına gelmektedir.

Grid teknolojilerindeki servis yönelimli yaklaşım, ilk olarak Open Grid Services Architecture (OGSA) [7] ile yaygın olarak gündeme gelmiştir. OGSA, Grid çalışmalarını aktif olarak yönlendiren bir araştırma grubunun ürünü olan Globus Toolkit [8] üzerine yapılan çalışmalar ile, Web Servisleri ve nesne-tabanlı dağıtık yazılım mimarileri üzerine yapılan çalışmaların sentezi sayılabilecek bir çerçeve oluşturarak, *Grid Servisi* kavramını türetmiş ve bir Grid Servisinin oluşturulması, koşturulması, yönetimi, yaşam döngüsünün denetimi gibi fonksiyonları sunan program arayüzlerini standartlaştırmaya girişmiştir [9]. Servis Yönelimli Mimarilerin ana damarı olan Web Servis tabanlı yaklaşım ile Grid Servisi kavramını dağıtık mimarilerdeki dağıtık nesne kavramına daha yakın kurgulayan OGSA arasında temel kavramların ve mekanizmaların tanımı ve kullanımı noktasında baş gösteren farklılıklara dayanan tartışmalar bir süre sonra kaynak yönelimli yaklaşımların doğmasına ön ayak olmuştur.

2.2 Kaynak Yönelimli Yaklaşım

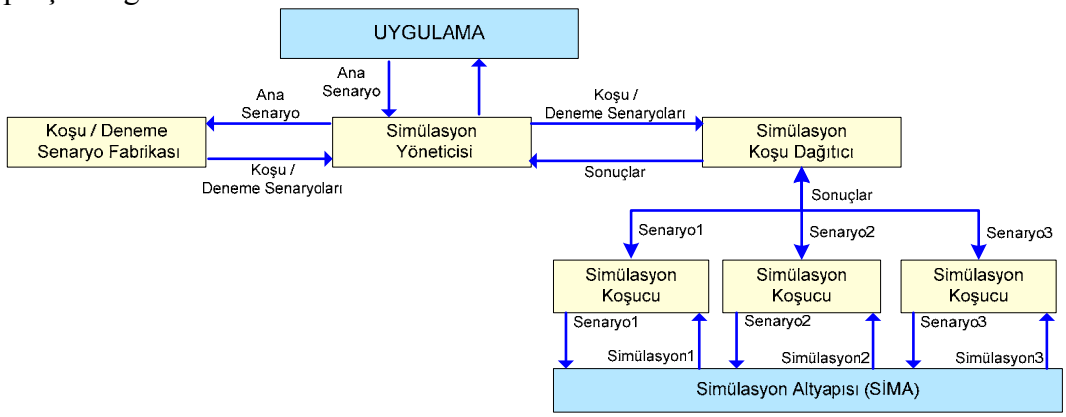
Kaynak yönelimli sistemlerde kaynaklar mantıksal adresler (örneğin URI) ile tanımlanır ve kaynak üzerindeki işlemler kaynaklara gönderilen istekler aracılığıyla yapılır [10]. Kaynak yönetimi esaslarını standartlaştırmak amacıyla, OASIS bünyesinde 2004 yılında Web Servisleri Kaynak Çatısı (Web Services Resource Framework, WS-RF) [6] tanımlanmıştır. Bu çatının tanımlanmasıyla grid teknolojilerinde servis yönelimli yaklaşımın yanı sıra kaynak yönelimli (resource-oriented) yaklaşımlar da yer bulmaya başlamıştır. WSRF standardının temel işlevi web servis kaynaklarının nasıl durum bilgili yapılabileceğini belirlemek ve ilgili standartları tanımlamaktır [12]. Bu kapsamda

tanımlanan WS-KaynakÖzellikleri (WS-ResourceProperties) belirtimi, web servis kaynaklarının XML tabanlı olan "Kaynak Özellikleri" dokümanında nasıl tanımlandığını, kaynak özellikleriyle ilgili sorguların ne şekilde gönderilebildiğini ve bu özelliklerin nasıl değiştirilebildiğini açıklar. Kaynak özellikleri dokümanı Web Servis kaynaklarının herhangi bir zamandaki durum bilgisini de gösterir. WSRF'in WS-KaynakÖmrü (WS-ResourceLifetime) belirtimi kaynak ömürlerinin yönetilmesi için gerekli ana mekanizmaları tanımlar. WS-ServisGrubu (WS-ServiceGroup) belirtimi, servislerin ve servis kaynaklarının aralarındaki gruplamaların nasıl yapılabileceğini belirler. Bu şekilde bir gruplama aynı grup içindeki servislere ve kaynaklara tek bir noktadan erişimi sağlayabilmesi açısından önemlidir [13]. Son olarak WS-TemelHatalar (WS-BasicFaults) belirtiminin amacı herhangi bir hata oluştuğunda bu hatanın raporlanması için gerekli standartları tanımlamaktır. Bu bildiride sunulan Sim-PETEK Grid üzerinde tanımlı bilgisayarları ve bunlar üzerindeki işlemci çekirdeklerini bir kaynak havuzu olarak soyutlayarak yönetmeyi hedeflediğinden, WS-RF standardlarını temel alarak geliştirilmiştir.

3. SİM-PETEK

3.1 Önceki Çalışmalar

1.1. kısmında anlatılan çoklu koşu ve Monte Carlo (MC) denemelerinin optimize edilebilmesi amacıyla çok işlemcili bilgisayarlarda paralel simülasyon koşusu yapabilen bir altyapı kurumumuz bünyesinde daha önce geliştirilmişti. Şekil 1'de bu altyapının parçaları görülmektedir.



Şekil 1. Simülasyon koşu dağıtım altyapısı

Simülasyon Yöneticisi çoklu koşuların ve bunlara bağlı denemelerin yapılmasını kontrol eder. Ana senaryoyu koşu/deneme senaryo fabrikasına gönderir. Koşu/Deneme Senaryo Fabrikası çoklu koşu parametreleri ve MC denemelerinde kullanılacak olan rastgele sayı üretim tohumlarını kullanarak senaryo varyasyonlarını üretir. Simülasyon yöneticisi parametreleri değiştirilmiş olan senaryoları alır ve Simülasyon Koşu Dağıtıcı'ya verir. Simülasyon koşu dağıtıcı simülasyon koşularının hangi sırayla çalışacağını belirler, dağıtılma sürecini kontrol eder ve koşu yapılmasını istediği koşuculara senaryo gönderir. Ayrıca simülasyonların başlatılması, dondurulması, durdurulması, durumları hakkında bilgi alınması ve sonuçlarının toplanması gibi işlevleri yerine getirir. Bu uygulamada simülasyon altyapısı olarak TUBİTAK UEKAE

İLTAREN bünyesinde geliştirilen DEVS tabanlı SİMA altyapısı [14] kullanılmıştır. Simülasyon koşucuları aldıkları senaryoları simulasyon katmanını (SiMA) kullanarak koşturulabilir modeller haline getirir ve SiMA simulasyon motorunu kullanarak simülasyonları koşar. Simülasyon koşucuları sonuçları dağıtıcıya geri dönerler ve o da topladığı sonuçları simülasyon yöneticisine aktarır.

Bu yapı çok işlemcili bilgisayarlarda 10000 koşu ve her koşu için 100 MC denemesi yapılması gibi çok yüksek zaman alan simülasyon senaryolarının oluşturulması, bu senaryolarının simülasyonlarının oluşturularak koşturulması ve sonuçlarının toplanarak yorumlanmasını gerektiren bir yazılımda başarı ile kullanılmıştır.

3.2 Problemin tanımı ve hedefler

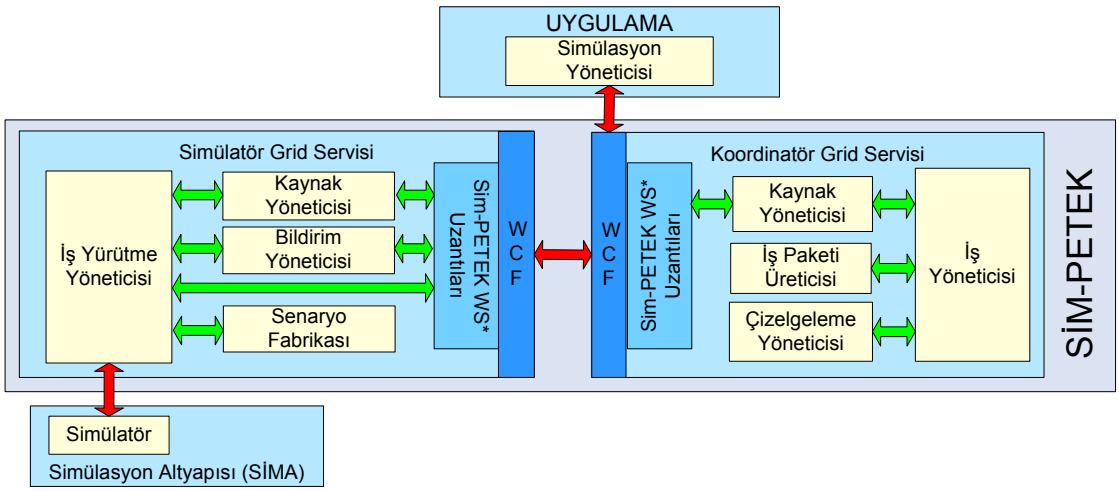
Simülasyon uygulamalarında Monte Carlo (MC) denemeleri ve çoklu koşuların yapılması sırasında mevcut kaynakların verimli ve etkili bir şekilde kullanılması koşu sonuçlarının kısa sürede ve doğru bir şekilde elde edilip değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu tür yüksek başarımlı hesaplama uygulamalarında iki ana yaklaşımın olduğu bilinmektedir: 1 – Çok işlemcili özel tasarımlı süper bilgisayarların kullanılması, 2 – Hesaplama işlerinin ağda konuşlu sıradan ve/ya süper bilgisayarlara dağıtılması. Özellikle iş paketleri arasında nedensel bağımlılık (causal dependency) ve ya veri akış bağımlılığı (data flow dependency) olmadığı durumlarda, iş paketlerinin mümkün olduğunca çok sayıda işlemciye dağıtılabilmesi istenen bir durum olduğundan, ikinci seçeneğin öne çıktığı bilinmektedir. Tam bu noktada Grid tabanlı çözümlerin önemli katkılar sağlayacağı söylenebilir. Ancak dağıtık ve heterojen kaynakların etkin kullanımını hedefleyen mimarilerin, iş dağıtımı, iş gözetleme ve denetimi, sonuçların etkin ve optimize bir biçimde toplanması ve/ya filtrelenmesi, güvenlik (asıllama, yetkilendirme, veri aktarım güvenliği vb.), güvenilirlik, hizmet kalitesi (quality of Service, QoS) gibi konularda yeni problem alanları oluşturabileceği göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle Grid tabanlı çözümlerde sistematik ve standardlara dayalı yaklaşımların uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu noktada 3.1 bölümünde bahsi geçen altyapıyı grid ortamına taşımayı ve üzerinde çalışan uygulamalardan bağımsız genel bir alt yapı kurabilmeyi hedefleyen Sim-PETEK altyapısının. OGSA ve WS-RF standartları ile tanımlanan mimariye uygun bir şekilde geliştirildiğinin altını çizmek istiyoruz.

3.3 Ana Mimari

Sim-PETEK servis tabanlı bir altyapı olarak tasarlanmıştır. Simülasyon işlerini dağıtan koordinatör ve bu işleri yürüten işçiler birbirleri ile Sim-PETEK kapsamında tanımladığımız mesajlarla ve belli bir iletişim protokolu uyarınca haberleşerek, kollektif bir iş yürütme altyapısı oluşturmaktadırlar. *Koordinatör Grid Servisi* (koordinatör) ve *Simülatör Grid Servisi* (işçi) kendi aralarındaki ve uygulama katmanı ile olan iletişimlerinde Grid teknolojilerinde kullanılan en yaygın standart olan WS-RF kapsamında tanımlanan WS-Addressing, WS- ResourceProperties, WS-BaseNotification ve WS-Security standartlarına uyumlu programlama arayüzleri sunmaktadırlar [12].

Sim-PETEK'in gerçekleniminde, Web servisleri mimarisini oluşturan alt katmanlar için .NET Windows Communication Foundation (WCF) en alt katman olarak kullanılmıştır.

WCF, dağıtık uygulamaların servis yönelimli bir mimariyle geliştirilebilmesini sağlayan XML Web Servisleri teknolojilerinin temel unsurlarını bünyesinde barındıran ve SYM (Servis Yönelimli Mimari) desteği sağlayan bir altyapı olarak tanımlanabilir [15]. WCF hâlihazırda WS-Addressing (Adresleme), WS-ReliableMessaging ve WS-Security (Güvenlik) standartlarını gerçeklemektedir. Ancak WS-ResourceProperties (Kaynaklar) ve WS-BaseNotification (Bildirim) standartlarını henüz gerçeklememektedir. Bu nedenle Sim-PETEK'in içindeki bir modül, WCF'in uzantı arayüzlerini kullanarak adı geçen standardları gerçeklemekte böylece WCF altyapısını WS-RF standardıyla uyumlu hale getirmeyi de hedeflemektedir. Bu uzantılar genel mimarinin resmedildiği Şekil 2'de "Sim-PETEK WS* Uzantıları" adıyla gösterilmiştir.



Şekil 2. Sim-PETEK genel mimari

Makalenin buradan sonraki bölümünde ifadeleri kısaltmak için, *Koordinatör Grid Servisi* yerine *Koordinatör*, *Simülatör Grid Servisi* yerine de *Simülatör* isimleri kullanılacaktır. İş dağıtımı sürecinde *Koordinatör*, *Simülatör*'e bağlanmakta ve servisin işlemci ve hafıza gibi kaynaklarını kullanmaktadır. *Simülatör* de işin durumu ve kaynakların durumu konusunda geri bildirim yapmaktadır. Servislerin çalışma mekanizması detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır. Sim-PETEK için bir "iş" bir *Simülatör*'e belirli bir sayıda çoklu koşu ve/veya monte-carlo denemesi koşabilmesi için gönderilen senaryo listesidir. Bir senaryo ise bir simülasyon koşusunun yapılabilmesi için gerekli olan parametrelerdir.

3.3.1 Koordinatör Grid Servisi

Koordinatör içerisinde *İş Yöneticisi, İş Paketi Üreticisi, Çizelgeleme Yöneticisi ve Kaynak Yöneticisi Bileşenleri* bulunmaktadır. İş yöneticisi, kullanıcıdan gelen iş tanımının işlendiği bileşendir. Ayrıca Simülatörlere bağlanıp kaynak bilgilerini almak, iş ve kaynak bildirimine abone olmakla sorumludur. Kaynaklar hakkında aldığı bilgileri çizelgeleme yöneticisine ve kaynak yöneticisine aktarır. Kaynak yöneticisi, Koordinatör'ün kullanabileceği simülatör kaynaklarının listesini tutar ve kullanıcı isterse kaynak bilgisini gönderir. Çizelgeleme yöneticisi, kendisine verilen işçi durumlarını analiz eder ve elindeki iş bilgisine de bakarak bir iş dağıtım planı yani

çizelge oluşturur. İş paketi üreticisi, simülasyon koşularını çizelgeye göre bölmek ve iş paketleri oluşturmaktan sorumludur. İş yöneticisi, çizelgeleme yöneticisinin oluşturduğu çizelgeyi alır ve bu bilgiyi iş paketi üreticisine verir. Daha sonra da işlerin Simülatörlere dağıtımını yapar. Kullanıcı iş tanımını direk olarak da verebilir, iş tanımının olduğu servisin referansını da verebilir. Bu durumda iş yöneticisi iş tanımlarını ilgili servisten alır.

3.3.2 Simülatör Grid Servisi

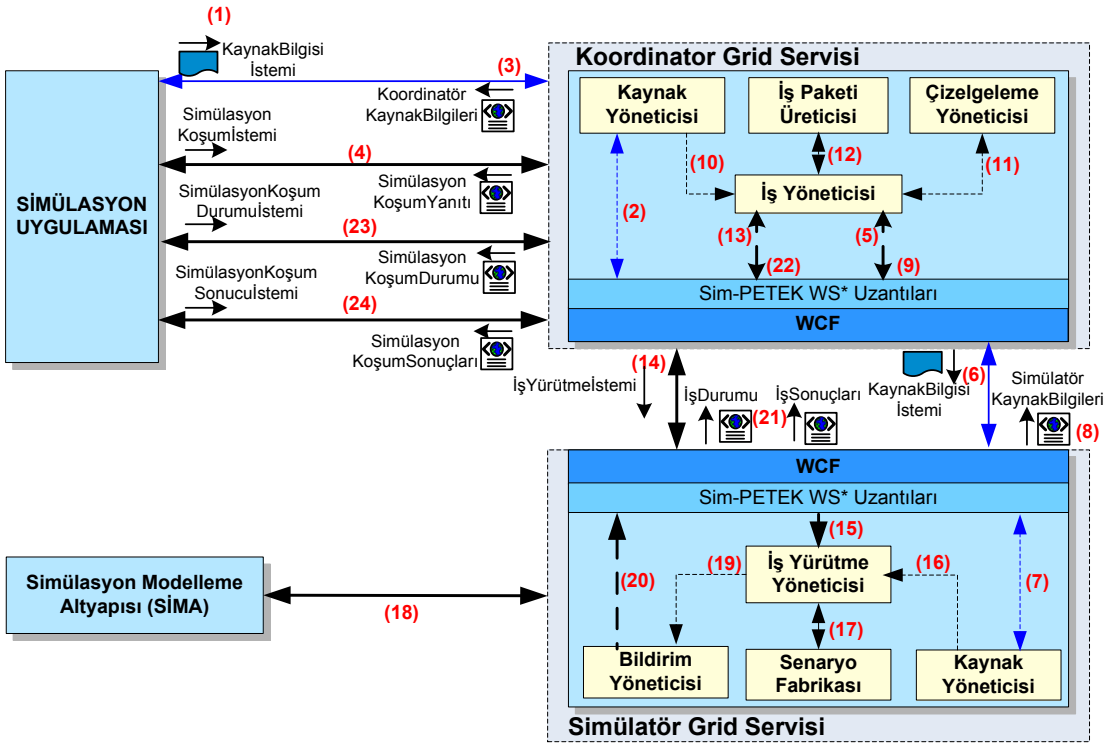
Simülatör servisi içerisinde *Kaynak Yöneticisi, Bildirim Yöneticisi, İş Yürütme Yöneticisi ve Senaryo Fabrikası* adlı bileşenleri bulundurur. Kaynak Yöneticisi bileşeni, WS-ResourceProperties ve WS-ResourceLifetime standartlarına uygun olacak şekilde kaynak yaratılması, kaynak sorgulanması, güncellenmesi ve yaşam sürecinin kontrol edilmesini yönetmektedir. Sim-PETEK Simülatörleri için servisin üzerinde konuşlu olduğu bilgisayarın donanımı bir kaynaktır. Bildirim yöneticisi, WS-BaseNotification standartlarına uygun olarak Simülatör'ün Koordinatöre; kaynakların değeri, kaynakların değişimi, yapılan işin durumu veya işin sonucu konusunda geri bildirim yapmasını sağlar. Bildirimlerin yayınlanması, aboneliğe izin verilmesi ve bildirinin ömrünün takip edilmesi gibi işlemleri yönetir. Senaryo fabrikası, ana senaryodan çoklu koşular ve MC denemeleri için senaryolar üretmek ile sorumludur. İş yürütme yöneticisi, gelen işi senaryo fabrikası aracılığı ile koşu senaryolarına çevirir. Daha sonra simülasyon altyapısı kullanılarak senaryolardan simülasyon oluşturulmasını ve bu simülasyonun koşturulmasını sağlar. Ayrıca simülasyonun durumu hakkında bilgi alır ve sonucu toplar. Bu bilgiler geri bildirim sırasında kullanılmaktadır. Sonuçların bildirileceği servis işi veren Koordinatör olmak zorunda değildir. İş tanımı ile birlikte sonuçların verileceği servisin referansı da gönderilebilir.

3.4 Çalışma Prensipleri

Sim-PETEK alt yapısının çalışma prensipleri bileşenler arasındaki iletişim akışı ve bu iletişimler sırasında iletilen bilgiler **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'te resmedilmiştir. Şekilde sistemin bileşenleri yanında bu bileşenleri arasındaki etkileşim, akış sırasını da belirtecek şekilde gösterilmiştir. Etkileşimlerin birbirleriyle mantıksal ve zamansal ilişkilerinin gösterilmesi amacıyla hem servisler arası ana etkileşimler hem de servis içindeki ana bileşenlerin bibirleriyle iletişimleri tek resimde gösterilmiştir.

Etkileşim akışı Simülasyon Uygulaması'nın Koordinatör'den "Kaynak Bilgisi İstemi"nde bulunmasıyla ve bu istemin yanıtını Kaynak Yöneticisi bileşeninden "Koordinatör Kaynak Bilgileri" şeklinde almasıyla başlar (1,2,3). Uygulamanın Koordinatör'den bu bilgileri alması, Grid ortamında konuşlu bulunabilecek birden fazla Koordinatör arasından iş yüküne göre seçim yapabilmesini sağlamaya yöneliktir. Kaynak bilgisine ulaşan Simülasyon Uygulaması, bu bilgiye göre Koordinatör'den "Simülasyon Koşum İstemi"nde bulunur ve bu isteminin sonucunda da simülasyon koşumuna ait tanımlamaları "Simülasyon Koşum Yanıtı" halinde alır (4). Bu noktadan sonra Koordinatör, Simülatör ile iletişime geçerek kaynak bildirimine abone olur ve "Kaynak Bilgisi İstemi"nde bulunur (5, 6). Simülatör üzerindeki Kaynak Yöneticisi bileşeninden alınan kaynak bilgileri (7) "Simülatör Kaynak Bilgileri" şeklinde önce Koordinatör'ün WCF ve Sim-PETEK WS* katmanına (8) oradan da İş Yöneticisi bileşenine iletilir (9). Simülatör kaynak bilgisini elde eden İş Yöneticisi koordinatör

kaynak bilgilerine de ulaşır (10) ve elde edilen tüm bu bilgiler çizelgeleri hazırlaması için Çizelgeleme Yöneticisi'ne iletilir (11). Hazırlanan çizelgeler, İş Yöneticisi bileşeni üzerinden İş Paketi Üreticisine gönderilir ve burada iş paketleri oluşturulur (12). İş paketlerinin oluşturulmasıyla Koordinatör, Simülatör'den "İş Yürütme İstemi"nde bulunacak hale gelmiştir (13, 14).



Şekil 3. Sim-PETEK Çalışma Prensipleri Şeması

"İş Yürütme İstemi" alan Simülatör istemi değerlendirmek üzere İş Yürütme Yöneticisi bileşenine aktarır (15). İş Yürütme Yöneticisi öncelikle simülatör kaynak bilgilerine ulaşır (16) ve elde ettiği bu bilgilere göre Senaryo Fabrikası'nın koşu senaryolarını üretmesini sağlar (17). Senaryo fabrikası, makalenin giriş bölümünde bahsedilen Sim-PETEK altyapısının simülasyona özel niteliklerinden birisini oluşturmaktadır. Senaryo fabrikası, ana simülasyon senaryosunu belli bir parametre aralığı için uyarlayarak, Simülasyon Grid Serivisine verilen koşu kümesinin icrası için gerekli olan senaryoları üretir. Bundan sonra üretilen koşu senaryoları koşturulmak üzere simülasyon modelleme altyapısına gönderilir (18). Simülasyon modelleme altyapısı simülasyon koşumundan elde ettiği durum ve sonuç bilgilerini Simülatör'e gönderdiğinde, bu bilgiler İş Yürütme Yöneticisi bileşeni aracılığıyla önce Bildirim Yöneticisi bileşenine (19), oradan da "İş Durumu" ve "İş Sonuçları" şeklinde Koordinatör'e iletilir (20, 21, 22).

Koordinatör'e gelen durum bilgileri Simülasyon Uygulaması'nın "Simülasyon Koşum Durumu İstemi"nde bulunması üzerine uygulamaya "Simülasyon Koşum Durumu" halinde iletilir (23). Simülasyon Uygulaması aldığı durum bilgisinden simülasyonun tamamlandığı verisine ulaştığında ise koordinatör servisten "Simülasyon Koşum Sonucu İstemi"nde bulunarak simülasyon sonuçlarını "Simülasyon Koşum Sonuçları" şeklinde alır (24).

Burada özellikle belirtilmesi gereken nokta simülasyon koşularının Grid üzerinde konuşlu bir kaynak havuzuna dağıtılmasına ilişkin karmaşıklığın Sim-PETEK içinde yer alan servis ve bileşenlere itildiği, Uygulama ile Koordinatör arasındaki etkileşimin oldukça basitleştirildiği, dolayısıyla simülasyon uygulama geliştiricileri açısından uygulanması kolay bir programlama modeline destek sağlandığıdır.

4. Sonuç ve Tartışmalar

Bu bildiride tanıtılan Simülasyonlar için Paralel ve Dağıtık Koşum Altyapısı (Sim-PETEK) ile, simülasyon uygulamaları kapsamında fazla işlenmemiş; ancak Grid altyapılarından faydalanma noktasında katma değeri, dağıtık simülasyon alanından çok daha yüksek olan simülasyon koşu ve deneme dağıtımı konusunda, uygulamadan bağımsız jenerik bir çözüm sunulmuştur. Sim-PETEK'in ayırt edici özelliklerini sıralamak gerekirse:

- Web Sevisleri teknolojilerine ve WS-RF standardına dayalı tam servis-tabanlı bir yazılım orta katmanı oluşturarak simülasyon uygulama geliştiricilerinin bu teknolojilerin sağladığı avantajlara erişimini kolaylaştırmaktadır,
- Grid üzerinde kaynak yönetimini simülasyon uygulamalarında belli bir grubu oluşturan çoklu-koşu ve MC denemelerinin dağıtımı için optimize eden bir yaklaşım önermektedir,
- Sim-PETEK Simülasyon Servisi, simülasyon altyapısı olarak DEVS formal yaklaşımı ile uyumlu SiMA yazılım kütüphanesini kullanarak simülasyonların ilklendirilmesi, koşturulması, sonuçların toplanması gibi aşamalarda iyi tanımlanmış bir mekanizma kullanmakta, bu da altyapı içindeki mesaj formatları ve akış mantığının düzenli ve sistematik bir biçimde tanımlanmasına katkıda bulunmaktadır.

Sim-PETEK'in iyileştirilmesi yönündeki planlarımız iki noktada yoğunlaşmaktadır:

- Mecvut haliyle Sim-PETEK Grid ortamının güvenli olduğunu varsaymaktadır. Yakın gelecekte WS-Security standardı ile uyumlu güvenlik altyapılarını sisteme dahil edilmesi planlanmaktadır,
- Sim-PETEK, kaynak havuzunda yer alan düğümlerden herhangi birisinin simülasyon koşturumu sırasında devre dışı kalması durumunda gerekli kurtarma ve toparlama mekanizmalarını şu anda içermemektedir. Gelecekte devre dışı kalan düğüme atanan işlerden tamamlanmamış olanlarının yeniden dağıtımına dayalı mekanizmaların altyapıya eklenmesi planlanmaktadır.

5. KAYNAKÇA

[1] Y. Xie, Y.M. Teo, W. Cai, and S.J. Turner. "Service provisioning for HLA-based distributed simulation on the Grid", Gelişmiş ve Dağıtık Benzetimin Prensipleri, 2005. sayfa 282–291, 2005.

[2] J.M. Pullen, R. Brunton, D. Brutzman, D. Drake, M. Hieb, K.L. Morse, and A. Tolk. "Using Web services to integrate heterogeneous simulations in a grid environment", Gelecek Nesil Bilgisayar Sistemleri, 21(1):97– 106, 2005.

[3] K. Zajac, A. Tirado-Ramos, Z. Zhao, P. Sloot, and M. Bubak. "Grid Services for HLA-Based Distributed Simulation Frameworks", Grid Hesaplama: İlk Avrupa Gridler Konferansı, Santiago de Compostela, İspanya, 13-14 Şubat, 2003, sayfa 147. Springer, 2004.

[4] G. Theodoropoulus, Y.Zhang, D. Chen, R. Minson, S.J.Turner, W.Cai & Y. Xie, B. Logan, "Large Scale Distributed Simulation on the Grid", 2003

[5] C. Peiris & D. Mulder, "Pro WCF Practical Microsoft SOA Implementation", 2007

[6] "Web Services Resource Framework", Örün sayfası: http://www.globus.org/WSRF

[7] "Open Grid Services Architecture", Örün sayfası: http://www.globus.org/OGSA

[8] "Globus Toolkit", Örün sayfası: http://www.globus.org/toolkit

[9] I. Foster, C. Kesselman, J. M. Nick & S. Tuecke, "The Physiology of the Grid: An Open Grid Service Architecture for Distributed Systems Integration", Örün sayfası: www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf

[10] J.Y. Chen, "Resource-Oriented Computing: Towards a Universal Virtual Workspace", 2007

[11] I. Foster, C. Kesselman, & S. Tuecke, "Anatomy of a Grid", Örün sayfası : www.globus.org/research/papers/anatomy.pdf

[12] M. Humphrey, G. Wasson, J. Gawor, J. Bester, S. Lang, I. Foster, S.Pickles, M. Mc Keown, K. Jackson, J. Boverhof, M. Rodriguez ve S. Meder, "State and Events for Web Services: A Comparison of Five WS-Resource Framework and WS-Notification Implementations", 14. IEEE Uluslararası Yüksek Performanslı Dağıtık Hesaplama Faaliyetleri Sempozyumu, s. 3-13, Temmuz 2005

[13] B. Sotomayor, "The Globus Toolkit 4 Programmer's Tutorial", Kasım 2005.

[14] A.Kara, D. Bozağaç ve M.N. Alpdemir, "Simülasyon Modelleme Altyapısı (SiMA): DEVS Tabanlı Hiyerarşik ve Modüler bir Modelleme ve Koşum Altyapısı", İkinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modeleme ve Simulasyon Konferansı (USMOS), Nisan 2007.

[15] S.Resnick, R. Crane & C.Bowen, "Essential Windows Communication Foundation For .NET Framework 3.5", Addison Wesley, Şubat 2008

İletişim Bilgileri

Ad Soyad	Adres	E-mail	Telefon	Faks
Doruk Bozağaç	TÜBİTAK UEKAE / İLTAREN Şehit Yzb. İlhan Tan Kışlası 8. Cad 417 Sok. Ümitköy ANKARA	dorukb@iltaren.tubitak.gov.tr	0312 2916059	0312 2916004
Gülşah Karaduman	TÜBİTAK UEKAE / İLTAREN Şehit Yzb. İlhan Tan Kışlası 8. Cad 417 Sok. Ümitköy ANKARA	gulsahk@iltaren.tubitak.gov.tr	0312 2916074	0312 2916004
Mahmut Nedim Alpdemir	TÜBİTAK UEKAE / İLTAREN Şehit Yzb. İlhan Tan Kışlası 8. Cad 417 Sok. Ümitköy ANKARA	nedima@iltaren.tubitak.gov.tr	0312 2916084	0312 2916004

HLA UYUMLU SİMÜLASYONLAR İÇİN ENTEGRE GELİŞTİRME ORTAMI

F. Göktuğ GÖKDOĞAN [(a)], Günay ÖZKAN [(b)], Turgay ÇELİK [(c)], Fatih KÜÇÜKYAVUZ [(d)]

MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş. Teknokent ODTÜ 06531 Ankara

[(a)] ggoktug@milsoft.com.tr

[(b)] gozkan@milsoft.com.tr

[(c)] tcelik@milsoft.com.tr

[(d)] fkucukyavuz@milsoft.com.tr

ÖZ

İleri Seviye Mimari *(High Level Architecture - HLA*), IEEE tarafından standartlaştırılmış ve dağıtık simülasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir mimaridir. HLA standardının bir parçası olan Federasyon Geliştirme ve İcra Süreci (FEDEP) HLA uyumlu yazılım geliştirme adımlarını tanımlar.

HLA sunduğu zengin arayüz ile birçok simülasyon sistemi için uygun bir teknoloji olsa da HLA uyumlu simülasyon geliştirme ve sınama süreci karmaşık ve hatalara açıktır. Bu süreci kolaylaştıracak araçların olması, geliştirme maliyetini ve riskleri azaltacak, ürün kalitesini artıracaktır.

Bu bildiride, araç ihtiyaçlarını gidermek için mevcut araçların eksiklikleri göz önünde bulundurularak geliştirilen nesne modeli ve federe tanımlama, federeler ile nesne modelini ilişkilendirme, otomatik kod üretme, hata ayıklama ve izleme, performans ölçme, otomatik test ve doğrulama araçları, desteklediklerı FEDEP adımlarıyla eşleştirilerek anlatılacaktır.

Anahtar Kelimler: İleri Seviye Mimari, FEDEP, Destek Araçları, Kod Üretimi, KOZA, Otomatik Test, Hata Ayıklama ve İzleme

INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT FOR HLA-COMPLIANT SIMULATIONS

ABSTRACT

The High-Level Architecture (HLA) is a widely used architecture for distributed simulation systems. Federation Development and Execution Process (FEDEP), which comes as a part of HLA standard, defines the steps of HLA compliant simulation software development.

Despite providing rich services and interfaces for simulation development, HLA compliant simulation development and verification process is complex and is prone to errors. Tools that resolve these issues will increase product quality, decrease development costs and risks.

In this paper, federation object model definition, federate definition, federate and object model association, automatic code generation, data monitoring and debugging, performance monitoring, and automated testing tools, which are developed considering shortcomings of existing ones, will be presented with mappings to supported FEDEP steps.

Keywords: HLA, FEDEP, Support Tools, Code Generation, RTI, Automatic Testing, Inspection and Debugging

1 GİRİŞ

İleri seviye mimari *(High Level Architecture - HLA*), [1][2] IEEE tarafından standartlaştırılmış ve dağıtık simülasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir mimaridir. HLA'da federe olarak adlandırılan simülasyon birimleri, koşum zamanı altyapısı (KOZA; *Run Time Infrastructure-RTI*) üzerinden HLA standardındaki kurallar çerçevesinde etkileşim kurarlar.

HLA standardının bir parçası olan Federasyon Geliştirme ve İcra Süreci (FEDEP) [3] HLA uyumlu yazılım geliştirme adımlarını tanımlar. FEDEP, HLA standardının bir parçasıdır (IEEE 1516.3).

HLA uyumlu simülasyonların geliştirme süreci, karmaşık olmasının yanında hatalara da açıktır. Bu nedenle, süreci kolaylaştıracak araçlar ürünün kalitesini artırırken maliyet ve riskleri azaltacaktır. HLA belirtiminin tanımlanmasından hemen sonra başlayan, FEDEP adımlarını destekleyici araç geliştirme çalışmaları günümüzde halen devam etmektedir. Mevcut araçların ele almadığı çeşitli problemler vardır. Bu bildiride anlatılan araçlar, mevcut araçların eksikliklerinin ve projeye özel ihtiyaçların giderilmesi için geliştirilmiştir.

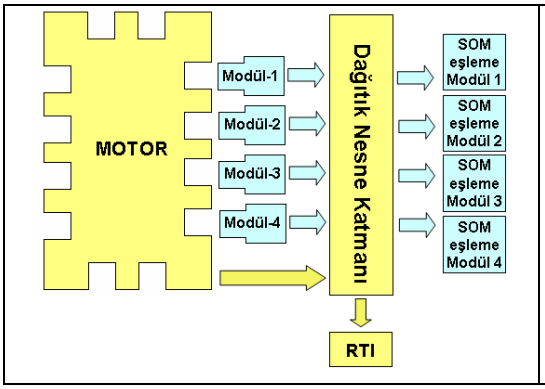
İkinci kısımda, bildirideki anlatılan araçların HLA uyumluluğu için kullanılan SimALT Uygulama Çatısının kısa bir özeti verilmektedir.

Üçüncü kısımda bu bildiriye konu olan, nesne modeli tanımlama aracı, federeler ile nesne modelini ilişkilendirme aracı, otomatik kod üretme aracı, hata ayıklama ve izleme aracı (Casus), performans ölçme aracı, otomatik test ve doğrulama araçları, kayıt ve tekrar oynatma aracı ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

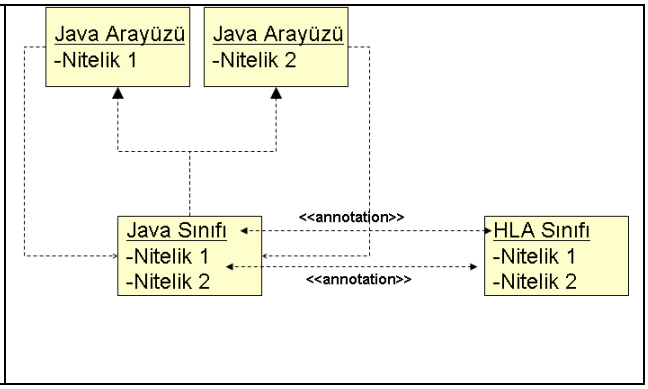
Dördüncü kısımda geliştirilen araçların FEDEP adımlarına eşleştirmesi anlatılmaktadır.

2 ALT YAPI

Geliştirilen araçlar SimALT Uygulama Çatısının sağladığı servisler kullanılarak geliştirilmiştir. Bu alt yapı Dağıtık Nesne Katmanı (DNK) ve Motor kesimlerinden oluşur (Şekil-1).



Şekil-1. Altyapı



Şekil-2. HLA Sınıfları ile Java Sınıflarının Eşlenmesi

DNK, KOZA soyutlaması sağlar, HLA'dan gelen verileri java nesneleri olarak saklar ve HLA olaylarını hizmet verdiği simülasyon modüllerine (SM) iletir [4]. SM'ler her biri ayrı bir federe olabilecek şekilde tasarlanmış yazılım modülleridir. DNK KOZA arayüzlerini kullanmadan tek görev (*process*) üzerinde bir ya da birden fazla SM'ye nitelik bazlı yayımlama, üye olma hizmetleri ve basit bir zaman yönetimi hizmeti verir. DNK kullanıcıları açısından farklı görevler üzerinde çalışmak ile aynı görev üzerinde çalışmak arasında fark olmaz.

HLA nesneleri ile Java nesneleri arasında nitelik bazlı üyelik ve yayımlamaları da içerecek şekilde otomatik eşleme yapılabilmesi için Şekil-2'de verilen yapı kurulmuştur. Bu yapı aracılığı ile nitelik bazlı üyelik ve yayımlamalar Java arayüz (*interface*) sınıflarına indirgenen bir soyutlama sağlanmıştır. Her SM için tanımlanmış SOM'un (*Simulation Object Model*) bir uzantısı olan bu arayüzler sayesinde her SM sadece kendi üye olduğu ve yayımladığı niteliklere erişebilir.

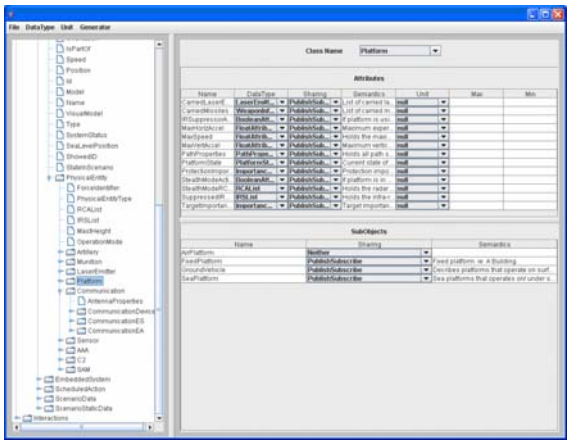
Motor uygulaması temel olarak SM'lerin koordineli şekilde çalışmasını sağlar. Motor'un yapılandırılması vasıtası ile her SM ayrı bir görev üzerinde çalışabileceği gibi farklı görevler üzerinde mantıksal veya performans gereksinimlerini karşılayacak şekilde gruplanarak çalıştırılabilir. Motor, SM'lere hem zaman uyumlu (senkron) hem de zaman uyumsuz (asenkron) erişim arayüzleri sağlar.

SimALT sayesinde simülasyon modelleri KOZA'dan tamamen soyutlanmıştır ve sadece iş mantıklarını içeren kodlardan oluşurlar. Aynı zamanda SimALT'ın sağladığı tek görev üzerinde çalışma imkanı, geliştirme ve sınama işlemlerinde dağıtık yapının zorluklarına karşı büyük bir avantaj sağlar.

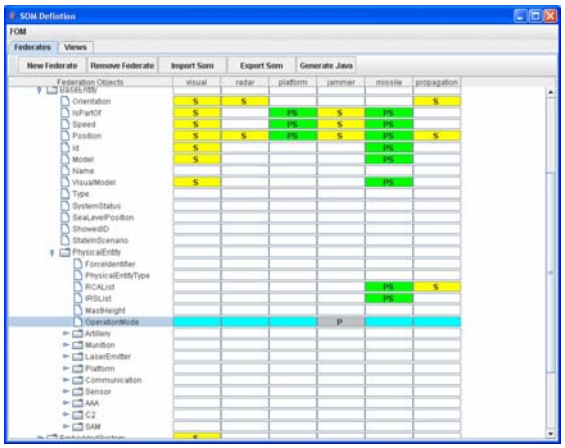
3 ARAÇ AİLESİ

3.1 Nesne Modeli Tanımlama Aracı

HLA FOM, (*Federation Object Model*) sadece federelerin birlikte çalışabilirliği için gerekli ortak veri yapısını tanımlar. Ancak bu tanımlama niteliklerin asgari azami değerleri, birimleri gibi özellikleri taşımaz. Bu özelliklerin FOM'dan daha kapsamlı bir kavramsal modelde tanımlanıp bu kavramsal modelden FOM üretilebilmesi daha detaylı kavramsal modelleme yapılmasına olanak sağlayacaktır. Bu bağlamda araç ailesi projesi kapsamında FOM+ veri modeli tanımlanmıştır. Nesne Modeli Tanımlama Aracı, FOM+ modeli oluşturma, bu modelden FOM üretme işlevlerini yerine getirir. Nesne modeli tanımlama aracının bir ekran görüntüsü Şekil-3'de verilmiştir.



Şekil-3. Nesne Modeli Tanımlama Aracı Ekran Görüntüsü



Şekil-4. Federeler İle Nesne Modelini İlişkilendirme Aracı Ekran Görüntüsü

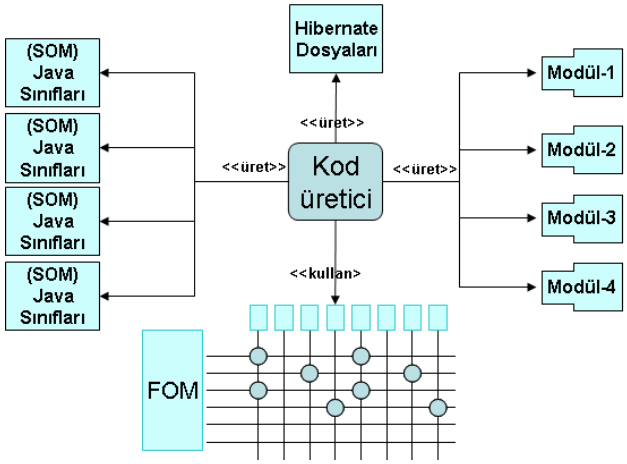
3.2 Federeler ile Nesne Modelini İlişkilendirme Aracı

Nesne Modeli Tanımlama Aracı ile tanımlanmış nesne modeli ve federeler arasında bir bağlantı yoktur. SOM'a (*Simulation Object Model*) karşılık gelen bu bağlantı HLA uygulamalarında ancak kod seviyesinde yayımlama/üye olma yöntemleriyle kurulur. Federeler ile Nesne Modelini İlişkilendirme Aracı, kod seviyesinde olan bu ilişki kurma işlemini modelleme seviyesine çeker. Böylece genel modelleme eğilimine uygun olarak SOM'un görselliği ve üretimi sağlanır. Mevcut ilişkilerin bir bütün olarak görüntülenmesi aynı zamanda anormalliklerin tespitini de kolaylaştırır (Şekil-4).. Ayrıca, bu ilişkilendirme ile federe kodunun bir kısmının otomatik üretilmesi mümkündür.

3.3 Otomatik Kod Üretme Aracı

Nesneye yönelik bir mimaride, HLA uyumlu simülasyon geliştirirken FOM'daki her yapı (nesne sınıfı, etkileşim sınıfı, veri türleri vs.) bir sınıf ile ifade edilir. Bu sınıflar, herhangi bir mantıksal işlem yapmayan, veri eşleştirme sınıflarıdır. Özellikle kavramsal modelin

yinelemeli olarak geliştiği durumlarda sıkça değişen bu sınıfların el ile idame ettirilmesi hataya açık ve maliyetlidir. Otomatik kod üretme aracı, FOM sınıfları için Java karşılıklarını POJO (*Plain Old Java Object*) [5] olarak Şekil-2'de verilen yapıya uygun bir şekilde üretir. Bu üretim sırasında FOM'da tanımlı açıklamaları *javadoc* [6] olarak ve azami asgari değerleri *annotation* [7] olarak Java sınıflarına taşır. Bunun yanı sıra, FOM nesnelerinin kalıcılığını (*persistance*) kolaylaştırmak için *Hibernate* [8] eşlemelerini de üretir. Dosyaya kalıcılığı sağlamak için sınıfları XML [9] dönüşüm/geri dönüşüm kütüphaneleri sunar. Otomatik Kod Üretme Aracı tanımlanmış federeler/simülasyon modülleri için üye olma ve yayımlama kesimlerini SOM dosyalarını kullanarak üretir. Şekil-5'de aracın ürettiği kodlar ve kullandığı yapılar verilmiştir.



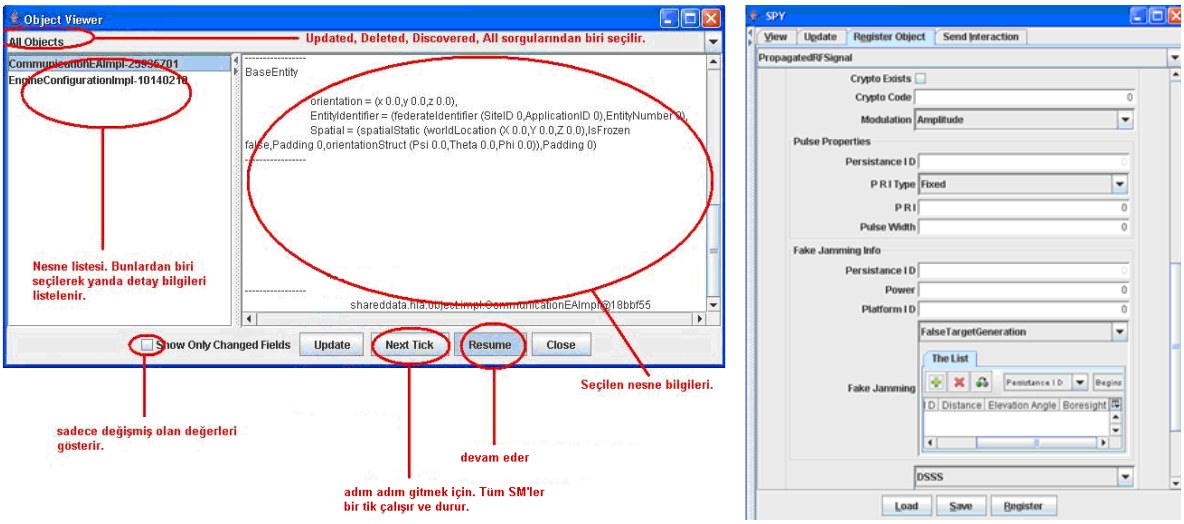
Şekil-5. Kod Üretme Aracı

3.4 Hata Ayıklama ve İzleme Aracı (Casus)

Casus, mevcut bir federasyona yeni bir federe olarak katılıp senaryoyu kontrollü şekilde koşturmaya ve DNK (dolayısı ile KOZA) üzerindeki nesneleri ve etkileşimleri izlemeye yöneliktir. Senaryo koşumunun herhangi bir anda durdurulabilmesini, o anki nesne ve etkileşimlerin izlenebilmesini ve senaryonun adım adım ilerletilebilmesini sağlar.

Bunlara ek olarak yeni nesne kaydedilebilir, kaydedilen nesneler değiştirilebilir, silinebilir, etkileşim ve sahip olunmayan nesneler için değişiklik isteği yollanabilir .Bu işlemler aracın tüm HLA nesne ve etkileşimleri için otomatik ürettiği ekranlar üzerinden yapılır (Şekil-6).

Casus simülasyondaki federelerden tamamen bağımsız olarak koşmaya katılabildiği için hedef ortamda dahi hataların ayıklanabilmesi için kullanılabilir. Araç, test ekipleri tarafından el ile (otomatik olmayan) testlerin yapılmasını da sağlar. Bu amaca yönelik olarak araç, nesnelerin anlık durumlarını dosyaya yazmaya ve gerektiğinde tekrar dosyadan geri almaya yönelik kabiliyetler sunar.

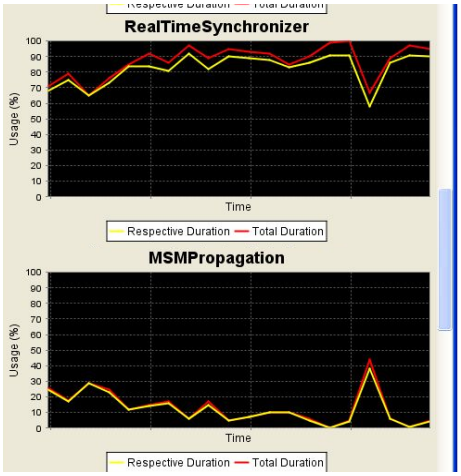


Şekil-6. Casus İzleme ve Koşum Kontrol Ekranı

3.5 Performans Ölçüm Aracı

Performans Ölçüm Aracı SM'lerin ve DNK'nın performansını ölçmek için kullanılan bir araçtır. Araç koşum süresince çerçeve (*frame*) sürelerini, SM'lerin ve DNK'nın bu sürenin yüzde kaçını kapladığını ölçerek grafiksel olarak performansın izlemesini sağlar (Şekil-7).

Bu sayede performans problemi olan ve optimizasyon gerektiren simülasyon modelleri tespit edilebilir. Simülasyon modellerinin farklı makinelerde çalıştığı durumlarda da ölçümler yapılarak simülasyon modüllerinin en uygun federe dağılımları tespit edilebilir.



Şekil-7. Performans Ölçüm Aracı Ekranı

3.6 Otomatik Test ve Doğrulama Aracı

Otomatik testlerin en büyük avantajı sürekli entegrasyon ortamlarında [12] çalıştırılabilmeleridir. Özellikle artırımlı, yinelemeli ve evrimsel süreçlerin vazgeçilmez bir parçası olan otomatik testler devamlı regresyon görevini üstlenmenin yanında, önce test (*test first*) geliştirme süreçlerinin işletilmesine de olanak sağlar. Bu otomatik testlerin kapsama (*coverage*) [13] ölçüm araçları ile entegre edilmesi ile testlerin kodun ne kadarını kapsadığına dair raporları da almak mümkün hale gelir.

Otomatik Test ve Doğrulama Aracı, bu amaca hizmet etmek için, DNK'nın tek göreve (*process*) indirgeme özelliğinden istifade ederek JUnit [10] üzerine kurulmuş bir otomatik test ortamıdır. Bu ortam aracılığı ile Motor kontrol edilebilir, DNK servislerine erişebilir, SM'lere bağımlılıkları yerine taklit [11] nesneler enjekte edilebilir. Bu yetenekler ile beraber her adımın sonunda nesnelerin son durumları ve yayımlanan etkileşimler sorgulanarak SM'lerin sınamaları ve performans testleri otomatik olarak gerçekleştirilebilir (Şekil-8). Ayrıca, test durumuna başka SM'ler eklenerek otomatik entegrasyon testleri uygulanabilir.

```
@Override
final protected void setUp() throws Exception {

    super.setUp();

    addMSM(new MSMSAM(), getClass().getResource(BASE_PATH + "sam/scenario/SAMSystem.xml")
            .getFile(), SAM.class);

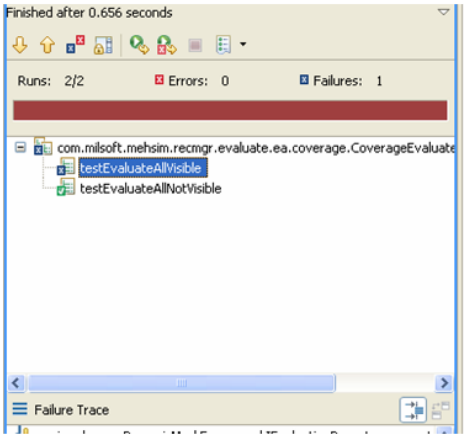
    dolConnection.publishObjectClass(TrackingRadar.class);
    dolConnection.publishObjectClass(Missile.class);
    dolConnection.publishInteractionClass(C2TrackInteraction.class);
    dolConnection.publishInteractionClass(PlatformDetonationInteraction.class);

    dolConnection.subscribeObjectClass(SAM.class);
    dolConnection.subscribeInteractionClass(MissileFireInteraction.class);

    startScenario();
}

public void testTracksThatAreNotInSectorShallNotBeProcessed() throws Exception {

    twoTick();
    sendC2TrackAssignment(TARGET_ID);
    twoTick();
    assertRadarDetectRequestSent();
    sendRadarTrack(TARGET_ID, 10, 1000, false, IN_SECTOR_POSITION);
    twoTick();
    assertRadarEngageRequestSent(TARGET_ID);
    sendRadarTrack(TARGET_ID, 10, 1000, false, OUT_OF_SECTOR_POSITION);
    twoTick();
    assertNoInteractionIsSent();
    sendRadarTrack(TARGET_ID, 10, 1000, true, OUT_OF_SECTOR_POSITION);
    assertNoInteractionIsSent();
    sendRadarTrack(TARGET_ID, 10, 1000, false, IN_SECTOR_POSITION);
    twoTick();
    assertRadarEngageRequestSent(TARGET_ID);
}
```



Şekil-8. Örnek JUnit Tabanlı Test Kodu

3.7 Kayıt ve Tekrar Oynatma Aracı

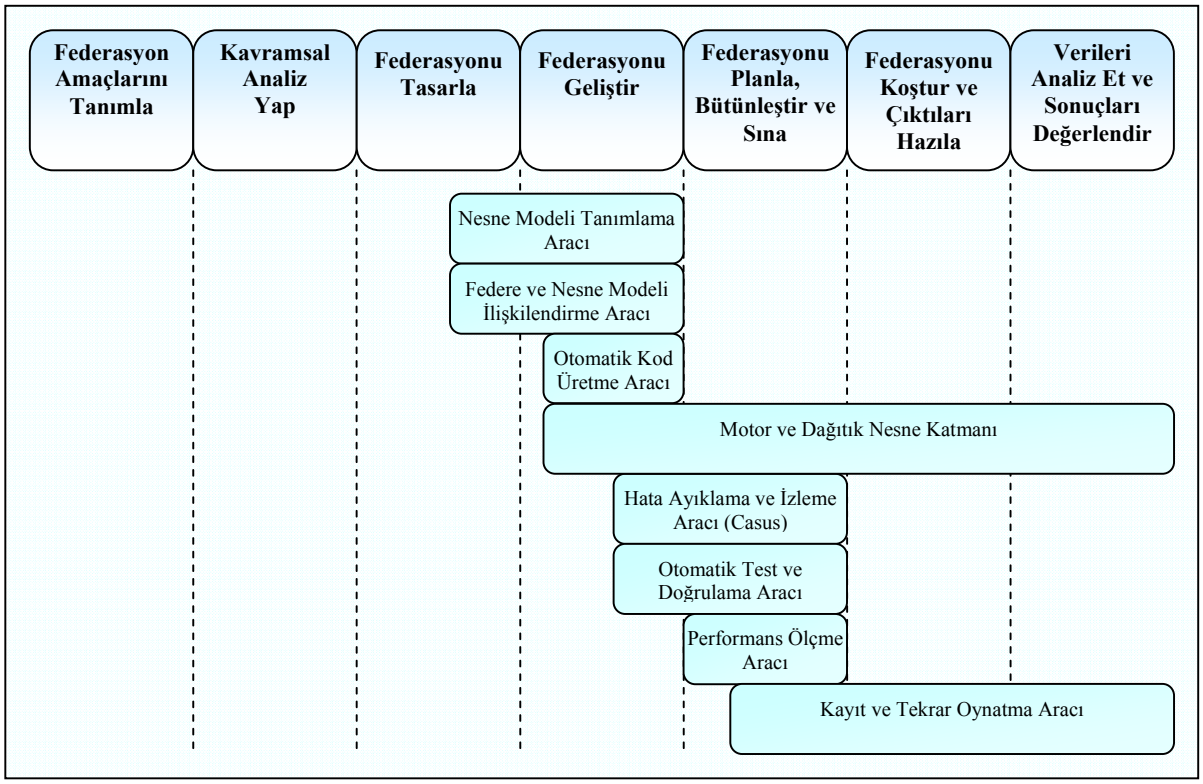
Kayıt ve Tekrar Oynatma Aracı, bir SM olarak federasyona dahil olur. Tanımlanmış nesne ve etkileşimlere üye olarak akan tüm verileri kaydeder. Kaydedilen veriler tekrar oynatma amaçlı olarak istenilen hızda tekrar simülasyona verilebir, tekrarlanamayan hatalar kolay bir şekilde tekrar edilebilir. Aynı zamanda bu veriler sayesinde daha sonra (*offline)* analizler gerek kayıtlı dosya üzerinden gerekse HLA üzerinden yapılabilir.

4 ARAÇLARIN FEDEP ADIMLARINA EŞLEŞTİRİLMESİ

Bu bildiride anlatılan araçlar FEDEP'in üç, dört, beş, altı ve yedinci adımlarında kullanılmaktadır (Şekil-9).

FEDEP'in üçüncü adımı olan "Federasyonu Tasarla" aşamasında FOM'un ve SOM'un tasarınımı kolaylaştırmak için sırası ile "Nesne Modeli Tanımlama Aracı" ve "Federe ve Nesne Modeli İlişkilendirme Aracı" aracı kullanılmaya başlanılacaktır.

Federelerin gerçekleştiriminin yapıldığı dördüncü aşamada, hazırlanan SOM ve FOM verilerinden "Otomatik Kod Üretme Aracı" kullanılarak ortak veri nesneleri üretilir. Ayrıca geliştirme sırasında federe sınamaları ve doğrulamaları için "Otomatik Test ve Doğrulama Aracı" kullanılırken hataların kaynaklarının bulunmasını kolaylaştırmak için "Hata Ayıklama ve İzleme Aracı (Casus)" kullanılabilir.



Şekil-9. Araçların FEDEP Adımlarına Eşleştirilmesi

FEDEP'in beşinci adımı, "Federasyonu Planla, Bütünleştir ve Sına"dır. Otomatik entegrasyon testleri ve hata ayıklama için "Otomatik Test ve Doğrulama Aracı" ile "Casus" kullanılmaya devam eder. "Performans Ölçme Aracı" kullanılarak federelerin kaynak tüketimlerinin hedeflere uygunluğu değerlendirilir. Ayrıca yine bu adımda, geliştirilen

simülasyonun koşumu sırasında "Kayıt ve Tekrar Oynatma Aracı" kullanılarak toplanan bilgilerin test ve/veya hata tekrarlama amacı ile kullanılması mümkündür.

FEDEP'in altıncı adımı olan "Federasyonu Koştur"'da, kayıt toplama amaçlı "Kayıt ve Tekrar Oynatma Aracı" kullanılır.

FEDEP'in yedinci adımı, "Sonuçları Analiz Et ve Değerlendir"dir. "Kayıt ve Tekrar Oynatma Aracı" kullanılarak toplanmış olan koşum bilgisi analiz için değerlendirilebilir.

5 SONUÇ

Bildiride verilen araç ailesi, zaman adımlı simülasyonlara özel bir alt yapı ve bu alt yapı üzerine geliştirilen araçlardan oluşmaktadır. Özel ihtiyaçlara yönelik geliştirilmiş bu alt yapı ve araç ailesi uzun soluklu bir simülasyon projesinin temel yapı taşlarını oluşturmuş ve projenin başarısında anahtar rol oynamıştır. Alt yapının ve araç ailesinin sade yapısı, dışa olan bağımlılığının azlığı, açık standartlar üzerine kurulu olması araçların zaman adımlı birçok simülasyon projesinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu alt yapı, araçlar ve bu alt yapı üzerinde geliştirilen simülasyon modelleri kolaylıkla ürün hattına (*product lines*) [14] dönüşebilecek bir yapıdadır. Böylece benzer projelerin daha hızlı kullanıma sunulmasını, maliyetinin düşmesini, üretkenliğin ve kalitenin artmasını sağlamaktadır.

Bu bildiride bahsedilen alt yapı ve araçlar göstermektedir ki, özellikle uzun soluklu projelerde bu türdeki alt yapıların erken safhalarda geliştirmesi projenin ilerleyen safhalarında yüksek geri dönüşümler sağlamaktadır.

Amaca uygun araç desteği, yazılım geliştirme sürecini hızlandırmanın ve maliyeti düşürmenin yanında, süreci çok daha basit ve uygulanabilir hale getirmektedir. Sonuçta, bu araçlar sayesinde, ürünün kalitesi artarken sürecin icrası sırasında hata yapma olasılığı azalmaktadır.

6 KAYNAKÇA

[1] IEEE High Level Architecture, 1516-2000

[2] F.Kuhl, R. Weatherly, J.Dahhman, (1999), "Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to the High Level Architecture"

[3] IEEE, Recommended Practice For HLA Federation Development and Execution Process (FEDEP), IEEE Std 1516.3 (2003)

[4] F.G.Gökdoğan, G.Özkan, T.Çelik, (2007), "Ölçeklendirilebilir HLA Uyumlu Simülasyonlar için Uygulama Çatısı: SimALT", İkinci Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı – USMOS'07

[5] POJO, http://en.wikipedia.org/wiki/Plain_Old_Java_Object

[6] Javadoc, http://java.sun.com/j2se/javadoc/index.jsp

[7] Annotation, http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/language/annotations.html

[8] Hibernate, http://www.hibernate.org

[9] Extensible Markup Language (XML), http://www.w3.org/XML/

[10] JUnit, http://www.junit.org

[11] Mock objects, http://sourceforge.net/projects/mockobjects

[12] Cruise Control, http://cruisecontrol.sourceforge.net

[13] Java coverage, http://emma.sourceforge.net

[14] Product lines, http://www.sei.cmu.edu/productlines/

EK BİLGİ

Bu bildiri ile ilgili iletişim bilgileri aşağıda olduğu gibidir.

Uğur ÇAKIR

MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş. Teknokent ODTÜ 06531 ANKARA

Tel: 312-292300 Faks: 312-2100032 E-Posta: ucakir@milsoft.com.tr

HLA UYUMLU TAKTİK ÇEVRE UYGULAMA ÇATISI İÇİN SİSTEM ANALİZ ÇALIŞMASI

Turgay ÇELİK [(a)], Göktuğ GÖKDOĞAN[(b)]

MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş. Teknokent ODTÜ 06531 Ankara

[(a)] tcelik@milsoft.com.tr

[(b)] ggoktug@milsoft.com.tr

ÖZ

Benzetim sistemleri ve gerçek sistemlerinin bir parçası olarak taktik çevre benzetimlerinin kullanımı, geliştirilen uygulamaların gerçekçiliğini ve kalitesini arttırmakta, tekrar kullanım sayesinde geliştirme sürecini kısaltmaktadır. Taktik Çevre Benzetimleri, başka uygulamalarla entegre edilerek kullanılacaklarından ve bu uygulamaların ihtiyaçları çok çeşitli olabileceğinden, çoğu zaman Taktik Çevre Benzetimlerinde uyarlamalar yapılması gerekir. Taktik Çevre Benzetimleri, kolay entegrasyon, genişleyebilirlik ve değiştirilebilirlik gereksinimlerini karşılayabilmek için, doğrudan kullanılacak hazır ticari ürünler yerine, genellikle bir takım hazır benzetim modelleri içeren, sağladıkları arayüzler, altyapılar ve araçlar yardımıyla kolayca uyarlanabilecek uygulama çatıları olarak sunulurlar. Bu bildiride kolay entegrasyon, genişletme ve değiştirilebilmeye olanak sağlaması amaçlanan HLA uyumlu bir taktik çevre uygulama çatısının gereksinimleri ve kavramsal tasarımı anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bileşen Tabanlı Yazılım Geliştirme, Birlikte Çalışabilirlik, HLA, Taktik Çevre Benzetimi, Tekrar Kullanılabilirlik

SYSTEM ANALYSIS FOR HLA COMPLIANT TACTICAL ENVIRONMENT APPLICATION FRAMEWORK

ABSTRACT

Using Tactical Environment Simulations as part of simulation and real systems increases reality and quality of the developed applications while reducing development time by enabling reuse. Tactical Environment Simulations are utilized by integrating with other applications which can have wide variety of requirements, so customizations are required. So apart from most of the COTS tools that are used directly, Tactical Environment Simulations are often provided as application frameworks which contain predefined simulation models, extension interfaces, middleware and tool set in order to provide easy customization and integration. In this paper, requirements and conceptual design for HLA compliant Tactical Environment Application Framework that supports easy integration, extension and customization are provided.

Keywords: Component Based Software Engineering, HLA, Interoperability, Reusability, Tactical Environment Simulation

1. GİRİŞ

Benzetim sistemlerinin önemi artmakta ve kullanım alanları giderek genişlemektedir. Bu gelişmelere paralel olarak, benzetim sistemlerinin tekrar kullanılabilirlik ve birlikte çalışabilirlikleri giderek daha da önemli hale gelmektedir. Birlikte çalışabilirlik ve tekrar kullanılabilirlik ihtiyaçlarını karşılamak için DIS[6], HLA[1][3] gibi mimari çözümler geliştirilmiştir, fakat bu mimari çözümler genel amaçlı üst seviye çözümlerdir. Ürün maliyetini düşürmek, hızlı geliştirme yapabilmek ve tekrar kullanılabilirliği arttırmak için bu üst seviye mimarileri altyapı olarak kullanılıp, uygulama alanına özel servisler, tekrar kullanılabilir bileşenler ve araçlar sağlayan uygulama çatılarının geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu bildiride, sadece yazılım bileşenlerinden oluşan benzetim sistemleri, gerçek sistemler, gerçek sistem ve benzetim sistemlerinin bir arada bulunduğu sistemler gibi geniş bir uygulama alanında kullanılabilecek HLA[2][3] uyumlu bir Taktik Çevre Uygulama Çatısının gereksinimleri ve kavramsal tasarımı anlatılacaktır. Önerilen Taktik Çevre Uygulama Çatısı, çeşitli araçlar, bir benzetim altyapısı, servis hizmetleri ve jenerik modeller içerir.

İkinci kısımda, bir taktik çevre uygulama çatısına neden ihtiyaç duyulduğu anlatılacaktır.

Üçüncü kısımda, taktik çevre uygulama çatısının karşılaması gereken gereksinimler anlatılacaktır.

Dördüncü kısımda, bir önceki kısımda sıralanan gereksinimleri karşılayacak bir taktik çevre uygulama çatısının kavramsal tasarımı anlatılacaktır.

Beşinci kısımda, sonuç ve gelecek çalışmalar anlatılacaktır.

Bildiri boyunca verilen örnekler, benzetim sistemleri ve gerçek sistemlerin Elektronik Harp(EH) taktik çevre ihtiyaçları bağlamında olacaktır.

2. TAKTİK ÇEVRE UYGULAMA ÇATISI İHTİYACI

Savunma Sektöründe geliştirilen birçok benzetim uygulamasında, modellenen asıl sistemlerin yanı sıra, sistemlerin etkileştiği çevre ve diğer unsurların da belirli bir sadakat seviyesinde ve detayda modellenmesi gerekir. Örneğin, bir helikopter benzetimi gerçekleştirildiğinde odak noktası olan helikopterin yanı sıra, helikopterle etkileşimi olabilecek Elektronik Harp cihazlarının, coğrafi ortamın ve hava koşullarının da modellenmesine ihtiyaç vardır. Literatürde bu amaca hizmet eden benzetim sistemlerine Taktik Çevre Benzetimi denmektedir[17]. Taktik Çevre Benzetimleri sadece benzetim sistemleri için değil, gerçek sistemler için de kullanılmaktadır. Taktik Çevre Benzetimleri, benzetim sistemlerinde modellenen ana unsurlar dışındaki unsurlar ve çevre için jenerik modeller sağlamak için kullanılırken, gerçek sistemlerde, sistemin etkileştiği çevre ve diğer sistemler için sınama ve eğitim amaçlı benzetim modelleri sağlamak için kullanılır[11]. Taktik Çevre Benzetimlerinin potansiyel başka bir

kullanım alanı da, tehdit değerlendirme, silah atama gibi algoritmaların sınanması ve davranışlarının çözümlenmesidir. Taktik Çevre Benzetimlerinden beklenilen yetenekler uygulamaya göre çok değişeceğinden, genellikle hazır bir Taktik Çevre Benzetimini değiştirmeden kullanmak mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı Taktik Çevre Benzetimleri, genellikle çeşitli hazır yetenekler sunan ve uygulamanın ihtiyaçlarına göre yeni yetenek eklenmesine, mevcut yeteneklerin değiştirilmesine veya çıkarılmasına olanak sağlayan uygulama çatıları kullanılarak geliştirilirler[12][14].

Değişik taktik çevre benzetimleri oluşturulmasına olanak sağlayacak bir taktik çevre uygulama çatısının, benzetim sistemleri, gerçek sistemler ve algoritmaların sınanmasında etkin biçimde kullanılabilmesi için, karşılaması gereken gereksinimler bir sonraki kısımda verilmiştir. İlerleyen kısımlarda "taktik çevre uygulama çatısı" ifadesi yerine kısaca "uygulama çatısı" ifadesi kullanılacaktır.

3. TAKTİK ÇEVRE UYGULAMA ÇATISININ GEREKSİNİMLERİ

Bu kesimde, büyük çaplı bir Elektronik Harp Benzetimi projesi geliştirilirken ortaya çıkan ihtiyaçlara göre belirlenmiş Taktik Çevre Uygulama Çatısı gereksinimleri açıklanacaktır.Bir Taktik Çevre uygulama çatısının karşılaması gereken gereksinimler, dört temel kümede ele alınabilir:

3.1. **Standartlara Uyum, Hızlı Uygulama Geliştirme ve Yük Dengeleme:**

Bu kısım, uygulama çatısının kolay geliştirme yapmaya olanak sağlaması ve diğer sistemlerle kolayca entegre edilebilmesine ilişkin gereksinimleri içerir. Benzetim sistemlerinin birlikte çalışabilirlik (*interoperability*) ve tekrar kullanılabilirliklerini (*reusability*) sağlamak için DIS [6], HLA [1][3], TENA [5] gibi çeşitli mimari çözümler ve standartlar geliştirilmiştir. HLA, IEEE (1516) ve NATO (STANAG 4603) standardında tanımlı bir mimari olması ve dünya çapında yaygın olarak kullanılması, geliştirilecek ortamın HLA uyumlu olmasına bir gerekçe teşkil etmektedir.

Geliştirilecek uygulama çatısı, değişik mimariler üzerine kurulmuş uygulamalarla entegrasyonu ve mevcut bir uygulamanın gelecekte başka bir mimari üzerine taşınmasını kolaylaştırmalıdır. Taktik Çevre Benzetimlerinin HLA uyumlu benzetim sistemlerinde genel kullanımı, Taktik Çevre Benzetiminin uygulamaya -yani federasyona- bir federe olarak katılmasıdır. Bu çözüm sayesinde hem Taktik Çevre Benzetimi uygulamanın diğer kısımlardan soyutlanmış, hem de Taktik Çevre Benzetiminin modellediği çok sayıda unsur ölçeklendirilebilir olarak tek federede çalıştırılmış olur. Geliştirilecek uygulama çatısı, bir federenin birden çok unsuru modelleyebilmesine olanak sağlamalıdır. Çok sayıda unsurun modellendiği veya unsur modellerinin karmaşık olup fazla kaynak tükettiği durumları desteklemek için uygulama çatısı yük dengelemeye olanak sağlamalıdır. Tüm Taktik Çevre Benzetimini bir federede çalıştırmanın yanı sıra, yük dengelemesini sağlamak için Taktik Çevre Benzetimi birden çok federede farklı sistem kaynakları üzerinde çalıştırılabilmelidir.

3.2. **Geniş Kullanım Alanı ve Jenerik Unsur Modelleri Sağlama**

Uygulama çatısı, yapay (*Constructive*) bileşenlerden oluşan eğitim ve analiz benzetimleri için kullanılabileceği gibi, sanal (*Virtual*) benzetimler için de taktik çevre altyapısı olarak kullanılabilmelidir. Sadece benzetim sistemlerinden oluşan yapay ve

sanal ortamların yanı sıra, uygulama çatısı gerçek (*Live*) sistemler ile entegre edilerek kullanılabilmelidir.

Uygulama çatısı, sistem entegrasyonu, algoritma sınama, operasyonel analiz, doktrin geliştirme, kavram doğrulama gibi değişik amaçlara hizmet edebilecek şekilde esnek tasarlanmalı ve geliştirilmelidir.

Uygulama çatısı, her biri birer bileşen olarak ele alınıp farklı sistemlerde kullanılabilecek hazır benzetim modellerini içeren bir model kütüphanesi sunmalıdır. Uygulama çatısı, ihtiyaca göre model kütüphanesine yeni modellerin ve yeteneklerin eklenmesine, mevcut modellerin kolaylıkla değiştirilmesine veya çıkarılmasına izin vermelidir. Model kütüphanesinin uygulama çatısıyla birlikte gelen ilk içeriğinin, uygulama çatısı kullanılarak geliştirilecek taktik çevre benzetimlerinin kullanılacağı alana uygun olarak geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin, Elektronik Harp(EH) modelleri sağlaması amaçlanan bir model kütüphanesinde; RF/EO yayılım, Radar (Arama,Takip, Radar Seeker, Havan Tespit vs.), RF karıştırma/aldatma, ESM/DF sistemleri, pasif ikaz sistemleri (MWS, LWR, RWR), aktif kendi koruma (chaff, flare, vs.), link ve muhabere sistemleri, platform hareketi, EO/RF güdümlü füze ve algılayıcıları, Komuta Kontrol, SAM sistemi, balistik silah, otonom davranış modellemeleri gibi hazır tanımlı modeller bulunmalıdır.

Sağlanan modellerin gerçeğe yakınlığını artırmak için coğrafi koşullar ve hava şartlarının model davranışı üzerindeki etkileri modellenmelidir. Örneğin, EH model kütüphanesindeki radar modelleri, değişik hava koşullarının ve coğrafi ortamın etkisini dikkate alacak şekilde modellenmelidir.

Modeller, Taktik Çevre federesi/federelerinde çalışacaktır. Bir önceki kısımda belirtildiği gibi, Taktik Çevre Benzetimi, ihtiyaca göre bir federede veya birden çok federeye dağılmış olarak çalışabilmeli, bir modelin hangi federede çalıştığına bağlı olarak davranışının değişmemesi gerekmektedir. Bu gereksinimi karşılamak için, model kütüphanesindeki modeller arasında doğrudan bir bağımlılığın olmaması, modeller arası bağımlılıkların yayımlama (*publish*) ve üye olma (*subscribe*) arayüzleri olarak tanımlanması gerekmektedir. Modeller, veri arayüzleri sayesinde etkileştikleri diğer modellere doğrudan bağımlı olmadan birlikte çalışabilirler. Her bir unsur modeli, diğer unsur modellerinden bağımsız ayrı bir bileşen olarak geliştirilebilmeli, paketlenebilmeli ve tekrar kullanılabilmelidir.

3.3. **Görsel Eğitim Ortam ve Araçları**

Geliştirilecek benzetim ve taktik çevre altyapısı, kolay ve hızlıca eğitim ve test ortamı üretmeye olanak sağlamalıdır.

Uygulama çatısı, veritabanında saklanabilen ve değişik senaryolarda kullanılabilen unsur modelleri oluşturulmasına ve bu unsurların model kütüphanesinde tanımlanan modellere eşlenmesine olanak sağlamalıdır. Uygulama çatısı, unsurların birleştirilerek özel unsurlar üretilmesine, bu unsurların saklanmasına ve değişik senaryolarda kullanılmasına olanak sağlamalıdır. Örneğin bir EH model kütüphanesinde, tanımlı RF algılayıcılar, optik algılayıcılar, radar sistemleri, muhabere sistemleri, silah sistemleri gibi çeşitli modelleri alt bileşen olarak içeren özel platformlar tanımlanabilmelidir.

Uygulama çatısı, veritabanında tanımlanan modelleri kullanarak görsel bir ortamda harita destekli olarak senaryo oluşturulmasına olanak sağlayacak bir senaryo editörü içermelidir. Senaryo editöründe, temel olarak unsur parametreleri değiştirilebilmeli, otonom davranışları tanımlanabilmeli, platform modellerine rota tanımlanabilmeli, unsurlar birleştirilerek bütünleşik unsurlar oluşturulabilmeli ve unsurlar arası muhabere bağlantı hatları tanımlanabilmelidir. Senaryo editörü, sayılan temel yeteneklerinin yanı sıra, senaryoların mantıksal bir bütünlük içerisinde koşmasını ve koşum sonrasında analiz edilmesini desteklemek için gerekli yetenekleri (sistemlerin kaplama alanları ve unsurlar arası görüş hatlarının görselleştirilmesi, taktik şekil çizimi gibi) içermelidir.

Uygulama çatısı, senaryo editöründe tanımlanan senaryoları tek bilgisayarda veya dağıtık ortamda koşturmaya olanak sağlayacak bir senaryo oynatıcı sağlamalıdır. Senaryo oynatıcı, benzetim ortamını zenginleştirmek ve gerçekçiliği arttırmak için dost, düşman, tarafsız olabilecek Bilgisayar Üretimli Kuvvetler (*Computer Generated Forces–CGF*) sağlamalıdır. Senaryo oynatıcı, senaryo koşumunu analiz ve değerlendirme amacıyla kaydedebilmeli, kaydedilen senaryoları değişik hızlarda tekrar oynatabilmelidir.

Senaryo oynatıcının, gerçek hayatta ürettikleri veriler iki boyutlu ekranlarda görselleştirilen unsurlar için 2B ekranlar sağlaması gerekmektedir. Örneğin, bir EH benzetimi için geliştirilecek senaryo oynatıcı, Arama radarı, Takip radarı, Radar ED, RWR, Muhabere, Muhabere ED gibi cihazlar için PPI (Plan Position Indicator) Skop, A Skop, B Skop, Doppler Skop gibi iki boyutlu skop ekranları sağlamalı, unsur tespitleri, haberleşme durumu ve karıştırmalar gibi gerçek cihazların skop ekranlarında izlenebilen olayları bu ekranlarında görselleştirilmelidir.

Senaryo oynatıcı uygulaması, harita destekli iki boyutlu gösterimin yanı sıra, senaryo koşumu esnasında coğrafi ortamı (dağlar, denizler, yollar, bitki örtüsü, köprü gibi insan yapısı unsurlar v.b.), atmosferik koşulları (yağışlar, bulut durumları, gün durumu v.b.), senaryodaki unsurları ve unsurların davranışlarını (örneğin; chaff, flare, sakınma manevrası gibi karşı tedbirler) üç boyutlu olarak görselleştirmelidir.

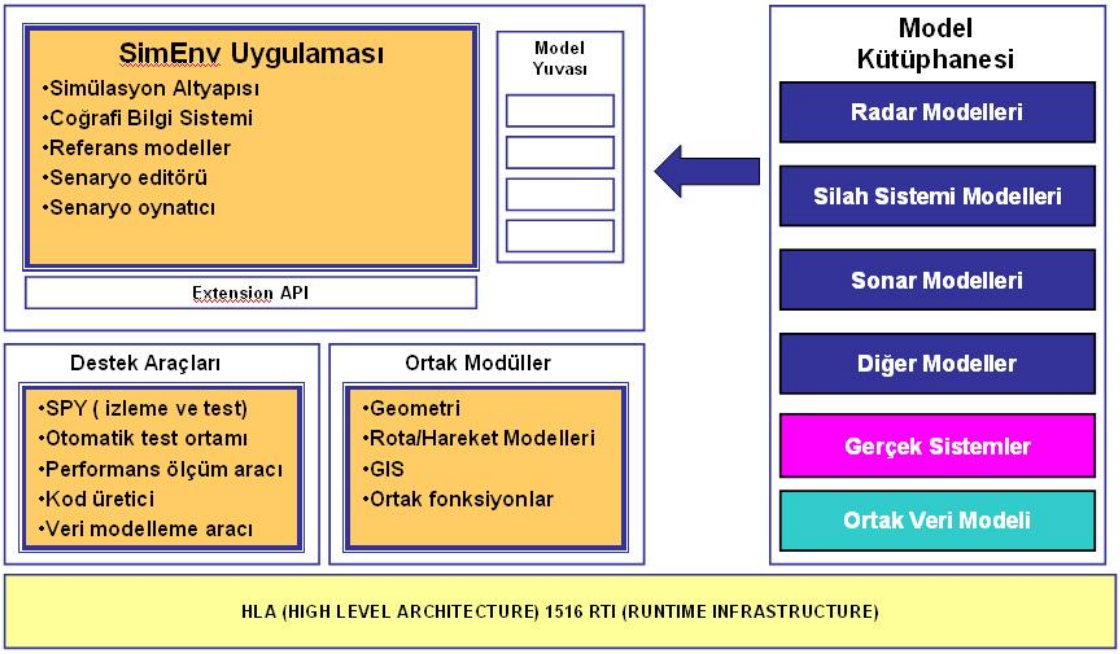
3.4. **Hızlı ve Etkin Uygulama Geliştirme için Araç Desteği Sağlama**

Uygulama çatısı, FEDEP'te tanımlanan tasarım, geliştirme, entegrasyon ve sınama yaşam döngüsü adımlarını [4] destekleyecek ve geliştirme sürecini hızlandıracak çeşitli araçlar sağlamalıdır. Geliştirilmesi gereken araçlardan ilki, jenerik modellerin tasarımı aşamasında kullanılacak bir modelleme aracıdır. Bu modelleme aracı, jenerik modellerin veri arayüzlerinin tanımlanmasına ve uygulamanın ortak veri modelinin belirlenmesine olanak sağlamalıdır. Geliştirilmesi gereken ikinci araç, paylaşımlı ortak verinin uygulama kodunun otomatik olarak üretilmesini sağlayacak kod üreticidir. Bu aracın, özellikle veri modelinin sık değiştiği ortamlarda olası hataları engellemesi ve geliştirme sürecini hızlandırması beklenmektedir. Geliştirilmesi gereken üçüncü araç, dağıtık ortamda çalışan benzetim uygulamasının zaman ilerlemesini hata ayıklama amacıyla durdurup jenerik modeller arasında kullanılan paylaşımlı verinin anlık durumunu incelemeye olanak sağlayacak hata ayıklama aracıdır. Geliştirilmesi gereken dördüncü araç, jenerik bir modelin tek başına birim sınamasının (*unit test*) yapmasına olanak sağlayacak birim test altyapısıdır. Geliştirilmesi gereken beşinci araç, jenerik

modellerin kaynak tüketimlerini ve performanslarını ölçerek iyileştirmeler için girdi sağlayacak performans ölçüm aracıdır.

4. HLA UYUMLU TAKTİK ÇEVRE UYGULAMA ÇATISI KAVRAMSAL TASARIMI

Bir önceki kısımda anlatılan gereksinimleri karşılamak için geliştirilecek uygulama çatısının kavramsal tasarımı Şekil 1'de verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, uygulama çatısı temel olarak dört kısımdan oluşan HLA 1516 uyumlu bir uygulama çatısıdır.



Şekil 1 MilSOFT SEP'in Genel Görünümü

Uygulama çatısının modülleri, anlamsal bütünlük oluşturacak şekilde aşağıda detaylandırılmıştır.

4.1. **Simülasyon Altyapısı**

HLA, sağladığı üst düzey soyutlamayla uygulamaların standart bir arayüz üzerinde haberleşmesine olanak sağlar, fakat HLA uyumlu yazılım geliştirmek zordur ve uzun bir öğrenme süreci vardır. Bu problemleri çözmek için, HLA üzerine bir soyutlama katmanı daha yazılarak bileşenlerin HLA RTI Uygulama Program Arayüzünden (API) bağımsız olması ve HLA ile ilgili çok fazla bilgiye sahip olunmadan geliştirme yapılmasıyla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır [13].

Simülasyon altyapısı, uygulama çatısı kullanılarak geliştirilmiş uygulamaların modülerliğinin sağlanması ve başka mimarilere entegrasyonun kolaylaşması için, HLA RTI arayüzünü bir soyutlama katmanı ile geliştirilen uygulamadan ayırmaktadır. Simülasyon Altyapısı üzerinde çalışan uygulamalar, HLA RTI'a özel herhangi bir kesim içermez. Uygulamaların farklı bir mimariye entegrasyonu için sadece Simülasyon Altyapısının uyarlanması yeterli olacaktır.

Simülasyon Altyapısı, bir Simülasyon Motoru ve Dağıtık Nesne katmanından oluşur. Simülasyon Altyapısı, benzetim modeli geliştirmek için jenerik bir temel oluşturur. Uygulama çatısı, Simülasyon Altyapısı kullanılarak, taktik çevre ve sentetik ortam sağlama, birlikte çalışma gibi amaçlarla DDS[8], DIS[6], TENA[5] gibi diğer mimarilere kolayca entegre edilebilir.

4.2. Model Kütüphanesi

Yazılım Mühendisliğinin güncel bir çalışma alanı olan Bileşen Tabanlı Yazılım Mühendisliği [1], yazılım sistemlerini, arayüzleri tanımlı işlevsel bileşenlere ayırmayı önerir. Böylece geliştirilen bileşenler başka bileşenleri içerebilir, başka bileşenlerin parçası olabilir; bir arayüz ile soyutlanmış olur; bağımsız bir versiyona sahip olur ve tekrar kullanılabilir. Tekrar kullanılabilirliğe sadece yazılımsal bileşenler olarak bakmak doğru değildir. Bir bileşenin karşıladığı gerçek hayat gereksinimleri, bileşeni doğrulayan testler, bileşenin dokümantasyonu da bileşenin parçalarıdır ve bileşenle birlikte paketlenmelidir. Bu sayede, bileşen tüm parçalarıyla birlikte bir bütün olarak başka bir sistemde tekrar kullanılabilir.

Benzetim sistemlerinin tekrar kullanılabilirliği ve birlikte çalışabilirliğini sağlamak için tanımlanan HLA [1][3] standardı incelendiğinde, mimari çözümün bileşen teknolojilerindeki kavramlarla uyuştuğu görülür. HLA'da her bir katılımcı "federe" olarak adlandırılır ve her bir federenin dış dünyayla bağlantısı benzetim nesne modeli (*Simulation Object Model – SOM*) adı verilen arayüz tanımı üzerinden olur. Federe tanımı, bileşen teknolojilerindeki "Bileşen" kavramıyla örtüşmektedir.

HLA mimarisinde ele alınmayan ve çözümü geliştiricilere bırakılan bir detay, federe bileşen soyutlamasının, birbirleriyle sıkı etkileşim içerisinde olan, binlerce hatta milyonlarca unsurun modellenmesi gerektiği durumda yeterli olmamasıdır. Bu durumda her katılımcı unsuru bir federe olarak tasarlamak, özellikle iletişim maliyetini arttırması açısından etkin bir çözüm değildir. Bu durumda, birden çok unsurun tek bir federede çalışmasına yönelik olarak yeni bir bileşen soyutlaması yapılması gerekmektedir. HLA uyumlu benzetim sistemlerinde birden çok unsurun bir federede modellenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır [9][14]. Uygulama çatısının kavramsal tasarımı yapılırken, bu sorunu çözmek için "model" adı verilen yeni bir soyutlama tanımlanmıştır. Her modelin arayüzü aynen HLA federelerinde olduğu gibi bir SOM ile ifade edilir. Model mimarisi incelendiğinde, soyutlamasının HLA mimarisindeki federelerle aynı olduğu görünmektedir.

Modeller, model kütüphanesinde saklanır, oluşturulan senaryolara göre model kütüphanesinden çekilerek simülasyon motoru üzerinde bir federede veya daha çok federeye dağıtılarak çalıştırılırlar. Gerektiği durumda bir federe sadece bir modeli çalıştıracak şekilde ayarlanabilir. Örneğin, karmaşık bir modelleme içeren, dolayısıyla kaynak tüketimi fazla olan bir benzetimin modeli, bir bilgisayar sistemi üzerinde tek başına çalışan bir federeye atanarak tüm sistem kaynaklarını tek modelin kullanması sağlanabilir. Bu yetenek yük dengelemesi (*load balancing*) yapmaya olanak sağlar, ayrıca değişik çözünürlükteki modellerin aynı benzetim ortamında zaman uyumlu olarak çalışabilmesi için altyapı desteği sağlanmış olur.

Jenerik unsur modelleri geliştirmek amacıyla tasarlanan model kütüphanesindeki modeller, ortak bir veri modeli aracılığıyla bilgi alışverişinde bulunurlar. Bu ortak veri

modeli, HLA Federasyon Veri Modeli (*Federation Object Modeli – FOM*) biçiminde tanımlanır.

4.3. Coğrafi Bilgi Sistemi

Uygulama çatısı, değişik coğrafi koşullarda çalışmaya olanak sağlamak için bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanır. CBS yardımıyla harita altlığı desteği de geleceğinden daha iyi ve ifade gücü yüksek bir görsel ortam sağlanması hedeflenmektedir. CBS, görüş hattı sorgulama, yükseklik sorgulama, standartlara uygun sembol gösterimi, taktik şekil, hava sahası, kaplama alanı gösterimi gibi yetenekleri sağlar.

4.4. Referans Modeller

Referans Modeller uygulamasıyla, veritabanı destekli olarak yeni unsur modelleri oluşturulabilir, mevcut unsur modellerinin parametreleri güncellenebilir veya modeller silinebilir. Referans modeller uygulaması, herhangi başka bir unsuru içermeyen atomik unsurlar tanımlamaya olanak sağladığı gibi, başka unsurları üzerinde barındıran bütünleşik unsurlar da tanımlamaya olanak sağlar.

4.5. Senaryo Editörü

Senaryo editörü, CBS destekli harita altlığı yardımıyla referans modellerde tanımlanan unsur modelleri kullanılarak senaryolar oluşturulup veritabanı veya dosya sisteminde saklanmasına olanak sağlar. Senaryo oluşturulurken senaryo ortamı olarak değişik coğrafi ortamlar ve atmosferik koşullar seçilebilir. Senaryo editöründe hava durumu, bulut durumu, gün zamanı(gece/gündüz), rüzgar şiddeti ve yönü belirlenebilmektedir.

4.6. Senaryo Oynatıcı

Senaryo oynatıcı, gereksinimler kısmında sıralanan senaryo oynatma gereksinimlerini karşılayan modüldür. Senaryo koşumu esnasında tüm haberleşme HLA 1516 standardına uygun olarak benzetim altyapısı üzerinden yapılır. Dağıtık senaryo koşumunda veri alışverişi RTI üzerinden yapılır. Senaryo sadece tek bilgisayarda koşturulduğunda veri iletişimi için RTI kullanılıp kullanılmayacağı konfigüre edilebilir.

Senaryo oynatıcı uygulamasının bir parçası, sistemler için skop ekranlarını sağlayan 2B Skop görüntüleme modülüdür. 2B Skop görüntüleme modülü, model kütüphanesindeki modeller gibi HLA 1516 standardına uygun olarak geliştirilmiş kendi SOM'u olan bir modeldir.

Senaryo oynatıcının bir diğer parçası, 3 boyutlu görselleştirmeyi sağlayan 3B görüntüleme modülüdür. 3B görüntüleme modülü de diğer modeller gibi HLA 1516 standardına uygun olarak geliştirilmiş, kendi SOM'u olan bir modeldir.

4.7. Ortak Modüller

Uygulama çatısı, Model Kütüphanesi, Simülasyon Altyapısı ve diğer bileşenlerinin ortak olarak kullandığı modülleri tekrar kullanım amacıyla "Ortak Modüller" kısmında paketlemektedir. Rota çizim ve işleme, CBS destek, Propogasyon destek kütüphaneleri, CMDS bileşenleri, tehdit değerlendirme bileşenleri gibi modüler kütüphaneler yeni modellerin ve yeteneklerin geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır.

4.8. Destek Araçları

Uygulama çatısı kapsamında, 3.4 kısmında gereksinimleri verilen ve FEDEP yaşam döngüsü adımlarını desteklemesi amaçlanan araçlar tasarlanmıştır. Dağıtık hata ayıklama için "SPY", Jenerik modellerin bağımsız sınanması için "Otomatik test ortamı", performans analizi için "Performans ölçüm aracı", veri modelinin uygulama kodunun otomatik üretilmesi için "Kod Üretici", tasarlanmıştır.

5. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu bildiride, gerçek sistemlerden tamamen yazılımsal benzetimlere kadar geniş bir yelpazede kullanılabilecek bir taktik çevre uygulama çatısının gereksinimleri ve kavramsal seviyede tasarımı anlatılmıştır. MilSOFT bünyesinde, belirtilen ihtiyaçları karşılamak için nesneye yönelik mimari ve bileşen teknolojisindeki güncel yöntemler kullanılarak bir benzetim ve taktik çevre uygulama çatısı geliştirilmiştir. Uygulama çatısı kapsamında geliştirilen Simülasyon Altyapısının detayları [10] bildirisinde anlatılmıştır. Uygulama çatısı kullanılarak, benzetim sistemleriyle gerçek sistemlerin entegrasyonu konusunda çeşitli denemeler yapılmıştır.

Uygulama çatısı, geniş kapsamlı bir Elektronik Harp Simülasyonu olan Mehsim projesinde[19] kullanılmış ve bu benzetim projesinin uygulama çatısı üzerinden gerçek bir sistemle entegrasyonu denenmiştir. Mehsim uygulamasının geliştirme sürecinde, 3 kesimde sayılan tüm gereksinimleri karşılayacak bir uygulama çatısı oluşturulmuş, ortaya çıkan ihtiyaçlara göre sürekli iyileştirilmiş ve kullanılmıştır. Uygulama çatısı kullanılırken, amaçlandığı gibi geliştirme sürecini etkinleştirdiği, başka sistemlerle entegrasyonu kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir. Uygulama çatısı sayesinde geliştiriciler dağıtık mimari, modeller arası etkileşimler ve modellerin gerçek zamanlı çalışması gibi konuları düşünmeden doğrudan model davranışlarının gerçekleştirilmesine odaklanabilmiştir. Uygulama çatısı birçok yeteneği geliştiriciden bağımsız olarak sağladığından, hata sayısı, dolayısıyla test mühendisliği eforu azalmıştır.

Uygulama çatısının performansına yönelik çeşitli ölçümler ve iyileştirmeler yapılmıştır. 5000'e yakın unsurdan içeren senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar dağıtık olarak başarıyla koşturulmuştur. Uygulama çatısının performansını arttırmaya yönelik olarak tekrar oynatma, değerlendirme, raporlama, 2 boyutlu gösterim gibi fazla kaynak tüketen yeteneklerin açılıp kapatılabilmesi için performans parametreleri tanımlanmıştır. Modelleme çözünürlüğü, performansı ters yönde etkilediğinden Performans/Çözünürlük ayarlamasının yapılabilmesi için uygulama çatısının modelleme çözünürlüğü parametrik hale getirilmiştir. Uygulama çatısının, geniş kapsamlı bir sistemin benzetim ihtiyaçlarını karşılayabilecek seviyede sağlam ve ölçeklendirilebilir olduğu gerçek bir üründe kullanılarak kanıtlanmıştır.

Geliştirilen taktik çevre uygulama çatısı, belirli uygulamaların ihtiyaçlarını karşılasa da, farklı ihtiyaçları olan uygulamalar için uyarlamalar gerektirecektir. Uygulama çatısının sağladığı soyutlamanın ve HLA RTI dışında Coğrafi Bilgi Sistemi dahil tamamen şirket yetenekleriyle geliştirilmiş olmasının, ihtiyaç durumunda uyarlama sürecini önemli ölçüde kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

Uygulama çatısının kullanılabilirliği LAN (*Local Area Network*) ortamında denenmiştir. Günümüzde özellikle gerçek sistemlerle benzetim sistemlerinin birlikte kullanıldığı sistemlerde coğrafi olarak dağıtık sistemlerin entegrasyonuna ihtiyaç duyulabilmektedir.

Uygulama çatısını WAN (*Wide Area Network*) ortamında kullanmak için üç farklı yöntem izlenebilir. Birinci yöntem, WAN ortamında başarımı arttıran RAHAT bir araç kullanmaktır[16]. İkinci yöntem, HLA Evolved[18] standardının bir parçası olan Web Servislerini kullanmaktır. Üçüncü yöntem, benzetim altyapısının, özellikle WAN'da kullanılmak üzere tasarlanan ve geliştirilen TENA [5] mimarisini de destekleyecek şekilde genişletilmesidir.

Geliştirilen uygulama çatısı, bileşenler arası haberleşme için HLA OMT uyumlu veri modellerini kullansa da, sentetik ortam verisinin uygulamalar arasında paylaşımını standardize eden SEDRIS[7] belirtimini desteklememektedir. SEDRIS, HLA standardında olmasa da HLA'ya göre daha yeni olan TENA belirtiminde yer almaktadır. Hem HLA ve hem de TENA gibi diğer mimarilere uyumlu sistemlerle entegrasyonu kolaylaştırmak için uygulama çatısına SEDRIS desteğinin eklenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalardan birisi de dinamik yük dengelemesidir. Geliştirilen uygulama çatısı, koşum öncesinde yük dengelemesi konfigürasyonu yapılmasına olanak sağlamasına rağmen, koşum zamanında benzetim modellerinin göç ettirilerek dinamik yük dengelemesi yapmaya olanak sağlamamaktadır.

KAYNAKÇA

[1] G.T. Heineman et al. (2001), "Component-Based Software Engineering: Putting the Pieces Together", Addison-Wesley Professional

[2] IEEE, (2000), IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA), 1516-2000

[3] F.Kuhl, R. Weatherly, J.Dahhman, (1999), "Creating Computer Simulation Systems: An Introduction to the High Level Architecture", Prentice Hall PTR

[4] IEEE, (2003) , "Recommended Practice For HLA Federation Development and Execution Process (FEDEP), IEEE Std 1516.3"

[5] J.R. Noseworthy, (2008), "The Test and Training Enabling Architecture (TENA) Supporting the Decentralized Development of Distributed Applications and LVC Simulations", Proceedings of the 2008 12th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications

[6] D.L. Neyland, (1997) "Virtual Combat: A Guide To Distributed Interactive Simulation", Stackpole Books

[7] DoD DMSO, Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification-SEDRIS, www.sedris.org

[8] H. Kutluca İ. E. Çetin, M. Kilic, U. Cakir, (2007), "Developing MilSOFT DDS Middleware "OMG Real-time And Embedded Systems Workshop, Arlington, VA USA.

[9] M.Lees, B.Logan, G.Theodoropoulus, (2007), "Distributed Simulation of Agent Based Systems with HLA", ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS)

[10] G.Gökdoğan, G.Özkan, T.Çelik, (2007), "Ölçeklendirilebilir HLA Uyumlu Simülasyonlar için Uygulama Çatısı:SimALT", USMOS'07

[11] R.D. Flournoy,(1999), "Leveraging the HLA and the DII COE To Build a Simulation-Based Framework For C2 System Integration and Test", Proceedings of Fall Simulation Interoperability Workshop (SIW)

[12] S. Halle,N.Bernier, (2005), "Analysis and Review of Synthetic Simulation Environment: CAE Strive Suite 2.0", RDDC Valcartier 2005

[13] MAK Technologies, VR-Link, http://www.mak.com/products/vrlink.php

[14] MAK Technologies, VR-Forces, http://www.mak.com/products/vrforces.php

[15] Defense Information Systems Agency(DISA) 2525B Standart, http://assist.daps.dla.mil

[16] Pitch, Pitch Booster, http://www.pitch.se/products/booster/pitch-global-simulation-booster.html

[17] Lockheed Martin, NxTES Tactical Environment Simulation, www.lockheedmartin.com/data/assets/sts/ProductCards/NxTES_PC.pdf

[18] B.Müler, K.L.Morse,M.Lightner,R.Little,R.Lutz, (2008), "HLA Evolved-A Summary of Major Technical Improvements", Proceedings of Spring Simulation Interoperability Workshop (SIW)

[19] MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş, Müşterek Elektronik Harp Simülatörü, http://www.milsoft.com.tr/jetsim_sim_tr.php

EK BİLGİ

Bu bildiri ile ilgili iletişim bilgileri aşağıda olduğu gibidir.

Uğur ÇAKIR

MilSOFT Yazılım Teknolojileri A.Ş. Teknokent ODTÜ 06531 ANKARA

Tel: 312-292300 Faks: 312-2100032 E-Posta: ucakir@milsoft.com.tr

SİLAH TEHDİT TAHSİS PROBLEMİ İÇİN BİR STANDART UZMAN SİSTEM

M. Alper ŞAHİN [(a)], Kemal LEBLEBİCİOĞLU [(b)]

[(a)] TUBITAK-UEKAE ILTAREN, ANKARA, alper.sahin@iltaren.tubitak.gov.tr

[(b)] Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, ODTÜ, ANKARA, kleb@metu.edu.tr

ÖZ

Silah tehdit tahsis (STT) problemi tehditlerin tahmin edilen zararlarını en aza indirecek şekilde silahlar ile tehditler arasında en uygun atamanın bulunması problemdir. Bu çalışmada, söz konusu STT problemine yönelik standart bir uzman sistem önerilmiştir. Temel fikir standart uzman sistemin verilen bir eğitim kümesinden ızgaralama yöntemi ile çıkartılmasıdır. Önerilen sistem gerçekleştirilmiş ve rastgele senaryolarda denenmiştir. Önerilen sistem yeterli bir performans göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Silah tehdit tahsis problemi, kural tabanlı uzman sistem, ızgaralama yöntemi.

A STANDARD EXPERT SYSTEM FOR WEAPON TARGET ASSIGNMENT PROBLEM

ABSTRACT

Weapon target assignment (WTA) problem is the problem of assigning weapons to targets with the objective of minimizing the expected damage of targets. In this work, a standard expert system is proposed for the particular WTA problem. The idea is to build expert system using grid partitioning over a training set. The proposed system is implemented and tested with a number of randomly generated WTA instances. The proposed system has a satisfactory performance.

Keywords: Weapon target assignment problem, rule-based expert system, grid partitioning.

1. GİRİŞ

Silah Tehdit Tahsis (STT) problemi harp alanında karşılaşılan en temel problemlerden biridir. STT problemi, toplam etkinin en çok olmasını sağlayacak şekilde silahların hangi tehditlere atanacağının bulunması olarak tanımlanır. Söz konusu silahlar angajman sektörleri ve en önemlisi etkinlik dereceleri bakımından aynı olmayabilir. Üstelik silahların etkinlikleri tehdit tipine, pozisyonuna, yönüne ve hızına bağlı olarak değişebilir.

STT problemi bir tam sayı programlama problemidir ve bu problem tipik bir NP-Zor problemdir [1]. Söz konusu problemin evrensel en iyi çözümünü veren bir takım yöntemler mevcuttur: Düzlem kesme yöntemi ile lineer programlama, böl ve sınırla algoritması. [14]'de STT problemine yönelik olarak farklı sınırlama stratejileri ile böl ve sınırla algoritması verilmiştir. Yine de, kesin çözüm veren yöntemler problemin büyüklüğü yani silah ve tehdit sayısı artıkça üstel bir fonksiyona bağlı olarak hesaplama süreleri uzamaktadır. Kesin çözüm veren yöntemlerin yanı sıra, evrensel en iyi çözüme yakın çözüm veren daha hızlı yöntemler de STT problemine uygulanmıştır: Genetik algoritma [16], benzetimli tavlama [18] ve parçacık küme eniyileme yöntemi [17]. Ancak söz konusu algoritmalar yeterli etkinlik sağlayamamıştır. Son zamanlarda, Rosenberger v.d. [15] STT problemine müzayede algoritması ile bir çözüm önermiştir. Ancak bu aç gözlü çözüm sadece küçük STT problemlerinde etkinlik sağlamıştır.

Gerçek zamanlı harp uygulamalarında; gözlemlemek, yöneltmek, karar vermek ve uygulamak için çok sınırlı süre vardır. Ancak, yukarıda sıralanan yöntemlerin hiç birisi gerçek zamanlı uygulamalar için yeterli gözükmemektedir. Yoğun karar verme ihtiyacı olan karmaşık sistemlerin gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında kural tabanlı uzman sistemler artan oranda kullanılmaya başlamıştır. Bu bağlamda, kural tabanlı uzman bir sistemin STT problemi için gerçek zamanlı çözümünde kullanılmak üzere uygun bir alternatif olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, yaklaşık muhakeme teorisi [2] uygulanarak STT problemi için kural tabanlı bir uzman sistem tasarlanmıştır. Sonuçta girdi parametre kümesini uygun bir çıktı karar kümesine eşleyen bir eşlem model elde edilmiştir. Buradaki temel problem eşlemi tanımlayacak tahsis kararlarından oluşan bir kural-tabanı oluşturmaktır.

Standart uzman sistemlerde, kural-tabanı genelde ızgaralama yöntemi ile elde edilmektedir. Izgaralama yönteminde her bir girdi parametresi için o parametrenin tanımlı olduğu aralık belirli sayıda bulanık kümeye bölünür ve daha sonra bu kümlerin her bir kombinasyonundan bir kural çıkartırlı. Wang ve Mendel'in [5] çalışmaları söz konusu ızgaralama yöntemi için güzel bir örnektir. Benzer bir şekilde, Ishibuchi v.d. [6] her bir girdi değişkenini K bölgeye ayırmış ve her bir kombinasyondan bir kural çıkartmıştır. Izgaralama yöntemi karar ağacı çıkartma olarak da uygulanmıştır [8].

Biz standard uzman bir sistemin küçük ölçekli STT problemi için etkin bir çözücü olduğunu iddia ediyoruz. Bu bağlamda, ızgaralama yöntemi ile STT problemi için bir uzman sistem eğittik. Sonuçta, simülasyon sonuçları eğitilen uzman sistemin yeterliliğini ortaya koymuştur.

2. PROBLEM FORMÜLASYONU: KURAL TABANLI SİLAH TEHDİT TAHSİSİ

Basit silah tehdit tahsis (STT) problemi toplam etkiyi en çok yapacak şekilde sadece bire-bir silah tehdit ataması üzerinde durur. Genel bir STT problemi ise şu kabullerle basit STT probleminden ayrılır: Birinci olarak, silah ve tehdit sayısı aynı olmak zorunda değildir. İkinci olarak, bütün silahların atanmasının yapılması zorunlu değildir yani atanmamış silah olabilir. İkinci kabul çözüm uzayını büyütse de, çözümün çeşitlemesini artırmaktadır. Üçüncü olarak, silah sistemlerinin mermisi bitebilir ve bu durumda söz konusu silah hiç bir tehdide atanamaz. Özetle, kullanımda olmayan silahlar atanamaz. Son olarak, verilen bir tehdit için her hangi bir silahın öldürme olasılığı PK bilinir. Silahın öldürme olasılığının tehdit tipi, tehdit menzili, tehdit hızı,

tehdit sektörü, silahın durumu gibi angajmanın bütün unsurlarını dikkate aldığı kabul edilmiştir.

$PK_{ij} \in [0,1]$ verilen bir tehdit için $i = 1,...,N$, $j = 1,...,M$ silahının öldürme olasılığı olsun. $V_i \in [0,1]$ ise tehdidin tahmin edilen değerini ifade etsin, $i = 1,...,N$. Söz konusu değer tehdidin hedef platforma zarar verebilmesini ifade etmektedir. Şimdi karar değişkenini tanımlayalım: $P_{ij} \in \{0,1\}$. Karar verme değişkeni P_{ij}, $j = 1,...,M$ silahının, $i = 1,...,N$ tehdidine atanıp atanmayacağını ifade eder.

Varsayalım ki, verilen bir senaryoda PK ve V, tahsis kararlarımızın P bedeli; tahsislerden sonra tehditlerin tahmini değerlerinin toplamı olsun:

$$C(P) = \sum_{i=1}^{N} V_i \prod_{j=1}^{M} (1 - PK_{ij})^{P_{ij}} \tag{1}$$

Sonuçta, STT problemini yukarıda verilen lineer olmayan maliyet fonksiyonu ile birlikte tam sayı programlama problemi olarak tanımlayabiliriz:

En küçült

$$C(P) = \sum_{i=1}^{N} V_i \prod_{j=1}^{M} (1 - PK_{ij})^{P_{ij}} \tag{2}$$

Öyle ki

$$\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{N} P_{ij} \le 1 \\ &P_{ij} \in \{0,1\} \\ &i = 1,...,N \\ &j = 1,...,M \end{aligned} \tag{3}$$

Burada ilk kısıt kabullere bağlı olarak her bir silahın en fazla bir tehdide atanacağını ifade etmektedir.

Şimdi $M-1$ tane silahın N tane tehdide atanacağı tam sayı atama problemini düşünelim. Öncelikle, yeni bir girdi değişkeni X_{ij} tanımlayalım:

$$[X]_{ij} = \begin{cases} V_i & j = 1 \\ V_i PK_{i(j-1)} & j > 1 \end{cases} \quad (4)$$

Söz konusu değişken tam olarak $j-1$ silahının tek başına i tehdidine atanması ile edilecek kazancı ifade etmektedir. Burada, yukarıda verildiği gibi, $V_i \in [0,1]$ tehdidin değerini ve $PK_{ij} \in [0,1]$ $j = 1,...,M-1$ silahın $i = 1,...,N$ tehdidini yok etme olasılığını ifade etmektedir. Böylece $X_{ij} \in [0,1]$ olur.

Söz konusu tam sayı programlama probleminin çözümü aslında girdi kümesinin uygun bir çıktı kümesine eşlemidir:

$$F : [X_{11}, X_{12}, ..., X_{NM}] \rightarrow [Y_{11}, Y_{12}, ..., Y_{N(M-1)}] \quad (5)$$

Burada temel problem girdi uzayı ile çıktı uzayı arasındaki eşlemin her bir durum için kararların (2) ve (3) bağlamında en iyi olacak şekilde ifade edilmesidir.

Biz verilen bir eğitim kümesinden $T = \{< X_1, Y_1 >, < X_2, Y_2 >, ..., < X_Q, Y_Q >\}$ etkin bir kural tabanlı eşleme çıkartabileceğimizi iddia etmektekiyiz. Böylece F sistemi kural tabanlı bir uzman sistem olacaktır. Bir sonraki bölümde, verilen T kümesinden uzman sistemin nasıl çıkartılabileceğini sunacağız.

3. SİLAH TEHDİT TAHSİSİ İÇİN BİR STANDART UZMAN SİSTEM

Bu bölümde, ızgaralama yöntemi ile söz konusu STT problemi için bir standart uzman sistem dizayn edilmiştir: Varsayalım ki, her bir girdi değişkenin X_{ij} tanımlı olduğu aralık H tane bulanık kümeye A_{ij}^{h} bölünmüş olsun, $i=1,...,N$, $j=1,...,M$ ve $h=1,...,H$. Şimdi her bir kombinasyonu C_H^k matrisi ile ifade edelim:

$$\left[C_H^k\right]_{ij} = [dec2Base(k,H)]_{((i-1)M+j)} \tag{6}$$

Burada $dec2Base(.)$ fonksiyonu $k=1,...,H^{NM}$ sayısını H tabanındaki karşılığını vermektedir. Sonuç olarak, verilen bir T eğitim kümesinden, ızgaralama yöntemi ile aşağıda yazan kurallar çıkartılır:

$$Rule_k : \textbf{IF}\ \ (X_{11} \in A_{11}^{[C_H^k]_{11}}) \,\&\, ... \,\&\, (X_{NM} \in A_{NM}^{[C_H^k]_{NM}})\ \textbf{THEN}\ \ Y \text{ is } B_k \tag{7}$$

Burada B_k;

$$T' = \{< X, Y > |\ X_{11} \in A_{11}^{[C_H^k]_{11}}, ..., X_{NM} \in A_{NM}^{[C_H^k]_{NM}}, < X, Y > \in T\} \tag{8}$$

kümesinde en çok karşılaşılan kararı ifade etmektedir.

Kurallar çıkartılıp kural-tabanı oluşturulduktan sonra ise, bulanık eşlem modeli ise şu şekilde oluşturulur: Varsayalım ki, $k=1,...,H^{NM}$ kuralı $A_{11}^{[C_H^k]_{11}}, A_{12}^{[C_H^k]_{12}}, ..., X_{NM} \in A_{NM}^{[C_H^k]_{NM}}$ bulanık kümelerini içermektedir. Söz konusu kuralın gücü ya da söz konusu kuralın sonuç üzerindeki etkisi şu şekilde hesaplanır:

$$\phi_k(X) = \prod_{i=1}^{N}\prod_{j=1}^{M} \mu_{A_{ij}^{[C_H^k]_{ij}}}(X_{ij}) \tag{8}$$

Burada $\mu_{A_{ij}^{[C_H^k]_{ij}}}(.)$, $A_{ij}^{[C_H^k]_{ij}}$ bulanık kümesine karşılık gelen üyelik fonksiyonudur. Daha sonra, alanların merkezi bulanık çözme formülü uygulanarak karar elde edilir:

$$Y = \frac{\sum_{k=1}^{H^{NM}} \phi_k(X) B_k}{\sum_{k=1}^{H^{NM}} \phi_k(X)} \tag{9}$$

Uzman çıktısı Y geçerli bir tahsis kararı olmayabilir. Y_{ij} daha çok j silahının i tehdidine atanma önceliğini ifade eden bir seviyedir: $Y_{ij} \in [0,1]$. Diğer taraftan, geçerli bir tahsis kararı j silahının i tehdidine olan atamasını ifade eden bir mantıksal değer taşır. Bu bağlamda Y_{ij}'yi tanımlı olduğu aralıkta $[0,1]$, 0 merkezli ve 1 merkezli olmak üzere iki bulanık kümeyle ifade etmek, uzman çıktısının bir tahsis kararına çevrimini direkt sağlayacaktır.

4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Biz yukarıda tanıtılan kural tabanlı çözümü MATLAB ile gerçekleştirdik. Daha sonra, gerçekleştirilen sistemi rastgele oluşturulmuş senaryolar dahilinde test ettik. Bütün testlerimizi 2.5 GHz P4 işlemcili ve 1 GB RAM taşıyan bir makine ile gerçekleştirdik. Bu bölümde sonuçlarımızı sunacağız.

Örnek olarak $M = 4$ silahın $N = 4$ tehdide tahsis edileceği bir durum seçtik. İlk olarak, $Q = 100$, $Q = 10000$ ve $Q = 1000000$ büyüklüğünde rastgele eğitim kümeleri oluşturduk. Senaryoları oluşturma sırasında, silah tehdit yok etme olasılıklarını PK_{ij} ve tehdit değerlerini V_i, $[0,1]$ arasında bir biçimli dağılım kullanarak rastgele yarattık. Daha sonra, girdi değişkenlerini $X = [V \quad diag(V).PK]$ matrisine yazdık. Bu arada, böl ve sınırla algoritması kullanarak her bir senaryo için evrensel en iyi kararları hesapladık; Y. Böylece T eğitim kümesi $N \in [0,4]$ ve $M \in [0,4]$ için herhangi bir tahsis eşlemesini içerecektir.

Sonra, ızgaralama yöntemi ile faklı büyüklükteki T eğitim kümeleri üzerinden standart uzman sistemler yarattık. Bu arada, ızgara sayısını dört farklı değer olarak seçtik: $H \in \{2,5,10,100\}$. Daha sonra, her bir uzman sistemin performansını geliştirildikleri uzman kümesi üzerinden ve rastgele yaratılmış senaryolar üzerinden test ettik. Rastgele

senaryolar üzerinden de test yapabilmek için, 1000 tane test senaryosunu eğitim kümesinin oluşturulması gibi rastgele oluşturduk.

Çizelge 1'de her bir uzman sistemin performansı verilmiştir: Kural Sayısı sütununda, her bir uzman sistemin sahip olduğu kuralların sayısı verilmiştir. Vurgulayalım ki, kural sayısı $H^{(M+1)N}$ 'e eşittir. Karar hatası sütunlarında ise, ortalama karar hataları verilmiştir. Karar hatası, uzman kararın evrensel en iyi kararı ile (2)'de verilen maliyet fonksiyonu bazında karşılaştırılmasıyla ve bu arada tam sayı programlama probleminin kısıtlarını (3) da göz önüne alarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1'den de görüldüğü üzere; ortalama ve hatta küçük H değerleri ile tasarlanan uzman sistemler tasarımları sırasında kullanılan eğitim kümesi üzerinde test edildiklerinde yeterli performans sunmuştur. Yine de, söz konusu uzman sistemler, özellikle eğitim kümesi küçük olanlar, rasgele senaryolar ile test edildiklerinde, yetersiz kalmışlardır. Bu durumun küçük eğitim kümesinin problem eşlem uzayı ile ilgili yeterli bilgi taşımadığından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Açık olarak, eğitim kümesi büyüdükçe taşıdığı bilgi de artmaktadır. Çizelge 1'den de açıkça görüldüğü üzere, büyük bir H ile geniş bir eğitim kümesi üzerinden tasarlana bir uzman sistem hem eğitim kümesi üzerinden hem de rastgele senaryolar üzerinden yapılan testlerde oldukça yeterli performans sunmuştur.

Son olarak, uzman sistemin performansını $N \in [0,4]$ ve $M \in [0,4]$ gibi daha geniş bir durumda test ettik. Söz konusu testleri, bir önceki testte en iyi performansı göstermiş uzman sistemi ($H = 100$ ve $Q = 1000000$) ile gerçekleştirdik. Her bir durum için 1000 tane rastgele senaryo yarattık. Her bir denemede, karar hatası uzman sistemin kararı evrensel en iyi karar ile (2)'de verilen maliyet fonksiyonu bazında karşılaştırıldı ve bu arada tam sayı programlama probleminin kısıtları (3) da göz önüne alındı. Sonuçlar Çizelge 2'de verilmektedir: Açık olarak, $H = 100$ ile $N = 4$ ve $N = 4$ için $Q = 1000000$ 'lik bir eğitim kümesi üzerinden dizayn edilen uzman sistem $N \in [0,4]$ ve $M \in [0,4]$ dahilindeki her hangi bir STT problemi için etkin bir çözücü olduğu görülür.

Eğitim Kümesinin Büyüklüğü	Izgara Sayısı	Kural Sayısı	Karar Hatası (%)	
			Eğitim Kümesi	Rastgele Senaryo
100	2	1048576	17	43
100	5	9.5367e+13	1.1	38
100	10	1e+20	0.0	56
100	100	1e+40	0.0	>100
10000	2	1048576	35	34
10000	5	9.5367e+13	6.4	5.9
10000	10	1e+20	0.4	3.7
10000	100	1e+40	0.0	4.2
1000000	2	1048576	38	32
1000000	5	9.5367e+13	8.4	7.2
1000000	10	1e+20	2.3	1.0
1000000	100	1e+40	0.1	<0.1

Çizelge 1. $N = 4$ ve $M = 4$ için tasarlanan uzman sistemlerin performans değerleri.

Test Durumları		Karar Hatası (%)
N	M	
2	2	<0.1
2	3	<0.1
3	3	<0.1
3	4	<0.1
4	3	<0.1
4	4	<0.1

Çizelge 2. $H = 100$ ile $Q = 1000000$ eğitim kümesinden tasarlanan uzman sistemin farklı durumlardaki performans değerleri.

5. VARGILAR

Bu çalışmada, STT problemine çözüm sağlamak üzere bir standart uzman sistem önerdik. Söz konusu uzman sistemi ızgaralama yöntemi ile verilen bir eğitim kümesi üzerinden gerçekleştirdik. Daha sonra uzman sistemi farklı senaryolar dahilinde test ettik. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, söz konusu uzman sistemin oldukça iyi bir performans sunduğunu gördük.

Yine de, özellikle çok girdili sistemlerde ızgaralama yöntemi ile standart uzman sistem tasarımında çok boyutluluk laneti [9] olarak tanımlaman bir problem vardır. Örnek olarak, $M-1$ tehdidin N tane hedefe atanacağı bir STT problemini düşünelim. Girdi parametrelerini H bulanık kümeye böldüğümüz durumda, H^{NM} tane bulanık kuralımız olacaktır. Yani, söz konusu problemin çözümünü verecek ızgaralama yöntemi ile gerçekleştirilen bir uzman sistem, H^{NM} kural taşıyacaktır. Açık olarak, çok sayıda tehdit ve silahın olduğu durumlarda böyle bir uzman sistemi eğitmek imkansız olacaktır.

Yine de, Raju v.d. [9] tarafından önerilen hiyerarşik uzman sistem çözümü çok boyluluk lanetine karşı etkin bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu bağlamda, çok sayıda tehdit ve silah içeren STT problemleri için hiyerarşik bir uzman sistem çözümünün sunulmasının güzel bir eklenti olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] S. P. Lloyd and H. S. Witsenhausen, ”Weapon allocation is NPcomplete,” *IEEE Summer Simulation Conf.*, Reno, NV, 1986.

[2] L. A. Zadeh, ”Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.,* vol. SMC-3, 1973.

[3] E.H. Mamdani and S. Assilian, ”An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller,” *J. Man-Machine Std.,* vol. 7, 1975.

[4] S. Guillaume, ”Designing fuzzy inference Systems from data: An interpretability-oriented review,” *IEEE Trans. Fuzzy Sys.,* vol. 9, 2001.

[5] L-X. Wang and J. M. Mendel, ”Generating fuzzy rules by learning from examples,”*IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 86, 1992.

[6] H. Ishibuchi, K. Nozaki, H. Tanaka, Y. Hosaka, and M. Matsuda, ”Empirical study on learning in fuzzy systems by rice test analysis,” *Fuzzy Sets Syst.,* vol. 64, 1994.

[7] I. Rojas, H. Pomares, J. Ortega, and A. Prieto, ”Self-organized fuzzy system generation from training examples,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 8, 2000.

[8] J. R. Quinlan, ”Induction of decision trees,” *Mach. Learn.,* vol. 1, 1986.

[9] G. V. S. Raju, J. Zhou and R. A. Kisnes, ”Hierarchial fuzzy control,” *Int. J. Control,* vol. 54, 1991.

[10] J. C. Dunn, ”A fuzzy relative of the isodata process and its use in detecting compact well-separated clusters,” *Journ. Cybern.,* vol. 3, 1973.

[11] D. E. Gustafson and W. C. Kessel, ”Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix,” *Proc. IEEE CDC,* , San Diego, CA, 1979.

[12] R. Krishnapuram and J. M. Keller, ”A possibilistic approach to clustering,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 1, 1993.

[13] R. Hathaway and J. Bezdek, ”Switching regression model and fuzzy clustering,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 1, 1993.

[14] R. K. Ahuja, A. Kumar, K. Jha and J. B. Orlin, *Exact and heuristic methods for the weapon target assignment problem:* MIT Sloan Working Paper No: 4464-03, 2003.

[15] J. M. Rosenberger and A. Yucel, ”The generalized weapon target assignment problem,” *10th Int. Conf. Com. and Cont. Res. and Techn. Symp,* 2005.

[16] Z-J. Lee, S-F. Su and C-Y Lee, ”Efficiently solving general weapon target assignment problem by genetic algorithms with genetic eugenics,” *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.,* vol. 33, 2003.

[17] X. Zeng, Y. Zhu, L. Nan, K. Hu, B. Niu and X He, ”Solving weapon target assignment problem using discrete particle swarm optimization,” *Proc. 6th Word Cong. Intelligent Control and Automation,* Dalian, China, 2006.

[18] R.E. Burkard and F. A. Rendl, ”A thermodynamically motivated simulation procedure for combinatorial optimization problems,” *European Journ. of Oper. Res.,* vol. 17, 1983.

EK BİLGİ

M. Alper ŞAHİN

TÜBİTAK-UEKAE ILTAREN

Şehit Yzb. Ilhan Tan Kışlası, Ümitköy, ANKARA

0312 291 6025

alper.sahin@iltaren.tubitak.gov.tr

Prof. Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU

Elektrik & Elektronik Müh.

ODTÜ, ANKARA

0312 210 2358

kleb@metu.edu.tr

TOP ATIŞ SİMÜLASYONU ANALİZİ

Yasemin Timar[(a)], Tolga Baştürk[(b)], Ömer Eroğlu[(c)],İsa Taşdelen[(d)] ,
Cemil Akdemir[(e)], Deniz Aldoğan[(f)]

[(a) (b) (c) (d) (e)] TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü, 41470 Gebze/Kocaeli,
yasemin.timar@bte.mam.gov.tr, tolga.basturk@bte.mam.gov.tr,
omer.eroglu@bte.mam.gov.tr, isa.tasdelen@bte.mam.gov.tr,
cemil.akdemir@bte.mam.gov.tr, deniz.aldogan@bte.mam.gov.tr

ÖZ

Maliyetin önemli rol oynadığı savunma sistemleri geliştirme projelerinin geliştirme, doğrulama ve geçerleme süreçlerinde simülasyon sistemleri büyük bir öneme sahiptir. Ürünlerin geliştirme aşamalarında sürekli test edilmeleri, beklenenden sapma miktarının ve başarımının sürekli takip edilmesi ve gerektiğinde müdahale edilerek istenen seviyeye çekilmesi hayati derecede önemlidir. Ürünün henüz tamamlanmadığı ve testlerinin gerçek dünyada yüksek maliyet ve zaman gerektirmesi gibi durumlar süreçlerde simülasyon sistemlerinin kullanımını gerekli kılmaktadır. Platformların top atış kontrol sistemlerinin yazılım ve donanım alt sistemlerinin işlevlerinin simülatörler ile test edilmesi büyük tasarruf sağlamaktadır. Analiz sonuçları geliştirilen top atış kontrol sistemlerinin iyileştirilmesi veya kullanım şartlarının değiştirilmesi ile ilgili kararları desteklemektedir. Farklı sistemlerin beraber çalışmasını gerektiren sistem mimarilerinde dağıtık simülasyon teknolojileri tercih edilmektedir. Platformların seyrinin, atış kontrol sistemlerinin, ateşlenen mermilerin yörüngelerinin benzetimlerinin yapılması farklı alt sistemlerin beraber çalışabilir oldukları dağıtık bir top atış simülasyonu ile sağlanabilir. Kurulan sistemde mermilerin hedef ile buluşma başarısı incelenerek test edilmek istenen top atış kontrol sisteminin analizi yapılabilir. Bu çalışma, top atış kontrolü test sisteminin atış başarımının analiz yöntemlerini anlatmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Top atış simülasyonu, yörünge üreteci, çarpışma tespiti, atış analizi, küresel/konik çarpışma modeli

GUN FIRING SIMULATION ANALYSIS

ABSTRACT

Development, validation & verification processes are vital within the research and development projects of defense systems in which costs of testing are very effective. During the development of the system products, they have to be tested repeatedly and the error and performance figures should be tracked in order to take the required

development or configuration changes in the system. Simulation systems with simulated world of systems is required to be utilized in the process when the products are incomplete or the test environment and execution in the real world costs a great deal of time and money. Testing the functional requirements of weapon control systems in the surface platforms like gun fire control systems with its software and hardware subsystems in an environment with required simulators reduces costs. Analysis results of those test executions in the simulated environment support the decisions on improvement efforts or operational changes of the fire control system. Distributed simulation frameworks are preferred when different types of control systems are operating together. Platforms, fire control systems and fired munitions can be simulated in a distributed fire simulation environment in which various types of simulators are interoperable. With the analysis of hit/miss ratio of the execution in this simulation environment, the performance of the tested system (in this case the fire control system) is evaluated. This work describes fire performance analyzes methods for a fire control test system.

Keywords: Gun fire simulation, munition simulation, collision detection, fire analysis, spherical/conical collision evaluation

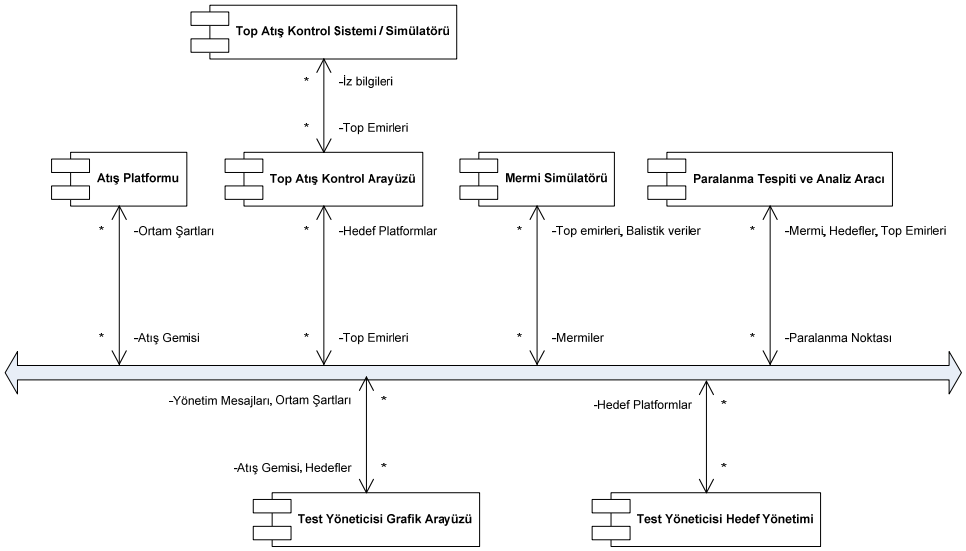
1. GİRİŞ

Platformlarda kullanılan top atış sistemlerin geliştirilme, doğrulama ve geçerleme çalışmalarının gerçek ortamlarında yapılması maliyeti yüksek bir işlemdir. Bu çalışmaların sanal gerçeklik ortamında çevre koşullarının ve platformların benzetiminin yapıldığı bir sistemde yapılması geliştirme, doğrulama ve geçerleme süreçlerinde büyük bir verim sağlar. Gerçek ortama ihtiyaç duymadan top atış kontrol sistemi geliştirme ve test çalışmaları simülasyon ortamında yürütülebilir[1]. Bir top atış kontrol sistemi için hazırlanan test ortamı atış platformunu, hedefi, mermileri, hedef ile merminin isabet (yaklaşma) durumlarının, çevre koşullarını ve gerekli durumlarda düşük sadakatli bir atış kontrol sistemi simülatörünü de içermektedir. Sanal benzetim koşullarında geliştirilen sistemin test edilmesi ve çıktıların analizi ile başarımının hesaplanması, sistemlerin gerçek kullanımından önce hatalarının büyük bölümünün giderilmesini, kullanım koşullarının sınır değerlerinde işlevselliğinin sınanmasını sağlamaktadır. Mermilerin isabet durumları ve azami yaklaşma noktalarının hesaplanmasının yüksek sadakatte yapılması ve bu sonuçların verimli olarak analiz edilebilmesi hazırlanan test sisteminin başarısının altında yatan en önemli özelliktir.

Bu makale top atışının test ortamı bileşenlerinin ve bu bileşenlerin ürettiği analiz için önemli verilerin açıklamasını içermekte ve paralanma noktası ve azami yaklaşma mesafesi hesaplama yöntemlerini anlatmaktadır. Analiz bölümü tüm test boyunca sanal ortamda oluşturulan paralanma ve azami yaklaşma noktaları ile analize konu olan bilgilerin sayısal tablolar ve üç boyutlu grafikler olarak gösterimi ile atış senaryosunun başarımının değerlendirmesini açıklamaktadır.

2. ATIŞ SİMÜLASYONU BİLEŞENLERİ

Top atış simulasyonunun ana bileşenleri top atış kontrol sisteminin bulunduğu atış platformu, angaje olunan hedefi temsil eden platformlar, topun ateşlenmesini sağlayan arayüzler, toptan ayrılan mermilerin yörüngelerini hesaplayan bileşenler ve mermi ile hedefin isabet/yaklaşma durumlarını hesaplayan bileşenlerdir. Bu bileşenler bir senaryo dâhilinde tanımlanır ve işletilirler. Senaryo işletimi esnasında kullanıcının kararları doğrultusunda top ateşlenir, mermiler hareket ettirilir ve çarpışma durumları hesaplanır. Senaryonun sonlandırılmasının ardından tüm atışlar analiz edilir ve top atış kontrol sisteminin başarımı sayısal olarak ifade edilir. Bu bileşenlerin dağıtık bir simülasyon ortamında çalışması söz konusudur. Dağıtık simülasyon altyapı yazılımı olarak HLA/RTI kullanılır. Bu altyapının ana özelliği yayın/abone mekanizmasının kullanılması ve haberleşme mesajlarının içeriğinin nesne/etkileşim ana veri yapıları biçiminde tanımlanması gerekliliğidir. Simülasyon ortamında simülatörler veya yönetici yazılımlar tarafından yayınlanan/abone olunan nesneler senaryo boyunca yaşayan varlıkların durum bilgilerinin benzetimidirler. Simülasyondaki anlık olaylar yayınlanan/abone olunan etkileşim mesajları ile simüle edilir.



Şekil 1. Top atış simülasyonu bileşenleri

Test ortamı, test edilecek atış kontrol sisteminin kullanım durumlarını gerçek dünyada olabilecek durumuna en yakın biçimde oluşturabilecek en temel sistemleri içeren sanal gerçeklik ortamıdır. Atış kontrol sisteminin bulunduğu platform ile hedef platformun benzetiminin yapılması ve işletilmesi için ticari ürünler tercih edilebilir. Pek çok simülasyon projesinde kullanılan 3. parti yazılımlar ile taktik unsurların senaryo dahilinde seçilen bir saha üzerinde tanımlanarak saklanmasına, üretilen senaryoların değiştirilmesine ve seçilen herhangi bir senaryonun işletilerek sentetik ortamın yaratılması ve diğer simülatörlere gönderilmesini sağlanır. Bu bileşen test yönetici yazılımı olarak test ortamında kullanılır.

Test yönetici yazılımı ile senaryonun ortam şartlarını oluşturan oşinografik ve atmosferik durum parametrelerin tanımlanması mümkündür. Platformların dinamiklerini etkileyen deniz durumu, akıntı bilgileri, top atışı için önemli olan rüzgâr hızı/yönü, basınç ve hava sıcaklığı önemli parametrelerdir. Bu parametreler senaryo işletimi esnasında yayınlanmaktadır.

Test yönetici yazılımı, test süresince taktik durumu, benzetimi yapılan atış platforma, hedeflere ve mermilere ait, mevki, pruva, sürat ve yükseklik bilgilerini kullanıcı ekranında senaryo sahasının üzerinde sergiler. Atış platformu ve hedef platformların konum, rota ve süratlerinin senaryo işletimi esnasında kullanıcı tarafında değiştirilebilir olması atış için farklı uzaklıklar ve açıların denenebilmesini sağlamaktadır.

3. TOP ATIŞ KONTROLÜ ARAYÜZÜ

Top atış kontrol (A/K) sisteminin, mermileri atmak üzere topa uyguladığı top emirleri ve hesaplanan komut parametreleri ile angaje olunan hedefin bilgileri simülasyon ortamına arayüz programı ile aktarılır. Böylece sanal gerçeklik ortamında bulunan topa uygulanan değerler Mermi Simülatörü tarafından ateşlenen mermilerin kinetiklerinin hesaplanması için kullanılır. Top atış kontrol arayüzü, gerçek bir top atış kontrol sisteminin top emirlerini simülasyon ortamına aktaran bir geçit programı olarak kullanılabilir. Bu arayüz top atış kontrol sisteminin ürettiği değerlerin benzetimini yapabilecek bir simülatör olarak da test senaryosunda yer alabilir. Böylece simülasyon ortamı gerçek top atış kontrol sistemlerinin ve top atış kontrol sistemi simülatörlerinin aynı zamanda kullanabileceği esnek bir yapıya sahip olur.

4. MERMİ SİMÜLATÖRÜ

Mermi Simülatörü, top atış sistemi tarafından emredilen top namlu yan-yükseliş, topun atış platformuna göre konumu, top yan yükseliş bilgisi, mermi ilk hız bilgisi, namlu barut harareti gibi bilgileri kullanarak simülasyon ortamında sanal mermi nesneleri yaratan, bunları yüksek sadakatle hesaplanmış yörüngeler üzerinde gerçek zamanlı olarak uçuran ve yüzey ile çarpışma kontrollerini yapan simülatördür.

Simülasyon ortamına aktarılan balistik ve top yan yükseliş bilgileri Mermi Simülatörü tarafından alınır ve ilgili parametrelere uygun yüksek sadakatli bir uçuş paterni oluşturması beklenir. Yörünge üretiminde top atış sistemleri için yüksek sadakatli mermi uçuş paternlerini üretebilecek literatürde tanımlı yazılım kütüphaneleri kullanılabilir. Bu Yörünge Üreteçleri topun namlu yan-yükseliş değerlerini, top yan yükseliş ve mermi ilk hız bilgilerini girdi olarak alırken mermi için belirli noktalardan oluşan uçuş paternini çıktı olarak oluşturur.

Top Atış Sistemini test ve analiz etmek için geliştirilen simülasyon sistemi gerçek zamanlı çalışmak zorundadır. Simülasyon ortamında yer alan atış platformu ve hedefler gerçek zamanlı olarak hareket ederler. Gerçek zamanlı çalışan Mermi Simülatörü kendi içinde bir simülasyon saatine sahiptir.Yörünge Üreteci tarafından üretilen mermi uçuş paternine ait her noktanın göreceli zamanı vardır. Bu noktaların simülasyon saati ile

kaynaştırıp mermilerin gerçek zamanda olmaları gerektikleri yerde gösterilmesi sorumluluğu Mermi Simülatörü'ne aittir.

Sistemin gerçek zamanlı çalışma zorunluluğu Top Atış Sistemi'nden gelen çözümün hiç vakit kaybedilmeden mermi uçuş paternine dönüştürülerek uçurulmasını zorunlu kılar. Gerçek zaman kısıtını yakalamak en çok mermi uçuş paternini üretmek zorunda olan Yörünge Üreteçleri için kritiktir. Bu nedenle Yörünge Üreteçleri, mermiler için ürettikleri uçuş paternindeki nokta sayısını sınırlı tutmaktadırlar. Kullandığımız Yörünge Üreteci için bu sayı düşüktür (100 den az). Mermilerin uygun bir açı ile atış yapıldığında 10000 yardaya kadar yol alabildiği bilinmektedir. Böyle uzun mesafalerin az sayıda nokta ile tanımlanması uçuş paterninin hassasiyetini düşürmektedir. Özellikle merminin yüzey(dünya) ve hedefler ile çarpışma testlerinde birkaç metrelik hassasiyet bile çok önemlidir. Nokta sayısının arttırılması zorunluluktur.

Bu nedenle Mermi Simülatörü, Yörünge Üreteci tarafından üretilen uçuş paterni üzerinde doğrusal ara değerleme yapabilmektedir. Ara değerleme uçuş paternindeki her iki nokta arasında yapılmakta böylece orijinal paternin doğruluğu korunabilmektedir. Mermi Simülatörü zaman bazlı (örn. her 1 ms için nokta üret), mesafe bazlı (örn. her 5 metre için nokta üret) ve sayılı bazlı (örn. 40 noktadan 4000 nokta üret) olarak ara değerleme yapabilmektedir.

Simülasyon ortamında uçuş paternlerine uygun bir şekilde uçurulan mermilerin hedef nesneler ile çarpışması yada literatürdeki tabiri ile paralanması mermilerin tapa tiplerine ve hedef nesnelerin geometrelerine doğrudan bağlıdır. Mermilerin hedefler ile çarpışma testleri Analiz yazılımı tarafından gerçekleştirilmektedir. Analiz yazılımı kendi içindeki çarpışma algoritmaları ile paralanma testlerini gerçekleştirir ve paralanma bilgisini simülasyona bildirir. Mermi paralanma bilgisini alan Mermi Simülatörü merminin patlatılması işlemini gerçekleştirir.

Mermilerin yüzey ile çarpışma testleri Mermi Simülatörü tarafından gerçekleştirilir. Mermi Simülatörü senaryonun geçtiği bölgeye ait DTED2 formatında içinde yükseklik bilgisi barındıran haritalara sahiptir. Her simülasyon adımında mermilerin dünya üzerindeki bir sonraki yerleri bulunur ve bu yer bilgisi mevcut yüzey bilgisi ile karşılaştırılarak merminin yüzey ile teması kontrol edilir. Yüzey ile teması olduğu anlaşılan mermiler için Mermi Simülatörü simülasyon ortamına mermi yüzey çarpışma mesajı gönderir.

5. PARALANMA ve AYN TESPİTİ

Azami yaklaşma noktası (AYN) mermi yörüngesinin hedefe en yakın olduğu nokta bulunarak hesaplanır. Paralanma olması durumunda, AYN paralanmanın olduğu noktadır. Paralanma ve AYN hesaplama işlemleri, simülasyon zamanında çalışan genel bir çarpışma hesaplama algoritmasının parçası olarak hesaplanır. Kullanılan denklemler ve sınır değerlerler mermi ile hedefin şekli ve merminin tapa ile ilgili değerlerine dayanır. Merminin tapa tipine göre temel olarak iki ana algoritma kullanılır; Küresel veya Konik paralanma ve AYN hesaplama kuralları. Hedefin geometrik şekli de 3 temel tipte tanımlanabilmektedir; noktasal, küre, dikdörtgen prizması. Hesaplamalarda kullanılan koordinat sistemleri kullanılan metoda göre farklılık gösterir. Simülasyon

ortamında konum bilgileri yermerkezli koordinat sisteminde yayınlanmaktadır. Aynı koordinat sistemi küresel hesaplamalar için uygun olurken dikdörtgen şekline sahip Lokal kartezyen koordinat eksenlerini kullanmaktadır. [2]

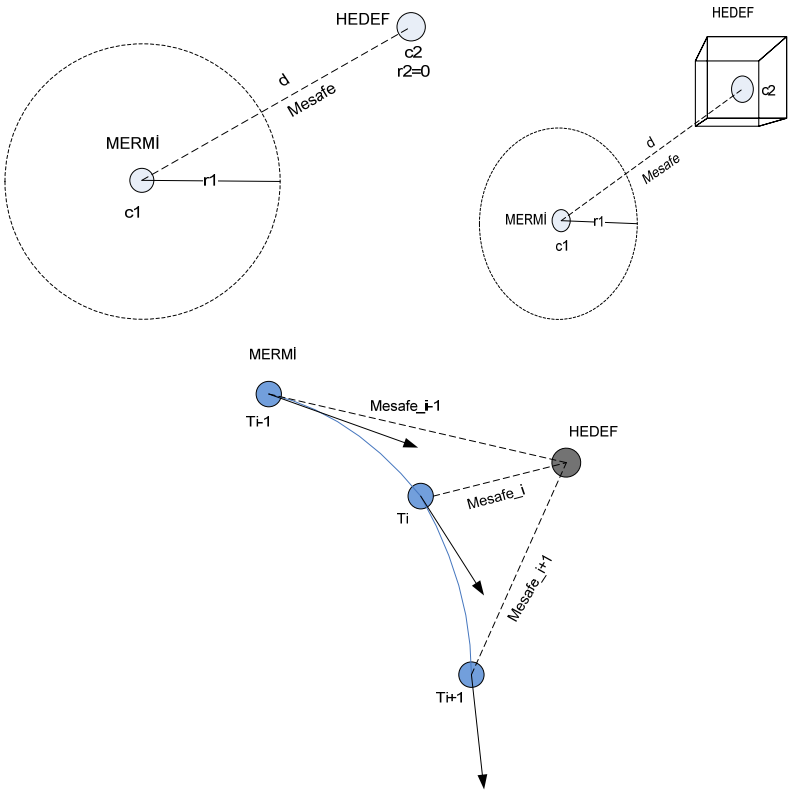
5.1. Küresel Paralanma ve AYN Hesaplama Algoritmaları

Küresel kural'ın dayandığı temel nokta, 3 boyutlu uzayda merkezi ve yarıçapı tanımlanmış iki kürenin çarpışmasının arasındaki uzaklığın, yarıçaplarının toplamından küçük olduğu zaman gerçekleşmesidir. Paralanma ve AYN hesaplama kuralı periyodik olarak, o anda mermi ve hedefin bulunduğu pozisyonlarını kullanır.

Noktasal ve küresel hedef geometrisi söz konusu olduğunda mermi ve hedefin merkezleri c1 ve c2, yarıçapları r1 ve r2 olarak tanımlanmak üzere birbirleri arasındaki uzaklık $d=c_1-c_2$ dir. Eğer $\|d\| \le r_1 + r_2$ ise paralanma gerçekleşir.

Dikdörtgen prizması bir hedef geometrisi söz konusu olduğunda mermi küresinin prizma sınırlarına girip girmediği hesaplanır.[3]

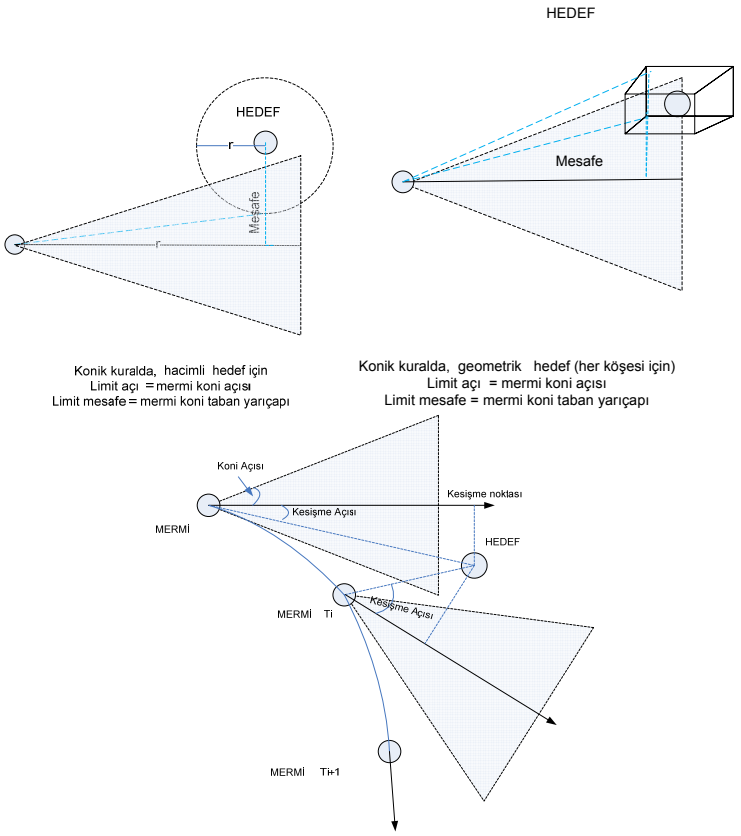
AYN hesaplaması için bir önceki pozisyonları arasındaki mesafe güncel mesafe ile karşılaştırır. Mesafe artmaya başladığı ilk anda eğer paralanma mesafesindeyse paralanma mesajı, değilse AYN mesajı yayınlanır. Aşağıda farklı hedefin geometrisine göre küresel paralanma ve AYN hesaplama kuralları gösterilmektedir.



Şekil 2. Farklı hedef şekilleri ile küresel paralanma ve AYN

5.2. Konik Paralanma ve AYN Hesaplama Algoritmaları

Konik kural'ın dayandığı temel nokta, 3 boyutlu uzayda tanımlı bir noktanın (P), tepe noktası, doğrultusu ve açısı tanımlı bir koninin içinde olup olmadığının hesaplanmasıdır. P noktasının koninin tepe tabanı bağlayan doğruya olan dik uzaklığı hesaplanır, ve bu dik uzaklığın yaptığı açı bulunur. Eğer açı koninin açı değerinden küçük veya eşitse konin içinde olduğu kabul edilir.



Şekil 3. Farklı hedef şekilleri ile küresel paralanma ve AYN

Koni kuralı AYN hesaplaması yapılırken koninin hedeften uzaklaşmaya başladığı an hesaplanır. Hedefin yarıçapı tanımlı bir küre olarak tanımlandığı durumda koni kuralı aşağıdaki belirtildiği gibi kürenin koninin içinde girip girmediği hesaplanır. Hedefin şekli bit kutu olarak tanımlandığı durumda koni kuralı yukarıda belirtildiği gibi kutunun tüm yüzeylerini orta noktası ve tüm köşelerinin koninin içine girip girmediği hesaplanır.

6. ANALİZ

Atış kontrol sisteminin doğrulama ve geçerleme işlemleri top atış simülasyonunda uygulanan top atış parametrelerini içeren top emirleri ile gerçekleştirilen mermi atışlarının isabet/yaklaşma (azami yaklaşma noktalarını vb.) tespitini ve analizini içerir. Test senaryosunda bulunan hedefin durumuna, uygulanan çevre şartlarına, top emirlerine göre mermilerin yörüngelerini 2B ve 3B grafikler ile sergilenir. Grafiklerin analizi ile uygulanan farklı parametrelerin neden olduğu mermi yörüngeleri değerleri

hem tablolarda hem de 3B grafiklerde karşılaştırılabilir. Karşılaştırma sonuçlarının analizi ile test edilen bir veya birden fazla top atış kontrol sisteminin hangi parametreler ile etkin ve başarılı olduğuna karar verilebilir. Analiz işlemini iki ana alt işlevi senaryo boyunca ilgili verileri kayıt etmek ve ardından bu veriler üzerinde analiz işlemleri yapmaktır. Top atış kontrol sistemi tarafından uygulanan atış usullerine uygun olarak gerçekleşen paralanmaların grafiksel gösterimi de analiz edilir.

6.1. Kayıt Veritabanı

Analiz aracı, ateşleme emri ile birlikte üretilen mermi ve hedef kinetiklerini gerçek zamanlı olarak kayıt ederek angajman süresince ve neticesinde yapılan değerlendirmeleri kullanıcıya sunar. Analiz yazılımı iki farklı çalışma moduna sahiptir. İlk modu çevrimiçi, diğeri de çevrimdışı modudur. Çevrimiçi modunda, simülasyon sırasında ortamda bulunan tüm bilgiler bu yazılım tarafından alınır ve veritabanı kaydı yapılır. Kaydı yapılan veriler aşağıdaki gibidir.

- Hedef Kinetikleri
- Atış Platformu Kinetikleri
- Mermi Kinetikleri
- Oşinografik veriler
- İz Bilgileri (müstakbel hedef)
- Yalpa ve Dikey Yalpa anlık değerleri
- Balistik Veriler
- Top Yan Yükseliş verileri

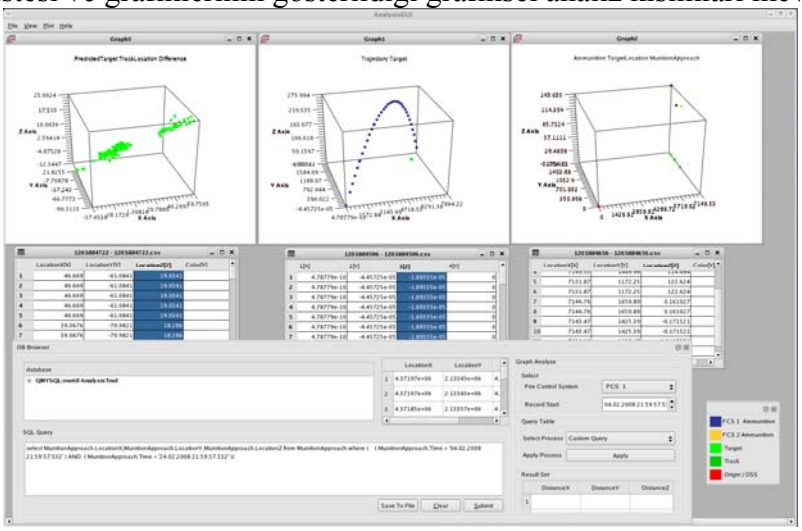
Analiz aracı, atış yapılan atışlar için ek olarak mermi yörüngesinin hedefe azami yaklaşma noktası, vuruş/en yakın an hedef pozisyonu, hedef şekli (radar kesit alanı, şekil, nokta vb.), vuruş olup olmadığı bilgisini de kaydeder. Bu bilgiler ilgili veritabanına koşum sonrasında aktarılır. Dağıtık simülasyon ortamında HLA/RTI altyapısı kullanılmaktadır. Bu sistemde yer alan nesne ve etkileşimler RPR-FOM uyumlu olarak tasarlanarak birlikte çalışabilirlik özelliği kazandırılmıştır. Kayıtların saklandığı veritabanı bu veri yapılarına uygun olarak tasarlanmış ve analiz işlemlerindeki sorgulamalar göz önünde tutulmuştur.

6.2. Analiz Grafikleri

Analiz aracının çevrimdışı modunda belirlenen test senaryosu kapsamında ve istenen koşullarda (isteğe bağlı çevre koşulları, mermi tipleri, tapa tipi vb.) oluşturulan belli bir koşumda meydana gelen mermi atışlarının ilgili hedeflerle çarpışıp çarpışmadığı veya ne kadar uzaklaştığı gibi veriler analiz edilir.

Analiz aracı kullanıcı arayüzünde mermi ile hedefin çarpıştığı (vuruş olan) durumların bulunduğu çarpışmalar listelenir ve üç boyutlu grafik (x,y,z) kullanarak sergilenir. Çarpışma ve AYN listelerinde merminin hedefe azami yaklaşma noktası, atış anı atış platformnu pozisyonu, atış anı hedef pozisyonu ve atış anı müstakbel hedef pozisyonu

bilgileri bulunur. Atış esnasında tahmin edilmiş olan müstakbel hedef pozisyonu ile hedefin gerçek pozisyonu arasındaki farklar listelenir ve üç boyutlu grafik kullanarak sergilenir. Şekil 4'de görüldüğü gibi Analiz aracında veritabanı göstericisi, simülasyon durum göstericisi, analiz seçeneğine göre veritabanından okunan çarpışma ve yaklaşma bilgilerinin listesi ve grafiklerinin gösterildiği grafiksel analiz kısımları mevcuttur.



Şekil 4. Analiz Aracı Kullanıcı Arayüzü

7. SONUÇLAR

Savunma sistemleri geliştirme projelerinde doğrulama ve geçerleme süreçlerinin gerçek dünya koşullarında gerçekleştirilmesi maliyeti yüksek bir işlem olduğunda simülasyon ortamları kullanmak verimli bir çözüm olmaktadır. Mermi modellerin sadakatinin olabildiğince yüksek olduğu bir top atış simülatörü kullanılarak, gerçek dünyada kullanılacak gerçek mermilerin maliyetinden çok düşük bir harcama ile top atış sisteminin işlevsel testleri ve bazı performans testleri yapılabilir. Mermilerin paralanma noktalarının tespit edilmesinde kullanılan algoritmalar gerçek mermi paralanma dinamiğini olabildiğince yüksek sadakatte benzetimi yaparken gerçek zamanda çalışma kısıtlarını da göz ardı etmemelidir.

KAYNAKÇA

[1] Civelek M. L., Mete B., Akın R., Mengüç F., Arık R., "Özgün Bir Deniz Top Atış Kontrol Sistemi", Savunma Teknolojileri Kongresi, 26-27 Haziran 2008, ODTÜ, Ankara.

[2] Fletcher Dunn, Ian Parberry "3D math primer for graphics and game development", Wordware Publishing,2002

[3] Jim Arvo, A Simple Method for Box-Sphere Intersection Testing, Graphics Gems,pp.247-250

EK BİLGİ

İsa Taşdelen, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, isa.tasdelen@bte.mam.gov.tr Tel: +90262 6772512 Fax: +90262 6463187

Yasemin Timar, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, yasemin.timar@bte.mam.gov.tr Tel: +90262 6772608 Fax: +0262 6463187

Ömer Eroğlu, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, omer.eroglu@bte.mam.gov.tr Tel: +90 262 6772585 Fax: +90 262 6463187

Tolga Baştürk, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, tolga.basturk@bte.mam.gov.tr Tel: +90262 6772514 Fax: +90262 6463187

Cemil Akdemir, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, cemil.akdemir@bte.mam.gov.tr Tel: +90262 6772579 Fax: +0262 6463187

Deniz Aldoğan, TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Enstitüsü P.K. 21 41470 Gebze/Kocaeli, deniz.aldogan@bte.mam.gov.tr Tel: +90 262 6772566 Fax: +90262 6463187

Bilgisayar Ortamında Arazi Etüdü ve Özellikleri Tanımlanmış Bölge Seçimi

Ali ÇETİNKAYA (*) **, Yusuf YILDIRIM**(**), **Halil GÜR**(**)

(*) E. Top. Alb. Bilgisayar Müh. C3S Ltd. Şti. Md. alicetinkaya@c3s.com.tr

(**) Bilgisayar Müh. C3S Ltd. Şti. info@c3s.com.tr

Url : www.c3s.com.tr

Özet:

Bu doküman arazide özellikleri tanımlanmış bir bölgenin veya bir noktanın verilen özelliklere uyup uymadığının araştırılması ve uygun yerlerin işaretlenmesini sağlayan stokastik algoritmayı kapsamaktadır. Arazinin bilgisayar ortamında analiz edilerek arzu edilen özellikteki bir bölgenin, hattın veya noktanın seçilmesi için arazi tanımlamaları ile istenen özelliklerin çıkarımının yapılabilmesi gerekmektedir. İstatistiki bir yapı ile arazinin şekilsel özellikleri (arazi şekilleri), zemin yapısı ve zemin örtüsü bilgileri işlenebilmektedir. İstatistiki sonuçları kullanabilmemiz için sonuçların bize ne anlattığı ve/veya biz hangi özelliklerin veri yapısı içersinde anlatıldığını bilmemiz gerekmektedir. Böyle bir çalışmada arazinin yükseklik bilgileri, zemin yapısı (toprak özellikleri), arazi örtüsü (çevre) bilgileri gerekecektir. Zemin yapısı ve zemin örtüsü bilgileri diğer özel bilgilerle birlikte Askeri Coğrafya Bilgileri adı altında Harita Genel Komutanlığında bulunmaktadır. Yükseklik bilgileri internet ortamında level-2 seviyesine kadar mevcuttur.

Genel Hususlar:

Stokastik algoritma iki ana bölümden oluşur:

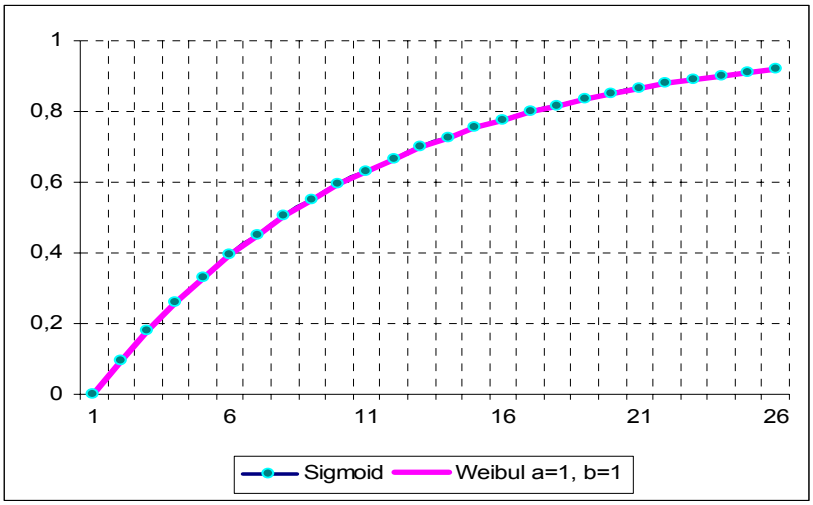
1. İstatistiki bilgilerin alınması ve özelliklerinin hesaplanması.
    a. Minimum, maksimum ve ortalama değerlerin bulunması.
    b. Medyan, mod, standart sapma, varyans değerlerinin hesaplanması.
    c. Histogramın oluşturulması.
    d. Verilerin dağılma özelliğinin bulunması.
2. Girilen verilerin istenen özellikte olup olmadığı saptanması.
    a. Dağılma özelliğine göre veri test yöntemlerinin seçilmesi.
    b. Test sonuçlarının karara dönüştürülmesi için karar mekanizmasının kurulması ve işletilmesi.

İstatistiki İşlemler:

ATİMEVSE (ATış İmkanları analizi ve topcu MEVzi bölgesi SEçimi) projesinde Weibull dağılımını kullandık. Bu seçimi yapmamızın en önemli nedeni parametre değişikliği ile dağılımı istediğimiz dağılım özelliklerine uygun hale getirmemize imkan vermesidir. Örneğin: β parametresi 1 alındığında, weibull dağılımı eğer α parametresi 1'e eşit ve 1'den küçük ise üstel dağılım, birden yeterince büyük olduğunda normal dağılım özelliklerine yaklaşır, iki benzerlik arasında α 1 den itibaren uzaklaştıkca lognormal, poison, beta, gamma ve Chi-Squared dağılım özellikleri gösterir. Weibull dağılımı bizi her bir alt konu için ayrı bir dağılım fonksiyonu kullanmamızın önüne geçmiştir. Buna ilave olarak lojistik fonksiyon olarak da kullanılan hiperbolik tanjant ve sigmoid fonksiyonu ile Weibull kümülatif değişim fonksiyonunun örtüşmesidir.

Sigmoid :

$f(x) = 1 - 1 / e^{x} = 1 - \exp(-x)$ veya $f(x) = 1 - a / e^{bx}$



Şekil 1 Sigmoid fonksiyonu

Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ile sigmoid fonksiyonu görüldüğü gibi çok benzer olup birbirinin yerine parametre değişiklikleri ile kullanılabilir.

Weibull dağılım temel fonksiyonları:

$f(x) = (\alpha / \beta) * (x / \beta)^{\alpha - 1} * \exp(-(x / \beta)^{\alpha})$ olası yoğunluk fonksiyonu (pdf)

$P(x) = 1 - \exp(-(x / \beta)^{\alpha})$ kümülatif dağılım fonksiyonu (cdf)

$h(x) = (\alpha / \beta) * (x / \beta)^{\alpha - 1}$ bilgi kayıp oranı

$\mu = \beta \, G (1 + 1 / \alpha)$ Ortalama

$\lambda = \beta (\ln (2))^{1 / \alpha}$ medyan

$mod = \beta ((\alpha - 1) / \alpha)^{1 / \alpha}$ mod α > 1 için geçerli

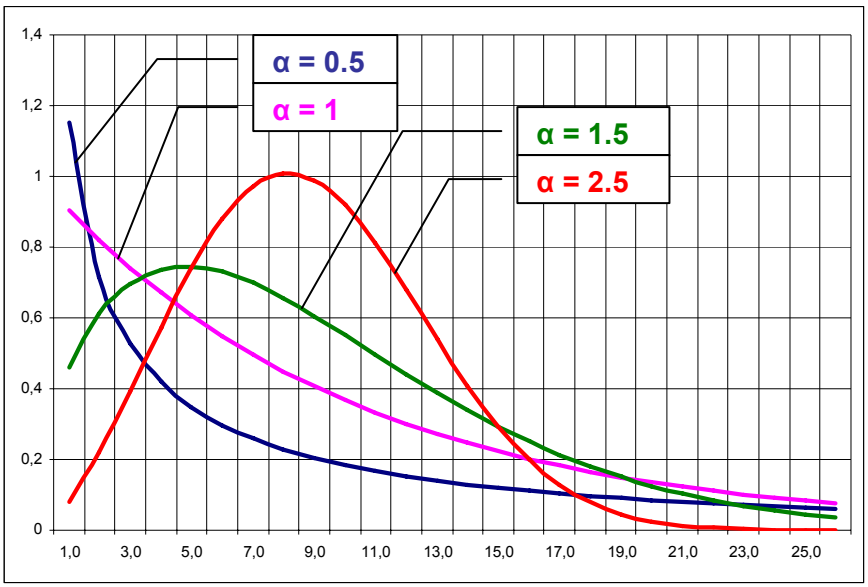
$\sigma^2 = \beta 2 \, G (1 + 2 / \alpha) - \mu^2$ Varyans

Parametreler :

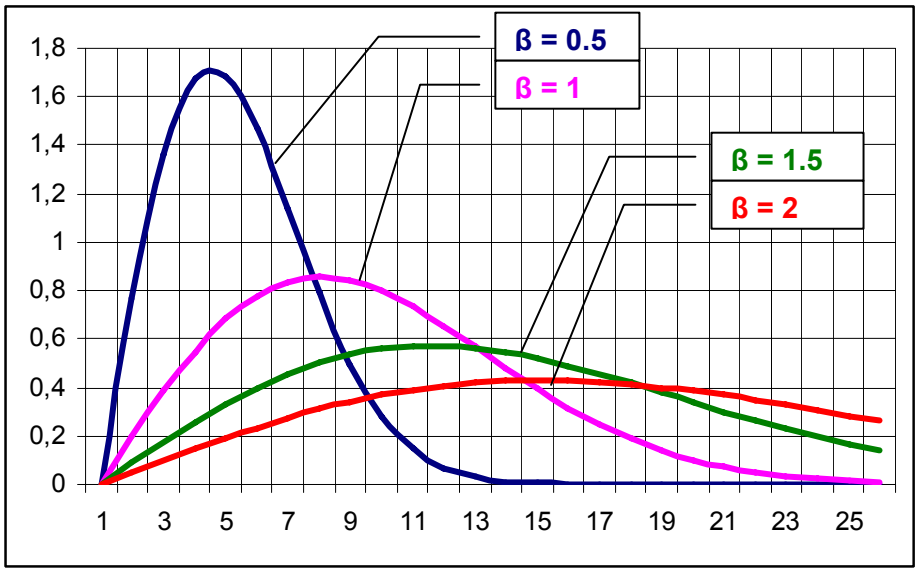
β : büyüklük parametresi

α : dağılım şekil parametresi

G (u) = $\int t^{u-1} / e^{x} dx$ veya **G (u) = (u – 1)!** Gama fonksiyonu



Şekil 2 Weibull olası dağılım grafiği (α değiştirilmiş, β = 1 alınmıştır)



Şekil 3 Weibull dağılım fonksiyonu (α =2 alınmış, β değiştirilmiştir)

Ön hesaplamalar kolayca yapılmaktadır, veri dağılımının saptanması için weibull dağılım parametrelerinin bulunması gerekmektedir. Bu maksatla weibull dağılım fonksiyonunun **α** ve **β** parametrelerini belirledik.

Parametreleri belirlemek için weibull kümülatif dağılım fonksiyonunun her iki tarafının iki defa logaritmasını aldığımızda doğru denklemi elde edilir. Bu denklem aracılığı ile ilk parametre değerleri saptanır ve arazinin istenen yapısına göre geliştirilir.

$\ln(-\ln (P(x)) = \alpha (\ln(x) - \ln(\beta))$ → $f(u) = a\,u - b$ doğrusu

$y = \ln \ln 1 / [1 - i / (n + 1)]$

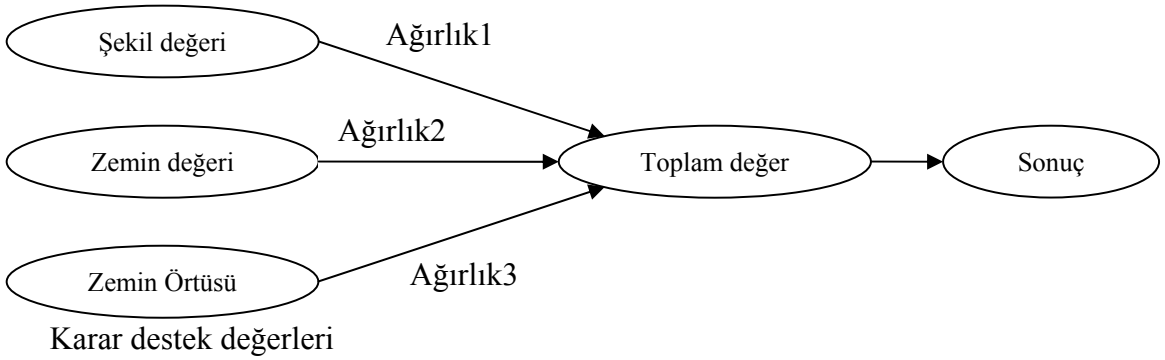
$a = (\Sigma y_i) / N - b' * (\Sigma x_i) / N$

$b = ((\Sigma y_i x_i) - ((\Sigma x_i) (\Sigma y_i)) / N) / ((\Sigma x_i^2) - (\Sigma x_i)^2 / N)$

$\alpha = a$

$\beta = e^{-b/\alpha}$

Burada aradığımız özellikleri bize yansıtacak parametreleri saptadıktan sonra test işlemlerini uyguladık. Bu işlemleri her bir özellik için ayrı ayrı uyguladıktan sonra ağırlık katsayıları ile işleyerek uygunluk kararı verilmesini sağladık. Örnek olarak; ilk test aşamasında, ortalama eğimin 0,6 ve en büyük sapmanın ortalama sapma kadar olan bölge için kabul edilmiş Weibull fonksiyonu için kabul sonucu çıkmışsa ve bölge olasılığı 0.73 ise bu değer şekil kabul değeri olarak alınır. Daha sonra üyelik değeri ağırlıkla çarpılarak ikinci katmana gönderilecektir. Üyelik değeri istenen minimum değerden küçükse bu alan için diğer işlemler yapılmaz.



Şekil 4 Weibull uygulaması için blok şema

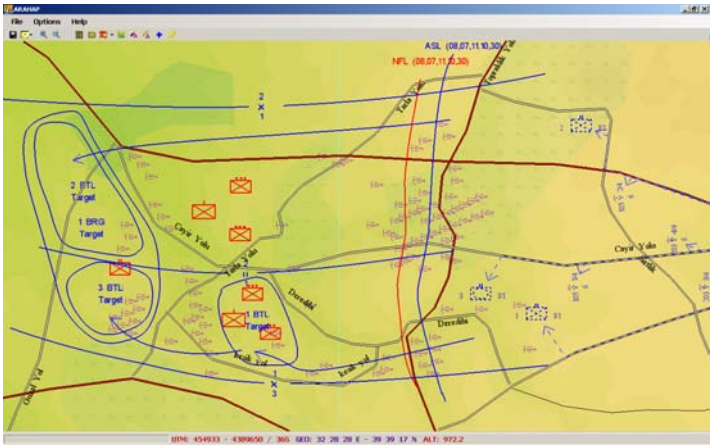
Uygulama Sonuçları:

ATİMEVSE projesinin kapsamında uygulama yapılmış ve topcu mevzi bölgelerinin özelliklerini karşılayacak temel kriterler saptanmıştır.

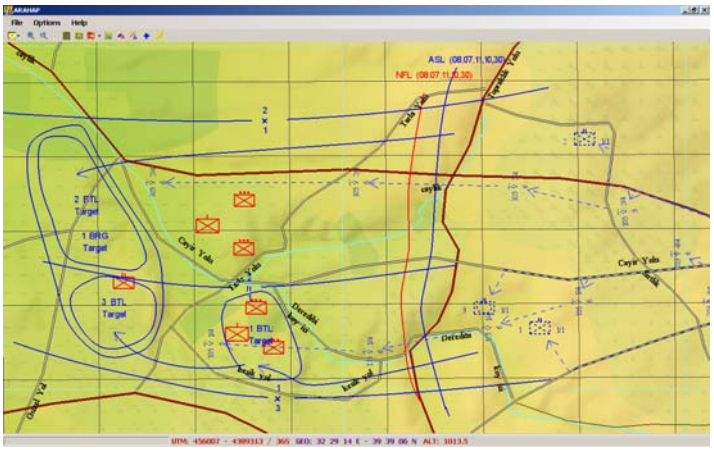
1. Desteklediği manevra birliğinin sorumluluk bölgesinde maksimum alanı ateş altına almalıdır.
2. Düşman gözetlemesinden uzak olmalı (sütre sağlamalı).
3. Yeterli ve etkili örtü sağlamalı.
4. Sert zeminli olmalı.
5. Araç hareketlerine imkan vermeli

Bu kriterlere uygun bölgelerin seçimi için sorumluluk bölgesi saptanmıştır. Bilahare zemin şekli, sütre imkanları, yapısı ve zemin örtüsü esas alınarak her nokta için Weibull prosesi

uygulanmış ve mevzi özelliklerine uygunluk seviyesi saptanmıştır. Uygun olan bölgeler bir listede tutularak düşman görüş imkanlarından korunup korunmadığı saptanmıştır. Sonuçta korunaklı uygun mevzi bölgeleri birliklere tahsis edilmek üzere kullanıcıya sunulmuştur. ATİMEVSE projesinin sonuçları ARAHAP projesine monte edilerek test edilmiş ve kullanıma hazır hale getirilmiştir.

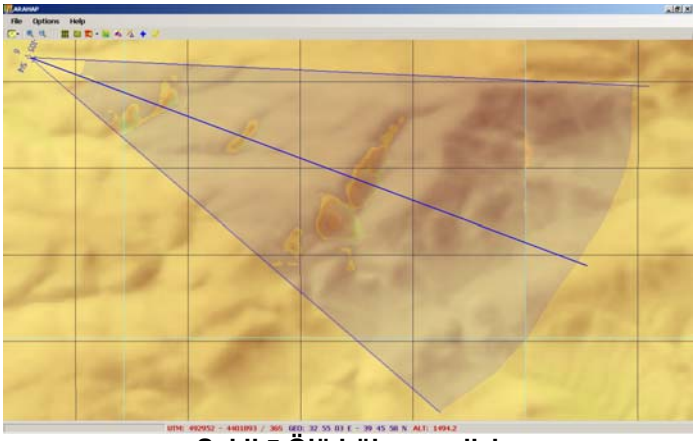


Şekil 5 Topcu mevzi bölgesi seçimi



Şekil 6 Topcu mevzilenmesinin planlaması

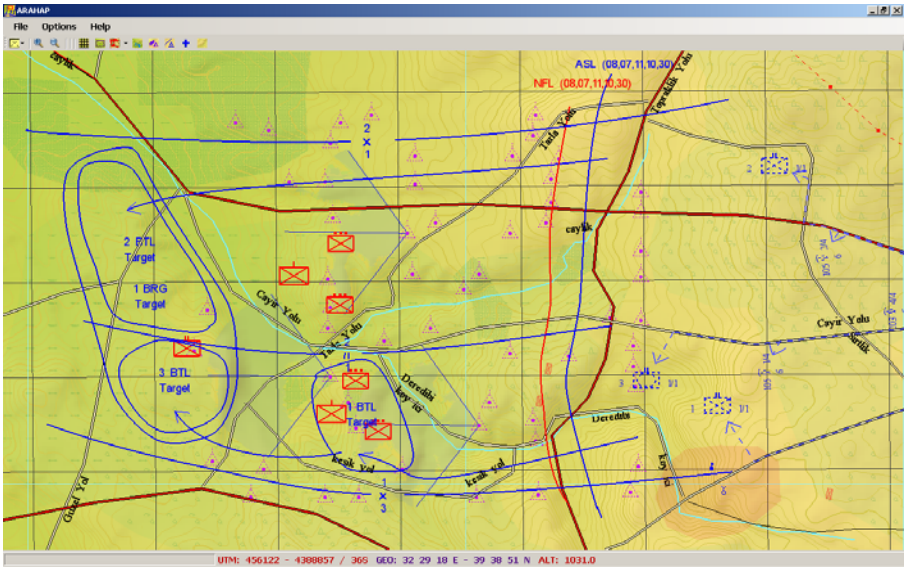
Mevzi bölgeleri belirlendikten sonra uygun görülenlerin birliklere tahsisi menu aracılığı ile sağlanmıştır.



Şekil 7 Ölü bölge analizi

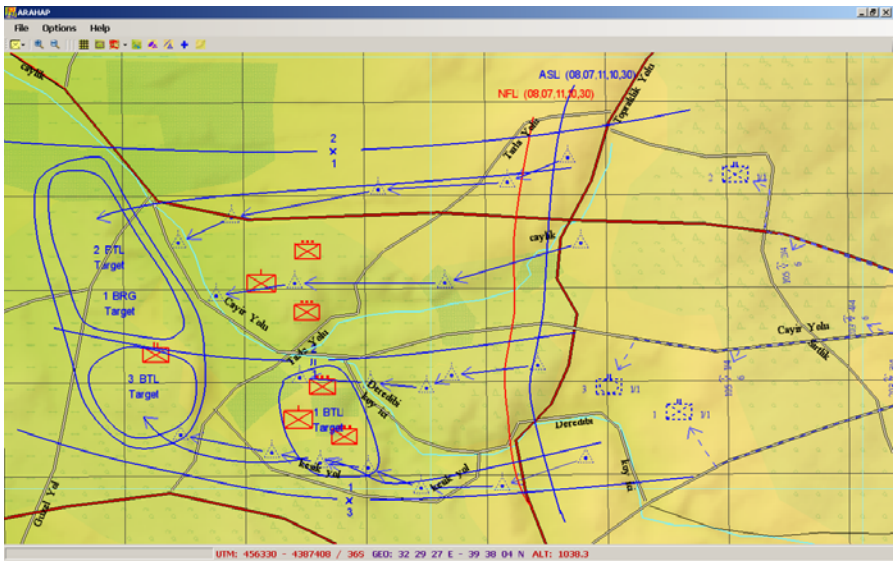
İlgili subay (S-3) arazi yapısını dikkate alarak, gerekli görürse ölü bölge analizi yaptırmak suretiyle mevzi bölgelerinin tahsisinde kesin kararın verilebilmesi imkanı verilmiştir. Ölü bölge analizinde dönüş dövüş imkanları içersindeki mavi bölgeler uygun barut hakkı (BH) ile sorunsuz olarak, yesil bölgeler bir alt BH ile, pembe bölgeler üst açı grubu ile ateş altına alınan bölgeleri göstermektedir. Sarı bölgeler ise sekme olasılığı yüksek olan bölgeleri gösterir.

Aynı yöntemle Gözetleme Yerleri de seçilip gözetleme planı süratle oluşturulabilmektedir.



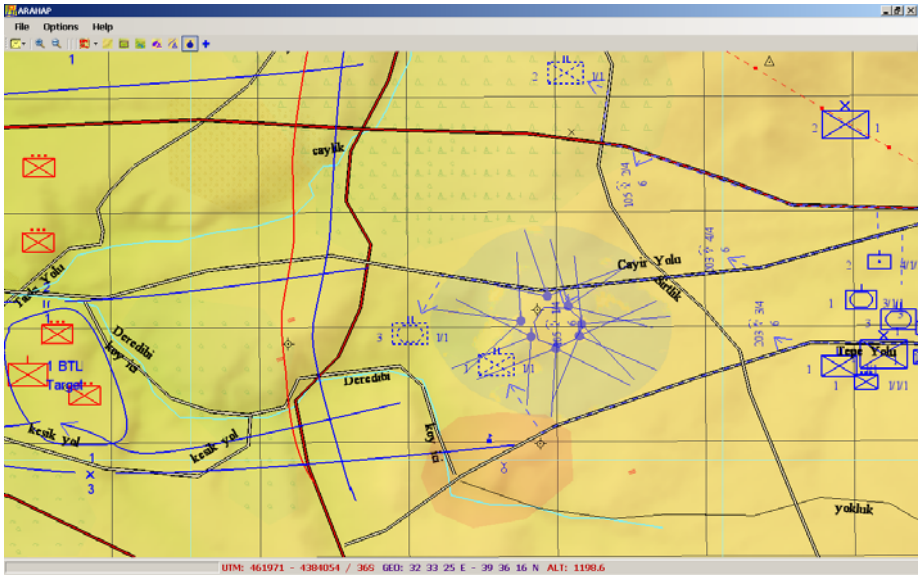
Şekil 8 Gözetleme Yerlerinin seçilmesi

Gözetleme yerlerinin seçilmesinde bir gözetleme yerinde istenen özelliklerini karşılayacak şekilde yapı düzenlenerek yer seçimi gerçekleştirilmiş ve hızlandırılmış görüş imkanları analizi ile desteklenmiştir.



Şekil 9 Gözetleme planı oluşturma

Gözetleme yeri olabilecek noktaların seçiminden sonra birliklerin gözetleyicilerine uygun olanlar tahsis edilerek gözetleme planı süratle oluşturulmaktadır.



Şekil 10 Çevre Emniyeti planlaması

Gözetleme yeri seçim algoritması birlik çevresine uygulanmak suretiyle çevre emniyeti nöbetçi yerleri bulunarak çevre emniyeti planlaması yapılabilmektedir. Seçilen her bir nokta aynı zamanda yakın savunma silahlarının (roketatar ve makinalı tüfek) mevzileri olacaktır.

Referanslar:

1. Papoulis, Pillai, “Probability, Random Variables, and Stochastic Processes”, 4 Edition
2. http://www.weibull.com
3. FM 6 – 50 Tactics Techniques and Procedures for The Field Artillery Cannon Batery
4. FM 6–20–1 Tactics Techniques and Procedures for The Field Artillery Cannon Battalion
5. FM 3 – 90 Tactics
6. FM 3 – 34 Topografic operations
7. FM 5 – 33 Terrain Analysis

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN ARAZİ VERİSİNE DAYALI BİR SEYRÜSEFER SİSTEMİ TASARLANMASI ve SİSTEMİN ÇEŞİTLİ ALGORİTMALAR İLE ÜRETİLEN ARAZİLER ÜZERİNDE ÇALIŞTIRILMASI

Şamil Temel [(a)], Yasin Birkin [(b)], Halil Uysal [(c)]

[(a)] Hava Harp Okulu - HUTEN, Yeşilyurt/İstanbul, s.temel@hho.edu.tr

[(b)] Hava Harp Okulu - 4.Filo, Yeşilyurt/İstanbul, 4306birkin@hho.edu.tr

[(c)] Hava Harp Okulu - 4.Filo, Yeşilyurt/İstanbul, uysal4326@hho.edu.tr

ÖZ

Arazi Verisine Dayalı Seyrüsefer (AVDAS) sistemlerinin amacı, hava aracının belirli bir arazi üzerinden geçerken, sensorun (radar altimetresi) topladığı yükseklik değerleri dizisinin, sisteme önceden yüklenen sayısal harita veritabanındaki yükseklik değerleri ile karşılaştırılıp platformun konumunun kesin olarak tespit edilmesidir. Uydu tabanlı seyrüsefer sistemlerinin karıştırılmaya son derece açık olmasından ötürü, son yıllarda AVDAS sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar yaygınlaşmaktadır. AVDAS sistemlerinin İnsansız Hava Araçlarında (İHA) kullanılması uygulamalarına ise nadir olarak rastlanmaktadır. Hâlihazırda, AVDAS sistemleri çoğunlukla askeri alanlarda kullanılmaktadır. Bu yüzden faydalanılan algoritmalar, kaynak kodları, test sonuçları vb. gibi bilgiler bilimsel camiada açık olarak yayınlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, günümüzde kullanılan AVDAS sistemlerini incelemek ve İHA'ların konumlandırılması için uydu tabanlı bir seyrüsefer sistemine ihtiyaç duyulmadan, güvenilir ve hızlı bir seyrüsefer sistemini bilgisayar mühendisliği temel ilkeleri çerçevesinde ve bilgisayarla grafik çizimi algoritmaları kullanılarak programlamak ve bu sistem için bir simülasyon ortamı geliştirmektir. Geliştirilmiş olan AVDAS sisteminde kullanılan araziler, çeşitli arazi verisi oluşturma algoritmaları vasıtası ile üretilmiştir. Söz konusu algoritmaların çıktıları olarak her türlü yeryüzü şeklinin sayısal haritası üretilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arazi verisine dayalı seyrüsefer, GPS'ten bağımsız uçuş, İnsansız Hava Araçları.

ABSTRACT

The aim of Terrain Referenced Navigation systems (TRN) is to provide an air vehicle with a navigation system with the help of a radar altimeter. The height values collected from the radar altimeter is matched within a digital height map which is loaded to flight computer in advance of flight. Because satellite navigation systems are highly vulnerable to jamming, studies on TRN are becoming popular. However, studies on TRN systems for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) are rare. Today TRN systems are

being used for military purposes. Because of this, the algorithms used, source codes, test results etc. are not published. The aim of this study is to examine the TRN systems that are being used and develop a satellite-navigation-free system in order to find the precise locating of a UAV. In this study a simulation test-bed is developed with the help of computer science basics and computer graphics algorithms. The digital elevation maps are generated utilizing some well known terrain generation algorithms in order to attain all types of terrain shapes.

Keywords: GPS-free flight, Terrain referenced navigation system, Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

1. GİRİŞ

Günümüzde bir İHA'nın bulunduğu konum, GPS/INS (Global Positioning System/Inertial Navigation System) verileri ile yaklaşık 10 m hata payı ile saptanabilmektedir. Son yıllarda GPS sistemine yedek ve alternatif olarak, AVDAS Sistemleri (Terrain Referenced Navigation Systems) akademik ve ticari camiada ilgi odağı haline gelmektedir.

Havacılıkta, sürekli ve doğru konum verisi hayati önemi haizdir. Son yıllarda kullanım alanları genişleyen ve teknolojik olarak imkân ve kabiliyetleri günden güne artan İHA'larda temel olarak uydu tabanlı seyrüsefer sistemleri kullanılmaktadır. GPS, GLONASS ve 2012 yılında işlevsel hale gelecek olan Galileo, uydu tabanlı konumlama sistemlerine örnektir. Bu sistemler, her ölçümde konum saptamasını mümkün kıldığı için ataletsel seyrüsefer sisteminin hatalarının kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılır [1]. Uydu tabanlı sistemler elektronik karıştırmaya son derece açıktır [2]. Bu kapsamda, İHA'lar için, GPS' ten bağımsız çalışabilen, karıştırılamayan, alternatif bir seyrüsefer sistemine ihtiyaç duyulmaktadır. AVDAS sistemleri, sualtı araçlarında, karasal araçlarda, gezegen yüzeyleri keşif araçlarında da kullanılmaktadır [3].

1970'lı yıllarda Ataletsel seyrüsefer sistemlerini desteklemek için AVDAS sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu yıllarda AVDAS sistemi Tomahawk füzelerinin navigasyonunda başarı ile uygulanmıştır [4]. Sensor ve bilgisayar platformlarının ve sayısal arazi haritalarının düşük çözünürlüklü ve yetersiz oluşu, söz konusu sistemlerin gelişmesinde engel teşkil etmiştir. Son on yıl içerisinde, teknolojideki hızlı gelişmeler sonucunda, sensorların ve bilgisayarların maliyetleri son derece ucuzlamış olup verimlilikleri ve hızları inanılmaz ölçüde artmıştır. Ayrıca, Digital Elevation Map (DEM) olarak adlandırılan sayısal haritaların kullanımı dünya çapında artmıştır. Tüm bu gelişmeler ışığında, günümüzde AVDAS sistemlerinin geliştirilebilmesi için gerekli ortam hazır hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, günümüzde kullanılan AVDAS sistemlerini incelemek ve İHA'ların konumlandırılması için uydu tabanlı bir seyrüsefer sistemine ihtiyaç duyulmadan, güvenilir ve hızlı bir seyrüsefer sistemini bilgisayar mühendisliği temel ilkeleri çerçevesinde programlamak ve bu sistem için bir simülasyon (benzetim) ortamı geliştirmektir.

1.1. Arazi Verisine Dayalı Seyrüsefer Sistemleri Üzerine Yapılmış Çalışmalar:

AVDAS sistemleri çalışmaları 1970'lerde başlamış ve günümüze dek bazı sistemler geliştirilmiştir. TERCOM ve TERPROM [5] bunlardan bir kaçı olarak listelenebilir. Genel olarak tüm bu sistemlerin ortak çalışma prensibi, bir radar altimetresi yardımı ile elde edilen yükseklik değerlerinin bir sayısal harita üzerinde eşleştirilerek sensor platformunun konumunun tayin edilmesi prensibine dayanmaktadır.

AVDAS sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar genellikle, eşleştirme işlemi üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapılan eşleştirme yöntemleri TERCOM'da olduğu gibi yığıt (batch) veya TERPROM ve SITAN'da olduğu gibi sıralı (sequential) yöntemleri ile olabilmektedir. Ayrıca, EKF (Extended Kalman Fitler) yöntemi ile tasarlanmış sistemler [6], Bayesian Statistics yöntemine dayalı sistemler [7], korelâsyon metoduna dayalı sistemler [3], Gauss yaklaşımı ile geliştirilmiş olan sistemler [8] vs. de geliştirilmiştir. AVDAS sistemleri, denizaltı ve denizaltı insansız araçlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar da mevcuttur [9].

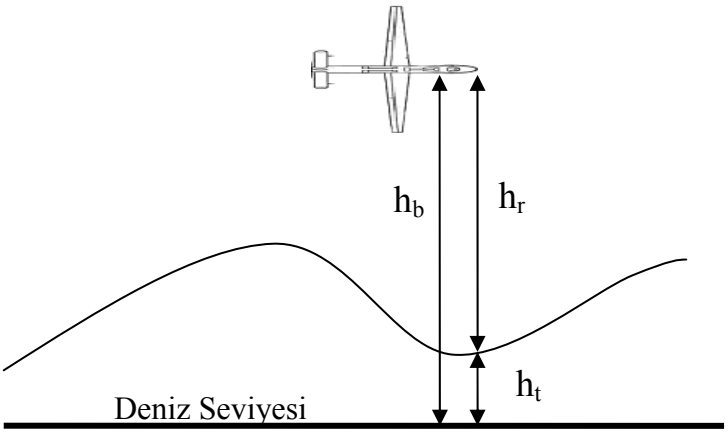
1.2. Arazi Verisine Dayalı Seyrüsefer Sistemlerinin Genel Özellikleri:

AVDAS sistemlerinin birçok savaş uçağı platformlarında kullanılmasına rağmen bu sistemlerin İHA'larda kullanılmadığı bilinmektedir [10]. Hâlihazırda AVDAS sistemleri askeri alanlarda kullanıldığından, algoritmalar, kaynak kodları, test sonuçları vb. gibi bilgiler bilimsel camiada yayınlanmamaktadır. Dolayısı ile milli bir AVDAS sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

AVDAS sistemleri GPS'ten bağımsız uçuş gerçekleştirmek ve hava aracına kesin konum bilgisi sağlayabilmek için son derece idealdir. Söz konusu sistemlerin en büyük dezavantajı ise bu sistemlerin çalışabilmesi için değişken yüzeyli, dağlık, tepelik vb. arazi şartlarına ihtiyaç duyulmasıdır.

AVDAS sitemleri temel olarak, hava aracından gerçek zamanlı olarak elde edilen arazi yükseklik değerlerinin bir referans haritası içerisinde eşleştirilerek bulunması ilkesine dayanır. Gerçek zamanlı olarak üzerinden uçulan arazinin yükseklik değerleri bir barometrik altimetre ve radar altimetresi yardımı ile hesaplanır. Arazinin anlık yükseklik değeri, Şekil 1'de görüldüğü gibi barometrik altimetreden alınan değer ile radar altimetresinden alınan değerler arasındaki farktır. h_b, barometrik altimetre yüksekliği h_r, radar altimetre yüksekliği olmak üzere, arazinin yükseklik değeri h_t , (1) denklemi yardımı ile bulunur.

$$h_t = h_b - h_r \tag{1}$$



Şekil 1. Arazinin anlık yükseklik değerinin hesaplanması

Radar altimetrelerinin kullanımı, sensor teknolojilerindeki gelişmeleri takiben hızla yaygınlaşmaktadır. Ucuz ve hafif olmalarından dolayı son yıllarda insansız hava araçlarında kullanımları yaygınlaşmaktadır. Günümüzde basit radar altimetresi cihazları yaklaşık 3000-10000 $ ve 300-1000 gr aralığındadır ve 2500-3000 feet yüksekliğe kadar, 2 Hz frekansında çalışabilmektedirler. Doğruluk oranları ±5 % ile ±7 % arasındadır. Bir radar altimetresi, hava aracına saniyede iki adet yükseklik değeri sağlayabilmektedir. 120 km/saat hızla uçan bir İHA, saniyede 30 metre yol kat edecektir. Bu hızda iken çalıştırılan bir radar altimetresi, hava aracına her 15 metre mesafede bir yükseklik değeri sağlayacaktır. Radar altimetresinin belirli bir süre çalıştırılması sonucunda ise üzerinden uçulan arazinin bir profili oluşturulmuş olacaktır.

2. GELİŞTİRİLEN SİSTEM

Bu çalışma kapsamında yeni, özgün ve GPS'ten bağımsız bir AVDAS sistemi geliştirilmiş olup ilgili algoritmaların tasarımı aşamasında, sistemin performansının yüksek olması ve çok kısa sürede konum bilgisinin belirlenebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca sistem ile belirlenen konum bilgisinin kesinlik arz etmesi de çok önemli bir husus olarak değerlendirilmiştir. Bu çerçevede gerçekleştirdiğimiz AVDAS sistemi, hava aracının belirlenen konum doğruluk oranının en az GPS sisteminin doğruluk oranına eşit olması hedeflenmiştir. Bu maksatla elde edilen konumda kesinlik yok ise geliştirdiğimiz algoritma yardımı ile konum tayin etme işlemi tekrarlanacak ve kesin bilgiye ulaşılması sağlanacaktır.

Tasarlanan AVDAS sistemi bir hava aracının anlık konum bilgisinin bulunması için tasarlanmış bir sistemdir. Bu sistem, hâlihazırda kullanılan ve üzerinde çalışmalar devam eden sistemlerden farklı olarak iki ana adımdan oluşmaktadır, bunlar: *konumlama işlemine başlamadan önce yapılması gereken işlemler* ve *konumlama işlemi* olarak isimlendirilmiştir.

Bu çalışmada, radar altimetresinden elde edilen yükseklik değerinin oluşturduğu profil'in eğim değeri hesaplanmakta ve önceden oluşturulan Sayısal Eğim Haritası (SEH) dosyası içerisinde bu eğim değerlerine karşılık gelen kayıtlar aranmaktadır.

Kayıtları arama, ilgili kayıtlara ulaşma, kayıtları listeleme vb. işlemleri sıralama, arama, linkli listeleme vb. bilgisayar veri yapıları algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Sayısal Harita Algoritmaları

Bu çalışmada geliştirilmiş olan AVDAS sisteminde kullanılmak üzere 4 adet algoritma yardımıyla üretilen sayısal haritalar incelenmiştir. Her biri kendine özgü araziler üreten bu algoritmalar, Hill Algoritması, Midpoint Displacement Algoritması, Fault Algoritması ve Ay Yüzeyi Algoritmasıdır. Bu algoritmalardan Diamond Square ve Fault algoritmaları kesikli (fractal) araziler üretirken Hill algoritması nispeten yumuşak araziler üretir. Ay Yüzeyi algoritması ise geliştirilen AVDAS sisteminin ay yüzeyinde çalıştırılabilmesinin araştırılması maksadıyla geliştirdiğimiz bir algoritmadır.

2.1.1. Hill Algoritması

Sayısal haritalarda belirli bir arazinin yükseklik değerleri matris şeklinde saklanır. Matrisin yatay ekseni enlem, düşey ekseni ise boylam olarak ifade edilir. Matrisin içindeki değerler ise yatayda ve düşeyde karşılık gelen koordinatın yüksekliğini ifade etmektedir. Hill algoritması açık kaynak kodlu ve gerçeğe yakın sayısal haritalar hazırlamak için kullanılan bir arazi oluşturma yöntemidir. Temel olarak bu algoritmada, belirlenen bir nokta merkez ve belirlenen bir uzunluk yarıçap olmak üzere arazi üzerinde çeşitli sayılarda tepeler oluşturulur. Tepelerin iç içe geçmesi sonucunda yumuşak eğimli bir harita elde edilmiş olunur. Oluşturulan tepeler parabolik bir kambur şeklindedir. Tepenin taban yarıçapı büyüdükçe tepe yüksekliği artar. Matematiksel olarak, (x_1,y_1) merkez noktası, r yarıçap olmak üzere (x_2,y_2) noktasındaki yükseklik z olarak ifade edilirse (4) formülü elde edilebilir:

$$z=r^2-((x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2) \qquad (4)$$

bu formülde z^2 kullanılmamasının sebebi, hesaplamalarda kolaylık ve işlem hızını arttırmak içindir. Tüm bir arazi oluşturmak için, arazi üzerine birçok tepe ilave etmek gerekmektedir. Bu işlem yapılırken negatif yükseklik değerleri ihmal edilir ve iki tepe çakıştığında her ikisinin yükseklik değerleri toplanarak yeni bir yükseklik değeri elde edilmiş olunur. Şekil 2.'de, iterasyon sayısı arttıkça ortaya çıkan çeşitli arazi şekilleri görülmektedir:

Sayısal haritalarda kullanılan yükseklik değerleri reel sayılardır ve 0 ile 1 arasında değerlerine sahiptir. Reel sayı kullanılmasının amacı, işlem kolaylığı ve esnekliği sağlamaktır. Söz konusu yükseklik değerinin 0 olması, arazi üzerindeki en alçak noktayı, 1 olması ise arazi üzerindeki en yüksek noktayı ifade eder. Arazi üzerindeki en yüksek noktanın bilinmesi halinde diğer yükseklikler bu değere göre oranlanarak bulunur. Böylelikle daha gerçekçi arazi haritaları oluşturulmuş olmaktadır.

2.1.2. Midpoint Displacement Algoritması

Bu algoritma diamond-square algoritması olarak bilinmektedir. Kısaca iki noktadan geçen bir doğrunun orta noktasının yüksekliğinin bu iki noktanın yüksekliğine göre değiştirilmesi temel işlemiyle çalışır. Tek boyut üzerinden bir örnek verilirse, AB

doğrusunun orta noktası C olsun. C noktasının yüksekliğinin değiştirilmesi ile araziye biçim verilir. Bu işlem tüm arazi boyunca devam ettirilerek bir yüzey şekli elde edilir.

İlk adımdan sonra, arazinin engebeliliğini arttırmak için kullanılan parametre değerlerinin ve iterasyon adetlerinin değiştirilmesi sonucunda arazi, değişik sertlik değerlerinde ve engebelere sahip çeşitli araziler elde edilebilmektedir. Midpoint Displacement algortiması ile elde edilen bir arazi şekli Şekil 4.'te gösterilmiştir.

2.1.3. Fault Algoritması

Arazi oluşturmada kullanılan metotlardan biri de Fault algoritmasıdır. Fault algoritması arazide çeşitli hatalar üretme sürecidir ve üretilen araziler fraktal yapıdadır. Fault algoritması, düz bir araziyi rastsal bir çizgiyle ikiye bölerek, bölünen araziye rastsal bir yükseklik eklenmesi ile oluşturulur. Bu algoritmada öncelikle rastsal olarak yüksekliği artırma seviyesi her bir iterasyonda düşürülmelidir. Aksi takdir de Şekil 5.'deki görüntü elde edilir. Şekil 5.'den anlaşılacağı üzere tamamıyla rastgele değerlerle oluşturulan arazi düzensiz ve doğal bir arazi görüntüsünden uzaktır. Oluşturulmak istenen arazi pürüzsüz ve daha doğal tepelerden oluşmalıdır. Bu maksatla rastgele verilen yükseklik değerlerinin lineer olarak sıfırdan farklı değerlerden seçilmesi gerekmektedir.

Arazi üzerinde bölünen bir taraftaki, her bir noktanın yüksekliği artırılmaktadır. Bunun için bütün yükseklik değerlerinin döngü şeklinde tüm harita için değiştirilmelidir. Oluşturulan arazilerin gerçeklik payının düşük olduğu görülebilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için tüm arazi üzerinde erozyon işleminin uygulanması gerekmektedir. Erozyon işleminin uygulanabilmesi için oluşturulan arazinin değerlerinin düzenlenmeli ve düzeltilmelidir. Bu işlem çeşitli uygulama programlarındaki "blur" işlemine benzetilebilir. Erozyon işlemi filtreleme yöntemi ile gerçekleştirilir. Filtreleme işlemi, doğa da sık sık olan arazi erozyonuna benzemektedir. Bu işlem tüm haritaya bir seferde uygulanmak yerine, parçalardan yükseklik verileri alınarak gerçekleştirilir. Filtreleme algoritması yükseklik değerlerinin bir bölümünü alır ve döngüde her bir iterasyon için değerlerin ne kadar arttırılacağını belirler ve bu işlemi, değerleri tek tek alarak yapar. Ayrıca hangi yönde gidileceğini de belirler. Çünkü işlem tüm araziyi yukarıdan aşağıya, aşağıdan yukarıya, sağdan sola, soldan sağa olacak şekilde filtreler. Şekil 6.'da Fault algoritması ve erozyon filtrelemesi ile oluşturulmuş bir arazi gösterilmiştir.

2.1.4. Ay Yüzeyi Algoritması

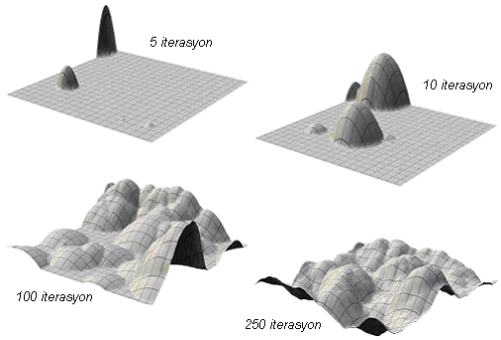
Ay Yüzeyi algoritması, gezegen yüzeylerine benzer kraterli arazilerin simüle edilmesi için geliştirmiş olduğumuz algoritmadır. Bu algoritma, Hill algoritmasının iki değişik modifikasyonunun birbiri ardınca çalıştırılmasını içerir. Bu modifikasyonlardan birincisi az meyilli ve yumuşak bir arazinin elde etmek, ikincisi ise bu arazinin üzerine krater açmak için kullanılır. Az meyilli ve yumuşak bir arazinin elde edilmesi için ortalama sayıda (300 ile 1000 arası) iterasyon ile oluşturulan arazinin tüm noktalarındaki yükseklikler belli bir ölçekle azaltılır.

Arazinin oluşturulması tamamlandıktan sonra sayısal haritaya dönüştürülmesi aşamasında en alçak nokta 0 ve en yüksek nokta da 1 olacak şekilde yükseklikler

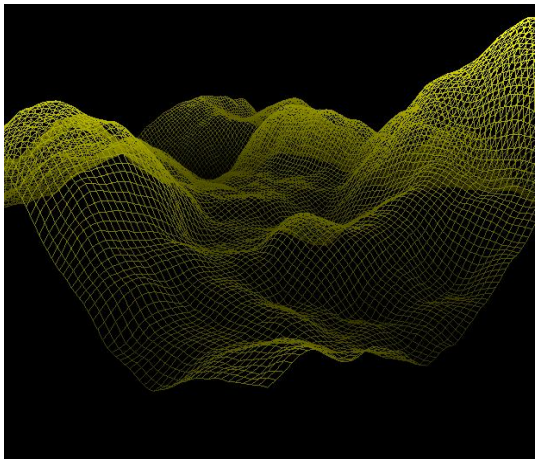
ondalık sayılar halinde kaydedilir. Ay Yüzeyi algoritmasının ilk safhasında oluşturulan arazi, Hill algoritmasından elde edilen arazideki her bir noktanın üzerine sabit bir sayının eklenmesi ve tekrar 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmesi ile elde edilir. (Uygulamalarda bu sabit 2.6 alınmıştır. Daha düz yüzeyler için bu sabit arttırılmıştır).

İkinci safhada ise, Şekil7'de gösteri,ldiği üzere elde edilen bu yumuşak arazi üzerinde kraterler elde etmek için Hill algoritması az iterasyon sayısıyla ve yükseklikleri arttırmak yerine azaltacak şekilde çalıştırılır. Bu esnada krater şeklinin sağlanması için çeşitli düzeltmeler yapılmıştır.

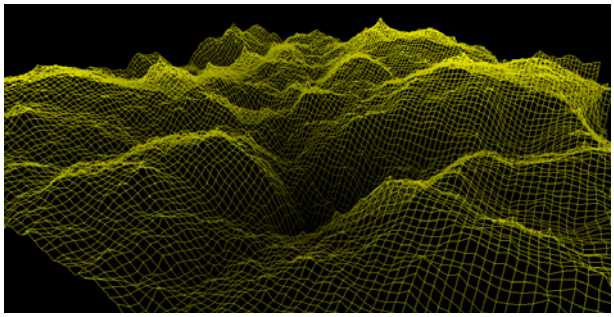
Kraterin kenarlarını oluşturmak için algoritma, Hill algoritmasının rastsal bir değişkeni olan tepe yüksekliğinin belli bir oranına kadar normal Hill, daha sonraki kısımda ise negatif Hill algoritmasını uygular. Kraterin derinliği ise Ay Yüzeyi algoritmasının birinci safhasındakine benzer bir şekilde, tepe yüksekliğinin(çukur derinliğinin) azaltılması ile ayarlanır. Bu azaltma uygulamada yüksekliğin karekökünün bir sabite bölünmesi şeklinde uygulanmıştır. İkinci safhada dikkat edilen bir diğer husus da kraterlerin üst üste binmelerini önlemek için rastsal koordinatların kontrolüdür. Şekil-8'de geliştirdiğimiz Ay Yüzeyi algoritması kullanılarak elde edilmiş bir arazi gösterilmektedir.



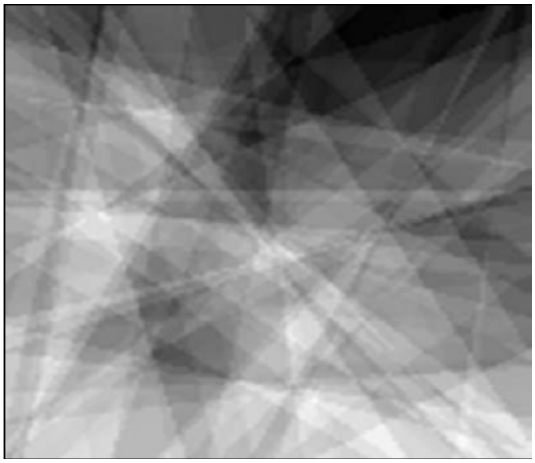
Şekil 2. Hill algoritması birden fazla iterasyon sonucu oluşan çeşitli arazi şekilleri



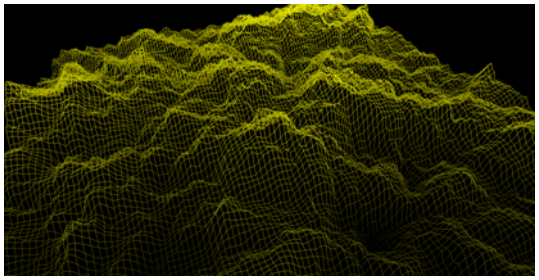
Şekil 3. Hill algoritması kullanılarak oluşturulmuş bir sayısal harita



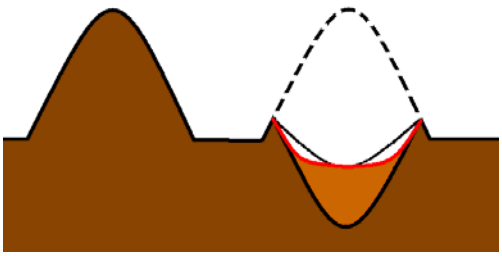
Şekil 4. Midpoint Displacement algoritmasıyla üretilmiş bir arazi



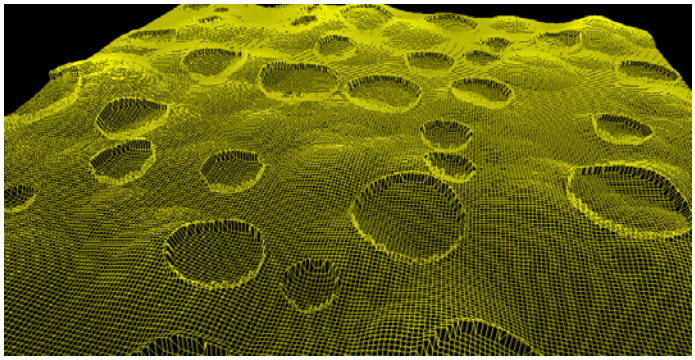
Şekil 5. Rastgele değerlerle ve Fault algoritması ile üretilen bir sayısal harita



Şekil 6. Fault algoritması ve erozyon filtrelemesi ile oluşturulmuş bir arazi



Şekil 7. Ay Yüzeyi algoritmasının ikinci aşamasında oluşturulan krater yapısı



Şekil 8..Ay Yüzeyi algoritması kullanılarak elde edilmiş bir arazi

2.2. Konumlama İşlemine Başlamadan Önce Yapılması Gereken İşlemler:

Konumlama işlemine başlanılmadan önce üzerinde uçulacak olan arazinin sayısal yükseklik haritası oluşturulması gerekmektedir. Bu arazilerin üretilmesi yöntemleri bir önceki bölümde anlatılmıştır. Üretilen haritalar yardımı ile enlem boylam bilgisi (2) yardımı ile hesaplanır.

$$P_n(x,y) = y.BOYUT + x + 1 \quad (2)$$

Ayrıca verilen bir piksel numarasına göre satır ve sütun numaraları (3) ve (4) yardımı ile hesaplanır.

$$SUTUN(P_n) = (P_n \bmod (2.(BOYUT-1)))/2 \quad (3)$$

$$SATIR(P_n) = P_n / (2.(BOYUT-1)) \quad (4)$$

Bu aşamada sayısal harita tekrar organize edilir ve İHA'nın takip etmesi muhtemel tüm güzergâhlarının eğim değerleri bir profili diğerinden ayırt etmek için ilgili SEH dosyasına yazdırılır. Bu güzergâhlar Digital Differential Analyzer (DDA) algoritması kullanılarak tayin edilmiştir [11].

2.3. Konumlama İşlemi:

Konumlama işlemi hava aracının konumunun sayısal yükseklik haritasında karşılık gelen (x,y) koordinat değerlerinin bulunması işlemidir. Bu işlem için tasarlanan algoritmada hava aracının hangi yöne doğru gittiğinin bilinmesine gerek yoktur. Hava aracının yükseklik haritası üzerinde rastsal bir nokta üzerinde bulunduğu varsayılır. Konumlama işleminin gerçekleştirilebilmesi için, radar altimetresinden elde edilen herhangi bir yükseklik değerinin sayısal yükseklik haritasında var olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca hava aracının radar altimetresi cihazının profilleme işlemini ne kadar süre ile gerçekleştirileceği bilgisi, konumlama işleminden önce programa girilmelidir. Bu süreye göre parsellenmiş arazi arama uzayını oluşturacaktır.

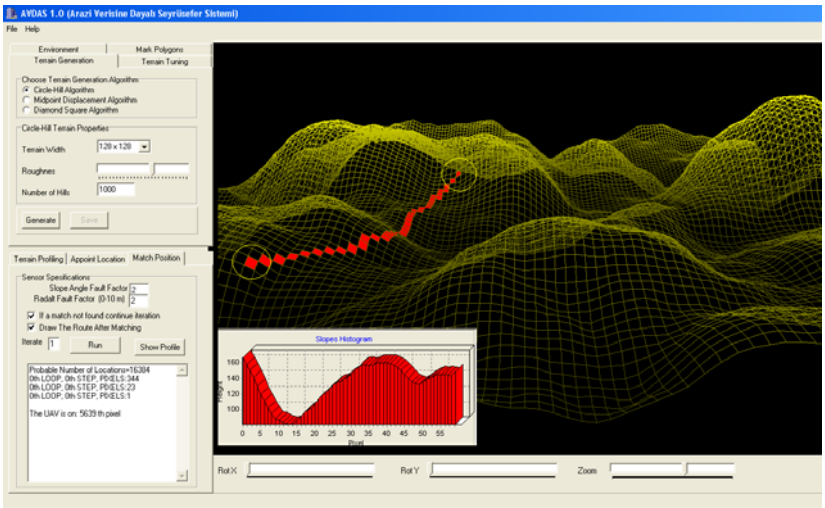
Arama uzayının çok geniş olması konumlama işleminin daha uzun sürede gerçekleşmesine sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için tasarımda ilk arama sonucunda bulunan piksellerin koordinatları linkli liste yapısında saklanır. Bir sonraki aramada, elde edilen profilin başlangıç pikseli sadece bu dizi içerisindeki

değerlerden bir tanesi olacağından, arama uzayı bu dizi eleman sayısı ile sınırlandırılmış ve dolayısı ile işlem hızında önemli ölçüde artış sağlanmış olmaktadır.

Ayrıca çalışmamızda kullanılan SEH dosyası, eğim değerlerine göre sıralanmış olarak kaydedilmektedir. Konum bulma aşamasında bu dosyanın hafızaya yüklenmesi gerekmektedir fakat dosyanın boyutunun kabul edilebilir seviyelerin üstünde olmasından ötürü, sadece gerekli olan eğim değerlerine sahip profillerin hafızaya yüklenmesi sağlanmıştır. Hafızaya yüklenen ilgili kayıtlar yaklaşık olarak %90 oranında daha az yer kaplamaktadır. Bu da işlem performansında artış ve kolaylık sağlamaktadır. Örneğin radar altimetresinden elde edilen profilin eğim değeri 33 derece ise hafızaya, hata payına göre (örneğin hata payı 3 derece ise) 30 derece ve 36 derece eğim değerleri aralığındaki profiller yüklenecektir. Başka bir ifade ile, hava aracı 30–36 derece eğime sahip profillerden bir tanesinin üzerinde olmak zorundadır.

Hava aracının konumu kesin olarak, yüklenen bu profillerin bulunduğu piksellerden bir tanesindedir. Hata payı büyüdükçe arama uzayı genişlemekte ve bu da işlem performansında düşüşe neden olmaktadır. Hata payı küçüldükçe arama uzayı daralmakta fakat sistemin hata toleransı düşük olduğundan yanlış konumlandırmalara neden olabilmektedir.

Bu çalışmada 128x128 boyutlu bir haritada, eğim hata payının 2-5 derece ve yükseklik hata payının 2-5 metre değerleri arasında olmasının konum bulma işlemi için optimum sonucu verdiği tespit edilmiştir. Sistem 2 derece ve 2 m hata payı ile çalıştırıldığında, konum bulma işlemi ortalama 3. profil değerinin alınmasından sonra bulunabilmektedir. Bu da göreceli olarak hava aracının yaklaşık 600 m ilerlemesi anlamına gelmektedir. 30 m/sn hızla ilerleyen bir hava aracı bu mesafeyi 20 sn'de kat edecektir. Sonuç olarak hava aracının konumu yaklaşık olarak 600 m ilerlendikten sonra, 20 sn süre içerisinde hesaplanabilmektedir. Geliştirilmiş olan konumlama işlemi programı Şekil 9.'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Geliştirilmiş olan konumlama işlemi programı görüntüsü

3. SONUÇ

Sonuç olarak kullanım alanları süratle genişleyen ve teknolojik imkân ve kabiliyetleri günden güne artan İHA'larda, temel olarak uydu tabanlı seyrüsefer sistemleri kullanılmaktadır. Bilindiği üzere, uydu tabanlı sistemler elektronik karıştırmaya son derece açıktır. Bu kapsamda, İHA'lar için, GPS'ten bağımsız çalışabilen, karıştırılamayan, GPS sistemine yedek ve alternatif olabilecek bir seyrüsefer sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, bilgisayar mühendisliği veri yapıları algoritmalarından ve bilgisayarla grafik çizimi algoritmalarından faydalanılmıştır. Tasarlanan Arazi Verisine Dayalı Seyrüsefer sistemi, sayısal arazi haritasını, arama-konumlama işleminde kullanılmak üzere belirli bir formatta parselleyip hava aracının üzerinden geçebileceği tüm muhtemel profillerin önceden tespit edilmesi temeline dayanmaktadır. Önceden belirlenen profiller bir dosyaya yazılır ve uçuş öncesi hava aracının bilgisayar hafızasına yüklenir. Tasarlanan AVDAS sisteminde sayısal yükseklik haritaları kullanılmıştır. Bu sistem diğer arazi verisine dayalı sistemlerin aksine matematiksel olarak çözülmesi gerekli karmaşık denklem takımları içermez. İşlem yükü sadece kullanılan sıralama ve arama algoritmaları ile sınırlandırılmıştır.

İleri çalışma işlemleri olarak, sistemin simülasyon ortamı yerine gerçek ortamda denenmesinin, elde edilen sonuçların diğer sistemlerin sonuçları ile karşılaştırılmasının, sistemin daha büyük arazilerde çalıştırılabilmesi için ileri düzeyde bir dosyalama sisteminin geliştirilmesinin ve sistem arama işlemlerinin yapay sinir ağları ortamında da test edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

AVDAS sistemlerinin çalıştırılabilmesi için üzerinden uçulan arazinin değişken yüzeyli olması gerekmektedir. Aksi takdirde radar altimetresinin ürettiği değerler sabit olduğunda hava aracının konumunu belirlemek imkânsız olacaktır. Örneğin hava aracı deniz üzerinden veya son derece düzlük bir arazi üzerinden uçarken sistemin vereceği yanıt sadece: "düz bir arazi üzerinden uçulmaktadır" olacaktır. Bu durum AVDAS sistemlerinin en büyük zafiyeti olarak ortaya çıkmaktadır. Düz araziler üzerinde de çalışabilecek ve görüntü işleme teknolojisi temelli bir yöntemin bu çalışmaya dahil edilmesinin sistem performansı açısından son derece uygun olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

1 Grewal, M.S., Weil, L.R., Andrews, A., Global Positioning Systems, Inertial Navigation,Integration. John Wiley&Sons, Inc., 2001.

[2] Carroll J., Vulnerability Assessment Of The Transportation Infrastructure Relying On The Global Positioning System. Technical Report, Volpe National Transportation Systems Center, August 2001.

[3] Nygren I., Magnus J., Terrain Navigation for Underwater Vehicles Using the Correlator Method. Ieee Journal Of Oceanic Engineering, VOL. 29, NO. 3, JULY 2004

[4] Kopp C., Cruıse Mıssıles. Australian Aviation, 2005 http://www.ausairpower.net/notices.html

[5] Robins A. Recent developments in the 'TERPROM' integrated navigation system. In Proceeding of the ION 44th Annual Meeting, June 1998.

[6] Hostetler L.D., Andreas R.D., Nonlinear Kalman Filtering Techniques for Terrain-Aided Navigation. IEEE Transactions On Automatic Control, Vol. AC-28, No. 3, MARCH 1983

[7] Bergman N., Recursive Bayesian Estimation, Navigation And Tracking Applications. Ph.D. Dissertation, Dept. Elect. Eng., Inköping Univ., Linköping, Sweden, 1999

[8] Runnalls A.R., Groves P.D., Handley R.J., Terrain-Referenced Navigation Using the IGMAP Data Fusion Algorithm. ION 61st Annual Meeting, The MITRE Corporation & Draper Laboratory, June 2005

[9] Nygren I., Terrain Navigation for Underwater Vehicles, Ingemar Nygren Doctoral Thesis in Signal Processing Stockholm, Sweden 2005

[10] 2005-2030 UAV Road Map, Office Of The US Secretary Of Defence, 2005

[11] Hearn D., Baker M.P., "Computer Graphics", Prentice Hall, 1994

EK BİLGİ

Şamil TEMEL

1977 yılında Kayseri'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Fakültesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında teğmen rütbesiyle Hava Harp Okulu Komutanlığı'na atandı. 2006 yılına kadar Hava Harp Okulu Komutanlığı Dekanlık Bilgi İşlem Şube Müdürlüğü'nde Ağ Yöneticisi olarak çalıştı. Ayrıca bilgisayar Mühendisliği bölümünde, Bilgisayara Giriş, Bilgisayarla Programlama, Bilgisayar Ağları ve Bilgisayarla Grafik Çizimi derslerinde öğretim elemanı olarak görev yaptı. 17 Ağustos 2008 tarihinde yüksek lisans eğitimini Halen Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü'nde (HUTEN) tamanladı. Halen HUTEN'de Uzaktan eğitim sistem İşletme Subayı olarak görev yapmaktadır.

Evli olup, bir kız çocuğu babasıdır. İngilizce bilmektedir

Adres: Hava Harp Okulu Komutanlığı, Yeşilyurt/İstanbul

Tel (İş) : 0212-6632490

Tel (GSM): 0555-4911176

E-posta : s.temel@hho.edu.tr

4326 Yasin BİRKİN

1987 yılında Kayseri'de doğdu. İlk öğrenimini Balıkesir'de, orta öğrenimini Gaziantep'de tamamladı. 2001 yılında girdiği Maltepe Askeri Lisesi'nden 2005 yılında mezun oldu ve aynı yıl Hava Harp Okulu'nda öğrenime başladı. Şu anda dördüncü sınıf Hava Harbiyeli olarak öğrenimine devam etmektedir. İngilizce ve Fransızca bilmektedir.

Tel:+905055716887

E-mail:4326birkin@hho.edu.tr

4306 Halil UYSAL

1987 yılında Bursa'da doğdu.İlk ve orta öğrenimini Aydın'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Maltepe Askeri Lisesi'nden 2005 yılında mezun oldu ve aynı yıl Hava Harp Okulu'nda öğrenime başladı.Şu anda dördüncü sınıf Hava Harbiyeli olarak öğrenimine devam etmektedir. İngilizce ve İspanyolca bilmektedir.

Tel:+905054671109

E-mail:uysal4306@hho.edu.tr

DENİZALTILARDA AKUSTİK ALDATICI/KARIŞTIRICI KULLANIM KONSEPTLERİ VE BİR SİMÜLASYON UYGULAMASI

Ufuk Ülüğ, Mehmet Haklıdır, Soner Körük, Reha Çaputçu, Nurşen Sarı

TÜBİTAK MAM BTE, Gebze, KOCAELİ, ufuk.ulug@bte.mam.gov.tr

ÖZ

Günümüz denizaltı savunma harbinde kullanılan en etkin silahlar torpidolardır. Yüksek hızları ve manevra kabiliyetlerinin yanı sıra gelişmiş güdüm sistemleri ile sakınılması oldukça zor bir silahtır. Torpido tehdidi karşısında, denizaltı veya su üstü platformun yaklaşan torpidoyu savuşturabilmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar arasında en etkili ve uygulaması kolay olan aldatıcı ve karıştırıcı kullanımıdır. Her ne kadar gelişmiş torpidolar aldatıcı ve karıştırıcılara karşı-karşı tedbirler (ACCM, *Acoustic Counter-Counter Measure*) uygulasalar da, sakınma manevrası ile birlikte uygun aldatıcı karıştırıcı seti kullanmak, sakınan platformun kurtulma olasılığını arttırmaktadır. Bu çalışmada, taktik sahada torpido tehdidi altındaki platformun, aldatıcı ve karıştırıcı kullanımını da içeren en etkili sakınma taktiğini belirlemeye yardımcı olacak simülasyon geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akustik aldatıcı, akustik karıştırıcı, torpido, akustik karşı-karşı tedbir (*Acoustic Counter Counter Measures*-ACCM), sakınma manevrası

ACOUSTIC DECOY/JAMMER TACTICAL CONCEPTS FOR SUBMARINES: A SIMULATION CASE STUDY

ABSTRACT

The most effective weapons utilized in modern anti-submarine warfare are the torpedoes. Besides their high speeds and maneoeuvre capabilities, their sophisticated guidance system gives torpedoes the advantage of being a weapon which cannot be avoided easily. There are a number methods for submarine or surface ship to evade from the torpedo threat. The most efficient and easy-to-use method among these is to use decoys and jammers. Although modern torpedos have acoustic counter-counter measures (ACCM) against decoys and jammers, using decoys and jammers in addition to the evasion manoeuvres still increases the survival probability of the platform. In this study, a simulation has been realized to determine the most efficient evasion tactic, which includes the utilization of decoys and jammers and the necessary manoeuvers, for the platform under torpedo threat in the tactical area.

Keywords: Decoy, jammer, torpedo, Acoustic Counter Counter Measures (ACCM), evasion manoeuvre, evasion tactic

1. GİRİŞ

Denizaltı savunma harbinde kullanılan en etkin silah su üstü ya da hava platformlarından denize atılan torpidolardır. Torpidoların sofistike tasarımı, 32 ile 50 knot arası bir hızla denizaltıya hücum gerçekleştirebilmesini sağlamaktadır. Suya inen torpido, denizaltıdan temas aldığı zaman, denizaltının kaçarak hayatta kalması çok zordur. Yani bir denizaltı sakınma taktiği kullandığı zaman bilinmelidir ki durum kesinlikle bir ölüm kalım meselesi haline gelmiştir. Konvensiyonel (dizel) denizaltılar açısından değerlendirildiğinde, kendilerine yönelmiş torpido yüksek hız ve akustik güdüm avantajına sahiptir. Nükleer denizaltılara ve torpidolara göre daha düşük hızlara sahip olan konvensiyonel denizaltıların, torpidodan yalnızca sakınma manevrası ile kurtulma şansları çok düşüktür ve sahip oldukları torpido karşı tedbir sistemleri kısıtlı kapasitededir. Hücum eden torpidoya karşı hayatta kalmak için uygulanabilecek yollardan biri, torpidoya karşı torpido hücumu (*hard-kill*) geliştirmektir. Fakat bu yol hem masraflı hem de başarı oranı daha düşük bir yöntemdir. Diğer bir yol ise "*soft-kill*" olarak da bilinen karşı tedbir unsurlarını devreye sokmaktır. İki tip karşı tedbir vardır: Aldatıcılar (*Decoy*) ve Karıştırıcılar (*Jammer*). Başarılı bir torpido sakınma taktiği, bu iki sistemin birlikte kullanılması ve buna denizaltının sakınma manevrası ile destek olması ile gerçekleştirilebilir.

Denizaltı savunma harbinin en önemli aktörlerinden biri olan denizaltıların, torpido tehdidi karşısındaki davranışları hızlı ve mümkün olduğunca önceden tanımlı olmak durumundadır. Önceden tanımlı bu davranışlar zinciri "taktik", ve bu taktiklerin uygulandığı ortam "taktik saha" olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda tehdit altında uygulanacak sakınma manevrasının, akustik aldatıcı ve karıştırıcı kullanımının, kısacası sakınma taktiğinin, sahadaki etkinliğinin belirlenmesi ve analiz edilmesi için simülasyon yapılması gereksinimi duyulmaktadır.

Literatürde, sentetik olarak oluşturulmuş olan bir taktik ortamda torpido, karşı tedbir unsurları ve sakınma taktiği ilişkisini inceleyen çeşitli simülasyonlara rastlanmaktadır. Krishnabrahmam [1], çalışmasında farklı aldatıcı atış örüntülerini, Monte Carlo methodu ile çeşitlendirerek, torpido başarısına etkisini incelemiştir. Bu çalışmanın tamamlayıcısı olarak görülebilecek bir diğer çalışmada, Armo [2] sakınma manevrası ile sakınan platformun azami hızı arasındaki ilişkiyi modellemiştir. Liang and Wang [3] da, Armo [2] tarafından modellenen bu ilişkinin, taktik ve performans üzerine etkisi evrimsel teknikler kullanılarak ölçülmüştür. Cho ve diğerleri [4], Liang and Wang'dan [3] farklı olarak çalışmalarını DEVS (*Discrete Event System Specification*) ortamında geliştirilmiş bir simülasyon dünyasına taşımış, sakınan platformun hızının sakınma performansına etkisinin yanı sıra karşı tedbir unsurları, torpidonun dinamik ve akustik davranışlarının etkisini de modellemişlerdir.

Bu çalışmada torpido tehditine karşı kullanılabilecek aldatıcı/karıştırıcı davranışının ve platformun sakınma manevralarının değişiminin analiz edilebilmesi için bir simülasyon ortamı sunulmuş ve örnek bir senaryoya ilişkin simülasyon sonuçlarına yer verilmiştir.

2. AKUSTİK ALDATICI VE KARIŞTIRICILAR

Su üstü platformlarının veya denizaltıların torpido tehdidine karşı uyguladığı karşı tedbirler aldatıcılar ve karıştırıcılardır. Her ikisi de temelde gürültü yaparak torpidoyu etkisiz hale getirmeyi amaçlasa da, aldatıcı, sakınma yapan platformun akustik özelliklerini taklit ederek torpidoyu kendi üzerine çekmeye çalışırken, karıştırıcı, ortama yüksek güçte geniş bantlı gürültü yayarak torpido sonarını sağır etmeyi amaçlar.

Günümüzde kullanılan aldatıcıların çoğu hareket kabiliyetine sahip olup, pasif/aktif güdümlü tüm torpidolara karşı etkilidir. Torpido tehdidi oluşması ile su üstü veya denizaltı platformundan atılan aldatıcı, emredilen derinlik ve süratte rota takibi yaparken, sakınma yapan platformun akustik gürültüsünü daha yüksek kaynak seviyesinde taklit eder. Böylece pasif modda yaklaşan torpido için daha cazip bir hedef haline gelir ve torpido aldatıcıya yönelir. Eğer torpido aktif modda yaklaşıyorsa, aldatıcı torpidodan gelen aktif transmisyonları alır, analiz eder ve yankı sinyali oluşturur. Aldatıcının yayımladığı yankı sinyali, karakteristik, şiddet ve Doppler kayması bakımından tamamiyle taktik çerçevesinde oluşturulur ve torpidoyu platformdan mümkün olduğunca uzağa yönlendirmeyi amaçlar.

Karıştırıcılar ise genellikle hareketsiz olup, atıldıkları andan itibaren yavaş yavaş batarlar. Amaçları etki alanındaki tüm sonarları etkisiz hale getirmek olduğundan, torpidonun pasif/aktif çalışma frekans bandını da içine alacak şekilde çok yüksek seviyede gürültü yayarlar. Böylelikle çok geniş olmayan bir alanda torpido sonarı kesime girerek, platformdan sinyal alamamaya başlar.

Su üstü platformlar ve denizaltılar, aldatıcı ve/veya karıştırıcı karşı tedbir unsurlarını kullanarak her ne kadar torpidolara karşı üstünlük sağlamış gibi görünseler de, günümüz torpidoları da aldatıcı ve karıştırıcılara karşı-karşı tedbirler uygulamaktadır.

3. TORPİDOLAR

Torpidoların ilk tipleri "*Straight Runner*" olarak bilinen klasik torpidolardır. Bu tipler üzerlerinde kendilerini yönetecek herhangi bir güdüm sistemi ya da hedeflerini duyabilmelerini sağlayan bir sonarları olmayan torpidolardır. Günümüz modern torpidoların çoğu aktif, pasif ya da dümen suyu güdümü (*wake homing*) kullanmaktadır. Aktif ya da pasif güdüm, aktif ve/veya pasif modda kullanılan sonarlar sayesinde sağlanmaktadır. Pasif modda çalışan bir torpido sonarı, hedeften gelen gürültülere odaklanırken, aktif modda çalışan bir torpido sonarı su içinde birden fazla sayıdaki frekansta gönderdiği ses sinyallerinin ekolarını takip ederek, torpidonun hedefe yönelmesini sağlamaktadır. İster pasif, ister aktif güdümlü olsun, torpidolar suya girdikleri andan itibaren belirli bir dizi adımları uygularlar. Bu adımlar torpido tipine, ortam koşullarına ve atış anında belirlenen değerlere bağlı olmakla birlikte en genel şekilde arama (*search*), yaklaşma (*approach*) ve hücum (*strike*) olarak adlandırılmaktadırlar.

Günümüz modern torpidolarına karşı kullanılan aldatıcı ve karıştırıcı sistemler gün geçtikçe daha performanslı hale gelmektedir. Bu sistemlerin sağladığı korumaya karşı, torpidolar da ACCM olarak bilinen akustik karşı-karşı tedbir algoritmaları kullanmaktadırlar. Bu algoritmalar karıştırıcıların yaydığı geniş bantlı gürültünün

olduğu düzlem dışı seyir yapma, çoklu frekanslı "*ping*" ve aldatıcı varlığı durumunda farklı ve çeşitli yeniden hücum algoritmaları uygulamak gibi teknikler içermektedir.

Bu çalışmada torpidonun güdümü ve tespit amacıyla pasif sonar kullanmaktadır. Torpido sonarının görüş alanına düşen ve yaydığı gürültü torpido pasif sonarının tespit eşiğinden (*TE*) yüksek olan hedefler, torpido tarafından tespit edilebilir hedefler olmaktadır.

4. AKUSTİK DALGA İLETİM KAYBI

Akustik dalganın su altı ortamındaki iletim kaybı (İK), kaynak ile alıcı arasındaki ses şiddetindeki azalma olarak tanımlanmıştır. İletim kaybı, yayılım kaybı ve ortam soğurmasının toplamı olarak modellenmiştir. Ortam soğurması, ortama ait α zayıflama katsayısı ile verilmektedir. Bu katsayı frekansa ve ortamın sıcaklığına göre değişmektedir. İletim kaybı, belirli bir frekans ve ortam sıcaklığı için, aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir [5]. Burada *r* iki nokta arasındaki metre cinsinden mesafeyi göstermektedir.

$$İK = 20\log(r) + \alpha r \times 10^{-3}(dB) \tag{1}$$

Torpido için hedef kabul edilen denizaltı veya aldatıcının gürültü seviyesi kaynak seviyesi (*KS*) olarak adlandırıldığında, torpidoya ulaşan sinyal seviyesi(*S*) şu şekilde verilmektedir [5]:

$$S = KS - İK(dB) \tag{2}$$

Su altı ortamına ait gürültüsü seviyesi (*ambient noise*) *N* ile gösterilirse torpido sonarında oluşan sinyal gürültü oranı (*S/G*) aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$SGO = (KS - İK) - N(dB) \tag{3}$$

Bu durumda sinyal gürültü oranı torpido pasif sonarının tespit eşiğinden (*TE*) büyük olduğunda denizaltı veya aldatıcı tespit edilmiş olmaktadır [5].

5. SAKINMA TAKTİKLERİ

Sakınma taktikleri genel olarak, torpido tehdidi altındaki suüstü ve/veya denizaltı platformunun, tehdidi savuşturmak için gerçekleştirdiği sakınma manevralarını ve/veya kullandığı aldatıcıları, karıştırıcıları, bunların yapılandırılmasını ve atış örüntülerini içerir. Sakınma taktiği genel olarak, tehdit torpidonun türüne, taktik duruma (ortam şartları, mevcut konum, hız, vs.), sakınan platformun kabiliyetlerine ve karşı-tedbir envanterine bağlıdır. Torpido tehdidi altındaki bir platform, bahsedilen koşullara bağlı olarak, yalnızca sakınma manevralarından oluşan bir taktik uygulayabileceği gibi bunun yanında karşı tedbir unsurlarını da kullanabilir. Örneğin herhangi bir güdümü olmayan klasik torpido için sakınma taktiği yalnızca manevralar yapmaktan ibaret iken, pasif modda gelen bir torpido tehdidi için sakınma taktiği, mümkün olduğunca az gürültü yaymaya, hatta kendini su içinde askıya alarak tamamen sessiz duruma geçmeye çalışmak, bunun yanında karşı-tedbir unsurlarını kullanmaktır. Ama günümüzde denizaltı hedeflerine gerçekleştirilen torpido hücumlarında çoklukla aktif sonar modu

kullanıldığından, su altında hedef durumunda olan bir denizaltı için kendisini sessiz duruma almak kurtulmasına yetmeyecek, aksine vurulmasına neden olacaktır. Bu durumda sıklıkla kullanılan sakınma taktiği, aldatıcı ve karıştırıcılardan oluşan bir perde oluşturup, hedef denizaltının bu perdenin arkasında kalacak şekilde rota değiştirerek yaklaşan tehdit torpidoyu aldatma perdesinin üzerine sevk etmesi ve ardından kendisinin de tehdidin aksi yönünde rota kazanmasıdır.

Bir sakınma taktiğinin başarımını belirleyen en önemli parametre, "denizaltının hayatta kalma olasılığı" (*submarine's survival probability*) olarak düşünülebilir. Denizaltının hayatta kalma olasılığı, doğru sakınma taktiklerinin uygulanarak torpido batarya ömrünün tüketilebilmesine bağlıdır. Böyle bir olasılığın belirlenmesi için taktik sahanın o anki durumunun birden fazla koşum ile simülasyonunun yapılması gerekecektir. Taktik sahaya ilişkin tüm parametreler deterministik olarak belirlenemediğinden, simülasyon bileşenlerin rastlantısal parametreleri belirlenip, Monte Carlo metodu kullanılarak çözülebilir [6]. Monte Carlo metodunda, dağılım fonksiyonu belirli parametrelere rastgele değerler atanarak birçok sonuç elde edilir ve simülasyon sayısı arttıkça gerçek sonuca yaklaşılır.

6. SİMÜLASYON

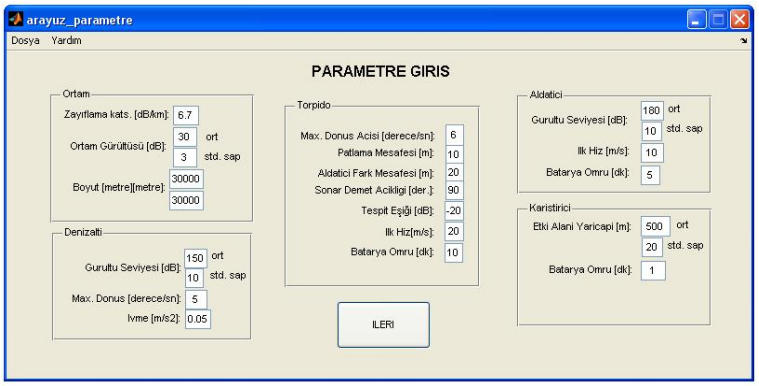
Akustik aldatıcı ve karıştırıcıların etkinliğinin analiz edilebilmesi için taktik sahada, aşağıdaki bileşenlerin simülasyon kapsamında modellenmesi gerekmektedir.

- Torpidonun akustik (torpido pervane gürültüsü, torpido sonarı alıcı ve vericisi vb.), taktik (güdüm algoritmaları) ve fiziksel özellikleri (hareket modeli),
- Sakınma yapan platformun akustik (platform pervane/makina gürültüsü, sonar alıcı ve vericileri), taktik (seyir planı, sakınma taktikleri) ve fiziksel özellikleri (hareket modeli, ivmelenme ve devir dairesi bilgileri),
- Aldatıcı ve karıştırıcılara ait akustik ve fiziksel özellikler (boyutlar, platform gürültüsü taklit imzası, aktif yayınım taklit davranışı, hareket örüntüsü),
- Taktik ortam içerisinde bulunan tüm objelerin kartezyen ve küresel koordinatlarda pozisyon ve hız vektörleri, yalpa, yunuslama ve rota degerleri,
- Platformdaki aldatıcı ve karıştırıcı sayısı

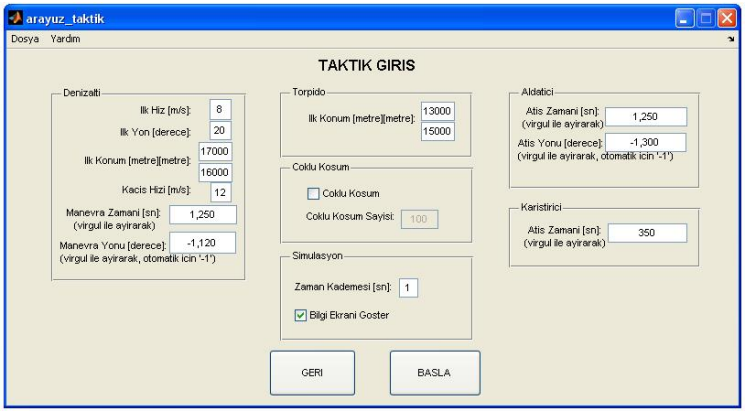
Bu niceliklerin her biri akustik aldatıcı ve karıştırıcıların sakınma performansını etkileyecek önemli faktörleri içermektedir. Sakınma ya da daha doğru tabirle aldatma performansı tüm bu etkenlerin etkileşimi ile oluşmakta olup belirli bir senaryodaki aldatıcı ve karıştırıcı etkinligini sezgisel olarak önceden tahmin etmek son derece zordur.

Sakınma taktiği simülasyon ortamı MATLAB ile geliştirilmiştir. Simülasyon, ortam, platform, aldatıcılar, karıştırıcılar ve torpidoya ilişkin sabit parametrelerin girişi için bir "Parametre Giriş" arayüzünü (Şekil 1) ve sakınma taktiğini belirleyen ve sakınma manevrası, aldatıcı, karıştırıcı konfigürasyonlarını içeren "Taktik Giriş" arayüzünü (Şekil 2) içermektedir.

Kullanıcı, “Parametre Giriş” ekranından her bir simülasyon bileşenine ilişkin dilediği parametreyi değiştirerek, oluşturduğu parametre setini hafızaya kaydedebilir veya daha önce kaydedilmiş bir parametre setini yükleyebilir. Ardından “Taktik Giriş” ekranına ilerleyerek oluşturulan simülasyon bileşenlerinin koşum esnasındaki davranışlarını belirleyebilir. Ayrıca kullanıcı, simülasyon koşum hızını belirleyebilir ve bileşenlerin anlık bilgilerini gösteren bilgi ekranının açılmasını da sağlayabilir.



Şekil 1: Parametre Giriş Ekranı



Şekil 2: Taktik Giriş Ekranı

Simülasyon iki çalışma moduna sahiptir. Tekli çalışma modunda simülasyon bir kez koşturulurak sonuçlar anlık olarak sergilenirken, çoklu çalışma modunda aynı parametre seti ve taktik birden fazla çalıştırılarak performansa ilişkin çeşitli parametreler kaydedilir. Arayüzden tekli çalışma modunun çalıştırılmasıyla, girilen parametrelere göre ortam ve simülasyon bileşenleri yaratılır ve taktik verilere göre bileşenler davranışlarını sergilemeye başlarlar. Ayrıca bileşenlerin konumları ve durumları da ekranda 2-boyutlu olarak anlık sergilenir. Çoklu çalışma modu seçilirse, sakınma taktiğinin performansını belirleyebilecek kurtulma yüzdesi, vurulma süresi gibi parametreler koşum sonunda grafik ya da tablo olarak gösterilir.

Simülasyon kapsamında kullanılan ortam ve bileşenlerin modellenmesi esnasında yapılan kabullere ilişkin tablo aşağıda verilmiştir. Bu çalışmadaki asıl amaç, gerçek koşulları yüksek sadakat ile modellemeden ziyade, hızlı ve görsel bir analiz ortamı oluşturmak olduğundan, modeller basit tutularak farklı sakınma taktiklerinin performanslarını sergileyebilecek ve karşılaştırma yapabilecek bir altyapı sunulmuştur.

Tablo 1: Simülasyon Kabulleri

Ortam	• 2 boyutlu olarak modellenmiştir. • Ortam Gürültüsü (OG) seviyesi Normal dağılımlı kabul edilmiştir. • Akıntı, rüzgar, dalga gibi çevresel etmenler ihmal edilmiştir. • Ses dalgalarının yansımaları, kırılmaları ve saçılmaları ihmal edilmiştir.
Platform	• Hareketleri 2 boyutlu olarak modellenmiştir. • Boyutları birim boyuta indirgenmiştir. • Gürültü seviyesi Normal dağılımlı ve yayınımı yönsüz (*omni*) kabul edilmiştir.
Torpido	• Hareketleri 2 boyutlu olarak modellenmiştir. • Sadece pasif güdüm kullanılmıştır. • Aldatıcıya uygulanan ACCM, aldatıcı fark mesafesine girilmesi ile aldatıcının tanımlanması ve hedef kümesinden çıkarılması şeklindedir. • Karıştırıcıya uygulanan ACCM, karıştırıcı ile karşılaşıldığında dairevi manevra ile etki alanından çıkmak şeklindedir. • Torpido pasif sonarlarının, alınan sinyal eşik seviyenin üzerinde ise hedef kerterizini tam olarak kestirebildiği kabul edilmiştir.
Aldatıcı	• Hareketleri 2 boyutlu olarak modellenmiştir. • Gürültü yayınımı Normal dağılımlı ve yönsüz kabul edilmiştir. • Platform gürültüsünü tam olarak taklit edebildiği kabul edilmiştir.
Karıştırıcı	• Gürültü yayınımı yönsüz ve etki yarıçapı Normal dağılımlı kabul edilmiştir. • Belirlenen etki alanında, gürültüsünü alan tüm sensörleri kesime sokarak devre dışı bıraktığı varsayılmıştır.

6.1 Örnek Uygulama

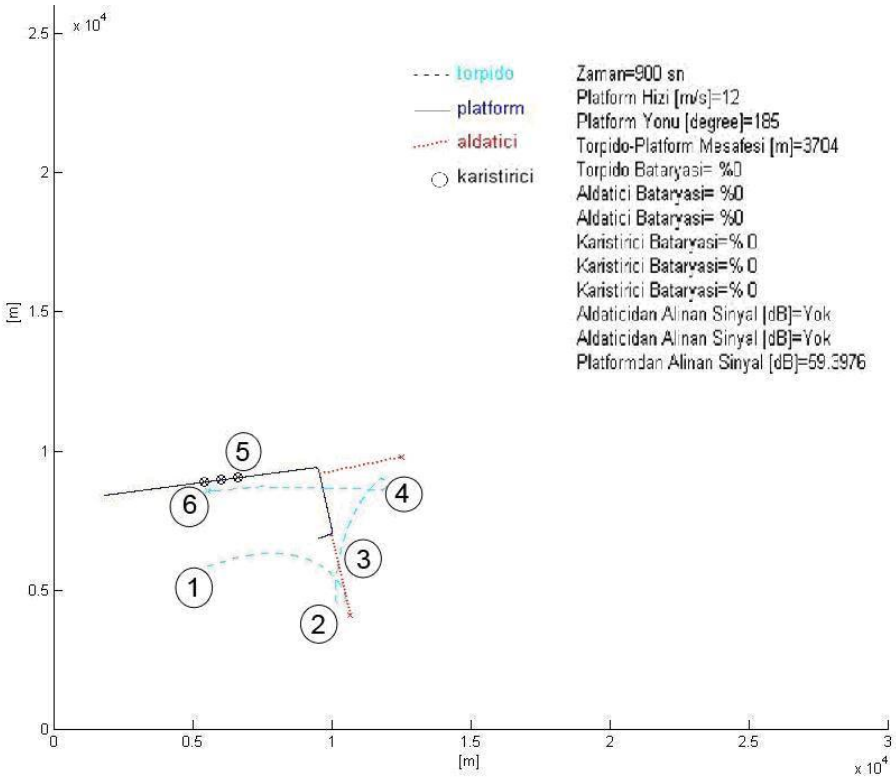
Aşağıdaki tabloda örnek bir koşuma ilişkin ortam, platform, torpido, aldatıcı ve karıştırıcı parametreleri ile taktiğe ilişkin parametreler verilmiştir. Bu parametreler literatürde bulunan değerlerden yararlanılarak derlenmiş olup belirli bir ürünü temsil etmemektedir. Simülasyon koşumu, torpidonun suya girmesi ile başlamaktadır. Platform ve aldatıcı taktik parametrelerinde bulunan manevra yönü, kullanıcı tarafından koşumdan önce girilebileceği gibi, koşum esnasında manevra anı geldiğinde, literatürde yer alan "klasik taktik" kapsamında önerildiği biçimde gerçekleştirilmesi için programa bırakılabilir. Önerilen klasik sakınma manevrası taktiği, platformun hareket yönünü, torpido kerterizine dik duruma getirecek şekilde en kısa dönüşü yapmak ve tam aksi yöne de aldatıcı atmaktır [2].

Tablo 2: Örnek Parametre Seti

Ortam	Gürültü Ortalama	30 dB
	Gürültü Standart Sapma	5 dB
Platform	Gürültü Ortalama	150 dB
	Gürültü Standart Sapma	10 dB
	Maksimum Dönüş Açısı	5 derece/sn
	İvme	0.05 m/s^2
	İlk Hız	8 m/s
	İlk Yön	20 derece
	İlk Konum	17 km, 16 km [x,y]
	Kaçış Hızı	12 m/s
	Manevra Anı/Yönü	t=50/algoritma t=300/algoritma
Torpido	Maksimum Dönüş Açısı	6 derece/sn
	Sonar Demet Açıklığı	90 derece
	Tespit Eşiği	30 dB
	Batarya Ömrü	15 dk
	İlk Konum	13 km, 15 km [x,y]
	Hız	25 m/s
Aldatıcı	Gürültü Ortalama	180 dB
	Gürültü Standart Sapma	10 dB
	İlk Hız	10 m/s
	Batarya Ömrü	5 dk
	Atış Anı/Yönü	t=50/algoritma t=300/algoritma
Karıştırıcı	Etki Alanı Yarıçapı	500 mt
	Batarya Ömrü	1 dk
	Atış Anı	t=600,650,700

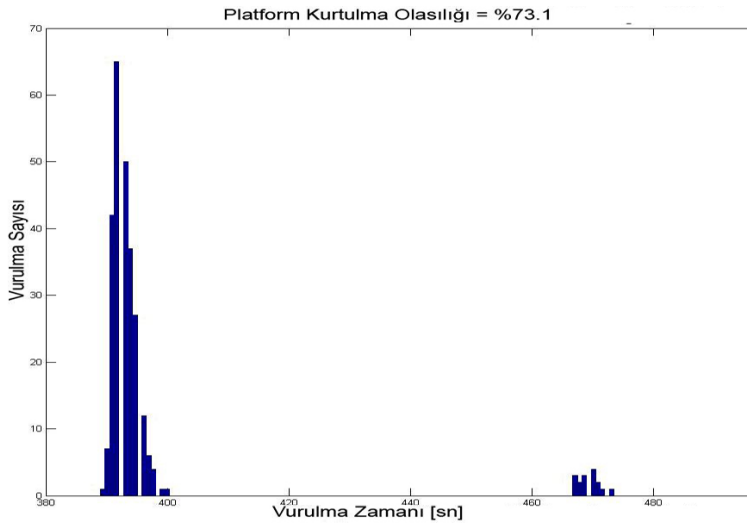
Şekil 3'de örnek koşumdan alınmış ekran görüntüsü verilmiştir. Eksenler metre cinsinden saha boyutlarını, sağdaki liste ise bileşenlerin anlık bilgilerini göstermektedir.

Yaklaşık 3600 metreden platforma doğru atılan torpido, platformu pasif modda tespit eder ve yaklaşma safhasına geçer (1). Hemen ardından platform sakınma manevrasını bahsedilen klasik yönteme göre gerçekleştirir ve aksi yöne de aldatıcı fırlatır. Aldatıcıdan gelen sinyal seviyesi platformdan daha yüksek olduğundan torpido aldatıcıya yönelir ve aldatıcı fark mesafesine kadar yaklaşır (2). Bu mesafede manyetik olarak tetiklenmediği için arama moduna geçer ve dairevi şekilde platform sinyali aramaya başlar. Platformdan gelen gürültü sinyalinden hedef kerterizini belirlediğinde arama modundan tekrar yaklaşma moduna geçer (3). Platform ikinci sakınma manevrasını gerçekleştirir ve ikinci aldatıcısını fırlatır (4). Torpido, alınan sinyal seviyesi daha yüksek olduğundan aldatıcıya yönelir ve aldatıcının bataryasının bitmesi ile tekrar arama moduna geçer. Platformun, peşine takılan torpidonun sinyal almasını engellemek için bir grup karıştırıcı bırakır (5) ve bir süre sonra torpido bataryası tükenir (6).



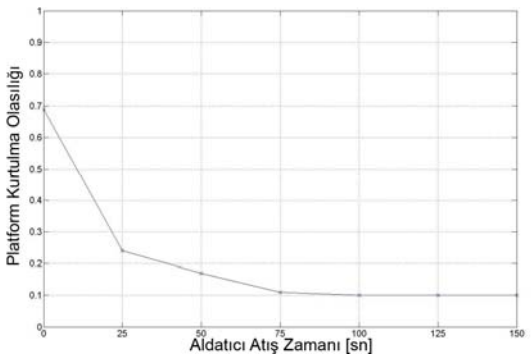
Şekil 3: Örnek Koşum Ekran Görüntüleri

Aynı parametre seti ile simülasyon tekrar koşturulduğunda, ortam ve platform gürültüleri ile aldatıcı sinyal seviyesi ve karıştırıcı etki yarıçapı gibi rastsallık barındıran model parametrelerinin etkisiyle farklı sonuçlar alınabilmektedir. Şekil 4'de, Tablo 2'de verilen parametre seti ile çoklu moda 1000 kez koşturulan benzetimin sonucunda platform kurtulma olasılığı ve saniye cinsinden vurulma süreleri dağılımı verilmiştir.

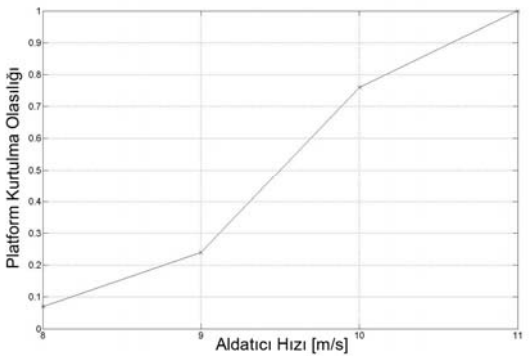


Şekil 4: Örnek Çoklu Koşum Ekran Görüntüsü

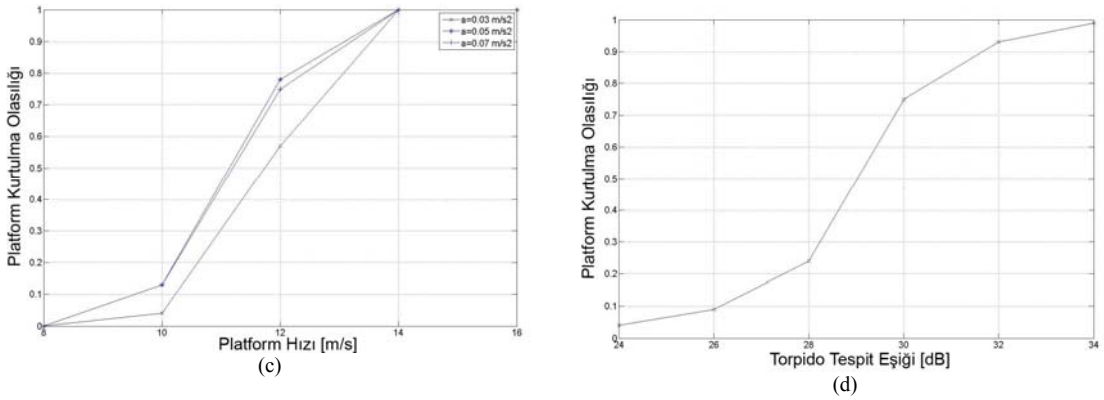
Tablo 2'deki örnek parametre değerleri aynı kalmak koşuluyla, yalnızca ilgili parametre değiştirilerek, simülasyonun çoklu modunda 100'er kez koşturulmuş ve Şekil 5'teki grafikler çizilmiştir. Tek aldatıcı kullanıldığı durumda, aldatıcı fırlatma ve sakınma manevrasının torpido tespit anından *t* süre sonra gerçekleştirilmesi, platform kurtulma olasılığını düşürmekte (Şekil 5-a), *t=0* anında atılan aldatıcının hızının artması, kurtulma olasılığını yükseltmektedir (Şekil 5-b). Ayrıca platformun ilk hızı belirtilen değerde sabit olmak koşuluyla kaçış hızının artması kurtulma olasılığını arttırmakta, ivmesinin artması 14 m/s hız değerinin altında etkili olmaktadır (Şekil 5-c). 0.05 m/s^2 ve üzerindeki ivmeler, bu senaryo için kurtulma olasılığı üzerinde etkili artış sağlamamıştır. Ayrıca torpido tespit menzilini belirleyen tespit eşiğinin arttırılması platformun kurtulma olasılığını arttırmaktadır (Şekil 5-d). Formül 3'e göre, benzer şekilde torpido tespit eşiği sabit kalmak koşuluyla ortam gürültüsünün arttırılması da kurtulma olasılığını arttıracaktır.



(a)



(b)



Şekil 5: (a) Aldatıcı Atış Zamanı-Platform Kurtulma Olasılığı, (b) Aldatıcı Hızı-Platform Kurtulma Olasılığı, (c) Platform Kaçış Hızı-Platform Kurtulma Olasılığı, (d) Torpido Tespit Eşiği-Platform Kurtulma Olasılığı

7. SONUÇLAR

Gerek denizaltılar için gerek su üstü platformlar için torpido tehdidine karşı sakınma manevrasının yanında aldatıcı ve karıştırıcı kullanımı, kurtulma olasılığını arttırmaktadır. Ancak kullanılacak aldatıcı ve karıştırıcıların atış örüntüleri ve platformun sakınma manevrası yönü, zamanı gibi parametreler, kurtulma olasılığını oldukça etkilemektedir. Geliştirilen benzetim ile senaryo çerçevesinde tanımlanan torpido tehdidi için sakınma taktikleri kolaylıkla tanımlanabilmekte ve benzetim sonunda sonuçlar incelenebilmektedir. Böylelikle torpido tehdidi oluştuğu anda uygulanacak en etkin sakınma taktiği belirlenebilmekte ve istatistiksel olarak da analiz edilebilmektedir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında ortam ile birlikte benzetimdeki tüm nesnelerin daha gerçekçi modelleri kurulacak, ayrıca torpido karşı-karşı tedbirleri geliştirilecektir. Ayrıca mevcut senaryo çerçevesinde ve modellerin sağladığı gerçeklikte en etkin sakınma taktiğini öneren bir algoritma geliştirilecektir.

KAYNAKÇA

[1] Krishnabrahmam, V., 2000, “Design-By-Simulation: Antitorpedo Decoy”, Defence Science Journal, Vol.50, No.2, pp.119-122.

[2] Armo, K., R., 2000, Relationship Between a Submarine’s Maximum Speed and its Evasive Capability, Master’s Thesis, Monterey, California.

[3] Liang, K. H. and Wang, K. M., 2006, “Using simulation and evolutionary algorithms to evaluate the design of mix strategies of decoy and jammers in anti-torpedo tactics”, Proc. of the Winter Simulation Conferance.

[4] Cho, D.Y., Son, M. J., Kang., J. H., Lee, S. J., Cha, J. H., Yoo, S. J., Lee, H. K., Lee, K. Y., Kim, T. W. and Ko, Y. S., 2008,“Analysis of a submarine’s evasive capability against an antisubmarine warfare torpedo using DEVS modeling and simulation”, SpringSim Vol.1.

[5] Waite, A.D., *Sonar For Practising Engineers*, (Wiley, Chichester, 2002).

[6] Kurt Binder, ed., *The Monte Carlo Method in Condensed Matter Physics*, Springer, 1995.

EK BİLGİ

UFUK ÜLÜĞ

ufuk.ulug@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 26 99

FAKS: 0 262 646 31 87

KAYBOLAN UÇAKLARIN CBS İLE BÜTÜNLEŞMİŞ ARAMA TEORİSİNE DAYALI ARAMA ve KURTARMA PLANLAMASI

Emrah Söylemez [(a)] H. Şebnem Düzgün [(b)],

[(a)] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Stratejik Fiziki Planlama Dairesi, 06540 Ankara, emrahs@bayindirlik.gov.tr

[(b)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri, 06531 Ankara, duzgun@metu.edu.tr

ÖZ

Arama kurtarma operasyonları, kayıp nesneleri belirli bir alanda en kısa sürede ve en uygun kaynak kullanarak bulmayı hedefler. Bu operasyonlarda temelde iki sorun ile karşılaşılır. Birincisi, güvenilirliği yüksek bir olasılık haritası elde etmek; ikincisi ise, üretilen olasılık dağılımına göre belirlenen bölgeyi, en kısa sürede havadan taramada kullanılabilecek arama desenini belirlemektir. Yüksek güvenilirliğe sahip olasılık haritaları üretmek, taranacak alanın küçültülmesi ve tarama süresinin azalması için gereklidir. Bu çalışmada, kayıp nesnelerin en kısa sürede bulunması ve en uygun kaynak kullanımına altlık sağlayacak Cografi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Çok Ölçütlü Karar Verme Analizi (ÇÖKVA) ile bütünleştirilmiş arama teorisine dayalı bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, arama kurtarma uzmanlarının CBS ortamında kullanabileceği bir arama kurtarma planlama yazılımı olarak kodlanmıştır. Model girdisi olarak, kaybolan nesnenin en son görülme koordinatları ve ilintili diğer bilgiler kullanılmaktadır. Modelde ilgili katmanlar uzman görüşüne göre öznel olarak önceliklerine göre sıralanır. Ardından uygun olan ÇÖKVA metodu seçilir ve her katman uzmanın verdiği ağırlığa göre sıralanır. Olasılık haritası ÇÖKVA metodunun çıktılarına göre belirlenir. Daha sonra oluşturulan olasılık haritası temel alınarak literatürdeki arama teorisine dayalı metodlar kullanılarak en uygun arama deseni belirlenir. Geliştirilen model ve yazılım arama kurtarma operasyonlarındaki arama süreçlerini kısaltması ve farklı kazaların verilerine göre en uygun arama desenini bulması bakımından alanda yeni bir yaklaşımdır.

Anahtar Kelimeler: Arama kurtarma, arama teorisi, CBS, çok ölçütlü karar verme, kayıp uçak

GIS INTEGRATED SEARCH THEORY-BASED SEARCH AND RESCUE PLANNING OF LOST AIRPLANES

ABSTRACT

Search and Rescue (SAR) operations aim at finding missing objects with minimum time in a determined area. There are fundamentally two problems in these operations. The first

problem is assessing highly reliable probability distribution maps, and the second is determining the search pattern that sweeps the area from the air as fast as possible. In this study, geographic information systems (GIS) and multi criteria decision analysis (MCDA) are integrated and a new model is developed based upon Search Theory in order to find the position of the missing object as quickly as possible with optimum resource allocation. Developed model is coded as a search planning tool for the use of search and rescue planners. Inputs of the model are last known position of the missing object and related clues about its probable position. In the developed model, firstly related layers are arranged according to their priorities based on subjective expert opinion. Then a multi criteria decision method is selected and each data layer is multiplied by a weight corresponding to search expert's rank. Then a probability map is established according to the result of MCDA methods. In the second phase, the most suitable search patterns used in literature are applied based on established probability map. The developed model is a new approach for shortening the time in SAR operations and finding the suitable search pattern for the data of different crashes.

Keywords: Search and rescue, search theory, GIS, multi criteria decision making, lost aircraft

1. GİRİŞ

Arama ve kurtarma planlaması, kaybolan insan ya da araçların zor şartlar ve mekanlarda (karlı ve fırtınalı hava koşulları, dağlık araziler, çöl, orman, deniz vb.) en kısa zamanda ve en etkin arama kurtarma kaynakları kullanımı ile bulunmasını içerir. Bu planlamanın ilk aşaması kaybolan objenin görüldüğü en son noktanın tesbitidir. Bu bilgi daha sonra eldeki diğer verilerle işlenerek arama operasyonu planlanır [1]. Bir arama planlamasını etkileyen dört temel parametre vardır [2]:

- Aranan hedefin yeterli tarifi
- Arama alanının durumu (hava koşulları, topoğrafya, olası riskler vb.)
- Arama alanını optimum tarayan en iyi arama deseni
- Arazi koşullarına göre en uygun arama aralığı

Arama ve Kurtarma Operasyonları (AKO) arama yapılan bölgeye (kara, deniz, hava) göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada havadan yapılan AKO göz önüne alınmıştır. Havadan yapılan arama ve kurtarma operasyonları (HAKO) çok büyük alanların aranması durumlarında uçakla yapılan aramaları içerir [3]. Bir HAKO planlamasında birçok veri katmanı ile hedefin olası lokasyonu kullanılır. Son yıllarda HAKO planlamasında Yeni İki Alan Metodu (New Two Area Method, NTAM) sıklıkla kullanılmaktadır. Yeni İki Alan Metodunda (YİAM) arama alanı uçağın uçuş rotasının her iki tarafı taranır ve bu metod Kanada Ulusal Savunma Bakanlığının Havadan Operasyonel Arama Müdürlüğü'nün 1981-1986 arası 76 kayıp uçağın arama operasyonları sonucu geliştirdiği bir yöntemdir [3]. Bu ve benzer yöntemlerin esasları ve kullanım klavuzları açıklanmıştır. Ancak bu klavuzlar planlamanın nasıl yapılacağı konusunda AKO doktrinlerini içeren pratik rehberler niteliğindedir ve daha çok, kağıt harita, kalem vb. araçlarla planlamanın yapılmasına yöneliktir. Coğrafi Bilgi Sitemlerinin (CBS) günümüzde giderek kolay ulaşılabilir olması ve haritaların daha çabuk ve ayrıntılı analiz edilebilmesi için geliştirilen araçlar HAKO planmasına yeni olanaklar sağlayabilecek niteliktedir.

Bu çalışmada CBS'ye bütünleştirilmiş arama teorisi ile yeni bir HAKO planlaması metodolojisi sunulmuştur. Geliştirilen metodoloji temel olarak HAKO planmasında kullanılacak mekansal verilerin farklı kaynaklardan gelen diğer bulgularla sistematik şekilde birleştirilerek hedefin olası lokasyonuna ait olasılık haritalarının üretilmesini ve en uygun arama deseninin belirlenmesini içerir. Önerilen metodolojide, arama teorisi, hedef objenin olası lokasyonlarını belirleyen olasılık haritalarının CBS'de oluşturulmasını sağlar. Olasılık haritalarının oluşturulmasında ise farklı kaynaklardan gelen ve HAKO planlaması kararlarını etkileyen verilerin sistemli şekilde birleştirilmesi sağlayan Çok Ölçütlü Karar Verme Analizi (ÇÖKVA) yöntemini kullanılmaktadır. Geliştirilen metodoloji METUSAR adlı bir yazılım olarak da kodlanmış ve HAKO planlamasında doğrudan kullanılacak bir araç haline dönüştürülmüştür. METUSAR 2004 yılında Kütahya civarında düşen bir Hava Kuvvetleri uçağının HAKO planması için test edilmiştir.

2. METODOLOJİ

Geliştirilen metodoloji dört temel aşamadan oluşmaktadır:

1. Veri toplama
2. Olasılık haritalarının hazırlanması
3. Haritaların sınıflandırılması
4. En uygun tarama deseninin seçilmesi

2.1. Veri Toplama

Bir HAKO planlaması için toplanacak veriler ikiye ayrılmaktadır. Birinci tip veride kaybolan objeye ait veriler (objenin en son bilinen lokasyonu, olası rotası, hızı yüksekliği vb.) ikinci tip verilerde ise arama yapılacak bölgenin çevre koşulları ile ilgili veriler (bitki örtüsü, hava koşulları, görünürlük, topoğrafya, vb.) bulunmaktadır. Görüldüğü gibi verilerin büyük bir bölümü mekansal içerik taşımaktadır. Dolayısı ile toplanacak verilerin katmanlar halinde bir CBS'de yönetilmesi HAKO planlamasına etkinlik sağlayacaktır.

2.2. Olasılık Haritalarının Hazırlanması

Olasılık haritalarının hazırlanması Arama Teorisi'ne dayanmaktadır. Arama teorisi, yöneylem araştırmalarının bir dalı olarak kayıp objelerin bulunması için geliştirilmiş bir metoddur [1]. [4] arama teorisini, kayıp objelerin kısıtlı bir zamanda ve sadece kayıp objenin olası lokasyonunun bilindiği durumlarda, en uygun arama deseninin belirlenmesi olarak tanımlar. Arama Teorisi'nin prensipleri [5] tarafından ilk olarak 2. Dünya Savaşı'nda geliştirilmiş ve askeri amaçlı uygulamalarda kulanılmıştır [6]. Geliştirilen bu prensipler daha sonra AKO planlamasında kullanılmıştır [7].

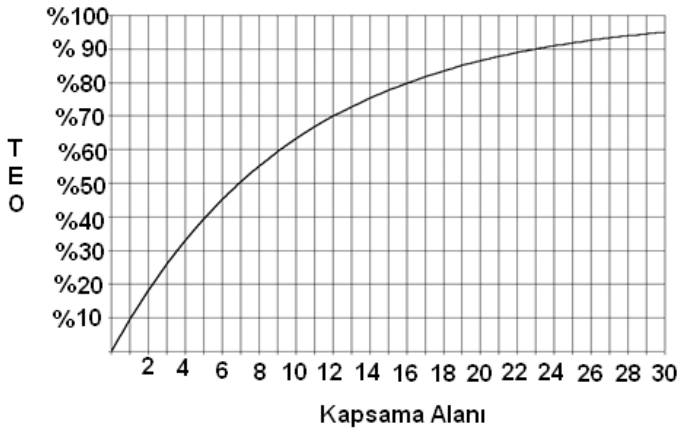
Arama teorisine göre optimum arama planı en büyük başarı olasılığı (EBBO) veren plandır ve kayıp objenin bulunma olasılığına eşittir [3]. EBBO, kayıp objenin bir alan içinde bulunma olasılığı (ABO) ile objenin tesbit edilme olasılığının (TEO) çarpımı olarak ifade edilir (Eşitlik 1).

$$EBBO = ABO*TEO \quad (1)$$

Tesbit edilme olasılığı (TEO) kapsama alanı (C) ile bulunur ve harcanan arama eforunun (Z) arama yapılan alana (A) oranı olarak belirlenir (Eşitlik 2).

$$C = Z/A \quad (2)$$

TEO Şekil 1'de verilen tipik kaplama alanına karşılık çizilen TEO grafiğinden bulunur.



Şekil 1. Kapsama alanı ve Tespit edilme olasılığı

2.3. Haritaların sınıflandırılması

Çok Ölçütlü Karar Verme Analizi (ÇÖKVA) methodları uygulaması sonucunda elde edilen olasılık haritalarının karar verici tarafından kolay yorumlanabilir haritalar olmaları gerekmektedir. Bundan dolayı her bir ÇÖKVA metodu (Basit Ağırlıklandırma Metodu, BAM, metodu, Analitik Hiyerarşi Süreci, AHS, metodu Sıralı Ağırlık Ortalama, SAO, [8]) ile oluşturulan haritanın tekrar sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

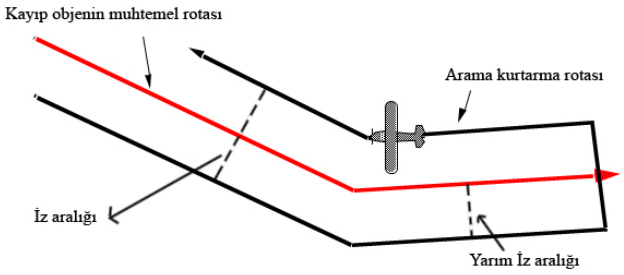
Sınıflandırma aşamasında sınıf sayısına karar vermek önem arz etmektedir. Az sayıda sınıflandırma aralığı hem yorumlanması zor sonuçlar doğurur hem de olasılık haritasının alt arama bölgelerine ayrılmasını zorlaştırmaktadır. Çok sayıda sınıfa ayırmak ise çok parçalı olasılık haritaları oluşmasına sebep olarak durumun doğru yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı, çıkan sonuçların uzmanlar tarafından kolay anlaşılabilmesi için sınıflandırma aralıklarının her bir ÇÖKVA metodu için ayrı ayrı test edilmesi gerekmektedir.

2.4.En uygun tarama deseninin seçilmesi

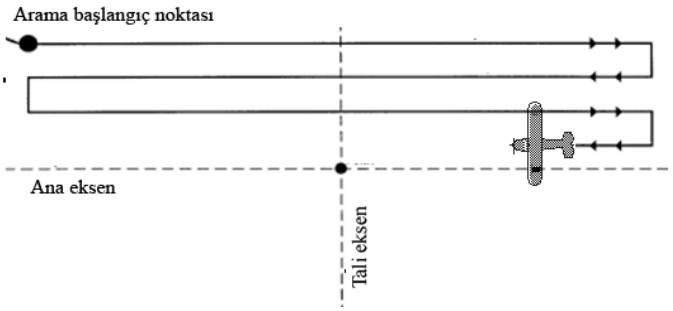
Havadan arama kurtarma faaliyetlerinde 5 temel tarama deseni kullanılmaktadır [9]. Bunlar; rota tarama deseni, paralel tarama deseni, sararak tarama deseni, genişleyen kare deseni ve dilim tarama desenidir.

Rota tarama deseni aramaya konu nesnenin muhtemel rotası bilindiği zaman görsel veya elektronik araçlar yardımıyla yapılan arama desenidir (Şekil 2). Tarama rotaya paralel yapılan izlerle yapılır. Paralel tarama deseni (Şekil 3), ızgara aramalarında belirli bir alanı ardışık arama baralıkları (S) uzunluğunda homojen olarak taramak için kullanılan desendir. Sararak hatta tarama deseni (Şekil 4.) paralel tarama deseni gibi homojen arama yapmak için kullanılmaktadır. Paralel tarama desenindan farkı ise tarama sahasının kısa kenarına paralel olmasıdır. Genişleyen kare deseni (Şekil 5) aranan objenin olması muhtemel alandan başlayarak büyüyen karelerle alanın taranmasıdır. Taranan alan yeterli görülmezse 45 derecelik açılar yaparak tarama yeniden

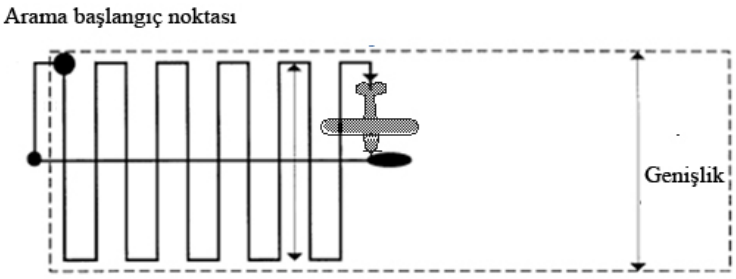
yapılabilmektedir. Dilim tarama deseni kayıp objenin muhtemel pozisyonu ile ilgili oluşturulan olasılık haritasının yüksek güvenilirlikte olduğu, taranacak alanın çok büyük olmadığı ve objeye rastlamanın zor olduğu durumlarda kullanılmaktadır [9]. En büyük avantajı arama merkezi ve çevresinde kayıp objeye rastlama olasılığının yüksek olmasıdır (Şekil 6).



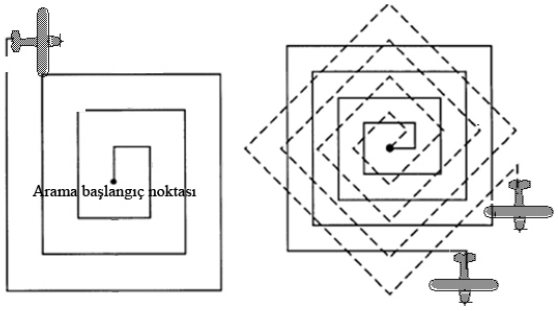
Şekil 2. Rota Tarama Deseni [9]



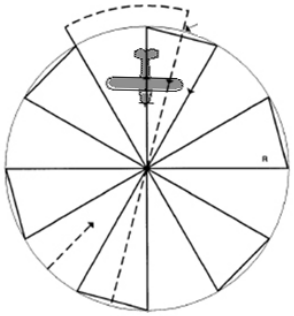
Şekil 3. Paralel Tarama Deseni [9]



Şekil 4. Sararak Tarama Deseni **[9]**



Şekil 5. Genişleyen Kare Deseni **[9]**



Şekil 6. Dilim Tarama Deseni [9]

3. ÖRNEK UYGULAMA

2004 yılında Kütahya ilinin 20 kilometre güneyinde düşen ve yoğun aramalara rağmen ancak 3 gün sonra bulunabilen F-16 uçak kazası Türkiye'de en uzun süren uçak arama kurtarma operasyonu olması sebebiyle örnek olay olarak seçilmiştir. Kaza bölgesi 21.7 x km 27 km lik bir alanı kapsamaktadır. Kaza alanı sık ormanlık bir alandır ve kaza anında yoğun kar yağışı ve kuvvetli rüzgar arama ve kurtarma faaliyetini zorlamıştır. Meteorolojik ve topoğrafik engeller aramanın karadan yapılmasına olanak sağlamamış, alan havadan taranmıştır.

3.1. Veri Toplama ve İşleme

Son haber alınan nokta (SHAN) bilgisi 39.39.652 N and 29.35.376 E ve uçağın uçuş yüksekliği 3000 metre olarak Türk Hava Kuvvetleri tarafından rapor edilmiştir. [9]'a göre hedefin gerçek pozisyonu son haber alınan nokta merkezli olarak dairesel normal dağılımlıdır. Bu bilgiler ve serbest düşme formülü ile uçak parçalarının yerde ulaşabilecekleri maksimum aralık hesaplanmıştır.

İstatistiksel olarak, son haber alınan noktadan itibaren kapsanma olasığı (KO) dağılımı Eşitlik 3'teki gibi hesaplanır [10]. *e* doğal logartma tabanı olmak üzere, olasılık dağılımı ortalamadan bir standart sapma uzaklıkta %68, iki standart sapma uzaklıkta %95, üç standart sapma uzaklıkta toplam %99 ve kalan alanda %1 olarak kabul edilmiştir.

$$KO = 1 - e^{R^2/2} \tag{3}$$

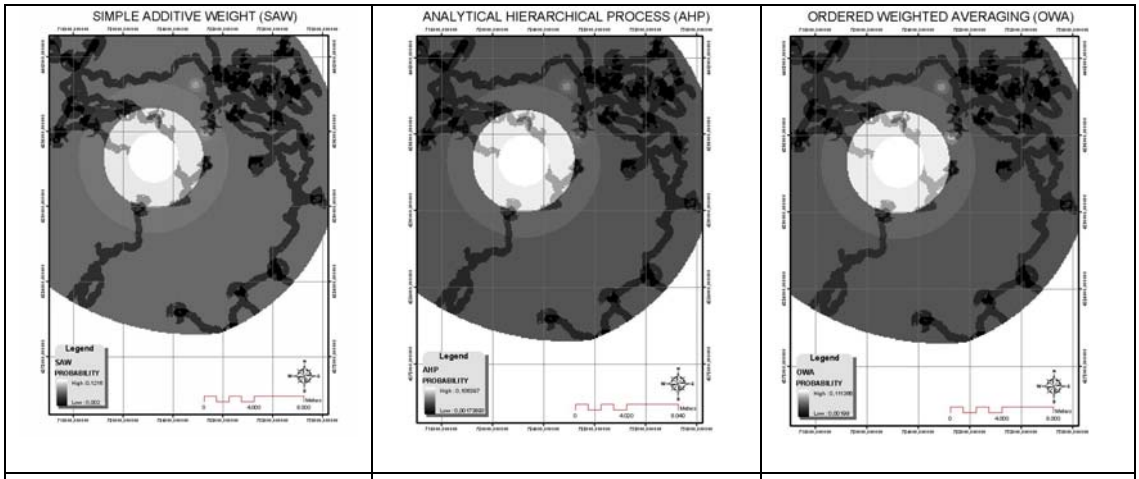
Kriz merkezine kazadan sonra arama uçakları ve çevredeki görgü tanıkları vasıtalarıyla çeşitli bilgiler gelmiştir. Bunlardan birincisi CN-23 uçağı tarafından yoğun sinyal noktası (39.43 N and 29.38 E), diğeri ise kanal 8 ve 282.8 Mhz den alınan sinyaldir. Uzman görüşleri [11]ve [9]'a göre bu noktalardan itibaren 5 km'lik bir çap makul tarama alanı olarak kabul edilmiştir.

Bölgede bulunan yerleşim yerlerinden itibaren görünürlük analizi yapılarak tampon bölgeler oluşturulmuştur. İkinci aşamada uçak kalıntılarının, yerleşim bölgeleri ve çevresine düşmüş olması durumunda insan boyu ve görme mesafesi de dikkate alınarak 5 km'lik tampon alanlar içinde tespit edilebileceği kabulu ile görünürlük haritası oluşturulmuştur.

Yerleşmeler için uygulanan işlemler yollar katmanı için de uygulanmış, insan boyu ve görme mesafesi dikkate alınarak 100'er metrelik aralıklarla alanda tampon bölgeler oluşturulmuş ve görünürlük haritası ile kesiştirilmiştir.

3.2. ÇÖKVA ile olasılık haritalarının oluşturulması

Arama kurtarma operasyonlarının en önemli parçası güvenilir olasılık haritalarına sahip olmaktır. Oluşturulan katmanlar önemlerine göre AK uzmanı Binbaşı Ali Gerede tarafından her üç ÇÖKVA metodu için ağırlıklandırma yapılarak oluşturulmuştur (Şekil 7).



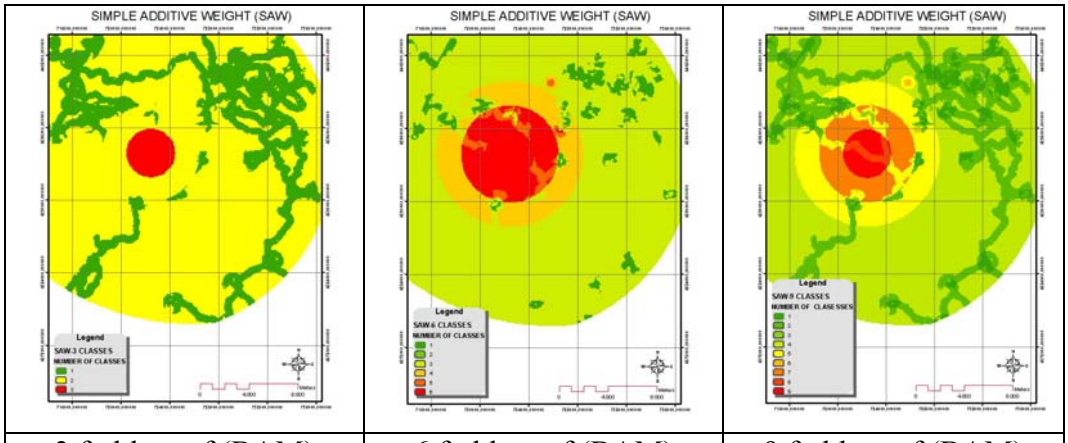
BAM	AHS	SAO

Şekil 7. Üç ÇÖKVA metoduna göre oluşturulan olasılık haritaları

Görüntü olarak üç metod yaklaşık olarak benzer grafiksel algılar oluştursa da aralarında belirli farklar bulunmaktadır. Buna göre Basit Ağırlıklandırma Metodu (BAM) ile belirlenen olasılıklar 0.1216 ve 0.002 arasında, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodu ile 0.106397 ve 0.001738 arasında ve Sıralı Ağırlık Ortalama (SAO) metodu ile belirlenen olasılıklar ise 0.11136 and 0.00199 arasında değişmektedir.

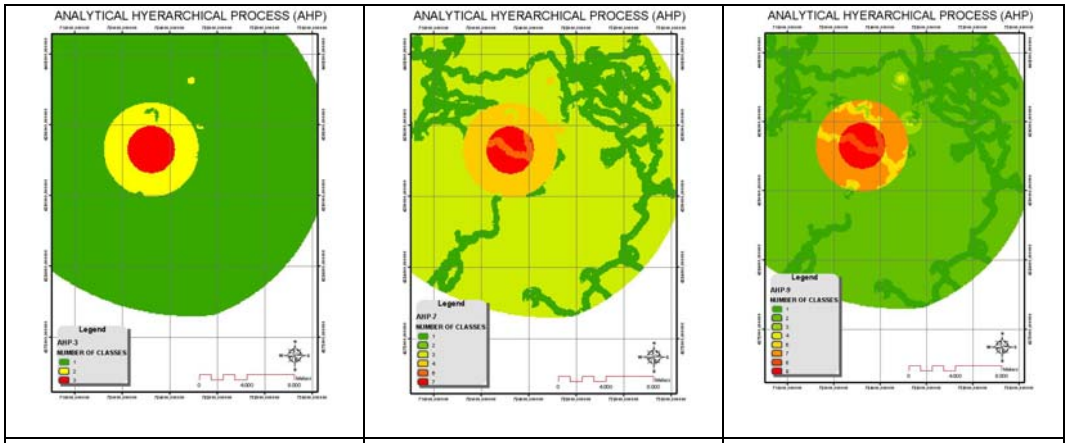
3.3. Olasılık haritalarının sınıflandırılması

Bu aşamanın amacı farklı sınıflandırma aralıklarına göre bölgeyi optimum alt arama alanlarına nesnel olarak bölmektir. Buna göre her ÇÖKVA metoduna göre 3,4,5,6,7,8 ve 9 sınıflandırma aralıklarına göre sınıflandırma yapılmıştır. BAM, AHS ve SAO metodlarına göre yapılan sınıflandırma sonuçları Şekil 8,9 ve 10' da gösterilmektedir. Sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılırken sinyal noktalarının uzman tarafından seçilebilmesi, yol ve yerleşim tampon bölgelerinin gözle seçilebilmesi ve alt arama bölgelemesi yapacak boyutlara (5 x 5 km) ve (10 x 10 km) imkan sağlaması kriterleri göz önüne alınmıştır. Bu kriterlere göre, BAM metodundan 6 ve 9 aralıklı sınıflar, AHS metodundan 6 aralıklı sınıf ve SAO metoduna göre 6 ve 9 aralıklı sınıflama uygun olarak değerlendirilmiştir.



3 farklı sınıf (BAM)	6 farklı sınıf (BAM)	9 farklı sınıf (BAM)

Şekil 8. BAM metoduna göre sınıflandırma

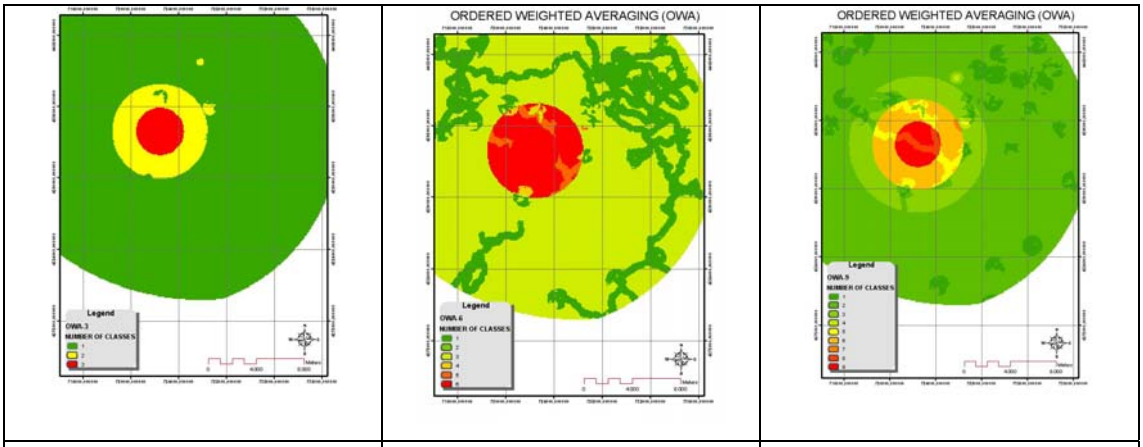


3 farklı sınıf (AHS)	6 farklı sınıf (AHS)	9 farklı sınıf (AHS)

Şekil 9. AHS metoduna göre sınıflandırma

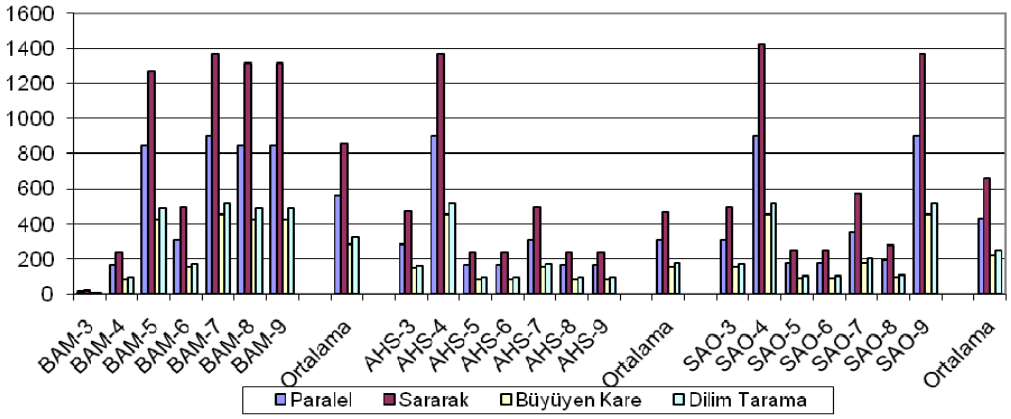
3.4.En uygun tarama deseninin seçilmesi

En uygun tarama deseninin bulunması için üç test yapılmıştır. Birinci testte, üç farklı ÇÖKVA metodunun (BAM, AHS ve SAO) arama kurtarma uzmanının belirlediği önceliklere göre her metod için oluşan olasılık dağılımı test edilmiştir. İkinci olarak, kaza alanını alt arama bölgelerine bölmek için farklı sınıflandırma aralıklarının olasılık haritasına etkileri, üçüncü olarak ise, en uygun arama desenini bulmak amaçlı 5 farklı arama deseni ve harcanan arama eforu test edilmiştir. En uygun ÇÖKVA metodu olarak AHS ile üretilen olasılık haritası diğer karar verme yöntemleri ile üretilenlere göre daha etkin sonuçlar ortaya koymuştur. En az arama eforu her tarama deseninde AHS metodu ile elde edilmiştir. Tarama desenlerinde harcanan arama eforu Şekil 11'de karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Buna göre, en etkin tarama deseni genişleyen kare ve dilim tarama deseni olurken; paralel tarama ve sararak tarama desenlerinin etkinlik değerleri düşüktür. Bu farkın temel sebebi, arama başlangıç noktalarının taranan alanının merkezinde olmasıdır. Harcanan Arama Eforu (Z) tarama genişliği ile aranacak parçaların deniz mili olarak çarpımı ile elde edilmektedir.



3 farklı sınıf (SAO)	6 farklı sınıf (SAO)	9 farklı sınıf (SAO)

Şekil 10. SAO metoduna göre sınıflandırma



Şekil 11. Basit Ağırlıklandırma Metodu (BAM), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) metodu ve Sıralı Ağırlık Ortalama (SAO) metodlarının değerlendirmesi

Şekil 11'e göre genişleyen kare metodu ve dilim tarama metodlarının ortalamaları en iyi sonuçları vermektedir. Harcanan arama eforu hesaplanırken meteorolojik koşulların uygun olduğu kabul edilmiştir. Gerçek hayatta arama kurtarma faaliyeti yoğun hava muhalefetine karşı 3 gün sürmüştür [11]. Türk Hava Kuvvetleri arama kurtarma faaliyetlerinde CBS etkin bir biçimde kullanılamamış fakat genişleyen kare metodu ile tarama yapılmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen metod ile HAKO'da çalışılacak alana ait mekansal veriler sayısal ortamda olduğu taktirde olasılık haritalarının üretilmesi birkaç dakikayı geçmeyecek düzeydedir. Ayrıca çalışmada geliştirilen yöntemin CBS konusunda deneyimli olmayan kullanıcılar için kullanımını kolaylaştırmak amaçlı bir yazılım geliştirilmiş ve yazılıma uzman görüşünü temsil edecek ağırlıklandırmalar da eklenmiştir. Dolayısı ile söz konusu yaklaşım ile etkin bir HAKO planlamasının altyapısı hazırlanabilecektir. Bu çalışmanın sonucunda hem genişleyen kare hem de dilim tarama desenlerinin bu tarz örnekler için uygun arama desenleri oldukları ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, Türk Hava Kuvvetlerinin arama kurtarma çalışmalarına kıyasla metodolojik farklılıklar göstermektedir. Temelde CBS mekansal veri analizi için

kullanılmış, veriler farklı ÇÖKVA metodlarına göre uzmanlar tarafından ağırlıklandırılmıştır. Dilim tarama deseninin de bu tarz operasyonlar için uygun olduğunu görülmüştür. Ayrıca dolayı AHS ve SAO ÇÖKVA metodlarının olasılık haritaları üretmeye uygun yöntemler olduğu anlaşılmıştır. Arama alanını alt arama alanlarına bölerken sınıflandırma yöntemi ilk defa uygulanmıştır. Bu yöntem arama kurtarma uzmanlarına daha güvenilir sınırlar sunmaktadır. Elde edilen sonuçlara gore uygun sınıflandırma sayısı kullanılan katman sayısına göre değişmekle birlikte 5-9 aralığındadır.

KAYNAKÇA

[1] Frost, J.R., 1999, "Principles of Search Theory, Part III", Soza and Company, Newyork, 12 sayfa.

[2] Haley, K.B., Stone,D.L., 1979 "Search Theory and Applications", NATO Conference Series, Plenium Press, 277 sayfa.

[3] IMCO, 1980 "Inter Governmental Maritime Consultative Organization Search and Rescue Manual", London Press, ss. 69-115.

[4] Zeid, A. I., Frost, J.R., 2004, "SARPlan: A decision support system for Canadian Search and Rescue Operations", European Journal of Operational Research, 162, ss. 630-653.

[5] Cadre, J.P., Soiris, G., 2000, "Searching Tracks" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, Vol. 36, No.4, ss. 1149-1166.

[6] Koopman, B.O. l956, "The Theory of search: Target detection" Operations Research. Vol.4, No.5.

[7] Stone, D.L., 1975, "Theory of Optimal Search", A Series of Monographs and Textbooks, Academic Press, 260 sayfa.

[8] Stone, D.L., 1989, "What's Happened in Search Theory since the 1975 Lanchester Prize", Operations Research, Vol.37, No. 3, ss. 501-506.

[9] Malczewski, J., 1999."GIS and Multicriteria Decision Analysis", John Wiley and Sons.

[10] NSAR Manual, 1998, "National Search and Rescue Manual, B-GA-209-001/FP-001 DFO 5449"

[11] Cooper, D.C., Frost, J.R., Robe, R. Q., (2003), "Compatibility of Land SAR Procedures with Search Theory" Report prepared for United States Coast Guard.

[12] Gerede, A. 2007, Kişisel iletişim.

EK BİLGİ: **Doç. Dr. H. Şebnem Düzgün, ODTÜ Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri, 06531 Ankara, duzgun@metu.edu.tr, 312-2102668, 312 2105822**

TRENSİM: Türkiye'nin Hareketli Platformlu İlk Ulusal Tren Simulatörü (Gelişme Raporu)

Ercan Öztemel, Veysi Özturk, Burak Selcuk Soyer, Ramazan Cengiz, Abdulkerim Öncü, Mustafa Çayır, Ali Gürbüz, Nilgün Gözbay

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
Bilişim Teknolojileri Enstitüsü
Benzetim ve Modelleme Grubu
PK 21, Gebze, 41470 Kocaeli

Özet:
Bu makalede, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Bilişim Teknolojileri Enstitüsü yönetiminde ulusal olanaklar ile yürütülen TRENSİM (Sanal Ortam Tren Sürüş Eğitimleri için Milli Benzetim Sistemleri Geliştirilmesi) projesi tanıtılmış ve projenin şu ana kadar olan gelişimi özetlenmiştir. Projede geliştirilmekte olan sistemin ana bileşenleri, yazılım/donanım bileşenleri, projedeki iş paketleri, tasarım çalışmaları, doğrulama ve geçerleme aktiviteleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Ayrıca, projenin sonucunda geliştirilecek olan simulatörün faydaları ve ARGE niteliklerine dikkat çekilmiştir.

Anahtar kelimeler: TRENSİM, Tren simulatörü, sentetik ortamlarda eğitim, sanal eğitim, uzaktan eğitim, hareketli platform

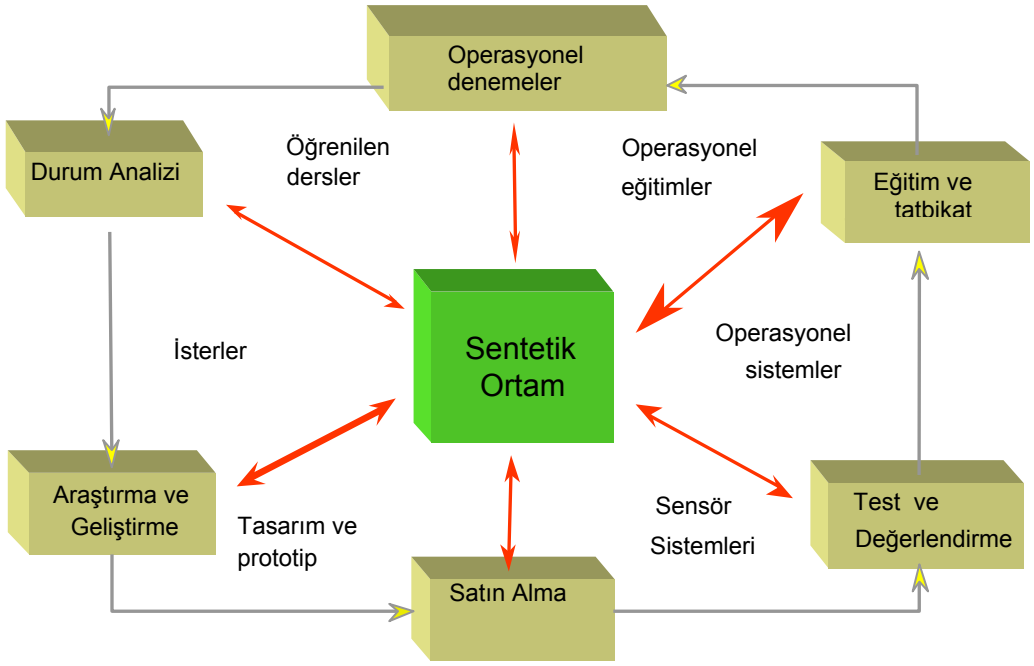
Giriş

Sentetik ortamlar (Synthetic Environments: SE), bilgisayar tarafından oluşturulan sanal bir dünyada, katılımcıların birbirleri ile iletişimini ve etkileşimini sağlamaya yarayan bir teknolojidir [1]. Bu ortamların temel amacı, genel olarak yapılacak olan eğitimlerde, ilgili olan alanda uygulanabilecek stratejilerin belirlenmesi, ilgili yeteneklerin geliştirilmesi ve sanki gerçekte ilgili işi gerçekleştiriyormuş gibi eğitime olanak vermesidir. Sentetik ortamlar, bilgisayar yardımı ile eğitim verilecek olan alanda çok sayıda aktörün (makine, insan, coğrafi nitelikler vb.) oluşturulması ve eğitim içerisinde kendilerine yüklenen sorumlulukları ve rolleri yerine getirmeleri mümkün olabilmekte böylece daha maliyet etkin eğitim ve tatbikatlar (uygulamalar) yapmak mümkün olabilmektedir. Genel olarak benzetim teknolojisi ile [2,3];

- Gerçek dünyada yapılması mümkün olmayan uygulamalar (trenin bir arabaya çarpma durumu, vb.) gerçekleştirilebilmektedir.
- Gerçek sistemlerin üzerinde eğitimlerin riskleri ve maliyetleri çok yüksek olduğundan sistemlerin benzetimlerinin kullanılması daha ucuz eğitimler yapmayı sağlamaktadır.
- Gerçek sistemler üzerinde uygulamalar ve eğitimler az sayıda yapılabilirken, bu iş benzetim yolu ile defalarca tekrarlanabilmektedir.
- Sistemlerin farklı koşullardaki davranışları izlenebilmekte ve ona göre sistemleri yönetecek planlar kolaylıkla oluşturulabilmektedir.
- Herhangi bir alanda istenilen sayıda aktörün (bileşenin) modellenmesi sureti ile çok karmaşık durumlar modellenebilmekte ve bunların günün koşulları altında durumları izlenebilmektedir.
- Eğitim ve uygulamalar istenilen coğrafi alanlarda (sanal ortam) gerçekleştirilebilmektedir.
- Eğitim ve uygulamalar sırasında her türlü alternatifi denemek söz konusu olabilmektedir.
- Risk analizleri daha kolay gerçekleştirilebilmektedir.
- Sistemlerin etkin olarak kullanılmasını sağlayacak yöntemler ve metotlar geliştirilebilmekte ve bunların etkinlikleri izlenebilmektedir.

Uydu ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojilerindeki gelişmeler ile benzetim ve modelleme çalışmaları

da önemli bir ivme kazanmıştır. Bu sayede yeryüzünün her bölgesinin coğrafi bilgileri sanal dünyaya aktarılabilmektedir. Özellikle olayların 3 boyutlu sentetik ortamlarda benzetilmesi ile gerçek sistemlere yakınlık daha çok artmış ve benzetim çalışmalarının sonuçları gerçek hayatta daha çok kullanılabilir olmuştur. Bu çalışmalar gerçek dünyanın modellenmesini kolaylaştırmakta ve modellerin geçerliliklerini artırmaktadır. Bilişim teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak benzetim teknolojisinde de özellikle son yıllarda ortaya çıkan gelişmeler bu teknolojiye olan ilgiyi her zamankinden daha çok artırmaktadır [4]. Genel olarak, Şekil 1'de gösterildiği gibi satın almadan (tedarik) test ve değerlendirmeye kadar birçok alanda benzetim sistemleri kullanmaktadır.



Şekil 1-Sanal ortamların kullanım alanları

Günümüzde demiryolu çalışanlarının ve özellikle tren sürücülerinin, demiryoluyla ulaşım ve hizmetlerin güvenliğini ve verimliliği artırmak için bilgisayar teknolojisinin kullanıldığı eğitimlere önemli oranda ihtiyaç artmıştır [5]. Yapılan planlara göre önümüzdeki yıllarda büyük şehirlerimizin önemli bir kısmı yaygın raylı sistem ağları ile donatılmış olacaktır [6]. Birçok alanda olduğu gibi demir yollarında tren sürücülerinin eğitilmesinde benzetim çalışmalarından faydalanılmaktadır. Bu amaçla, tren sürücülerinin temel eğitimden ileri eğitime kadar tren sürüş konusunda eğitilmelerine olanak veren sistemler kullanılmaktadır. Aynı şekilde tren üzerinde bakım onarım ve arıza giderme faaliyetlerinden bazı yeni sistemlerin denenmesine kadar değişik konularda eğitimlerin verilmesi de bu yolla gerçekleştirilebilmektedir [7]. Bu gerçeklerden hareketle, TRENSİM projesi ile TCDD'nin öncelikli ihtiyaçları doğrultusunda şu anda envanterinde bulunmayan E43000 lokomotif tren simülatörünün tamamen milli olanaklar ile geliştirilmesi hedeflenmiştir. E43000 lokomotifinin kabininde, hızlandırma kolu, dinamik (elektrikli) fren kolu, hava freni kumanda tertibatı, arıza gösterge paneli, direkt ve endirekt etkili hava frenleri gibi birçok bileşeninin modellenmesi amaçlanmaktadır. TRENSİM projesi aynı zamanda üniversite, sanayi işbirliğininde önemli bir göstergesi olacaktır.

Gelişmiş ülkelerde EADS, ACME, CANAC, Krauss-Maffei ve Corys gibi tanınmış firmaların geliştirdiği tren lokomotif ve simülatörleri bulunmaktadır [8-12]. Ancak bu sistemlerin satın alınmasında ortaya çıkan en önemli sorunlarından birisi kolay güncellenemez durumda olmaları, parçalarda ve bakımda yurtdışına bağımlılık, veri tabanlarının zaman içerisinde etkin kullanımını negatif yönde etkileyecek şekilde büyümesi yada eski teknoloji olarak kalması ve gelişmeleri izlemeyi zorlaştırmasıdır.

TCDD bünyesinde şu anda kullanılmakta olan 1992 yılında alınmış eski teknolojiye sahip 2 adet tren simülatörü bulunmaktadır. Türkiye'nin ihtiyacı olan tren simülatörü sayısının ise 30'dan fazla olduğu

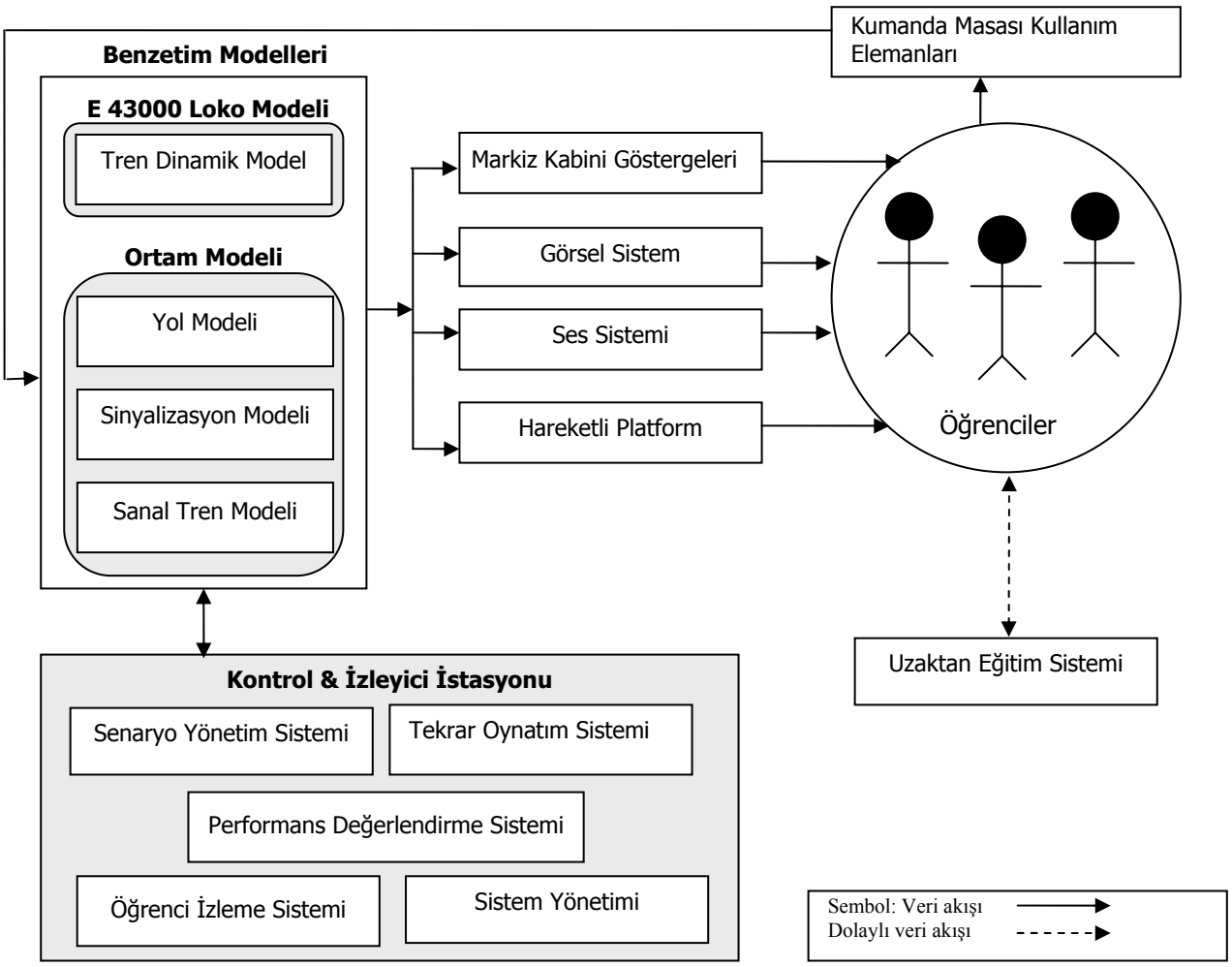
tahmin edilmektedir. Bu durumda ihtiyaçlar ya dışarıdan satın alınarak karşılanacak ya da yurt içindeki imkanlarla geliştirilecektir. Bu ihtiyacın TRENSİM projesi ile başlamak sureti ile yerli olanaklar ile karşılanması hedeflenmektedir. Bu nedenle, TRENSİM projesinin amacı ileri benzetim teknolojileri kullanılarak, tren sürücüsü personelin sanal ortamlarda;

- Temel tren sürüş eğitimlerini (trenlerin kaldırılması, yürütülmesi, durdurulması vb),
- Değişik iklim ve yol koşullarında tren kullanma tekniklerini,
- Arıza ve risk önleyici yeteneklerin geliştirilmesini,
- Sürücünün performansının izlenmesini ve iyileştirilmesini,

sağlayacak E 43000 elektrikli tren lokomotif simülatörünün geliştirilmesidir.

Geliştirilecek simülatör, tren kokpiti ve dinamik modelleme, 3 boyutlu görüntüleme, harita işleme, veritabanları, görev planlama, performans değerlendirme, debriefing, uzaktan eğitim, otomatik müfredat hazırlama, otomatik hata teşhis yazılımları gibi yazılımlardan oluşacaktır. Projede tren davranışlarının ve bazı kokpit bileşenlerinin (tren motoru, gibi) matematiksel modelleri oluşturulacaktır. Kullanıcı isterlerine (requirements) uygun esnek bir e-öğrenme ortamını oluşturulacaktır. Simülatördeki eğitimin gerçeklik etkisini artıracak hareketli platform geliştirilecektir. Projede elde edilen bilgi, tecrübe ve deneyim ile başka alanlarda da kullanılabilecek milli tren benzetim çalışmaları için önemli alt yapı ve bilgi birikimi sağlanacaktır.

TRENSİM Sisteminin İşlevsel Grupları



Şekil 2 TRENSİM sisteminin işlevsel grupları

Len ve arkadaşları (2003) tarafından önerilen referans modele dayalı olarak geliştirilen ve Şekil 2'de gösterilen modelin her kutucuğu bir işlevsel grubu temsil etmektedir [13]. Bu işlevsel grupların

birlikte uyumlu bir şekilde çalışmasıyla aşağıda maddeler halinde sayılan temel nitelikteki eğitimleri yerine getirmek mümkün olabilecektir:

- E 43000 tipi lokomotife ait markiz kumandalarının doğru kullanımını sağlamak
- Tren sürme becerilerini geliştirmek
- Her türlü yol, iklim ve doğa koşullarında tren kullanma yöntemlerini mümkün kılmak
- İşletme usulleri, hız limitleri, TCDD'nin mevcut şebekesindeki trafik sistemleri ile ilgili emniyetli sürme alışkanlıklarını kazandırmak
- Enerji ekonomisine yönelik cer ve fren uygulamalarını göstermek
- Trende oluşabilecek arızaların giderilmesine ilişkin deneyimler kazandırmak
- Makinistlerin simülatörde sürüş uygulama sınavlarına tabi tutulması, bu sınavların değerlendirme ve puanlamasının simülatörde bilgisayar tabanlı olarak yapılmasını sağlamak
- Makinistleri uzaktan eğitim teknolojisini kullanarak eğitmek

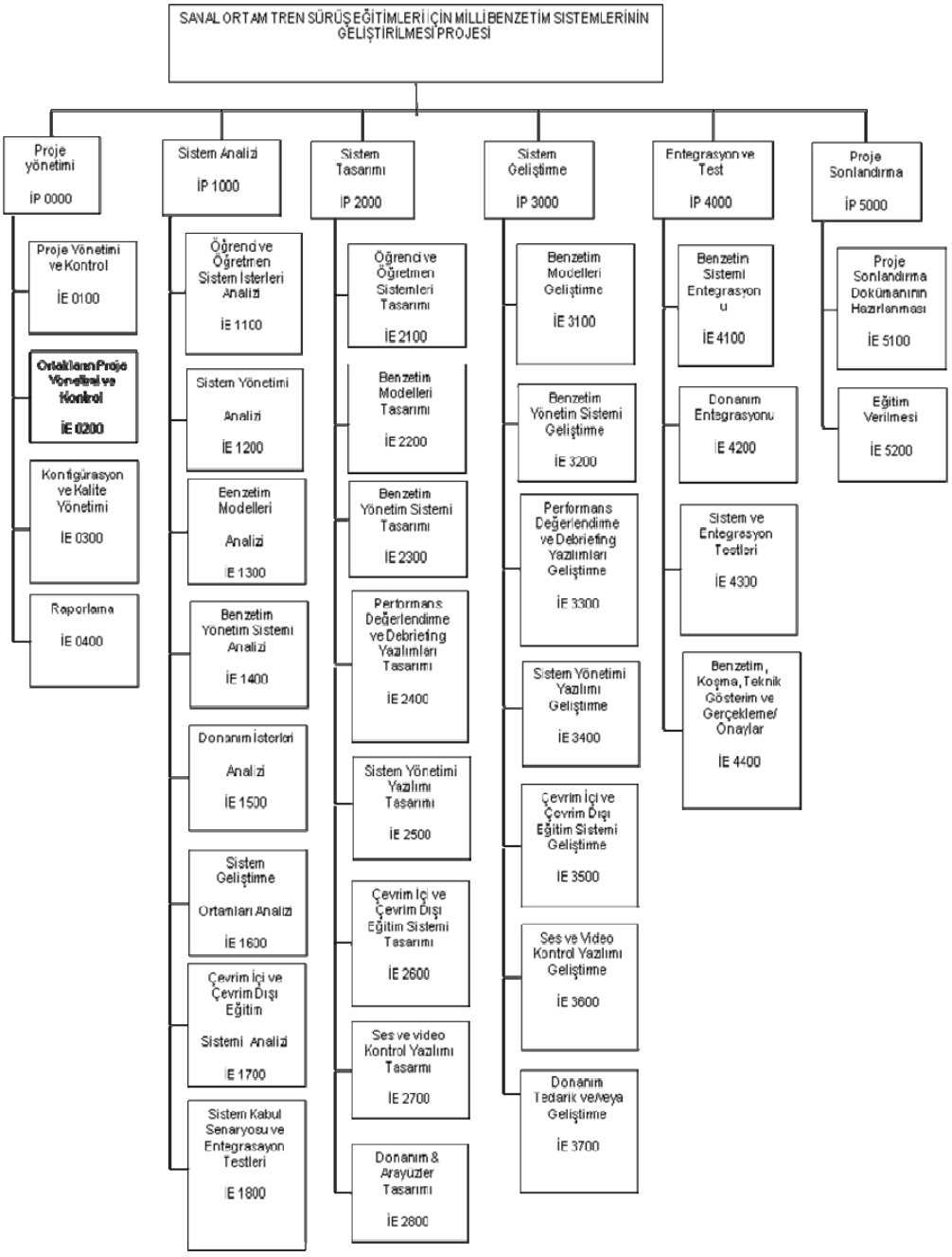
Şekil 2'ye göre sistemi süren kısımlar üç başlık altında toplanabilir.

Birinci başlık kontrol ve izleyici istasyonudur. Bu istasyon vasıtasıyla öğretmen makinistleri eğitmek üzere senaryolar düzenler, senaryoları oynatır ve öğrencilerin oynanan senaryolara karşı tutum ve davranışlarını izler. Diğer taraftan ortamı denetler, gerektiğinde ortamın koşullarını değiştirir; oynanan senaryoya arızalar enjekte ederek eğitim ile gerçek zamanda etkileşimde bulunu ve bunun neticesinde öğrencinin performansını değerlendirebilir.

İkinci ve üçüncü başlıklar altında sırasıyla Ortam ve E 43000 Lokomotif modelleri yer almaktadır. Bunlar simülasyonu icra edecek olan modellerdir. E 43000 Lokomotif modeli, trenin dinamik diğer bir ifadeyle kinematik ve kinetik açıdan fiziksel hareketlerini betimleyen matematiksel denklemler kümesini temsil etmektedir. Ortam modeli trenin fiziksel davranışlarını etkileyebilecek dış unsurları kapsamaktadır. Bunlar sırasıyla yol, tren trafik ve sanal tren modellerinin geliştirilmesi ve çalıştırılmasını kapsar.

TRENSİM Proje Organizasyonu ve Yönetimi

Proje, TÜBİTAK MAM Bilişim Sistemleri Teknolojileri Enstitüsünün liderliğinde, Marmara Üniversitesi, 5M Bilişim Teknolojileri Eğitim, Danışmanlık Ltd. Şirketi, DEVNET Ltd Şirketi katılımı ile gerçekleştirilmektedir. Proje kapsamında Marmara Üniversitesi Müh. Fak.End. Müh. Bölümü sistem analizi ve tasarımı çalışmalarında görev almaktadır. 5M Bilişim Teknolojileri Eğitim ve Danışmanlık Ltd. Şirketi ise projenin uzaktan eğitim sisteminin geliştirilmesi sorumluluğunu üstlenmiştir. DEVNET Ltd. Şirketi ise projenin hareketli platformunu geliştirmektedir. Aynı zamanda TÜLOMSAS Lokomotif fabrikası ile yapılan sözleşme ile E43000 Lokomotif markizinin kabini TÜLOMSAŞ'tan temin edilecektir. Projenin veri toplama çalışmalarında da yine ilgili üçüncü parti kurumlar ile işbirliği sağlanmaktadır. Projede yürütülmesi planlanan çalışmalar ve iş dağılım ağacı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3: TRENSİM projesi iş dağılım ağacı

Projenin yönetilmesi ile ilgili olarak TÜBİTAK MAM BTE sahip olduğu CMMI 3. Seviye standartları gereği tüm süreçlerini ve geliştirme aşamalarını ilgili standarda göre gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda proje yönetim planı, kalite güvence planı, doğrulama geçerleme planı, sistem entegrasyon planı, konfigürasyon yönetim planı vb. gibi yönetim araçları oluşturulmuş ve sürekli canlı tutulmaktadır. Yazılım isterlerinin belirlenmesinden kabul testlerine kadar her aşamada ilgili CMMI süreçleri titizlikle uygulanmaktadır. Bu süreçlerin etkinliklerini artırılmasında Clear Case, ClearQuest, DOORS, Enterprice Architect, Test araçları vb. gibi araçlar kullanılmaktadır.

TRENSİM Yazılım Tasarlama ve Geliştirme Çalışmaları

TRENSİM yazılım tasarım çalışmalarında Enterprise Architect tasarım aracı kullanılmıştır. DOORS ister yönetimi aracı kullanılarak izlenilen sistem isterlerinin her birisi Enterprise Architect tasarım aracına kaydedilmiştir. Her bir isterin gerçeklendiği modüller ve sınıflar ilgili isterlerle bağlanarak izlenebilirlikleri bu araç üzerinden takip edilmektedir. Sistem katmanlı bir mimariye göre modüllere

ayrıştırılmış, her bir modül için aşağıdaki diyagramlar çıkartılmıştır:

- Statik Diyagramlar
- Dinamik Diyagramlar
- Veri modeli
- Kullanıcı Grafik Arayüz Diyagramları

Statik diyagramlar bileşen diyagramları ve sınıf diyagramlarıyla ifade edilmektedir. Bu kapsamda isterleri gerçekleyen her bir sınıfın öznitelik ve metot tanımlamaları, ayrıntılı parametre açıklamalarıyla verilmiştir. Sınıf diyagramlar, doğrudan yazılım kodlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu sayede yazılım geliştirme sürecinde meydana gelecek yapısal değişikliklerin tasarım aracından yapılması ve değişmelerin gözlenmesi sağlanmıştır.

Dinamik diyagramlar, eylem (activity) diyagramlar olarak her bir modül için çıkartılmıştır. Simülasyon döngüsü içerisinde operasyonel değer içeren mesajlara ait üst seviye aktivite diyagramları ve aktivite tanımları ayrıntılı olarak çıkartılmıştır. Bu sayede sistemin bütün dinamik davranış tasarımsal olarak kayıt altına alınmıştır.

Sistem Veri modellemesi kapsamında ilişkisel veritabanı bilgileri veri model diyagramları olarak çıkartılmıştır. İlgili diyagramlardan şablon dosyaları oluşturulup, geliştirme safhasında kullanılması sağlanmıştır. Tasarım değişikliklerinin doğrudan geliştirme safhasında kullanılması bu şekilde sağlanmıştır.

Sistem kullanıcıları için kullanıcı grafik arayüzleri için şablonlar tasarlanmış. Grafik arayüzlerin birbiriyle olan geçiş ilişkileri diyagramlar halinde tasarım aracında oluşturulmuştur.

TRENSİM Donanım Tasarlama ve Geliştirme Çalışmaları

TRENSİM Donanımları, simülatör sistemini kullanıcılara etkileştiren önemli bileşenlerdir. Simülatör bilgisayarının öğrenci ile olan etkileşimi, önemli ölçüde gerçek kabin donanımları üzerinden olmaktadır. Bu nedenle öncelikle donanım iş paketi, kullanıcı girdilerini simülatör bilgisayarına taşımak ve simülatör bilgisayarından gelen komutları da donanım bileşenleri üzerinde gerçeğine benzer şekilde sunmaktan sorumludur. Bu görevdeki bir aksama sistemin sanal olduğunu ortaya çıkaracağından simülatörün başarısını direkt olarak etkilemektedir.

E 43000 lokomotifi yüzlerce sigorta, gösterge, şalter, vana vs gibi donanımsal bileşenlerden oluşmaktadır. Bunların verilerini ön bir işleme tabii tutmadan simülatöre göndermek sistem kaynaklarını kötü kullanılmasına ve bazı durumlarda istenilen gerçekçiliğe ulaşılamamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, TRENSİM donanım sistemi, merkezi donanım bilgisayarı denilen ve insandaki omurilik soğanı gibi çalışan, reflekslerin kontrolü gibi bir takım işlemlerde simülatör bilgisayarını hiç yormadan kendisinin halledebildiği, gelişmiş bir gömülü bilgisayara sahiptir.

E 43000 lokomotifinde bulunan sistemlerin birçoğunun modelleri de, direkt olarak merkezi donanım bilgisayarı üzerinde koşturulmaktadır. Bu modeller şunlardır: Totman modeli, elektropnömatik sistem modeli, batarya şarj modeli, cer motorları enerjilendirme modeli, hızlı devre kesici(HDK) modeli, üfürücüler modeli, hen sofaj modeli, dinamik fren aktivasyon modeli, düdük/kumlama modeli, lambalar modeli, elektronik dolap devreleri modeli. Bu modellerin, genel olarak dinamik model dışındaki modeller olduğu görülmektedir. TRENSİM'deki özgün donanım sistemi sayesinde simülatör sistemi dinamik model ve modelleme ile ilgilenmekte onun dışındaki tren modellerini ve arıza verme modellerini, donanım sistemi büyük oranda kendi içerisinde çözebilmektedir.

E 43000 lokomotifi markiz kabinin içerisinde birebir olmayan ancak makinist eğitiminde gerekli bileşenler de vardır. Bunların yönetilmesi için de ayrıca bir dokunmatik ekran geliştirilmiştir ve bu sistemlerin kontrolü bu ekran üzerinden yapılmaktadır.

Donanım sitemindeki her bir gösterge, şalter vs. gibi birimler ayrı bir mikroişlemcili devre ile

yönetilmektedir. Bu sayede işlem yükü dağıtılmakta ve daha modüler ve esnek bir sistem geliştirilmiş olmuştur.

Tüm donanım bileşenleri kendi aralarında CAN-BUS protokolü ile haberleşmektedir. Bu da simülatör sistemine yeni birimler eklenip çıkarılmasına imkân sağlamakla beraber güvenilir bir iletişim imkânı da sunmaktadır.

TRENSİM Doğrulama Geçerleme Ve Test Aktiviteleri

TRENSİM projesinde D&G (Doğrulama ve Geçerleme) faaliyetleri olarak gözden geçirmeler ve test durumları hazırlık çalışmaları yoğun bir şekilde tasarım ve geliştirme çalışmalarına paralel olarak yürütülmektedir. D&G faaliyetlerine başlamadan önce Eskişehir TCDD Eğitim Merkezi ziyaret edilerek mevcut simülatör sistemleri incelenmiş olup sistem değerlendirme çalışmalarının kurumsal bakış açısı ile uyumlu gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir.

Projede ortaya çıkan yazılım ve donanım sistemlerinin testlerini etkin olarak gerçekleştirebilmek için isterler belirleme çalışmaları sırasında tüm oluşturulan isterler doğrulanabilirlik yönünden gözden geçirilmiş ve gerekli düzeltmelerin yapılması sağlanmıştır. Doğrulanamayacak isterler müşteri ile görüşülerek yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca isterlerin hangi yöntemle doğrulanacağı ile ilgili olarak çalışma yapılmıştır. TRENSİM'de dört çeşit doğrulama yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir. Bunlar; Gösterim, Test, Analiz ve İncelemedir.

Doğrulama Geçerleme işlemleri ile ilgili olarak Doğrulama Geçerleme Planı, Test Ana Planı, Entegrasyon Yazılım Test Planı, Entegrasyon Donanım Test Planı, Sistem Entegrasyon Test Planı, Kabul Test Senaryosu hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm planlar ve Kabul Test Senaryosu müşterinin görüşüne sunularak, onlardan gelen geri bildirimlere göre güncellemeler yapılmıştır.

Sistem isterleri ile ilgili sistem test durumları çıkarılmış olup yazılım/donanım isterleri ile ilgili yazılım/donanım test durumları hazırlama işlemi devam etmektedir. Tüm isterlere ait test durumlarının yazılmış olduğunu doğrulamak için test durumları ile isterler arasında çift yönlü bağlantılar kurulmuştur. Genelde iş paketlerine ait isterlerin birbirleriyle ilişkili olmasından dolayı bazı isterlerin operasyonel senaryolar hazırlanarak test edilmesinin daha uygun olacağına karar verilmiştir. Ayrıca birbirleriyle ilişkili iş paketlerinin testlerinde de emülatörlerden yararlanılması düşünülmektedir.

Özellikle ses ve görüntü ile ilgili geliştirilecek ürünlerin doğrulanması için bu ürünlerin prototip olarak önceden hazırlanarak müşteri kurumun onayının alınması benimsenmiştir. Bu yöntemle ses ile ilgili ilk prototipler müşterinin onayına sunulmuş, geliştirilen ürün müşteri tarafından beğenilmiştir. Test faaliyetlerini gerçekleştirmek için yazılım geliştirilen bilgisayarların aynı özelliğine sahip bilgisayarlardan test ortamı hazırlanmıştır. Özellikle görüntü sistemlerinin geliştirildiği bilgisayarların ekran kartı özelliklerinin gelişmiş olmasından dolayı test ortamında da bu tür bilgisayarlar tercih edilmiştir.

Test araçları ile ilgili olarak yapılan araştırmalar ve KAÇ (Karar Analizi ve Çözümleme) çalışması sonucunda birim testleri için Parasoft C++ Test, AQTime ve Test Complete yazılımlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Gereksinimlere göre açık kaynak kodlu yazılımların da kullanılması planlanmaktadır. Birim testleri yazılım geliştiricileri tarafından, birim entegrasyon ve sistem testlerinin ise doğrulama geçerleme grubu tarafından yapılacaktır. Yapılan test sonuç raporları Clear Case ve Clear Quest araçlarında tutulacaktır. Testler sonucu bulunan problemler de bu araçlar üzerinden yazılım/donanım geliştiricilerine iletilecektir.

Sonuç ve Değerlendirmeler

TRENSİM projesi, 15 Ağustos 2007 tarihinde başlamış, analiz ve tasarım aşamaları tamamlanmıştır. Bu aşamalarda yapılan prototip çalışmaları, isterlerin belirlenmesinde ve tasarımda önemli katkılar sağlamıştır. Projenin tasarlanan sistemleri için yazılım ve donanım geliştirme, test ve entegrasyon

çalışmaları devam etmektedir. Sistemin gerekli testleri ve doğrulama aktiviteleri tamamlandıktan sonra sistem TCDD Eskişehir Eğitim Merkezine taşınarak kabul testleri gerçekleştirilerek TCDD'na teslim edilecektir. Bu kapsamda, özellikle uzaktan eğitim sistemi ile birlikte deneme eğitimleri gerçekleştirilecektir. Eğitmenler temel eğitim senaryoları, ileri eğitim senaryoları, staj senaryoları, sınav senaryoları vb. senaryolar hazırlayarak deneme eğitimleri gerçekleştireceklerdir.

Geliştirilecek olan TRENSİM Projesi ile sağlanması ön görülen kazanımların bazıları aşağıda verilmiştir:

- Simülatörün Türkiye'de tasarlanmış ve üretilmiş oluşu, ileride değişen ve artan ihtiyaçlara göre sistemin uyarlanmasını mümkün kılacaktır.
- Simülatörle eğitim sonucunda, kursiyerlere teorik olarak verilen bilgiler bilimsel nitelikli eğitim uygulamaları ile pekiştirilmiş olacaktır.
- Teknik arızaları ve gerçekte büyük can ve mal kaybına yol açabilecek hataları objektif olarak kursiyere gösterme imkânı sağlanacaktır.
- Makinist adaylarının performansları, öğrenmesi ve gelişim süreci otomatik olarak izlenebilecektir.
- Usta-çırak ilişkisine ağırlık veren klasik eğitime göre daha kısa sürede ve ekonomik koşullarda makinist yetiştirilmesini sağlanabilecektir.
- Öğrenciler simülatöre binmeden önce kendi bölgelerinde uzaktan eğitim yolu ile ön eğitimden geçirilebilecektir. Bu da eğitim maliyetlerini düşürecektir.
- Eğitim sonrasında öğrenciler kendi bölgelerinden eğitmenler ile bilgi ve deneyimlerini paylaşacakları bir ortam oluşturulacaktır.
- Eğitimler istenildiği kadar rahatlıkla tekrarlanabilecek ve farklı eğitim senaryoları uygulanabilecektir.
- Yurtdışına simülatör konusunda bağımlılık azalacaktır.
- TÜBİTAK MAM, simülasyon ve modelleme konusuna meydana gelmiş olan yeteneklerin devamının sağlanması ve değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Ayrıca, mevcut yetenekler, çok daha ileri bir seviye getirilecektir. Böylece değişik sistemlerde ve alanlarda benzeri çalışmaların yapılması için önemli bir adım atılmış olacaktır.
- Yerli bir ürün oluşturulacak ve değerlendirilecektir. Bu yolla hem milli teknoloji üretimine katkı sağlanacak hem de mevcut yetenekler geliştirilerek ve rekabet edebilir düzeye çıkartılacaktır. Gelişmiş ülkelerdeki teknolojinin yerli üretimi nedeni ile teknoloji transferi de gerçekleştirilmiş olacaktır.
- Kurumsal yeteneklere karşı özgüvenin artması sağlanacaktır. Benzeri yerli üretimler için alt yapı oluşturulmuş olacaktır.
- Gelecekte diğer kurumlarda oluşan bu yeteneklerden, ortak projeler yapılması sureti ile yeteneklerden sürekli faydalanılması sağlanılacaktır.
- Proje kapsamında elde edilen bilgi ve deneyimler ile ARGE sonuçları ileride daha farklı alanlarda kullanılabilecektir.

Geliştirilmekte olan TRENSİM simülatörü ülkemizde Ar-Ge olarak hareketli platform içeren ilk ulusal tren simülatörüdür. Bu projede, hareketli platformu oluşturan 6 bacaktan oluşan heksagon robot mekanizması tasarlanmış ve ilk prototip üretilmiştir. Üretim ve deneme çalışmaları devam etmektedir. Proje kapsamında E43000 lokomotifinin markiz donanım bileşenlerinin modelleri oluşturulmaktadır. TRENSIM'de geliştirilecekte olan otomatik müfredat sistemi ile, öğrencinin önceki öğrenim durumu, performansı ..vb kriterler göz önüne alınarak her bir öğrenci için farklı şekilde ders müfredatı oluşturulabilecektir.

Teşekkür

Projenin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi için her türlü desteği eksiksiz veren ve desteğini hiç eksik etmeyen TCDD Eğitim Daire başkanlığından Murat ŞENEKEN'e ve Mehmet EKTAŞ'a, Eskişehir Eğitim Merkezi Müdürü Halim SOYTEKİN'e, Eğitim Uzmanı Kemal ÜRGEN'e ve Tekniker Niyazi ULUALAN'a, TÜBITAK MAM Başkanı M. Önder YETİŞ'e ve BTE Müdürü Prof. Dr. Bülent ÖRENCİK'e ve Proje çalışmalarında özveriyle çalışan Proje Ekibine, Projemizde bize destek veren

danışmanlarımız Prof.Dr. Abdülkerim KAR, Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN ve Yrd. Doç. Dr. Semih SEZER'e ve Proje Ortaklarımıza desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

1. DMSO glossary, http://www.dmso.mil/ (erişim tarihi: 01.04.2009)
2. Maamar, Z., "Design of a simulation environment based on software agents and the high level architecture", Information and Software Technology, 45, 137–148, Elsevier, 2003
3. Mepham, S., "Synthetic Environments - Delivering Real Benefits for UK Defence", Simtect 98 Proceedings, 1998
4. Kuhl, F., Weatherly, R., Dahmann J., Creating computer simulation systems, Prentice Hall, New Jersey, 2000
5. Luczak, M., "High-tech training tools", Railway Age, Temmuz, 2000, 39-40
6. Söylemez, M., Açıkbaş, S., "DC Beslemeli Raylı Ulaşım Sistemlerinin Simülasyonu", Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, Eylül 2005, pp. 492-495
7. http://www.tcdd.gov.tr/kurum/simulator.htm (erişim tarihi: 09.04.2009)
8. EADS - Very High Speed, Intercity and Suburban Train Simulators, http://www.railway-technology.com/company_printable.asp?ProductSubGroupID=1315&CompanyID= 6497 (erişim tarihi: 09.04.2009)
9. USA Army LETS - Locomotive Engineer Train Simulator, http://www.acme-worldwide.com/Projects/projects_Army_Train.htm (erişim tarihi: 09.04.2009)
10. http://www.canac.com/index.php?page=products-trnsim (erişim tarihi: 09.04.2009)
11. Krauss-Maffei Wegmann web site, http://www.kmweg.de/gb/frame.php?page=44 (erişim tarihi: 09.04.2009)
12. Corys web site, http://www.corys.com (erişim tarihi: 09.04.2009)
13. Len B. K., Rick, C. Paul. Software Architecture in Practice, 2nd Ed. Addison Wesley. ISBN: 0-321-15495-9, April, 2003.

Q-ÖĞRENMESİ KULLANAN BİR DOĞRUSAL OLMAYAN PARAŞÜTLÜ İNDİRME SİSTEM DENETİMİ UYGULAMASI

Halid Ziya YEREBAKAN[1], İhsan Ömür BUCAK[1], ve Mehmet Sinan HASANOĞLU[2]

[1]Fatih Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 34500 Büyükçekmece, İstanbul

E-posta: halidziya@gmail.com ve ibucak@fatih.edu.tr

[2]TÜBİTAK-SAGE, Özel Mühendislik Birimi, P.K. 16 06261 Mamak, Ankara

E-posta: sinan.hasanoglu@sage.tubitak.gov.tr

Özet: Bu bildiri *Q*-öğrenmesi denetimi uygulayarak, bir insansız hava aracının (İHA) hasarsız olarak, belirli bir alan içerisinde kalacak şekilde kurtarılabilmesi için en etkin paraşüt alanının hesaplanması üzerinedir. Amaç; İHA'yı mümkün olan en hızlı bir şekilde araziye indirmektir. Aksi durumda, İHA'nın paraşütlü indirme sırasında rüzgârdan veya diğer çevre faktörlerinden etkilenerek sürüklenmesi veya zarar görmesi gibi istenmeyen durumlar söz konusu olabilir. Bu yüzden cismi mümkün olduğunca hızlı indirmeye çalışmak, istenen konuma olan uzaklık hatasını en aza indirgeyecektir. Burada, paraşüt hızı ve maksimum ip gerilmesi sınırlayıcı faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, verilen bir sistem durumu içinde alınan *Q* değerlerinin bir fonksiyonu olarak en iyi ya da en uygun (optimal) eylemleri değerlendirmek üzere doğrusal olmayan bir paraşütlü indirme sisteminin denetim problemi ele alınmıştır. Bu çalışma ile sistemi hedef sınırlar arasında tutmak için olası en iyi durum-eylem çiftlerini gerçekleştiren olasılık tabanlı bir *Q* öğrenme algoritmasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öyle ki problem nihai olarak arzu edilen denetim sınırları içersinde kalmayı öğrenmektedir. İlk bulgular son derece ümit vericidir.

Anahtar Kelimeler: *Q*-öğrenmesi, Durum geçişi, Ödül fonksiyonu, Öğrenen denetim, Paraşütlü indirme problemi

1. Giriş:

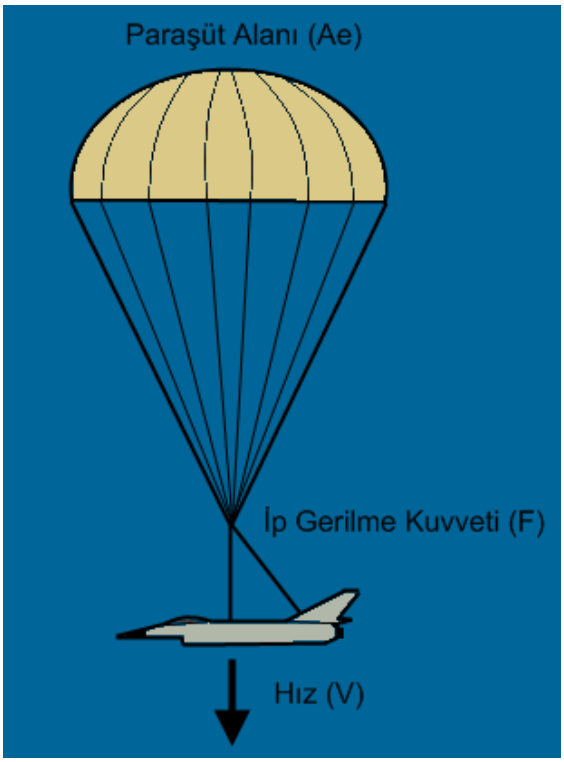
İnsansız hava araçlarının görevlerini tamamlamalarının ardından paraşütlü indirme sistemleri yardımıyla kurtarılmaları yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İHA'nın çok hızlı inmesi zarar görme ya da bütünüyle parçalanma olasılığı, çok yavaş inmesi durumunda ise çevre faktörlerinden etkilenerek sürüklenme olasılığı yüksektir. Bu yüzden, bu çalışmada İHA'nın indirilmesinde etkin paraşüt alanının optimize edilmesini hedefleyen ve adına *Q*-öğrenmesi denilen ve de günümüzde birçok uygulama alanı bulunan bir öğrenen denetim algoritmasının kullanıldığı uygulama çözüm olarak önerilmiştir. Örneğin, değişiklik sergileyen bu uygulama alanlarından birinde *Q*-öğrenme yöntemi bir eksik bilgili Markovyan karar problemi olarak görülen bir sürekli durum ve karar uzaylı envanter kontrol problemini çözmek üzere uygulanmıştır [1]. Bir diğerinde *Q*-öğrenme yaklaşımı davranış tabanlı yürüyen robotları durum bazında planlamak üzere kullanılmıştır [2]. Bir başkasında ise *Q*-öğrenmesinin güç bir gerçek dünya problemi olarak görülen asansör sevk problemine uygulandığını görüyoruz. Asansör sistemleri sürekli durum uzaylarında ve ayrık olay dinamik sistemler olarak sürekli zamanda çalışırlar. Durumları tamamıyla gözlemlenememekte ve değişiklik arz eden yolcu varış oranlarından dolayı durağan olmayan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadırlar [3]. Bir diğerinde ise, internet üzerindeki aşırı bilgi yükü problemine temas eden farklı çabalardan biri olarak *Q*-öğrenmesinin kavramsal ve kullanış bilgisinin birleştirilerek web tavsiyelerinin kalitesini arttırmada kullanıldığını görmekteyiz [4]. Son olarak *Q*-öğrenmesinin uygulandığı değişik bir uygulama alanı olarak dağıtık sistemleri verebiliriz. Bu sistemler normal olarak heterojendir; hesaplama gücü ve bellek boyutu açısından cazip ölçeklenebilirlik sağlarlar. Diğerleri aşırı yüklenir iken, bu tip sistemlerde hiç bir işlemci boş kalmaz. Yalnız artan derecede heterojenlik, planlama problemlerine ilave bir karmaşıklık katmaktadır. İşte *Q*-öğrenmesi dağıtık heterojen sistemlerde dinamik yük dengeleme ve planlama problemine uygulanmış ve özellikle yanıt zamanı, kaynak elde edilebilirliği ve uygulamanın maksimum iş üretebilmesi açısından büyük ölçekli heterojen sistemlerin yük dengeleme kalitesini arttırdığı kaydedilmiştir [5].

Bu çalışmada *Q*-öğrenme algoritması, belirsizlik içeren ortamlarda durum geçişleri (state transition) esnasında hamleler (moves) yoluyla alınan ödülleri (rewards) ve yönlendirici kuralı (policy) belirlemede kullanılmıştır. Sistem durumu olarak yalnızca etkin paraşüt alanı göz önüne alınmıştır. Etkin paraşüt alanından, zamanı en az

tutacak şekilde önceden belirlenen kontrol sınırını aşmadan hedef konuma indiği sırada paraşütün altında kalan alan kast edilmektedir. Tanımlanan ödül fonksiyonu ile her hamle (move) sonrası değerlendirme yapılarak pozitif ya da negatif yönde durum değişimine olanak sağlanmıştır. Herhangi bir yönde arka arkaya iki defa negatif ödülün verildiği durumlarda adım boyutunu küçülterek hamlelerin devamlılığı sağlanmış ve değerlendirmelere bu yeni adım boyutu esas alınarak devam edilmiştir.

Bu optimizasyonu gerçekleyen *Q*-öğrenme algoritması bir jenerik paraşüt benzetim modeli [6] ile birlikte kullanılarak durum-ödül değerlendirilmesi yoluyla bir sonraki hamle belirlenmiştir. Her hamle sonrası sistem durumu yeni bir değer almaktadır. Zaman değişkeni t ve paraşütün etkin alanı A_e ile gösterildiğinde program çıkışı $A_e - t$ ilişkisi olacaktır. Bu *Q*-öğrenmesi ile öğrenilmeye çalışılan fonksiyonun kendisidir. Özelde amaç fonksiyonun küresel (global) minimumunu bulmaktır. İp kuvveti ve paraşüt hızı, üzerinde kısıt bulunan değişkenlerdir. Şekil 1'de paraşütle indirilecek cisim üzerine etkiyen kuvvet ve diğer değişkenler, örnek olarak seçilen bir İHA için resmedilmektedir. Amaç, belirlenen yükseklikte (1000 m) ve hızda (200 m/s) seyreden paraşütü en kısa sürede belirlenen hızdan daha düşük bir hızda (8.5 m/s) rüzgar sürüklenmesini en aza indirecek mümkün olan en kısa süre içerisinde yere indirmek veya çarptırmaktır [6]. Ödül fonksiyonu tanımlanırken yukarıda sözü edilen kısıtların her ikisi de göz önüne alınmıştır. Bilhassa yere çarpma hızını veren paraşüt hızı ve ipteki maksimum kuvvet sonuçların geçerliliğini test etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Bölüm 2, paraşütlü indirme sistem benzetimi ile ilgili ayrıntıları içermektedir. Bölüm 3, *Q*-öğrenmesi yöntemini, Bölüm 4 ise yöntemin sisteme uygulanışını ve sistem denetimini, dolayısıyla spesifik olarak algoritmayı detaylı bir şekilde açıklamaktadır. Bölüm 5 de sayısal deneyler ve özellikle bilgisayar benzetim sonuçları grafikler halinde sunulmaktadır. Bölüm 6 ise sonuçlara ayrılmıştır.



Şekil 1. Paraşütle indirilecek cisim üzerine etkiyen ip kuvveti ve paraşüt hızı.

2. Paraşütlü İndirme Sistem Benzetimi

Farklı hızlarda ve yüksekliklerde harekete geçirilen paraşütlü indirme sisteminin etkinliğinin incelenebilmesi için paraşüt sistemi benzetimi oluşturulmuştur. Bu benzetim, gerekli girdi değişkenleri sağlandığında paraşütlü indirme sisteminin harekete geçmesinden inişin gerçekleştiği ana kadar geçen sürede görülen yatay yerdeğiştirme, yükseklik, hız, açı ve paraşüt kuvveti verilerini üretecek şekilde tasarlanmıştır.

Benzetim hava aracının paraşüt sistemi harekete geçmeden önceki durumuyla ilgili bilgilerin ve ağırlık gibi özelliklerin girilmesini gerektirir. Bu değişkenler Tablo 1'de açıklanmıştır. Bu değişkenler benzetim hesabının başlangıç noktasındaki hızlarını ve hesaplamalar sırasında gerekecek genel özelliklerini içerir.

Tablo 1. Temel paraşüt benzetimi girdileri.

Değişken	Açıklama
m_v	Paraşüt sistemleri dahil hava aracının kütlesi.
v_0	Paraşüt sisteminin harekete geçtiği andaki hava aracı hızı.
θ_0	Paraşüt sisteminin harekete geçtiği anda hava aracının yatayla olan açısı.
h_0	Paraşüt sisteminin harekete geçtiği andaki hava aracı yüksekliği.
S_v	Hava aracının kesit alanı.

Benzetim aerodinamik sürtünmelerin hesaplanmasıyla elde edilen paraşüt kuvveti'ni (F_p) ve hava aracının sürtünme kuvvetini (F_v) girdi olarak kullanarak belirli zaman aralığında (Δt) sayısal olarak hava aracının yörüngesini ve hızını hesaplar.

Zaman aralığında oluşan hız değişimi aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır [6]:

$$v_{i+1} - v_i = \Delta t \frac{-Fp_i - Fv_i - m_v g \sin(\theta_i)}{m_v} \qquad (1)$$

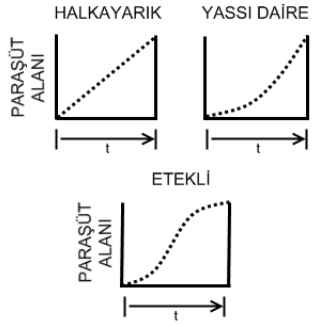
Yukarıdaki ifadede görülen v_i, i. adımdaki hızı; θ_i, aracın yatayla olan açısını belirtir. Fp_i ve Fv_i sırasıyla paraşüt kuvveti ve hava aracının sürtünme kuvvetini ifade eder. Bu kuvvetler her işlem adımında bu adımda hesaplanan hız ve paraşüt kesit alanına göre hesaplanır.

Aerodinamik sürtünme kuvveti hava aracı ve paraşüt için ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplamalar için hava aracının veya paraşütün kesit alanı, sürtünme katsayısı ve hız kullanılır. Aşağıdaki ifade ile verilen aerodinamik sürtünme modelinde yer alan hava yoğunluğu (ρ) yüksekliğe göre farklılık arz edeceği için değeri, hesaplamalar sırasında bulunacak her yükseklik değeri için bir atmosfer özellikleri tablosundan ara kestirim (interpolation) tekniği kullanılarak hesaplanır.

$$D = \frac{1}{2} S C_d \rho V^2 \qquad (2)$$

Yukarıdaki ifadede D aerodinamik sürtünme kuvvetini, S kesit alanını, C_d sürtünme katsayısını ve V hızı ifade eder.

Paraşütün açık olduğu anlarda paraşütün kesit alanı da hesaba katılır. Paraşüt henüz açılırken paraşütün kesit alanı giderek artar. Bu artış farklı paraşüt tipleri için birbirinden farklı olarak gerçekleşir. Şekil 2'de bazı paraşüt tipleri için kesit alanı artış profilleri gösterilmiştir. Paraşütlü indirme sistem benzetimi, sistemde kullanılan paraşütler için geçerli profili ilgili zaman aralığında kullanarak kesit alanını hesaplar.



Şekil 2. Farklı paraşüt tipleri için açılma profilleri.

Hava aracının yatayla olan açısındaki değişim aşağıda görüldüğü gibi ifade edilir [6]:

$$\theta_{i+1} - \theta_i = -\Delta t \frac{g \cos(\theta_i)}{v_i} \qquad (3)$$

İki adım arasındaki hız ve açı değişiminin hesaplanmasının ardından yatay yer değiştirme ve yükseklik değişimi de hesaplanabilir (x: yatay eksende konum, h: yükseklik):

$$x_{i+1} = x_i + \left(\frac{v_{i+1} + v_i}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2}\right) \Delta t$$
$$h_{i+1} = h_i + \left(\frac{v_{i+1} + v_i}{2}\right) \sin\left(\frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2}\right) \Delta t \qquad (4)$$

3. *Q*-Öğrenmesi Yöntemi

Q-öğrenmesi, gecik(tiril)miş takviye sinyalini uygulayan ve (geri) dönüş değerlerini azami mertebeye eriştirmek üzere optimal eylemleri gerçekleştiren ki bununla da sistem performansını değerlendiren bir takviyeli öğrenme algoritmasıdır.

Q-öğrenmesi, sistem performansının değerlendirildiği optimal eylemlerin performansı ile ilgilenmektedir. *Q*-öğrenmesi 'gecik(tiril)miş takviye' geri besleme sinyallerinden öğrenme yapmak üzere etkin bir modele gerek duymayan bir algoritma olarak addedilir.

Q-öğrenmesi, bir artımsal, yani her durum geçişinden sonra sinirsel ağırlıkları değiştirilen, çevrimiçi takviyeli öğrenme veya bir başka ifadeyle bir yaklaşık optimal dinamik programlama denetleme algoritmasıdır. Çevresinin bir tam modeline ihtiyaç duymaz ve eğer çevresi ya da ortam durağan ve Markovyan Karar Prosesi (MKP) ise yüzde yüz olasılıkla doğru *Q*-değerlerine yakınsaması garanti edilir. Standart takviyeli öğrenme sisteminde değerlendirme ve yönlendirici kural fonksiyonları gibi iki ana bellek yapısı mevcuttur. *Q*-öğrenmesi yalnızca bir değerlendirme fonksiyonu ile bir yönlendirici kural arasında birbiri ile kesişen bir değeri muhafaza eder. Her bir s durumu ve a eylem çifti için, *Q*-öğrenmesi; s'de a eylemini almanın değeri olan bir $Q(s,a)$ kestirimini muhafaza eder [7]. s'nin denetleniyor olan sistem durumu olduğu her bir (s,a) durum-eylem çifti sırayla incelenir. Sistem s_t durumunda olduğu ve denetleyici o duruma a_t eylemi ile yanıt verdiği zaman, yeni durum öngörülmüş bir takviye sinyaline iliştirilmiş s_{t+1} durumu olacaktır. Bu takviye (sinyali) s_t sistem durumu ve a_t kontrol eyleminin bir fonksiyonudur: $r(s_t,a_t)$.

Verilen bir s durumu ve a eylemi için, $Q^*(s,a)$ ile gösterilen optimal Q değeri, *beklenen toplam indirimli takviye* (expected total discounted reinforcement) sinyalidir. Q fonksiyonu etmenin

(ajanın) gelecekteki durumları göz önüne almak zorunda kalmayacağı bir şekilde tanımlanır. *Q*-öğrenmesinde bir durumun değeri, verilen durum içindeki maksimum *Q* değeri (durumun en iyi durum-eylem çifti) olarak tanımlanır. Maksimum *Q* değeri ile ilişkili *a* eylemi o durum için bir hareket kuralı olarak adlandırılır [8].

Q değerleri yakınsadıktan sonra, denetleyiciden *Q* değerlerini azami mertebeye yükselten bir *a* eylemi ile bir duruma sürekli yanıt vermesi beklenir. *Q* değerleri başlangıçta keyfi sayılarla ilklenir veya başlangıç durumuna getirilir ve bilahare aşağıdaki gibi güncellenirler:

Öğrenme esnasında, o anki *s* durumundan bir *a* eylemi seçilir. Bu seçilmiş eylem bir *r* takviye sinyalinin alınması ve akabinde bir s_{t+1} gelecek durumuna geçişiyle sonuçlanan yürürlükteki durum içerisinde gerçekleştirilir. Eylemi gerçekleştirdikten sonra, *Q* değeri aşağıdaki *Q*-öğrenmesi algoritması ile tanımlı bir güncelleme eşitliği ile güncellenir:

Her (bir) *s*, *a* çifti için, *Q*(*s*,*a*) tablosunu keyfi olarak başlangıç durumuna getir:
Yürürlükteki *s* durumunu gözlemle,
(*s* sonlanana kadar) aşağıdakileri yap:

- Bir *a* eylemi seç ve onu icra et,
- Bir anlık (immediate) *r* ödülü al,
- Yeni s' durumunu gözlemle,
- *Q*(*s*,*a*) içinki tablo girişini aşağıdaki gibi güncelle:

$$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha[r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a)] \quad (5)$$

- $s \leftarrow s'$.

Burada α öğrenme oranı ve γ ise [0,1] aralığında bir değer olan ve anlık takviyenin daha önem kazanmasına neden olan bir indirim çarpanıdır. Eğer γ sıfırsa, sadece anlık ödül, bire yakınsa, gelecek(teki) ödüllere daha büyük önem atfedilir.

(5) güncelleme eşitliğini gerçeklemenin kolay bir yolu, *Q* değerlerini bir arabul (look-up) tablosunda saklamaktır. Buna rağmen ana fikir; hesaplanmış bir ifadeyi değil saklı bir fonksiyonu enbüyüklemek olduğu için, bu ise sadece indirgemeyi güncellemenin bu kısmında olası kılan uygun bir fonksiyon yaklaştırma sistemi kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Q öğrenmesinde bir keşif-sömürü (exploration-exploitation) ödünleşimi olmasına rağmen, *Q* fonksiyonu optimal Q^* eylem-değer fonksiyonuna yakınsayacaktır. *Q*-öğrenmesi değer iterasyonundan şu noktalarda farklılık gösterir: *Q*-öğrenmesi, durumlardan durum değerlerine bir eşleme bulmaktan ziyade *Q* değerleri olarak adlandırılan durum-eylem çiftlerinden değerlere bir eşleme bulur [9].

4. *Q*-Öğrenmesi Yoluyla Paraşütlü İndirme Sistem Denetimi

4.1 Algoritma

Q-öğrenme algoritması ödülün en fazla olduğu yönlendirici kuralı seçerek durum değişimine yol açmaktadır. *Q*-öğrenme algoritmaları birikimli ve birikimsiz olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Bu çalışmada ele alınan yöntem önceki durumları hesaba katmayı gerektirmeyen birikimsiz *Q*-öğrenme algoritmasına dayanmaktadır.

4.1.1. Durumlar

Sistemimizde göz önüne alınan durum değişkeni paraşüt alanı A_e'ye ait olanıdır. Bir başka değişkende ise içinde bulunulan durum tutulmaktadır. Ana program ilk koşturulduğunda başlangıç değerlerini çağırdığı için, özellikle paraşüt alanınına ait başlangıç değerinin 140–200 m^2 arasında gözlemlendiği bir aralıktan seçimi, programı daha az iterasyonda dolayısıyla daha az zaman içersinde arzu edilen sonuca yaklaştırdığından kaydı son derece önemlidir.

Başlangıçta sistem durumu hızın yüksekliğe göre değişimi olarak göz önüne alınır iken, bu değişimin sistem dinamiğinin en belirgin öğesi olması ve hamleyi temsil edebilmesi nedeniyle sistem durumu olarak A_e paraşüt alanının daha uygun düşeceği kanaatine varmış bulunuyoruz.

4.1.2. Hamleler (Moves)

Sistem durumundaki değişim hamle olarak tanımlanır. Burada ele alınan sistem için iki çeşit hamle söz konusudur: Pozitif veya negatif hamle. Pozitif hamle *Q*-öğrenme denetimi boyunca sistem durumunun sayısal değerini arttırırken negatif hamle azaltmaktadır. Sırasıyla A_{e+} ve A_{e-} ile gösterilen pozitif ve negatif hamlelerin tanımları, ρ hamle boyutu olduğunda aşağıdaki eşitlikle verilecektir:

$$\begin{aligned} A_{e+} &\Rightarrow A_e \leftarrow A_e + \rho \\ A_{e-} &\Rightarrow A_e \leftarrow A_e - \rho \end{aligned} \quad (6)$$

Algoritma ödülü bir kez belirledikten sonra *Q*-öğrenme denetimi boyunca her keresinde daha fazla ödül getirecek hamleyi tercih edecektir. Arka arkaya iki ödülünde negatif olduğu durumda çözümün iki durum arasında tıkandığı anlaşılacaktır. Bu tıkanıklığı gidermek, dolayısıyla öğrenme boyunca hassasiyeti arttırmak üzere $\rho \leftarrow \rho / 2$ ayarlaması ile hamle boyutu küçültülüp algoritma bu şekliyle koşturulmaktadır. Bu ancak adına top yuvarlanması denilen fiziksel olay ile bağ kurarak açıklanabilir. Buna rağmen çok fazla hassasiyetin algoritmanın hızını yavaşlatıp öğrenmeyi olumsuz yönde etkilemesi söz konusu olacağından bu çalışmada adım küçültmeye sürekli başvurulmamış dolayısıyla en küçük hamle

boyutunun tecrübe ile 0.25 olmasının uygun olduğu kanaatına varılmıştır.

4.1.3. Ödül

Amaçlarımızdan biri zamanı en aza indirmek olduğu için ödül fonksiyonu zaman ile ters orantılı olarak değişecek şekilde tanımlanmıştır. Bir diğer amaç ise belirli sınırları aşmayan bir fonksiyon elde etmek olduğundan, sınırı aşan bir fonksiyon negatif değerle ödüllendirilerek öğrenme esnasında söz konusu sınır noktasının bir daha ziyaret edilmesinin önüne geçilmesi arzu edilmiştir. Öğrenme algoritmasının girişine A_e uygulanır ve çıkışından v çarpma hızı, f maksimum ip gerilmesi ve t zamanı alınır. Ödül fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$1000\left(1/t - e^{C_1(V-V_{max})} - e^{C_2(F-F_{max})}\right). \qquad (7)$$

Burada 1000 sabiti, değeri keyfi olarak belirlenen bir ölçekleme katsayısı görevini görür. Ayrıca ödül fonksiyonu ile t zamanı arasında daha önce ifade edildigi gibi $1/t$ ile ifade edilen bir ters orantı mevcuttur. t'nin yerine tercihan onun ikinci ve/veya üçüncü dereceden polinomlarının yer aldığı bir ifade paydada kullanılabilir. Fakat biz daha sade ve etkili olduğunu düşündüğümüz salt t değişkenini paydada kullanmayı öngördük. (7) ifadesinde yer alan iki üstel fonksiyon limit durumlarını belirlemektedir. C sabitleri genelde büyük sayılar seçilir. Böylece eğer üs negatif ise çok küçük, üs pozitif ise çok büyük bir pozitif sayı ile karşı karşıya kalınacağından, dolayısıyla sonucu sıfıra yakın olanı çıkarma işlemine tesir etmezken, sonucu çok büyük bir pozitif sayı olanı ise ödül fonksiyonunu neredeyse negatif sonsuza götürecektir. Bu ödül fonksiyonu sistem durumuna karşı düşen ödülü verir. Bu ne kadar anlamlı olsa da, bizce daha anlamlı olanı ardıl iki duruma karşı düşen ve adına bağıl ödül diyebileceğimiz ödüller arası farkla ifade edilendir ve bu fark aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$R(eylem) = \Delta R = R_1 - R_2 \,. \qquad (8)$$

Bu bağıl ödül hamle sonucunda elde edilecek ödüldür ve eylemin bir fonksiyonudur. Hamlelerden yüksek ödül getireni politikamızı oluşturmaktadır.

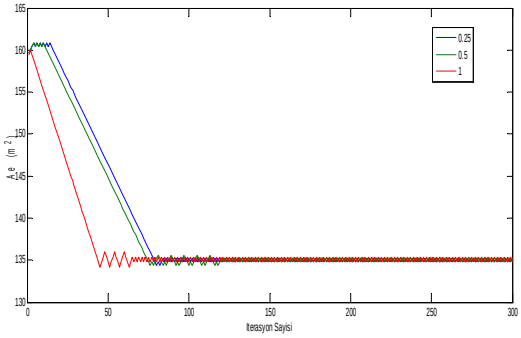
5. Sayısal Deneyler

Q-öğrenmesi denetim stratejisi kullanımının etkinliğini doğrusal olmayan dinamik sistem davranışını manipüle ederek göstermek üzere önceki bölümlerde gerekli eşitlikleri ile ifade edilen bir paraşütlü indirme sistemini göz önüne aldık. Denetleyicinin esas amacı paraşütlü indirme sisteminin başlangıçta öngörülemeyen hareketinin arzu edilen komut sınırları içerisinde kalmasını sonuçta öğrenecek biçimde düzenlemektir. Burada problem, verilen durum içersinde alınan Q değerlerinin bir fonksiyonu olarak uygun eylem sırasını bulmaktır. Öyle ki, paraşütlü indirme sistemi nihai olarak istenen komut sınırları içersinde kalmasını öğrenir. Etkin alan limitleri deneylerimizde [0, $A_{e_{ust}}$] olarak seçilmiştir.

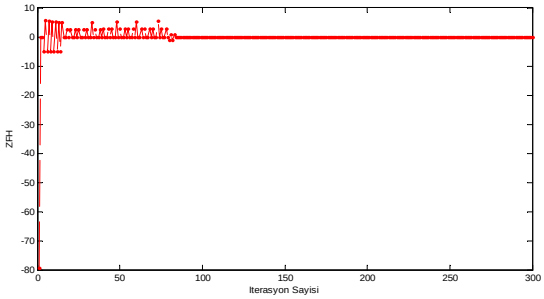
Literatürde *rezidüel* olarak adlandırılan *artık* ifade aşağıdaki gibi tanımlanır. Bu ifade aynı zamanda *zamansal fark hatası* (ZFH) (temporal difference error) olarak da bilinir:

$$ZFH = r + \gamma Q(s', a') - Q(s, a) \,. \qquad (9)$$

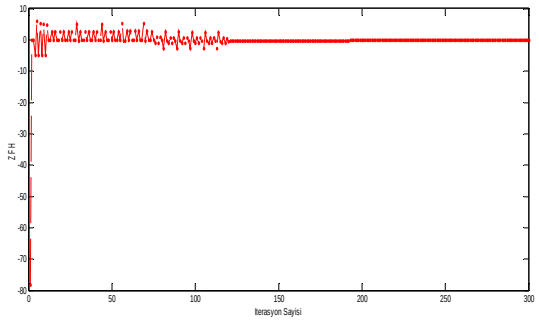
Şekil 3, $\gamma = 0.95$ indirim oranı ve 0.25, 0.5 ve 1.0 muhtelif öğrenme oranları için sistem durum değişkeni olan etkin alanı bir defada göstermektedir. Şekiller 4, 5, ve 6 yine $\gamma = 0.95$ indirim çarpanı için sırasıyla rezidüel davranışın burada iterasyon sayısı ile ifade edilen zaman içersindeki değişimini göstermektedir. Q-öğrenmesi bir sonlu zamanda yüzde yüz olasılıkla doğru Q değerlerine yakınsadıkça, sonuç, bir kayıp fonksiyonu gibi sıfıra gitme eğiliminde olan Q değerlerinin evrimini başarıyla göstermektedir. Şekil 7' de ödül fonksiyonunun etkin alan ile değişimine karşılık aldığı değerler verilmektedir. Benzetimlerden çıkarılacak önemli sonuçlardan bir tanesi optimaliteye yakınsama (oranı) ile optimal yönlendirme kuralını öğrenmek üzere öğrenme oranı seçimi arasında bir ödünleşime ihtiyaç duyulabilmesidir.



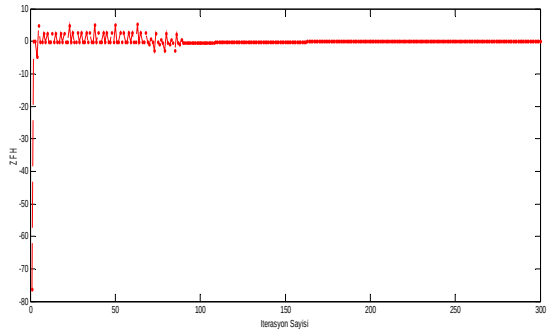
Şekil 3. Çeşitli öğrenme oranları (*0.25, 0.5* ve *1*) için paraşüt alanı değişimi.



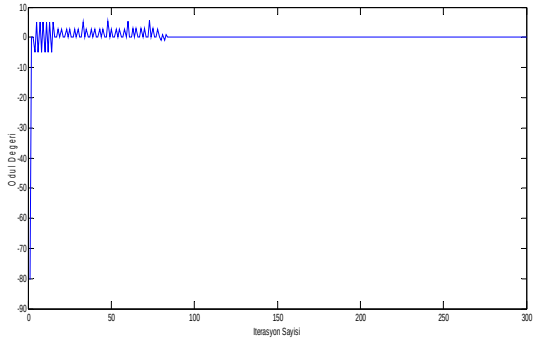
Şekil 4. Öğrenme oranı 0.25 için Zamansal Fark Hatası (ZFH)



Şekil 5. Öğrenme oranı 0.5 için Zamansal Fark Hatası (ZFH)



Şekil 6. Öğrenme oranı 1.0 için Zamansal Fark Hatası (ZFH)



Şekil 7. Ödül fonksiyonu.

6. Sonuç

Bu çalışmada, verilen bir sistem durumu içinde alınan *Q* değerlerinin bir fonksiyonu olarak en iyi (optimal) eylemleri değerlendirmek üzere doğrusal olmayan bir paraşütlü indirim denetim problemi ele alınmıştır. Öyle ki problem nihai olarak arzu edilen denetim sınırları içersinde kalmayı öğrenir. Sistemi hedef sınırlar arasında tutmak için en iyi olası durum-eylem çiftlerini gerçekleştiren bir olasılık tabanlı *Q* öğrenme algoritması seçilmiştir. İlk bulgular son derece ümit vericidir; yine de yakın gelecekte en son takviyeli öğrenme algoritmalarını birleştiren ve arıtan daha kapsamlı bir araştırma yürütülmesini hedeflemekteyiz.

7. Kaynakça

[1] G. Jiang ve C. Wu, (1999),"Inventory Control Using Q-Learning," ACTA Automatica Sinica, Cilt. 25, no. 2.

[2] D. Gu ve H. Hu, (2005) **"**Teaching robots to plan through Q-learning," Robotica, Cilt **23**, no. **2**, s. 139-147, Cambridge University Press.

[3] R. H Crites ve A. G. Barto, (1996), "Improving elevator performance using reinforcement learning," Advances in Neural Information Processing Systems, Cilt 8, s. 1017-1023.

[4] N. Taghipour ve A. Kardan, (2008), "A hybrid web recommender system based on Q-learning," Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing, s. 1164-1168.

[5] F. Samreen ve M. S. H. Khiyal, (2007), "Q-Learning Scheduler and Load Balancer for Heterogeneous Systems", Journal of Applied Science, Vol. 7, sayı 11, s.1504-1510.

[6] T. W. Knacke, (1992), "Parachute Recovery Systems Design Manual," Para Publishing, Santa Barbara, California, ABD.

[7] R. S. Sutton, (1990), "Integrated Architectures for Learning, Planning, and Reacting Based on Approximating Dynamic Programming,"Appeared in Proceedings of the Seventh Int. Conf. On Machine Learning, s. 216-224, Morgan Kaufmann.

[8] R. S. Sutton ve A. G. Barto, (1998), "Reinforcement Learning: An Introduction," MIT Press/Bradford Books, Cambridge MA.

[9] L. P. Kaelbling, M. L. Littman, M. L., ve A. W. Moore, (1996), "Reinforcement Learning: A Survey," Journal of Artificial Intelligence Research, Cilt 4, s. 237-285.

BETON DELME AMAÇLI ÇUKUR İMLA BENZETİMLERİ

M. Sarper YAVUZ [(a)], R. Orhan YILDIRIM [(b)]

[(a)] TÜBİTAK-SAGE, P.K. 16, 06261, MAMAK, Ankara, syavuz@sage.tubitak.gov.tr

[(b)] Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Müh. Böl., 06531, Ankara, orhany@metu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada astar malzemesi olarak alüminyum kullanılan çukur imlalarda, alüminyum cinsinin, çukur imlanın beton hedef üzerinde yarattığı tahribata etkisi sayısal çözümlemeler yapılarak incelenmiştir. AUTODYN yazılımı kullanılarak yapılan iki boyutlu sayısal çözümlemelerde, önce seçilen 10 farklı alüminyum malzeme için çukur imla jetlerin oluşumları, daha sonra bu jetlerin farklı çukur imla-hedef ara mesafelerinde 35 MPa bası dayanımına sahip beton hedef üzerindeki delme etkinlikleri modellenmiştir. Ayrıca aynı geometrik özelliklere sahip tek bir çukur imla astarı malzemesi kullanılarak (Al 7075-T6) ara mesafe değiştirilmiş ve delme derinliğinin ara mesafe ile etkileşimi incelenmiştir. Yapılan analizlerde konik astar açısı 100° olarak alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, AUTODYN, Beton, Çukur İmla, Delip Geçme

SIMULATIONS ON CONCRETE PENETRATION OF SHAPED CHARGE

ABSTRACT

In this paper, the effects of the use of various aluminum materials as liner material in shaped charge for perforation of concrete slabs are examined with numerical analyses. Using AUTODYN-2D software formation of the shaped charge jets for 10 different aluminum materials are modeled first and then these jets are directed to 35 MPa compressive strength concrete slabs. Those analyses are performed for a thickness of %8 of shaped charge diameter. Furthermore, the effect of stand-off on penetration of concrete slabs is examined by using shaped charges having the same geometry and liner material (7075-T6). The cone angle of the shaped charge is taken as 100^{o}.

Keywords: Aluminum, AUTODYN, Concrete, Penetration, Shape Charge

1. GİRİŞ

Çukur imla teknolojisi ilk defa maden mühendisleri tarafından 1700'lü yılların sonunda

kullanılmıştır. Bu teknoloji I. Dünya Savaşı yıllarında Almanlar tarafından ilk defa silah sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya savaşı yıllarında söz konusu teknolojide yapılan bazı değişiklikler ile beton duvarların ve zırhların nispeten çok az bir patlayıcı ile tahrip edilmesi sağlanmıştır. Çukur imla en basit şekli ile bir kenarında metal bir astarla kaplanmış konik bir boşluğa sahip ana patlayıcı, söz konusu ana patlayıcıyı muhafaza eden bir gövde ve ana patlayıcı tetikleyen ikincil bir patlayıcı bileşenlerinden meydana gelir [1]. İkincil patlayıcı, ana patlayıcıyı ateşledikten sonra, kullanılan patlayıcı cinsine göre hızı 5000 ile 10000 m/s arasında değişen bir detonasyon dalgası oluşur. Söz konusu detonasyon dalgası patlayıcı boyunca ilerler ve patlayıcının diğer kenarında bulunan konik metal astara çarpar. Detonasyon dalgasının metal astara çarpması ile koni dış yüzeyinde ani olarak çok yüksek bir basınç artışı meydan gelir, bu durum koni şeklindeki metal astarın koni yüzeyine yaklaşık olarak dik doğrultuda çökmesine neden olur. Bunun sonucunda yüksek kinetik enerjiye sahip metal partikülleri simetri nedeni ile eksen üzerinde toplanır ve bu eksende ileri doğru hareket etmeye başlarlar. Simetri ekseni üzerinde oluşan bu yüksek enerjili yapıya çukur imla jeti denir. Oluşan jetin hızı, kullanılan astar malzemesine göre değişmekle birlikte 10 km/s'nin üzerine kadar çıkabilmektedir [1]. Çukur imla jetinin önüne bir engel konulduğunda sahip olduğu yüksek enerji sayesinde hedefi tahrip etmekte ve hedef üzerinde derin bir delik oluşturmaktadır. Fakat jet üzerinde hız sabit olmadığı için jet parçalanana kadar uzamaktadır [1]. Çukur imlalı mühimmatların kullanım alanları ilk başlarda, zırhlı hedefler ile sınırlı kalmış [1], sonraki yıllarda betonarme yapıların da tahrip edilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. Hedef üzerinde istenilen etkinliğin sağlanabilmesi için farklı hedef tiplerine göre farklı çukur imla tasarımlarının yapılması gerekmektedir.

Özellikle farklı hedef tiplerine göre, kullanılan çukur imlalarda kullanılan astar malzemeleri ve geometrileri değişiklik göstermektedir. Çelik zırhlara karşı genellikle çukur imla malzemesi olarak bakır [1] kullanılırken, beton hedeflere karşı daha düşük yoğunlukta olan alüminyum [2-4] tercih edilmektedir. Alüminyum astar içeren çukur imlalar bakır astar içeren çukur imlalara göre daha yüksek çaplarda delik açabilmektedir [5].

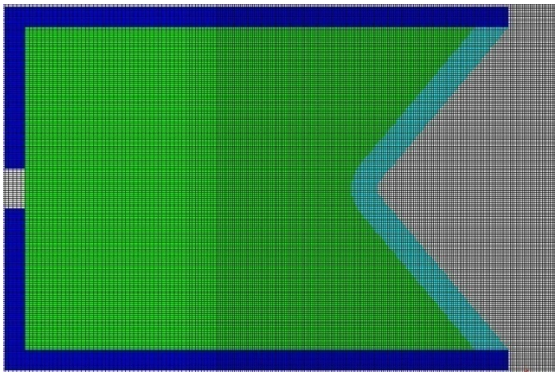
Çukur imlanın delme etkinliğini belirleyen önemli parametreler şunlardır: Astar geometrisi, astar malzemesi, astar kalınlığı, astar çapı, patlayıcı cinsi ve miktarı, gövde malzemesi, kalınlığı, geometrisi ve çukur imla-hedef ara mesafesidir. Bu çalışmada sabit açılı konik bir astara sahip çukur imlada, astar malzemesi olarak kullanılan alüminyum cinsinin ve astar kalınlığının, farklı çukur imla hedef ara mesafelerinde 35 MPa basma dayanımına sahip beton hedef üzerindeki delme etkinliğine etkisi sayısal yöntemler kullanılarak araştırılmıştır.

2. SAYISAL MODELLEME

Tüm çözümlemeler AUTODYN-2D yazılımında, eksenel simetrik olarak yapılmıştır. Sayısal çözücü olarak genellikle akışkan modellemelerinde kullanılan Euler çözücüsü kullanılmıştır. Euler çözüm ağında hücreler uzayda sabit kalmakta ve malzeme hücreler boyunca ilerlemektedir [6]. Euler çözüm ağı, yüksek deformasyonlarda avantaj sağladığı için yüksek deformasyon içeren katı modellemelerinde de kullanılmaktadır. Çukur imla jetinin oluşumu sırasında astar malzemesindeki gerinim değeri 10'a kadar çıkabilmektedir [1]. Bu durumda,

sayısal hesapların yapılabilmesi ve daha doğru sonuçların alınabilmesi için, yapılan modellemelerde Euler çözücüsü kullanılmaktadır.

Çözümlemelerde çukur imla modellenirken deformasyonun daha fazla olduğu bölüm olan astar kısmında küçük elemanlar kullanılmış (0.5 mm x 0.5 mm boyutlarında), arka kısımda ise 1 mm x 0.5 mm boyutlarında Euler çözüm ağı kullanılmıştır. İki çözüm ağı arasında ise geçiş bölgesi olarak 0.75 mm x 0.5 mm boyutlarında elemanlar kullanılmıştır. Şekil 1, kullanılan elemanları göstermektedir.



Şekil 1. Analizlerde Kullanılan Çözüm Elemanları

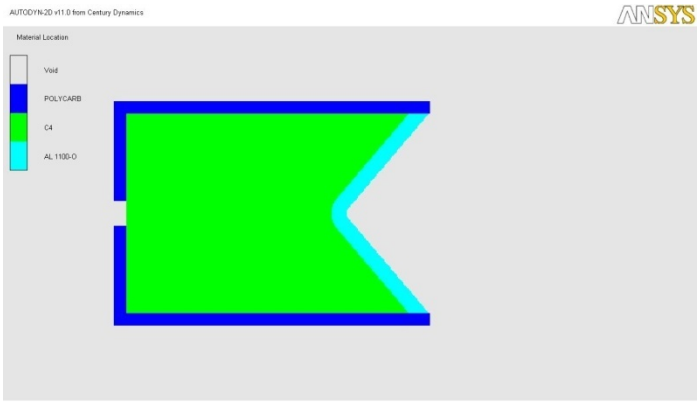
Sayısal çözümlemelerde kullanılan malzemeler için gerekli olan durum denklemleri ile dayanım ve bozulma modelleri, AUTODYN malzeme kütüphanesinden alınmıştır [7]. Çizelge 1' de alüminyum, beton ve patlayıcı malzemeler için kullanılan modeller verilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan Durum Denklemleri ile Dayanım ve Bozulma Modelleri [7]

Malzeme	Durum Denklemi	Dayanım Modeli	Bozulma Modeli
Beton	P Alpha	RHT Concrete	RHT Concrete
C4	JWL	-	-
Al 1100-o	Şok	Steinberg Guinan	-
Al 2024-T4	Şok	Steinberg Guinan	-
Al 2024-T351	Şok	Johnson Cook	-
Al 5083-H116	Lineer	Johnson Cook	-
Al 6061-T6	Şok	Steinberg Guinan	-
Al 7039	Şok	Johnson Cook	-
Al 7075-T6	Şok	Steinberg Guinan	-

Şekil 2'de analizlerde kullanılan çukur imla modeli verilmiştir. Analizlerde 10 farklı alüminyum malzeme kullanılmıştır. Bunlardan 7 tanesi içerik olarak farklı olup 4 tanesi ısıl işlem açısından farklılık gösteren malzemelerdir. Sırasıyla analizlerde kullanılan malzemeler şunlardır: Al1100-O, Al 2024, Al 2024-T3, Al2024-T4, Al2024-T351, Al5083-H116,

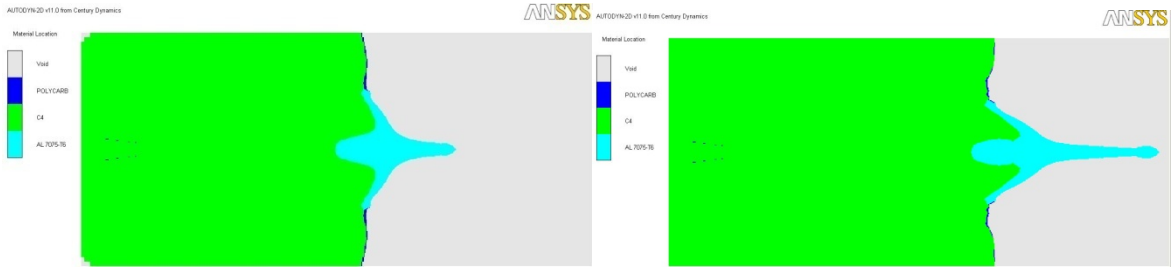
Al6061-T6, Al7039, ve Al7075-T6. Modellerde, astar kalınlığı, çukur imla çapının %8'i olarak alınmıştır. Astar açısı ise 100 derece olarak sabit tutulmuştur. Yapılan betimlemelerin önemli kısmını oluşturan ara mesafe değerleri 1 ve 2 çukur imla çapı (CD) olacak şekilde modellenmiştir. Çukur imlanın uzunluğu da çapının 1.5 katı olarak öngörülmüştür. Patlayıcı olarak C4, kapak malzemesi olarak ise "polycarbon" malzemeleri kullanılmıştır. Yapılan çözümlemelerde beton hedefler için bası dayanımı olarak 35 MPa kullanılmıştır.



Şekil 2. Analizlerde Kullanılan Çukur İmla Modeli

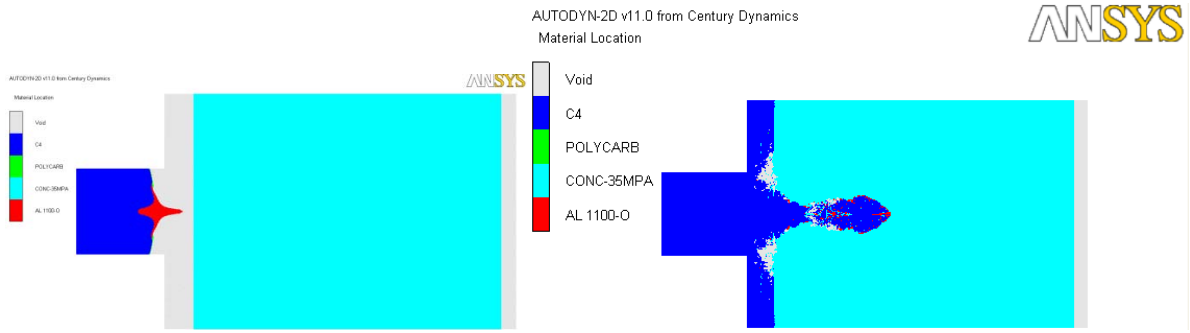
3. SAYISAL ÇÖZÜMLEME SONUÇLARI

Modeller jet oluşumunu görebilmek için öncelikle önlerinde hedef olmadan koşturulmuştur. Şekil 3'te, 1 ve 2 CD ara mesafelerde oluşmuş örnek jetleri göstermektedir.



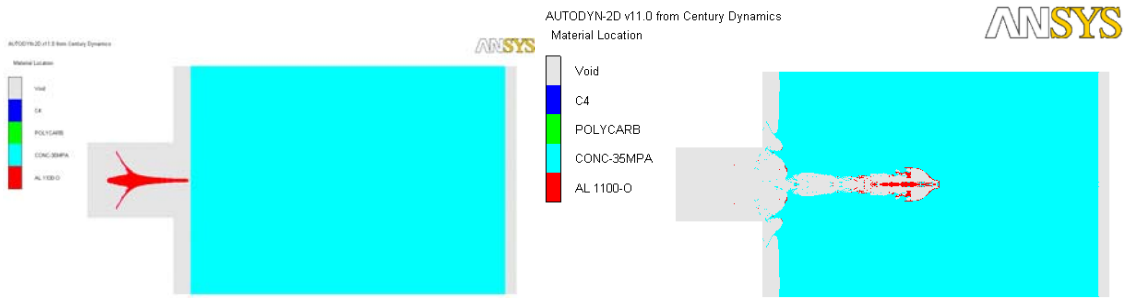
Şekil 3. 1 ve 2 CD Ara Mesafelerindeki Jet Örnekleri

Oluşturulan jetler beton hedefleri barındıran 2D modellere aktarılarak jetlerin hedef üstündeki tahribatı gözlemlenmiştir. Analizler, her ara mesafe için jetin beton içinde enerjisini büyük oranda kaybetmesine kadar devam ettirilmiş ve delme derinliği değerleri çıkarılmıştır. Şekil 4, 1 CD için koşturulan analizlerin bir örneğini göstermektedir.



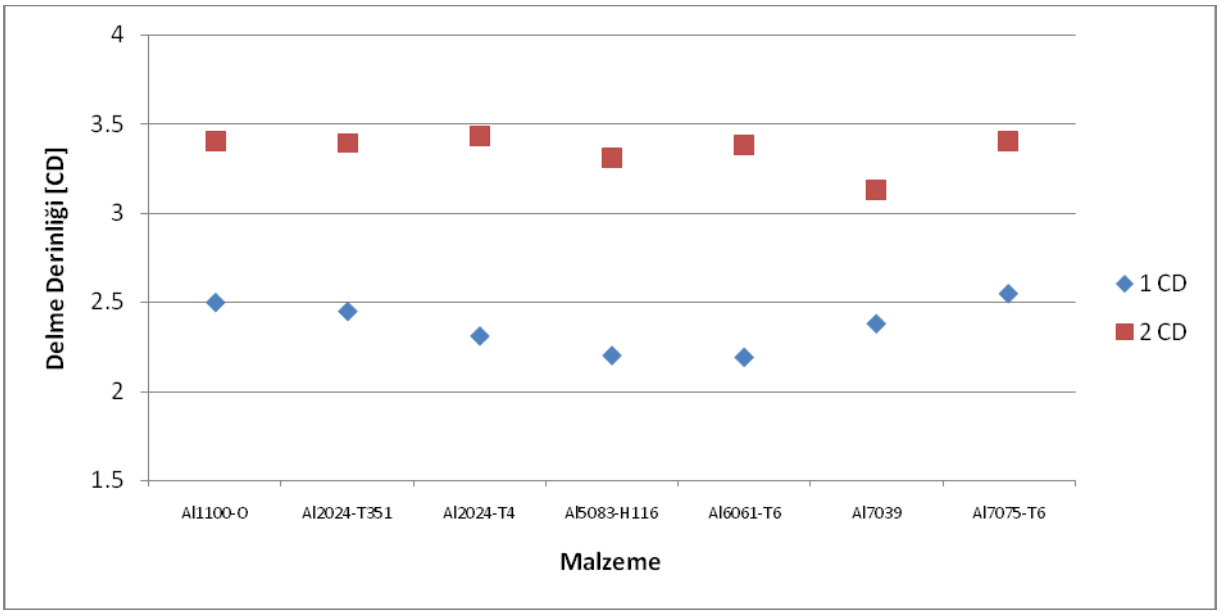
Şekil 4. 1 CD Ara Mesafesindeki Jetin Beton Delme Analizi

1 çukur imla çapı (1 CD) ara mesafesinde patlayıcı hala jete enerji vermeye devam ettiği için beton hedef benzetime dahil edilmiş ve patlayıcı silinmemiştir. Buna karşılık, 2 CD ara mesafesinde patlayıcı enerjisinin büyük bir kısmının jete aktarılmış olduğu anlaşıldığı için hedefe çarpma anında patlayıcı silinmiş ve bu şekilde analizler koşturulmuştur. Şekil 5, 2 CD için koşturulan analizlerin bir örneğini göstermektedir.



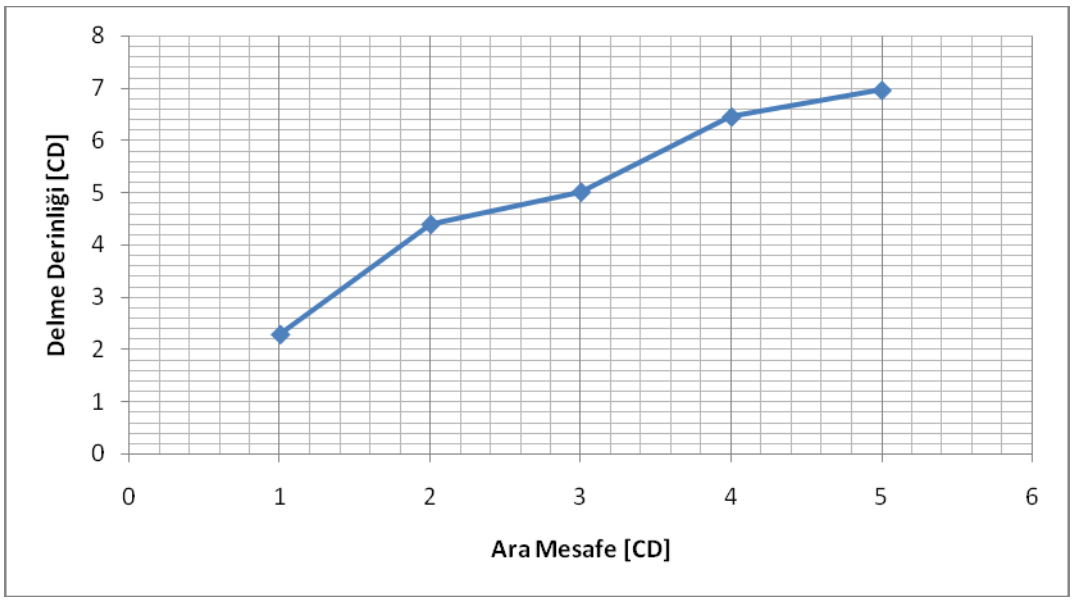
Şekil 5. 2 CD Ara Mesafesindeki Jetin Beton Delme Analizi

1 CD ve 2 CD ara mesafeleri için elde edilen sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi 1 CD ara mesafesi için beton delme etkinliği açısından farklı aluminyum türlerinin kullanılmasının çok önemli bir fark yaratmamaktadır. Benzer şekilde, 2 CD ara mesafesi için de beton delme etkinliği açısından farklı alüminyum türleri kullanılmasının önemli bir fark yaratmadığı gözlemlenmiştir..



Şekil 6. 1 ve 2 CD Ara Mesafesindeki Beton Hedefe Atılan Jetlerin Delme Derinliklei

Hedef üzerinde oluşan delik profilinin derinliğinin ara mesafe ile etkileşimini incelemek için %8 CD kalınlığına sahip 7075-T6 alüminyum malzemeden oluşan çukur imla astarı önceki konfigürasyona sahip çukur imla ile modellenmiş ve beton hedef, çukur imlanın koni tabanından 1 CD ile 5 CD uzaklığına kadar olan mesafelere yerleştirilmiştir. Pratik olarak, ara mesafe için 5 CD değeri bu tür uygulamalar için üst sınır olarak kabul edilebileceğinden daha yüksek ara mesafe değerleri incelenmemiştir. Ara mesafenin belirli bir değeri aşması durumunda jette parçalanma meydana gelmektedir. Jetin parçalanması ise delme derinliğinin düşmesine neden olmaktadır. Şekil 7 dikkate alınan ara mesafe değerlerindeki delme derinliğinin değişimini göstermektedir. 5 CD ara mesafe değerine kadar beton hedeflerde oluşan delme derinlikleri azalma eğilimi göstermemiştir. Bu nedenle, benzetimi yapılan çukur imla için optimum ara mesafesinin 5 CD'den daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7. Ara Mesafe - Delme Derinliği Grafiği

4. SONUÇ

Yapılan benzetimler sonucunda beton hedeflere karşı kullanılan alüminyum astarlı çukur imlalarda kullanılacak astar malzemesinin delme derinliğine etkisinin ara mesafe kadar etkin olmadığı görülmüştür. Ara mesafe için ise, delme derinliğinin 1 çukur imla çapı ara mesafesinde düşük olduğu, ara mesafenin arttırılması ile delme derinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Ara mesafenin arttırılması jetin uzamasına ve delme derinliğinin artmasına neden olmaktadır. Bu etki Şekil 7'de bariz olarak görülmektedir. Ancak, ara mesafenin çok arttırılması durumunda jette kopmalar ve bunun sonucunda saçılmalar görüneceğinden delme derinliği belirli bir ara mesafe değerinden sonra azalacaktır. Sonuç olarak, çukur imlalı mühimmat tasarımında mühimmatın optimum ara mesafede ateşlenmesi arzu edilirken, zırh tasarımında ise bu mühimmatın optimum ara mesafeden daha uzak veya daha yakın bir mesafede etkisiz hale getirilmesi ile ilgili önlemler alınması gerekmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar TÜBİTAK-SAGE'ye AUTODYN yazılımının kullanılmasına izin verdiği için, Sayın Ç. Görkem Bingöl'e katkıları için teşekkür ederler.

8. KAYNAKÇA

[1] WALTERS W.P. ve J.A. ZUKAS (1989), "Fundamentals Of Shaped Charges' , pp.2-45.

[2] MURPHY M.J. (1983) , "Shaped Charge Penetration In Concrete: A Unified Approach", Doctor Of Engineering Thesis,

[3] MURPHY M.J., RANDERS-PEHRSON G., KUKLO R.M., RAMBUR T. A., SWITZER L. L., SUMMES M. A. (2003), "Experiments and Simulations of Penetration into Granite by an Aluminum Shaped Charge"

[4] MURPHY M.J. ve HENDERSON J. M., (1983), "Computer Simulation of Concrete Penetration by Shaped Charge Jets"

[5] MURPHY M.J., KUKLO R M. (1999), "Fundamentals Of Shaped Penetration In Concrete" 18th International Symposium On Balistics

[6] AUTODYN Manual (2007)

[7] AUTODYN Material Library, (2007)

KIRILGAN BİR MALZEME ÜZERİNDEKİ YAĞMUR EROZYONUNUN SAYISAL BENZETİM İLE İNCELENMESİ

H. Anıl SALMAN [(a)], Prof. Dr. R. Orhan YILDIRIM [(b)]

[(a)] ASELSAN A.Ş. MGEO Grubu PK 30 Etlik 06011, hasalman@mgeo.aselsan.com.tr

[(b)] Prof. Dr., Makine Müh. Böl., ODTÜ - ANKARA, orhany@metu.edu.tr

ÖZ

Bu bildiride, kırılgan bir malzemenin yağmur erozyonuna karşı dayanımı ve deformasyon karakteristiği doğrusal olmayan, açık yapısal çözümleme yazılımı olan LS-Dyna kullanılarak incelenmiştir. Su damlacığı değişik kalınlıklardaki "Silica Float Glass" malzemeye değişik hızlarda 90^0 açı ile çarptırılmıştır. Benzetimlerde su damlacığı ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) çözümleme tekniği ile modellenmiştir. Kırılgan malzeme üzerinde oluşan deformasyonların incelenmesinde hasar denklemleri içeren "Johnson_Holmquist_Ceramics" (JH-2) malzeme modeli kullanılmıştır. Geometri, sınır koşulları ve eleman silinmesi için seçilen kırılma gerinim değerine bağlı olarak deformasyonun gerçekleştiği minimum çarpma hızı ile minimum kalınlık miktarı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar su koçunda hesaplanan basınç ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ALE; Johnson Holmquist; Kırılgan malzeme; Silica Float Glass; Yağmur erozyonu

INVESTIGATION OF RAIN EROSION ON A BRITTLE MATARIAL BY MEANS OF NUMERICAL SIMULATION

ABSTRACT

In this work, the resistance and deformation characteristics of a brittle material against rain erosion are examined by using a non-linear, explicit software LS-Dyna. The waterdrop with varying speeds impinges at 90^0 on Silica Float Glass plates having different thicknesses. In the simulations ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) method is used for modelling of the waterdrop. In order to analyse the deformations on the brittle material Johnson_Holmquist_Ceramics (JH-2) material model which contains damage equations is used. The minimum plate thickness and the minimum speed of the waterdrop which cause damage are determined depending on the geometry, boundary conditions and failure strain value for erosion. The results are compared with the water-hammer pressure.

Keywords: ALE; Brittle materials; Johnson Holmquist; Rain erosion; Silica Float Glass

1. GİRİŞ

Savunma sistemlerinde sıklıkla kullanılan gece görüş ve termal kamera gibi cihazlarda dış ortamdaki kızılötesi ışınları algılayabilmek için optik cam ya da lens gibi kırılgan malzemelere ihtiyaç duyulur. Çalışma koşullarında dış ortam ile direk temas halinde olan camlar yağmur, kum ya da çeşitli küçük parçacıkların göreceli yüksek hızlar ile çarpması sonucu ciddi şekilde hasara uğrayabilmektedir. 1994'de yapılan bir çalışmada [1], yüksek hızlı jet uçaklarında kullanılan elektro-optik sistemlere ait camların parçacık çarpması sonucu hasara uğradığı belirtilmektedir. Bu kapsamda incelenen 1100 adet camdan 200 tanesinde kullanıma engel teşkil edecek şekilde ciddi hasarın oluştuğu rapor edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında camların deformasyonuna neden olan durumlar arasından yağmur erozyonu seçilerek, yüksek hızlı bir su damlacığının cama çarpması sonucu oluşan deformasyon sayısal benzetim kullanılarak incelenmiştir. Bu konu ile ilgili yapılan bir çalışmada su damlacığının belirlenen hedefe çarptırılması sonucu oluşan gerilme dalgaları ve sehim miktarları LS-Dyna'nın temellerini oluşturan Dyna-3D yazılımı kullanılarak incelenmiştir[2]. Sıvı çarpma teorisi ile ilgili yapılan analitik çalışmalardan [3-6] çıkarılan önemli bir sonuç ise, su damlacığının rijit bir yüzeye çarpması durumunda su koçu basıncının oluşmasıdır. Çarpmanın ilk aşamalarında meydana gelen basınç çok kısa süreler için su koçu basıncından daha yüksek değerlere de çıkabilmektedir. Su koçu basıncı çarpan sıvının yoğunluğu (ρ), dalga yayılma hızı (c) ve çarpma hızına (v) bağlı olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$P = \rho c v \tag{1}$$

Su koçu basıncına göre su damlacığının 250 m/s ile çarpması, rijit yüzeyde 371 MPa basınç oluşturmaktadır.

2. BENZETİM YAPISI

2.1. Çözümleme Tekniği

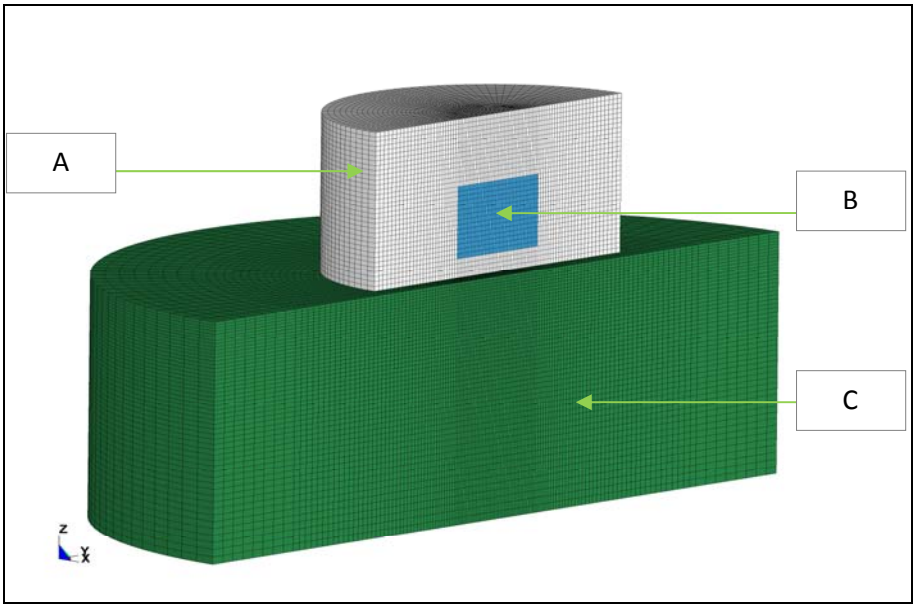
Benzetimlerde su gibi çok fazla şekil değiştiren bir malzeme kullanıldığı için yüksek deformasyonlara izin veren ve akışkan modellenmesinde etkin ALE çözümleme tekniği tercih edilmiştir. Bu yöntemle hazırlanan modeller Ansys Ls-Dyna v.11'de koşturulmuştur.

ALE çözümleme tekniğinde ağ yapısı malzeme hareketinden bağımsız olarak kontrol edilebildiğinden sıvı davranışı doğru bir şekilde yansıtılabilmektedir. Malzemenin şekil değiştirmesinden etkilenilmemesi ve sıvı için sürekli bozulmamış, yeni bir ağ yapısı sağlanabilmesi için ALE benzetimlerinde *boşluk* gibi ekstra bir tanımlamaya ihtiyaç duyulur. ALE çözümleme tekniği ile ilgili detaylı bilgi [7]'de bulunmaktadır.

2.2. Geometri, Başlangıç ve Sınır Koşulları

Çözümleme tekniği için gerekli olan boşluk yapısı ile birlikte model, Şekil 1'de gösterildiği gibi üç geometriden oluşmaktadır. Model boyutları ise Çizelge 1'de

verilmiştir. Başlangıç koşulu olarak su damlacığına –z yönünde ilk hız tanımlaması yapılmıştır. Sınır koşulu olarak silindir şeklindeki Silica Float Glass malzeme çevresindeki tüm düğümlerin ±z yönündeki hareketleri kısıtlanmıştır.



Şekil 1. Modelin kesit görünümü. Boşluk (A), su damlacığı (B), kırılgan malzeme (C).

Çizelge 1. Modelin geometrik ölçüleri.

	Çap (mm)	Boy (mm)
Boşluk (A)	6	3.3
Su Damlacığı (B)	2	1.5
Silica Float Glass (C)	14	5

2.3. Malzeme Modeli

Doğrusal olmayan açık yapısal çözümleme yazılımlarında malzeme davranışını matematiksel formüller ile ifade edilebilen ve bazen tanımlanabilmesi için çok karmaşık parametreler gereken malzeme modellerine ihtiyaç duyulur. Malzeme modellerinin seçimi ve parametrelerin doğru bir şekilde tanımlanması sonuçları büyük ölçüde etkilediği için önemlidir.

Benzetimlerde su ve Silica Float Glass için iki ayrı malzeme modeli gerekmektedir. LS-Dyna'da bulunan malzeme modelleri arasından suyu modelleyebilmek için genel kabul görmüş *MAT_NULL + *EOS_GRUNEISEN kullanılmıştır [8]. Silica Float Glass için ise G. R. Johnson ve T. J. Holmquist tarafından, kırılgan malzemeler için geliştirilen *MAT_JOHNSON_HOLMQUIST_CERAMICS (JH-2) modeli [9] tercih edilmiştir.

Benzetimde kırılgan malzeme için kullanılan JH-2 model parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Silica Float Glass için kullanılan JH-2 model parametreleri [10]

	Özkütle (kg/m^3)	2530
	Kesme Modülü (GPa)	30.4
Dayanım Denklemi Sabitleri	A	0.93
	B	0.088
	C	0.003
	M	0.35
	N	0.77
	Referans Gerinim Hızı (EPSI)	1.0
	Çekme Dayanımı (GPa)	0.15
	Normalize Kırılma Dayanımı	0.5
	HEL (GPa) (Hugoniot Elastic Limit)	5.95
	HEL Basıncı (GPa)	2.92
	HEL Dayanımı (GPa)	4.5
Hasar Denklemi Sabitleri	D1	0.053
	D2	0.85
Hal Denklemi Sabitleri	K1 (GPa) (Bulk Modülü)	45.4
	K2 (GPa)	-138
	K3 (GPa)	290
	Beta	1.0

3. BENZETİM SONUÇLARI

Yapılan benzetimlerde su damlacığının hızı ve Silica Float Glass plaka kalınlığı parametre olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar sabit bir gerinim değerine ulaşarak kırılan (işlemden silinen) elemanların sayısına göre incelenmiştir. Bunlara ek olarak

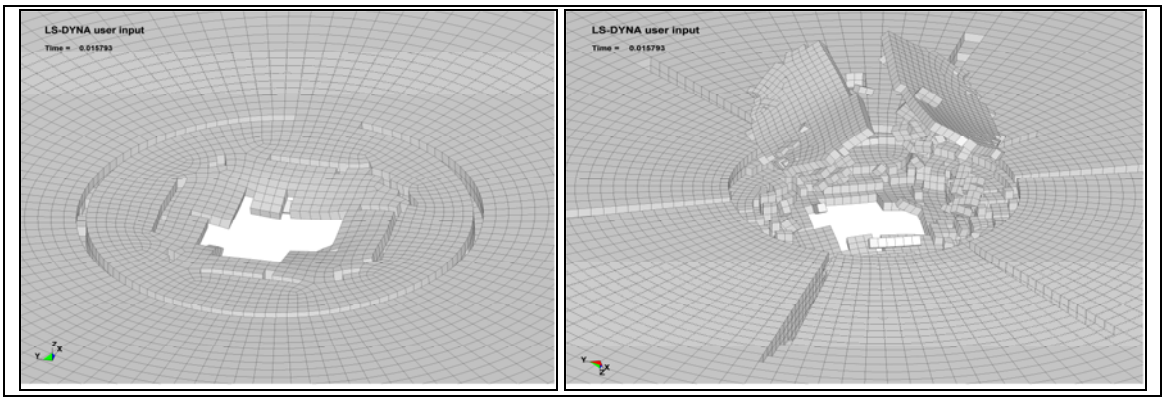
plaka üzerinde bir eleman seçilmiş ve bu elaman üzerindeki basınç dağılımının zamana göre değişimi yağmur damlacığının değişik hızları için incelenmiştir.

3.1. Plaka Kalınlığı

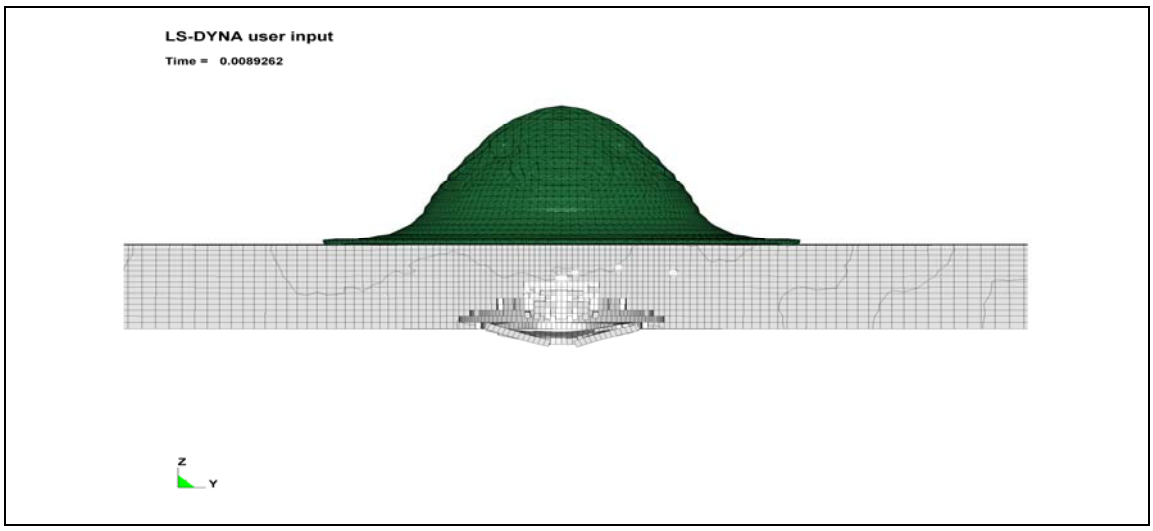
Plaka kalınlığı ile oluşan hasar miktarını ilişkilendirebilmek için su damlacığına 150 m/s'lik sabit hız verilerek plaka kalınlığı 0.4 mm ile 5 mm arasında değiştirilmiştir. Yağmur damlacığının plaka ile çarpışması sırasında oluşan yüksek gerilme ve/veya gerinim sonucunda plakanın ön ve kalınlığına bağlı olarak arka yüzeyinde hasar oluşmaktadır. Benzetimlerde, hasarın %10'luk gerinim değerinde oluştuğu varsayılmıştır. Bu gerinim değerine ulaşan elemanların silinmesi sağlandığından hasarın gözlemlenmesi kolaylaşmaktadır.

0.4 mm kalınlığındaki plakanın damlacığın 150 m/s'lik çarpma hızında delindiği ve arka tarafında malzemenin kırılgan özelliklerine bağlı olarak parçacık kopması olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 2). 1 mm, 2 mm ve 3 mm'lik plakalarda delinme gözlenmemekle birlikte çarpma sırasında oluşan basma gerilme dalgalarının plakanın alt yüzeyinden çekme gerilmesi olarak yansıması sonucunda plaka arkasında yoğun parçacık kopması gözlenmektedir. Plaka arkası parçacık kopması 1 mm plaka için Şekil 3'te görülmektedir. Plaka kalınlığının 4 mm'ye artırılması durumunda plakanın sadece ön yüzeyinde çok az miktarda bir hasar gözlenirken, 5 mm ve üstü kalınlıklarda ise herhangi bir hasar tespit edilmemiştir. Ancak belirtilen bu hasar durumları su damlacığının 150 m/s'lik hızı için geçerli olup daha düşük veya daha yüksek hızlarda hasar karakteristiğinin değişebileceği öngörülmektedir.

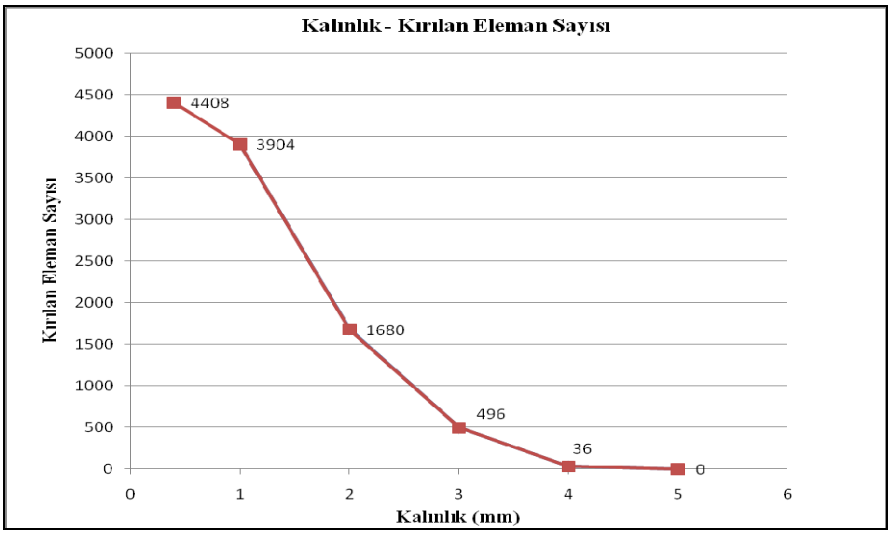
150 m/s'lik su damlacığı hızı için, benzetimde silinen eleman sayısının kalınlığa göre değişimi Şekil 4'de görülmektedir. Her ne kadar benzetimde değişken eleman boyutları kullanılmış ise de silinen eleman sayısı oluşan hasar miktarı hakkında fikir vermektedir. Şekil 4'den de görüleceği üzere plaka kalınlığının azalması ile oluşan hasar miktarının (silinen eleman sayısının) hızla arttığı görülmektedir. Plaka kalınlığının damlacık çapının yaklaşık beşte birine (0.4 mm) düşürülmesi durumunda ise plakadaki deformasyonun maksimuma ulaşarak delindiği gözlemlenmiştir (Şekil 2). Şekil 4'teki eğrinin eğiminin düşük plaka kalınlıklarında azalmasının sebebi hasar miktarının azlığından değil plaka kalınlığının çok düşük değerlere çekilmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2. 0.4 mm kalınlıktaki plakada çarpışma sonrası gözlenen delinme durumu. Ön yüzey (sol), arka yüzey (sağ)



Şekil 3. 1 mm kalınlığındaki plakada gözlenen plaka arkası parçacık kopması durumu.(y-z düzlemindeki kesit görünüm).



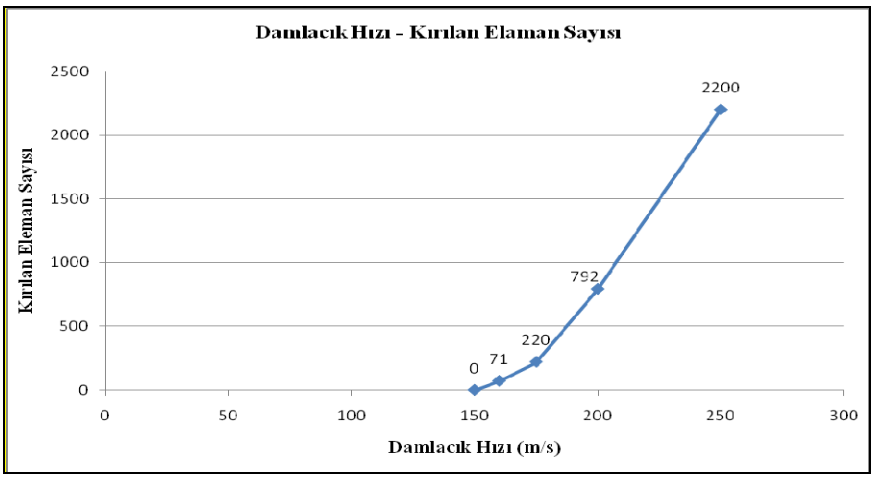
Şekil 4. 150 m/s sabit damlacık hızı ve %10'luk kırılma gerinimi için hasarın (silinen eleman sayısının) plaka kalınlığı ile değişimi.

3.2. Damlacık Hızı

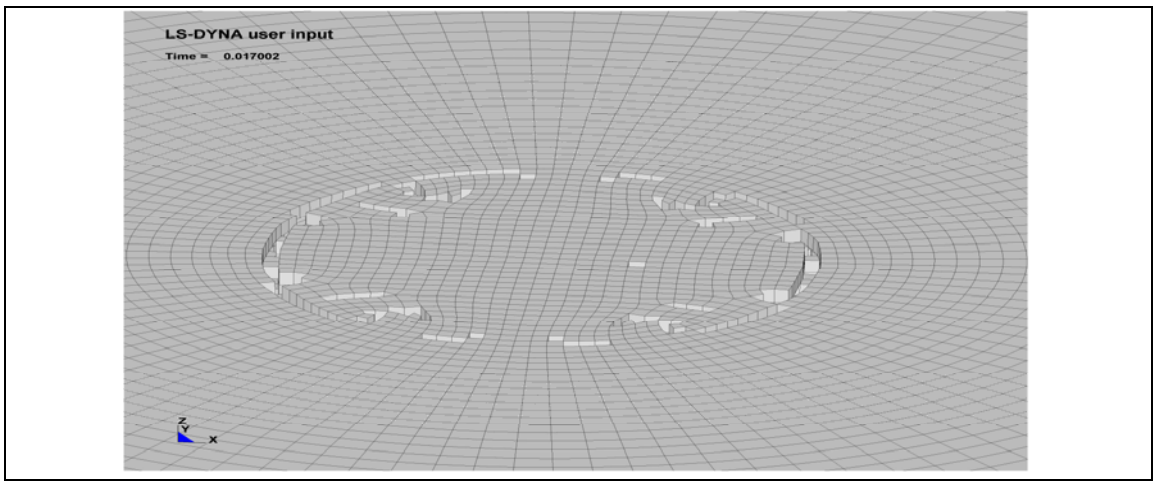
Çizelge 2'de verilen geometri boyutları üzerinden yapılan benzetimlerde su damlacığının hızı değişken olarak alınmış ve elemanların silinmesi için gerinim değeri %10 olarak varsayılmıştır. 5 mm'lik plaka üzerindeki hasar miktarlarının (silinen eleman sayısının) su damlacığının hızı ile değişimi Şekil 5'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere su damlacığının 150 m/s ve altındaki hızlarda hiçbir hasar

oluşmazken su damlacığının artan hızları ile hasar miktarı hızlı bir şekilde artmaktadır. Silica Float Glass'dan mamul 5 mm kalınlıktaki plaka ve 2 mm çapında 1.5 mm uzunluğunda modellenen su damlacığı için hasar oluşturmayan maksimum çarpma hızı 150 m/s olarak bulunmuştur.

Su damlacığının 150 m/s üzerindeki hızlarında oluşan hasarların hepsi plakanın ön yüzeyinde gerçekleşmiştir. Meydana gelen hasar ise, Zwaag'ın [11] belirtildiği gibi, kırılgan malzemeler için tipik, merkezde hasar görmemiş bir bölge ve etrafında dairesel deformasyonlar şeklinde olmuştur. Şekil 6'da su damlacığının 250 m/s ile 5 mm kalınlıktaki plakaya çarpması sonrasında oluşan hasar görülmektedir. Bu deformasyon şekli kırılgan malzemenin çekmeye karşı akma dayanımının basmaya karşı akma dayanımından çok daha az olmasından kaynaklanmaktır.



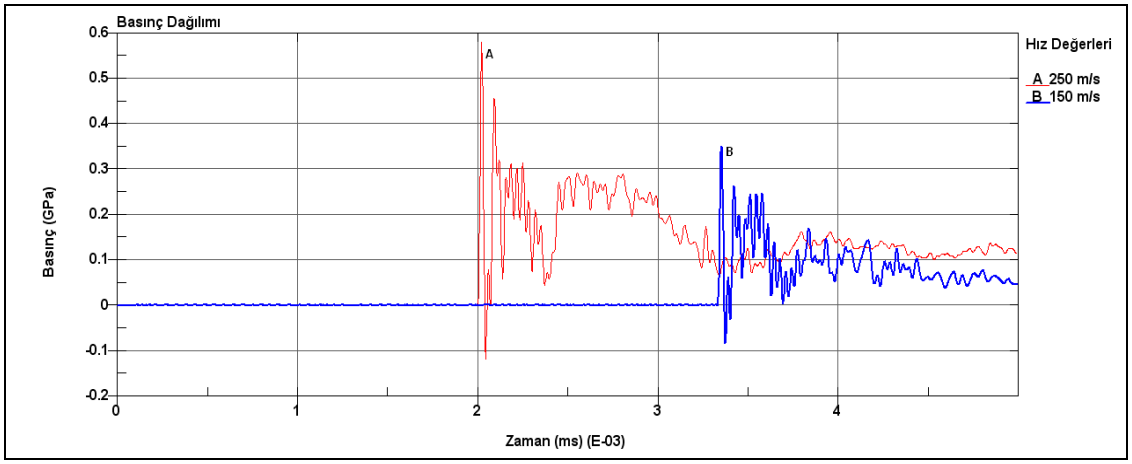
Şekil 5. Plaka kalınlığının 5 mm ve kırılma gerinim değerinin %10 olduğu durumda, damlacık hızının hasar miktarına etkisi.



Şekil 6. Su damlacığının çarptığı bölgenin çevresinde oluşan dairesel hasar.

3.3. Basınç

Çarpışma sırasında oluşan basıncın hesaplanması için su damlacığına 250 m/s ve 150 m/s olmak üzere iki farklı hız verilerek analizler tekrarlanmış ve elemanların silinmesi engellenmiştir. Geometri olarak, plakanın 1 mm kalınlığa sahip olduğu model seçilerek, analiz süresi boyunca basınç dağılımları 1 nano-saniye aralıklarla kaydedilmiştir. Şekil 7'de plaka yüzeyindeki çarpışma bölgesinin merkezinde seçilen bir eleman üzerindeki basınç dağılımı iki farklı hız için çıkartılmıştır. Elde edilen sonuçlardan her iki hızda da basınç değerinin çok kısa bir süre içinde maksimum değere ulaştıktan sonra dalgalanmaya başladığı anlaşılmaktadır. 250 m/s'lik çarpışma hızı için bulunan basınç eğrisinde (A) maksimum değer 580 MPa olup hesaplanan su koçu basıncının (371 MPa) yaklaşık 1.56 katıdır. Yine aynı şekilde 150 m/s'lik çarpışma hızı için bulunan basınç eğrisinde (B) maksimum değer 350 MPa olup hesaplanan su koçu basıncının (222 MPa) yaklaşık 1.57 katıdır. Literatürde [3-6] belirtildiği gibi hesaplanan maksimum değerler su koçu değerinden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 7). Maksimum değerden sonra basıncın yaklaşık su koçu basıncı değerleri civarlarına düştüğü ve göreceli olarak daha uzun süre etkili olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 7. 250 m/s ve 150 m/s'lik damlacık hızlarında kırılgan malzeme üzerindeki basınç dağılımı.

4. DEĞERLENDİRME

Benzetimlerde kırılgan bir malzemenin yağmur erozyonuna karşı göstermiş olduğu davranış şekli plaka kalınlığı ve su damlacığı hızı değiştirilerek incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kırılgan malzemeler üzerindeki yağmur erozyonunda iki önemli deformasyon şekli tespit edilmiştir. Bunlardan birincisi plaka kalınlığının az olduğu durumlarda yüksek deformasyonların gözlenmesidir. Plakanın çok ince olması durumunda hasar maksimuma ulaşıp delinme kaçınılmaz olurken, plaka kalınlığı delinme olmayacak kadar artırıldığında, özellikle plaka arkasından parçacık kopmasına neden olabilecek ağır hasarlar gözlenmektedir. İkinci deformasyon şeklinde ise kalınlığının belli bir değerin üzerine çıkması durumunda plaka arkasında parçacık kopması şeklinde bir deformasyonun oluşmaması, ancak plakanın ön yüzeyinde damlacığın temas ettiği yüzeyin çevresinde dairesel hasarların oluşmasıdır.

Benzetim çalışmaları, askeri alanda kullanılan mercek, cam ve benzeri kırılgan malzemelerin su damlacığı veya benzeri partiküllerin yüksek hızda çarpma olaylarına karşı tasarımında kullanılabilir. Ancak varsayımların ve benzetim çalışmaları sonuçlarının deneysel veriler ile desteklenmesinin de bir gereklilik olduğu açıktır.

TEŞEKKÜR

ASELSAN, bu çalışmada kullanılan yazılım ve donanım alt yapısının, bünyesinde kurulması için ar-ge desteği sağlayan TUBİTAK/TEYDEB ve TTGV'ye teşekkür eder.

KAYNAKÇA

[1] Nora O., George G., (1994) "LANTIRN Infrared Window Failure Analysis", SPIE Vol. 2286/444-455

[2] William F. Adler, Dennis J. Mihora, (1994) "Analysis of Waterdrop Impacts on Layered Window Constructions", SPIE Vol. 2286/264-274.

[3] J.E. Field, (1999) "Liquid Impact: Theory, Experiment, Applications", WEAR 233-235, 1-12.

[4] J.E. Field, M. B. Lesser, J. P. Dear, (1985) "Studies of Two-Dimensional Liquid-Wedge Impact and Their Relevance to Liquid-Drop Impact Problems", Mathematical and Physical Sciences, Vol.401, No. 1821.

[5] M. B. Lesser, (1980) "Analytic Solutions of Liquid-Drop Impact Problems", Mathematical and Physical Sciences, Vol.377, No. 1770.

[6] N.K. Bourne, (2005) "On stress wave interactions in liquid impact", WEAR 258, 588-595

[7] C.A. Huertas-Ortecho, (2006) "Robust Bird-Strike Modeling Using Ls-Dyna", University of Puerto Rico Mayagüez Campus.

[8] R. Boyd, R. Royles, K. M. M. El-Deeb, (2000) "Simulation and Validation of UNDEX Phenomena Relating to Axisymmetric Structures", 6th International Ls-Dyna Users Conference.

[9] G. R. Johnson, T. J. Holmquist, (1994) "An Improved Computational Constitutive Model for Brittle Materials", High-Pressure Science and Technology – 1994, American Institute of Physics.

[10] D. S. Cronin, K. Bui, C. Kaufmann, G.Mclntosh, T. Berstad, (2003) "Implementation and Validation of the Johnson-Holmquist Ceramic Material Model in Ls-Dyna", 4th Europian Ls-Dyna Users Conference.

[11] V. D. Zwaag, J.E.Field, (1983) "Indentation and Liquid Impact Studies on Coated Germanium", Philosophical Magazine A, Vol. 48, No.5, 767-777

EK BİLGİ

Hüseyin Anıl Salman
ASELSAN Akyurt Tesisleri
Tel (ofis) : 312-8475300 / 5066
Tel (cep) : 532-7068541
E-posta : e159519@metu.edu.tr; hasalman@mgeo.aselsan.com.tr

SARF EDİLEBİLİR KARŞI TEDBİR ATIM SİSTEMİNİN ETKİNLİĞİNİN ARTTIRILMASI

Berk Akar[(a)], Kıvanç Günalp[(a)], Özgür Yürekten[(a)], Ali Kara[(a),(b)], Ahmet Tümay[(a),(c)], Kıvanç Dinçer [(a),(d)]

[(a)] TÜBİTAK – UEKAE / G222 Birimi
Atatürk Bulvarı No:211 Kat:7 D:20 06680 Kavaklıdere – ANKARA
{berk.akar, kivanc.gunalp, ozgur.yurekten, ahmet.tumay, kivanc.dincer}@tubitak.gov.tr

[(b)] Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Atılım Üniversitesi
Kızılcaşar Mahallesi 06836 İncek Gölbaşı – ANKARA
akara@atilim.edu.tr

[(c)] Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Söğütözü Cad. No:43 06560 Söğütözü – ANKARA
ahmet.tumay@etu.edu.tr

[(d)] Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi
Bilkent Üniversitesi 06800 Bilkent – ANKARA
kdincer@cs.bilkent.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada karşı tedbir simülasyon algoritmasının örnek bir sarf edilebilir karşı tedbir atım sistemine entegre edilebilmesi ve etkinliğinin arttırılması anlatılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak simülasyon sistemi hakkında bilgi verilmektedir. Ardından donanım mimarisi tasarımı sunulmaktadır. Son olarak bu donanıma uygun yazılım tasarımı tartışılmaktadır. Entegre karşı tedbir atım sisteminin saha testleri ile denemelerinin yapılması planlanmaktadır. Geliştirilecek simülasyon tabanlı entegre karşı tedbir atım sisteminin mevcut sarf edilebilir karşı tedbir atım sistemlerinden daha iyi bir performans göstermesi ve etkinliğinin artması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Sensör Veri Birleştirmesi, Katmanlı Yazılım Mimarisi, Optimizasyon, Senaryo Tabanlı Görev Kütüphaneleri, Karşı Tedbir Atım Sistemi.

EFFICIENCY IMPROVEMENT IN EXPENDABLE DECOY SYSTEM

ABSTRACT

In this work, an integration process for improving the efficiency of an expendable decoy system is presented. Firstly, the information about the decoy launching simulation system mentioned. Then the hardware architecture of the system is presented. Finally an appropriate software design is presented to use with the proposed hardware structure. The integrated simulation based expendable decoy system will be

examined in field tests, and it is expected to be better compared with the old one.

Keywords: Decoy Launching System, Layered Software Architecture, Multi-Sensor Data Fusion, Optimization, Scenario Based Mission Libraries.

1. GİRİŞ

Sarf edilebilir karşı tedbir atım sistemleri, platforma yönelen güdümlü mermiler üzerinde hedef platformun özelliklerini bildikleri kanısı uyandırarak hedeften saptırmak için harekat ortamına sarf edilebilir parçaları salarak güdümlü mermiyi yanıltmaya çalışan bir silah sistemidir.

Senaryo tabanlı görev yazılımları ile çalışan karşı tedbir atım sistemleri, simülasyon ortamında hazırlanacak olan güdümlü mermi angajman senaryolarının, bir taramalı tablo (look up table) haline getirilerek platformda konuşlu bulunan karşı tedbir atım sistemine görev yazılımı olarak yüklenmesi ve harekat ortamında güdümlü mermi angajmanı esnasında görev yazılımının kullanılarak uygun senaryonun seçilmesi ve hızlı bir şekilde karşı tedbir atılması prensibine dayanmaktadır. Senaryo tabanlı görev yazılımlarını kullanan karşı tedbir atım sistemleri halihazırda bir çok firma tarafından kullanılmaktadır [1][2].

Ancak, senaryo tabanlı görev yazılımları kullanan karşı tedbir atım sistemlerinde harekat ortamında karşılaşılabilecek senaryoların tamamının harekattan önce oynatılarak, bunların karşı tedbir sistemi konuşlu olan platforma yüklenme zorunluluğu bulunmaktadır. Güdümlü mermi angajmanları için tüm olasılıkları laboratuvar ortamında oynatmak zaman alıcıdır ve teorik olarak senaryo sayısı arttıkça sistemin tepki zamanı ve dolayısı ile performansı ve üretilecek tedbirlerin etkinliği azalmaktadır. Ayrıca senaryo tabanlı karşı tedbir atım sistemlerinin yabancı kaynaklı olması laboratuvar ortamında oynanan simülasyon yazılımlarına olan güveni azaltmaktadır.

Bu dezavantajları nedeni ile gerçek veya yarı-gerçek zamanda çalışarak güdümlü mermi tehditlerine karşı tedbir üreten simülasyon tabanlı sistemler geliştirilmektedir.

Tehdit verilerini ve harekat ortamı şartlarını girdi alarak optimum karşı tedbir atım zamanını, platformun yapması gereken kaçış manevrasını ve süratini çıktı olarak veren karşı tedbir atım simülasyon algoritması milli imkanlarla üretilmiştir [3]. Milli olarak geliştirilen karşı tedbir atım simülasyon algoritmasının, halen pek çok plaformda kullanımda olan sensör ve/veya komuta kontrol, karşı tedbir atım sistemleriyle entegre edilmesi yukarıda sıralanan problemlere çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Senaryo tabanlı mevcut sistemlerin gerçek zamanlı sistemlere dönüştürülebilmesi için yazılım ve donanım bileşenlerinin değiştirilmesi bir çözümdür. Ancak maliyet ve zaman açısından etkin bir çözüm olarak görülmemektedir.

Simülasyon algoritmasının gerçek bir sisteme uygulanabilmesi için platform üzerinde bir çok kaynaktan gelen verilerin birleştirilerek anlamlı bilgiye dönüştürülmesi, sonrasında bu bilginin girdi olarak algoritmaya verilmesi, algoritmanın bu bilgiler ışığında çalıştırılması sonucunda hesaplanan optimum karşı tedbir atım zamanı, platformun yapması gereken kaçış manevrası ve süratinin platform içerisinde bulunan

sistemlere yarı otomatik veya otomatik olarak uygulatılması gerekmektedir.

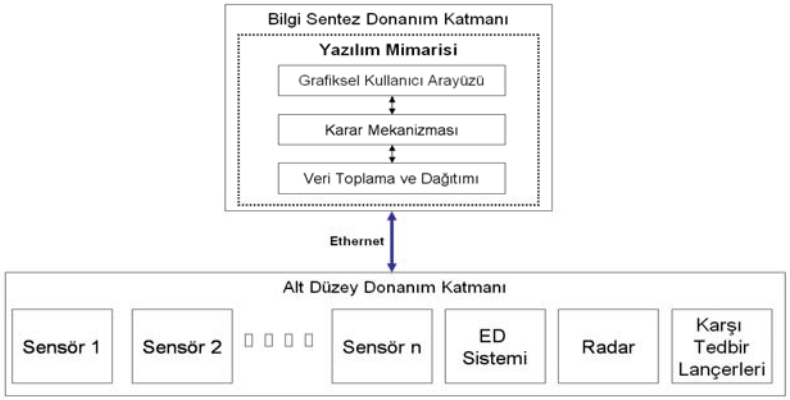
Bu çalışmada, karşı tedbir simülasyon algoritmasının örnek olarak sensör ve/veya komuta kontrol karşı tedbir atım sistemleriyle entegre edilerek bu sistemin iyileştirilmesine yönelik yazılım-donanım entegre tasarım çalışmalarından bahsedilmektedir. Bu tasarımın açıklanması amacıyla öncelikle sistemin donanım mimarisi anlatılmakta ardından donanım mimarisine bağlı olarak sistemin etkinliğini arttırmak üzere kullanılacak olan yazılım mimarisi ve optimizasyon çözümleri detaylı olarak açıklanmaktadır.

2. YENİDEN TASARLANAN ENTEGRE KARŞI TEDBİR ATIM SİSTEMİ DONANIM MİMARİSİ

Tasarlanacak olan yeni donanım mimarisinin platformda hâlihazırda mevcut donanım bileşenlerinden mümkün olduğunca en etkin şekilde yararlanması öngörülmüştür. Bununla beraber, entegre karşı tedbir atım sisteminin simülasyon algoritmasını koşturabilmesi için bir çok kaynaktan beslenmesi gerekmektedir.

Tüm bu kısıtları karşılamak amacıyla platform üzerinde yer alan değişik tipte birçok alıcıyı ortak bir iletişim alt yapısına taşıyan bir donanım mimarisi Şekil 1'de çözüm olarak önerilmektedir. Önerilen donanım mimarisi iki seviyeden oluşmaktadır:

- Alt düzey donanım katmanı; çeşitli kaynaklardan farklı elektriksel formatta gelen verileri sıkça kullanılan ortak bir format olan Ethernet ve TCP/IP'ye dönüştürmektedir. Entegre sistem örnek karşı tedbir atım sisteminde yer alan lançer (launcher) elektroniğine ait bileşenleri karşı tedbir ateşlemesi için kullanacağından bir aktif elektronik anahtar vasıtasıyla lançer kontrolü örnek karşı tedbir atım sisteminden alınarak entegre sisteme verilmektedir. Mekanik anahtarın kullanılması elektriksel hataya yol açabileceğinden aktif olarak üzerinden geçen paketleri inceleyerek mevcut komutlar dışında bir paketin gönderilmesini engelleyen bir aktif elektronik anahtarın kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülmektedir.
- Bilgi sentez donanım katmanı; bilgi sentezleyen algoritmaları ve simülasyon algoritmasını çalıştırabilecek bir sunucu ile platformun hem köprü üstünde hem de savaş harekat merkezinde yer alan ve bu yazılımları komuta edilebilmesini sağlayacak grafiksel kullanıcı ara yüzü yazılımlarını içerisinde barındıran ince istemciler bu katmanda yer almaktadır.



Şekil 1. Entegre karşı tedbir atım sistemi genel tasarımı

3. ENTEGRE SİSTEMDE YAZILIM OPTİMİZASYON NOKTALARI

Yazılım optimizasyon noktalarının belirlenmesi amacıyla ilk olarak entegre karşı tedbir sisteminin yazılım mimarisi belirlenmelidir. Entegre karşı tedbir yazılım mimarisinde Bilgi Sentez Donanım Katmanı içerisinde yer alan ve oldukça bilinir olan Katmanlı Mimari kullanılmasının uygun olabileceği değerlendirilmiştir [4]. Yazılım mimarisine ilişkin gösterim Şekil 1'de verilmiştir.

En alt katman, donanım ile veri iletişimini sağlayan *Veri Toplama ve Dağıtımı Katmanı*'dır. Bir üst katman, *Karar Mekanizması Katmanı*'dır. Bu katmanda çoklu kaynaktan alınan verilerin birleştirilerek anlamlandırılması gerçekleştirilecektir. Yine bu veriler karşı tedbir sistemi simülasyon algoritmasına girdi olarak verilmekte, simülasyonun bu girdiler ile çalıştırılması sonucunda karşı tedbir tepkisinin lançerlere *Veri Toplama ve Dağıtımı Katmanı* yoluyla otomatik veya yarı/otomatik olarak gönderilmesi işlemi uygulanacaktır. En üst katman olan *Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Katman*'ıyla entegre sistem operatörünün cihazı kumanda edebilmesini sağlayacak insan makine arayüzleri sağlanacaktır.

Daha etkin bir karşı tedbir atım sistemi gerçekleştirebilmek için yazılım katmanları içinde optimizasyon noktaları belirlenmiş ve bunlar takip eden bölümlerde açıklanmıştır.

3.1. Karşı tedbir simülasyon algoritmasının iyileştirilmesi

Milli imkanlarla üretilen karşı tedbir simülasyon algoritması için performans açısından bir iyileştirme öngörülmektedir. Üretilen algoritmanın performansını artırabilmek üzere dağıtık mimarili teknolojilerin (OpenMPI, Data Distribution System) kullanılması düşünülmektedir.

Simülasyon algoritmasının hızlı sonuç verebilmesi için günümüzde hızla yaygınlaşan çok çekirdekli bir mikroişlemci mimarisinde çalıştırılmasına ihtiyaç duyabileceği değerlendirilmektedir. Bunun için birçok iş parçacıklarının (thread) farklı veriler üzerinde çalışabilmesi prensibine dayalı "Veriye Dayalı Ayrıştırma" tekniği kullanılması öngörülmektedir [5].

Algoritmanın kaba kuvvet (brute force) kullanılarak tüm olasılıkların denemesi yoluyla çalıştırılması yerine genetik algoritmalar veya yapay sinir ağları kullanmak suretiyle akıllı bir şekilde çalıştırılması performansını artırabilecek bir diğer etken olacaktır.

Yine simülasyonun performans açısından sıkıntılı olduğu noktaları tespit edecek yazılım araçlarının kullanılması ve performans yönünden sıkıntılı yerlerin yeniden ele alınarak geliştirilmesinin performans açısından olumlu bir artışa neden olacağı değerlendirilmektedir.

3.2.Veri toplama ve dağıtımı katmanın tasarlanması

*Veri Toplama ve Dağıtımı Katmanı'*nın tasarımında Veri Yolu kalıbının kullanılmasının uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Veri Yolu kalıbına, gözlemci (observer) tasarım kalıbının anlamsal olarak soyutlanmış bir biçimi denebilir [6][7]. Sürekli akan verilerin özellikle itme yöntemiyle alıcılarına ulaştırılması uygun bir seçenek gibi gözükmektedir. İletişim noktalarının veri sağlayamaması durumunda verinin güncel olup olmadığına dair bir mekanizmanın da veri yolu kalıbı içerisinde dikkate alınması gerekmektedir. Veri Yolu kalıbının entegre karşı tedbir sistemi için tasarım uygulaması olarak Şekil 2'de gösterilen sınıf diyagramı verilebilir.

Karşı tedbir ateşlemesi esnasında herhangi bir gecikmeye mahal vermemek için, karşı tedbir sisteminin lançer kontrolüne yönelik ayrı bir kontrol veri yolu tasarlanması gerekliliği bulunmaktadır. Yine bu kontrol yoluna ait sınıf diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.

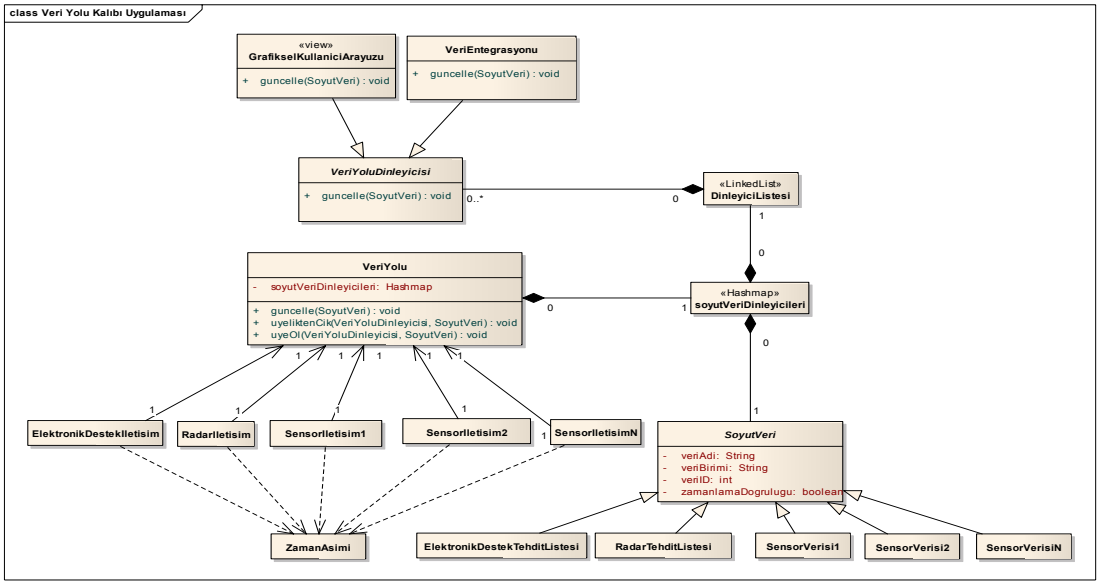
3.3. Karar mekanizması katmanının tasarlanması

Karar Mekanizması Katmanı'ndaki optimizasyon noktalarından birisi çoklu kaynaktan alınan verilerin birleştirilerek anlamlandırılması, bunların karşı tedbir simülasyon algoritmasına girdi olarak verilmesidir. Simülasyon algoritmasının çalıştırılması sonucu oluşan çıktılar "Veri Toplama ve Dağıtım Katmanı" yoluyla lançerlere gönderilecektir.

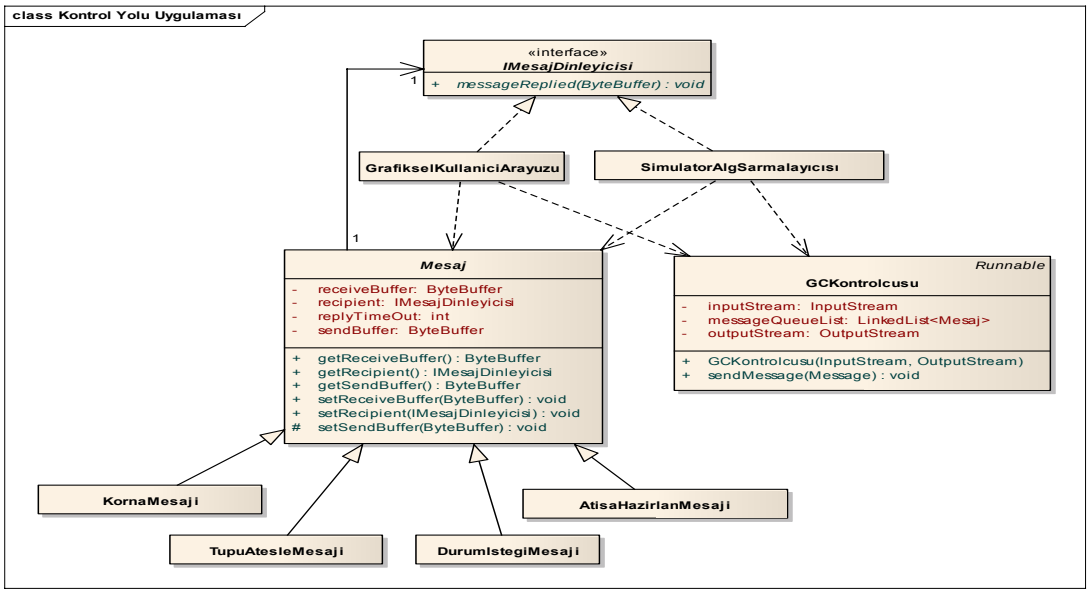
Karşı tedbir simülasyon algoritmasının çalıştırılabilmesi için tehdit verisinin kimliğinin, kerterizinin ve mesafesinin bilinmesi gerekmektedir. Özellikle komuta kontrol sistemi olmayan veya komuta kontrol sisteminden veri sağlanamadığı durumlar için platform üzerinde bulunan Elektronik Destek (ED) sisteminden ve radardan alınan tehdit ile ilgili verilerin birleştirilmesinin uygun olabileceği değerlendirilmektedir. Bunun için Şekil 4'de gösterilen algoritma kullanılacaktır. Algoritma çoklu sensör veri seviyelerini tanımlayan JDL [8] yöntemine benzerlik göstermekle beraber süreçlerin suni yollarla ayrıştırıldığı bu yöntem yerine doğrudan tehdit tanımlamasına yönelik bir akış kullanılmıştır.

Karar Mekanizması Katmanı'ndaki optimizasyon noktalarından diğeri veri sağlayan çevresel veri kaynaklarının (rüzgar hızı, yönü vs.) devre dışı kalmaları durumunda

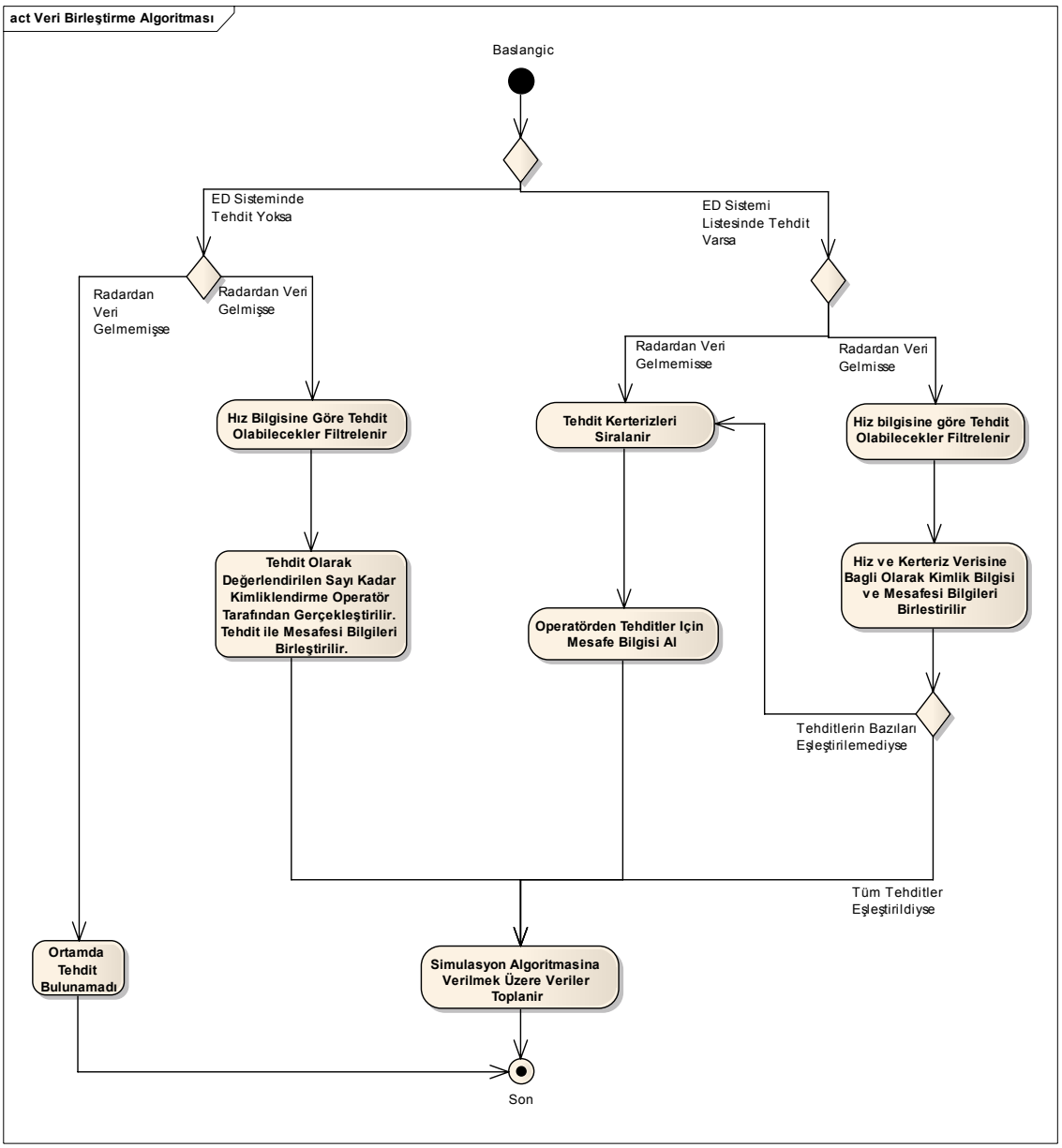
yazılımın o veri kaynağının sağlamış olduğu önceki verileri kullanarak, eksik olan veri için çözüm üretmesidir. Kaybolan verinin tahmini için çeşitli matematiksel yöntemlerin yazılımda modellenmesi gerekmektedir [9].



Şekil 2. Veri toplama ve dağıtımı katmanı sınıf diyagramı veri yolu kalıbı uygulaması



Şekil 3. Veri toplama ve dağıtımı katmanı kontrol yolu sınıf diyagramı



Şekil 4. Veri birleştirmesi için kullanılan algoritma

Bu katmandaki bir diğer optimizasyon noktası, gelen verilerin doğruluğunun teyit işlemidir. Simülasyon algoritmasına girdi teşkil eden veriler için alıcılardan gelen verilerin geçerlenmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada karşı tedbir simülasyon algoritmasının örnek bir sarf edilebilir karşı tedbir atım sistemine entegre edilebilmesi ve etkinliğinin arttırılması anlatılmıştır. Bu amaçla, ilk olarak donanım mimarisi tasarımı ve buna bağlı olarak da yazılım tasarımı üzerinde durulmuştur. Yeni geliştirilecek entegre karşı tedbir atım sisteminin saha testlerinde denenmesi neticesinde etkinliğinin pazarda halihazırda bulunan mevcut sarf edilebilir

karşı tedbir sistemlerinden platform bekasını sağlama yönünden daha üstün olacağı değerlendirilmektedir.

5. KAYNAKÇA

[1] MİKES, ÖZIŞIK Karşı Tedbir Atma Sistemi, MSI Aylık Savunma Teknolojileri Dergisi, Sayı: 2007-020, sayfa 22-23.
[2] Aydoğmuş A., "UMAY CHAFF FLARE SALMA SİSTEMİ", SAVTEK Savunma Teknolojileri Kongresi, ODTÜ, Ankara, 2002.
[3] Özsoy Ş., Kocakanat M,"Güdümlü Mermiye Karşı Savunma (GMKS) Tedbirleri Kapsamında Simülasyon Tabanlı Dekoy Atım Etkinlik Değerlendirmesi", USMOS Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simulasyon Konferansı, ODTÜ, Ankara, 2005
[4] Bushmann F. et al., Pattern-Oriented Software Architecture, A System of Patterns Volume 1, pp 31-52, 2001.
[5] Ananth G. et. al., Introduction to Parallel Computing, pp 91-96, 2003.
[6] Erich Gamma et al., Design Patterns: Elements of Reusable Object Oriented Software, pp 293-304, 1995
[7] Douglass, B. P., Real-Time Design Patterns: Robust Scalable Architecture for Real Time Systems, pp 258-259, 2002.
[8] F.E. White, Data Fusion Lexicon, Data Fusion Subpanel of the Joint Director of Laboratories Technical Panel for C^3 , Code 4202, NOSC, San Diego, CA, 1991.
[9] Mitchell H.B., Multi-Sensor Data Fusion An Introduction, Parameter Estimation, pp 133-153, 2007.

EK BİLGİ (İletişim Bilgileri)

Adı Soyadı: Berk AKAR
E-Mail: berk.akar@tubitak.gov.tr
Adres: Atatürk Bulvarı No:211 Kat:7 D:20 Kavaklıdere / ANKARA
Telefon: (312) 426 6789 / 2222
Fax: (312) 428 4880

ÇELİK - KOMPOZİT KATMANLI ZIRH MALZEMELERİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ

H. Kemal ŞENYILMAZ *

**Y.Müh.Yzb., 7'nci Bakım Merkezi Komutanlığı Tuzla / İSTANBUL*
(h.senyilmaz@gmail.com)

ÖZET

Bu çalışmada, 5 kilogramlık TNT patlaması karşısında çelik – kompozit katmanlı zırh malzemelerinin davranışı incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde zırh çeliği tek başına modellenmiş, patlama karşısında meydana gelen deplasman ve deformasyon hızı bulunmuştur. Daha sonra aynı kalınlıktaki çelik üzerine rijit olarak bağlanmış kompozit malzemenin deplasmanı ve deformasyon hızı lif yönüne bağlı olarak incelenmiştir. Son bölümde çelik ve en uygun lif yapısına sahip kompozit plakalar arasına polistiren köpük yerleştirilerek benzetimler tekrar edilmiş, kompozit katmanda oluşan deplasman ve deformasyon hızları bulunmuştur.

Elde edilen veriler ışığında mayın patlamasına karşı yalnız çelik malzemeler yerine istenen değerlere bağlı olarak çelik – kompozit veya çelik – elastomer köpük – kompozit katmanlı malzemelerin kullanılmasının oluşan deplasman ve deformasyon hızı bakımından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mayın patlaması, çelik – kompozit katmanlı zırh malzemeleri, dinamik analiz

ABSTRACT

In this study, the behaviour of the steel-composite layered armour plate materials against 5 kilogram TNT explosion is examined. In the first part of the study, armoured steel plate is modelled alone then displacement and the velocity of deformation is obtained. Afterwards displacement and deformation velocity of composite material fastened as rigid to the steel in the same thickness depending on fibrous direction is investigated. In the last part the tests are repeated by embedding the polystrene foam between steel and composite plates which have the most conformable fibrous structure and displacement and deformation velocity which come into existence in the composite layer is obtained.

According to the obtained data it has been concluded that the usage of steel-composite or steel - elastomer foam - composite layered materials against mine explosion in terms of originated displacement and deformation velocity is more suitable than usage of steel materials.

Keywords: Mine explosion, steel-composite layered armour plate materials, dynamic analysis

1.GİRİŞ

Kara mayınları, insanlar ve araçlar için çok ciddi tehdit olmaya devam etmektedirler. Son yıllarda araçlarının mayına basması sonucu birçok kişi hayatını kaybetmiş, bir kısmı da önemli derecede yaralanmalarla kurtulabilmişlerdir (Şekil 1.1). Gelişen teknoloji nedeniyle üretim maliyetlerinin düşmesinden dolayı, yasal olmayan örgütlerin mayın elde ederek,

terörist etkinliklerde kullanması kolaylaşmış ve silahlı çatışmaya girmek yerine mayınlı tuzaklar kurmak daha çok tercih ettikleri bir yöntem haline gelmiştir. Bu nedenle araçların zırhlandırılarak personelin mayın etkilerinden korunması eskiye oranla daha büyük önem arz etmektedir. Mayından korunmak için geliştirilen zırhlar çelik, alüminyum gibi tek katmanlı olabileceği gibi, uygun seçilmiş kompozit malzemelerle birleştirilerek çok katmanlı yapılar şeklinde de kullanılabilmektedirler. Böylece aynı tehdit seviyesi için daha ince metal kalınlığı ve daha düşük ağırlıkta zırh elde edilebilmektedir.



Şekil 1.1 MRAP aracının mayın testi

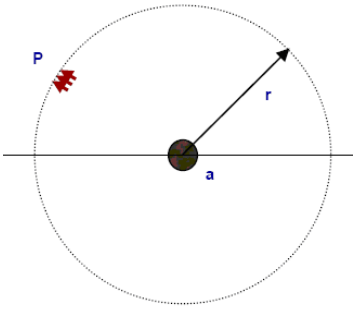
Son yıllarda kompozit malzemeler, balistik performansları ve hafiflikleri nedeniyle ya tek başlarına ya da farklı malzemelerle çeşitli yöntemlerle birleştirilerek zırh malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Askeri taşıtlarda kullanılan kompozitlerde mermi veya parça tesirlerine karşı dayanıklılık istendiğinde kompozit plakaların delme anında ne kadar rijit oldukları önemlidir. Kompozit arka destek katmanının matris malzemesi, fiberlerin şekli, boyutları, döşeme yönleri, hacim oranları ve dağılımları zırhın performansı yönünden önem arz etmektedir. Matris malzemesi ile fiberler arasında iyi bir bağ olması, tabakalarda ayrılma ve delaminasyon olmaması önemlidir. Matris malzemesinin türü, kompozit malzemenin balistik davranışını önemli ölçüde etkilemektedir [1].

Konu dinamik olarak ele alındığında, zırhın oluştuğu malzemelerin cinsini belirleyen tehdidin türüdür. Literatür incelendiğinde bu tehdidin balistik darbe ve mayın patlama etkisi olarak iki ana başlıkta toplandığı görülmüştür. Mermi etkisine karşı direnç gösterecek zırh malzemeleri için sayısal çözümlemeler ve gerçek deneyler oldukça çoktur. Ancak mayın patlaması ile ilgili sayısal ve deneysel çalışmaların fazla olmadığı görülmüştür. Mayın saldırılarının büyük

çoğunluğunun araçları hedeflediği düşünüldüğünde, araçların zayıf yanlarının giderilmesi ve daha önemlisi personelin hayatta kalmasının sağlanması için patlamanın araç gövdesi ve kullanılan zırha etkilerinin iyi bilinmesi gerekmektedir[2]. Bundan dolayı patlama ile ilgili teorik çalışmalarda çoğunlukla çeşitli şekillerdeki ve malzemelerdeki levha ve panel tipi yapıların patlama anındaki davranışları incelenmiştir [3,4]. Bunun nedeni araçların imalatında bu tip yapıların kullanılması ve patlamaya maruz kalan ilk bölgeleri temsil etmeleridir[5]. Levha tipi yapılarla mayının patlama şiddeti üzerinde, mayının gömülü olduğu toprak özelliklerinin etkisi, mayının gömülme derinliği etkisi gibi birçok faktör de araştırılmıştır.

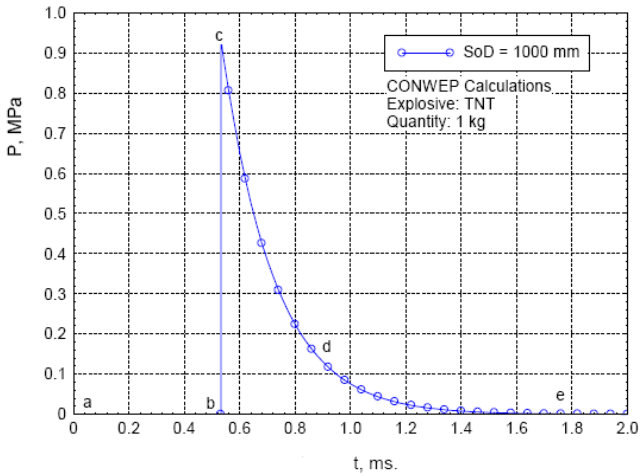
1.1 Patlamanın Mekanizması

Şekil 1.2' de patlamanın birkaç temel karakteristiği görülmektedir. Burada a patlayıcıyı, P basınç dalgasını, r tesir yarıçapını göstermektedir.



Şekil 1.2 Patlama ve basınç dalgası (Black vd., 2006)

Patlama anında ortaya çıkan enerji; ısı, ses ve basınç dalgasına dönüşür [6]. Basınç bir anda çok yüksek değerlere ulaşır ve yavaş yavaş düşer. 1kglık TNT nin patlaması ile ortaya çıkan basınç için basınç-zaman eğrisi Şekil 1.3' de görülmektedir [6]. Burada a fünyenin ateşlenmesi anı, b infilak anı, c en yüksek patlama basıncı, c-e basıncın zamanla düşüşünü göstermektedir.



Şekil 1.3 Patlama basıncı-zaman eğrisi [6]

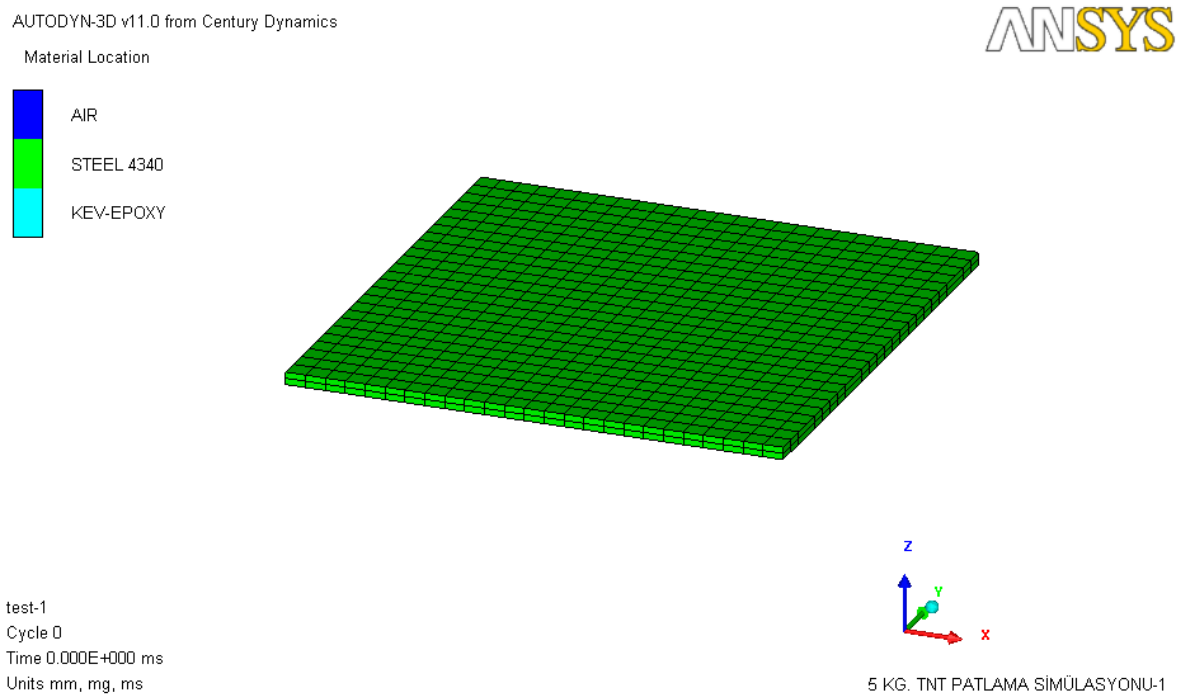
2. MODELLEME ve ANALİZLER

Modelleme genel olarak malzeme özelliklerinin belirlenmesi, sınır koşullarının tanımlanması, parçaların oluşturulması, parçalar arasındaki ilişkilerin tanımlanması ve problemin çözümü adımlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada Ansys Autodyn yazılımı kullanılarak zırh çeliği önce tek başına modellenmiş, patlama basıncının yaptığı etki incelenmiştir. Daha sonra çeliğin üzerine farklı yönlerdeki elyaf katlarından oluşturulmuş kompozit malzeme rijit olarak bağlanmış ve bu zırh sistemi için analizler yapılmıştır. En sonunda çelik ile kompozit malzeme arasına farklı kalınlıklarda polistiren köpük tabaka yerleştirilerek, patlamanın etkileri incelenmiştir. Bütün analizlerde zırh sisteminin yerden yüksekliği 300 mm olarak belirlenmiştir. Hesaplama zamanının kısaltılması maksadıyla çeyrek model kullanılmıştır. Problem x ve y yönlerinde simetrik kabul edilmiştir [7].

2.1 Modelin Hazırlanması

2.1.1 Zırh Çeliği Modeli

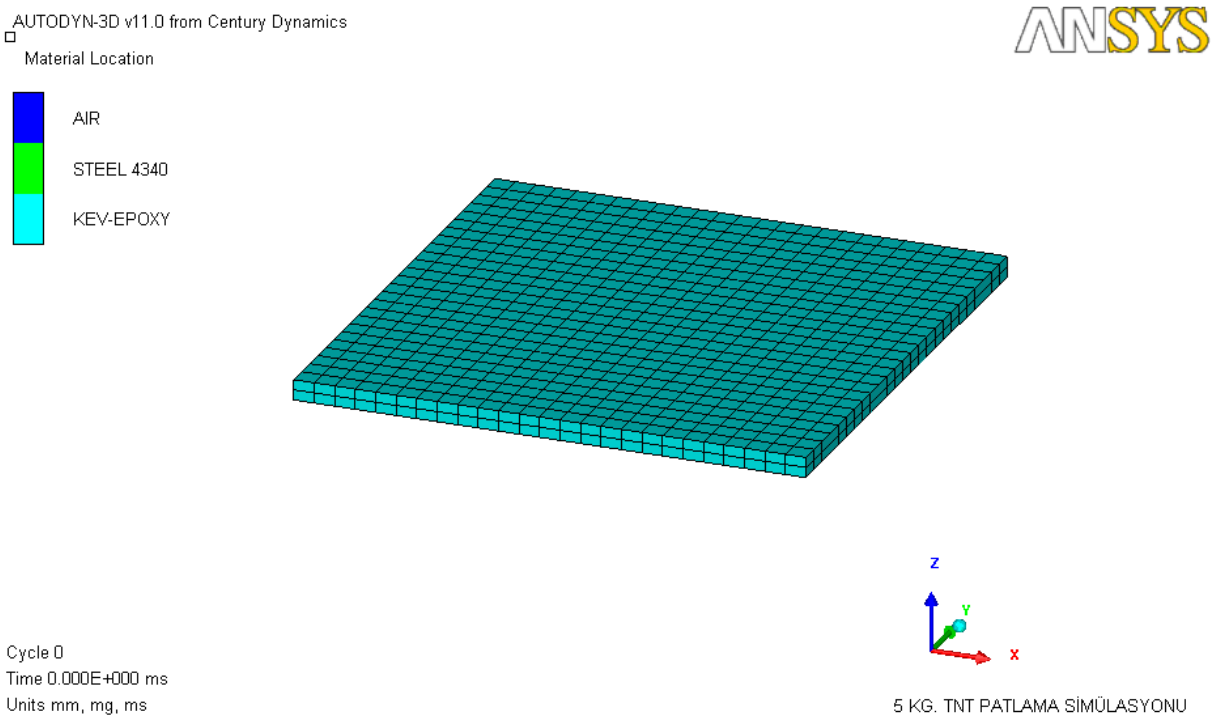
Zırh çeliği malzemesi olarak Ansys Autodyn yazılımının malzeme kütüphanesinde mevcut bulunan AISI 4340 seçilmiştir. Çelik plaka, kabuk (shell) olarak modellenmiştir. Model, 625 elemandan oluşturulmuştur. Kalınlık tüm analizlerde 12,7 mm, diğer boyutlar 500 mm olarak alınmıştır. Çelik dış kenarlarına sıfır hız sınır şartı tanımlanmıştır. Zırh çeliği modeli Şekil 2.1' de görülmektedir. Burada kabuk plakaya suni kalınlık verilmiştir.



Şekil 2.1 Zırh çeliği modeli

2.1.2 Kompozit Modeli

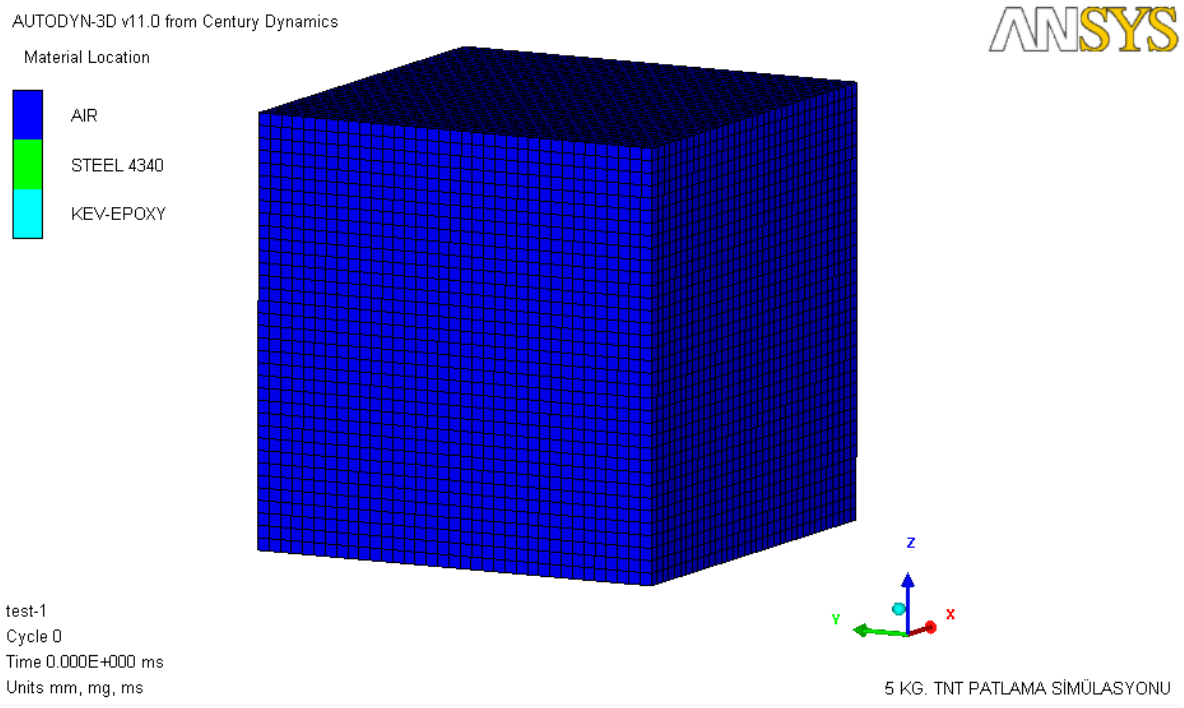
Zırh çeliği malzemesi olarak Ansys Autodyn yazılımının malzeme kütüphanesinde mevcut bulunan Kevlar seçilmiştir. Kompozit plaka, kabuk (shell) olarak modellenmiştir. Ansys Autodyn yazılımı kompozitlerin farklı katlarda modellenmesine izin vermektedir [8]. Analizlerde kompozit modeli sırasıyla 0^0, 0^0 / 90^0, 45^0 / -45^0, 0^0 / 45^0 / -45^0 / 90^0 yönlerinde dizilmiş lif katlarından oluşturulmuştur. Model, 625 elemandan oluşmaktadır. Tüm analizlerde kalınlık 20 mm olarak sabit tutulmuş, diğer boyutlar 500 mm olarak alınmıştır. Kompozit dış kenarlarına sıfır hız sınır şartı tanımlanmıştır. Kompozit modeli Şekil 2.2' de görülmektedir. Burada kabuk plakaya suni kalınlık verilmiştir.



Şekil 2.2 Kompozit modeli

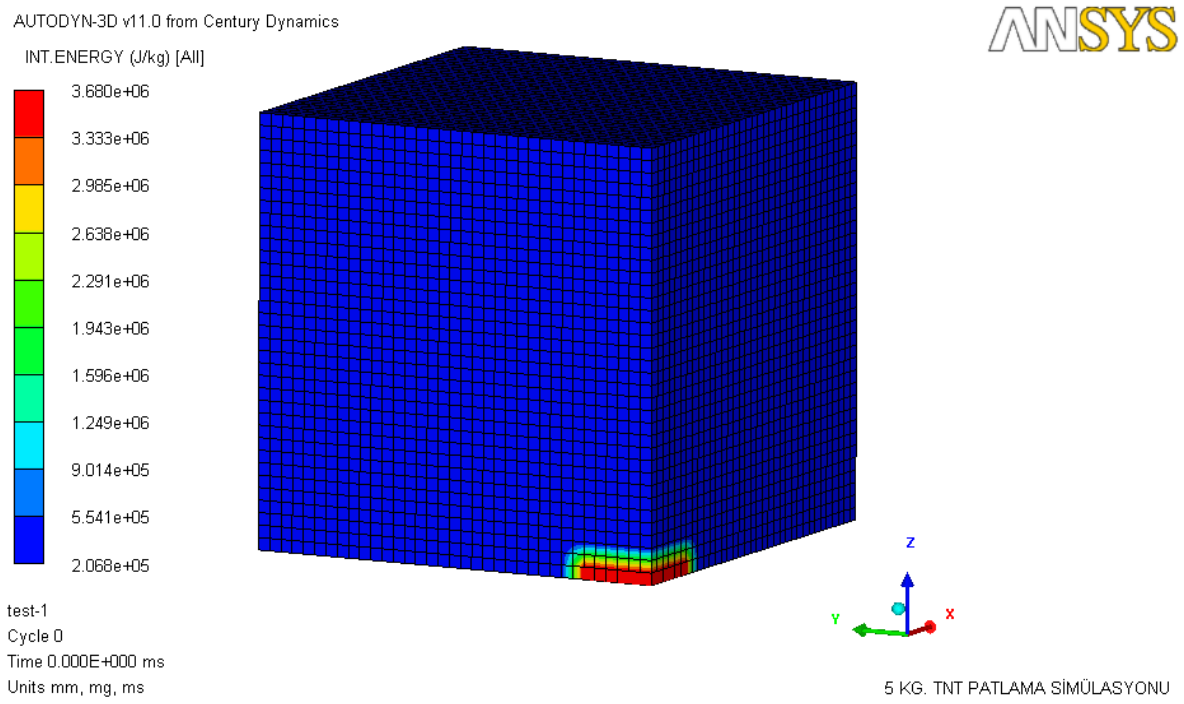
2.1.3 Hava ve Patlayıcı Modeli

Hava, euler elemanlar kullanılarak kenar ölçüsü 700 mm boyutlarında küp olarak modellenmiştir. Hava dış kenarlarına, iç enerji, basınç gibi patlayıcıdan meydana gelen etkilerin problemi terk etmesi için dışa akış sınır şartı tanımlanmıştır. Model, 42875 eleman kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Euler elemanlarla modellenmiş hava

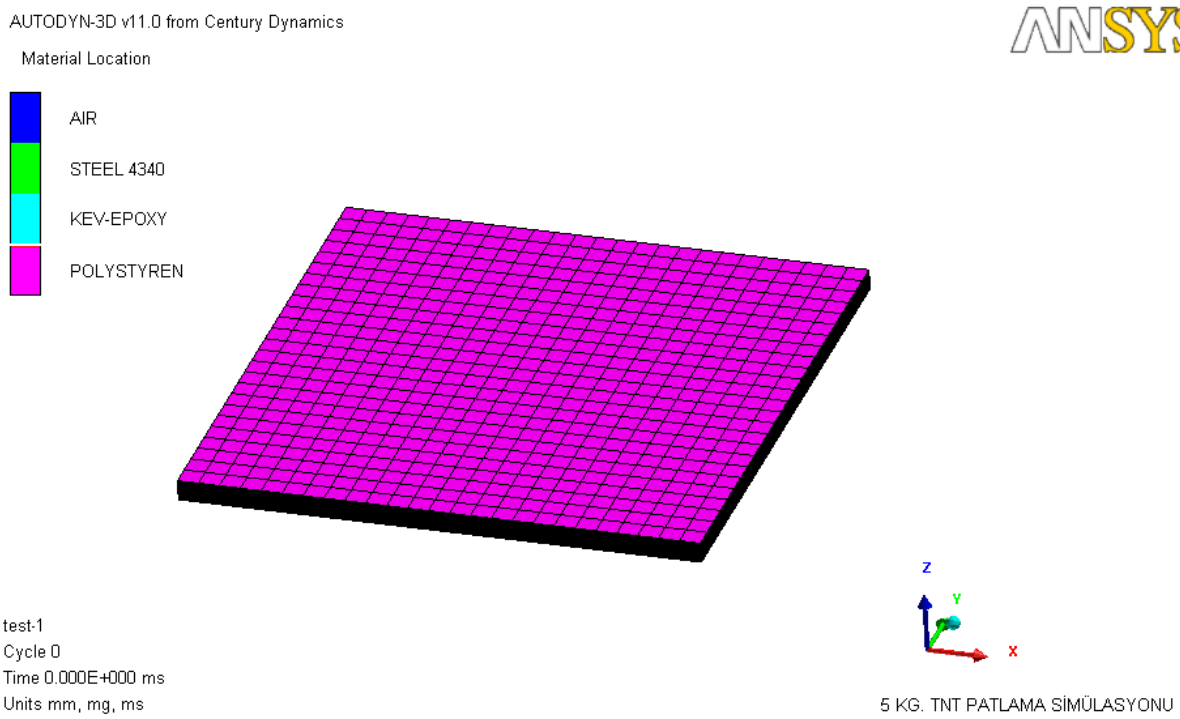
Patlayıcı olarak 5 kg TNT kullanılmıştır. TNT malzeme özellikleri Ansys Autodyn yazılımının malzeme kütüphanesinde mevcut bulunmaktadır. TNT malzeme özelliklerden yola çıkılarak lagrange elemanlarla TNT' yi modellemek yerine, hava modelindeki 392 euler elemana yoğunluk olarak 1.63 g/cm^3, iç enerji olarak 3.68x10^6 J/kg değeri girilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Patlayıcı modeli

2.1.4 Elastomer Modeli

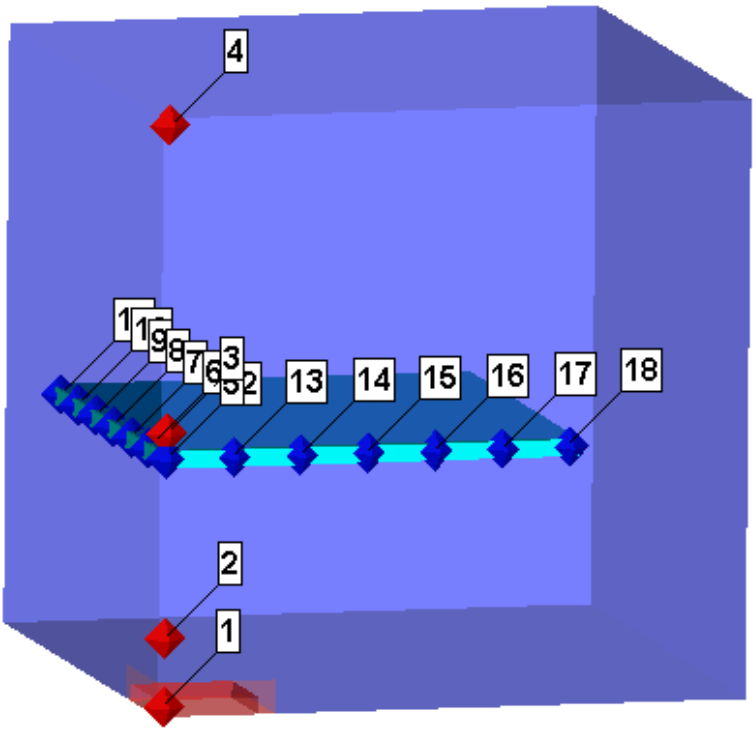
Elastomer olarak polistiren köpük kullanılmıştır. Bu tip malzemeler darbe sönümleyici olarak farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Polistiren malzeme özellikleri Ansys Autodyn yazılımının malzeme kütüphanesinde mevcuttur. Polistren köpük lagrange elemanlar kullanılarak 20 mm kalınlığında, diğer boyutlar 500 mm ölçüsünde modellenmiştir. Polistiren köpük dış kenarlarına sıfır hız sınır şartı tanımlanmıştır. Model toplam 12500 eleman kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Polistiren köpük modeli

2.1.5 Patlama Analizleri

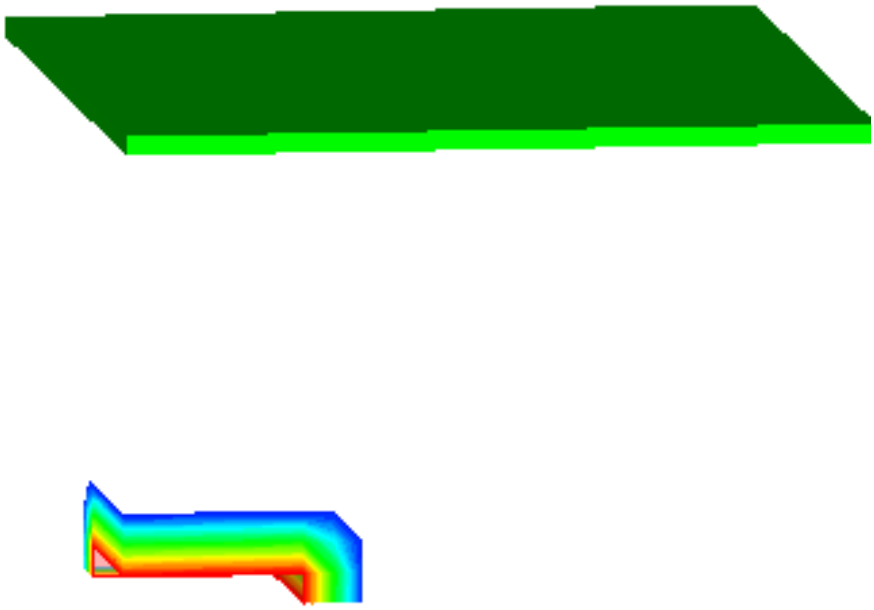
Patlama analizleri çelik, çelik-kompozit ve çelik-elastomer-kompozit olmak üzere üç ana zırh konfigürasyonu için yapılmıştır. Tüm konfigürasyonlarda gerekli ölçümlerin yapılabilmesi için model üzerine gauge adı verilen sayaçlar yerleştirilmiştir (Şekil 2.6). Şekilde görülen kırmızı sayaçlar sabit olup hava içerisindeki basınç ölçümünü yapmak üzere yerleştirilmişlerdir. Mavi sayaçlar ise hareketli sayaçlar olup, çelik ve kompozitin hız ve deplasmanının ölçülmesi için kullanılmaktadırlar.



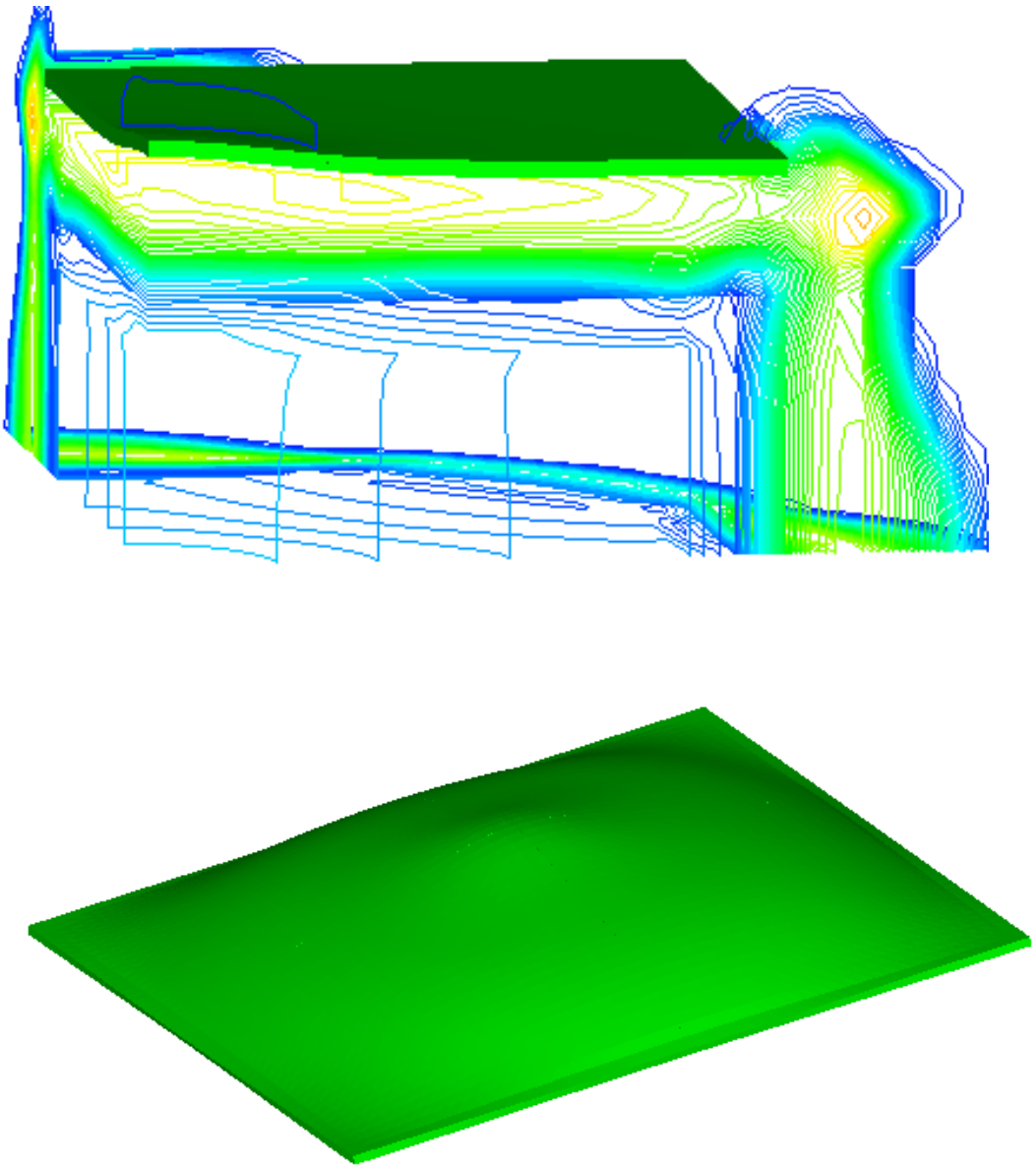
Şekil 2.6 Sayaçların model üzerindeki yerleşimi

2.1.6 Zırh Çeliği

Zırh çeliği yerden 300mm yükseklikte konumlandırılmış ve patlama gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.7' de patlama testinin aşamaları ve patlama sonucu ortaya çıkan enerjinin çelik üzerinde yaptığı deformasyon görülmektedir.

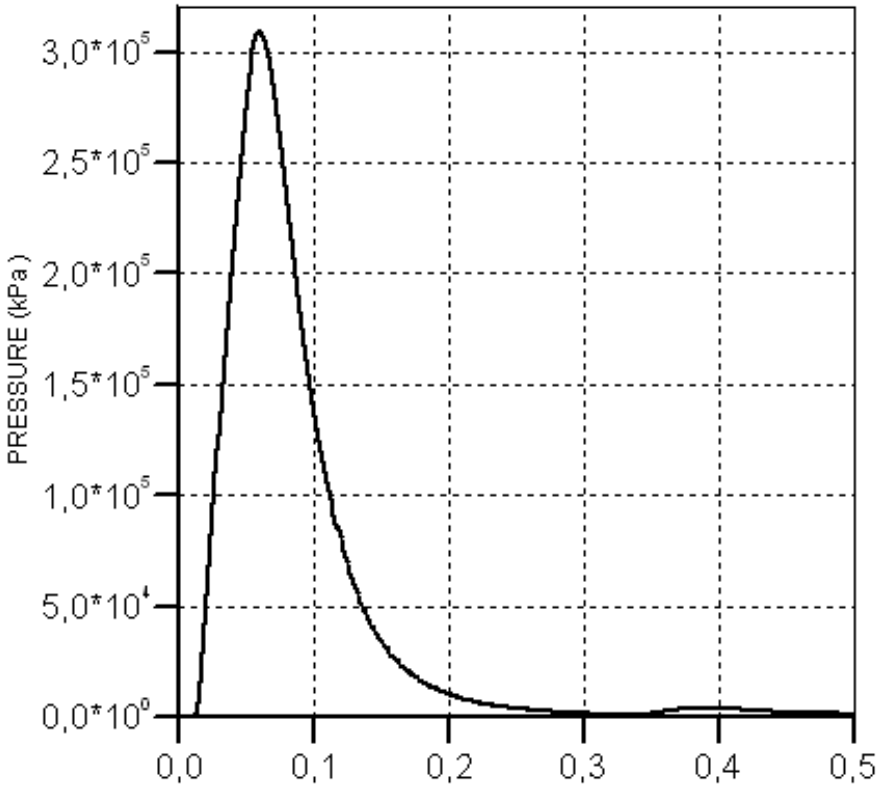


Şekil 2.7 Zırh çeliği patlama simülasyonu

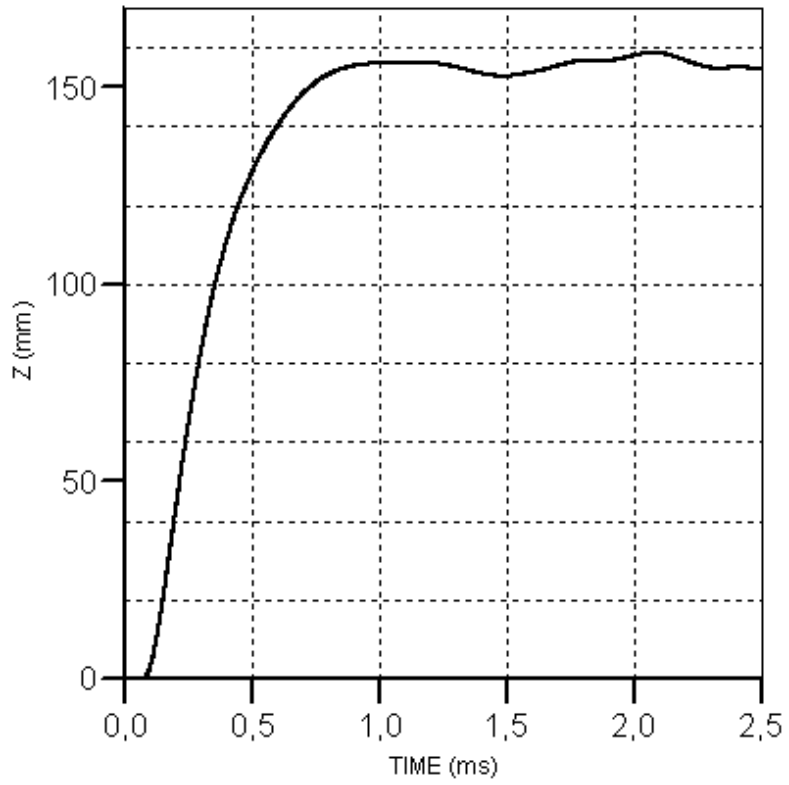


Şekil 2.7 Zırh çeliği patlama simülasyonu

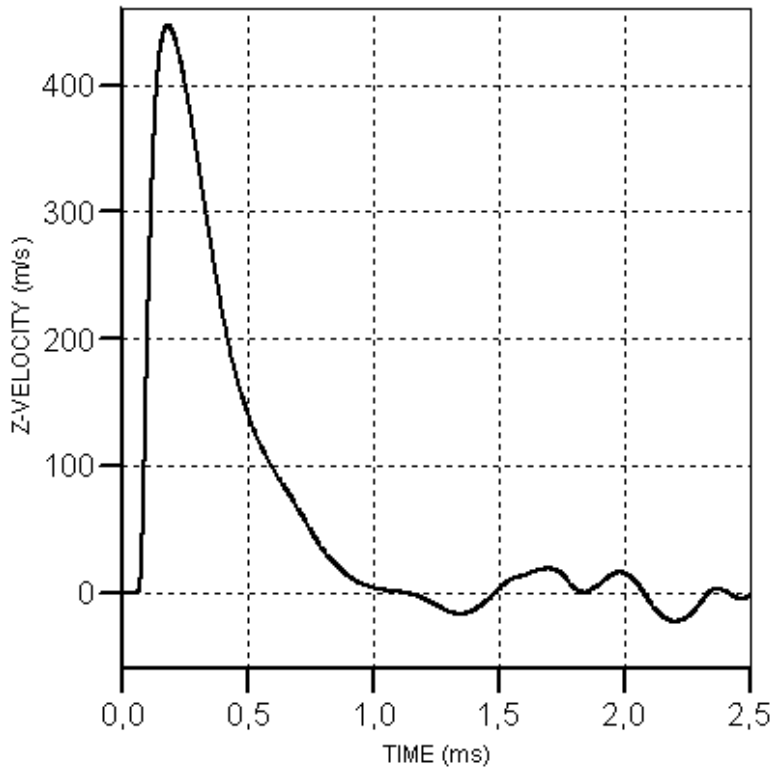
Patlama testi boyunca hava üzerindeki sayaçlardan basınç değeri (Şekil 2.8) ve çelik üzerindeki sayaçlardan deplasman ve hız değerleri alınmıştır (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10).



Şekil 2.8 Patlama basıncı – zaman eğrisi



Şekil 2.9 Zırh çeliği deplasman – zaman eğrisi

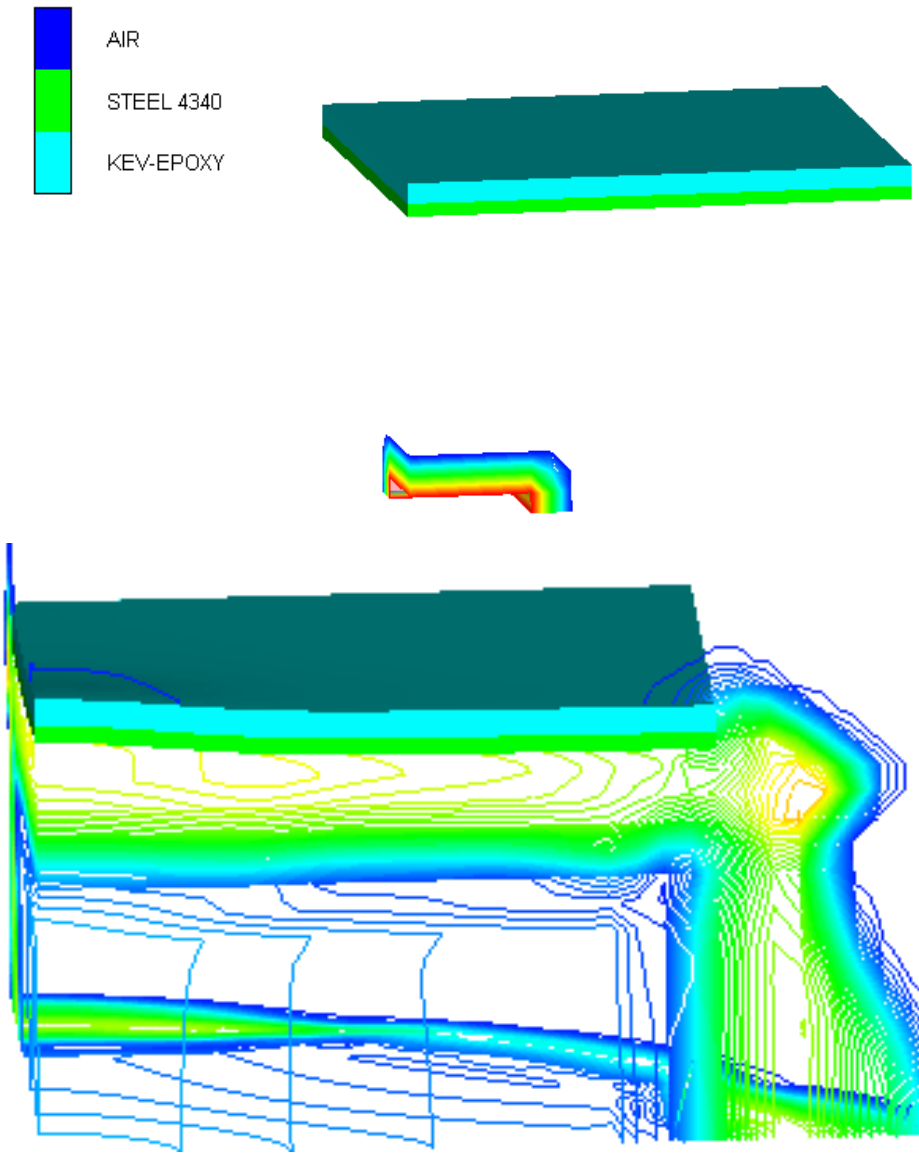


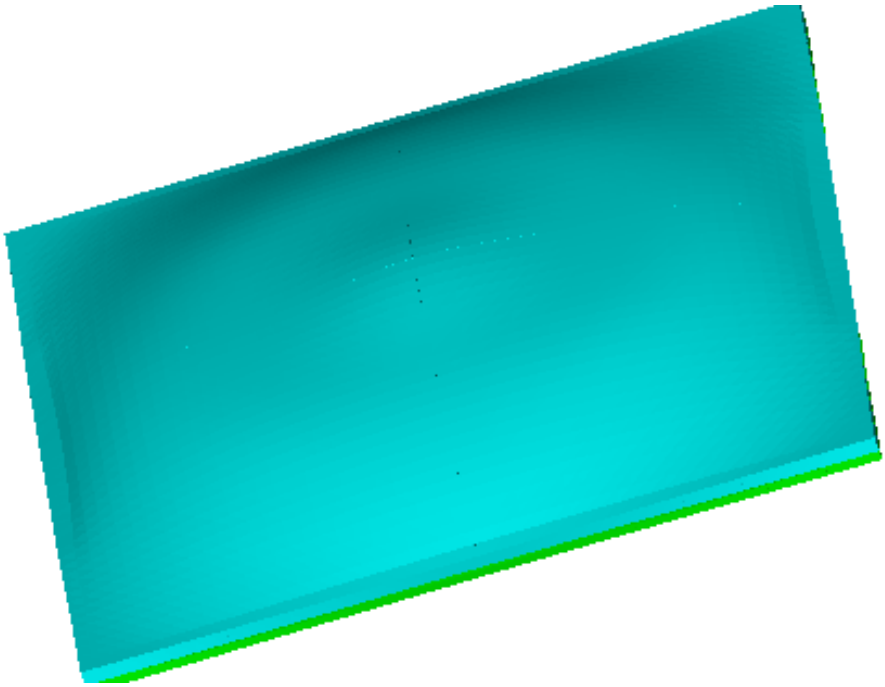
Şekil 2.10 Zırh çeliği hız – zaman eğrisi

Grafiklerden de görüleceği gibi çeliğin en büyük deformasyonuna ait deplasman değeri 158,7 mm, çeliğin patlama etkisi ile yukarıya doğru deformasyon hızı 446,6 m/s olarak gerçekleşmiştir.

2.1.7 Çelik – Kompozit Konfigürasyonu

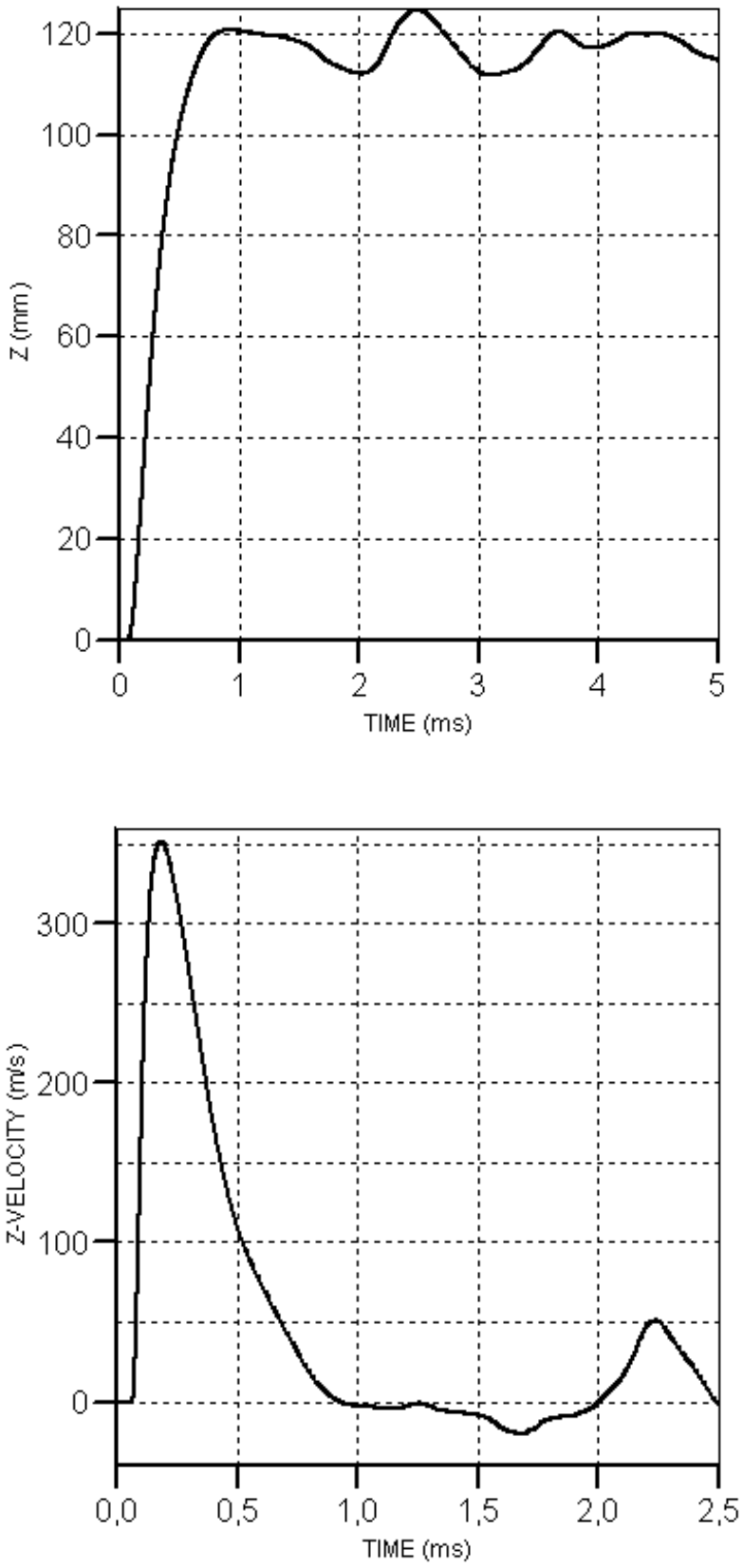
Zeminden 300 mm yükseklikte konumlandırılmış zırh çeliği üzerine farklı elyaf yönü dizilimindeki kevlar kompozit malzeme rijit olarak bağlanmış ve patlama benzetimleri yapılmıştır (Şekil 2.11).


AIR
STEEL 4340
KEV-EPOXY

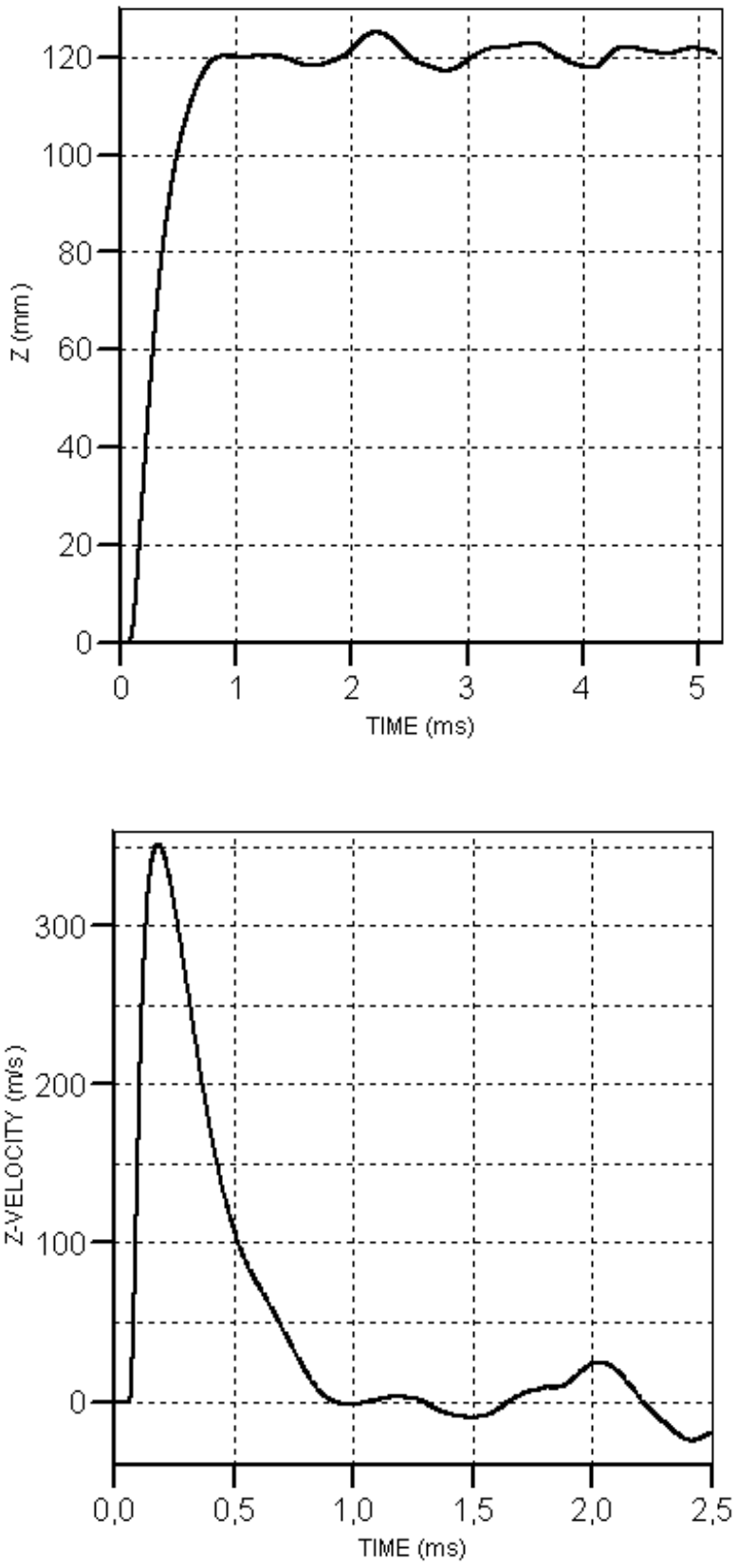


Şekil 2.11 Zırh çeliği – kompozit patlama simülasyonu

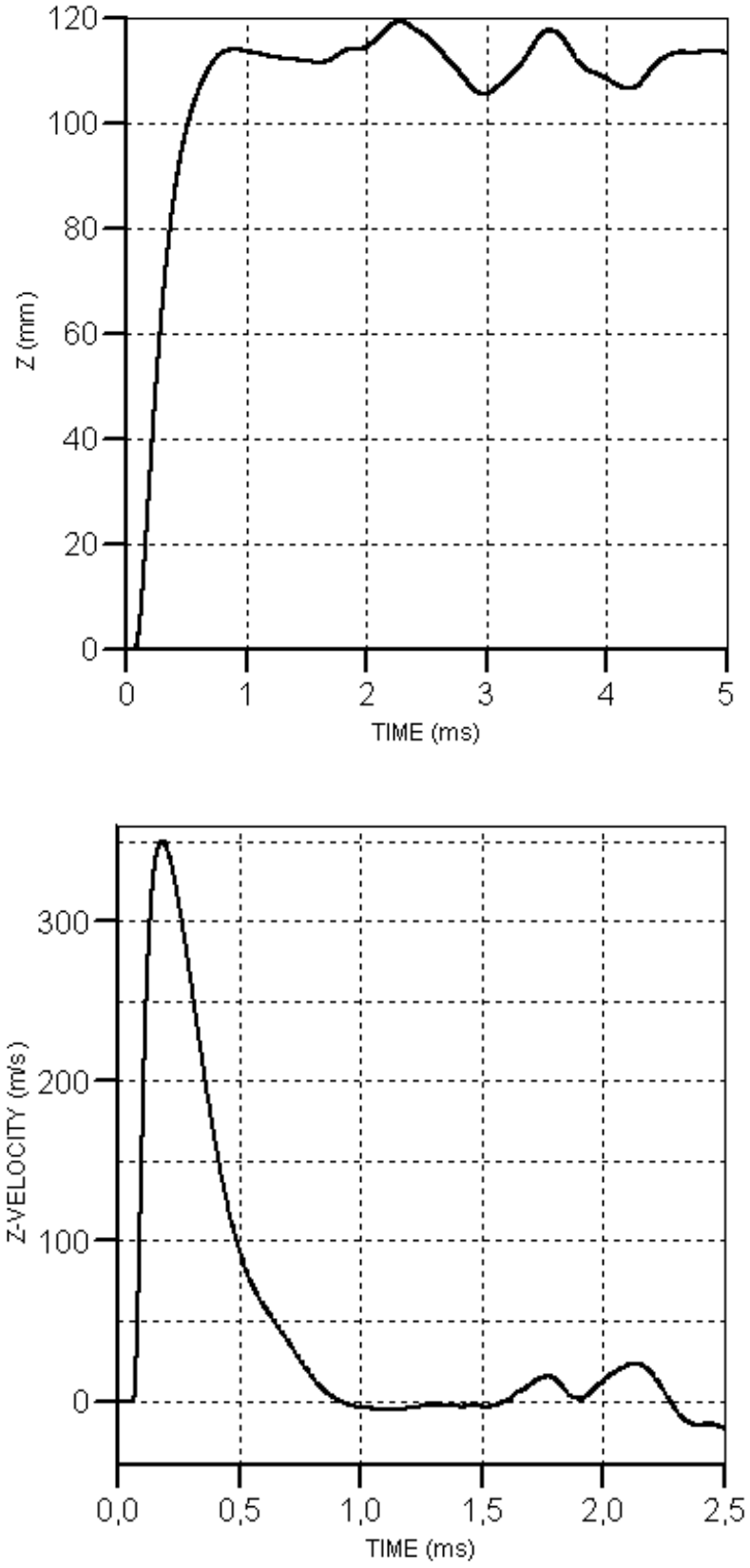
Patlama testi boyunca çelik ve kompozit üzerindeki sayaçlar yardımıyla deplasman ve hız değerleri alınmıştır (Şekil 2.12 - Şekil 2.15). Grafiklerden de görüleceği gibi zırh çeliği ile kompozit malzemenin patlama esnasındaki deformasyon hızı ve deplasmanı, kompozitin lif yönüne bağlı olarak Çizelge 2.1' de sunulmuştur.



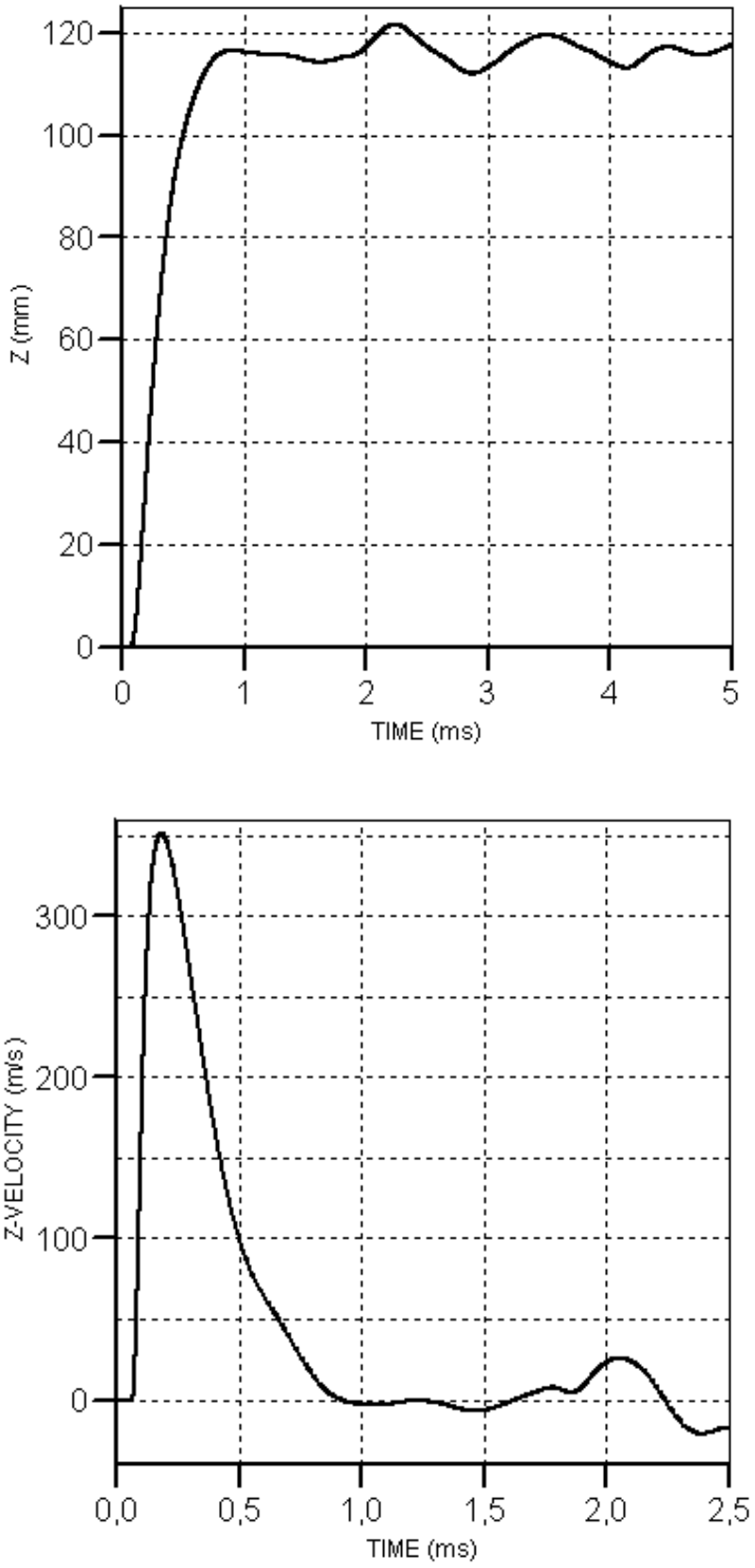
Şekil 2.12 Zırh çeliği – kompozit (0^0 Yönü) hız ve deplasman – zaman eğrileri



Şekil 2.13 Zırh çeliği – kompozit (0^0 / 90^0 Yönü) hız ve deplasman – zaman eğrileri



Şekil 2.14 Zırh çeliği – kompozit (45^0 / -45^0 Yönü) hız ve deplasman – zaman eğrileri



Şekil 2.15 Zırh çeliği – kompozit (0^0 / 45^0 / -45^0 / 90^0 Yönü) hız ve deplasman – zaman eğrileri

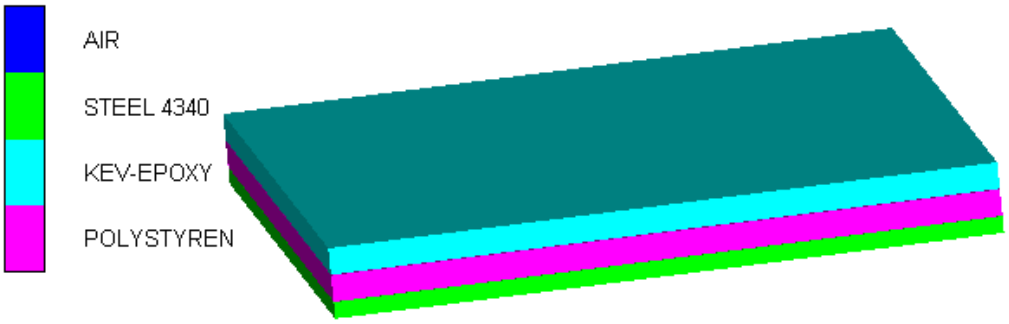
Çizelge 2.1 Zırh çeliği-kompozit konfigürasyonu deplasman ve deformasyon hızları

Konfigürasyon	Lif Yönü	Deplasman (mm)	Deformasyon Hızı (m/s)
Çelik	---	158,7	446,6
Çelik- Kompozit	0^0 Yönü	124,6	351,6
Çelik- Kompozit	0^0 / 90^0 Yönü	125	351,5
Çelik- Kompozit	$+45^0$ / -45^0 Yönü	119,2	349,9
Çelik- Kompozit	0^0 / $+45^0$ / -45^0 / 90^0 Yönü	121,6	351,1

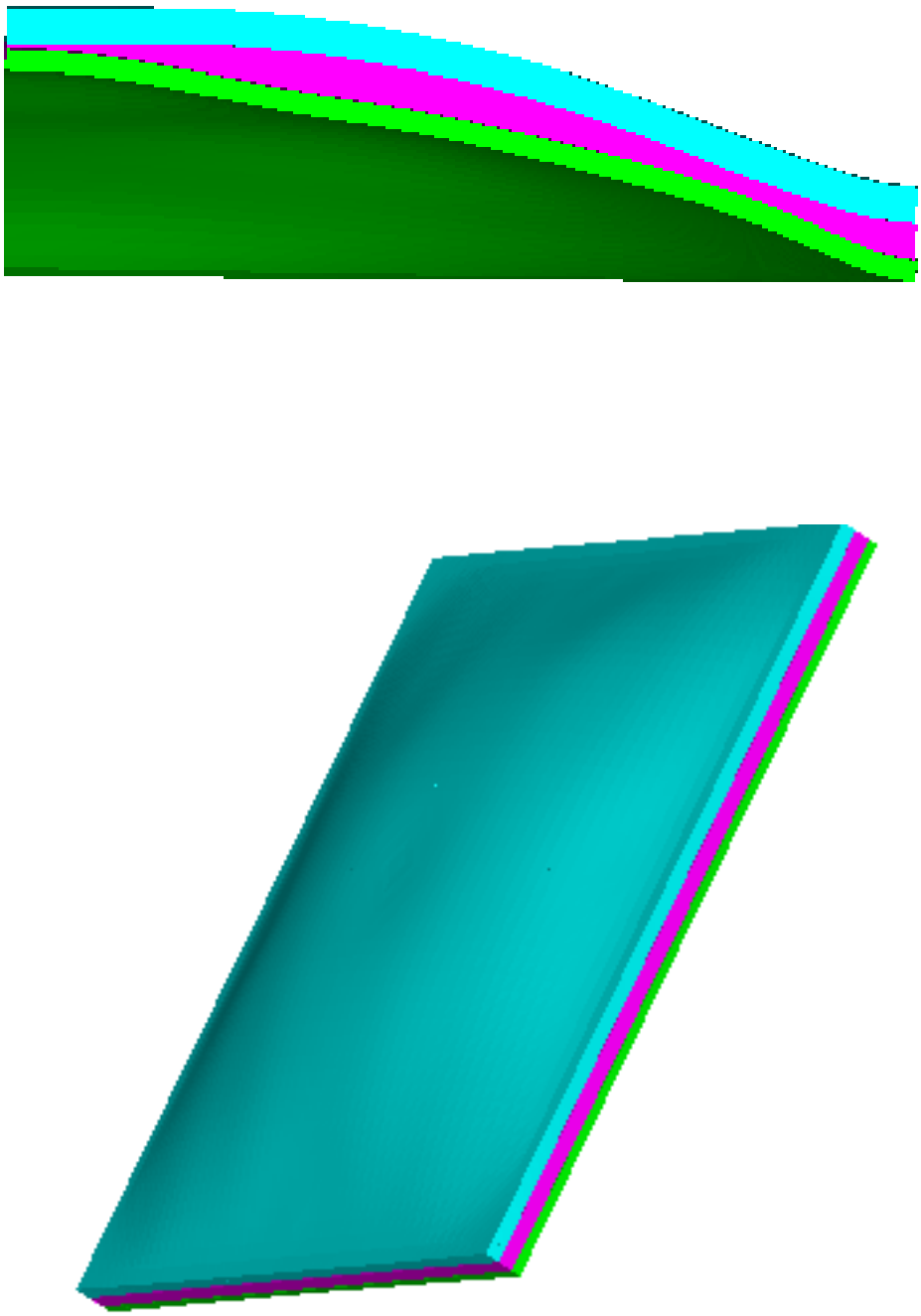
Çizelge 2.1' den görüldüğü gibi en düşük deplasman ve en düşük deformasyon hızı lif yönünün $+45^0$ / -45^0 olduğu durumda meydana gelmiştir. Araç tabanlarında kullanılacak zırhlarda istenilen genel özellik düşük deformasyon hızı dolayısı ile düşük ivme değerledir.

2.1.8 Zırh Çeliği – Elastomer – Kompozit Konfigürasyonu

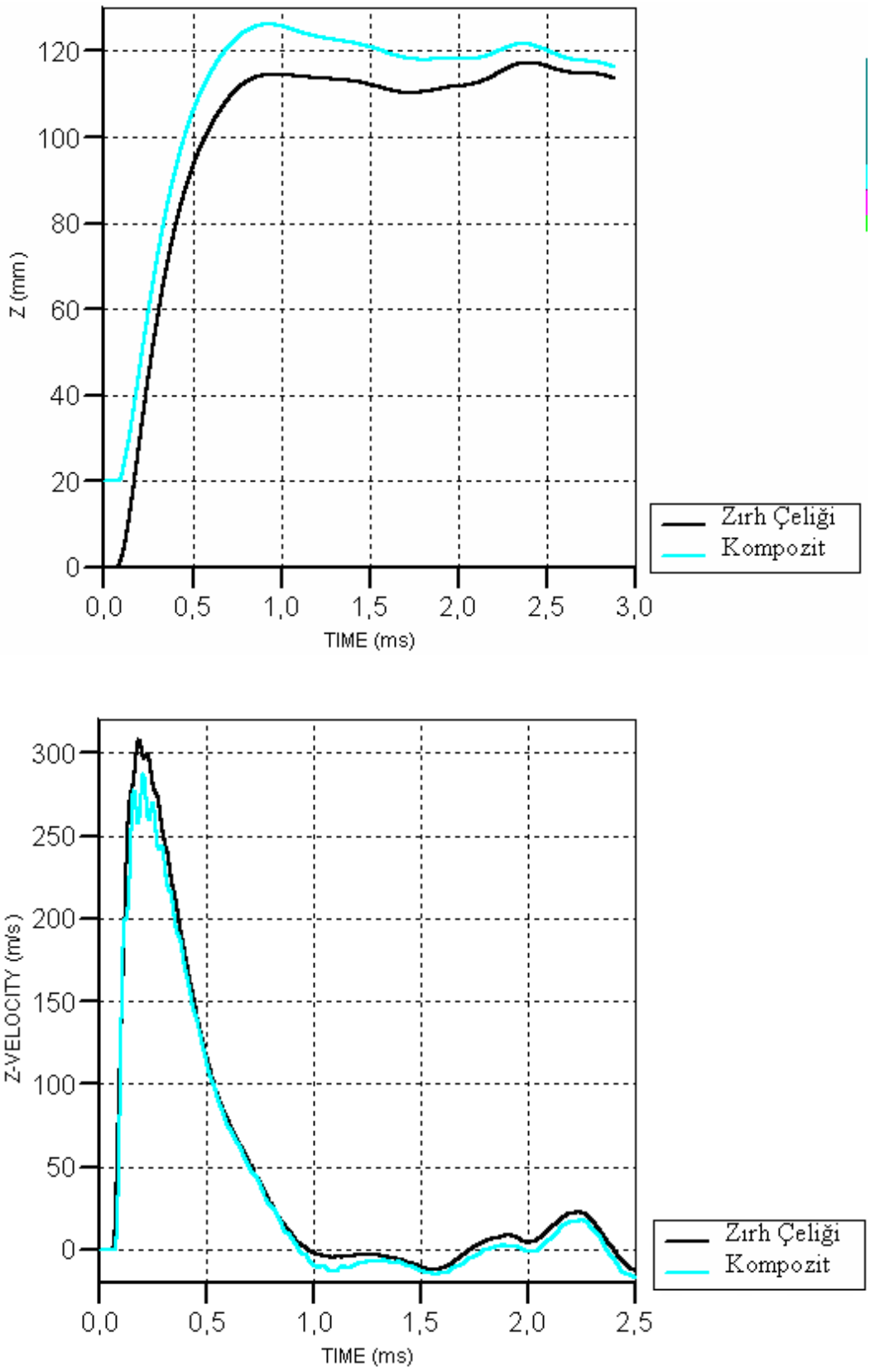
Zırh çeliği – kompozit konfigürasyonu için farklı lif yönlerine sahip kompozit üzerinde yapılan benzetimlerde en düşük deformasyon hızı değeri $+45^0$ / -45^0 yönündeki lif dizilimi için elde edilmiştir. Bu nedenle zırh çeliği – elastomer – kompozit konfigürasyonunda kompozit malzeme için $+45^0$ / -45^0 yönündeki lif dizilimi kullanılmıştır. Elastomer malzeme olarak 20 mm kalınlığa sahip polistiren köpük kullanılmıştır. Şekil 2.16' da patlamanın malzemeler üzerindeki etkileri net olarak görülebilmektedir. Polistiren köpük, sıkışarak enerjinin bir kısmını üzerinde sönümlemiş ve böylece kompozit daha az deformasyona uğramıştır. Şekil 2.17' de zırh konfigürasyonuna ait deplasman, deformasyon hızı, zaman eğrileri görülmektedir. Siyah çizgiler zırh çeliği üzerindeki, mavi çizgiler ise kompozit üzerindeki sayaçlar tarafından elde edilmiş verileri göstermektedir. Kompozit plakaya ait veriler polistiren köpük kalınlığını da içerdiğinden, sonuçlardan 20 mmlik köpük kalınlığının düşülmesi gerekmektedir.



Şekil 2.16 Zırh çeliği - elastomer - kompozit ($+45^0$ / -45^0 Yönü) patlama simülasyonu



Şekil 2.16 Zırh çeliği - elastomer - kompozit ($+45^0$ / -45^0 Yönü) patlama simülasyonu



Şekil 2.17 Zırh çeliği - elastomer (kalınlık 20 mm.) - kompozit ($+45^0$ / -45^0 Yönü) hız ve deplasman – zaman eğrileri

Şekil 2.17' deki deplasman ve deformasyon hızı –zaman grafikleri incelendiğinde zırh yapısı içerisinde polistiren köpük kullanılması ile kompozit malzemenin deplasmanının ve deformasyon hızının azaldığı görülmektedir (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2 Zırh çeliği - elastomer - kompozit konfigürasyonu deplasman ve deformasyon hızları

Konfigürasyon	**Lif Yönü**	**Deplasman (mm)**	**Deformasyon Hızı (m/s)**
Çelik	---	158,7	446,6
Çelik - Kompozit	$+45^0$ / -45^0 Yönü	119,2	349,9
Çelik – Elastomer (20 mm.) - Kompozit	$+45^0$ / -45^0 Yönü	106,2	287,4

3. SONUÇLAR

Çelik – kompozit katmanlı zırh malzemelerinin mayın patlaması karşısındaki davranışını incelemek maksadıyla yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Çelik – kompozit katmanlı zırh malzemelerinin mayın patlaması karşısındaki dinamik davranışını incelemek maksadıyla ilk olarak 12,7 mm kalınlığındaki zırh çeliği tek başına modellenmiş ve 5 kglık TNT karşısındaki deplasman ve deformasyon hızları bulunmuştur. Daha sonra aynı kalınlıktaki çeliğin üzerine farklı yönlerde dizilmiş lif katmanlarından oluşan 20 mm kalınlığa sahip kompozit malzeme rijit bağlanarak benzetimler tekrar edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde (Çizelge 2.1), bu tip zırh konfigürasyonunun kompozit malzemelerin dizilim yönüne bağlı olarak yaklaşık 40 mm daha az deplasman gösterdiği ve deformasyon hızının yaklaşık 100 m/s azaldığı tespit edilmiştir. Yapılan benzetimlerde deformasyon hızı dikkate alındığında analizlerde kullanılan Kevlar malzeme için en uygun lif yönü diziliminin $+ 45^0 / - 45^0$ yönü olduğu gözlenmiştir.

Çalışmanın son bölümünde 12,7 mm kalınlığa sahip zırh çeliği ile 20 mm kalınlığa sahip $+ 45^0 / - 45^0$ yönündeki liflerden oluşan kompozit malzeme arasına 20 mm kalınlığında polistiren köpük tabaka konularak benzetimler tekrarlanmıştır. Polistiren köpüğün ezilerek patlama sonucu ortaya çıkan kinetik enerjinin bir bölümünü emdiği, böylece kompozit malzemenin deplasmanının; yalnız çeliğe göre yaklaşık 53 mm, çelik – kompozit katmanlı olana göre 13 mm azaldığı, deformasyon hızının; yalnız çeliğe göre yaklaşık 159 m/s ve çelik-kompozit katmanlı olana göre 62,5 m/s azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 2.2).

Elde edilen veriler ışığında, mayın patlamasına karşı yalnız çelik malzemeler yerine çelik - kompozit veya çelik - elastomer köpük - kompozit katmanlı malzemelerin kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmektedir. Farklı malzeme özelliklerine sahip kompozitlerin ve farklı mekanik değerlere sahip köpük malzemelerin ve bunların farklı kalınlıklarının yapılacak nümerik benzetimlerle optimize edilerek deplasman ve deformasyon hızı büyüklüklerinin istenilen değerlere indirilebileceği değerlendirilmektedir. Elastomer köpük ve kompozit malzemeler kullanılarak belirli bir koruma seviyesine sahip zırhın, daha az çelik kalınlığı ile sağlanması böylece zırh ağırlığının düşürülmesi bir başka çözüm önerisidir.

TEŞŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan yazılım konusunda desteğini esirgemeyen TEMSA ARGETEK A.Ş.' ne teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

[1] Wong W., Horsfall I., Champion S.M. ve Watson C.H., (2001), "The Effect Of Matrix Type On The Ballistic And Mechanical Performance Of E-Glass Composite Armour", 19th International Symposium of Ballistics, 7-11 May 2001, Interlaken, Switzerland

[2] Tuncer B., Tezcan E., Kuntay A. ve Garcia J., (2002) "Patlayıcıların Zırhlı Araç Yapıları Üzerine Etkisinin Araştırılması" SAVTEK 2002 Savunma Teknolojileri Kongresi, 24-25 Ekim 2002, ODTÜ, Ankara

[3] De Rosa V., Friis J. ve L.A. Louca, (2003), "Nonlinear Analysis Of Stainless Steel Corrugated Panels Under Blast Loading: A Numerical Study", Research Report 102, Health & Safety Executive, United Kingdom.

[4] Gupta A.D., (1999), "Estimation Of Vehicle Floor Plate Loading And Response Due To Detonation Of A Mine Shallow-Buried İn Dry Sand And Wet Tuff", US Army Ground Vehicle Survivability Symposium, March 29-April 1999, USA.

[5] Kurtaran H., Büyük M. ve Bedewi N.E., (2004), "Chevrolet C2500 Pikap Aracının Mayın Patlaması Altındaki Dinamik Davranışının Bilgisayar Ortamında Simülasyonu", SAVTEK 2004 Savunma Teknolajileri Kongresi,24-25 Haziran 2004, ODTÜ, Ankara

[6] Black G., (2006) "Computer Modeling Of Blast Loading Effects On Bridges", NSF-REU University of Delaware, Newark, Delaware USA

[7] Century Dynamics, Autodyn Users Manual

[8] Composite Modeling In ANSYS AUTODYN

SUALTI AKUSTİK AĞLARIN MODELLENMESİ

Tarık Çınar

İstanbul Teknik Üniversitesi, Genelkurmay Başkanlığı BİLKARDEM Bşk.lığı
Bakanlıklar Ankara, tcinar@itu.edu.tr

ÖZ

Sualtı akustik ağlar, gerçek zamanlı olarak sualtının izlenmesine ve veri toplanmasına olanak sağlayan teknolojilerdir. Sualtında çalışma ve telsiz haberleşmesi yerine akustik haberleşmenin kullanılması, temel problem alanlarıdır. Sualtı akustik haberleşmesi, telsiz duyarga ağlardaki mevcut problemlerin yanısıra, suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve derinliğine bağlı olarak değişen ses hızı, sınırlı akustik bağ kapasitesi, gölgede kalan bölgeler, yüksek yayılım gecikmeleri, yüksek gönderim gecikmeleri, yüksek bit hataları ve yüksek düğüm hatalarını içermektedir. Bu problemler, telsiz duyarga ağlar için geliştirilmiş olan ağ protokolleri ile bu protokollerin testi için kullanılan simulatörlerin, sualtı akustik ağlarda direk kullanımına müsade etmemektedir. Bu bildiride, ağ protokollerinin testi için kullanılan günümüz popüler açık kaynak kodlu simulatörlerin, sualtı akustik ağlara yönelik yetenekleri incelenmiştir. Bu incelemenin yanısıra, bu simulatörlerden biri olan Ns-2 üzerinde, sualtı akustik kanalın modellenmesi maksadıyla geliştirmiş olduğumuz Dolphin projesi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Dolphin, Ns-2, sualtı akustik ağlar, sualtı akustik ağ simulatörleri, telsiz duyarga ağlar

MODELLING UNDERWATER ACOUSTIC NETWORKS

ABSTRACT

Underwater acoustic network (UAN) is the enabling technology for real-time underwater monitoring and data collection. Working under water and using underwater acoustic communication instead of RF communication are the main drawbacks for UANs. Besides the common impairments of wireless sensor networks (WSNs), underwater acoustic communication inherits other impairments such as varying sound speed due to the temperature, salinity, and depth, limited acoustic link capacity, shadow zones, high propagation delays, high transmission losses, high bit error rates, and high node failure occurances. These impairments impede the direct usage of the WSNs' protocols and simulators. In this paper, we investigate the underwater acoustic network capabilities of the popular open-source network simulators used for testing network protocols. Besides, we propose Dolphin project which is developed to add underwateter acoustic channel model to Ns-2 open-source network simulator.

Keywords: Dolphin, Ns-2, underwater acosutic networks, underwater acosutic network simulators, wireless sensor networks

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze sualtındaki olayların izlenmesi maksadıyla, sualtı akustik haberleşmesi üzerine pek çok çalışma yapılmış olmakla birlikte, bu çalışmaların genelinde sualtı olaylarına ait verilerin gerçek zamanlı olarak aktarımı gerçekleştirilememiştir. Bu eksiklik, sualtının izlenmesine yönelik pekçok uygulamanın desteklenememesine sebep olmuştur. Buna karşın, sualtındaki sabit ve hareketli duyargalar arasında kurulan haberleşme vasıtasıyla, gerçek zamanlı olarak sualtının izlenmesi ve veri toplanmasına olanak sağlayan Sualtı Akustik Ağların ortaya çıkışı, sualtına yönelik pekçok uygulamayı yapılabilir hale getirmiştir [1, 2].

Temel problemleri sualtında çalışma ve radyo haberleşmesi yerine akustik haberleşmenin kullanılması olan sualtı akustik ağlar, telsiz duyarga ağlardaki mevcut problemlerin yanısıra, suyun sıcaklığı, tuzluluğu ve derinliğine bağlı olarak değişen ses hızı, sınırlı akustik bağ kapasitesi, gölgede kalan bölgeler, yüksek yayılım gecikmeleri, yüksek gönderim gecikmeleri, yüksek bit hataları ve yüksek düğüm hatalarını içermektedir. Bu problemler, telsiz duyarga ağlar için geliştirilmiş olan ağ protokolleri ile bu protokollerin testi için kullanılan simulatörlerin sualtı akustik ağlarda direk kullanımına müsade etmemektedir.

Bununla birlikte, araştırmacıların sualtı akustik ağlara yönelik geliştirmiş oldukları ağ protokollerinin performans testlerini, ağ simulatörleri yerine suda yapması, gerek maliyeti gerekse akustik modem üreticilerinin modemleri ile ilgili bilgi vermemeleri nedeniyle mümkün olamamaktadır. Araştırmacıların protokol testlerini, sudaki testler öncesi günümüz popüler ağ simulatörleri üzerinde yapabilmesi için ise sualtı akustik kanalın bu simulatörler üzerinde modellenmesi gerekmektedir. Buna karşın, yukarıda bahsedilen problemlerden dolayı sualtı akustik kanalın modellenmesi ve bu modelin simulatörlerle bütünleştirilmesi ciddi güçlükler içermektedir.

Bu bildiri ile protokol testleri için kullanabilecek açık kaynak kodlu simulatörler hakkında sualtı akustik ağlar konusunda çalışma yapacak araştırmacıların bilgilendirilmesi hedeflenmiştir. Bu maksatla, günümüz popüler açık kaynak kodlu ağ simulatörlerine sualtı akustik kanal modelinin eklenmesi için yapılan çalışmalar ve bu simulatörlerden biri olan Ns-2 [3] üzerinde sualtı akustik kanalın modellenmesi maksadıyla geliştirmiş olduğumuz Dolphin projesi sunulmuştur.

Bildirinin sonraki bölümlerinde, sırasıyla, Ns [3, 4] ağ simulatörü ve sualtı akustik ağ yetenekleri, OMNeT++ [5] ağ simulatörü ve sualtı akustik ağ yetenekleri, Ns-2 ağ simulatöründe sualtı akustik kanalın modellenmesi maksadıyla geliştirmiş olduğumuz Dolphin projesi sunulmuştur. Son bölümde ise bildirimizin sonuçları verilmiştir.

2. NS AĞ SİMULATÖRÜ

Ns, ağ protokollerinin testi maksadıyla geliştirilmiş açık kaynak kodlu ayrık olay temelli bir ağ simulatördür. Kablolu ve kablosuz (yerel ve uydu) ağlara yönelik

geliştirilen protokollerin simulasyonlarının gerçeklenmesi Ns kullanılarak yapılabilmektedir.

Ns geliştirme çalışması, 1989 yılında, REAL [6] ağ simulatörü üzerinde yapılan değişikliklerle başlamış ve günümüze gelene kadar bir çok yenilik üzerine eklenmiştir. Ns üzerinde yapılan değişiklikler, 1995 yılından itibaren DARPA'nın [7] VINT [8] projesi üzerinden desteklenmeye başlanmıştır. Bununla birlikte, Ns'e bu destekle yapılan eklentilere ilaveten, kablosuz ağlar gibi pekçok yeni eklenti araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Ns'in iki farklı sürümü bulunmaktadır. Ns-2, bu sürümlerden ilki olup C++ [9] dili kullanılarak yazılmıştır. Yönetim ve yapılanış arayüzünde ise OTcl [10] dili kullanılmıştır. Diğer sürüm ise Ns-2'de varolan problemlerin çözümüne yönelik geliştirilen ve Ns-2'nin yerini alması planlanan Ns-3 [4] olup, C++ ve Python [11] dilleri kullanılarak yazılmıştır.

Ns-3'te sualtı akustik kanalın modellenmesine yönelik herhangi bir çalışma mevcut olmadığından, sualtı akustik ağ protokollerinin performans testlerinin Ns-3 kullanılarak yapılması mümkün değildir.

Buna karşın, Ns-2'de sualtı akustik kanalın modellenmesine yönelik bir çalışma mevcuttur [12]. Yapılan bu çalışmada, Ns-2'nin Yayılım, Kanal, Fiziksel ve Modülasyon katmanları sualtı akustik ağlara yönelik olarak modellenmiştir. Geliştirilen modellerin doğrulanması maksadıyla, bu modeller kullanılarak gerçekleştirilen simulasyonlara ait sonuçlar, daha önceden elde edilmiş analitik ve sayısal verilerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmada Işın İzi (Ray Tracing) [13] gibi sualtı akustik haberleşmesine yönelik geliştirilen metodların kullanılması yerine tahmini değer hesaplamaları yapılmıştır. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada gerçeğe yakın bir simulasyon ortamı sağlanamamıştır.

3. OMNET++

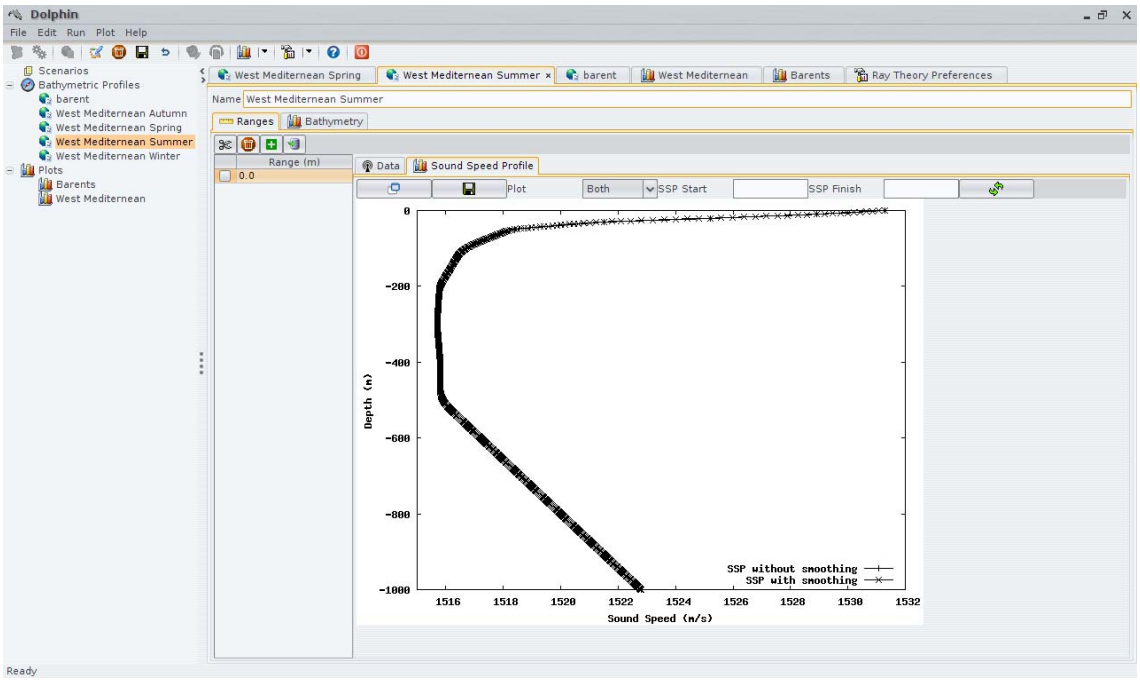
Ağ protokollerinin testi maksadıyla geliştirilmiş açık kaynak kodlu bir diğer simulatör ise OMNeT++'dır [5]. OMNeT++, Ns'ye nazaran güçlü bir kullanıcı arayüzüne sahiptir. Ayrıca, Ns'de olduğu gibi OMNeT++ kullanılarak kablolu ve kablosuz (yerel ve uydu) ağlara yönelik geliştirilen protokollerin simulasyonları yapılabilmektedir. OMNeT++, C++ dili kullanılarak yazılmıştır. Geliştirilecek modellerin kodu C++ kullanılarak yazılmakta ve üst seviye bir dil olan NED [5] tarafından derlenerek sisteme dahil edilmektedir.

OMNeT++'da sualtı akustik kanalın modellenmesine yönelik iki çalışma mevcuttur [14, 15]. Yapılan bu çalışmalarda sualtı akustik kanalın modeli, birer OMNet++ modülü olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin doğrulanması maksadıyla, bu modeller kullanılarak gerçekleştirilen simulasyonlara ait sonuçlar, daha önceden elde edilmiş analitik ve sayısal verilerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmalarda da Işın İzi (Ray Tracing) [13] gibi sualtı akustik haberleşmesine yönelik geliştirilen metodların kullanılması yerine tahmini değer hesaplamaları yapılmıştır. Bu nedenle, yapılan bu çalışmalarda da gerçeğe yakın bir simulasyon ortamı sağlanamamıştır.

4. DOLPHIN

Telsiz duyarga ağların modellenmesine yönelik pek çok çalışma olmasına karşın, az sayıda olan sualtı akustik ağ çalışmaları yukarıda sunulmuştur. Sualtı akustik haberleşmesine yönelik geliştirilen metodların [13] bu çalışmalarda kullanılması, bu metodların karmaşıklığı ve simulatörlere bu metodların eklenmesinde yaşanılacak zorluklar nedeniyle tercih edilmemiş, tahmini hesaplamalar yapılarak sualtı akustik kanal modellenmiştir.

Mevcut çalışmalardaki bu eksikliği gidermek ve sualtı akustiği üzerine yapılan çalışmalara ait metodlar kullanılarak gerçeğe yakın bir simulasyon ortamı oluşturmak maksadıyla, Ns-2 üzerinde koşacak bir proje geliştirilmiş ve Dolphin olarak adlandırılmıştır. Dolphin projesi kapsamında ilk olarak, simulasyon senaryolarını oluşturmak ve bu senaryolardaki mevcut düğümler arasındaki iletim kayıpları ile iletim gecikmeklerini hesaplamak için Java [16] dili kullanılarak bir yazılım, sonrasında ise Ns-2 üzerinde hesaplanan bu değerleri kullanan bir akustik kanal modeli geliştirilmiştir.



Şekil 1. Dolphin Kullanıcı Arayüzü

Java dili ile geliştirilen yazılıma ait kullanıcı arayüzü Şekil 1'de sunulmuştur. Senaryo bilgileri ile hesaplanan senaryo iletim kayıp ve gecikme bilgilerinin saklanması için MySQL [17] veritabanı yönetim sistemi ve plotlama için JavaPlot [18] yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım kullanılarak, akustik senaryolar tarafından kullanılabilecek batimetrik profiller girilebilmektedir. Bu profiller, değişik bölgelere ait derinliklere göre değişen ses hızları ile sualtı dip şeklini içermektedir. Girilen senaryo bilgileri ise kullanılacak batimerik profil, uzunluk, genişlik ve düğüm sayısı bilgilerini içermektedir. Düğümlerin belirlenen sahaya dökülmesi, xy ve xz eksenlerinde rastgele noktalar seçilerek yapılmıştır.

Sualtı akustiği üzerine yapılan çalışmalara ait metodlar kullanılarak gerçeğe yakın bir simulasyon ortamı oluşturulması maksadıyla, iletim kayıp ve gecikmelerinin hesaplanmasına yönelik Işın İzi [13] metodu seçilmiştir. Seçilen bu metodun kullanılabilmesi maksadıyla C [19] dili kullanılarak geliştirilmiş olan Ray [20] yazılımı güncellenerek bir kütüphane haline getirilmiş ve JNI [21] kullanılarak iletim kayıp ve gecikmeleri bu kütüphanedeki metodlar kullanılarak hesaplanmıştır.

Geliştirilen yazılım ile Ns-2'nin bütünleştirilmesine yönelik, C++ dili kullanılarak akustik kanal, akustik fiziksel katman, akustik düğüm, akustik senaryo ve akustik modem nesneleri ile Tcl [22] dili kullanılarak akustik düğüm nesnesi geliştirilmiş ve Ns-2 özüne eklenmiştir.

6. SONUÇ

Bu bildiride, günümüz popüler açık kaynak kodlu ağ simulatörlerine sualtı akustik kanal modelinin eklenmesi için yapılan çalışmalar ve gerçeğe yakın bir simulasyon ortamı oluşturulması maksadıyla iletim kayıp ve gecikmelerinin Işın İzi metodu kullanılarak hesaplandığı, Ns-2 üzerinde koşan Dolphin projesi sunulmuştur.

Sunulan çalışmalar kapsamında sualtı akustik ağların simulasyonuna yönelik açık kaynak kodlu simulatörlerin sınırlı sayıda uygulaması olduğu, mevcut uygulamaların ise iletim kayıp ve gecikmelerini gerçeğe yakın olarak hesaplamadıkları görülmüştür. Buna karşın gerçeğe yakın değerlerin simulasyonlarda kullanılabilmesinin karmaşık hesaplamalar gerektirdiği, simulatörler üzerinde bu hesaplamaların gerçek zamanlı olarak yapılabilmesinin mümkün olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Buna karşın, sualtındaki ses yayılımı, sualtı akustik ağların simulasyonunda gerçeğe yakın değerlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Sualtı akustik ağlara yönelik protokollerin testinde kullanılacak senaryolara ait hesaplamaların test öncesi yardımcı bir program vasıtasıyla yapılmasının ve hesaplama sonuçlarının simulasyon esnasında kullanılmasının bu problemi ortadan kaldıracağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Akyildiz, I.F., Pompili, D. ve Tommaso, M., (2005), “Underwater acoustic sensor networks: research challenges”, Elsevier's Journal of Ad Hoc Networks, 3(3), pp.257—279.

[2] Chitre, M., Shahabudeen, S., Stojanovic, M., (2008), "Underwater Acoustic Communications and Networking: Recent Advances and Future Challenges", Marine Technology Society Journal, Spring 2008 Volume 42, Number 1, pp.103-116.

[3] The Network Simulator – ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/ns/

[4] The ns-3 network simulator, http://www.nsnam.org/

[5] OMNet++, http://www.omnetpp.org/

[6] REAL 5.0 Overview, http://www.cs.cornell.edu/skeshav/real/overview.html

[7] Defense Advanced Research Projects Agency, http://www.darpa.mil/

[8] Virtual InterNetwork Testbed, http://www.isi.edu/vint/

[9] Stroustrup, B., (1997), “The C++ Programming Language”, Addison-Wesley, 3rd ed., New Jersey.

[10] OTcl - Object Tcl Extensions, http://bmrc.berkeley.edu/research/cmt/cmtdoc/otcl/

[11] Python Programming Language, http://www.python.org/

[12] Harris , A. F. III ve Zorzi M., (2007), “Modeling the underwater acoustic channel in ns2”, Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools, Nantes, France.

[13] Urick, R.J., (1983), “Principles of Underwater Sound”, McGraw-Hill Book Company, New York.

[14] Shin, S.Y. ve Park, S.H., (2008), "Omnet++ Based Simulation for Underwater Environment", IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, Shanghai.

[15] Shahabudeen, S., Chitre, M. ve Motani, M., (2007), “A multi-channel MAC protocol for AUV networks”, IEEE Oceans’ 07, Aberdeen, Scotland.

[16] Java Language, http://www.sun.com/java/

[17] MySQL, http://www.mysql.com/

[18] JavaPlot, http://gnujavaplot.sourceforge.net/JavaPlot/About.html

[19] Kernighan, B.W. ve Ritchie, D.M., (1988), “The C Programming Language”, Prentice Hall Software Series, New Jersey.

[20] Ray, http://oalib.hlsresearch.com/Rays/ray/

[21] Java Native Interface, http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/guide/jni/

[22] Tcl Language, http://www.tcl.tk/

EK BİLGİ

Tarık Çınar

Adres Genelkurmay Başkanlığı, BİLKARDEM Başkanlığı, Bakanlıklar ANKARA

e-posta tcinar@itu.edu.tr

Tel (iş) 0 312 402 38 36

Tel (cep) 0 506 595 62 97

Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Problemi

(Multi-Terminal Maximum-Flow Network Interdiction Problem)

İbrahim Akgün [*, a,b] , Barbaros Ç. Tansel [a], R.Kevin Wood [c]

[a] *Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, Bilkent 06800, Ankara, Türkiye*
[b] *Gnkur. BİLKARDEM Başkanlığı, Bakanlıklar 06100, Ankara, Türkiye*
[c] *Operations Research Department, Naval Postgraduate School, 93943, Monterey, CA, ABD*

Özet

Bu çalışmada, Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Problemi (ÇTMÖP) incelenmektedir. ÇTMÖP'de, bir *serim kullanıcısı*, $K \geq 3$ *düğüm noktası grubu* arasındaki akışı enbüyüklemeye çalışırken bir *önleyici* serim ayrıtlarını imha ederek enbüyük akışı enküçüklemeye çalışır. Problemin uygulamaları, askeriyede ve kritik alt yapının korunması ile güvenilir (robust) sistemlerin tasarlanmasında ortaya çıkabilir. Bu çalışmada, problemi çözmek için, biri tam diğeri yakınsak iki model önerilmekte ve iki modelin çözüm zamanları ile en iyi amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmaktadır. Testlerden elde edilen sonuçlara göre, yakınsak model, tam modelin 24 saat içinde çözemediği problemleri saniyeler içinde çözebilmektedir. Her iki modelin en iyi amaç fonksiyonu değeri, bazı problemler için aynı olmakla beraber, diğerlerinde farklılık göstermektedir. İki modelin en iyi amaç fonksiyonu değeri arasındaki fark, en fazla %42.4 olarak belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, özellikle çözüm zamanları nedeniyle, yakınsak modelin tam model için, yeterli bir yakınsama olabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimler: Askeri Yöneylem Araştırması; Tamsayılı Programlama; Enbüyük Akış Önleme.

[*] İrtibat Noktası. Tel.: +90 312 290 1262

E-mail address: iakgun@bilkent.edu.tr

1. Giriş

Bu çalışmada, *Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Problemi* (ÇTMÖP) incelenmektedir. ÇTMÖP'de, *serim kullanıcısı* ve *önleyici* olmak üzere iki rakip bulunmaktadır. Serim kullanıcısı, $K \geq 3$ *düğüm noktası grubu* arasındaki akışı maksimize etmeye çalışırken, önleyici, serim kullanıcısının enbüyük akışını, kısıtlı imkanları ile (örneğin, hava saldırıları, karıştırma sistemleri) serim ayrıtlarını imha ederek enküçüklemeye çalışır. ÇTMÖP, askeri ve sivil sektörde çeşitli şekillerde uygulama alanı bulabilir. Örneğin, bir önleyici ülke, hasım bir ülkenin $K \geq 3$ *bölgesel kuvveti* (muharebe ve/veya lojistik birlikler) arasındaki ulaştırma/haberleşme imkanlarını, asgari miktarda kaynak ile ulaştırma/haberleşme seriminin ayrıtlarını (düğüm noktalarını) imha etmek suretiyle enküçüklemek isteyebilir. Önleyici ülkenin, hasım ülkenin bölgesel kuvvetlerinin yerleri ile nereden nereye mesaj/malzeme akışı olacağına ilişkin bilgiyi tam ve doğru olarak elde etmesinin pek mümkün olmayacağı, diğer yandan, serim yapısı, ayrıt kapasiteleri, vs. gibi bilgileri tahmin edebileceği kabul edilebilir. Bu durumda önleyici ülke, hasım ülkenin ulaştırma/haberleşme sisteminin en etkin şekilde çalıştığını varsayarak, sistemin çalışma kapasitesini enküçükleyecek bir saldırı planı hazırlayabilir. Anılan yaklaşım, her bir bölgesel kuvvetin muhtemel yerleşim yerlerinin bir düğüm noktası grubu olarak ifade edilerek, düğüm noktası grupları arasındaki enbüyük akışın enküçüklenmesi suretiyle gerçekleştirilebilir. Bu şekilde elde edilecek sonuç, serim kullanıcısı hasım ülkenin enbüyük akışının üst sınırını enküçükler.

ÇTMÖP, ulaştırma, elektrik, telekomünikasyon, tedarik zinciri gibi ekonominin kritik alt yapısını oluşturan sistemlerin korunmasında ve tasarlanmasında da kullanılabilir. Sistemlerin tasarlanmasında, maliyet ana faktör olarak değerlendirildiği için, çoğu zaman sadece rassal olarak meydana gelebilecek sistem çöküşleri/arızaları dikkate alınır, koordineli

bir saldırıdan kaynaklanabilecek çöküşler dikkate alınmaz. Ancak, akıllı bir terrorist grup, sisteme enbüyük zararı vermek için kritik alt yapının farklı noktalarına eş zamanlı olarak saldırı düzenleyebilir. Bu kapsamda, ÇTMÖP, sistemin zayıf taraflarının belirlenerek çeşitli saldırılara karşı dayanıklı sistemlerin tasarlanmasında kullanılabilir. Terörist grup tarafından sisteme enbüyük zararı vereceği düşünülerek imha edilmesi planlanan ayrıt ve düğüm noktaları, sistem kullanıcısı açısından korunması, güçlendirilmesi gereken yerler olarak değerlendirilebilir. Anılan yaklaşım ile çok sayıda senaryo için elde edilen sonuçlardan istifade edilerek, bütçe kısıtları da dikkate alınarak, bir korunma planı hazırlanabilir.

ÇTMÖP, Wood (1993) tarafından $K = 2$ için aynı çerçevede ele alınan *Enbüyük Akış Önleme Problemi* (MÖP)'nin genelleştirilmiş halidir. MÖP, NP-Zor olduğu için ÇTMÖP de NP-Zordur. MÖP, hasım ülkenin muharebe sahasının geri bölgesinden ileri bölgesine malzeme gönderilmesi gibi basit durumlarda kullanılabilir. Bu çalışmanın hedefi, daha genel ve gerçekçi problemlerde kullanılabilecek şekilde, MÖP'ün tek-malzemeli serim yapısını çok-malzemeli serim yapısına uyarlamaktır.

ÇTMÖP, ilk kez bu çalışmada ele alınmaktadır. Ancak, literatürde MÖP üzerinde yapılmış çok çalışma vardır. Wollmer (1964, 1970a), Durbin (1966), McMasters ve Mustin (1970), Helmbold (1971), Ghare ve diğerleri (1971), Lubore ve diğerleri (1971) Steinrauf (1991), Wood (1993), Cormican ve diğerleri (1998) ve Whiteman (1999), bu alandaki çalışmalardan bazılarıdır. Anılan çalışmalar arasında, genelleştirilebilir bir yaklaşım geliştiren ilk çalışma, Wood (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Lim ve Smith (2007) tarafından, çok-malzemeli bir serim önleme problemi için modeller geliştirilmiştir. Çok malzemeli olması itibariyle ÇTMÖP'ye benzemekle beraber, bu problemde, düğüm noktaları arasındaki arz ve talep miktarlarının bilindiği ve serim kulanıcısının, ayrıta ve ayrıt üzerinde akan malzemeye bağlı olarak değişen kârını

enbüyüklemeye çalıştığı varsayılmaktadır. Önleyici, serim kullanıcısının enbüyüklemeye çalıştığı kârını, serim ayrıtlarını imha ederek enküçüklemeye çalışır. Bu bağlamda, iki problem yapısal olarak birbirinden farklıdır.

Diğer bir gruptaki önleme probleminde, önleyici, serim kullanıcısının bir kaynak ve bir batak arasındaki en kısa yolunu, serim ayrıtlarını imha ederek enbüyüklemeye çalışır. Bu alanda, Fulkerson ve Harding (1977), Golden (1978), Israeli (1999) ile Israeli ve Wood (2002), önemli katkılar sağlamıştır.

Önleme probleminin yapısına uygun olan ancak farklı alanlara uygulanan diğer bazı çalışmalar, Wollmer (1970b), Washburn ve Wood (1994), Assimakopoulos (1987), Anandalingam ve Apprey (1991), Church ve diğerleri (2004), Salmeron ve diğerleri (2004), Brown ve diğerleri (2005, 2006) ile Scaparra ve Church (2008) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Makalenin bundan sonraki bölümünde, problemin çözümü için tam ve yakınsak olmak üzere iki model geliştirilecek ve iki model, çözüm zamanları ile amaç fonksiyonu değerleri esas alınarak karşılaştırılacaktır.

2. Tam Formülasyon

ÇTMÖP, yönsüz, kapasiteli bir serim $G=(N,A)$ üzerinde tanımlanır. i ve j düğümlerini birleştiren bir ayrıt, (i,j) veya (j,i) olarak temsil edilebilir. $(i,j)\in A$ ayrıtı üzerindeki akış, i'den j'ye veya j'den i'ye olabilir. $(i,j)\in A$ ayrıtı üzerindeki toplam akış, i'den j'ye olan akış y_{ij} ile j'den i'ye olan akış y_{ji}'nin toplanması ile elde edilir ve u_{ij} kapasitesi ile sınırlıdır.

Serim kullanıcısı, hem kaynak hem de batak işlevi gören $K\geq 3$ düğüm noktası grupları $N'_1\subseteq N,...,N'_K\subseteq N$ arasındaki enbüyük akışı enküçüklemeye çalışır. $N'=\bigcup_k N'_k$, *özel*

düğümler, $N - N'$, *düzenli* düğümler olarak tanımlanır. $|N'| << |N|$ olduğu varsayılmaktadır. K düğüm grupları arasındaki potansiyel akış, ortak kapasite kısıtları ile birleştirilen K tek-malzemeli enbüyük-akış modeli ile formüle edilir. k indisi ile temsil edilen tek-malzemeli model, N'_k'deki düğümleri kaynak, $\bigcup_{k' \neq k} N'_{k'}$'deki düğümleri ise batak olarak kabul eder. Bu kapsamda, serim kullanıcısının problemi, *Çok-Malzemeli Enbüyük-Akış Problemi* (ÇMAP) olarak ele alınır.

Önleyicinin, serim kullanıcısının gerçekleştirebileceği enbüyük akışı önlemek için ayrıtları imha ederken sadece bir tip önleme kaynağı kullandığı, $(i, j) \in A$ ayrıtının imhasında r_{ij} kadar önleme kaynağına ihtiyaç duyduğu ve önleme kaynağının toplam miktarının R olduğu varsayılır. Ayrıtların kısmi imhasına izin verilmez.

ÇTMÖP, önleyicinin *lider*, serim kullanıcısının *takipçi* olduğu iki aşamalı *statik Stackelberg oyunu* (Siman and Cruz, 1973) olarak ele alınabilir. Bu bağlamda, ÇTMÖP'yi iki-seviyeli, min-max problemi (Dempe, 2002) olarak modellemek mümkündür. Modelde kullanılan y_{ijk} karar değişkeni, kaynağı N'_k olan i'den j'ye olan akış miktarını, x_{ij} karar değişkeni ise, (i, j) ayrıtının imha edilip edilmediğini gösterir.

ÇTMÖM: Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Modeli

$$z^* = \min_{\mathbf{x} \in X} \max_{\mathbf{y}} \sum_{k=1,\ldots,K} \Big(\sum_{(i,j) \in A : i \in N'_k} y_{ijk} + \sum_{(i,j) \in A : j \in N'_k} y_{jik} \Big) \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \sum_{j:(i,j) \in A \cup (j,i) \in A} y_{ijk} - \sum_{j:(i,j) \in A \cup (j,i) \in A} y_{jik} = 0 \qquad k = 1,\ldots,K,\ i \in N - N' \qquad : \alpha_{ik} \tag{2}$$

$$\sum_{k=1,\ldots,K} (y_{ijk} + y_{jik}) \leq u_{ij}(1 - x_{ij}) \qquad (i, j) \in A \qquad : \theta_{ij} \tag{3}$$

$$X = \{\mathbf{x} \in \{0,1\}^{|A|} : \sum_{(i,j) \in A} r_{ij} x_{ij} \leq R\} \tag{4}$$

$$y_{ijk} \geq 0, y_{jik} \geq 0 \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{5}$$

ÇTMÖM, serim kullanıcısının enbüyük akışını enküçüklemeye çalışan önleyicinin modelidir. Dikkat edilirse, $\mathbf{x} \equiv \mathbf{0}$ olduğunda, modelin iç kısmındaki enbüyükleme modeli, çok-malzemeli enbüyük akış modelidir. Modeldeki ana varsayım, X 'in boş olmadığı ve iç enbüyüklemenin her önleme planı için olurlu olduğudur. Amaç fonksiyonu (1), düğüm grupları arasındaki enbüyük akışı enküçükler. Kısıt seti (2), akış dengesi kısıtlarıdır. Bir ayrıt, önleyici tarafından imha edildiğinde, serim kullanıcısı söz konusu ayrıtı kullanamaz. Bu bağlamda, kısıt seti (3), ayrıt imha edilirse ayrıtın kapasitesini sıfıra, imha edilmez ise ayrıtın kapasitesini enbüyük değerine eşitler. Kısıt seti (4), önleme kaynaklarını sınırlandırır ve önleyicinin karar değişkenini tanımlar. Önleyicinin karar değişkenlerine ilişkin genel ve özel amaçlı kısıtların ilave edilmesi mümkündür. Kısıt seti (5), serim kullanıcısının karar değişkenlerini tanımlar.

ÇTMÖM'nin standart eniyileme paket programları ile çözülmesi mümkün değildir. Ancak, ÇTMÖM, karışık tamsayılı bir modele dönüştürülebilir ve böylelikle standart eniyileme teknikleri ile çözülebilir.

ÇTMÖM'nin karışık tamsayılı bir modele dönüştürülmesi için, (1) **x** geçici olarak sabitlenerek iç enbüyüklemesinin eşleniği alınır ve daha sonra **x** serbest bırakılarak karışık tamsayılı, doğrusal olmayan min-min (=min) modeli elde edilir, (2) doğrusal olmayan model doğrusal hale getirilir.

Kısıt seti (2) ve (3)'e tekabül eden α_{ik} ve θ_{ij} karar değişkenleri kullanılarak iç enbüyüklemenin eşleniği alındığında, aşağıdaki model elde edilir.

NÇTMÖM: Doğrusal Olmayan Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Modeli

$$z^* = \min_{\mathrm{x}} \min_{\alpha,\theta} \sum_{(i,j)\in A} u_{ij}(1-x_{ij})\theta_{ij} \tag{6}$$

$$\text{s.t} \qquad -\alpha_{ik} + \alpha_{jk} + \theta_{ij} \geq \delta_{ijk} \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{7}$$

$$-\alpha_{jk} + \alpha_{ik} + \theta_{ij} \geq \delta_{jik} \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{8}$$

$$\sum_{(i,j)\in A} r_{ij} x_{ij} \leq R \qquad (i,j) \in A \tag{9}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\},\ \theta_{ij} \geq 0 \qquad (i,j) \in A \tag{10}$$

$$\alpha_{ik},\ free \qquad k = 1,...,K,\ i \in N - N' \tag{11}$$

Modelde kullanılan δ_{ijk}, $i \in N_k'$ olduğunda 1, diğer durumlarda 0 değerini alan bir parametredir. $\mathbf{x} \equiv \mathbf{0}$ veya sabit **x** için, NÇTMÖM, çok malzemeli enbüyük akış probleminin eşleniği ile aynıdır. Aslında, sabit **x** için, NÇTMÖM, Çok Terminalli Enküçük Kesi Probleminin doğrusal programlama gevşetmesine karşılık gelir. Yani, modelin tamsayılı çözümü, çok terminalli enküçük kesiyi verir. Bu nedenle, θ_{ij} değerinin 0 ile 1 arasında olacağını kabul edebiliriz (Garg et al., 1996). Bu sonuç, $(1-x_{ij})\theta_{ij}$'nin yerine $\eta_{ij} \geq 0$'ı kullanarak ve $\eta_{ij} \geq \theta_{ij} - x_{ij}$ kısıt setini ekleyerek, NÇTMÖM'ni doğrusal hale getirmemize imkan tanır. Buna ilave olarak, $\eta_{ij} \geq \theta_{ij} - x_{ij}$ kısıtlarının eşitlikte sağlanacağını ispatlayabiliriz. Bunun için, optimal çözümde $\theta_{ij} = 0$ olduğunu varsayalım. Olurlu çözüm için, $0 \leq \eta_{ij} \leq 1$ ve $x_{ij} = 1$ veya $x_{ij} = 0$ olmalıdır. $\eta_{ij} > 0$ olması, amaç fonksiyonu değerini gereksiz yere artıracağı için, $\eta_{ij} = 0$. $x_{ij} = 1$ olabilir. Ancak, amaç fonksiyonu değeri değişmeyeceği ve olurluluk sağlanacağı için, $x_{ij} = 0$ olan başka bir çözüm elde edilmesi mümkündür. Böylece, $\theta_{ij} = 0$ olduğunda, $x_{ij} = n_{ij} = 0$ olduğunu, yani $\eta_{ij} + x_{ij} - \theta_{ij} = 0$,

varsayabiliriz. Şimdi de, $\theta_{ij} > 0$ olan bir çözümü ele alalım. Bu durumda, olurluluğun sağlanması için $\eta_{ij} \geq \theta_{ij}$ veya $x_{ij} = 1$'den en az biri sağlanmalıdır. $\eta_{ij} \geq \theta_{ij}$ olduğunda, kısıt sağlanır. $x_{ij} = 1$ olduğunda, $x_{ij} = 0$ olan başka bir optimal çözüm elde etmek mümkündgr. Böylece, $\theta_{ij} > 0$ olduğunda, $\eta_{ij} \geq \theta_{ij}$ ve $x_{ij} = 1$'den sadece birisinin aynı anda doğru olacağını kabul edebiliriz. $\eta_{ij} \geq \theta_{ij}$ olduğunda, amaç fonksiyonunun gereksiz yere artmaması için $\eta_{ij} = \theta_{ij}$ olmalıdır. $x_{ij} = 1$ olduğunda, yukarıda açıklandığı şekilde, $\eta_{ij} = 0$. Buna ilave olarak, amaç fonksiyonu değeri değişmeyeceği için, θ_{ij}'i 1'e eşitleyebiliriz. Bu durumda, $\theta_{ij} > 0$ ise, $\eta_{ij} + x_{ij} - \theta_{ij} = 0$ Yani, $\eta_{ij} \geq \theta_{ij} - x_{ij}$ eşitsizliğini, eşitlik olarak ifade edebiliriz. θ_{ij}'nin yerine $\eta_{ij} + x_{ij}$ konduğunda, aşağıdaki nihai model DÇTMÖM elde edilir.

DÇTMÖM: Doğrusal Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Modeli

$$z^* = \min_{\alpha,\eta,x} \sum_{(i,j)\in A} u_{ij}\eta_{ij} \tag{12}$$

$$\text{s.t} \quad -\alpha_{ik} + \alpha_{jk} + \eta_{ij} + x_{ij} \geq \delta_{ijk} \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{13}$$

$$-\alpha_{jk} + \alpha_{ik} + \eta_{ij} + x_{ij} \geq \delta_{ijk} \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{14}$$

$$\sum_{(i,j)\in A} r_{ij}x_{ij} \leq R \tag{15}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad (i,j) \in A \tag{16}$$

$$\alpha_{ik},\ free \qquad k = 1,...,K,\ i \in N - N' \tag{17}$$

$$\eta_{ij} \geq 0 \qquad (i,j) \in A \tag{18}$$

$R = 0$ olduğunda (veya $n_{ij} + x_{ij}$'nin yerine θ_{ij} kullanıldığında), DÇTMÖM, çok malzemeli enbüyük akış önleme modelinin eşleniği ile aynıdır. Bu durumda, serim kullanıcısı, serim üzerindeki enbüyük akışı sağlar. Önleme kaynak miktarı sıfırdan farklı

olduğunda, bazı ayrıtlar imha edilir ve imha edilen ayrıtlara bağlı olarak, serim kullanıcısının enbüyük akış değeri düşer. Enbüyük akış değerindeki düşüş, ayrıtların imha edilmesi durumunda düğüm grupları arasında hangi yolların kullanılamaz hale geldiğine ve söz konusu yollar üzerindeki önleme öncesi akış miktarına bağlıdır. Dolayısıyla, DÇTMÖM, önleme kaynak sınırları içinde, serim kullanıcısının önleme öncesi enbüyük akışı değerinde en fazla düşüşe sebep olacak şekilde, imha edilecek ayrıtları belirler. Modelin en iyi amaç fonksiyon değeri, serim kullanıcısının, önleme sonrası gerçekleştirebileceği enbüyük akış değerini verir.

DÇTMÖM, belirli bir senaryo için, önleyiciye en iyi önleme planı $\mathbf{x}^*$'i verir. Önleyici, R, N'_k, veya diğer parametreleri değiştirmek suretiyle oluşturacağı çok sayıda farklı senaryoyu analiz etmek suretiyle, bir saldırı planı gerçekleştirebilir. Serim kullanıcısı açısından, en iyi önleme planını oluşturan ayrıtlar, güçlendirilmesi, desteklenmesi veya korunması gereken ayrıtlar olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla, serim kullanıcısı da, kendi açısından bir savunma planı geliştirebilir.

DÇTMÖM, düğüm noktası grupları arasındaki enbüyük akışı doğrudan enküçüklemeye çalıştığı için, ÇTMÖP için tam bir modeldir. Ancak, test sonuçları, DÇTMÖM'nin çözüm zamanlarının çok yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, çözümü kolay, yakınsak model YÇTMÖM geliştirilmiştir.

3. Yakınsak Model (YÇTMÖM)

YÇTMÖM, $N'_k,...,N'_K$ arasındaki enbüyük akışı doğrudan enküçüklemez. Bunun yerine, düğüm noktası kümesi N'yi, her bir özel düğüm grubu N'_k, ayrı bir alt küme içinde olacak şekilde K adet ayrışık $N_1,...,N_K$ alt kümeye böler ve N_k alt kümelerini birbirine bağlayan ayrıtları imha eder. Amaç, N_k alt kümelerini birbirine bağlayan imha edilmemiş ayrıtlar

üzerindeki toplam kapasiteyi enküçüklemektir. Modelde, üç farklı karar değişkeni kullanılmaktadır. x_{ij}, iki farklı düğüm kümesini birbirine bağlayan (i, j) ayrıtı imha edildiğinde 1, diğer durumlarda 0 değerini alır. ω_{ik}, i düğümü N_k alt kümesine tahsis edildiğinde 1, diğer durumlarda sıfır değerini alır. λ_{ij} ise, iki farklı düğüm kümesini birbirine bağlayan (i, j) ayrıtı imha edilmediğinde 1, diğer durumlarda 0 değerini alır.

YÇTMÖM: Yakınsak Çok Terminalli Enbüyük Akış Önleme Modeli

$$z^* = \min_{x,\lambda,\omega} \sum_{(i,j)\in A} u_{ij}\lambda_{ij} \tag{19}$$

s.t.
$$\sum_k \omega_{ik} = 1 \qquad i \in N \tag{20}$$

$$\omega_{ik} - \omega_{jk} + \lambda_{ij} + x_{ij} \geq 0 \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{21}$$

$$-\omega_{ik} + \omega_{jk} + \lambda_{ij} + x_{ij} \geq 0 \qquad k = 1,...,K,\ (i,j) \in A \tag{22}$$

$$x_{ij} + \lambda_{ij} \leq 1 \qquad (i,j) \in A \tag{23}$$

$$\sum_{(i,j)\in A} r_{ij} x_{ij} \leq R \tag{24}$$

$$\omega_{ik} \equiv 1 \qquad k = 1,...,K, i \in N'_k \tag{25}$$

$$\omega_{ik'} \equiv 0 \qquad \forall k', i \in N'_k, k \neq k' \tag{26}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad (i,j) \in A \tag{27}$$

$$\lambda_{ij} \in \{0,1\} \qquad (i,j) \in A \tag{28}$$

$$\omega_{ik} \in \{0,1\} \qquad k = 1,...,K,\ i \in N \tag{29}$$

Amaç fonksiyonu (19), farklı düğüm alt kümeleri arasındaki, imha edilmeyen toplam kapasiteyi enküçükler. Kısıt seti (20), her bir i düğümünün sadece bir N_k alt kümesine tahsis edilmesini sağlar. Kısıt seti (21) ve (22), düğüm kümesinin bölünmesini sağlar ve bir

ayrıtın düğüm alt kümelerini birbirine bağlayıp bağlamadığını tespit eder. YÇTMÖM, ayrıt setini üç gruba ayırır: (a) düğüm alt kümeleri arasından geçen ve imha edilen, (b) düğüm alt kümeleri arasından geçen fakat imha edilmeyen ve (c) düğüm alt kümelerini arasından geçmeyen. Kısıt seti (23), kısıt setleri (21) ve (22) ile, her bir ayrıtın söz konusu üç gruptan birinde yer almasını sağlar. Kısıt seti (24), önleme kaynağının kullanımını sınırlar. Kısıt seti (25) ve (26), özel düğüm noktalarının, düğüm grubu alt kümelerine ön tahsisini yapar. Kısıt seti (27) ve (28), karar değişkenlerini tanımlar.

YÇTMÖM, $R = 0$ olduğunda, Çok Terminalli Enküçük Kesi Problemi (ÇTMKP)'ni çözer. Bu bağlamda, YÇTMÖM , ÇTMKP için yeni bir model olma özelliğini taşımaktadır. YÇTMÖM'nin en iyi amaç fonksiyon değeri, DÇTMÖM'nin en iyi amaç fonksiyon değeri için bir üst sınır oluşturur. Test sonuçları da bu hususu doğrulamaktadır.

4. Test Çalışmaları

DÇTMÖM ve YÇTMÖM, ayrıt kapasite değerleri [1,100] arasında rassal olarak üretilen serim problemleri ile test edilmiştir. Testler, 3.0 GHz Intel Core 2 Duo işlemcisi ve 3 GB RAM'i olan bir bilgisayarda, CPLEX 9.0 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modeller, optimal çözüm bulununcaya kadar veya en fazla 24 saat çalıştırılmıştır. İki modelin amaç fonkisyonu değerleri, $100\% \times (z^*_{YÇTMÖM} / z^*_{DÇTMÖM})$ istatistiği kullanılarak karşılaştırılmıştır. Test problemlerinde, tüm (i, j) ayrıtları için $r_{ij} = 1$ olarak kabul edilmiştir. Problemlere ilişkin diğer parametrelerin değerleri, çözüm zamanları, amaç fonksiyon değerleri ve diğer parametrelerin verileri, Tablo 1'de sunulmuştur. 24 saat içinde optimal çözümü bulunamayan problemler için, nihai amaç fonksiyon değeri ve eniyilikten uzaklık yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü üzere, 32 test probleminin tamamı, YÇTMÖM ile, 0.03-0.99 saniye arasında eniyi olarak çözülebilmiştir. Ancak, DÇTMÖM ile, sadece 21 test problemi,

0.09-17605 saniye arasında çözülebilmiştir. Her iki model tarafından eniyi olarak çözülebilen 21 test probleminden sadece biri için, her iki model aynı amaç fonksyon değerine sahiptir. Diğer 20 problem için, amaç fonksiyon değerleri arasındaki fark, %6.69 ile %42.04 arasında değişmektedir. Eniyi olarak çözülemeyen problemler için, amaç fonksiyon değerleri arasındaki farkların, en fazla % 37.06 olacağı görülmektedir.

Tablo1. DÇTMÖM ve YÇTMÖM için test sonuçları.

Pr. Id.	G	$\|N\|$	$\|A\|$	R	K	YÇTMÖM		DÇTMÖM		$\frac{100\% \times z^*_{YÇTMÖM}}{z^*_{DÇTMÖM}}$
						z^*	Run time (sec)	z^*	Run time (sec)	
1	1	30	435	9	3	5358	0.05	4655.5	0.23	115.09%
2				11	3	5173	0.03	4542.5	0.61	113.88%
3				20	3	4376	0.06	4101.5	918.77	106.69%
4				30	3	3562	0.03	3562	17605.33	100.00%
5				6	4	9091	0.03	6889	0.09	131.96%
6				11	4	8610	0.03	6495	0.26	132.56%
7				20	4	7763	0.03	5960	41.56	130.25%
8				30	4	6871	0.05	[5469-0.67 %]	86400	125.64%-126.48%
9	2	60	1770	10	3	15743	0.09	13435	2.20	117.18%
10				30	3	13887	0.11	[12409-1.71 %]	86400	111.91%-113.86%
11				11	4	23362	0.11	17613	1.14	132.64%
12				16	4	22878	0.13	17236	1.44	132.73%
13				25	4	22030	0.13	16648	32.97	132.33%
14				40	4	20656	0.13	[15852-1.12 %]	86400	130.31%-131.78%
15				50	4	19765	0.13	[15362-2.37 %]	86400	128.66%-131.78%
16				60	4	18894	0.13	[14881-4.36 %]	86400	126.97%-132.76%
17	3	90	4005	11	3	28493	0.36	23240.5	3.16	122.60%
18				20	3	27624	0.36	22609.5	2318.49	122.18%
19				40	3	25760	0.42	[21617-2.07 %]	86400	119.17%-121.68%
20				60	3	23963	0.59	[20658-5.16 %]	86400	116.00%-122.31%
21				16	4	39800	0.47	29158.5	5.94	136.50%
22				20	4	39408	0.45	28847.5	7.50	136.61%
23				40	4	37503	0.50	[27627-0.57 %]	86400	135.75%-136.53%
24				60	4	35668	0.59	[26647-2.34 %]	86400	133.85%-137.06%
25	4	120	7140	11	4	60018	0.91	45012	7.26	133.34%
26				20	4	59128	0.91	44221	30.45	133.71%
27				40	4	57179	0.91	[42817-0.14 %]	86400	133.54%-133.73%
28				60	4	55269	0.88	[41763.5-1.32 %]	86400	132.34%-134.11%
29				11	5	76175	0.97	53970	10.64	141.14%
30				20	5	75284	0.97	53167.5	23.67	141.60%
31				40	5	73321	0.94	51572.5	159.94	142.17%
32				60	5	71391	0.99	[50261-0.37%]	86400	142.04%

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, ÇTMÖP için, biri tam diğeri yakınsak iki model önerilmiş ve iki modelin çözüm zamanları ile en iyi amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar

incelendiğinde, özellikle çözüm zamanları nedeniyle, yakınsak modelin tam model için, yeterli bir yakınsama olabileceği değerlendirilmiştir. Çalışmanın müteakip aşamalarında, tam modelin çözümü için çeşitli ayrışım tekniklerinin denenebileceği, ayrıtların kısmi imha edilmesi, imhaların etkisinin daha karmaşık fonksiyonlarla belirlenmesi, kapasitelerin veya ayrıt imhalarının rassallık içermesi gibi durumlar için yeni model ve çözüm yöntemlerinin geliştirilebileceği değerlendirilmektedir.

6. Kaynakça

Assimakopoulos N. A network interdiction model for hospital infection control. Computers in Biology and Medicine 1987; 17(6): 413-422.

Anandalingam G, Apprey V. Multi-level programming and conflict resolution. European Journal of Operational Research 1991; 51(2): 233-247.

Brown G, Carlyle M, Diehl D, Kline J, Wood RK. A two-sided optimization for theater-ballistic missile defense. Operations Research 2005; 53 (5); 745-763.

Brown G, Carlyle M, Salmeron J, Wood RK. Defending critical infrastructure. Interfaces 2006; 36 (6); 530-544.

Church RL, Scaparra MP, Middleton RS. Identifying critical infrastructure: The median and covering facility interdiction problems. Annals of the Association of American Geographers 2004; 94; 491-502.

Cormican KJ, Morton DP, Wood RK. Stochastic network interdiction. Operations Research 1998; 46; 184-197.

Dempe, S. Foundations of Bilevel Programming. Kluwer Academic Publishers:Dordrecht. 2002.

Durbin EP. An Interdiction Model of Highway Transportation, Report RM-4945-PR. RAND Corporation: Santa Monica, California; May 1966.

Fulkerson DR, Harding GC. Maximizing the minimum source-sink path subject to a budget constraint. Mathematical Programming 1977; 13; 116-118.

Garg N, Vazirani VV, Yannakakis M. Approximate max-flow min-(multi)cut theorems and their applications. SIAM Journal of Computers 1996; 25 (2); 235-251.

Ghare PM, Montgomery DC, Turner WC. Optimal interdiction policy for a flow network. Naval Research Logistics Quarterly 1971; 18; 37-45.

Golden B. A problem in network interdiction. Naval Research Logistics Quarterly 1978; (25); 711-713.

Helmbold RL. A Counter Capacity Network Interdiction Model, Report R-611-PR, RAND Corporation: Santa Monica, California; March 1971.

Israeli E. System Interdiction and Defense. Doctoral Dissertation, Naval Postgraduate School:Monterey, California; March 1999.

Israeli E, Wood RK. Shortest path network interdiction. Networks 2002; 40; 97-111.

Lim C, Smith JC. Algorithms for discrete and continuous multicommodity flow network interdiction problems. IIE Transactions 2007; 39 (1): 15-26.

Lubore SH, Ratliff HD, Sicilia GT. Determining the most vital link in a flow network. Naval Research Logistics Quarterly 1971; 17; 261-268.

McMasters AW, Mustin TM. Optimal interdiction of a supply network. Naval Research Logistics Quarterly 1970; 17; 261-268.

Salmeron J, Wood RK, Baldick R. Analysis of electric grid security under terrorist threat. IEEE Transactions on Power Systems 2004; 19; 905-912.

Scaparra MP, Church RL. A bilevel mixed integer program for critical infrastructure protection planning. Computers and Operations Research 2008; 35; 1905-1923.

Siman M, Cruz JB. On the Stackelberg strategy in nonzero-sum games. Journal of Optimization Theory and Applications 1973; 11; 533–555.

Steinrauf RL. Network Interdiction Models, Master's Thesis. Naval Postgraduate School: Monterey, California; September 1991.

Washburn A, Wood RK. Two-person zero-sum games for network interdiction. Operations Research 1994; 42; 243-251.

Whiteman PS. Improving single strike effectiveness for network interdiction. Military Operations Research 1999; 4; 15-30.

Wollmer RD. Removing arcs from a network. Operations Research 1964; 12; 807-1076.

Wollmer RD. Algorithm for targeting strikes in a lines-of-communication network. Operations Research 1970a; 18; 497-515.

Wollmer RD. Interception in a network. Naval Research Logistics Quarterly 1970b; 17; 207-216.

Wood RK. Deterministic network interdiction. Mathematical and Computer Modeling 1993; 17; 1-18.

OTOMATİK HAVA GÖREV EMRİ

Emre ERCİYES [(a)], Halil KOLSUZ[(a)], Erol EVRAN [(a)] , Tolga TÜRKER [(a)]
Ayhan YILMAZ[(a)]

[(a)] Meteksan Sistem A.Ş. 5.Cadde No:6/A 06533 Bilkent/Ankara,
{eerciyes, hkolsuz, eevran, tturker, ayhany} @meteksan.com.tr

ÖZ

Bu makalede SAMMOS–1 (Satıhta Konuşlu Aktif Hava Savunma Harekatının Modellenmesi ve Simülasyonu) Projesi kapsamında kullanılan Hava Görev Emirlerinin(HGE), kurgulanan simülasyon senaryosuna uygun şekilde otomatik olarak üretilmesi anlatılmaktadır. Senaryo geliştirme safhasının uzun süreli bir işlem olduğu düşünüldüğünde ve HGE'lerin manüel oluşturulmasının bu süreç içinde fazla zaman alması nedeniyle Senaryo Geliştirme Aracına bu işlemi otomatik hale getirmek için bir araç eklenmiştir. Bu araç, hava görevlerinin eldeki kaynaklara, görev tiplerine, hedeflere, hedefe verilmek istenen hasar miktarına ve hedef önceliklendirme kriterlerine göre oluşturulmasını sağlamaktadır. Hedef ve mühimmat eşleştirmesi Hasar Modellemesi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Otomatik olarak üretilen HGE'lerin manüel olarak değiştirilmesine de imkân sağlamaktadır. Otomatik HGE aracı, HGE'lerini NATO standartlarında üretebilmekte ve üretilen HGE'lerin Senaryo İşletim Aracı tarafından kullanılması mümkün olmaktadır. Senaryonun işletimi sırasında senaryonun geldiği değişen duruma göre de HGE değişikliğini sağlayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hava Savunma Simülasyonu, HGE, Modelleme, Otomatik Hava Görev Emri, SAMMOS

AUTOMATED AIR TASKING ORDER

ABSTRACT

In this paper, automated generation of Air Tasking Order (ATO) in line with the developed simulation scenario used in SAMMOS-1 (Modeling and Simulation of Surface Based Active Air Defense Operation) project is presented. Thinking of the lengthy phase of scenario development process, and since the manually generation of ATO in this process takes a huge amount of time; a tool is integrated into the Scenario Development Tool to automate this process. This tool provides the generation of air missions given the resources available, mission types, targets, the amount of damage that should be given to the targets and the target prioritization criteria. Target-Munitions matching are performed by using damage modeling. The manual editing of automatic generated ATO is also supported. Automated ATO tool is capable of producing NATO

compliant ATOs; and the produced ATOs can be employed by the Scenario Execution Tool. The modification of ATO in response to the state change in the scenario is also provided during scenario execution time.

Keywords: Air Defence Simulation, ATO, Automated Air Tasking Order Production, Modeling, SAMMOS

1. GİRİŞ

Hava Görev Emri (HGE); bir hava kuvvetinin gerçek bir harekâtta veya bir tatbikatta, emrine verilen kaynaklar (uçaklar) ile kendisine verilen görevleri yerine getirebilmek için oluşturduğu her türlü hava görevlerini içeren listedir. Bu listede hava kuvvetinin imkân ve kabiliyetleri kapsamında ve senaryo dâhilinde gerçekleştirebileceği tüm görevler yer alır.

HGE, belirli bir süredeki tüm hava görevlerini kapsayan NATO standardında bir mesaj formatı [1] halinde hazırlanarak yayımlanır. Anılan mesaj formatında ilk bölümde kimlik bilgileri (mesajı çıkaran ve alacak makamlar, mesaj konusu, gizlilik derecesi, geçerli olduğu zaman dilimi vb.), daha sonra her bir görevin görev cinsine göre detaylı açıklamaları (filo, uçak tipi ve adedi, görev tipi, görev bölgesi koordinat bilgileri, ana hedef, alternatif hedef, varsa mühimmat bilgileri, rota bilgileri, çağrı adı, telsiz frekansları, ilgili kontrol unsuru (radar) bilgileri, paket görev ise lider uçak bilgileri ve randevu noktası bilgileri, kalkış- iniş zamanları, hedef üzerinde bulunma zamanı vb.) bulunur.

HGE otomatik ve manüel oluşturulabilir. Dünyada kullanılan mevcut savunma simülasyon sistemlerinde genelde HGE manüel olarak oluşturulmaktadır. Ancak senaryo geliştirme sürecinde manüel HGE oluşturulması zaman maliyetli bir işlemdir. Bu makalede anlatılacak olan SAMMOS–1 Projesi kapsamında geliştirilen otomatik HGE oluşturma aracı ile bazı kurallar ve kısıtlar tanımlanarak otomatik HGE üretilebilmekte, senaryo geliştirme süreci hızlandırılmakta, kaynaklar en uygun şekilde kullanılarak gayret tasarrufu sağlanmakta ve senaryo geliştiriciden kaynaklanan hatalar asgari düzeye çekilmektedir.

2. OTOMATİK HGE OLUŞTURMA ALGORİTMASI

Bir Hava Görev Emrini otomatik oluşturabilmek için kullanıcıdan bazı kısıt tanımlamaları yapması istenir. Kısıt tanımlamaları; Kaynak Seçimi, Gayret Tahsisi, Erişim Alanları, Hedef Listesi ve Genel Hedef Önceliklendirmesi, Genel Parametreler ve Hava Sahası Kontrol Emri aşamalarından oluşur.

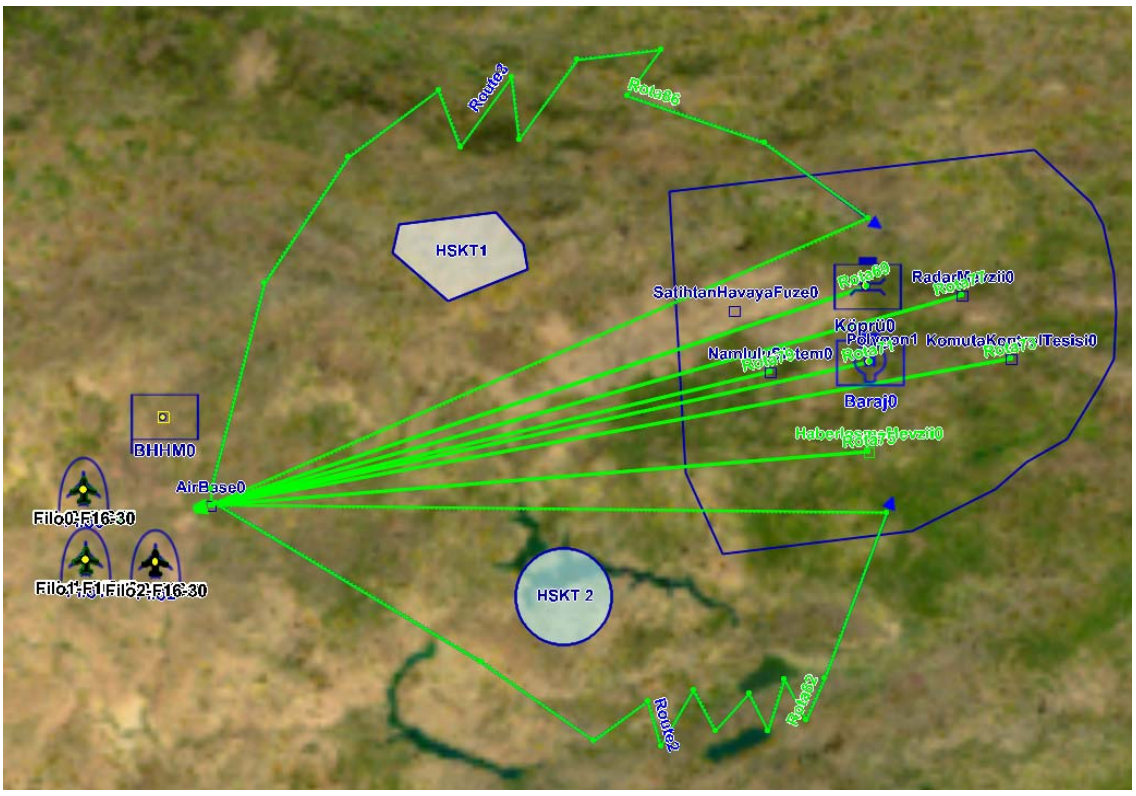
HGE, göreve ait genel tanımlamalar, seçilen altı tür görev ve bu görevlerin oluşturduğu paketlerden oluşur. Aslında bir Hava Görev Emrinde hava kuvvetlerinin icra ettiği her türlü hava görevleri bulunmalıdır. SAMMOS-1'de bazı görevler seçilmiş olup, tüm görevler (Havadan Yakıt İkmali, Havadan Erken İhbar Kontrol, Önleme, Himaye, Devriye, Elektronik Harp, Taktik Hava Keşfi, Ulaştırma) kapsanmamıştır. Ancak altyapı hazır olup, gelecekte ilave görevler dahil edilebilecektir. Seçilen bu altı görev:

- Havadan Yere Taarruz (HYT)
- Savunma Baskısı (SB)
- Taarruz Sonrası Keşif (TSK)
- Silahlı Keşif (SK)
- Yakın Hava Desteği (YHD)
- Deniz Harekâtının Taktik Hava Desteği (DHTHD)

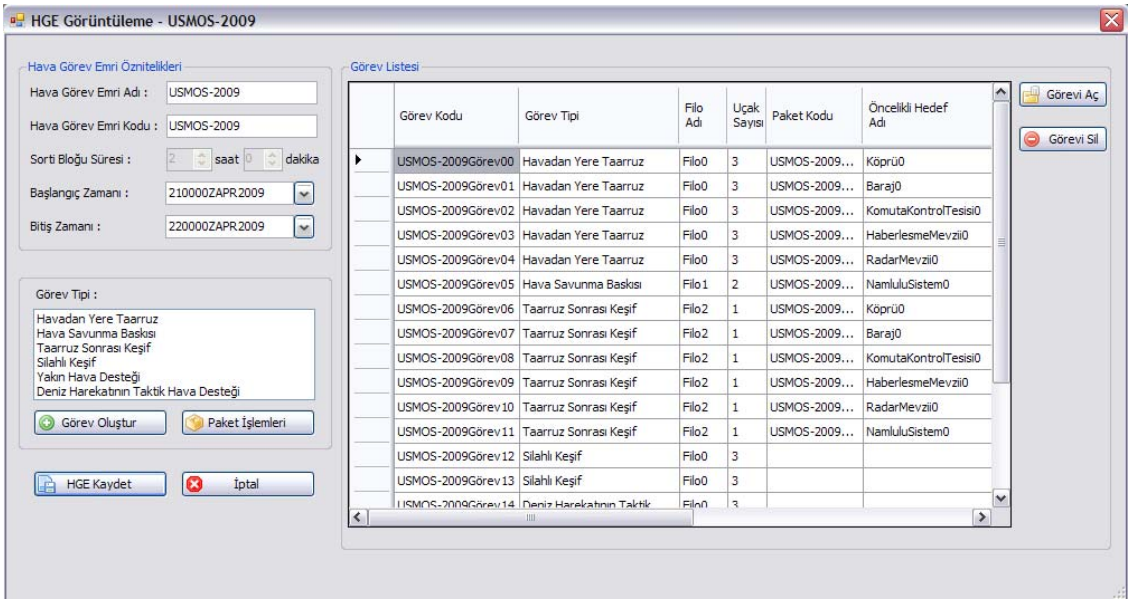
Kullanıcı tarafından girilen bu kısıtlar çerçevesinde önce HYT ve SB türünde görevler oluşturulur. Sonra oluşturulan bu görevlerden paket oluşturabilecek görevler gruplanır ve bu gruplar için randevu noktaları ve rotalar oluşturulur. Daha sonra oluşturulan her müstakil ve paket görev için TSK türünde görev oluşturulur ve paketler içindeki tüm görevlerin birbirlerine göreceli kalkış zamanları belirlenir.

Kalan görev türlerinden ilk önce senaryoda tanımlanmış silahlı keşif rotaları için SK görevleri, daha sonra ise YHD ve DHTHD görevleri ve rotaları oluşturulur. Son olarak bütün görevlerin hedef üzerinde bulunma zamanları ve görev süreleri hesaplanır.

Girilen kısıtlara göre Otomatik HGE aracı ile oluşturulan örnek bir HGE'ne ilişkin rotalar ve görevler Şekil-1 ve Şekil-2'de görüntülenmektedir. Hava üssündeki kaynaklar kullanılarak ve uygun rota çözümlemesi gerçekleştirilerek görev tabloları oluşturulmuştur. Senaryo işletme safhasında, bu bölümde yaratılan görevler, senaryo zaman çizelgelemesine göre işletilecektir.



Şekil 1. Senaryo Geliştirme Ortamı ve Otomatik HGE Rotaları



Şekil 2. Otomatik HGE Görüntüleme

3. KISIT TANIMLAMA İŞLEMLERİ

3.1. Kaynak Seçimi

Senaryoda bulunan bütün filolar uçak tipi, uçak sayısı ve bağlı olduğu hava üssü bilgileriyle birlikte listelenir. Filolara belirtilen dört türde rol ataması yapılarak, filoların görevlendirmelerde kullanılması veya kullanılmaması sağlanabilir. Bu roller:

- Taarruz: Rolü "Taarruz" olarak atanmış filolar; HYT, SK, YHD ve DHTHD görevlerinde kullanılabilir.
- Destek: Rolü "Destek" olarak atanmış filolar SB görevinde kullanılır.
- Keşif: Rolü "Keşif" olarak atanmış filolar TSK görevinde kullanılır.
- Kullanım Dışı: Rolü "Kullanım Dışı" olarak atanmış filolara herhangi bir görev atanmaz.

3.2. Gayret Tahsisi

Kaynak seçimi aşamasında rol atanan filoların görevlere göre tahsisinin yapılmasıdır. Bu işlem kapsamında, her görev tipi için ayrılabilecek azami uçak yüzdeleri, gerçekleştirilmesi gereken asgari sorti miktarları ve bir görev için ayrılması gereken minimum uçak miktarı kısıt olarak girilir.

Görevler kullanılacak üç rol ve daha sonra tanımlanacak erişim alanları türleri kapsamında detaylandırılır.

- Taarruz
  - Mukabil Hava Harekâtı
  - Hava Tecrit Harekâtı
  - Taarruzi Hava Destek Harekâtı

- Muharebe Sahası Hava Tecridi
- Yakın Hava Desteği
- Deniz Harekâtının Taktik Hava Desteği

- Destek
  - Hava Savunma Baskısı
- Keşif (Taarruz Sonrası Keşif)

Taarruz görevleri "Havadan Yere Taarruz" ve "Silahlı Keşif" şeklinde icra edilir.

3.3. Erişim Alanları

HGE kapsamında düşman kuvvetlerin hangi bölgelerine görev düzenleneceği bilgisi kısıt olarak tanımlanmalıdır. Bir erişim alanı bir veya birden fazla hedef içerebilir.

Üç tane erişim alanı tipi vardır:

- Taarruzi Mukabil Hava Harekâtı Erişim Alanı
- Hava Tecrit Harekâtı Erişim Alanı
- Muharebe Sahası Hava Tecridi Harekâtı Erişim Alanı

Hedefler, içerisinde bulundukları erişim alanlarına göre sıralanırlar ve "Hedef Listesi"nde listelenirler. Erişim alanı tanımı yapılırken hedeflerin sıralanmasında etkili olan "Ana Hedef Tipleri Önceliklendirmesi" işlemi yapılır. Ana hedef tipleri; Tecrit Hedefleri, SAM/AAA Hedefleri, İkmal Hedefleri, Mukabil Hava Harekâtı Hedefleri, Radar Hedefleri ve Muharebe Sistemleri Hedefleri'dir.

Kullanıcının tanımladığı önceliklere göre erişim alanlarının içerdiği hedefler sıralanır.

3.4. Hedef Listesi ve Genel Hedef Önceliklendirmesi

Senaryoda tanımlı düşman hedefleri listelenmiş halde gösterilir. Kullanıcı listelenmiş hedeflerin önceliklerini değiştirmek için hedefleri "Hedeflenmeli" veya "Vurulmalı" olarak işaretleyebilir. "Vurulmalı" olarak işaretlenen hedefler en yüksek, "Hedeflenmeli" olarak işaretlenenler ise ikinci seviyede önceliğe sahip olurlar. "Hedeflenmeli" ve "Vurulmalı" olarak işaretlenmeyen hedeflere otomatik HGE üretilmesi sırasında görev düzenlenmez.

Genel hedef önceliklendirmeleri, daha önce yapılan erişim alanı bazlı hedef önceliklendirmelerini detaylandırmak amacı ile kullanılmaktadır. Örneğin Tecrit Hedefleri tipindeki hedefler, köprü ya da baraj olabilir. Tecrit Hedefleri tipine herhangi bir öncelik verilmiştir, ancak hangisinin daha öncelikli olduğuna genel hedef önceliklendirmelerinde girilen değerler ile karar verilmektedir. Böylece hedeflerin alt tipleri bazında önceliklendirmesi yapılmaktadır.

3.5. Genel Parametreler

HGE'ne ait genel kısıtların kullanıcıdan alınacağı aşamadır. Bu kısıtlar; HGE'nin başlama ve bitiş zamanları, sorti bloğu süresi, düşman birliğin hedef modelleri bazında gerçekleştirilmesi planlanan hasar yüzdeleri, paket oluşturmak için gerekli parametreler,

yakıt ikmal meydanı bekleme süresi, hedef üzerinde kalma süresi vb. genel parametrelerdir.

3.6. Hava Sahası Kontrol Emri

Bir muharebede taraflar (dost-düşman) kendi hava ve satıh (kara, deniz) kuvvetlerinin birbirlerinin faaliyetlerini ve harekâtını kısıtlamamak veya asgari seviyede kısıtlamak amacıyla hava sahasının kullanımı için bazı tedbirler oluştururlar. Hava sahasında bazı bölge, hat ve koridorlar oluşturarak belirli zamanlarda bunların kullanımını bir unsura tahsis ederek diğerleri tarafından kullanılması kısıtlanır ve her unsurun kabiliyetinden azami fayda sağlanmaya çalışılır. Değişik isimlerle ve amaçlarla oluşturulan bu hat, koridor ve bölgelere Hava Sahası Kontrol Tedbirleri (HSKT) denir. Hava Sahası Kontrol Tedbirlerinin yürürlükte (aktif) olacağı zaman dilimlerinin belirlenerek bir mesaj formatında emir şeklinde yayımlanmasına da Hava Sahası Kontrol Emri (HSKE) denir.

Otomatik Hava Görev Emri oluşturulurken, kullanıcı tarafından Hava Sahası Kontrol Tedbirleri için aktif olacağı zaman aralıkları belirlenir ve görevlerin rotaları bu tedbirler dikkate alınarak otomatik olarak yaratılır.

4. HGE GÖREVLERİNİN OLUŞTURULMASI

4.1. Havadan Yere Taarruz Görevlerinin Oluşturulması

Hedef önceliklendirmesi algoritmasına göre sıralanmış hedeflerden, havadan yere taarruz ile vurulabilecek hedefler bir gruba ayrılır. Sistemde hangi hedefe hangi tür görev tanımlanabileceği bilgisi belirlenmiş olmalıdır. Gayret Tahsisi bölümünde hangi tip görevin minimum kaç uçak ile gerçekleştirileceği belirtilir. Görevin kaç uçak ile düzenleneceği belirlendikten sonra, yeterli sayıda kaynağın mevcut olup olmadığı kontrolü yapılır ve hedef için en uygun olan filo bulunur. Filo seçilirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmaktadır:

- Filonun Kaynak Seçimi aşamasında Taarruz görevi ile görevlendirilmiş olması,
- Belirtilen sorti bloğunda filonun görevin düzenleneceği uçak sayısı kadar uçağının kullanılabilir olması,
- Filonun bulunduğu üssün yerinden hedefe gidip gelme süresinin bir sorti bloğu süresinden kısa olması,
- Hedef ile filonun bulunduğu üssün yeri arasında bir gidiş - dönüş rotasının oluşturulabilmesi

Yukarıdaki parametreleri sağlayan filolar içerisinden önce en yakın sorti bloğunda uygun olan daha sonra da hedefe en az mesafede olan filo bu görev için seçilmektedir. Rota oluşturulurken yakıt ikmal ihtiyacı ortaya çıkarsa, ikmal meydanı da rotaya dahil edilir.

Yeterli gayret tahsisi olduğunda ve uygun bir filo bulunduğunda, göreve gidecek uçakların hedefe "Genel Parametreler" kısıtında girilen "beklenen hedef hasar yüzdesi" değerine eşit veya daha fazla hasar verebilmesi için yeniden hesaplama yapılması gerekmektedir. Hedef ve uçak tipi dikkate alınarak, kullanılacak mühimmat ve mühimmatın hedefe vereceği hasar miktarına göre uçak sayısı yeniden belirlenir.

Uygun mühimmat ve filo bulunduğunda, belirtilen hedef için HYT görevi oluşturulur. Bu görev filonun uygun olduğu sorti bloğunda, hesaplanan uçak sayısı ile düzenlenir. Göreve sistem tarafından bir kod verilir. Aynı kod çağrı adı olarak da kullanılır.

4.2. Savunma Baskısı Görevlerinin Oluşturulması

Hedef önceliklendirmesi algoritmasına göre sıralanmış hedeflerden, savunma baskısı görevi ile vurulabilecek hedefler bir gruba ayrılır. SB görevlerinin oluşturulma algoritması HYT görevleri ile aynıdır. HYT görevinden farkı, filonun "Destek" rolünde olmasıdır.

4.3. Taarruz Sonrası Keşif Görevlerinin Oluşturulması

TSK görevleri, sadece taarruz sonrası hedefe verdirilen hasarı tespit etmek amacıyla gerçekleştirilen keşif görevleridir. Bu nedenle TSK görevleri müstakil olarak gerçekleştirilmemektedir. HGE içerisinde otomatik olarak oluşturulmuş tüm müstakil ve paket HYT ve SB görevleri için bir TSK görevi oluşturulur. Müstakil HYT ve SB görevleri için TSK tahsis edildiğinde yeni bir paket oluşturulur, eğer mevcut bir paket göreve TSK tahsis ediliyorsa, TSK görevi mevcut pakete eklenir.

Her bir paket için, paketin öncelikli görevinin hedefi, TSK görevinin keşif yapacağı hedef olarak varsayılmaktadır. TSK görevlerinin oluşturulma algoritması HYT ve SB görevleri ile aynıdır. Diğer görevlerden farkı, filonun "Keşif" rolünde olmasıdır.

4.4. Silahlı Keşif Görevlerinin Oluşturulması

Silahlı Keşif (SK) görevleri taarruz ana görevinin bir parçası olup, hedeflerin senaryo kurgulama aşamasında belirli olmadığı, görev sırasında rota üzerinde gözlemlenen önemli ani hedeflere taarruz düzenlenerek icra edilen bir görev türüdür.

Uygun filo bulma işlemi temel olarak HYT ve SB görevlerinde olduğu gibi gerçekleştirilmektedir. Filoların "Taarruz" rolü ile görevlendirilmiş olması gereklidir. Görev için yeterli kaynak varsa, uygun bir filo seçilmiş ve görevi gerçekleştirecek uçakların taşıyacağı uygun mühimmat bulunmuş ise belirtilen silahlı keşif rotası için SK görevi oluşturulur.

SK görevleri, paketler içerisinde yer almadığından randevu noktaları ve görev özelliği nedeniyle diğer görevlerin aksine "hedef üzerinde bulunma zamanı" yoktur.

4.5. Yakın Hava Desteği ve Deniz Harekâtının Taktik Hava Desteği Görevlerinin Oluşturulması

YHD ve DHTHD görevleri gayret tahsisinde belirtilen sorti sayılarına göre uçaklara görev atama şeklinde oluşturulur. YHD ve DHTHD görevleri 'Planlı' ve 'Ani' olmak üzere iki şekilde icra edilir. 'Planlı' görevler HYT görevlerine benzer şekilde oluşturulur. 'Ani' görevlere kalkış saati, görev süresi ya da rota atanmaz. Oluşturulan görevler hangi filodan kaç uçağın, hangi sortilerde hazır bekleyeceğini gösterir.

Uygun filo bulma işlemi HYT ve SB görevlerindeki gibi yapılır. Filoların "Taarruz" rolü ile görevlendirilmiş olması gereklidir. Uygun filo bulunurken, önce 'Planlı' görevler için, sonra 'Ani' görevler için arama yapılır. Ani görevlerde belirli bir hedef olmadığından sadece en yakın sorti bloğunda, belirtilen uçak sayısı kadar uçağı bulunan

filo seçilir. Yeterli kaynak ve uygun filo bulunursa uçakların taşıyabileceği uygun mühimmatlar da belirlendikten sonra görevler oluşturulur.

5. HGE OLUŞTURULURKEN YAPILAN DİĞER İŞLEMLER

5.1. Yakıt İkmal Noktasının Bulunması

Eğer filonun bulunduğu üssün yerinden hedefe gidip gelme mesafesi, uçağın menzilinden fazla ise hedefe giderken ya da dönüşte yakıt ikmali yapılabilir. Amaç öncelikle en kısa sürede taarruz görevini gerçekleştirmek olduğundan, yakıt ikmalinin görev dönüşü yapılması tercih edilmektedir. Eğer bu durum sağlanamıyorsa, göreve gidişte yakıt ikmali yapabilecek bir filo araştırılmaktadır.

Hedeften dönüşte yakıt ikmali yapmak amacıyla her bir filo için filonun üssünden hedefe HSKT'ler dikkate alınarak uygun rota oluşturulur. Filodaki uçakların bu mesafeyi tam yükle yaptığı varsayılır. Hedefe ulaştıktan sonra, görevi gerçekleştirecek olan uçakların kalan menzilleri yarıçapında bir alanda dost hava üsleri aranır. Bulunan tüm hava üsleri için hedeften hava üssüne, hava üssünden filonun kendi hava üssüne rota oluşturulur. Oluşturulan rotalar uçakların dönüş rotaları olacaktır. Tüm hava üsleri için bu işlem gerçekleştirildikten sonra en kısa dönüş rotasını oluşturan hava üssü anılan görevdeki uçakların yakıt ikmal noktası olarak atanır. Eğer kalan menzil yarıçapında herhangi bir dost hava üssü bulunmuyorsa, hedeften dönüşte yakıt ikmali yaparak bu görevi gerçekleştirmek mümkün olmaz.

Ayrıca toplam görev süresinin bir sorti bloğu süresini aşıp aşmadığı da kontrol edilir. Görev süresi gidiş rotasının kat edilmesi, hedef bölgesinde bulunma zamanı, yakıt ikmal noktasına gidiş süresi, yakıt ikmal süresi ve yakıt ikmal noktasından hava üssüne dönüş sürelerinin toplamı şeklinde hesaplanmaktadır. Eğer hesaplanan görev süresi sorti bloğundan uzun ise dönüşte yakıt ikmali yaparak görev oluşturulmaz.

Eğer hedefe gidip gelebilen veya hedeften dönüşte yakıt ikmali yaparak taarruzu gerçekleştirebilecek herhangi bir filo bulunamadıysa, hedefe gidişte yakıt ikmali yaparak görevi gerçekleştirebilecek bir filonun varlığı araştırılır.

Yakıt ikmal noktaları belirlenirken ve rotalar oluşturulurken, filoların en yakın sorti bloğunda görevi gerçekleştirmesi esas alınmıştır. Örneğin bir görev, hedefe yakın bir filo tarafından 3. sorti bloğunda gerçekleştirilebiliniyorsa, bunun yerine daha uzakta olan bir filonun hedefi 1. sorti bloğunda vurması tercih sebebi olacaktır.

5.2. Paketlerin Oluşturulması

HYT ve SB görevlerinin oluşturulmasından sonra bu görevlerden belli parametreler göz önüne alınarak taarruz paketleri oluşturulur. Bu parametreler aşağıda belirtilmiştir:

- Görevlerin hedef yerleri arasındaki mesafenin, kullanıcı tarafından girilen "Hedefler Arası Maksimum Paket Oluşturma Mesafesi" değerinden daha az olması.
- Görevlerin aynı sorti bloğu içerisinde yer alması.
- Görevlerin gidişte yakıt ikmali yaparak gerçekleştirilmiyor olması.

Eğer iki görev yukarıdaki koşulları sağlıyor ise bir taarruz paketi oluştururlar. Bir görev yalnızca bir paket içerisinde yer alabilir. Ayrıca paketin öncelikli görevi, paket içerisinde yer alan görevlerden hedefi en öncelikli olan olarak seçilmektedir.

5.3. Paket İçerisinde Yer Alan Görevlerin Rotalarının ve Randevu Noktalarının Oluşturulması

Her bir paketin içerisinde yer alan görevlerin rotaları ve randevu noktaları hesaplanır. İlk olarak öncelikli görevin rotası oluşturulur. Bu rota, paket içerisinde yer alan diğer bütün görevler için de temel oluşturmaktadır ve diğer bütün görevler bu rotaya randevu noktalarından bağlanmaktadırlar.

Eğer bir paket görevi gerçekleştirecek olan filoların hava üssü aynı ise randevu noktası oluşturulmaz ve bu görev paketi öncelikli görevin rotasını kullanarak hedef bölgesine ulaşır.

Eğer hava üsleri aynı değil ise randevu noktası aranır. Randevu noktasını bulmak için iki yöntem uygulanır:

- Senaryoda HSKT Tanımlanmamış: Görevin gerçekleştirileceği hava üssünden ana rotaya bir dik çizilir ve iki doğrunun kesiştiği yer randevu noktası olarak belirlenir. Hava üssü, öncelikli görevin hava üssünden geride ise randevu noktası öncelikli görevin hava üssü olarak belirlenir. Eğer hava üssü hedef bölgesinin ilerisinde ise randevu noktası hedef bölgesi olarak belirlenir.
- Senaryoda HSKT Tanımlanmış: Görevin gerçekleştirileceği hava üssünden, öncelikli görevin rotasının tüm dönüş noktalarına birer rota oluşturulur. Bu rotalar içerisinden en kısa olan seçilir ve ana rotanın seçilen dönüş noktası randevu noktası olarak belirlenir.

Randevu noktası bulunamadığı durumlarda görev paketten çıkarılır ve müstakil olarak gerçekleştirilir. TSK görevlerinde ise randevu noktası bulunmadığı durumlarda görev oluşturulmaz.

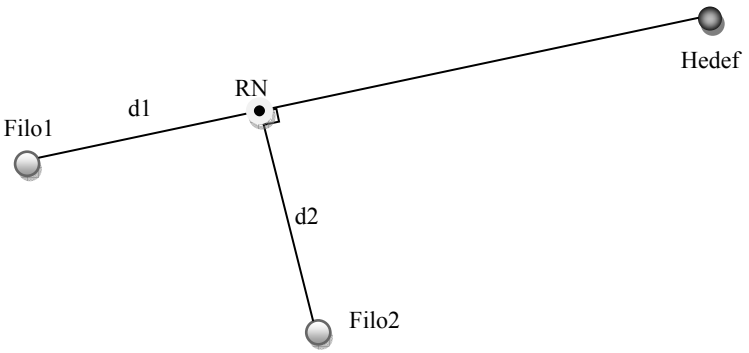
Rotaların oluşturulmasından sonra kalkış zamanları ve randevu noktasında bulunma zamanları hesaplanır. Bir paket içerisindeki görevlerin aynı anda randevu noktalarında bulunmaları ve aynı anda hedef bölgesine varmaları için birbirlerine göreceli kalkış saatlerinin hesaplanması gerekmektedir.

Şekil-3'de Filo1 paketin öncelikli görevini gerçekleştirecek olan filodur. Filo2 ise pakete RN noktasından bağlanmaktadır. d1, Filo1'in yeri ile RN noktası arası uzaklık, d2 ise Filo2'nin yeri ile RN noktası arası uzaklıktır. Filo1'in uçaklarının ortalama hızı s1, Filo2'nin uçaklarının ortalama hızı s2 ise kalkış zamanları hesaplamaları aşağıdaki gibidir:

$$\text{Esas süre} \qquad (t_m) = d1 / s1; \tag{1}$$

$$\text{Randevu noktası süresi} \qquad (t_{rp}) = d2 / s2 \tag{2}$$

$$\text{Filo2'deki uçakların kalkış zamanı} = \text{Filo1'deki uçakların kalkış zamanı} + t_m - t_{rp} \tag{3}$$



Şekil 3. Filolardaki Uçakların Kalkış Zamanlarının Hesaplanması

Filolardaki uçakların kalkış zamanlarının hesaplanmasından sonra ise, paket içerisinde yer alan tüm görevlerin dönüş rotaları bulunur ve gidiş rotalarına eklenir.

5.4. Randevu Noktasında Bulunma ve Kalkış Zamanlarının Kaydırılması

Paketleri oluşturan görevlerin kalkış zamanlarının hesaplanması önceden açıklandığı gibi gerçekleştirilir. Fakat bu hesap yapılırken kalkış zamanları sorti bloğu başlama saatinden daha erken olabilir. Bu nedenle, paket oluşturma işlemlerinin sonlanmasından sonra paket içerisinde en erken kalkış zamanına sahip görev bulunur. Pakette yer alan tüm görevlerin kalkış saatleri ve randevu noktasında bulunma zamanları, en erken kalkış zamanı sorti bloğu başlangıç zamanı olacak şekilde kaydırılır.

5.5. Paket İçerisinde Yer Almayan Görevlerin Rotalarının Oluşturulması

Eğer bir görev herhangi bir paket içerisinde yer almıyorsa, görevin öncelikli hedefi bulunur. Filonun hava üssünün bulunduğu noktadan, belirtilen hedefe bir rota tanımlanır. Rota oluşturulurken iki yöntem uygulanır:

- Senaryoda HSKT Tanımlanmamış:
    - Yakıt ikmali yok: Görevin gerçekleştirileceği hava üssü rotanın ilk noktası, hedefin bulunduğu nokta rotanın ikinci noktası olarak tanımlanır. Dönüşte uçak aynı rotayı takip eder ve rotanın son noktası yine hava üssü olarak belirlenir.
    - Dönüşte yakıt ikmali: Görevin gerçekleştirileceği hava üssü rotanın ilk noktası, hedefin bulunduğu nokta rotanın ikinci noktası olarak tanımlanır. İkmal noktası rotanın üçüncü noktası, filonun hava üssü ise rotanın son noktası olarak tanımlanır.
    - Gidişte yakıt ikmali: Görevin gerçekleştirileceği hava üssü rotanın ilk noktası, ikmal noktası ise rotanın ikinci noktası olarak tanımlanır. Rota bundan sonra önce hedefe yönelir daha sonra ise filonun kendi hava üssünde sonlanır.
- Senaryoda HSKT Tanımlanmış: Senaryodaki tüm hava üslerinin konumları ve tanımlı tüm hava koridorlarının kontrol noktaları bağlanırlık çizgesinin köşelerini oluşturur. Her bir kontrol noktasının herhangi bir HSKT tedbirinin içerisine düşüp düşmediği kontrol edilir. Eğer belirtilen sorti bloğunda bu tedbir

aktif ise bu köşe çizgeden çıkartılır. HSKT tanımlanmış bölge içinden geçen bir koridor mevcut ise, HSKT'lerin birbirleri arasındaki öncelikleri dikkate alınır.

Herhangi iki kontrol noktası arasında bir rota bacağı tanımlıysa ya da köşelerden herhangi iki tanesi birbirine kullanıcı tarafından belirlenen bir mesafeden (örn. 25NM) daha yakın ise, bu iki köşe arasında bir rota bacağı tanımlanır. Görevin gerçekleştirileceği hava üssünün konumundan, görevin hedefinin bulunduğu noktaya en kısa yol algoritması [2] uygulanarak bir rota üretilir. Dönüş rotası da aynı şekilde yaratılmaktadır.

6. SONUÇ

Bu makalede TSK ihtiyaçları doğrultusunda SSM tarafından ihale edilen SAMMOS–1 Projesi kapsamında geliştirilen Otomatik HGE oluşturma aracının çalışma mantığı tanıtılmıştır. Sonuç olarak otomatik olarak üretilen HGE belirli bir süredeki tüm hava görevlerini kapsayan bir mesaj formatı halinde hazırlanarak senaryo geliştirme süreci hızlandırılmakta, kaynaklar en uygun şekilde kullanılarak gayret tasarrufu sağlanmakta ve senaryo geliştiriciden kaynaklanan hatalar asgari düzeye çekilmektedir. Yaratılan HGE'ler senaryo geliştirici tarafından manüel olarak yeniden düzenlenebilmektedir. Senaryonun işletimi sırasında senaryonun geldiği değişen duruma göre de simülasyon işletim zamanında HGE değişikliğini sağlayabilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] SAMMOS–1 Proje Dokümanları

[2] Dijkstra (E. W. Dijkstra: A note on two problems in connexion with graphs. In Numerische Mathematik, 1 (1959), S. 269–271)

EK BİLGİ

Emre Erciyes
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : eerciyes@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9290
Fax : 0 (312) 266 7276

Halil Kolsuz
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : hkolsuz@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9277
Fax : 0 (312) 266 7276

Erol Evran
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : eevran@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9294
Fax : 0 (312) 266 7276

Tolga Türker
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : tturker@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9072
Fax : 0 (312) 266 7276

Ayhan Yılmaz
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : ayhany@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9296
Fax : 0 (312) 266 7276

OTONOM SU ALTI ARACI: ARAMA VE BULMA GÖREVİ

Halil AKÇAKAYA [(1)], Reha ÇAPUTÇU [(2)], Leyla GÖREN SÜMER [(3)]

[(1),(2)] TÜBİTAK MAM BTE, Gebze, KOCAELİ, halil.akcakaya@bte.mam.gov.tr, reha.caputcu@bte.mam.gov.tr

[(3)] İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, Maslak, İSTANBUL, goren@elk.itu.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada otonom bir su altı aracının (*Autonomous Underwater Vehicle*- AUV) 6 (altı) serbestlik dereceli modeli verilerek AUV modeli, çeşitli çalışma koşullarında doğrusallaştırılmıştır. İleri kontrol kurallarından dayanıklı model öngörülü kontrol algoritması otonom bir su altı aracı için türetilmiştir. Askeri öneme sahip kullanım amaçlardan biri olan arama-bulma görevini gerçekleştirmesi için, AUV üzerinde anlamlı görev durumları oluşturulmuştur. AUV'nin hedefi arama görevi için, dairesel ve yılankavi arama yörüngesi simülasyonu verilmiştir. AUV'nin hedefi arama görevi için ise hedefe kilitlenme yörüngesi simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylece, kullanılan yöntem ile tel-güdümsüz bir torpidonun hedefi yok etme görevi oluşturulabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arama, AUV, bulma, dayanıklı, görev, hidrodinamik, kontrol, MPC, otonom, sualtı, torpido

AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE: SEARCH AND APPROACH MISSION

ABSTRACT

In this study, an autonomous underwater vehicle (AUV) model with six degrees of freedom is presented to be shown having been linearized under several working conditions. Robust model predictive control algorithm has been produced for autonomous underwater vehicle. For realizing the search and approach mission, which has importance of military prospect, valid mission cases have been formed on autonomous underwater vehicle. Simulations of circular and snake search trajectories have been put forward for the search and approach mission of AUV. So, by the proposed method, the mission of seeking and destroying the target for a self homing torpedo may be formed.

Keywords: Approach, autonomous, AUV, control, hydrodynamic, mission, MPC, robust, search, torpedo, underwater

1. GİRİŞ

AUV(Autonomous Uderwater Vechicle) otonom sualtı aracı, askeri ve sivil araştırma inceleme alanlarında kullanılmaktadır. Bunlar,

- Ticari: Gaz ve Petrol endüstrilerinde çevreyi minimum kirletecek şekilde, maliyet olarak verimli olması amacı ile; denizaltında altyapı ve boru hatları inşa edilmeden önce deniz yatağının haritasını çıkarmak için kullanılır.
- Askeri: Denizaltıların yerini tespit etmeye yardım etmek amacıyla denizaltı savunma harbinde kullanırlar. Belirlenemeyen nesneler bulmak ve liman gibi korunan alanları gözetlemek amacıyla su altı sahalarının haritalarını çıkarmak amacı ile kullanılır.
- Araştırma: Deniz, Göl gibi alanları araştırmak için kullanırlar. Çeşitli bileşenler ve elementleri yoğunluğunu ölçmek için AUV'lere birçok algılayıcı yerleştirilebilir. Bu sayede maden yatakları tespiti de yapılabilir.

Derin sularda hareket eden AUV gürültü ve modelleme belirsizliklerine sahiptir. AUV'nin hızına ve su altı ortam şartlarına göre AUV modeli değişecektir. Bunların üstesinden gelmek için uyarlamalı kontrol, kayma modlu gibi kontrol teknikleri geliştirilmiştir. Biz bu makalede bir AUV modelinin kısaca dinamiğini verdikten sonra bu dinamiği belirli çalışma noktalarında doğrusallaştıracağız. Optimizasyon tabanlı Dayanıklı Model Öngörülü Kontrol ile model değişimlerine karşı dayanıklı kontrol kuralı oluşturacağız.

Ayrıca, AUV'nin askeri amaçlı kullanımlarından biri olan su altındaki bir aracı arama ve bulma görevi üzerinde bir çalışma yapacağız. AUV'nin dairesel arama, yılankavi arama ve hedefe kilitlenme durumları için simülasyon çalışmalarına yer vereceğiz. Böylece dinamik modeldeki katsayıların elde edilmesi ile tel-güdümsüz bir torpidonun hedefi yok etme görevi oluşturulabilir.

2. AUV DİNAMİK MODELİ

Fossen [1]'de verilen bir su altı aracının 6 serbestlik dereceli hareketi doğrusal olmayan modeli aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

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

M eylemsizlik ve eklenmiş eylemsizlik kütlesi, C Coriolis ve merkez kaç matrisi, D hidro-dinamik sönümleme matrisi, G yerçekimi ve kaldırma kuvveti, aşağıda verilen τ ise gövde ekseni boyunca uygulan eforu anlatan kontrol giriş vektörüdür.

$$\tau = [\, f(\delta_\mu)\; f(\delta_\eta)\; f(n)]^T \tag{2}$$

δ_η dalma-çıkma yüzeyi açısı, δ_μ dümen açısı, n ise pervane devir sayısıdır.

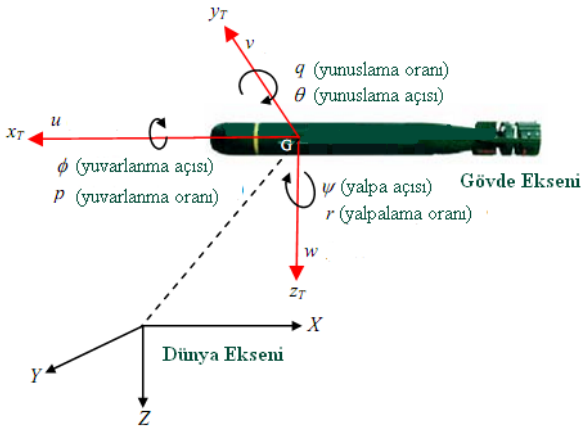
v gövde ekseni boyunca AUV'nin açısal ve doğrusal hız vektörleri. η ise dünya eksenine göre açısal ve doğrusal konumdur. v ve η aşağıdaki vektörlerdir.

$$v = [u\ v\ w\ p\ q\ r]^T \tag{3}$$

$$\eta = [X\ Y\ Z\ \phi\ \theta\ \psi]^T \tag{4}$$

Dünya ekseni ile AUV'nin gövde ekseni arasındaki transformasyon matrisi ise (5)'de verilmiştir

$$\dot{\eta} = J(\eta)v \tag{5}$$



Şekil 1. Dünya ve Gövde Ekseninde bir AUV

Bu makalede, Healey ve Lineard [2] 'de ele aldığı NPS AUV II modeli kullanılmıştır. NPS AUV II modelinin sadece arka kanatçık(dalma-çıkma yüzeyi), dümen yüzeyleri ve pervane devri kontrol amaçlı kullanılmıştır. NPS AUV II'in hidrostatik ve hidrodinamik kuvvet ve momentleri içeren hareket denklemleri Eular integrasyon metodu kullanılarak "MATLAB S-Function" aracı ile "c" dilinde modellenmiştir. Böylece model DSP veya herhangi bir mikrodenetleyici'ye gömülerek model üzerinde gerçek zamanlı çalışma olanağı sağlanmıştır.

2. AUV MODELİN DOĞRUSALLAŞTIRILMASI

Doğrusal bir modelin analizi ve kontrolörün tasarlanması, doğrusal olmayan duruma göre oldukça kolaydır. AUV modelini doğrusallaştırmak ise AUV'nin gövde ekseni boyunca belli bir hızda ilerlediği varsayımı ile çeşitli gövde düzlemlerindeki hareketi, durum vektörlerinin küçük değişimleri göz önüne alınarak yapılabilir.

Torpido şeklindeki bir AUV hem x-z hem de x-y ekseninde simetrik olduğu için yunuslama ekseni boyunca olan dalma-çıkma düzlemi ve yalpalama ekseni boyunca olan yönlenme düzleme birbirinden ayrıştırılabilir.

AUV'yi doğrusallaştırma yönteminde ana husus, gövde ekseni boyunca AUV'nin sabit hızla gittiğini varsayarak, doğrusallaştırma yapılacak düzleme etkisi çok az olan durum vektörü bileşenleri ihmal etmektir. Bir su altı aracının hem dalma-çıkma düzlemi hem de yönlenme düzlemi boyunca doğrusallaştırma işlemi Fossen [3], Healey [2] gibi bir çok kaynakta verilmiştir.

Sualtı aracının düzlemlere ayırmak ve doğrusallaştırmak ile yapılan bir kontrol kuralı su altı aracının manevra kabiliyetini sınırlar. Örneğin bir su altı aracı dalma hareketi icra ederken yönlenme de yapabilmelidir. Bu amaçla her düzlem için tasarlanan kontrolcüler arasında bir kuplör etkisi kullanılarak manevra kabiliyeti kuvvetlendirilmelidir.

Bu makalede, bir AUV'nin hareketini düzlemlere ayırmaksızın tüm durum vektörlerinin birlikte kullanıldığı bir kontrolör tasarımı yapmaya çalışacağız. AUV'yi çeşitli çalışma şartlarında (çeşitli hızlarda) doğrusallaştıracağız.

AUV modeli doğrusal zamanla değişen sistemi aşağıdaki gibi ele alınacaktır.

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(k)x(k) + B(k)u(k) \\ y(k) &= Cx(k) \\ [A(k), B(k)] &\in \Omega \end{aligned} \tag{6}$$

Doğrusal olmayan bir sistem dış bükey kabuk içinde,belirsiz zamanla değişen bir sistem formatına çevrilebilir. (R.W Lui, [4]). Sistemimizin dış bükey kabuğunu belirleyen bu doğrusal modeller için, kapalı çevrim sistemini kararlı kılan statik kontrolör tasarımı yapacağız.

İlk olarak AUV'yi iki adet hız kademesinde doğrusallaştırmak için bu hız kademelerinde AUV'yi dengede tutacak kontrol işaretlerini hesaplayacağız. NPS AUV II modelini 0.75 m/sn ve 1.5 m/sn olmak üzere iki hızda modelleyeceğiz. Modelimiz bu iki hız için de dengede kaldığında Şekil 1'de gösterilen $\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}, \dot{p}, \dot{q}, \dot{r}, \dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}$ durum vektörleri değişimi sıfır olacaktır. AUV'yi $u = 0.75 m/sn, u = 1.5 m/sn$ hızlarında tutan ve istenilen vektör değişimlerini sıfır yaparak dengede tutan kontrol işaretinin nümerik olarak bulunması problemi bir optimizasyon problemidir. MATLAB SIMULINK'da "trim" komutu ile başlangıç durumları verilerek bu optimizasyon problemi çözüldüğünde,

$$\begin{aligned} u_{trim_0.75m/sn} &= \begin{bmatrix} 0\ rad/sn & 0\ \text{rad/sn} & 596\ rpm \end{bmatrix} \\ u_{trim_1.5m/sn} &= \begin{bmatrix} 0\ rad/sn & 0\ \text{rad/sn} & 1193\ rpm \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{7}$$

bulunur. Doğrusallaştırma işlemini, sadece çeşitli düzlemlerdeki hareket için Fossen [3], Healey [2]'de verilen yöntemleri kullanmak yerine, MATLAB'ın "linmod" komutu ile bu denge noktalarında küçük değişimlere karşı düşen ve tüm durumları içeren doğrusal modeli oluşturduk.

3. KONTROL KURALI

Kontrol kuralı, model belirsizliklerine karşı Kothare ve diğ. [5]'nin ortaya koyduğu bir Model Öngörülü Kontrol (*Model Predictive Control*-MPC) tekniği ele alınarak çözülecektir. Dayanıklı MPC tekniği, modelin dış bükey kabuk içinde kalmak şartıyla modelin zamanla değiştiği durumlarda verilen amaç ölçütünü en küçük yapacak şekilde hesaplanmasıdır. Doğrusal İkinci Dereceden Regülatör probleminde olduğu gibi bu yöntemde de bir amaç ölçütü tanımlamak, istediğimiz durum vektörlerine ve kontrol işaretlerine baskınlık atamamızı sağlayacaktır. (6)'daki doğrusal zamanla değişen bir sistem için Dayanıklı MPC'de amaç ölçütü,

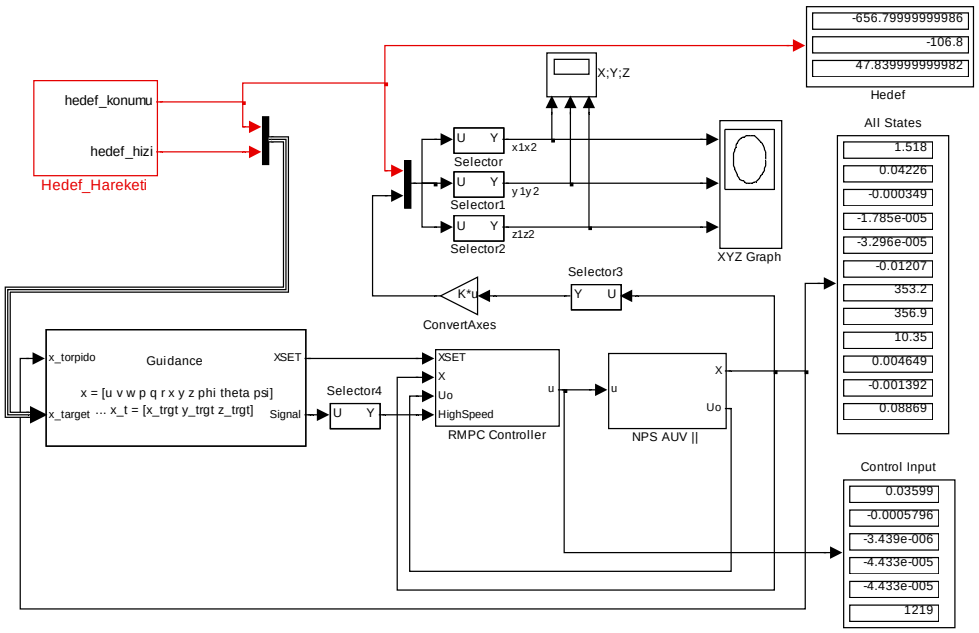
$$\begin{aligned} J_\infty(k) = \sum_{i=0}^{\infty} (&x(k+i \mid k)^T Q_1 x(k+i \mid k) \\ &+ u(k+i \mid k)^T Ru(k+i \mid k)) \end{aligned} \tag{8}$$

olarak tanımlanır.

Genel olarak AUV'nin yuvarlanma (roll) hareketi yapması çok fazla istenmez ve bu olaya ait baskınlık artırılarak yuvarlanma hatası çok küçük yapılabilir. Yine AUV'den örnek vermek gerekir ise modele uygulanabilecek dümen açısı sınırlıdır ve kontrol işaretinin bu sınırı geçmesi istenmez. Yani kontrol işaretine baskınlık atayarak kontrol eforunun küçük olması sağlanabilir.

Dayanıklı MPC kuralı, AUV'nin iki hız kademesinde tanımlanan amaç ölçütlerinin en büyüğünü en küçük yapacak kontrol işaretini üretir (Min.-Max. problemi). Minumum kontrol işareti oluşturmak için Kothare ve diğ. [5]'de verilen doğrusal matris eşitsizlikleri çözülür.

NPS AUV II modeli, dayanıklı kontrolü ve güdüm SIMULINK blok diyagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2. NPS AUV II modeli, Dayanaklı Kontrolü ve Güdüm Blok Diyagramı

4. AUV: ARAMA VE BULMA YETENEKLERİ

Bu bölümde, AUV'nin akustik alıcı/vericilerini kullanarak hedeften tespit almaya çalıştığını varsayacağız. AUV'nin bir bölge içinde hedefi ararken, amacına göre çeşitli arama desenlerini icra eder. Hedeften tespit aldığında hedefin en azından kerterizini tespit etmeye çalışır. Akustik alıcı/vericiler ile elde edilen ses sinyalinin analizi yardımı ile hedef hareket analizi yapılarak, hedefin hızı ve yerini tahmin etme algoritmaları da çalıştırılabilir. AUV'nin kontrol ünitesine alınan kerteriz bilgisine göre veya hedef hareket analizinden çözülen kerteriz bilgisine göre AUV, hem dalma-çıkma düzlemi hem de yönlenme düzleminde hedefe doğru hareket eder.

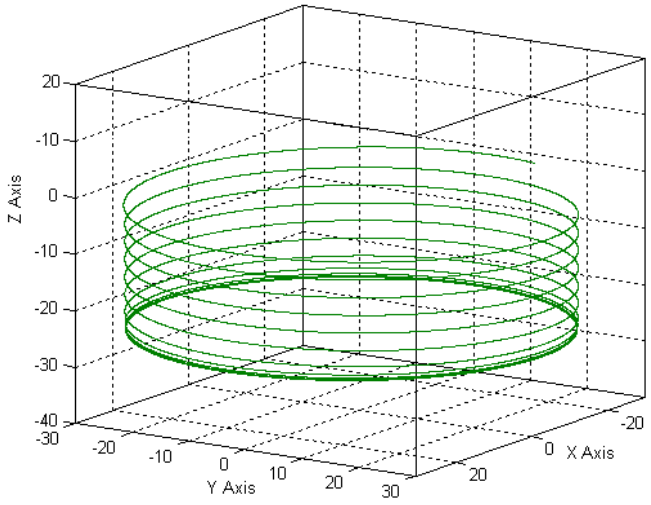
Şimdi hedefi arama ve bulma görevlerini inceleyelim.

4.1. Dairesel Arama

Dairesel arama, AUV'nin dairesel yörüngeler çizerek oluşturduğu harekettir. Eğer hedefi aranacak bölge biliniyor ama hedefin hangi yönde olduğu bilinmiyor ise bu arama gerçekleştirilir. AUV'ye 360 derecelik bir dönüş kabiliyeti veren bu aramada, tüm kerteriz aralığı boyunca hedef aranır. Eğer hedeften temas sağlanır ise hedefe kilitlenme hareketi icra edilir.

NPS AUV II modeli üzerinde Dayanıklı MPC kontrol algoritması ile derinlik değiştirerek dairesel arama yapan dinamiğin hareketi Şekil 3'de verilmiştir.

MATLAB SIMULINK'de benzetimi yapılan bu NPS AUV II, arama derinliği 30 metreye ininceye kadar dairesel hareket yaparak, her derinlikte hedefi aramaktadır. $u \cong 0.75 m/sn$ hız ile ilerleyen bu AUV'nin saniyede yönlenme açısı $r = 0.2 rad/sn$ 'dir.



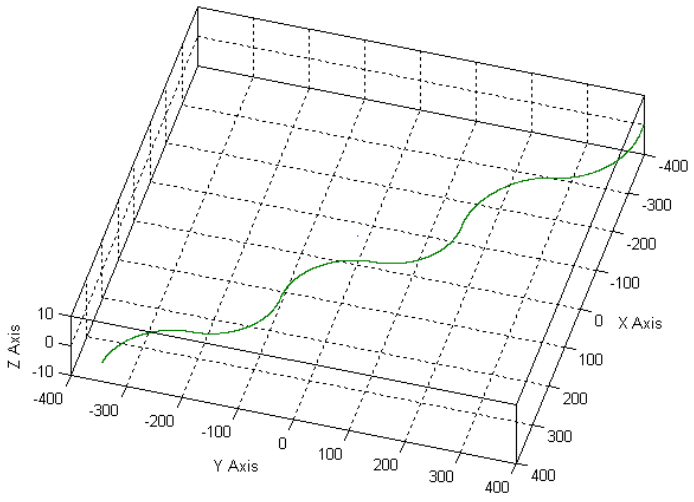
Şekil 3. Derinlik değiştirerek dairesel arama ve arama derinliğine inme

Sonuç olarak, AUV, hedefi akustik olarak tespit etme yeteneğine bağlı olan yarıçap ve yükseklik ile belirli silindir içinde tüm hedefleri bulabilecektir.

4.2. YılankaviArama

Yılankavi arama, AUV'nin aynı yılana benzer şekilde bir süre sağa bir süre sola hareket yaparak izlediği yörünge hareketidir. Eğer hedefin yeri bilinmiyor ama hangi yöne gittiği ve derinliği az-çok biliniyor ise kullanılacak arama yöntemi budur. Bu arama yönteminde, AUV önceden tanımlanmış bir rota üzerinde sağa ve sola yine önceden tanımlanmış derecelere kadar döner. AUV'nin akustik alıcıları görüş açısına ve yönlendiği derecelere göre hedefi tespit etmeye çalışır.

NPS AUV II modeli üzerinde Dayanıklı MPC kontrol algoritması koşturularak yılankavi arama yapan dinamiğin hareketi Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Yılankavi Arama

MATLAB SIMULINK'de benzetimi yapılan bu AUV, 1 metre arama derinliğinde, yatay düzlemde 45 derecelik rota üzerinde yılankavi hareket yaparak ilerlemektedir. $u \cong 0.75 m/sn$ hız ile ilerleyen bu AUV'nin, saniyede yönlenme açısı $r = \pm 0.1 rad/sn$'dir. AUV ana rotasından -45 derece veya +45 derece sapmış ise (bu örnek için x ekseni veya y eksenine paralel ise) aksi yönde dönüş yaparak yılankavi yörüngesini oluşturmaktadır.

4.3. Hedefe Kilitlenme

Hedef ile AUV'nin hali hazırdaki pozisyonu arasındaki görüş çizgisini (*Line of Sight-LOS*), aracın dümen ve dalış sistemine yönlenme ve dalma açısı olarak vererek yapılan basit güdüm yöntemi, otomatik sualtı seyir sistemleri için en çok kullanılan yöntemlerden biridir. $x_t(t), y_t(t), z_t(t)$ hedef koordinatı, $x(t), y(t), z(t)$ aracın konumu olmak üzere, yatay düzlemdeki görüş çizgisi açısı

$$\Psi_{LOS} = (\tan 2)^{-1}\left[\frac{y_t(t) - y(t)}{x_t(t) - x(t)}\right] \tag{9}$$

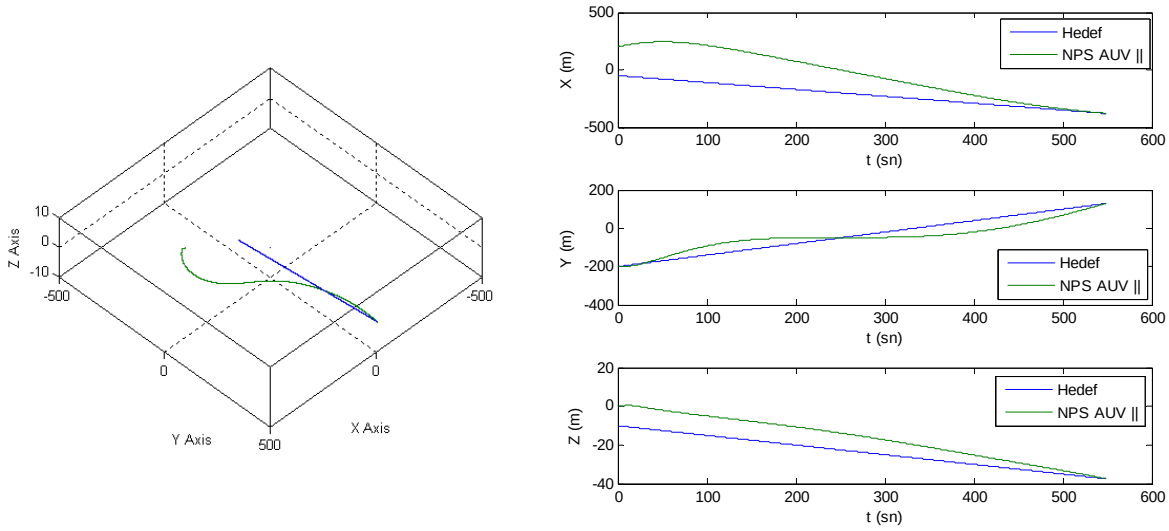
olarak verilir. Yine benzer şekilde, AUV ile hedef arasındaki dikey düzlemdeki görüş çizgisi açısı aşağıda verilmiştir.

$$\theta_{LOS} = (\tan)^{-1}\left[\frac{z_t(t) - z(t)}{\Pi(t)}\right], \quad \Pi(t) = \sqrt{(x_t - x(t))^2 + (y_t - y(t))^2} \tag{10}$$

Her örnekleme anında, Ψ_{LOS}, θ_{LOS} açısı hesaplanacaktır. Tasarladığımız Dayanıklı Model Öngörülü Kontrol algoritması ile AUV, dünya koordinatlarına göre hız vektörünün açılarını, Ψ_{LOS}, θ_{LOS} üzerinde tutarak hedefe kilitlenir.

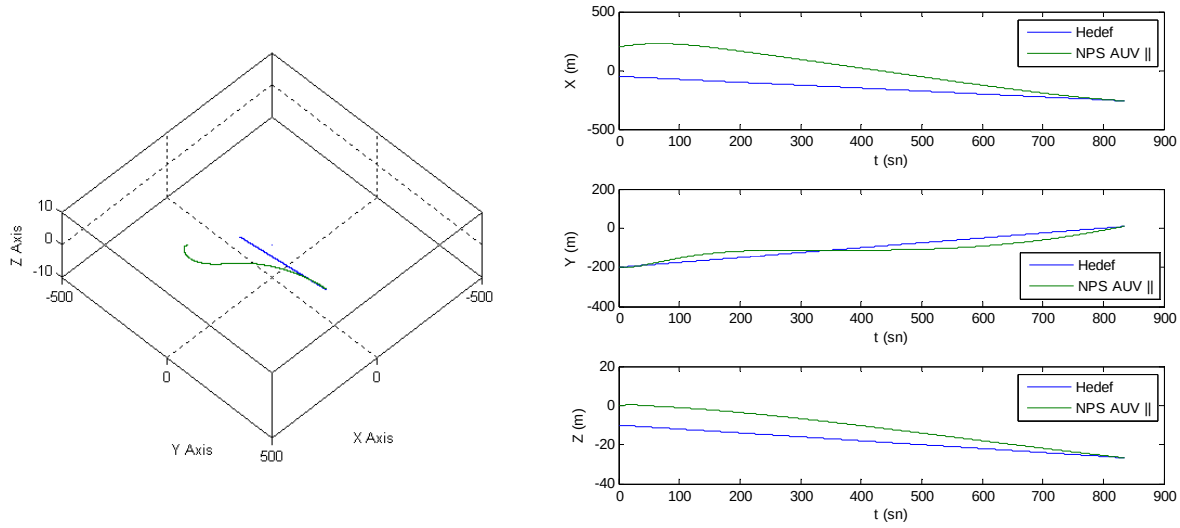
Akustik alıcı/vericilerini kullanan AUV, hem yatay hem de dikey düzlemde görüş çizgileri açılarını yaklaşık olarak tahmin edecek ve hedefe yaklaştıkça görüş açı çizgileri daha iyi tahmin ederek daha iyi kontrol sağlanacaktır.

İlk olarak hedefin $Vx_t = -0.6m/s, Vy_t = 0.6m/s, Vz_t = -0.05m/s$ hızla gittiği durumu ele alalım. Modellediğimiz AUV'nin $u = 1.5m/sn$ ile hedefe kilitlendiği durum Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Yüksek hızda AUV'nin hedefi takibi

Hedefin $Vx_t = -0.25m/s, Vy_t = 0.25m/s, Vz_t = -0.02m/s$ hızla gittiği durumu ele alalım. Modellediğimiz AUV'nin $u = 0.75m/sn$ ile hedefe kilitlendiği durum Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Düşük hızda AUV'nin hedefi takibi

Yukarıdaki şekillerden de gördüğümüz üzere modellediğimiz AUV, hedefe kilitlenmekte ve yüksek doğruluk ile hedefe ulaşmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, otonom bir su altı aracının 6 serbest dereceli modelini kısaca tanıttık. Literatürdeki bir AUV modelini çeşitli çalışma koşullarında doğrusallaştırdık ve bu koşullar için dayanıklı kontrol kuralı tasarladık. AUV'nin önemli kullanım amaçlardan biri olan arama, bulma görevini gerçekleştirmek için çeşitli durumlar oluşturduk. Her ne kadar simülasyonda AUV'nin akustik modeli gerçekleştirilmese de, normalde akustik alıcı/vericiden hedefin kerteriz bilgisi gelecektir. AUV'nin hedefi görüş çizgisi üzerinde tutarak ilerlediği hedefe kilitlenme yörünge simülasyonunu verdik. Böylece bir AUV'nin arama ve hedefi bulma görevi benzetim düzeyinde gerçekleştirildi. Bir sonraki aşamada akustik alıcı/vericiler de modelin işin içine katılarak gerçek deniz durumunda, hedef arama ve bulma başarımını ölçmeyi planlıyoruz. İstenirse, bu çalışma tel-güdümsüz bir torpidonun hedefi yok etme görevi için kullanılabilir.

KAYNAKÇA

[1] Thor I. Fossen, "Marine Control Systems, guidance, navigation, and control of ships, rigs and underwater vehicles", Marine Cybernetics, 2002

[2] A. J. Healey, D. Lienard, "Multivariable sliding mode control for autonomous diving and steering of unmanned underwater vehicles", IEEE journal of oceanic engineering, vol. 18, july 1993.

[3] Thor I. Fossen, "Guidance and control of ocean vehicles",John Wiley and Sons, 1994

[4] Liu, R.W., 1968. Convergent systems. IEEE Trans. Aut. Control, 13 (4), 384-391 August 1968

[5] Kothare, M.V., Balakrishnan, V. and Morari, M., 1996. Robust Constrained Model Predictive Control using Linear Matrix Inequalities, Automatica, 32(10), 1361-1379

[6] Akçakaya H., Sümer Gören L. 2009 "An Application Of Robust Model Predictive Control With Integral Action", Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies, Taylor&Francis (Kabul edildi)

[7] Nahon, M., "A Simplified Dynamics Model for Autonomous Underwater Vehicles", AUV Technology 1996, pp. 373-379

[8] Oh, KH (2001), "A Study on the Control of AUV' s Homing and Docking," Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea.

EK BİLGİ

HALİL AKÇAKAYA

halil.akcakaya@bte.mam.gov.tr

TÜBİTAK MARMARA ARAŞTIRMA MERKEZİ BİLİŞİM TEKNOLOJİLERİ ENSTİTÜSÜ PK 21 41470 GEBZE/KOCAELİ

TEL: 0 262 677 25 11

FAKS: 0 262 646 31 87

SATIHTA KONUŞLU AKTİF HAVA SAVUNMASI SİMÜLASYON SİSTEMİ CBS ALT YAPISI

Çağatay Ündeğer[(a)], Tolga Turker[(a)], Erol Evran[(a)], Halil Kolsuz[(a)]

[(a)] Meteksan Sistem A.Ş. 5.Cadde No:6/A 06533 Bilkent/Ankara,

{cundeger,tturker,eevran,hkolsuz}@meteksan.com.tr

ÖZ

Bu makalede, Satıhta Konuşlu Aktif Hava Savunma Harekatının Modellenmesi ve Simülasyonu (SAMMOS) projesinin coğrafi bilgi sistemi, temsili ortam tasarımı ve görsel senaryo hazırlama ile düzenleme alt yapısı anlatılmaktadır. Projede, coğrafi verilere erişim için "Müşterek Harekat Alanı Simülasyon Sistemi: Temsili Ortam Standart ve Uygulamaları (MÜHATEM)" Projesi ile geliştirilen yazılım kütüphanesi kullanılmış ve söz konusu kütüphane üzerine bir temsili ortam tanımlama ara katmanı geliştirilmiştir. Mütakip olarak geliştirilen temsili ortama bağlanarak senaryoyu iki ve üç boyutlu olarak görselleştiren ve fare ile etkileşimli olarak senaryoyu düzenleyebilen bir mekanizma oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Aktif hava savunması, coğrafi bilgi sistemi, harekat alanı modelleme, temsili ortam modelleme, harekat senaryosu tanımlama, profil çıkarma, kapsama haritası çıkarma

GIS INFRASTRUCTURE OF SURFACE BASED ACTIVE AIR DEFENSE SIMULATION SYSTEM

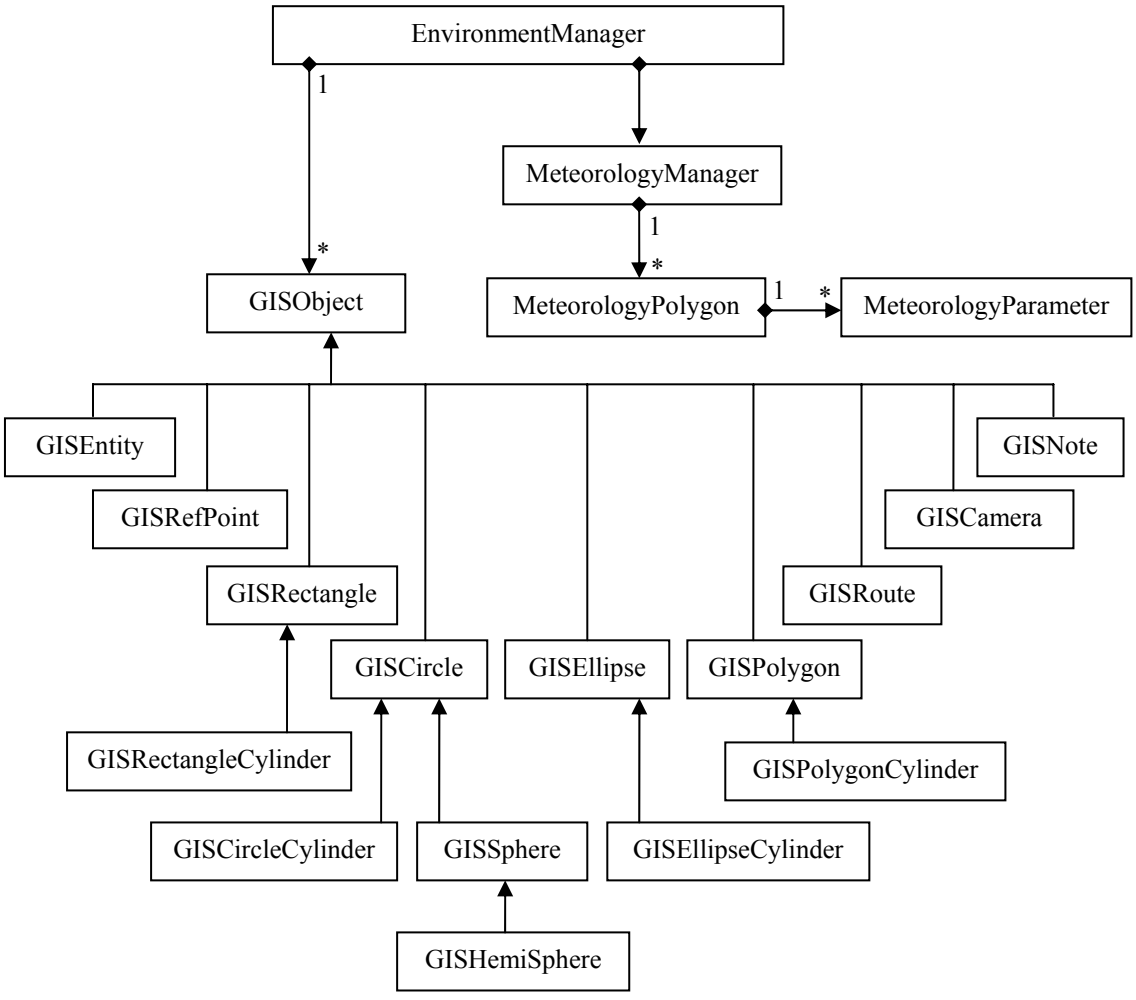
ABSTRACT

In this paper, the geographic information system, synthetic environment design and visual scenario development and edit infrastructor of "Modeling and Simulation of Surface Based Active Air Defense Operation (SAMMOS)" project is presented. In the project, the software libraries provided by "Common Mission Space Simulation System: Synthetic Environment Standards and Applications (MÜHATEM)" project is used in order to access the geographic information data; and a synthetic environment represenataion middle layer is developed on top of the prementioned software library. Following that, a mechanizm that connects to the developed synthetic environment is built for visualizing in 2D and 3D and interactively editing the scenario with mouse.

Keywords: Active air defense, geographic information system, mission space modeling, synthetic environment modeling, mission scenario definition, profile extraction, coverage map determination

1. GİRİŞ

SAMMOS Sürüm 1 ile Satıhta Konuşlu Aktif Hava Savunma Harekatı'na ilişkin, stratejik (harekât alanı)/operatif komuta düzeyinde, analiz amaçlı, yüksek seviye mimarisi (HLA) uyumlu, nesne tabanlı, birlikte çalışabilirlik özelliğine sahip ve yapısal bir simülasyon programı geliştirilmesi ve geliştirme süreci içerisinde Satıhta Konuşlu Aktif Hava Savunma Harekatı'nın modellenmesi ve simülasyonuna (MODSİM) ilişkin bilgileri içeren bir kütüphane oluşturulması planlanmaktadır. Bu makalede anlatılan coğrafi bilgi sistemi, temsili ortam ve görsel senaryo tanımlama mimarisi anılan projenin bir çok modülünün üzerine inşaa edildiği önemli bir alt yapıyı oluşturmaktadır. Söz konusu alt yapı, simülasyon senaryosunun hazırlanması esnasında senaryonun etkileşimli olarak ekran üzerinden geliştirilmesini desteklediği kadar senaryonun koşumu esnasında da senaryo varlıklarının içinde bulunduğu ortam bilgilerine erişilmesi, sorgulanmasını ve gerçek zamanlı olarak senaryo koşumunun ekranda izlenmesini de sağlanmaktadır.



Şekil 1. Temsili ortam nesne sınıfları ve ilişkileri

Makalenin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2'de coğrafi bilgi sistem verilerine erişilmesi ve temsili ortamın modellenmesine yönelik alt yapı anlatılmaktadır. Bölüm 3'te temsili ortamın iki ve üç boyutlu görselleştirilmesi ve fare ile etkileşimli düzenleme mimarisi sunulmuştur. Son olarak bölüm 4'te sonuç verilmektedir.

2. TEMSİLİ ORTAM MODELİ

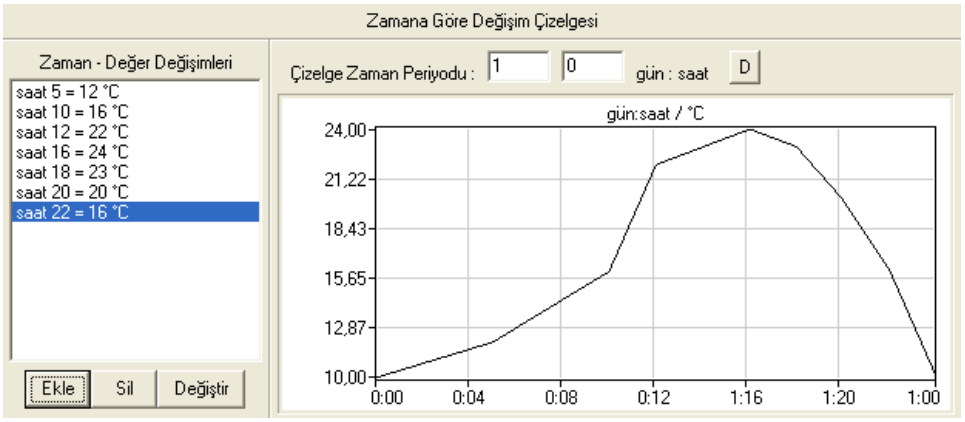
Dünyada modelleme ve simülasyon projeleri için kullanılan çok çeşitli temsili ortam modelleme standart ve uygulamaları bulunmaktadır [1,6,7]. SAMMOS projesi coğrafi bilgi sistem ve temsili ortam alt yapısınının geliştirilmesinde milli bir satndart olan MÜHATEM'in [1,2,3] yazılım geliştirme kütüphanesinden faydalanılmış ve anılan kütüphane ile SAMMOS harekat ortamı arasındaki boşluğu dolduracak bir coğrafi bilgi sistem erişim ve görsel senaryo tanımlama ara katmanı geliştirilmiştir. Söz konusu ara katman, SAMMOS'a özel bir senaryo tanımlama alt yapısı sunmasına ek olarak projede ihtiyaç duyulan ancak MÜHATEM'de yer almayan algoritma ve işlevleri de sağlamaktadır. Temsili ortam ara katmanı Şekil 1'de görülen nesne sınıfı ilişkilerine (kullanma, içerme ve türetilme) sahiptir.

EnvironmentManager, fiziksel/görsel harekat ortamını tanımlayan sınıftır ve içerisinde arazi, deniz, bitki örtüsü, atmosfer, astronomi ve varlıklara ilişkin bilgileri barındırmaktadır. Söz konusu sınıf, arazi yüksekliği [4,5] ve deniz derinliği bilgilerine doğrudan MÜHATEM raster tabanlı harita veritabanı üzerinden ulaşılmaktadır.

Mimaride, bitki örtüsü bilgilerine iki kademeli şekilde erişilmektedir. İlk kademe, bitki örtüsüne erişilmek istenilen koordinatın (enlem ve boylam) senaryo içinde tanımlı *GISPolygon'*dan yaratılan her hangi bir bitki örtüsü çokgeni içine denk gelip gelmediğinin testidir. Eğer bu test sonucunda kullanıcının tanımladığı bir çokgene denk gelinmişse söz konusu çokgende tanımlı bitki örtüsü kullanılır. Ancak anılan koordinatta her hangi bir çokgen yoksa ikinci kademede MÜHATEM raster tabanlı harita veritabanı üzerinden bitki örtüsü bilgisi elde edilir.

Atmosfer bilgilerine de bitki örtüsüne benzer şekilde çoklu kademeli olarak erişilmektedir. İlk kademe, atmosfer bilgisine erişilmek istenilen koordinatın (enlem, boylam ve irtifa) senaryo içinde tanımlı *GISPolygonCylinder'*dan yaratılan her hangi bir atmosfer çokgeni içine denk gelip gelmediğinin testidir (atmosfer çokgeni olarak işaretlenen *GISPolygonCylinder* nesnelerinin her biri için *MeteorologyManager* içinde *MeteorologyPolygon* sınıfı ile tanımlı eşlenik nesneler yaratılmaktadır). Bu testde, bitki örtüsünden farklı olarak, çokgen dikey derinliği olan bir hacim olarak ele alınır ve test edilen noktanın dikey olarak (irtifa ekseninde) da hacim içine denk gelip gelmediği kontrol edilir. Eğer bu test sonucunda kullanıcının tanımladığı bir çokgene denk gelinmişse ikinci kademede söz konusu çokgen/lerde, ihtiyaç duyulan atmosfer parametresinin (*MeteorologyParameter* sınıfı ile tanımlı sıcaklık, nem, basınç, görüş mesafesi, vb.) ekli olup olmadığı test edilir. Eğer atmosfer parametresi ilgili çokgen/lerde tanımlıysa üçüncü kademede söz konusu parametre ile tanımlı atmosfer bilgisi çokgenden kullanılır. Aynı koordinat için bilgisi kullanılabilir birden fazla çokgen bulunması durumunda en son çizilen (ekranda en üstte gözüken) çokgen öncelikli olarak seçilir. Seçilen parametredeki atmosfer bilgisi sabit bir değer ile tanımlanabileceği gibi benzetim sistemi zamanına bağlı olarak önceden belirlenmis bir plan (değişim çizelgesi) dahilinde de tanımlanabilmektedir. Değişim çizelgesi (bnkz.

Şekil 2) kullanıldığında tanımlanmamış ara değerler enterpolasyon ile hesaplanmaktadır. Değişim çizelgesinin sonuna ulaşıldığında en başa dönülerek atmosfer koşulları döngüsel olarak tekrarlanır.



Şekil 2. Atmosfer parametresi değişim çizelgesi

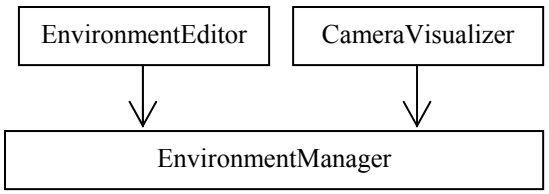
Koordinat-çokgen testi sonucunda kullanılabilir bir atmosfer çokgeni bulunamaması durumunda kullanıcının senaryoda tanımladığı seçime bağlı olarak iki farklı yöntemden biri kullanılır. İlk yöntem kullanıcı tarafından sabit olarak tanımlanmış atmosfer parametresi değerlerini kullanmak, ikinci yöntem ise MÜHATEM'in nokta tabanlı zaman ilişkili atmosfer istatistikleri veritabanını kullanmaktır [2,3]. Söz konusu veritabanı Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü tarafından sağlanan saatlik (veya 7, 14 ve 21 saatlerindeki) nokta ölçümleri ile oluşturulmuş istatistikleri barındırmaktadır.

Astronomik bilgilere de *MeteorologyManager* üzerinden MÜHATEM astronomi algoritmaları kullanılarak erişilmektedir. MÜHATEM astronomi algoritmaları, güneşin ve ayın nesnelere göre relatif koordinatlarını; ayın sayfasını; güneş, ay ve yıldızların yaydığı/yansıttığı ışık miktarını ve ışığın atmosferden geçerken dağılması ve soğurulması dolayısıyla oluşan genel ve doğrudan aydınlanma miktarlarını hesaplayabilmektedir. Bu bilgiler, MÜHATEM tarafından sağlanan sensör algoritmalarıyla bir araya getirilerek SAMMOS optik/elektro-optik sensör modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır.

Temsili ortamdaki varlıkların tanımlanması için *GISObject* temel nesne sınıfından türetilmiş nesne sınıfları kullanılmakta (bknz. Şekil 1) ve söz konusu varlıklar, model ve geometriler olarak iki ana başlık altında ele alınmaktadır. Modeller; uçaklar, füzeler, hava savunma silahları, sensörler, havalanları gibi harekat unsurlarını içermekte ve *GISEntity* sınıfı (bknz. Şekil 1) ile tanımlanmaktadır. Geometriler ise unsur görevlerini ve senaryoyu tanımlamakta kullanılan nokta, dikdörtgen, daire, elips, çokgen, dikdörtgenler prizması, rota, küre gibi (bknz. Şekil 1) yardımcı varlıklardır. Bu geometrik varlıklarla, atmosfer ve bitki örtüsü bölgeleri ile görevlere ilişkin rotalar, koridorlar, girişe yasak bölgeler, hedef alanları vb. tanımlamalar yapılabilmektedir.

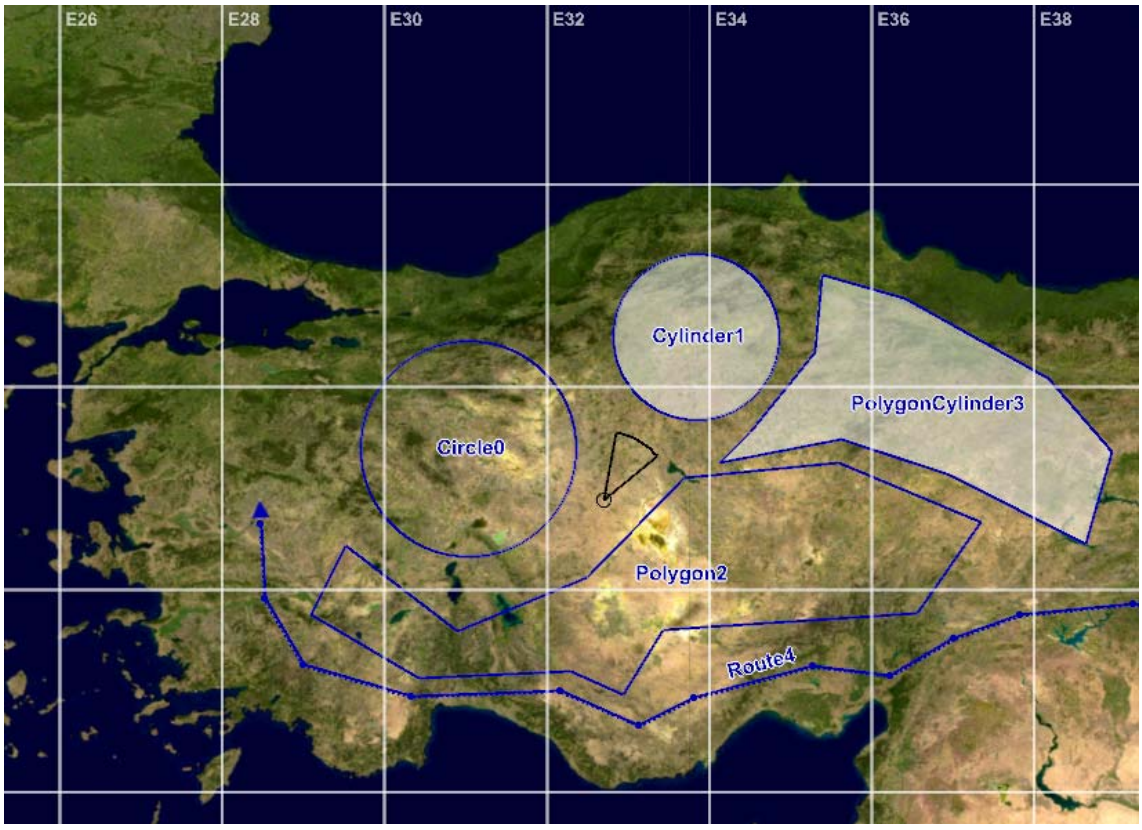
3. TEMSİLİ ORTAM GÖRSELLEŞTİRME VE DÜZENLEME

Önceki bölümde sunulan temsili ortam bilgileri, Şekil 3'de görülen *EnvironmentEditor* ve *CameraVisualizer* nesne sınıfları kullanılarak görselleştirilmekte ve interaktif olarak düzenlenmektedir.



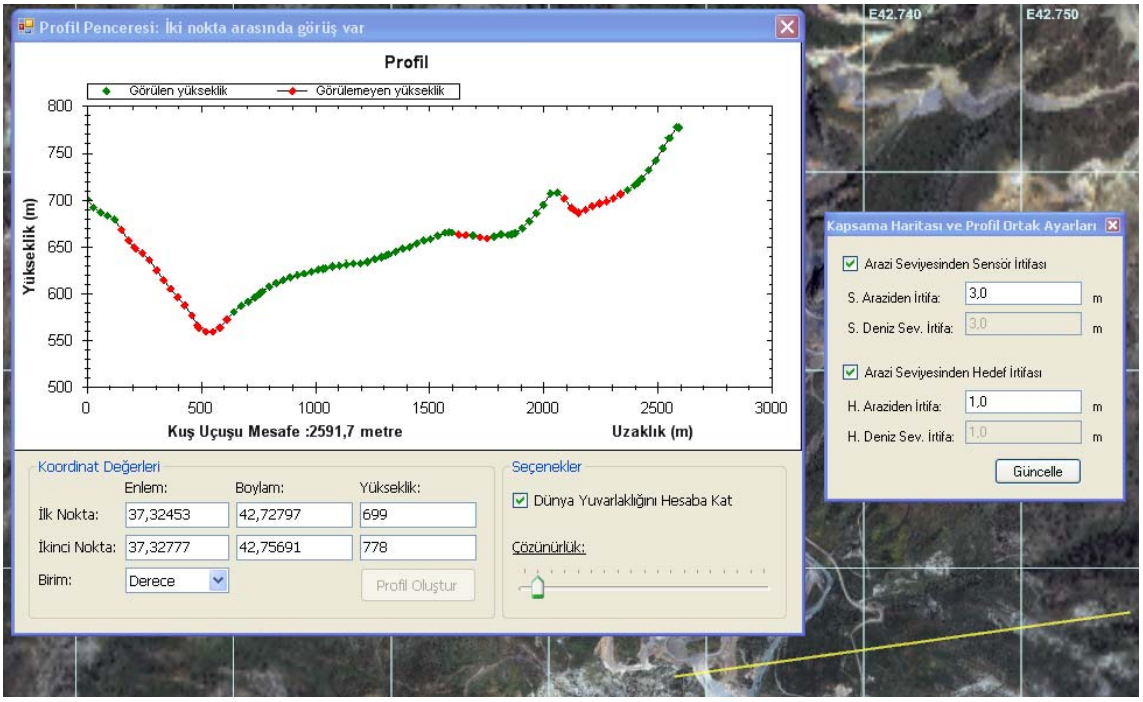
Şekil 3. Temsili ortam görselleştirme ve düzenleme nesne sınıfları ve ilişkileri

EnvironmentEditor nesne sınıfı, temsili ortam nesnesine bağlantı kurarak 2 boyutlu şekilde temsili ortamı görselleştirme (bknz. Şekil 4) ve her türlü fare işlevini kontrol etmeyi sağlamaktadır. Fare işlevleri *harita düzenleme, nesne yaratma, nesne düzenleme, nesne silme, profil seçme* ve *kapsama çıkarma* olarak altı adettir. *Harita düzenleme*, haritanın sol fare tuşu ile kaydırılmasını, sağ fare tuşu ile yakınlaşıp/uzaklaştırılmasını, orta fare tuşu ile alan yakınlaştırma yapılmasını ve çift tıklama ile tıklanılan noktanın ekranda ortalanmasını sağlamakta; *nesne düzenleme*, sol fare tuşu ile bir/birkaç nesne seçme ve kaydırmayı, sağ fare tuşu ile bir nesne seçme ve döndürmeyi sağlamakta ve nesne olmayan boş bir yere tıklayınca da harita düzenleme işlevlerini yerine getirmekte; *nesne yaratma*, etkileşimli olarak bir senaryo nesnesinin yaratılmasını ve yaratma işlemi tamamlandığında da nesne düzenleme kipine otomatik geçilmesini desteklemekte; *nesne silme*, fare ile tıklanan nesnenin silinmesini sağlamakta; *profil seçme*, harita üzerinden etkileşimli olarak iki noktalı bir kesit seçerek arazi profilinin görüntülenmesini sağlamakta ve son olarak *kapsama çıkarma*, fare ile tıklanan noktadan kapsama haritası çıkararak görünürlük analizi yapmayı mümkün kılmaktadır.



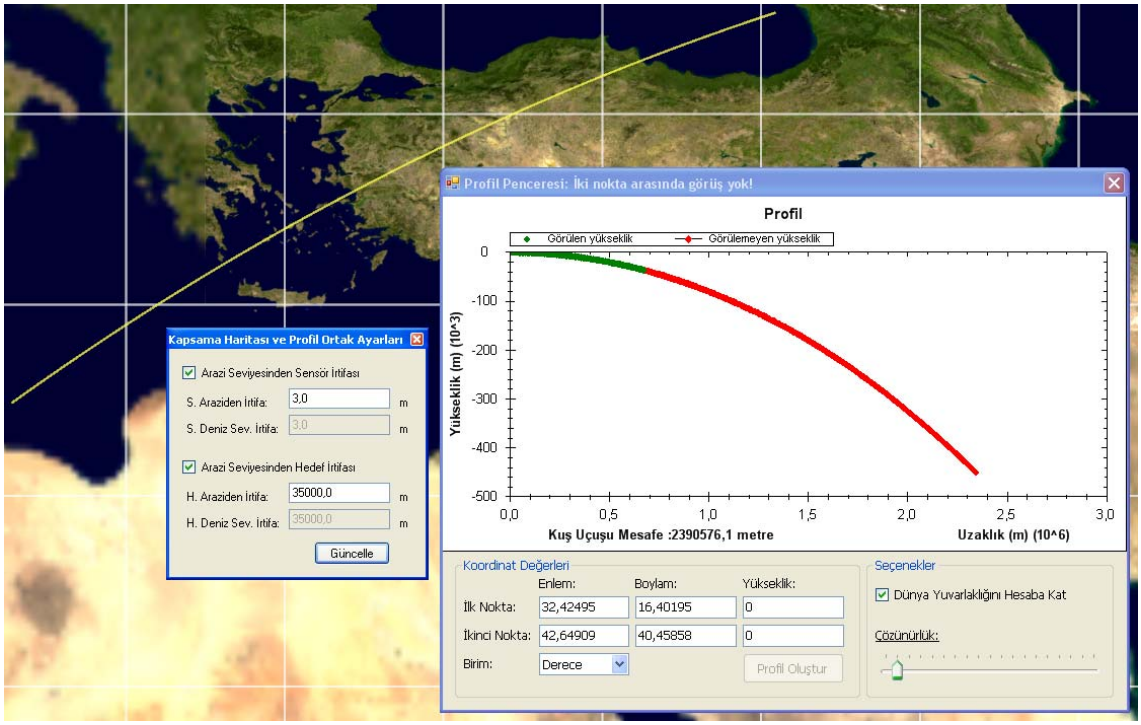
Şekil 4. Senaryo nesnelerinin görselleştirmesi

Profil çıkarmada çok çözünürlüklü, geniş alan yönetimi destekli bir yapı sağlanmakta ve dünya yuvarlaklığı dikkate alınmaktadır (bknz. Şekil 4 ve 5). Çok çözünürlüklü yapı kullanılarak çıkarılan profilin boyuna göre uygun çözünürlük otomatik belirlenmektedir. Eğer kısa mesafeli bir profil çıkarılacaksa daha yüksek çözünürlüklü arazi verisi kullanılmakta, eğer uzun mesafeli bir profil çıkarılacaksa düşük çözünürlüklü veri kullanılmaktadır. Böylece profilin çıkarılması için gerekli süre belirli kısıtlar dahilinde tutulabilmektedir. Geniş alan yönetim sistemi destekli bir yapı kullanılarak da hafızaya bütün harita bloklarının önceden yüklenerek hafıza sorunları oluşturması önlenmekte, sadece ihtiyaç duyulduğunda blokların hafızaya yüklenmesi, blokların sıklıkla kullanıldıkları sürece hafızada kalması ve hafıza limitlerine ulaşınca da az kullanılan blokların hafızadan atılması sağlanmaktadır. Dünya yuvarlaklığını algoritmaya entegre etmek için ise profil çıkarma iki seviyeli olarak yürütülmektedir. Birinci seviye (üst seviye), ilgili profili kartezyen koordinatlarında ifade ederek ilerlemekte, böylece dünya yuvarlaklığının hesaba katılmasını sağlamaktadır. Kartezyen koordinatlardaki ilerleme büyük adım aralıkları şeklinde yapılmakta ve bu parçalar içindeki hesap ikinci seviyede MÜHATEM veritabanına uyumlu olacak şekilde coğrafi koordinatlarda icra edilmektedir. Söz konusu iki seviyeli yöntem ile hem dünya yuvarlaklığının etkisi görülmekte hem de çok fazla performans kaybı yaşanmamaktadır.

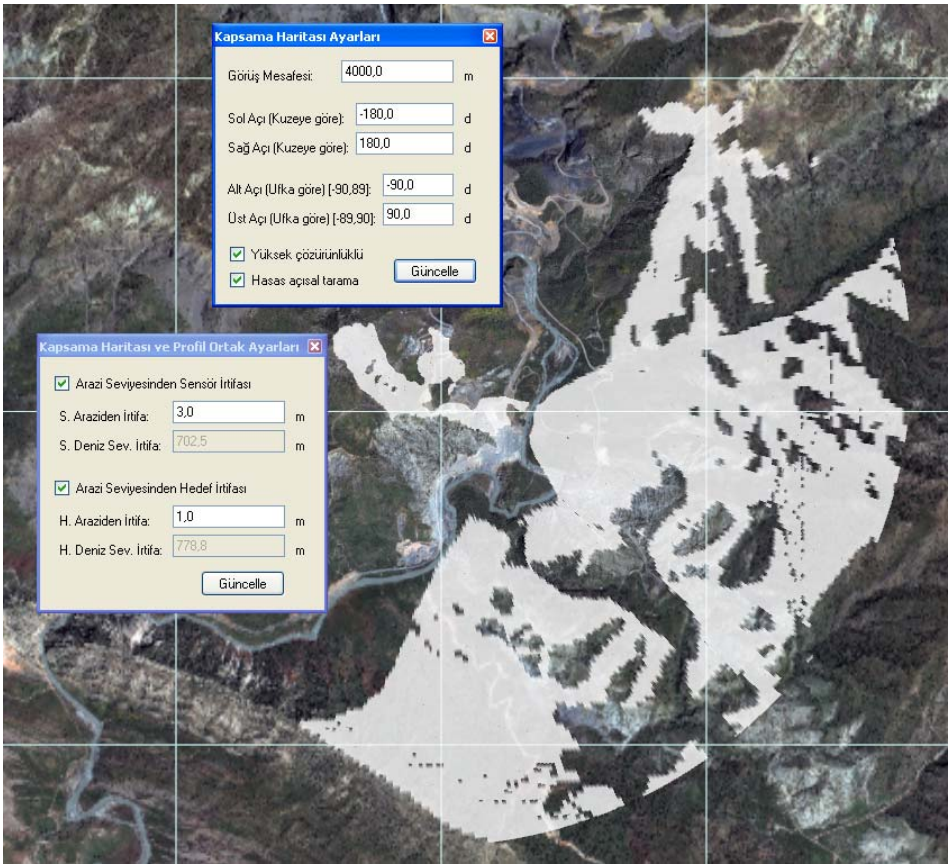


Şekil 5. Arazi profilinin detaylı görselleştirmesi

Kapsama haritası çıkarılmasında, profil algoritmasıyla entegre bir teknik kullanılmakta ve dünya yuvarlaklığının etkisi benzer şekilde gösterilebilmektedir (bknz. Şekil 6). Kapsama algoritması, sensörün bulunduğu noktadan belli aralıklarla çevreye profil ışınları göndermekte ve topladığı bilgileri görülebilirlik hesabında kullanmaktadır. Kapsama hesabında sensörün yüksekliği (arazi veya deniz seviyesinden), hedefin yüksekliği (arazi veya deniz seviyesinden), sensörün yatay ve diye bakış açıları ve maksimum görüş mesafesi kullanılmakatdır.

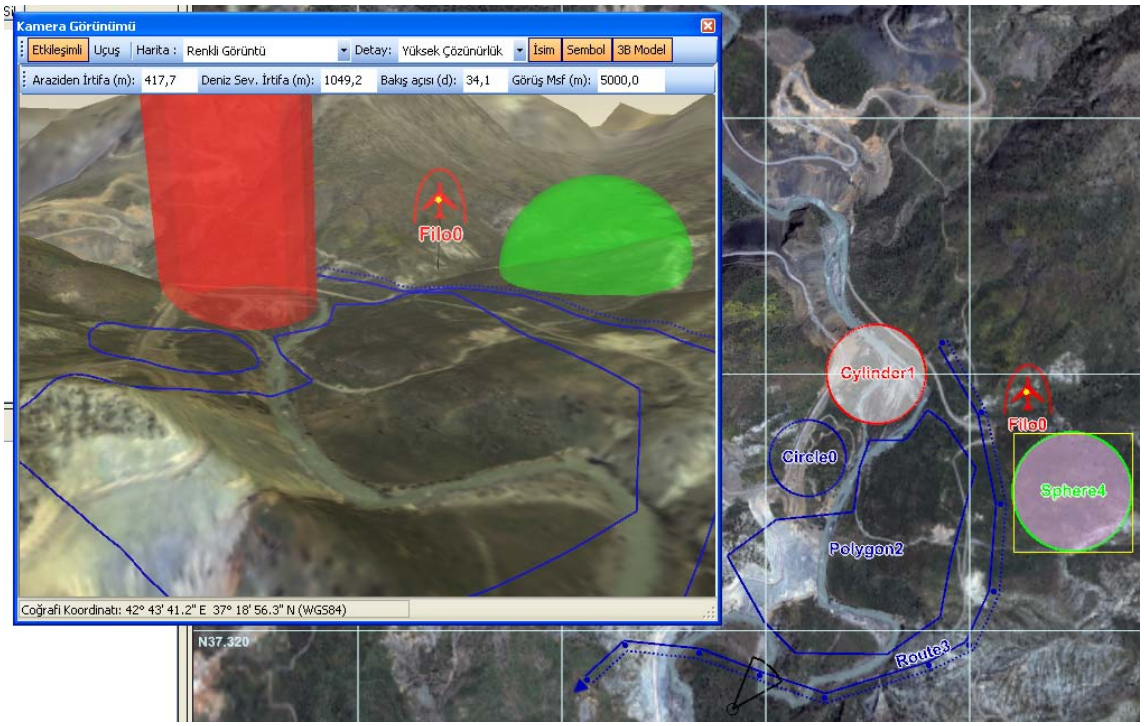


Şekil 6. Arazi profilinin dünya yuvarlaklığı ile görselleştirilmesi



Şekil 7. Kapsama haritası görselleştirmesi

Son olarak *CameraVisualizer* sınıfı kullanılarak temsili ortam nesnesine bağlantı kurulabilmekte, 3 boyutlu olarak temsili ortam görselleştirilebilmekte (bknz. Şekil 8) ve fare ile kamera konumu ve bakış açısı interaktif olarak düzenlenebilmektedir. Üç boyutlu gösterim bütün senaryo nesnelerinin görselleştirmesini destekleyebilmektedir.



Şekil 8. Üç boyutlu temsili ortam görselleştirme

3. SONUÇ

Bu makalede, SAMMOS projesi kapsamında geliştirilen coğrafi bilgi sistemi, temsili ortam ve görsel senaryo geliştirme tasarımı anlatılmıştır. Öncelikli olarak temsili ortam modeli ve mimaride kullanılan nesne sınıfları ve ilişkileri sunulmuş ve söz konusu temsili ortam modelinin arazi, bitki örtüsü, atmosfer, astonomi ve varlık yapıları ile veri erişim mekanizmaları açıklanmış; atmosfer, profil çıkarma ve kapsama haritası hesaplamasının anlatımına ağırlıklı olarak yer verilmiştir. Son olarak temsili ortamın iki ve üç boyutlu olarak görselleştirilmesi, analiz edilmesi ve etkileşimli olarak düzenlenmesi için kullanılan teknikler özetlenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Çağatay Ündeğer, Altan Yavaş, Mustafa Ocak, Umut Akın, Ziya İpekkan (2007), "MÜHATEM: Müşterek Harekat Alanı Simülasyon Sistemi: Temsili Ortam Standart ve Uygulamaları", Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS 2007).

[2] Çağatay Ündeğer, Altan Yavaş, Mustafa Ocak, Umut Akın, Ziya İpekkan (2007), "MÜHATEM Yazılım Programlama Kütüphanesi", Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon Konferansı (USMOS 2007).

[3] ODTÜ MODSİMMER, (2006), "MÜHATEM Yazılım Gelistirici Kılavuzu", ODTÜ Modelleme ve Simülasyon Arastırma ve Uygulama Merkezi.

[4] Defense Mapping Agency (DMA), (1996), "Performance Specification Digital Terrain Elevation Model (DTED)" , MIL-PRF-89020.

[5] United States Geological Survey (USGS), (2004), "Standards for Digital Elevation Model (DEM)".

[6] SEDRIS: The Source For Environmental Data Representation & Interchange, (2009), web-sayfası: http://www.sedris.org

[7] OpenGIS Standards and Specifications, (2009), Open Geospatial Consortium Inc., web-sayfası: http://www.opengeospatial.org/standards

EK BİLGİ

Dr.Çagatay Ündeger
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : cagatay@undeger.com
Telefon : 0 (312) 297 9291
Fax : 0 (312) 297 9155

Tolga Türker
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : tturker@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9072
Fax : 0 (312) 297 9155

Müh.Erol Evran
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : eevran@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9294
Fax : 0 (312) 297 9155

Y.Müh.Halil Kolsuz
Adres : 5.Cadde No:6/A, 06533 Bilkent / ANKARA
e-posta : hkolsuz@meteksan.com.tr
Telefon : 0 (312) 297 9277
Fax : 0 (312) 297 9155

KARMA STRATEJİLİ DURUMLARIN OYUN TEORİSİ YARDIMIYLA SİMÜLASYONU

Vasif V. Nabiyev

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

vasif@ktu.edu.tr

ÖZ

Bilginin işlenmesi ve etkin bir şekilde kullanımı günümüzde önemli problemlerden birisidir. Çeşitli çatışma durumlarında doğru kararların verilmesi matematiksel bir yaklaşım olan oyun teorisi yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Askeri problemler çatışma durumlarını içerdiğinden bu problemlerin çözümü de karma stratejilerin kullanımını gerektirmektedir. Çalışmada eyer noktası bulunmayan karma stratejilerin optimum çözümünün elde edilmesi üzerinde durulmuş, bilgisayarlı simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Oyun teorisi, Karma Stratejiler, Optimizasyon, Simülasyon, Yapay Zeka.

SIMULATION OF MIXED STRATEGY STATES USING GAME THEORY

ABSTRACT

Effective use and processing of information is one of the major problems of todays. Choosing the right decisions in a variety of conflict situations is performed with the help of game theory, which is a mathematical approach. The solution of the military problems also requires the use of mixed strategies because of these problems include conflicts. In this paper obtaining optimum solution of mixed strategy that has no saddle point has been emphasized, computer simulation was carried out.

Keywords: Game Theory, Mixed Strategies, Optimization, Simulation, Artificial Intelligence.

1. GİRİŞ

Oyun teorisi uzun süredir insan ve hayvan davranışlarının geniş alana yayılmış çeşitlerini incelemek için kullanılmaktadır. Bu teori başlangıçta, firmaların, pazarların ve tüketicilerin iktisadi davranışlarını anlamak için geliştirilmiştir[1,2,3,4]. Sonra oyun kuramının teknik ve sosyal bilimlerdeki kullanımı genişlenmiş ve kuram politik, askeri, sosyolojik, psikolojik davranışlara ve teknik alanlara uygulanmıştır [5,6]. Günümüzde bilgisayar ağ yönetimi, tıp ve eğitimde oyun teorisinden faydalanarak optimum çözümler aranmaktadır[7,8,9,10]

Oyun teorisi, genellikle çatışma durumları içeren problemlerin çözümü ile uğraşmaktadır. Askeri karakterli problemler çatışma temeline dayandığından bu problemler, oyun teorisinin ilgilendiği uygulama alanlarından biri olmaktadır.

Benzeri uygulamaların oyun teorisi yardımıyla çözümü kapsamlı ve zor bir problem olmaktadır. Oyun teorisinin askeri amaçlara yönelik uygulanması tüm iştirakçiler için etkin çözümün – optimum strateji veya stratejiler dizininin bulunması anlamına gelmektedir. Modellerle askeri çatışma durumlarının çözümlenmesine ilişkin günümüzde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır[11]. Ancak her bilim dalında olduğu gibi askeri uygulamalarda da deneylere; teorinin doğrulanması ve yeni çözüm yollarının bulunması aracı şeklinde bakılmaktadır[12].

Fen bilimlerinden farklı olarak askeri problemlerin analizi mantıksal ve kuramsal açıdan daha çok belirsizlikler içerebilmektedir. Bu nedenle birçok kez tekrarlanmadığı sürece modeller yardımıyla tam güvenilir sonuçların elde edilmesi güçtür. Bu açıdan durumların dinamik şekilde değerlendirilmesiyle oyun teorisi yardımıyla en iyi stratejilerin bulunulması üzerinde durulmaktadır.

Çatışmalı durumlarda çoğu zaman taraflar manevra yapmakta, geri çekilmekte veya en iyi sonuçların elde edilmesi yolunda ittifak kurmaktadırlar. Öte yandan gerçek dünyada değerler ve meraklar sürekli değişmekte, bu ise daha dinamik bir çalışma ortamının olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada tarafların birkaç stratejisi olduğu durumlarda en iyi stratejilerin belirlenmesi için oyun teorisine dayalı simülasyon gerçekleştirilmiştir.

2. OYUN TEORİSİ

Oyun teorisi, belirli bir hedefe yönelik karar verme gücüne sahip birimlerden (oyunculardan) oluşan sistemlerde, oyuncuların azami kazanç elde etme çabası içindeyken karar verme durumlarını inceleyen bir matematiksel yöntemdir. Bu teori, uygulamalı matematiğin, ekonomide, mühendislik, politik bilimler, yapay zeka ve savunma alanlarında kullanılan bir dalıdır. Karar verenlerin diğer düşüncelerle uyumlu ya da rekabet halinde olduğu sosyal durumları modelleyen bir yaklaşım olması bu kuramın en temel özelliğidir. Oyun teorisine göre çözümler genellikle *von Neuman*'ın minimaks ve *J.Nash*'in denge teoremlerine dayanmaktadır[13].

2.1. Kazanç matrisi.

Çalışmada basitlik için iki kişilik stratejili oyunlar ele alınmaktadır. Bu oyunlarda, taraflardan biri bilgisayar olarak düşünülebilir. Öte yandan bir tarafın kazanması diğer tarafın kaybına eşittir. Kazançlarının toplamı sıfır olan oyunlara *sıfır toplamlı 2 taraflı oyunlar denir*. İki kişilik oyunlara askeri bir benzetim örneği olarak uçaksavar problemini verelim[14].

Uçaksavar problemi. *Tek birini kullanabileceğimiz A_1, A_2, A_3 gibi farklı 3 adet uçaksavar sisteminin var olduğunu düşünelim. Rakibin de B_1, B_2, B_3 gibi farklı 3 uçağı olsun. Bizim amacımız düşmanın uçağını düşürmektir. Rakibimizin amacı ise uçağın hiç hasara uğramadan geri dönmesini sağlamaktır. A_1 uçaksavar sistemi kullanıldığı takdirde B_1, B_2 ve B_3 uçaklarını düşürme ihtimalleri sırasıyla 0.9, 0.4 ve 0.2'dir. A_2 kullanıldığı takdirde ihtimaller 0.3, 0.6 ve 0.8'dir. A_3 kullanılınca ihtimaller 0.5, 0.7 ve 0.2 olmaktadır.*

Bu cinsten olan oyunları anlamak için *kazanç matrisinin* oluşturulması gerekir. Şarta göre 3 uçaksavar sisteminin kullanımından oluşan 3 strateji var olmaktadır. Rakibin de 3 uçağın kullanımından oluşan 3 stratejisi vardır. Her strateji çifti için kazancımızın ortalama değeri kullanılan uçaksavar sistemi ile seçilen uçağın tahribi ihtimaline eşittir. Uygun kazanç matris aşağıda gösterilmiştir.

A\B	B_1	B_2	B_3
A_1	0.9	0.4	0.4
A_2	0.3	0.6	0.8
A_3	0.5	0.7	0.2

A\B	B_1	B_2	B_3	α_i
A_1	0.9	0.4	0.2	0.2
A_2	0.3	0.6	0.8	**0.3**
A_3	0.5	0.7	0.2	0.2
β_j	0.9	**0.7**	0.8	

Şekil 1. Kazanç matrisi ve α- β değerleri

Kazanç matrisinin ilginç özelliği, onun ayni zamanda satırında minimum olan elemanın, bu satırla kesişen sütun için maksimum değere sahip olmasıdır. Bu elemana kazanç matrisinin *minimaks noktası* denir.

α - bizim en iyi stratejimizde garantilenmiş minimum kazancı, β - ise rakibin en iyi oyununda elde edebilecek maksimum kazancı ifade ediyor. Buradan yönteme de *minimaks* ismi verilmektedir. Uçaksavar problemi için alt değer α=0.3, üst değer ise β=0.7 olmaktadır.

Minimaks stratejilerin *kararlı* olduğu oyunlarda (α) alt ve (β) üst değerleri birbirine eşit olmaktadır. Eğer $\alpha = \beta$ ise bu değerlerin ortak değerine *oyunun değeri*, ν denir ($\alpha \le \nu \le \beta$). Oyunun minimaks noktası varsa bu onun değerini ifade edecektir. Bulunduğu satırın en küçük, sütunun ise en büyük sayısı olan minimaks noktasına kazanç matrisinin *eyer noktası* denilir. Oyunun değerine eşit olan minimaks noktasının bulunduğu satır ve sütun uygun olarak rakiplerin optimum stratejilerini belirlemiş oluyor. Bu stratejilerden sapma olduğunda uygun gidişi yapan oyuncunun kaybı kaçınılmazdır.

2.2. Eyer Noktaları Olmayan Oyunlar.

Pratik önemi olan sonlu oyunlarda genellikle bir eyer noktası bulunmamaktadır. Belirli bir oranda kullanılmış sade stratejilerin rasgele bir dizilişinden oluşan bileşik stratejilere *karma stratejiler* denir. Sade stratejilerle birlikte karma stratejiler de kullanıldığında, her sonlu oyunun bir çözümü olacaktır. Bu ise her sonlu oyun için bir optimal stratejinin varlığını göstermektedir. Ortalama kazanç, oyunun değerine eşittir ve taraflar bu optimal stratejiye bağlı kalmadığı halde kaybedebilir.

Karma stratejilerin kullanımı sade hamlelerin kullanım oranlarına dayalı olmaktadır. Eğer A oyuncusunun karma stratejisi, A_1, A_2, A_3 sade stratejilerinin $p_1 : p_2 : p_3$ oranlarında kullanılmasından oluşursa uygun strateji aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$S_{A^*} = \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & A_3 \\ p_1 & p_2 & p_3 \end{pmatrix} \qquad S_{B^*} = \begin{pmatrix} B_1 & B_2 & B_3 \\ q_1 & q_2 & q_3 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

Burada $p_1 + p_2 + p_3 = 1$ olacaktır. Benzeri şekilde B oyuncusu için karma strateji biçimi belirlenmektedir. Burada B_1, B_2, B_3 sade stratejilerinin $q_1 : q_2 : q_3$ oranlarında kullanıldığı ifade edilmiştir ve $q_1 + q_2 + q_3 = 1$ olmaktadır.

Eğer tarafların karşılıklı olarak m ve n sayıda stratejileri varsa, benzeri oyunlara *(m x n) cinsten oyunlar* denilir. (m x n) oyunlarda eyer noktası bulunmadığında, özellikle m ve n 'nin büyük değerleri için, çözümün aranması güçtür. Kazanç matrisinde önce (a*) Eş stratejiler ve (b) Kapsanan stratejiler* elemine edilerek sadeleştirme işlemi gerçekleştirilir. Sadeleştirilmiş (mxn) cinsten kazanç matrislerinin değerini ve optimum stratejileri bulmak için simpleks yöntemden faydalanılır.

3. Oyunların Simpleks Yöntemi ile Çözümü

Oyunu çözmek her bir oyuncu için optimum stratejinin ve oyun değerinin bulunmasına karşılık geliyor. Karşılıklı 2 kişilik 0 değerli oyunların çözümü için kazanç matrisinin boyu küçük olduğunda *yaklaşık sayısal çözümleme veya* **grafik** yöntemler kullanılmaktadır. (m x n) oyunlarda strateji sayıları, m ve n büyüdükçe problemin çözümü güçleşir. Bu artan güçlük teori ile ilgili olmayıp, gerekli hesaplamalar sayısının hızla artmasından kaynaklanmaktadır.

(m x n) oyunların değerini ve en iyi stratejileri bulmak için lineer programlama yöntemi kullanılmaktadır. A oyuncusunun stratejileri $p_1, p_2, \ldots, p_m$ ile, B oyuncusunun stratejileri ise $q_1, q_2, \ldots, q_n$ ile gösterilsin.

$$p_1 + p_2 + \ldots + p_m = 1 \quad \text{ve} \quad q_1 + q_2 + \ldots + q_n = 1 \qquad (2)$$

S_A^* optimal stratejimizi seçtiğimizi kabul edelim. B_j stratejisine karşı S_A^* stratejisinin ortalama kazancı

$$a_j = a_{1j}\, p_1 + a_{2j}\, p_2 + \ldots + a_{mj}\, p_m \qquad (3)$$

olacaktır . Bu strateji seçimine göre rakibin istenilen stratejisinde a_j kazancı oyunun v değerinden daha küçük olamaz. Buna göre aşağıdaki eşitsizlikler sistemini yaza bileriz;

$$\begin{cases} a_{11}p_1 + a_{21}p_2 + \ldots + a_{m1}p_m \geq \nu \\ a_{12}p_1 + a_{22}p_2 + \ldots + a_{m2}p_m \geq \nu \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{1n}p_1 + a_{2n}p_2 + \ldots + a_{mn}p_m \geq \nu \end{cases} \quad (4)$$

ve $p_i \geq 0$ (i=1,2,...,m). Bu eşitsizlikleri, pozitif ν değerine bölüp,

$$x_1 = \frac{p_1}{\nu}, \quad x_2 = \frac{p_2}{\nu}, \quad \ldots. \quad , \quad x_m = \frac{p_m}{\nu} \quad (5)$$

x_i değişkenlerini sistemde yerine yazsak şartlar aşağıdaki eşit şekile dönüşmüş olacaktır.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \ldots + a_{m1}x_m \geq 1 \\ a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{m2}x_m \geq 1 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ a_{1n}x_1 + a_{2n}x_2 + \ldots + a_{mn}x_m \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$x_1 + x_2 + \ldots + x_m = \frac{1}{\nu} \quad (7)$$

x_i değerleri belirlendikten sonra (p_i) optimum stratejileri bulmak için (5) bağıntısından aşağıdaki dönüşüm formülü kullanılır.

$$p_i = \nu\, x_i \quad (8)$$

Aşağıda kazanç matrisi verilen oyunun optimum stratejisinin ve değerinin belirlenmesi simpleks yöntemi temelinde açıklanmaktadır.

A\B	B_1	B_2	B_3
A_1	2	1.4	2.1
A_2	1	2.4	1.7
A_3	2.4	1.4	1.2

Bu kazanç matrisine göre şartlar aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\begin{array}{l} 2x_1 + x_2 + 2.4x_3 \geq 1 \\ 1.4x_1 + 2.4x_2 + 1.4x_3 \geq 1 \\ 2.1x_1 + 1.7x_2 + 1.2x_3 \geq 1 \end{array}$$

Burada $x_1 = \frac{p_1}{\nu}$, $x_2 = \frac{p_2}{\nu}$ ve $x_3 = \frac{p_3}{\nu}$ olmaktadır. Eşitsizliklerden kurtulmak için z_1, z_2, z_3 gevşek değişkenleri yazarsak denklemlerimiz aşağıdaki şekli alacaktır:

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 + 2.4x_3 - z_1 = 1, \\ 1.4x_1 + 2.4x_2 + 1.4x_3 - z_2 = 1, \\ 2.1x_1 + 1.7x_2 + 1.2x_3 - z_3 = 1, \end{cases}$$

burada x_i ve z_i 'ler negatif değiller: $x_i \geq 0$ ve $z_i \geq 0$. Şimdi eşitliklerden fazla değişkenimiz vardır ve bu bizim mümkün *temel çözümü* kontrol ile kurmamızı sağlar. Bu şekilde problem simpleks yöntemle çözülebilmektedir.

Amaç, Z kar fonksiyonunu maksimum yapan ve negatif olmayan x_i sayılarını bulmaktır. $Z = \min\{x_1 + x_2 + x_3\}$

Başlangıç Simpleks Matrisi

	x_1	x_2	x_3	z_1	z_2	Z_3	Çözüm	Oranlar
Z	1	1	1	0	0	0	0	
z_1	2	1	2.4	-1	0	0	1	0.5
z_2	1.4	2.4	1.4	0	-1	0	1	0.71
z_3	2.1	1.7	1.2	0	0	-1	1	0.48

Mevcut çözüm tablodan kolaylıkla okunabilir. Z kazancı, Z=0 olarak çözüm sütununun bir elemanı şeklinde okunur. Simpleks algoritma şimdi adımlarla verilebilir:

Adım 1. *(i sütununu belirleme)* Z satırındaki en maksimum eleman seçilerek uygun sütun işaretlenir (burada eşit değerli olduğu için 1. sütun seçilmektedir)

Adım 2. *(j satırını belirleme)* Çözüm sütununun seçilen sütunun pozitif elemanlarına oranı hesaplanır ve bu oranın minimum olduğu satır işaretlenir (z_3 satırı):

Adım 3. *(Temeli değiştirme)* Sol taraftaki z_j temel değişkeni satırın x_i elemanı ile değiştirilir (burada z_3 temel değişkeni x_1 ile)

Adım 4. *(kesişimi 1 yap) i* sütunuyla *j* satırındaki kesişimdeki elemana tüm satırı bölerek, kesişimdeki bu eleman değeri 1 yapılır. Bu durumda tüm satır elemanlarını 2.1'e böleceğiz.

Adım 5. *(Gauss elemesi)* Seçili x_i satırının uygun çarpımlarıyla çıkarma yaparak x_i sütununu sıfırla.

Algoritma, Adım 1'de maksimuma erişinceye kadar tekrarlanır. Bu tablo kesinlikle standart formdadır ve verilen 5 adımın uygulanması için hazırdır. Diğer iki değişken için de adımların tekrarlanması sonucunda aşağıdaki veriler elde edilmektedir:

	x_1	x_2	x_3	z_1	z_2	z_3	Çözüm
Z	**0**	**0**	**0**	**0.22**	**0.26**	**0.10**	**0.573**
x_3	**0**	**0**	**1**	**0.64**	**0.32**	**-0.69**	**0.129**
x_2	**0**	**1**	**0**	**-0.31**	**0.64**	**-0.14**	**0.197**
x_1	**1**	**0**	**0**	**-0.12**	**-0.7**	**1.06**	**0.247**

Z satırındaki tüm değerler şimdi pozitiftir ve böylece optimuma erişilmiştir. Çözüm şimdi tablodan direkt okunabilir.

Z= 1/ν olduğundan oyunun değeri : $\nu = 1/Z = 1/0.573 = 1.745$ oluyor. Diğer taraftan $p_i = x_i * \nu$ olduğundan satırlar boyunca oynayan oyuncu için optimum strateji:

$p_1 = x_1 * \nu = 0.247*1.745 = 0.431$

$p_2 = x_2 * \nu = 0.197*1.745 = 0,343765$

$p_3 = x_3 * \nu = 0.129*1.745 = 0,225105$

Sütunlar boyunca oynayan oyuncu için ise optimum strateji:

$q_1 = z_1 * \nu = 0.22*1.745 = 0.38$

$q_2 = z_2 * \nu = 0.26*1.745 = 0.45$

$q_3 = z_3 * \nu = 0.10*1.745 = 0.17$

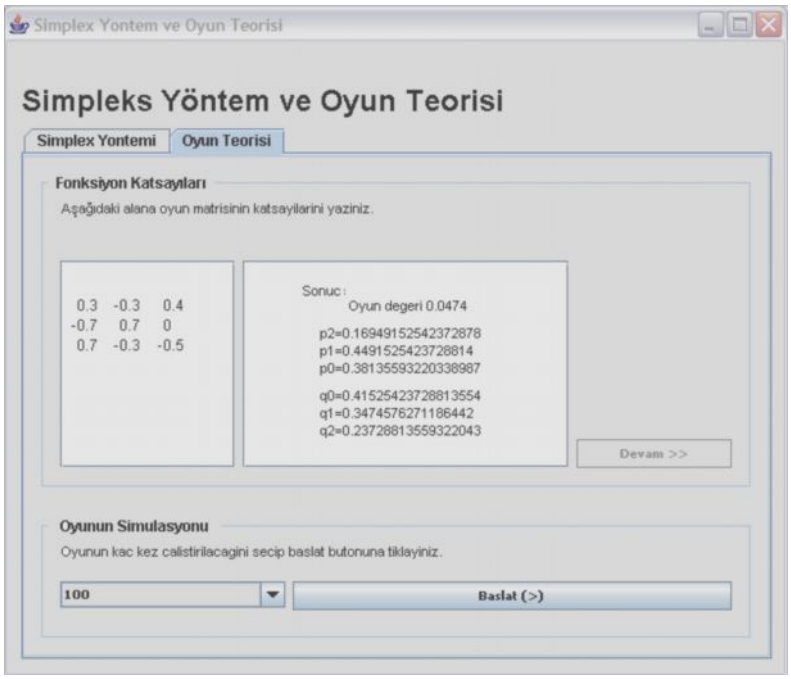
olmaktadır. Sonuçta, S_{A*} ve S_{B*} optimum stratejileri aşağıdaki şekilde oluyor:

	A_1	A_2	A_3		B_1	B_2	B_3
S_{A*}=	0.38	0.45	0.17	S_{B*}=	0.43	0.34	0.23

Dolayısıyla, eğer A oyuncusu oyunun %38'de A_1 stratejisini, %45 ve %17 ise uygun olarak A_2 ve A_3 stratejilerini uygularsa onun kazancının ν=1.745 olacağı kesindir. Eğer B oyuncusu bulunan değerlere uymazsa, A oyuncusunun kazancı daha da yükselecektir.

4. SONUÇLAR

Stratejili oyunlar, gerçek yaşamın bu veya diğer şekilde modeli gibi düşünülebilir. Birçok siyasi, ekonomi, sosyal ve askeri problemlerde karşılıklı *çatışma* ve rekabet söz konusudur. Çatışma durumları içeren askeri problemlerin çözümünde de *oyun teorisine* başvurulmaktadır. Bu teorinin yardımıyla taraflar optimum stratejileri hakkında bilgi edinmektedir. Çalışmada iki kişilik n*m oyunların optimum karma stratejilerinin belirlenmesinin simülasyonu üzerinde durulmuştur. Benzeri simülasyonlar modellerin oluşturulmasında faydalı olabilir. Şekil 2'de simülasyon programının örnek ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2. Simülasyonun ekran görüntüsü

KAYNAKÇA

[1] Neumann, J., Morgenstern, O., (1944), Theory of games and economic behavior, Princeton University Press

[2] Ventsell, E. S.,(1965) **"**Oyunlar Teorisine Giriş", Çeviri: Halil Yüksel, Türk Matematik Derneği Yayınları, Sayı: 27, İstanbul..

[3] McMillan,J., (1992), "Games, Strategies, and Managers", Oxford, OUP

[4] Öztürk,A., (2000), "Yöneylim araştırması", 5. Baskı, Ekin Yayınevi.

[5] Nabiyev, V.V., (2003), "Sıfır toplamlı stratejik oyunlarda sezgisel karar verme mekanizmasının modellenmesi", 12. Uluslar arası Yapay zeka ve Sinir Ağları Sempozyumu, Çanakkale.

[6] Robert Powell, (2009), "Sequential, nonzero-sum Blotto": Allocating defensive resources prior to attack", Games and Economic Behavior, In Press, Corrected Proof, Available online

[7] Wing-Wah Law, Su-Yan Pan, (2009), "Game theory and educational policy: Private education legislation in China", International Journal of Educational Development, Volume 29, Issue 3, Pages 227-240

[8] Machado,R., Tekinay,S. (2008), "A survey of game-theoretic approaches in wireless sensor Networks", Computer Networks, Volume 52, Issue 16, Pages 3047-3061

[9] Tsuda, S., Scott, D., Doyle, J., Jones, D., (2009),"Surgical Skills Training and Simulation", Current Problems in Surgery, Volume 46, Issue 4, Pages 271-370

[10] Nowik,I.,(2008), "The game motoneurons play", Games and Economic Behavior, In Press, Corrected Proof, Available online.

[11] Walker, G.H., Stanton, N.A., Stewart R., et al, (2009),"Using an integrated methods approach to analyse the emergent properties of military command and control", Elsevier, Applied Ergonomics, (40), pp. 636-647

[12] Öztürk, F.,Özbek, L., (2004), "Matematiksel Modelleme ve Simülasyon", Gazi kitapevi, Ankara

[13] Nabiyev, V.V., (2005), "Yapay Zeka: Problemler, Yöntemler, Algoritmalar", 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, s. 179-217.

[14] Dilgan, H., (1969), Oyunlar teorisi, İTÜ, Arı Kitapevi.

Elektro-mekanik Arızaların Ekonomik Analizinin Simülasyon Kullanılarak Gerçeklenmesi

A. Berdinyazov[a], F. Camcı[b], F. Eldemir[a], M. Şevkli[a], S. Başkan[c]
[a]Endüstri Mühendisliği, [b]Bilgisayar Mühendisliği, [c]Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Fatih Üniversitesi, Büyükçekmece İstanbul

Özet:

Tamir-bakım işlemleri özellikle savunma sanayiinde kullanılan elektro-mekanik sistemler için büyük önem arzetmektedir. İstenen güvenlik seviyesine ulaşmak için bakım sayısı arttırılmaktadır. Koşul bazlı bakım sistemleri (KBB) bakım ve onarım maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. KBB sistemi elektro-mekanik sistemi gerçek zamanlı olarak çeşitli sensörler aracılığıyla gözlemleyerek arızaları tespit etmeyi amaçlamaktadır. KBB sadece maliyeti düşürmekle kalmaz, aynı zamanda hazır olma oranını ve sistem güvenliğini de arttırır. Her ne kadar KBB toplam bakım onarım maliyetini düşürse de, yapılması gereken yatırım ve sistemin kritikliğine bağlı olarak her yere uygulanması uygun olmayabilir. Dolayısıyla KBB sisteminin nerelere uygulanması gerektiğini belirleyen bir ekonomik analiz metodu geliştirilmesi önemlidir. Önceki çalışmalarda stokastik olması gereken birçok parametre ortalaması hesaplanarak tek bir değer olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla stokastik olması gereken maliyet değeri ortalama maliyet olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar ortalama maliyet bize bazı bilgiler verse de ortaya çıkacak maliyetin istatistiksel dağılım olarak bilinmesi de büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmamızda bir sistemin birçok arızasının her birinin ne tür bir bakım stratejisi ile ele alınması gerektiğini belirleyen bir simülasyon modeli sunulacaktır. Bu simülasyon modelinde arızalar, maliyetleri, oluşma sıklıkları, sebep oldukları gecikmeler gibi birçok parametre istatistiksel dağılımlar kullanılarak temsil edilecektir. Bir arıza için bakım stratejilerinin maliyeti istatistiksel dağılım olarak temsil edilecek ve karar buna göre verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Koşul bazlı Bakım Sistemleri, Arıza teşhis, Bakım Onarım

1. Giriş:

Tamir-bakım işlemleri özellikle savunma sanayiinde kullanılan elektro-mekanik sistemler için oldukça büyük önem arzetmektedir. İstenen güvenlik seviyesine ulaşmak ve arıza ihtimalinin düşürülmesi için bakım sayısı arttırılmaktadır. Bu ise doğrudan bakım işlemlerinin sıklaştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Sıklaştırılan bakımlar birçok parçanın gereksiz yere değiştirilmesine, gereksiz işlemlerin yapılmasına sebep olmakta ve bu da maliyetleri arttırmaktadır. Örneğin ABD savunma bakanlığı bakım-onarım işlemleri için yıllık yaklaşık 40 miyar dolar harcamaktadır [1]. Bakım ve onarım maliyetlerinin yüksekliği sadece savunma sanayinde değil diğer endüstriel alanlarda da problem teşkil etmekte ve bu alandaki çalışmalar endüstri ve akademinin ilgisini çekmektedir. Örneğin orta ölçekli enerji üretim şirketlerinin bakım-onarım işlemlerine ayırdığı miktar elde ettikleri kardan daha fazladır [2]. Bakım onarım faaliyetlerinin yarıya yakınının engellenebilir olduğu yapılan çalışmalarla belirtilmiştir [2].

Koşul bazlı bakım sistemleri (KBB), bakım yapılmayan sistemlerde yüksek olan onarım maliyetini ve periyodik bakım yapılan sistemlerde yüksek olan bakım maliyetini azaltarak toplam bakım onarım maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. KBB sadece maliyeti düşürmekle kalmaz, aynı zamanda hazır olma oranını ve sistem güvenliğini de arttırır. KBB sistemi elektro-mekanik sistemi gerçek zamanlı olarak çeşitli sensörler aracılığıyla gözlemleyerek arızaları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Sensörlerden elde edilen sinyaller çeşitli metodlarla analiz edilerek arızalar tespit edilmekte (diagnostics) ve öngörülmektedir (prognostics). Eğer KBB sistemi etkin bir şekilde uygulanırsa sadece ABD'de yılda 35 milyar dolar bir tasarruf elde edileceği öngörülmektedir [3],[4], [5]. KBB sistemiyle ilgili daha detaylı bilgi [6], [7], [8]'de bulunabilir.

Her ne kadar KBB toplam bakım onarım maliyetini düşürse de, yapılması gereken yatırım ve sistemin kritikliğine bağlı olarak her yere uygulanması uygun olmayabilir. Örneğin basit bir kapı koluna KBB sistemi geliştirilmesi makul değildir. Ne zaman bozulursa o zaman değiştirilir. Dolayısıyla yapılan KBB sisteminin nerelere uygulanması gerektiğini belirleyen bir ekonomik analiz metodu geliştirilmelidir.

Bu konuda önceki çalışmamızda geliştirilen optimizasyon yönteminde bir sistemde bulunan çoklu arızalara ne tür bir bakım stratejisi kullanılması gerektiği bulunması amaçlanmıştır [9]. Bu çalışmada herbir arıza için üç bakım stratejisi (düzeltmeli (DB), periyodik (PB), koşul bazlı (KBB)) analiz edilmiştir. Bir arızaya bakım stratejisi uygulandığında beklenen maliyet hesaplanarak, her bir arıza türü için en düşük maliyetli bakım stratejisi seçilmiştir. Fakat bu çalışmada stokastik olması gereken birçok parametre ortalaması hesaplanarak tek bir değer olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla stokastik olması gereken maliyet değeri ortalama maliyet olarak tespit edilmiştir. Her ne kadar ortalama maliyet bize bazı bilgiler verse de ortaya çıkacak maliyetin istatistiksel dağılım olarak bilinmesi de büyük önem arz etmektedir. Ayrıca bahsi geçen ortalama değerlerin bazılarını elde etmek oldukça güçtür. Bunun sebeplerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Bazı arızaların çok uzun süreyle gerçekleşmesi (3-5 yıl gibi). Bu tür arızalar için belli bir istatistiksel dağılım elde etmek için yeterli olan veri sayısı elde edilemez.
- Yönetim birimlerinin istatistiksel veri toplama konusunda yeterli düzeyde olmaması
- Arıza ve tamir maliyetlerinin hesaplama güçlüğü. İki saatlik bir tamir işleminin işçilik, parça ve malzeme masrafları çok kolay tespit edilememektedir. Özellikle köklü kuruluşlarda bu tür maliyet hesapları farklı çalışmalarda ele alınmalıdır.
- Arıza ve bakım işlemlerinin bileşenlerin bulunduğu bölgenin, bileşenin bulunduğu sistemin (uçak, helikopter vs.) önemiyle ilgili olarak büyük farklılık göstermesi. Örneğin hemen kullanılması gereken bir helikopterin bir bileşinindeki arıza hemen giderilirken, hangarda birkaç yedeği, alternatifi bulunan bir helikopterin bileşeninde oluşan aynı arıza 4-5 gün sonra giderilebilir ve sisteme tamir süresi 4-5 gün olarak girer.
- Yönetim birimlerinde aynı makinenin farklı türlerinin bulunması

Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı bu kritik bilgilerin elde edilmesi oldukça güç olabilmektedir. Bu çalışmamızda bir sistemin birçok arızasının her birinin ne tür bir bakım stratejisi ile ele alınması gerektiğini belirleyen bir simülasyon modeli sunulacaktır. Bu simülasyon modeli sayesinde arızalar, maliyetleri, oluşma sıklıkları, sebep oldukları gecikmeler gibi birçok parametre için çeşitli istatistiksel dağılımlar kullanılarak bunların etkileri analiz edilecektir. Bu bilgiler ışığında savunma sisteminde kullanılan çoklu arızalı elektroni-mekanik sistemleri için en etkin bakım-tamir stratejisi geliştirilmesi mümkün olacaktır.

Ikinci bölüm geliştirilen ekonomik analiz modülü ve simülasyon olarak gerçeklenmesini, üçüncü bölüm geliştirilen simülasyonun bir sisteme uygulanmasını sunmaktadır. Son bölüm çalışmayı sonuçlandırmaktadır.

2. Ekonomik Analiz Modeli

Önceki çalışmamızda [9] birçok arıza türü içeren bir sistemde hangi arızaların ne tür bir strateji (düzeltmeli, periyodik bakım veya koşul bazlı bakım) ile bakım-tamir işlemi gerçekleştirmesi gerektiğini toplam maliyeti minimize ederek belirledik.

Düzeltme Bakımı (tamir) (Corrective Maintenance)

Düzeltme bakımı (DB) arıza oluşmadan yapılan bir bakım olmadığından bakım maliyeti içermez, sadece tamir maliyetini içerir. Fakat tamir bakımdan çok daha maliyetli olduğundan bu strateji kritik olmayan, tamir maliyeti yüksek olmayan, arızası önemli zararlar yol açmayan bileşenler için kullanılır. DB maliyeti beklenen arıza sayısı ile herbir arıza maliyetinin çarpılmasıyla elde edilir.

$$C_{1,j} = E(FM_j \mid M = 0) \times \left(E(D_j) \cdot Cd + E(CD_j) \right) \tag{1}$$

$FC_1 = 0$

$C_{1,j}$ = Arıza j için tamir maliyeti

$E(FM_j \mid M = 0)$: Bakım yapılmadığı durumda arıza j için beklenen arıza sayısı

$E(D_j)$: Arıza j oluştuğunda beklenen atıl kalma zamanı

Cd : Birim zaman atıl kalma maliyeti

$E(CD_j)$: Beklenen tamir maliyeti

Herbir arıza olayının Formül 1'de gösterildiği gibi tamir ve atıl kalma maliyeti bulunmaktadır. Atıl kalma maliyeti sistemin atıl durumda bekletilmesiyle sebep olunan maliyettir ve atıl kalınan zaman ile birim atıl zaman maliyetinin çarpımı şeklinde ifade edilir.

Periyodik Bakım

Periyodik bakım formül 2'te gösterildiği gibi iki terim içerir: tamir ve bakım maliyetleri

$$C_{2,j} = MaC_j + FaC_j \tag{2}$$

$FC_2 = 0$, PB'da sabit maliyet yok

$C_{2,j}$: Arıza j için periyodik bakım stratejisinin maliyeti

MaC_j : Arıza j için bakım maliyeti

FaC_j : Arıza j için tamir maliyeti

Bakım maliyeti verilen zaman aralığında yapılan bakım sayısı ve herbir bakım maliyetinin çarpımıdır. Herbir bakım maliyeti de formül 3'da gösterildiği gibi bakım masrafı ve atıl durumda olma maliyeti toplamıdır.

$$MaC_j = Nm_j \times \left(E(PD_j) \cdot Cd + \sum_{k=1}^{y} \left(P(PA_{j,k}) \cdot CPA_{j,k} \right) \right) \tag{3}$$

$P(PA_{j,k})$ = Bakım j için işlem k'nın yapılma olasılığı

$CPA_{j,k}$: Periyodik bakımda işlem *k* nın maliyeti

Nm_j : Arıza j için verilen zaman aralığında yapılan bakım sayısı

$E(PD_j)$ *:* Arıza j için yapılan bakımın beklenen süresi

Tamir maliyeti formül 4'de gösterildiği gibi herbir tamirin maliyeti ve beklenen arıza sayısının çarpımıdır. Periyodik bakımda sisteme belli periyodlarda bakım yapıldığı için, oluşacak olan arıza sayısı yapılan bakım sayısıyla doğrudan ilişkilidir.

$$FaC_j = E\left(FM_j \mid M = Nm\right) \times \left(E(D_j) \cdot Cd + E(CD_j) \right) \tag{4}$$

$E(FM_j \mid M = Nm)$: Verilen zaman aralığında arıza j için $N \times m$ tane bakım yapıldığında beklenen arıza sayısı

Koşul Bazlı Bakım

PB ve DB'dan farklı olarak KBB stratejisi yatırım ve işletme maliyeti gerektirmektedir. KBB sistemi henüz geliştirilme aşamasında olduğundan, arıza tespiti ve öngörülmesi için çeşitli sinyallerin gözlemlenmesi ve analiz edilmesi için çeşitli sensör, model, diğer donanım, ve yazılım gerektirdiğinden bir yatırım maliyeti bulunmaktadır. Ayrıca personelin eğitilmesi, sistemin kurulması, test edilmesi yatırım maliyeti içerisinde düşünülmelidir. KBB sisteminin çalışır vaziyette tutulması da bir işletme maliyeti gerektirir.
Bahsedilen yatırım ve işletim maliyeti formül 5 ve 6'da gösterildiği gibi sabit ve arızaya bağlı olmak üzere iki kısımdan oluşur. İlk terim en az bir arıza için yapılacak olan sabit, birden fazla arıza için uygulansada değişmeyecek olan yatırım veya işletme maliyetidir. İkince terim ise KBB uygulanacak herbir arıza için oluşacak olan işletme ve yatırım maliyetidir.

$$InvC = FInvC + \sum_{j=1}^{N} \left(X_{3,j} \times IC_j \right) \tag{5}$$

$InvC$: Yatırım maliyeti

$FInvC$: Sabit yatırım maliyeti

IC_j : arıza j için yatırım maliyeti

$X_{3,j}$=1 eğer arıza j KBB uygulanırsa

$$OC = FOC + \sum_{j=1}^{N} \left(X_{3,j} \times OC_j \right) \tag{6}$$

OC : İşletme maliyeti

FOC : Sabit işletme maliyeti

OC_j : Arıza j için işletme maliyeti

KBB sistemi arızaları erken teşhis etmeyi amaçlasa da bunu her zaman başaramayacaktır. Arızaları tespit etme oranı geliştirilen sistemin etkinliğini, doğruluğunu (accuracy) göstermektedir. KBB sisteminde tamir maliyeti tespit edilmesi – kaçırılması beklenen arıza sayısı ile tamir maliyetinin çarpılmasıyla elde edilir (Formül 7). Kaçırılması beklenen arıza sayısı da oluşması beklenen toplam arızalar ile arıza tespit sisteminin kaçırma oranının (miss rate) çarpımıyla elde edilir (Formül 8).

$$FaC_j = E(N_{ss_j}) \times \left(E(D_j) \times Cd + E\left(CD_j\right) \right) \tag{7}$$

$E(N_{ss_j})$: Kaçırılması beklenen arıza *j* sayısı

$$E(N_{ss_j}) = (1 - \psi_j) \times E(FM_j \mid Nm = 0) \tag{8}$$

ψ_j : Arıza j için tespit etme oranı

KBB sisteminde arıza alarmı verildiğinde sistem incelemeye alınır ve gerektiğinde tamir bakım işlemi gerçekleştirilir. KBB tarafından verilen alarm doğru veya yanlış olabilir. Yani verilen bir alarm ya var olan arızayı doğru şekilde tespit etmiştir veya sistemde bir arıza yoktur fakat KBB yanlış alarm vermektedir. Dolayısıyla KBB bakım maliyetinde yanlış alarmlar da formül 9'te olduğu gibi düşünülmelidir.

$$MaC_j = TrM_j + FaM_j \tag{9}$$

TrM_j : Arıza j için doğru alarm ile yapılan inceleme ve bakım

FaM_j : Arıza j için yanlış alarm ile yapılan inceleme ve bakım

Tespit edilen arızalar için yapılan bakım-onarım maliyeti KBB sistemi tarafından tespit edilen arıza sayısı ile bakım maliyetinin çarpımına eşittir. Bu bakım maliyeti de Formül 10'te gösterildiği gibi atıl durma maliyeti ile gerçek bakım maliyetinin toplamıdır. Bahsedilen bu inceleme ve bakım maliyeti periyodik bakım maliyetinden daha düşüktür, çünkü arıza ile ilgili çeşitli bilgiler elde edilmiş, ya tam olarak yapılması gereken belirlenmiş veya birkaç alternatif belirlenmiştir. Ayrıca aynı sebepten dolayı bakım süresi daha kısa olması beklenir.

$$TrM_j = E\left(N_{a_j}\right)\left(E(CmD_j) \cdot Cd + \sum_{k=1}^{y} \left(BA_{j,k} \times CBA_{j,k} \right) \right) \tag{10}$$

$E(CmD_j)$: Arıza j bakımı için beklenen atıl zaman

$E(N_{a_j})$: Arıza j için beklenen doğru tespit edilmiş arıza sayısı

$BA_{j,k}$: KBB'de bakımda işlem k'ni gerçekleştirme olasılığı

$CBA_{j,k}$: Bakımda işlem k'nın maliyeti

Doğru tespit edilmiş arıza sayısı ($E(N_{a_j})$) kullanılan KBB modelinin doğruluk oranı ile verilen zaman diliminde oluşması beklenen arıza sayısı ile çapımıyla elde edilir (formül 11).

$$E(N_{a_j}) = \psi_j \times E(FM_j \mid Nm = 0) \tag{11}$$

Yanlış alarm verildiğinde gerçekten bir arıza olmadığı için genelde bir bakım – onarım işlemi gerçekleştirilmez fakat bir inceleme yapılır. Yapılan alarmın yanlış olduğunu anlamak için yapılan incelemeler (inspection) da zaman ve maliyet alır. Bu ise yapılan incelemenin maliyeti ve sebep olduğu atıl kalma maliyetidir. Bu maliyet periyodik bakım maliyetinden düşük olabileceği gibi yüksek de olabilir.

Örneğin bazen kolay bir işlemle gerçekten arıza olmadığı anlaşılsa da bazen çok uzun işlemler sonunda anlaşılamayabilir. Formül 12 bu maliyet hesabını göstermektedir.

$$FaM_j = E\left(FN_j\right)\left(E(CfD_j)\cdot Cd + \sum_{k=1}^{y}\left(IA_{j,k}\times CIA_{j,k}\right)\right) \tag{12}$$

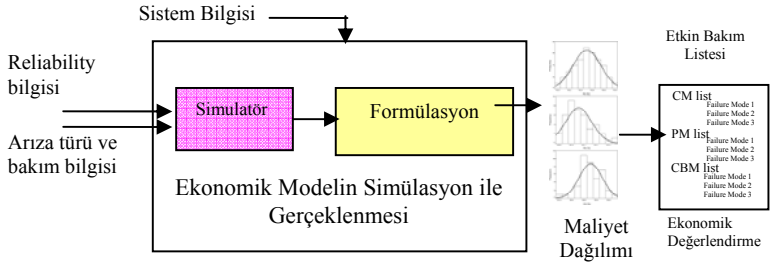
$E(CfD_j)$: Yanlış alarmdan dolayı beklenen atıl kalma süresi

$E(FN_j)$: Beklenen yanlış alarm sayısı

$IA_{j,k}$: İnclemede işlem k nın gerçekleşme olasılığı

$CIA_{j,k}$: İncelemede işlem *k* nın maliyeti

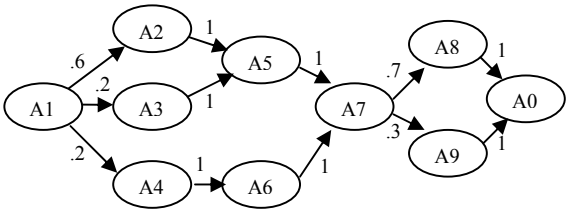
Yukarıda da belirtildiği gibi [9]'da formüllerde parametrelerin ortalama değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada bahsedilen değerler bir istatistiksel dağılım olarak alınacaktır. Bu parametreler için belirlenen istatistiksel dağılımlara bağlı olarak rastgele bir değer oluşturularak bir maliyet elde edilecektir. Bu işlem yüksek sayıda tekrar edilerek, maliyetin istatistiksel dağılımı belirlenmeye çalışılacaktır. Bir arıza için en etkin bakım stratejisi sadece ortalama değerlere bakılarak değil elde edilen istatistiksel dağılıma bağlı olarak belirlenecektir. Uygulanan simülasyon modeli Şekil 1'de verilmiştir..



Şekil 1: Simülasyon Modeli

3. Simülasyon Uygulaması

Kurulan modeli test etmek için savunma sanayisinin önemli bir parçası olan lojistik desteği sağlamada kullanılan demir yollarındaki sistemler seçilmiştir. Demiryolarında bakım, devamlılık ve güveninirlik açısından en önemli bileşenlerden biri makas sistemleridir [10]. Bu sebeple bu çalışmada simulasyon uygulamasında bu sistemler seçilmiştir. Simülasyon uygulamasında izlenen adımlar sırayla şu şekilde sıralanabilir: makas bakım sistemlerinin analizi, analitik bakım modellerinin değerlendirilmesi, sistem modelleme, veri toplama ve analizi, girdi modellenmesi, parametre tahminleri, simülasyon model geliştirilmesi, simülasyonun kodununun doğrulanması, simulasyon modellin doğrulanması, model sonuçlarının elde edilmesi ve bu sonuçların yorumlanması. Veri analizi kısmına kadar ki kısım yukarıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu kısımda simülasyon çalışmasındaki geriye kalan diğer adımlardan bahsedilecektir.



A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A0
1	.6	.2	.2	.8	.2	1	.7	.3	1

Şekil 2: Tamir karar ağacı

Öncelikle makas bakım sisteminde kullanılacak girdilerin bir kısmı T.C. Devlet Demiryoları (TCDD) izni ile yapılan projemiz kapsamında elde edilmiştir. Hususiyetle arıza türleri, arızaların gerçekleşme

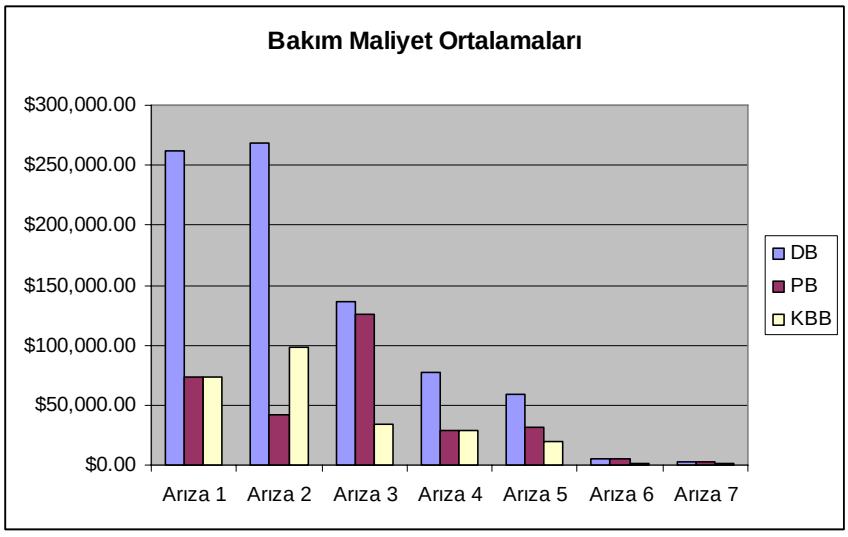
sıklıkları, arızaları giderirken yapılan aksiyonlar ve sayıları, her bir aksiyonun ne kadar sürdüğü, dolayısıyla arızanın ne kadar sürede giderildiği bilgileri ekonomik analizde kullanılacak parametrelerendir. Yukarıda da bahsedildiği gibi bu parametrelerin bir kısmı için veri elde edilse de bir kısmı için yeterli veri toplanamamıştır. Yeterince veri elde edilemeyen parametrelerde simülasyonda modellenmiştir.

Toplanan veriler ışığında makas sistemi yedi tür arıza ile temsil edilebilmiştir. Her bir arızanın görülme sıklığı farklıdır. Önceki çalışmalar [11] göz önünde bulundurulduğunda elektro-mekanik bir sistem olan makasların istatistiksel yaşam dağılımı en iyi Weibull dağılımın ile modellediği görülmüştür. Weibull dağılımın iki tane parametresi olan alfa-şekil parametresi ve beta-skala parametresi istatistiksel yöntemlerle tahmin edilerek her bir arıza türü için sisteme girdi olarak alınmıştır. Yine her bir arızanın tamirinde farklı aksiyonlarla karşılaşılmış ve bu aksiyonlar seri veya alternatifli olabilip, bir aksiyondan sonra farklı aksiyonlarla karşılşılabilinmektedir. Her bir aksiyona ait olasılık elde edilen verilerden çıkarılmıştır. Bu aksiyonlar Şekil 2 de olduğu gibi karar ağaçları ile modellenmiştir. Her bir aksiyonun süreleri exponensiyal dağılımla modellenebileceği görülmüştür.

Verilerden elde edilen istatistiksel modelleri kullanabilecek simülasyon modeli geliştirilmiştir. Ilk veriler sisteme girilerek bir yıllık bakım maliyetleri ile simülasyon modelinin bir yıl için ürettiği sonuç karşılaştırılarak modelin çalıştığı doğrulanmıştır.

Tablo 1: Arızalar için bakım yöntemlerine göre ortalama maliyetler

	DB	PB	KBB
Arıza 1	$261,480.08	**$73,121.46**	$73,034.66
Arıza 2	$268,122.79	**$41,461.03**	$97,756.79
Arıza 3	$135,787.07	$126,214.41	**$33,944.32**
Arıza 4	$77,377.82	**$28,853.58**	$29,301.59
Arıza 5	$58,485.60	$32,062.49	**$19,175.11**
Arıza 6	$5,773.74	$5,010.88	**$1,266.42**
Arıza 7	$2,969.45	$2,768.25	**$1,332.26**



Şekil 3:Ortalama maliyetlerin çubuk grafiği

Model doğrulma aşamasından sonra simülasyon 1000 kez tekrar edilerek ve simülasyon modelinin her bir defasında farklı senaryo üretmesi sağlanmıştır. Her bir senaryoda her arıza türü için üç bakım metodunun maliyeti hesap edilmiştir. 1000 kez tekrardan sonra elde edilen değerlerin ortalması Tablo 1 de ve grafiği Şekil 3 te verilmiştir. Bu tablo ortalama maliyetlere göre bakım stratejilerinin seçilmesinde kullanılabilir. En düşük maliyetli strateji seçilmesi makuldür. Fakat yukarıda bahsedildiği gibi sadece ortalama maliyet her zaman yeterli olmayabilir. Tablo 1'deki değerlere bakıldığında arıza 1 in KBB ve PB

ortalama maliyetlerinin birbirlerine çok yakın olduğu gözlemlenmektedir. Bu noktada varyansı daha az (belirginliği daha fazla) olan bakım yöntemi tercih edilmelidir. Tablo 2 arızaların standart sapmalarını göstermektedir. Bu durumda arıza 1 için KBB bakım yönteminin daha uygun olduğu söylenebilir.

	DB	PB	KBB
Arıza 1	$39,719.54	$10,282.36	**$8,779.19**
Arıza 2	$38,461.70	**$6,097.12**	$11,914.62
Arıza 3	$19,968.13	$18,667.97	**$4,169.14**
Arıza 4	$10,831.69	$4,090.64	**$2,794.88**
Arıza 5	$8,588.01	$4,338.69	**$2,293.85**
Arıza 6	$850.63	$731.55	**$142.33**
Arıza 7	$416.46	$413.20	**$148.86**

Tablo 2: Arızalar için bakım yöntemlerine göre maliyetlerin standart sapması

Arıza 4'te ortalama maliyete bakıldığında KBB maliyetinin PB maliyetinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Fakat elde edilen standart sapmalar değerlendirildiğinde KBB'deki bakım maliyeti belirsizliğinin PB'den daha az olduğu görülmektedir. Maliyet ortalama ve standart sapmasının beraber tek parametrede değerlendirilmesi karar mekanizması açısından daha kolay olacaktır. Bu nedenle bakım maliyet ortalaması ve standart sapması toplamı daha uygun bir kriter olacaktır. Bu yeni kritere göre simülasyondan elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir. Buna göre arıza 4 için KBB yöntemi ortalama maliyeti PB yöntemi ortalama maliyetinden daha fazla olmasına rağmen, standart sapması PB'den oldukça düşük olması sebebiyle yeni kritere göre tercih edilecektir.

Tablo 3: Arızalar için bakım yöntemlerine göre maliyet ortalama ve standart sapması toplamı

	DB	PB	KBB
Arıza 1	$301,199.62	$83,403.83	**$81,813.85**
Arıza 2	$306,584.49	**$47,558.15**	$109,671.41
Arıza 3	$155,755.20	$144,882.38	**$38,113.47**
Arıza 4	$88,209.52	$32,944.21	**$32,096.47**
Arıza 5	$67,073.61	$36,401.19	**$21,468.96**
Arıza 6	$6,624.37	$5,742.44	**$1,408.75**
Arıza 7	$3,385.92	$3,181.46	**$1,481.12**

4. Sonuç

Etkin bakım onarım stratejisi elektromekanik sistemler için hazır olma durumunun arttırılması ve maliyetinin azaltılması için büyük önem arzetmektedir. Etkin bakım onarım stratejisinin geliştirilmesi için de mevcut sistemin çeşitli arıza ve maliyet parametrelerinin analizi gerekmektedir. Çalışmalarımızda bu parametrelerin stokastik olduğu ve bir kısmının elde edilmesinin zor olduğu görülmüştür. Bu makale stokastik olan parametreleri simüle ederek arızalar için bakım stratejilerinin maliyetleri stokastik olarak elde edilmiştir.. Dolayısıyla sadece etkin bakım stratejisi, sadece ortalama değere bakılarak değil aynı zamanda elde edilen istatistiksel dağılım bilgilerine bakılarak da yapılabilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, TUBİTAK tarafından 108M275 proje numarası ile desteklenmiştir

REFERANSLAR:

[1] DoD Maintenance Policy, Programs & Resources FACT BOOK, 2000

[2] Baruah, P. Chinnam, R. B. HMMs for diagnostics and prognostics in machining processes, International Journal of Production Research, 2005, 43(6), 1275-1293

[3] Harbor Research Pervasive Internet Report, “Approaching Zero Downtime: The Center for Intelligent Maintenance Systems” April 2003

[4] G. Allenby, Condition Based Maintenance, Proceedings of CODADEM 90, The 2nd International Congress on Condition Monitoring and Diagnosis Engineering Management (1990) 155-162

[5] Camci F., "Process monitoring, diagnostics and prognostics using support vector machines and hidden Markov models", Graduate school of Wayne State University, Detroit, Michigan Apr. 2005, pp. (2005)

[6] Andrew K.S. Jardine, Daming Lin, Dragan Banjevic, A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance Mechanical Systems and Signal Processing 20 (2006) 1483–1510

[7] D. E. Dimla Jr, P. M. Lister and N. J. Leighton, Neural Network Solutions To The Tool Condition Monitoring Problem In Metal Cutting--A Critical Review of Methods, Int. J Mach. Tools Manufact. Vol. 37. No. 9. pp. 1219--1241. 1997

[8] Dragan Djurdjanovica, Jay Leeb, Jun Ni, Watchdog Agent—an infotronics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction Advanced Engineering Informatics 17 (2003) 109–125

[9] A. Berdinyazov, F. Camci, “Economic Analysis of Maintenance Policies for a System”, IEEE Symposium for Electrical Machines, Power Electronics & Drives 2009 (SDEMPED-2009), 31 Agustos – 3 Eylül 2009, Cargese, France

[10] Marquez F. P. G., Schmid F., Collado J. C., A Relibility centered approach to remote condition monitoring: A railway points case study, Reliability and System Safety, 80, (2003), 33-40

[11] F. Camci, “System Maintenance Scheduling with Prognostics Information Using Genetic Algorithm”, IEEE Transactions on Reliability, in press

Oyun Tabanlı Eğitim için Gelişmiş Tasarım ve Görselleme Sistemi*

A. Tanju Erdem, Bora Utku, Tolga Abacı, Çiğdem Eroğlu Erdem

Momentum A.Ş.
TÜBİTAK MAM TEKSEB A-205, Gebze, Kocaeli 41470, Türkiye
{terdem, butku, tabaci, cigdem.erdem}@momentum-dmt.com

Özetçe

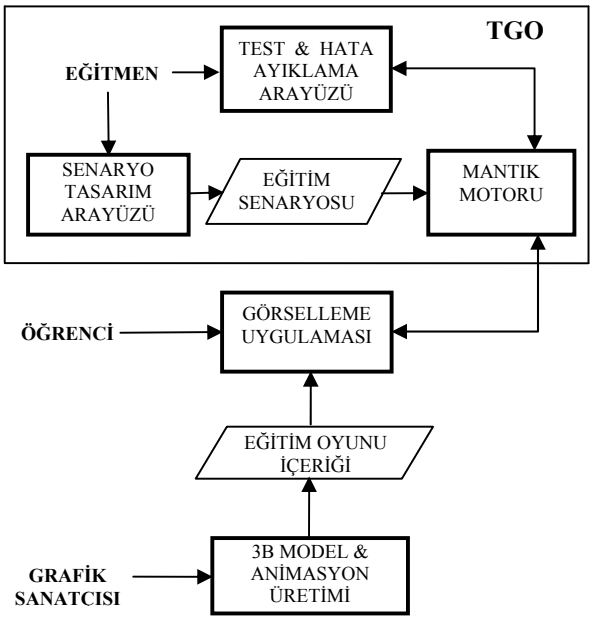
Bu makalede, eğitim amaçlı oyunlar üretmek ve canlandırmak için kapsamlı bir tasarım ve görselleme sistemi sunuyoruz. Bu sistem sayesinde, senaryo tabanlı 3-boyutlu (3B) eğitim oyunlarının verimli ve etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır. Bu sistemi oluşturmak için bir çok gelişmiş yeni yazılım geliştirdik: Eğitim senaryoları hazırlanmasını ve test edilmesini sağlayan görsel arayüzler, gerçeğe yakın 3B modelleme ve canlandırma yapmak için gerçek-zamanlı çalışan bir grafik yazılım kütüphanesi, ve oyundaki karakterlerin yüz animasyonu bilgilerini konuşma kayıtlarından otomatik olarak üretebilen algoritmalar. Senaryo üretim arayüzü, içinde karmaşık konu ve mantık akışlarını barındıran senaryoların kolaylıkla hazırlanmasını sağlamaktadır. 3B modelleme ve canlandırma araçları "ekranda-ne-görürsen-onu-alırsın" özelliğine sahip bir model üretme ortamı sağlarlar ve 3B ortam ve karakter modeli üretme süresini hızlandırırlar. Ses tabanlı yüz animasyonu araçları ise otomatik olarak dudak ve ifade animasyonu üretilmesini sağlarlar.

1. GİRİŞ

Günümüzün karmaşık küresel çatışma ortamında, asker veya komutanların gerekli seviyede eğitim almamalarının vahim sonuçlar doğurabileceği gerçeği ortadadır. Canlı askeri tatbikat ve eğitimlere alternatif olarak bilgisayar oyunu tabanlı eğitim çözümlerinin daha etkili ve düşük maliyetli oldukları ortaya çıkmıştır [1,2]. Oyun tabanlı yaklaşımlar dahilinde ağlarla birleştirilmiş 3B simülatörlerin sunduğu "sanal simülasyon eğitimleri" ve senaryo tabanlı geniş kapsamlı çarpışmaların modellendiği "yapıcı simülasyon eğitimleri" sayılabilir [3].

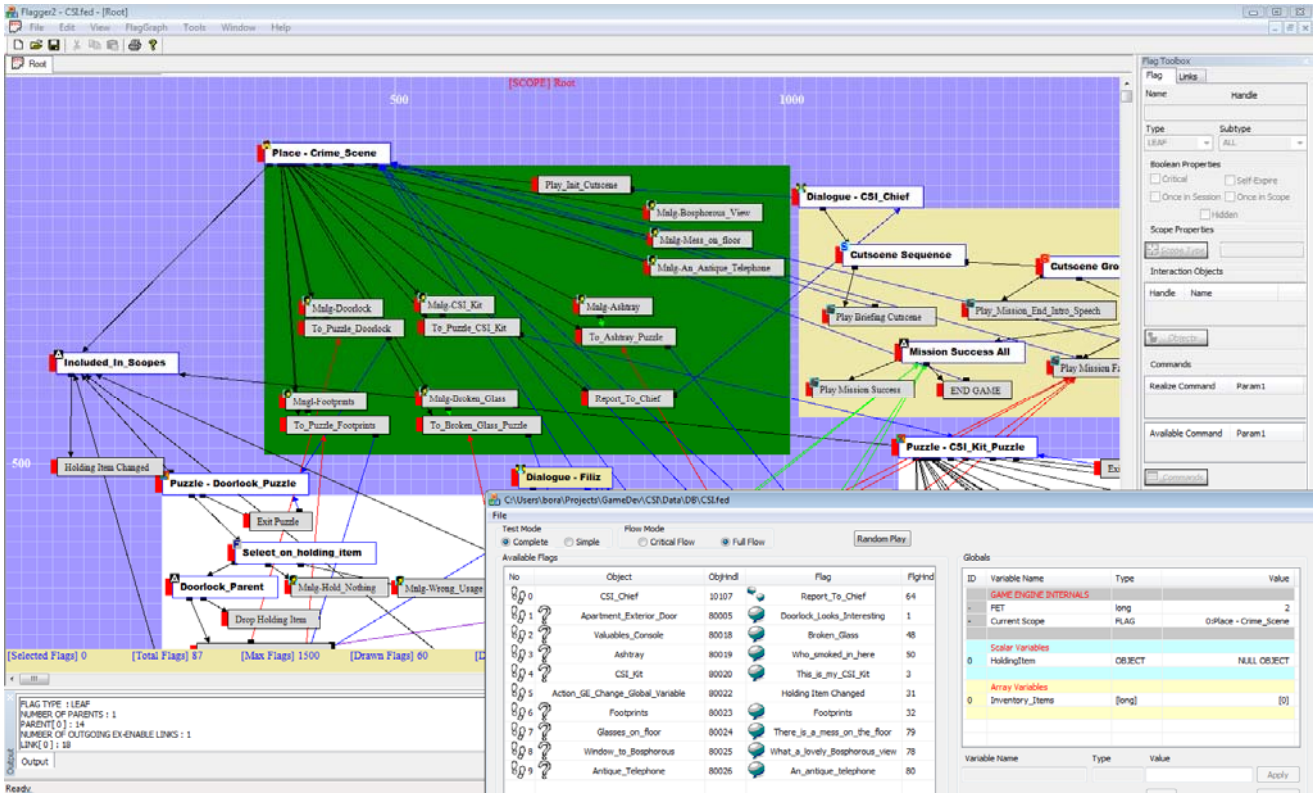
Bu makalede, senaryo tabanlı 3 boyutlu (3B) eğitim oyunları yaratılmasını sağlayan eksiksiz bir sistem sunuyoruz. Bu sistemin önemli bir bileşeni senaryo tabanlı oyum üretimine yönelik bir Tümleşik Geliştirme Ortamı'dır (TGO). Sistem ayrıca bir gerçek zamanlı görselleştirme modülü, ve ses kayıtlarından otomatik olarak yüz animasyonu üretebilen bir animasyon modülünü barındırır. Sistem, ya bir bütün olarak kullanılabilir, yada istenirse parçalarının bir kısmı başka bir sisteme dahil edilebilir. Şekil 1, oyun tabanlı eğitim sistemimizin genel yapısını göstermektedir.

TGO mimarisine bir sonraki bölümde detaylı olarak değiniyoruz. Gerçek zamanlı görselleştirme çalışmalarımızı 3. bölümde anlatıyoruz. 4. bölümde, ses tabanlı yüz animasyonu üretilmesine dair geliştirdiğimiz yeni metodları açıklıyoruz. Sonuç bölümünde bu yeni sistemin potansiyel faydalarını ve kullanım alanlarını özetliyoruz.



Şekil 1. Oyun-tabanlı Eğitim Sistemi

*Bu çalışma, TEYDEB 3050135 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından kısmen desteklenmiştir.



Şekil 2. Senaryo Üretme Arayüzü

2. SENARYO TASARIMI

Senaryo tabanlı oyun üretimine yönelik bir TGO hazırlanmıştır. Genelde TGO'lar yazılım geliştirme amacıyla kullanılırlar ve üç temel birimden oluşurlar: Kaynak kod editörü, derleyici, ve hata ayıklayıcı [4]. Bir TGO ile doğrusal olmayan bilgisayar görevleri iş akışları tasarlanabilir [5]. Ayrıca bir TGO ile tamamen grafiksel elemanlar kulluanılarak yazılım kaynak kodları üretilebilir [6]. Bu makalede önerilen Senaryo Üretim TGO'su da grafiksel tabanlı olup programlama bilgisi olmayan kullanıcıların senaryo üretebilmesini sağlayabilmektedir. Burada önerilen TGO, birbirleriyle bütünleşik çalışan üç alt modülden oluşmuştur: Görsel Programlama Dili (GPD) ve ona ait mantık motoru, grafiksel senaryo üretme arabirimi, ve senaryo test ve hata ayıklama modulü.

2.1. Mantık Motoru Tabanlı Görsel Programlama

Bir GPD bilgisayar programlarının metin olarak değil de grafiksel elemanlar kullanılarak oluşturulmasını sağlar ve böylece normalden daha üst bir kavramsal seviyede programlama yapılmasına izin verir. Bir GPD öncelikle grafiksel sembollerden ve bunlara ait metin açıklamalarından oluşur. Bu sembolleri oluşturan kutular, çizgiler, okların çiziminde kullanılan renkler ve stillere de mantıksal anlamlar verilebilir. GPD kavramı daha çok veri akışı programlama yöntemlerine benzetilebilir [7]. Son zamanlarda ön plana çıkmış bir GPD olarak Microsoft firmasının geliştirdiği Microsoft Visual Programming Language (MVPL) dili örnek verilebilir. Bu görsel dil, robot kontrol ve simulasyonuna yönelik geliştirilmiş Microsoft Robotics Studio ortamında kullanılır [8].

Bizim geliştirdiğimiz GPD ise doğrusal olmayan hikaye akışları ve senaryolar hazırlanmasına olanak verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu GPD için geliştirilen derleyici, bir mantık motorunun özelliklerine sahiptir. Doğrusal olmayan hikaye akışı, bir mantık akış grafiği olarak modellenmiştir. Bu grafiği oluşturan düğümler mantık deyimlerini, düğümler arasındaki bağlar da mantık akış tiplerini ve yönlerini gösterir. Hikaye akışını oluşturmaya yönelik her bir temel kavram için bir düğüm tipi ve bunun sembolü tanımlanmıştır. Düğümler arasında döngüler kurulması, düğümlerin birbirlerini aktif veya kapalı durumu getirmesi, raslantısal düğüm seçimleri yapılabilmesi, ve her aktif düğüm için program komutlarının çağırılabilmesi mümkündür. Bu grafiksel elemanları kullanarak, programlama eğitimi olmasa bile herhangi bir kullanıcı bir oyun senaryosunu kurgulayabilmektedir. Senaryo grafiği

istenildiği anda PC uygulamaları içinde çalıştırılabilecek formata dönüştürülebilir..

2.2. Senaryo Üretme Aracı

Senaryo Üretme Aracı'nın Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GKA) sayesinde programlama eğitimi almamış kullanıcılar da GPD programları üretebilmektedir. "Grafiksel Kaynak Kod Editörü" olan bu araç Şekil 2'de görüldüğü gibi GPD programlarının sadece çizim komutları ile oluşturulmasını sağlar. Bu arayüzün sağladığı temel işlevler, program tarama, arama, kayıt ve doğrulamadır. Kullanıcının ürettiği tüm bilgiler arka planda bir veri tabanı sistemine girilir ve veri güvenliği ve doğruluğu bu şekilde sağlanmış olur. Herhangi bir anda kullanıcı görsel olarak tasarladığı programını Test ve Hata Ayıklama aracına gönderebilir.

2.3. Test ve Hata Ayıklama Aracı

Bu GKA aracı, Senaryo Üretme Aracı kullanılarak hazırlanan tamamlanmış veya bitirilmemiş tüm GPD programlarını test edebilir. Metin tabanlı geliştirilen programlama dillerinde, insan dikkatsizliğine dayanan birçok hata ortaya çıkabilir. Bu nedenle metin tabanlı programlar test edilirken düşük seviyeli birçok hatanın ortaya çıkması beklenir. Bu hataların ayıklanması uzun ve zahmetli bir iş olabilir. Bizim GPD yapımız ve araçlarımız ise bu tür düşük seviyeli hataların ortaya çıkmasına izin vermez. Bu sayede hata ayıklama süreci daha verimli olarak sadece mantıksal hatalara yoğunlaştırılabilir. Normal hata ayıklıyıcılarda olduğu gibi bizim aracımızda programın adım adım işletilmesini ve her an program hafızasındaki tüm verilerin izlenebilmesini sağlar. Bu süreçte bulunması amaçlanan mantık hataları daha çok senaryonun ilerleyen aşamalarında "çıkmaz sokak" tabir edilebilecek çözümsüz akış noktalarının bulunmasıdır. Eğer program tasarımında böyle noktalar var ise, senaryo tamamlanamadan program çalışması yarıda kesilebilir. Bunu engellemek için bu araç otomatik olarak senaryoları hızlı ve raslantısal biçimde çalıştırabilir. Böylelikle aynı senaryo kısa sürede yüzlerce farklı yönden işletilir ve olası çıkmaz noktalar tespit edilebilir. Test uygulaması, görsel programın sadece belli kesimleri üzerinde çalıştırılabilir. Böylelikle çok büyük kapsamlı programlar küçük parçalar halinde test edilebilir.

3. GERÇEK ZAMANLI GÖRSELLEME

Geliştirdiğimiz GPU-bazlı gerçek-zamanlı görselleme motoru, kuşatımlı, gerçekçi 3B sanal ortamların verimli bir şekilde görsellenmesini sağlamaktadır. Görselleme motoru içerik yaratımını kolaylaştırmak için Autodesk Maya™ yazılımına, bağımsız gerçek zamanlı görselleme için ise OGRE çatısı ile eklenti olarak tümleştirilmiştir.

3.1. Görselleme Motoru

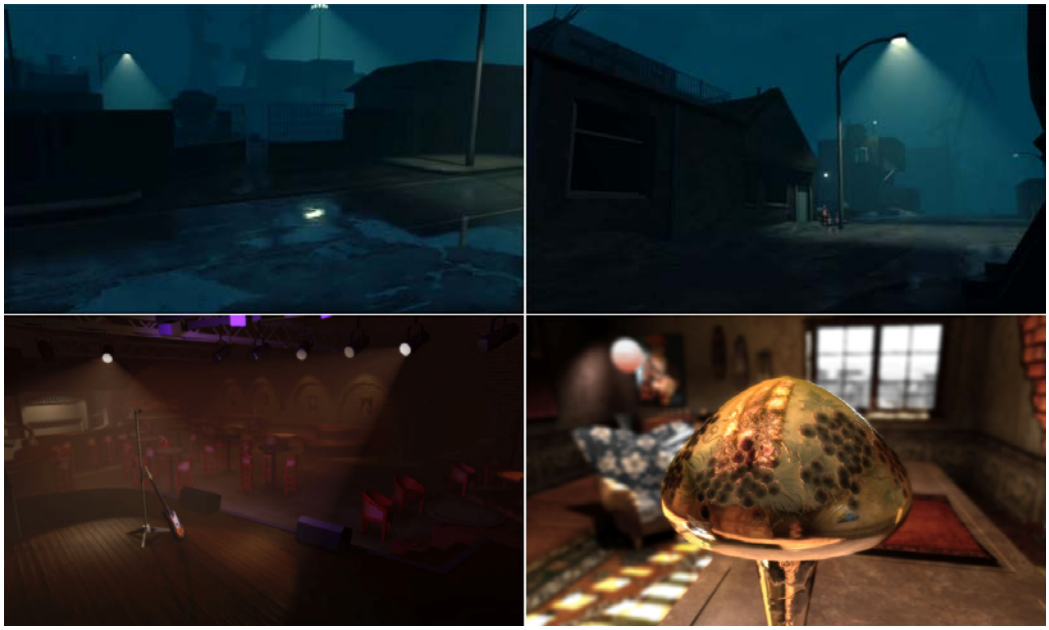
Görselleme motoru DirectX 10 tabanlıdır. Bu *API* seçiminin başlıca sebebi yeni nesil donanımlar ile sunulan yeni özelliklerin derli toplu ve temiz bir şekilde desteklenmesidir. Ayrıca, OpenGL'e kıyasla daha kaliteli sürücü ve hata bulma desteğinin de bu seçimde rol oynadığı söylenebilir.

Pek çok modern GPU-bazlı gerçek zamanlı görselleme motorunun aksine, performans için görselleme kalitesinden ödün vermekten kaçınılmıştır. Fakat, bu yüksek performanslı, gerçek zamanlı çalışma özelliğinden vaçgeçildiği anlamına da gelmemektedir. Sıklıkla kullanılan Blinn-Phong modeli haricinde, motora pek çok materyal modeli de eklenmiştir. Bunlar arasında *parallax occlusion mapping* [4], saç ve ileri düzey yüzey-altı dağıtım etkili deri [10] bulunmaktadır. Motor, her objenin bir veya birden fazla noktasal ve yönlü ışıktan etkilenmesine izin vermektedir. Ayrıca, genellikle modern oyun motorlarında görülenden daha yüksek kalitede gerçek zamanlı gölge görselleme [12,13] hayata geçirilmiştir. Gölge haritalama tekniğimiz, gölge haritalarının etkin çözünürlüğünü hatırı sayılır miktarda arttıran bir algoritma kullanmaktadır. Geliştirdiğimiz bu algoritma sayesinde gölge haritası örtüşmesi (*aliasing*) yüzünden kaynaklanan "tırtıkların" gözle görülür şekilde azalması sağlanmıştır. Bunun ötesinde, görsellenen gölgelere ekran uzayında filtre uygulanması sayesinde, geri kalan örtüşme problemlerinin de görsel kalite üzerindeki olumsuz etkisi bertaraf edilmiştir. Gerçek zamanlı, gölgeli ışık hüzmesi etkileri de görsellenebilmektedir. Bunlara ek olarak, temel dolaylı ışıklandırma etkileri için de parlak ortam yansımalarını yaklaşık olarak görsellemeye imkan veren küp ya da çift paraboloid haritaları [12] tekniği kullanılmaktadır.

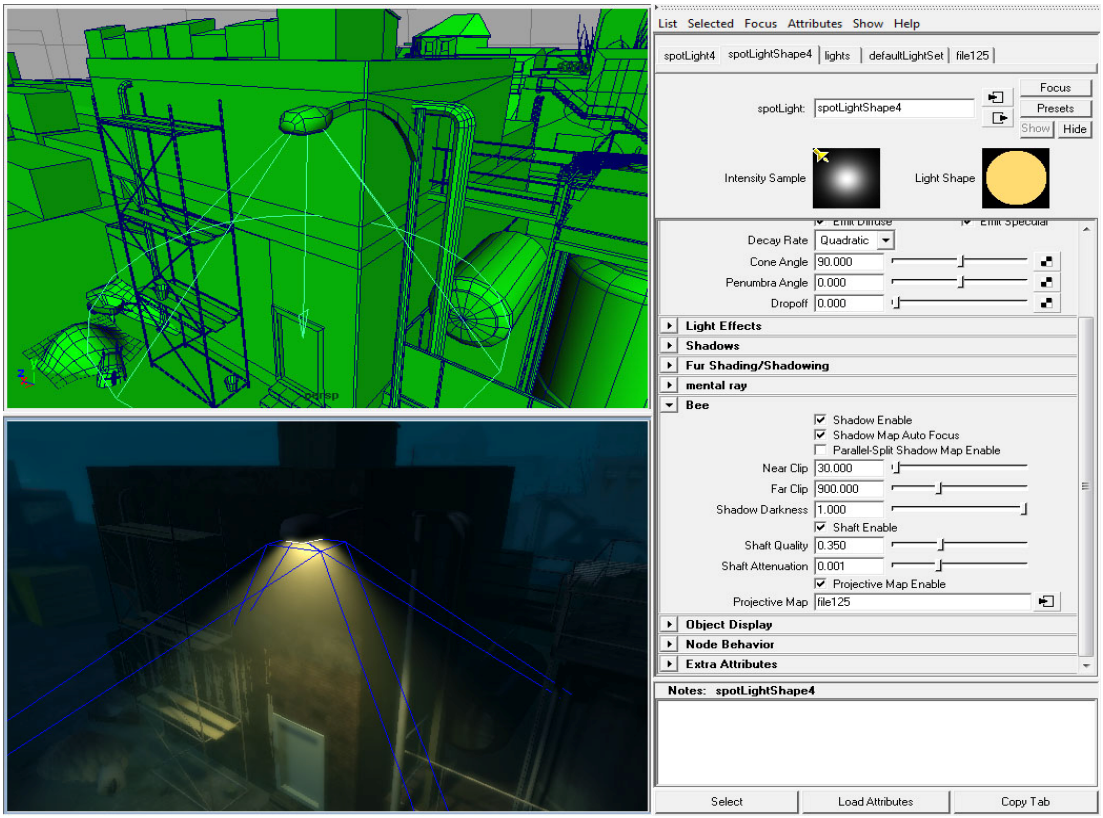
Örtüşme önlemeli Yüksek Dinamik Erim görselleme [16] ve kamaşma ve alan derinliği [17] özelliklerini de içeren pek çok son işleme etkisi de motor tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, sis ve yağmur [18] gibi atmosfer olayları da görsellenebilmektedir. Bunların haricinde motorun sahip olduğu bazı gelişmiş teknik özellikler şunlardır: Gerçek-zamanlı yansıma etkileri (aynalar), GPU-hızlandırmalı deri deformasyonu ve başkalaşım-şekli animasyonu, ve saydam yüzeyler. Geliştirdiğimiz bu motor ile görsellenmiş bazı sahneler Şekil 3'te görülebilir.

3.2. Bee™ ile İçerik Üretimi

3B sanal ortamlar için içerik üretimi Autodesk Maya™ [19] ya da 3D Studio MAX [20] gibi endüstri standardı yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu araçlar sanatçıların model ve animasyon üretmesini sağlayan ileri düzey özellikler sunmaktadır. Fakat, bu özellikler arasında içerik üretiminin gerçek zamanlı tarama (*shading*) yönünü destekleyen araçlara yeterince önem verilmemektedir.



Şekil 3. Geliştirdiğimiz görselleme motoru ile elde edilmiş örnek görüntüler



Şekil 4. Bee™ eklentisinin çalışması

Sanatçılar, ürettikleri taramalı modellerin sanal ortamda nasıl görüneceğini anlamak için önizleme fonksiyonlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Modelleme ve animasyon araçları bir modelin verilen bir tarayıcı (*shader*) uygulandığında nasıl görüneceğini bazı donanımsal tarayıcı özellikleri sayesinde gösterebilseler de, bu çoğu zaman yetersizdir. Çünkü modelin görünümü sadece uygulanan tarayıcıya değil, aynı zamanda uygulanan pek çok son işlem ya da izdüşümsel dokular ya da gölgeler gibi diğer tam sahne etkilerine bağlı olarak değişmektedir. Var olan bazı ticari oyun motorları [21,22] bu sorunun üstesinden gelebilmek için içerik üretim hattı içerisine kendi "editor" araçlarını yerleştirmektedirler. Bu çözüm ile, once modeller üretilmeli, daha sonra önizleme yapılabilmesi ve tarayıcı parametrelerinin ayarlanabilmesi için "editor" içerisine taşınmalıdır. Bizce, burada oluşan ayırım verimliliği düşürmekte ve sanatçı açısından iş akışını bozmaktadır.

Bahsedilen problemler için bizim önerdiğimiz çözüm, gerçek zamanlı görselleme motorunun modelleme araçları ile tümleştirilmesidir. Bu kavramın bir kanıtı olarak, Autodesk Maya™ için Bee™ adını verdiğimiz bir eklenti yaratılmıştır. Bu eklenti görselleme motorumuzu bir *custom viewport renderer* olarak entegre etmektedir. Bee™, sanatçıların tarayıcı parametreleri ve dokularda yaptıkları değişikliklerin etkilerini anında görmelerini sağlamaktadır. İleri düzey yüksek dinamik erim, gerçek zamanlı ışıklandırma ve gölgelendirme etkilerinin gözlemlenebilmesi Bee™ ile mümkün olmaktadır. Var olan sahneler Bee™ ile gerçek zamanlı görselleme için kolaylıkla dönüştürülebilmektedir. Bee™'nin çalışması Şekil 4'te görülebilir.

3.3. OGRE ile Gerçek-Zamanlı Görüntü Üretimi

Oyun tabanlı eğitim sistemimizin son kullanıcısı olan öğrenciler, gerçek zamanlı bir bağımsız uygulama kullanırlar. Farklı ihtiyaçlara cevap verebilecek esneklikte bir sistem oluşturmanın bir gereği olarak, son kullanıcı uygulamaları modüler bir altyapı ile geliştirilmelidir. Bunun yanısıra farklı donanımları destekleyebilmek için uygulama geliştirmede kullanılan yazılım kütüphanelerinin çok platform desteği bulunmalıdır. Bu hedefleri karşılamak için eğitim sisteminin görselleştirme araçları için OGRE açık kaynak kodlu grafik motoru kütüphanesi kullanılmıştır [23]. OGRE motoru ve ekleri sayesinde girdi yönetimi, sahne yönetimi, ses yönetimi, fiziksel etkileşimler, yapay zeka hesapları, kayıt ve dosya kaynak yönetimi gibi işlevler, aynı kaynak kod ile farklı platfromlar için değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Eğitim sistemi için OGRE motoruna bazı yeni özellikler eklenmiştir. Bu sayede Bee™ motoru ile OGRE motoru tamamen aynı görüntü efektlerini üretebilir hale getirilmiştir. Bunun sonucu olarak modelleme araçları ve son kullanıcı uygulamaları arasına görselleştirme farkı kalmamıştır. Mantık motoru aracımız da son kullanıcı uygulaması ile sorunsuz şekilde bütünleşmiştir. Ayrıca bu uygulama TCP/IP tabanlı bir ağ arayüz modülü ve yöngüdüm altsistemi ile birlikte çalışabilmektedir.

4. KONUŞMA SİNYALİNDEN OTOMATİK YÜZ CANLANDIRMA

Eğitim simülasyonlarının önemli bir parçası olan insan-bilgisayar etkileşimini etkin ve gerçekçi olarak sağlamak için üç boyutlu avatarlar gereklidir. Yakın geçmişte, bir insanın 3B baş ve yüz modelini, o kişinin fotoğraflarını kullanarak oldukça gerçekçi bir biçimde üreten yöntemler geliştirilmiştir [24]. Bu yöntemler, bilgisayar macera oyunları, mobil iletişim, ve e-eğitim gibi uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır [25]. Üç boyutlu avatarların, verilen konuşma sesi ile eşzamanlı ve doğal görünen dudak animasyonları, gerçekçilik açısından çok önemlidir.

Bölüm 4.1'de Saklı Markov Modeller (SMM) kullanarak dudak eşzamanlaması yapan bir yöntem sunuyoruz. Bölüm 4.2'de ise sadece konuşma sinyalini kullanarak yüz ifadesini canlandırmak için, bir yöntem öneriyoruz.

4.1. Dudak Eşzamanlaması

Bilgisayarla insan yüzü canlandırmada, doğal görünümlü dudak hareketlerinin üretilmesi çok önemli, fakat zor bir problemdir. İnsanlar yüz hareketlerindeki küçük kusurlara karşı oldukça hassastırlar. Bu yüzden, dudak hareketlerinin konuşma ile eşzamanlı ve mümkün olduğu kadar gerçekçi görünecek şekilde modellenmesi ve üretilmesi gereklidir.

Bu kısımda, önceden kaydedilmiş konuşma sinyalinden otomatik olarak vizem dizilimlerinin elde edilmesi problemi ele alınmaktadır. Fonem, konuşmanın temel akustik birimidir. Vizem ise, bir foneme karşılık gelen dudak şeklidir, yani, görsel fonem de denebilir. Bu çalışmada, Amerikan İngilizcesi için 46 fonem tanımlayan TIMIT konuşma veritabanını kullandık [32]. Fonemleri tek başına, komşu fonemleri dikkate almadan 46 farklı sınıfa gruplamaya çalışmak, genellikle hatalara sebep olur. Aslında dudak animasyonu için, konuşmayı oluşturan fonemleri kesin olarak doğru tanımak çok da önemli değildir. Görsel unsurları, yani vizemleri doğru tanımak yeterlidir. Bu yüzden, akustik birimleri 16 vizem sınıfına gruplandırarak (sınıf sayısını azaltarak) [31], fonem-temelli metodlardan daha iyi vizem tanıma oranları elde etmeyi amaçladık. Bazı fonem sınıflarına ait örnek vizemler Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu vizemler, eşzamanlama animasyonu sırasında uygun şekilde aradeğerlenir .

Dudak eşzamanlamasında kullanılacak vizem dizilerini üretmek için, SMM'e dayalı bir yöntem kullandık. Bu yöntem klasik SMM yaklaşımlarındaki gibi fonem değil, üçlü-vizem temelli akustik birimleri kullanmaktadır. Üçlü-

vizem, komşuluğa-bağlı bir birimdir: sağ ve sol komşusuyla vizem bir üçlü-vizemi oluşturur.

SMM'lerin güdümlü eğitiminde etiketlenmiş TIMIT konuşma veritabanı kullandık. Deney sonuçlarında, üçlü-vizem temelli SMM metodunun (%79) fonem tabanlı yöntemlerden daha yüksek tanıma oranlarına eriştiğini gördük.



Şekil 5. Bazı fonem sınıflarına ait örnek vizemler. Vizem 2, (ay, ah) fonemlerini; vizem 3 (ey, eh, ae) fonemlerini ve vizem 4 ise (er) fonemini temsil etmektedir.

4.2. Yüz İfadesinin Canlandırılması

Konuşma bilgisinden duygu tanıma, üzerinde oldukça çalışılmış olmasına rağmen, hala çözümlenmemiş bir problemdir [26,27,29]. Bu kısımda duygu bilgisini taşıyan konuşma parametreleri ve yüz ifadeleri arasında bir ilinti modeli oluşturup, üç boyutlu (3B) yüz ifadesi animasyonunu, konuşma bilgisinden otomatik olarak gerçekleştiren bir yöntem öneriyoruz. Yöntemimiz, iki kısımdan oluşmaktadır: sınıflandırıcı eğitimi ve yüz ifadesi canlandırması. Duygu yüklü konuşma sinyali, sistemimizin tek girdisidir.

Sistemimizin sınıflandırıcı eğitimi aşamasında, öncelikle duygu yüklü konuşma veritabanından kısa-süreli akustik öznitelikler özümlenmektedir. Konuşmanın sese ait özniteliklerini tarif etmek için, hem spektral hem de bürün özniteliklerini kullandık. Kullandığımız spektral öznitelikler: Mel frekans kepstral katsayıları (MFKK), ve bunların dinamik öznitelikleri, yani birinci ve ikinci türevleridir. Kullandığımız bir diğer spektral öznitelik ise, Itakura [8] tarafından önerilen DSF katsayılarıdır. DSF öznitelikleri, biçimlendirici (formant) frekansları ile yakından ilintilidir. Spektral özniteliklerinin, farklı duygularda değişen konuşma tayflarını modellemesini bekliyoruz. Kullandığımız bürün öznitelikleri ise perde (pitch), perdenin birinci türevi ve enerjiden oluşmaktadır. Konuşmanın farklı duygular için, farklı bürün örüntüleri taşıdığını biliyoruz [29]. Örneğin, yüksek perde değerleri mutluluk, öfke ve korku ile ilintiliyken, düşük perde değerleri üzüntü, sıkıntı gibi duygularla ilintilidir [6].

Spektral özniteliklerin olasılık yoğunluk dağılımını modellemek için Gauss bileşen modeli (GBM) sınıflandırıcılarını; bürün örüntülerini modellemek için ise Saklı Markov Model (SMM) sınıflandırıcılarını kullandık. Sonra, daha yüksek bir tanıma oranı elde etmek için, GBM ve SMM sınıflandırıcılarından elde edilen duygu tanıma sonuçlarını, karar kaynaşımı metodu ile [30] birleştirdik. Sistemimizin yüz ifadesi canlandırma aşamasında ise ilk önce, sınıflandırıcı eğitimi aşamasında eğitilen GBM ve SMM sınıflandırıcılarını kullanarak konuşma sinyalinden duygu bilgisini kestiriyoruz. Daha sonra, tanınan duyguya karşılık gelen ve bir grafik sanatçısının 3B kafa modelinde [24] daha önceden tanımlamış olduğu yüz ifadesini, doğrusal aradeğerleme yöntemi ile canlandırıyoruz.

Önerdiğimiz otomatik yüz ifadesi animasyonu sistemini, yedi duygu içeren Berlin duygu yüklü konuşma veritabanı [28] üzerinde eğittik ve test ettik. Bu duygular mutluluk, öfke, korku, üzüntü, sıkıntı, iğrenme ve nötr duygularıdır. Yöntemimizin duygu tanıma oranı %86.45'tir. Korku, mutluluk, öfke ve üzüntü duygularına ait sentezlenen örnek yüz ifadeleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Ayrıca, yüz ifadesi canlandırmasına ait bazı video örneklerine http://www.momentum-dmt.com/data/FaceAnim adresinden ulaşılabilir.



Şekil 6. Canlandırılan yüz ifadelerine örnekler: soldan sağa korku, mutluluk, öfke ve üzüntü

5. SONUÇ

Bu makalede sunduğumuz eğitim sistemi ile farklı araştırma alanlarında ortaya koyduğumuz yenilikleri biraraya getirmiş bulunmaktayız. Bu alanlar, görsel programlama dilleriyle mantık programlama, ileri seviyede görüntü üretimi, ve ses tabanlı yüz animasyonu üretimidir. Görsel programlama dili kullanarak geliştirdiğimiz mantık motoru sayesinde doğrusal olmayan oyun senaryolarının oluşturulması çok kolaylaşmaktadır. Gerçek zamanlı görüntü üretme motorumuz, modern GPU donanımlarının sunduğu programlanabilme özelliklerini kullanarak aynı yüksek kalitede görüntüleri hem 3B modelleme artistleri hem de son kullanıcı öğrencilere sunabilmektedir. Son olarak, yüz modelleme ve animasyon teknolojimiz sayesinde foto-gerçekçi 3B kafa modellerinin ses kayıtları ile gerçekçi şekilde canlandırılması sağlanmıştır.

Kaynakça

[1] Ricci, E., Salas, E, and Cannon-Bowers, J. 1996. Do computer-based games facilitate knowledge acquisition and retention? Military Psychology. v8 i4. 295-307.

[2] Vogel, D. et al., 2006. Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. Journal of Educational Computing Research. v34 i3. 229-243.

[3] Andrews, Dee H.; Dineen, Toni; and Bell, Herbert H., 1999. The Use of Constructive Modeling and Virtual Simulation in Large-Scale Team Training: A Military Case Study. Educational Technology, v39 n1 p24-28 Jan-Feb 1999.

[4] Microsoft Visual Studio product home page: http://msdn2.microsoft.com/en-us/vstudio/default.aspx, retrieved on Feb, 2009.

[5] USPAT20080040702 - Sciacero, David (Burlingame, CA, US), Asbury, Stephen (Pasedena, CA, US) 2008 Nonlinear workflow assembly for visual programming United States TIBCO Software Inc. (Palo Alto, CA, US), U.S. Patent Application Publication No. 20080040702.

[6] USPAT6792595 - Storistenau, Adrian (Toronto, CA), Weisz, Robert (Brampton, CA) 2004 Source editing in a graphical hierarchical environment United States IBM (US). U.S. Patent No. 6,792,595

[7]Johnston, W.M.; Hanna, J.R.P. and Millar, R.J. 2004. "Advances in dataflow programming languages". ACM Computing Surveys (CSUR) 36 (1): 1–34.

[8] Microsoft Visual Programming Language product home page:http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/bb483088.aspx . retrieved on Feb, 2009.

[9] Brawley, Z., and Tatarchuk, N. 2004. "Parallax Occlusion Mapping: Self-Shadowing, Perspective-Correct Bump Mapping Using Reverse Height Map Tracing". In *ShaderX3: Advanced Rendering with DirectX and OpenGL*, Engel, W., Ed., Charles River Media, pp. 135-154

[10] d'Eon, E., and Luebke D., "Advanced Techniques for Realistic Real-Time Skin Rendering", in Hubert Nguyen, ed., *GPU Gems 3*, Addison-Wesley, pp. 293-347, 2007.

[11] Koenderink, J. and Pont, S. 2003. "The secret of velvety skin". *Mach. Vision Appl.* 14, 4 (Sep. 2003), 260-268.

[12] Williams, Lance. 1978. "Casting Curved Shadows on Curved Surfaces." In Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 1978) 12(3), pp. 270-274.

[13] Zhang, F., Sun, H., Xu, L., and Lun, L. K. 2006. Parallel-split shadow maps for large-scale virtual environments. In *Proceedings of the 2006 ACM international Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications* (Hong Kong, China). VRCIA '06. ACM, New York, NY, 311-318.

[14] Jason L. Mitchell, "Light Shaft Rendering", *ShaderX3*, Wolfgang Engel editor, Charles River Media, 2004.

[15] Dynamic Glossy Environment Reflections Using Summed-Area Tables. Hensley, Scheuermann. ShaderX4, Charles River Media, 2005.

[16] Reinhard, E., Stark, M., Shirley, P., and Ferwerda, J., "Photographic tone reproduction for digital images", *ACM Trans. Graph.* 21, 3 (Jul. 2002), 267-276.

[17] Scheuermann, T., Tatarchuk N., "Advanced Depth of Field Rendering", *ShaderX3*, Charles River Media, 2004.

[18] Kshitiz Garg and Shree K. Nayar. "Photorealistic Rendering of Rain Streaks", In *ACM Transactions on Graphics* (SIGGRAPH) July 2006.

[19]http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=7635018&siteID=123112. Autodesk Maya.

[20]http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=5659302. Autodesk 3D Studio MAX.

[21]http://www.crytek.com/technology/cryengine-2/specifications/. Crytek CryENGINE-2.

[22]http://www.unrealtechnology.com/. Unreal engine.

[23]http://www.ogre3d.org/. OGRE engine.

[24]A. T. Erdem, "A new method for generating 3-D face models for personalized user interaction," European Signal Processing Conference (EUSIPCO), September 2005, Antalya, Turkey.

[25]http://www.momentum-dmt.com. Momentum Digital Media Technologies.

[26]Lee C. M. and Narayanan S. S., "Toward detecting emotions in spoken dialogs", *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, 13,4, pp.293-303, 2005.

[27] Oudeyer P.Y., "The production and recognition of emotions in speech: features and algorithms", International Journal of Human-Computer Studies, 59, pp.157-183, 2003.

[28] Burkhardt F., Paeschke A.,Rolfes M., Sendlmeier W. and Weiss B., "A database of german emotional speech", Proceedings of Interspeech, pp.1517-1520, Lisbon, Portugal.

[29]Scherer K. R., "How emotion is expressed in speech and singing", Proceedings of XIIIth International Congress of Phonetic Sciences, pp. 90-96, 1995.

[30] Erzin E., Yemez Y. and Tekalp M., "Multimodal speaker identification using an adaptive classifier cascade based on modality realiability", IEEE Transactions on Multimedia, 7, 5, pp.840-852, 2005.

[31] E. Bozkurt, Ç. E. Erdem, E.Erzin, T. Erdem, M. Özkan, "Comparison of Phoneme and Viseme based Acoustic Units for Speech Driven Realistic Lip Animation", *3DTV Conference,* Kos, Greece, May 2007.

[32] S. Seneff, and V. Zu. "Transcription and Alignment of the Timit Database", NIST, CD-ROM TIMIT, 1988.

Meteoroloji ve Oşinografi Mükemmeliyet Ağı (MOMA) Gözlem ve Model Öngörü Sistemleri

Emin Özsoy[(a)], Adil Sözer[(a)], Murat Gündüz[(a)], İsmail Yücel[(b)], Bülent Yağcı[(c)], İsmail Mert[(c)], Hasan Yıldız[(d)], Mehmet Simav[(d)], Murat Elge[(e)]

[(a)] ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, PK 28, Erdemli, Mersin 33730, ozsoy@ims.metu.edu.tr

[(b)] ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Su Kaynakları Laboratuarı, İnonü Bulvarı, Ankara, iyucel@metu.edu.tr

[(c)] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Kalaba, Ankara, byagci@meteor.gov.tr

[(d)] Harita Genel Komutanlığı, Cebeci, Ankara, hyildiz@hgk.mil.tr

[(e)]Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, m_elge@hotmail.com

ÖZ

MOMA Pilot Projesi'nde, ülkemizin en hızlı gelişen stratejik alanları olan Türk Boğazlar Sistemi ve Kilikya Baseni / Çukurova Kıta Sahanlığı öncelikli bölgeler olarak ele alınmış, oluşturulması gerçekte daha uzun bir süre alacak olan 'Meteoroloji ve Oşinografi Mükemmeliyet Ağı' kapsamında, uydu ve yer gözlem sistemlerinin geliştirilmesi, mevcut sistemlerle bütünleştirilmesi, elde edilen gerçek zamanlı verilerin ve model öngörü sistemlerinin karşılıklı olarak geçerliliklerinin doğrulanması, bunları kullanan erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi, elde edilen verilerin kullanıcılara sunulması amaçlanmıştır.

Boğazlarda akıntı profilleri, çevre denizlerde kıyısal su seviyesi, meteoroloji ve deniz suyu özellikleri, deniz yüzey sıcaklığı ve klorofil uydu verileri, kara-deniz ve deniz-atmosfer etkileşimlerini örnekleyen girdap kovaryans ölçümleri gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir.

Akdeniz kıyılarını kapsayan bir kıyısal dolaşım modeli ile, gerçek zamanlı yüzey atmosferik akılarına ve açık deniz sınır koşullarına dayanan dolaşım ve hidrografi öngörüleri üretilmiştir. İstanbul ve Çanakkale Boğazları için hidrodinamik modeller geliştirilmiş ve gözlemlerle uyumlu sonuçlar vermeleri sağlanmıştır. Çöl tozlarının Akdeniz, Kuzey Afrika, Avrupa ve Avrasya kıtalarını kapsayan taşınımını saptayan bir atmosferik taşınım modeli uygulamaya konularak öngörüleri yayınlanmıştır. Güncel bir bölgesel atmosferik model çalıştırılarak bölgemizde ayrıntılı öngörüler üretilmiş ve tüm denizlerimizde modeller için gereken yüzey atmosferik verilerin üretilmesi sağlanmıştır. Ülkemizde üretilen ve diğer kaynaklardan sağlanan güncel atmosferik veriler, bölgesel

atmosferik modelde veri asimilasyonu ile kullanılmış ve öngörülerin gerçekleşen koşullarla uyumu sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: oşinografi, meteoroloji, kıta sahanlığı, boğaz, gözlem sistemleri, öngörü sistemleri

ABSTRACT

Turkish Straits System and Cilician Basin / Çukuruva continental shelf, the two rapidly developing strategic regions of Turkey have been given priority in the MOMA Pilot Project, and the development and integration of of in-situ and satellite observation systems, cross-validation of real-time data and model forecasts, the development of warning systems based on the generated data, and the dissemination of data to users have been the objectives of the 'Meteorology and Oceanography Network', expected to develop on a longer term.

Current velocity profiles in straits, coastal sea level, sea water properties, surface meteorological variables in coastal seas, sea surface temperature and chlorophyll from satellites, and eddy covariance measurements sampling ocean-atmosphere and land-sea interactions have been obtained in real time.

A coastal circulation model for the northern Levantine Basin Mediterranean region of Turkey has been used to generate circulation and hyrographic forecasts based on real-time surface atmospheric fluxes and open-ocean bounday conditions. Hydrodynamical models have been developed for the Straits of İstanbul ve Çanakkale (Bosphorus and Dardanelles) and have been used to obtain results matching the observed features. An atmospheric transport model has been used to forecast transport of desert dust over the Mediterranean, north African, European and Eurasian continents. An up-to-date atmspheric model has been run to generate high resolution regional forecasts and to produce surface atmospheric data required by models of Turkish seas. Atmospheric data originating from Turkey, as well as other sources have been assimilated in the atmospheric model, to enable forecasts approaching reality.

Keywords: oceanography, meteorology, continental shelf, strait, observation stystems, forecast systems

1. GİRİŞ

Gerek meteoroloji, gerekse oşinografi, günlük insan faaliyetlerini, kısa ve uzun vadeli ekonomik karar süreçlerini önemli derecede etkileyen bilim alanlarıdır. Güvenli hava ve deniz taşımacılığı, enerji üretimi ve tüketimi, çevre kirliliğinin önlenmesi, çevre koruma ve yönetimi, sivil ve askeri operasyonlar, sahil güvenliği, arama / kurtarma işlemleri, deniz ve havacılık kazalarının önüne geçilebilmesi, doğal afetlerden korunma, risk ve kriz yönetimi gibi kısa süreli insan aktiviteleri kadar, sürdürülebilir tarım ve balıkçılık, endüstriyel üretim planlaması, doğal kaynakların geliştirilmesi ve kullanımı, bütünleşik kıyı alanları yönetimi, iklim değişimi etkilerinin saptanması gibi uzun vadeli süreçler de bu iki bilim dalının en yakından etkilediği, aynı zamanda ülkelerin çevre ile uyumlu gelişmelerini, ekonomik kazanım ve üstünlüklerini de büyük oranlarda belirleyen

uygulamalı araştırma konulardır. Denizlerin iklim sisteminde oynadıkları önemli rol, canlı ve cansız kaynakları, ulaşım, endüstri, enerji, savunma, tarım sektörlerine katkıları, kıyısal insan aktiviteleri gibi etkenler, bugün uluslararası büyük bir rekabeti olduğu kadar, bilime ve teknolojiye dayalı kaynak yönetimi gereksinimlerini ortaya çıkarmaktadır.

Sayısal iletişim, uydu ve yer gözlem sistemleri, bilgi teknolojileri, hızla gelişen iklim sistemi araştırmalarının temel araçlarını oluşturmaktadır. Bu araştırmalarda her zaman gerek duyulan disiplinlerarası yaklaşımın yanında, bugün ayrıca 'büyük bilim' ve 'ekosistem' yaklaşımları da gerekli olmaktadır: iklim sistemi ve ekosistemi bütünsel olarak algılayan bu yaklaşımla, temel bilimler (fizik, kimya, biyoloji dalları), ile atmosfer, deniz, yer ve yaşam bilimleri ve mühendislik arasındaki işbirliği zorunlu olarak geliştirilmektedir. ABD'de olduğu gibi Avrupa Komisyonu araştırma programlarında da iklim bilimleri 'stratejik araştırma' kapsamı içerisinde yer almakta ve Atlantik'in her iki yakasında da 'sürdürülebilir gelişme'yi amaçlayan bilimsel / teknolojik gelişmelere katkıda bulunmaktadır.

Günümüzde meteoroloji ve oşinografi bilimlerinde, sayısal elektronik ölçüm cihazları, uydu ve yer gözlem sistemleri, gerçek zamanlı veri iletişimi, sayısal öngörü sistemleri ile desteklenen operasyonel sistemlerde hızlı bir gelişme yaşanmaktadır. Hava ve deniz ortamları hakkında düzenli veri toplanabilmesi ve durumlarının gerçek zamanlı olarak tahmin edilebilmesi, üretilen bilgilerin kullanıcı ile hızlı bir şekilde paylaşılabilmesi, uzmanlık, teknoloji ve organizasyon gerektirmekte, elde edilebilecek somut ekonomik katkılar ise bu yöndeki çabalara geçerlilik kazandırmaktadır.

Mükemmeliyet Ağı'nın uzun vadeli misyonları aşağıdakilerden oluşur:

1. denizlerin ve atmosferin dolaşım, karışım, taşınım mekanizmalarının kirlenme, ekosistem dinamiği ve biyojeokimyasal süreçlere olan etkilerini, fiziksel iklim sistemine katkılarını, kapsadıkları zaman ve uzay ölçeklerindeki değişkenlik ve etkileşimlerini, kütle ve enerji akılarını belirlemek, bölgesel iklim değişkenlerinin sürekli izlenmesine olanak verecek gözlem, öngörü ve bilgi sistemlerini geliştirmek, tarihsel ve güncel verileri, model sonuçlarını değerlendirmek ve saklamak,
2. öncelikle ekonomik öneme sahip kıyısal bölgelerde olmak üzere, Türkiye'yi çevreleyen Akdeniz, Ege Denizi, Türk Boğazlar Sistemi (Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazları), ve Karadeniz'de gözlem ve öngörü sistemleri sonuçlarının çevre ve risk yönetimine katkısını göstermek ve bu amaçla kullanımını sağlamak, ulusal veri tabanlarına katkıda bulunmak,
3. bütünleştirilmiş bir gözlem ve öngörü sistemini oluşturacak kuruluşlar arası işbirliğini geliştirmek,
4. üstün nitelikli profesyonel eğitim vermek ve eleman yetiştirmek.

Ülkemizde de bazı yerleşik gözlem sistemleri bulunmakla birlikte bunların gözlemleri halen hem doğrudan kullanıcıya ulaşmamakta, hem de gerçek zamanlı modellerde kullanılmamaktadır. Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ülke alanına yayılmış

geniş bir ağdan elde ettiği meteorolojik gözlemler, Deniz Müsteşarlığı'na bağlı Kıyı Emniyeti Ve Gemi Kurtarma İşletmeleri Genel Müdürlüğü - VTS Sistemi'nden elde edilen gözlemler, Harita Genel Komutanlığı'nın gerçekleştirdiği su seviyesi gözlemleri bu türden gözlemlerdir. Önceden kurulan bu ağlarda verilerin gerçek zamanlı olarak elde edilmesi yakın zamanlarda başlanan bir uygulamadır ve bu sistemlerin bazı elemanları bugün gerçek zamanlı veri sağlamakla birlikte bu veriler gerçek zamanlı olarak kullanıcıya ulaşmamakta veya modellere girdi vermemektedir.

Bugün gelinen noktada, kullanıcının gözlemlere doğrudan ulaşabilmesinde ya da en azından yerel gözlemler hakkında bir fikir edinebilmesinde de yarar vardır, ve bu tür bilgilerin merkezi olmaktan çok, bölgesel veya yerel olarak sunulmasında ve herhangi bir nokta ya da alanda operasyonlarını sürdürmekte olan kullanıcıya doğrudan ulaştırılmasında kullanıcı açısından büyük yarar bulunmaktadır. Örneğin, sert havada gemisini yönetmekte olan bir kaptanın ya da sel durumundan etkilenecek bir çiftçinin genel hava durumu raporlarını izlemek ve değerlendirmek kadar, yerel bilgilere ve bunlardan üretilen bölgesel tahminlere de anında ulaşmaya ve değerlendirmeye gereksinmesi vardır.

Deniz ortamları için halen sınırlı bir yapısı bulunan gözlem ağlarının da hızla geliştirilmesi ve mevcut sistemle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Ülkemizin dağlık karakterli yeryüzü topoğrafyası, bölgeler arasındaki keskin iklimsel farklılıklar, çevre deniz ve kıyı bölgelerindeki hızlı değişim dikkate alındığında, ve yukarıda belirtilen kısa ve uzun vadeli gözlem ve öngörü gerekleri ortaya konduğunda, bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de özel gerekleri hedef alan ve bölgesel uygulamalara odaklanan uzman sistemlerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Bu amaçların tam olarak gerçekleştirilmesinin yaklaşık 10 yıl gibi bir geliştirme ve grup çalışması gerektireceği öngörülmüş, başlangıç teşkil etmesi amacıyla TÜBİTAK KAMAG destekli MOMA projesi iki yıl süreli olarak uygulamaya konmuştur. Kurulan sistemlerin sürdürülebilmesi ve geliştirilebilmesi MOMA projesinde bilimsel araştırmalarda elde edilen ivmenin, geliştirilen işbirliği ve grup çalışmasının desteklenmesine bağlıdır. Toplumsal anlamda çevre ve iklim araştırmalrının temelini oluşturan alt yapı, işbirliği ve elde edilen kazanımlar mutlaka sürdürülmelidir.

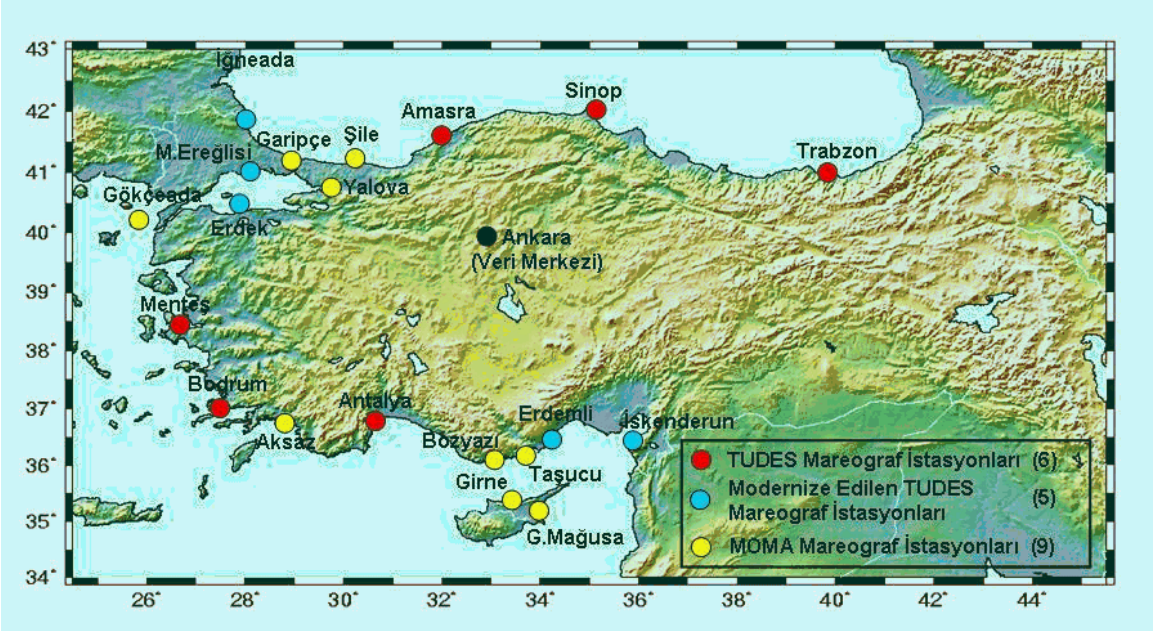
Proje sonuçlarına ve güncel gözlem ve öngörülere, halen geliştirilmekte olan http://moma.ims.metu.edu.tr adresindeki web arayüzünden ulaşılabilmektedir.

2. KIYISAL GÖZLEM SİSTEMLERİ

2.1. Kıyısal istasyonlar (su seviyesi, meteoroloji ve deniz suyu özellikleri ölçüm ağı)

Öncelikle seçilen Türk Boğazlar Sistemi ile Kilikya Baseni ve komşu kıyı bölgelerinde kurulması planlanan deniz seviyesi, meteoroloji ve deniz suyu özellikleri istasyonları için ODTÜ DBE, Harita Genel Komutanlığı ve Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'nın katkılarıyla yer seçimi çalışmaları yürütülmüştür. Ortaya çıkan MOMA gözlem ağı içerisinde, MOMA projesinde kurulan yeni istasyonlar ile, modernize

edilerek aynı gözlem ağı içinde bütünleştirilen Harita Genel Komutanlığı'na ait TUDES istasyonlarının konumları Şekil 1'de gösterilmiştir. Yeni istasyonların tipik bir konfigurasyon şeması da Şekil 2'de verilmiştir.



Şelil 1. Su seviyesi, meteoroloji ve deniz suyu özellikleri istasyonları için yer seçimi çalışmaları sürdürülen yerler

Bunlardan başka Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na ait İstanbul Boğazı, Haliç ve Pendik'te bulunan seviye ölçerler de modernize edilerek GPRS veri iletişimi için uygun hale getirilmiş, ve sisteme entegre edilmiştir. Mevcut ve yeni gözlem sistemlerinden elde edilen veriler katılan kuruluşlarca aynı anda toplanmakta ve analiz edilebilmektedir

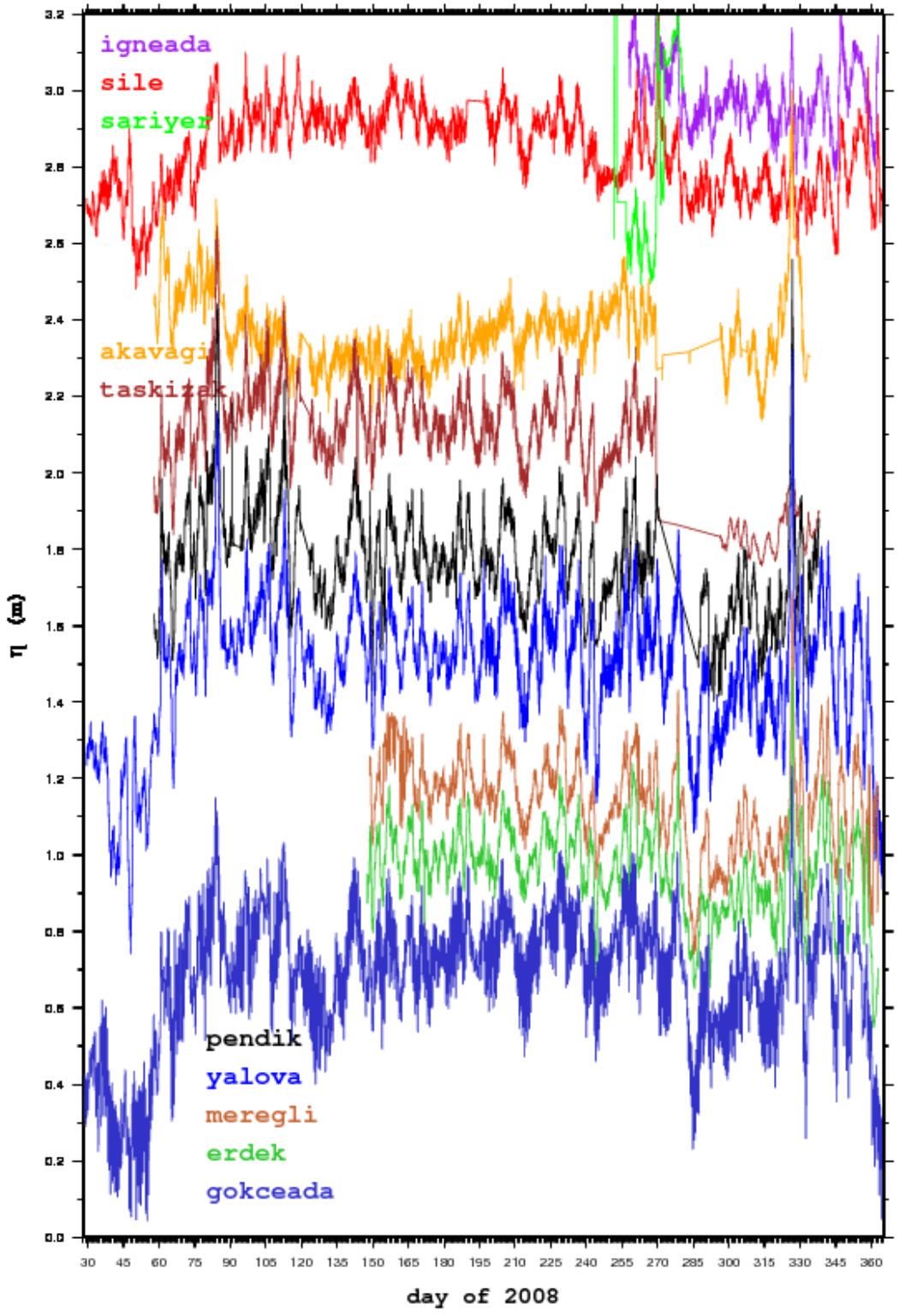
Kurulan otomatik istasyonlarda su seviyesi, hava sıcaklığı, nem, rüzgar hız ve yönü, barometrik basınç, deniz suyu sıcaklık ve tuzluluğu ölçülmektedir. Veri depolaması bir datalogger ile gerçekleştirilmekte, veri iletişimi ise GPRS iletişim sistemi ile doğrudan internet bağlantısı ile yapılmaktadir. HGK ağındaki mevcut otomatik istasyonlar modernize edilerek bazılarına yeni sensörler eklenmiş, telefon modemleri ile yapılan iletişim GPRS sistemine dönüştürülmüştür.



Şekil 2. Gökçeada kıyısal gözlem istasyonunun görünümü

Kıyısal istasyonlardan elde edilen verilere gerçek zamanlı olarak ulaşılabilmekte, veriler filtreleme ve basit düzeltme işlemlerinden geçirilmekte ve analiz edilmektedir.

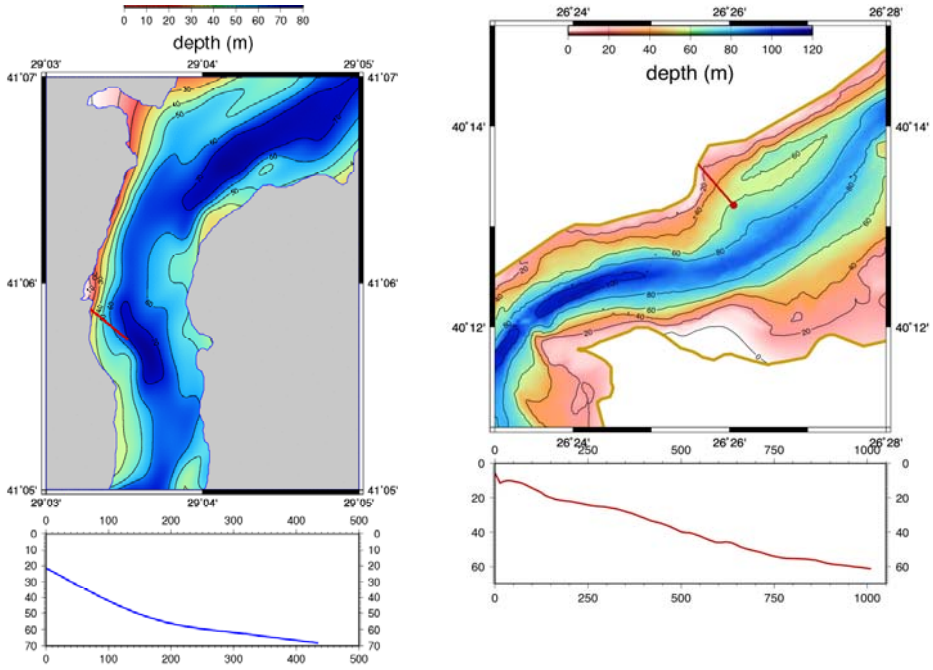
Aşağıda Şekil 3'te, Boğazlar bölgesinde ve komşu denizlerde elde edilen verilerden bir örnek gösterilmiştir. Su seviyesi verileri karşılaştırılarak Karadeniz, Marmara, Ege ve Akadeniz arasındaki hidrodinamik etkileşimler daha iyi anlaşılabilecek ve bu bölgede büyük gereksinme duyulan model ve öngörülerin geliştirilmesine katkıda bulunacaklardır. Gerçekte bu bölgenin karmaşık dinamiği oldukça iyi bilinse de, bugüne değin gerçekle tam uyumlu modellerin gerçekleştirilmesi olanaklı olmamıştır. Verilerle desteklenen araştırmaların Türk Boğazları'nın yeterince anlaşılmasında büyük önemi bulunmaktadır ve gerçekçi öngörülere ancak bu sayede ulaşılabilecektir.



Şekil 3. Türk Boğazlar Sistemi'ni tanımlayan istasyonlarda su seviyesi ölçümleri

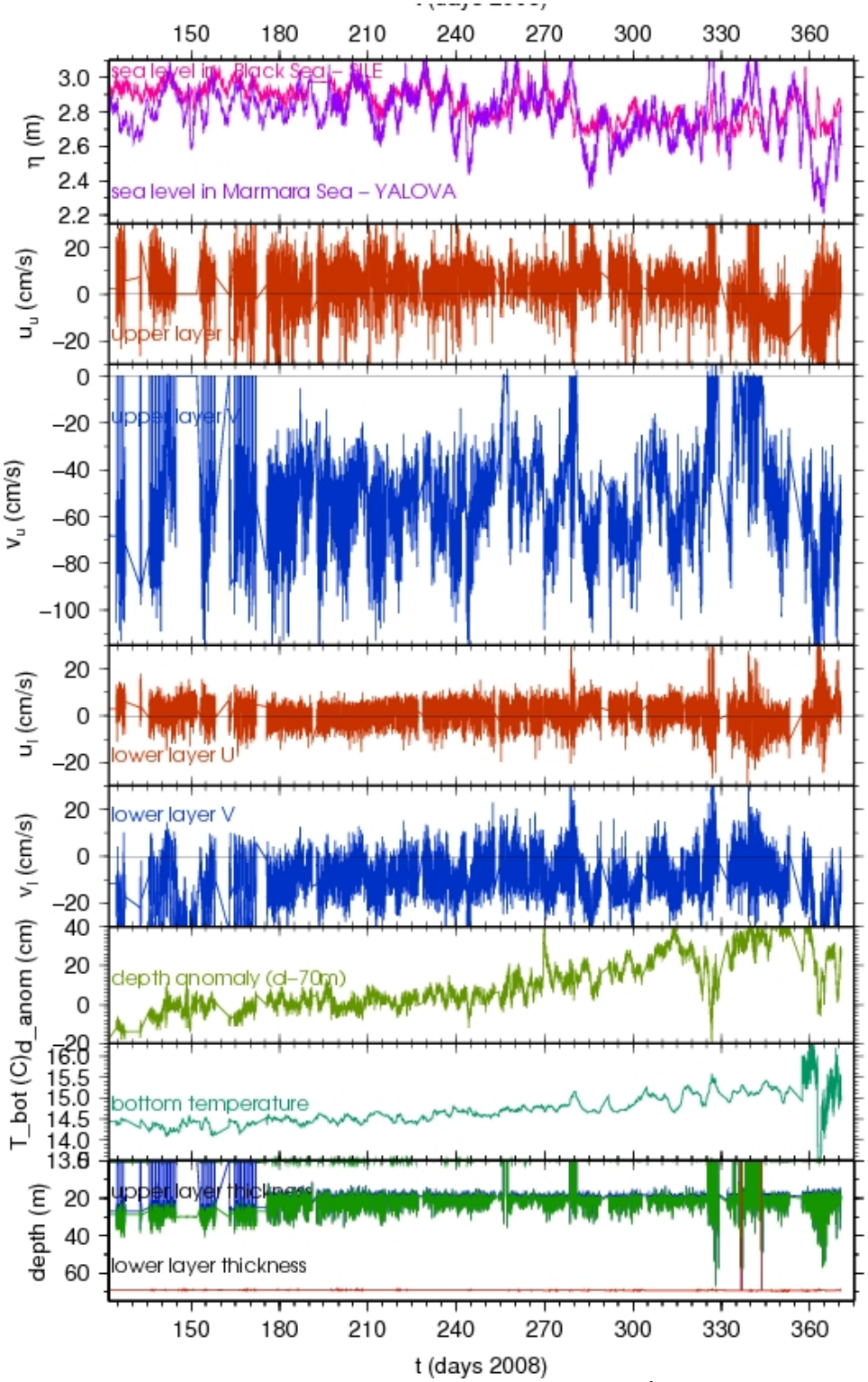
2.2. ADCP Akıntı Profil, Besin ve Plankton İstasyonları

İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nda gerçek zamanlı sayısal iletişim sağlayan Doppler akustik akıntı profilleyicisi (ADCP) istasyonları kurulmuştur (Şekil 4). ADCP istasyonlarında verilere sürekli ve gerçek zamanlı olarak ulaşılması amaçlanmıştır. Bu nedenle cihazın sürekli bir enerji kaynağından beslenmesi ve verilerini gönderebilmesi için tabana yerleştirilen bir kablo aracılığıyla kıyıya bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Bu durumda cihazın istenen zaman aralıklarıyla örneklediği akıntı derinlik profilleri sürekli ve uzun süreli olarak iletilebilmektedir.



Şekil 4. İstanbul Boğazı Baltalimanı ve Çanakkale Boğazı Akbaş Burnu ADCP istasyonu konumları ve taban topoğrafyası

Aşağıda, Şekil 5'teki örnek zaman serilerinde Karadeniz ve Marmara su seviyeleri karşılaştırılmakta ve bunlarla birlikte İstanbul Boğazı'nda elde adilen ADCP akıntı profillerinden alt ve üst akım için hesaplanan ortalama hız, taban basınç ve sıcaklık zaman serileri verilmektedir. Bu karşılaştırmadan görüleceği gibi su seviyelerinin eşitlendiği durumlarda üst akıntının yavaşlayarak tümüyle durma noktasına geldiği durumlar ayrıntılı olarak saptanabilmektedir. Aynı şekilde kuzey rüzgarları etkisi altında yüzey akıntının hızlanarak alt akıntının bloke olduğu durumlar bilinmektedir, ancak alt akıntının kesit içindeki değişkenliği ve girdap yapısı bu durumu bir kaç örnek dışında kesinlikle saptamaya yetmemektedir.



Şelil 5. Karadeniz-Marmara su seviyesi değişimleri ile İstanbul Boğazı alt ve üst tabaka akımları ADCP akıntı ölçümleri zaman serileri

İstanbul ve Çanakkale Boğazları aracılığıyla Karadeniz'den Marmara Denizi'ne, ve Ege Denizi'ne geçen besin ve plankton akılarını saptayabilmek için klorofil konsantrasyonu

ölçen bir fluorometreyi ve nitrat, silikat, fosfat ve amonyum konsantrasyonlarını ölçen sensörleri içeren Autolab besin analiz sistemi ile plankton örnekleri alan Aqua Monitor sistemleri kurulması planlanmış, ancak bu sistemlerin ayrıntılı kalibrasyon işlemleri gecikmeye neden olduğundan daha sonra uygulamaya konulabilecektir. Bu sistemlerden elde edilen derişim bilgileri ile birlikte ADCP verileri Karadeniz,ve Akdeniz arası besin ve plankton alışveriş bütçelerinin saptanmasına olanak vermektedir.

2.3 Girdap Kovaryans meteoroloji ve taşınım İstasyonu

Erdemli'de ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü kampüsünde kurulan bir girdap kovaryans, karbondioksit ve su buharı ölçüm sistemi türbülanslı akım parametrelerini ölçerek deniz ile atmosfer arasında ve ayrıca kıyı ile açık deniz arasında madde taşınımı ile ilgili bilgilerin elde edilmesinde kullanılmıştır. Deniz'den karaya CO2 taşınımının bütün yıl sürdüğü izlenmektedir.

2.4 Uzaktan Algılama Uzun Süreli Zaman Serisi Verileri

Proje kapsamında uzun yıllardır toplanmakta olan, NASA yer gözlem uydu programı çerçevesindeki MODIS ve SeaWiFS uydularından yararlanılarak Marmara, Kilikya Basen'i, Karadeniz ve Ege' de uzun dönemli, yüzey suyu sıcaklığı ve klorofil dağılım haritaları zaman serileri oluşturlumuştur. Bu verilerin bir kısmı internet üzerinden sunulmak üzere hazırlanmıştır. Kıyısal gözlem sisteminde algılanan bazı değişimlerin ve model öngörülerinin uydu verileri ile doğrulanması sağlanmıştır.

3. KIYISAL DOLAŞIM MODELLERİ VE ÖNGÖRÜ SİSTEMLERİ

3.1. İstanbul / Çanakkale Boğazları Hidrodinamik Modelleri

Boğazlar, özel fiziksel süreçlerin ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerektiği için, açık deniz okyanus modellerine kıyasla modellenmesi emek ve özen gerektiren yerlerdir. Bu iş paketinde İstanbul ve Çanakkale Boğazları için gerçekçi hidrodinamik modeller geliştirilmesi hedeflenmiştir. Özel koşulları olan bir ortam için gerçekçi bir model geliştirilirken ortamın dinamik yapısı iyi bilinmelidir.

Türk Boğazlar Sistemi'nin oşinografik yapısı son yirmi yılda yapılan çalışmalar sayesinde oldukça iyi bilinmektedir (Oğuz, 1990; Ünlüata ve diğ., 1990: Latif ve diğ., 1991; Beşiktepe ve diğ., 1993, 1994, 1995; Özsoy ve diğ., 1997, 1998, 2001, 2002; Rank ve diğ., 1998). Özellikle İstanbul Boğazı'nda olmak üzere Türk Boğazlar Sistemi'nde akıntı, karışım ve tabakalaşma konusundaki en geniş bilgiler yakın dönemdeki deneysel (Gregg ve diğ., 1999; Gregg ve Özsoy 1999, 2002, Özsoy ve diğ., 2001) ve model (Oğuz *ve diğ.*, 1990, Sözer ve Özsoy, 2002, Oğuz, 2005) çalışmaları ile elde edilmiştir. Önceki çalışmalardaki gözlemler, keskin bir yoğunluk tabakalaşması, hidrolik kontrol, su seviyesi ve barometrik basınç farkları, rüzgar gerilimi, su bütçesi gibi etkiler sonucunda günlük, mevsimsel ve yıllararası zaman ölçeklerinde önemli değişkenliğin varlığını göstermiştir.

Dar kanal topoğrafyası, tabakalaşma, hidrolik kontrol, sürtünme etkileri ve iki yönlü alışveriş akımları nedeniyle İstanbul Boğazı Türk Boğazlar Sistemi'nin akımı en çok sınırlayan elemanıdır. İstanbul Boğazı, ortasındaki daralma ve Karadeniz çıkışındaki eşik ile hidrolik kontrol sağlamakta ve iki tabakalı boğaz akımları için özel bir durum olan 'maksimum alışveriş' (Farmer ve Armi, 1986) rejimine sahip görünmektedir. Çanakkale Boğazı'nda ise hidrolik kontrol'un bulunduğu tek yer Nara Burnu'dur, ve dolayısı ile buradaki su alışverişi 'sub-maksimal' olarak nitelenebilir (Farmer and Armi, 1986). Çanakkale Boğazı'nda bir tek yerde hidrolik kontrol bulunduğu ölçüm sonuçlarından bilindiği gibi sayısal modellerle de öngörülmüştür (Oğuz ve Sur, 1989).

Çoğu açık deniz modellerinde gereksinim duyulmayan, ancak Boğazların dinamik özelliklerini yeterince temsil edebilecek yeteneklere, gerekli çözünürlükle yüksek başarımlı hesaplama olanaklarına sahip bir model aranmıştır. Bu uygulamaya en iyi karşılık verecek modelin ROMS modeli olduğu görülmüş ve bu model kullanılmıştır. ROMS üç boyutlu modeli temel olarak Navier-Stokes denklemleri ile birlikte sıcaklık ve tuzluluk denklemlerini sonlu farklar yöntemi ile çözmektedir. Ayrıca biyokimyasal denklemleri de eklemek olanaklıdır. Başlangıç ve sınır şartları, türbülans ve karışım mekanizmaları, veri asimilasyonu, ve bunun gibi diğer olanaklar için geniş destek bulunmaktadır.

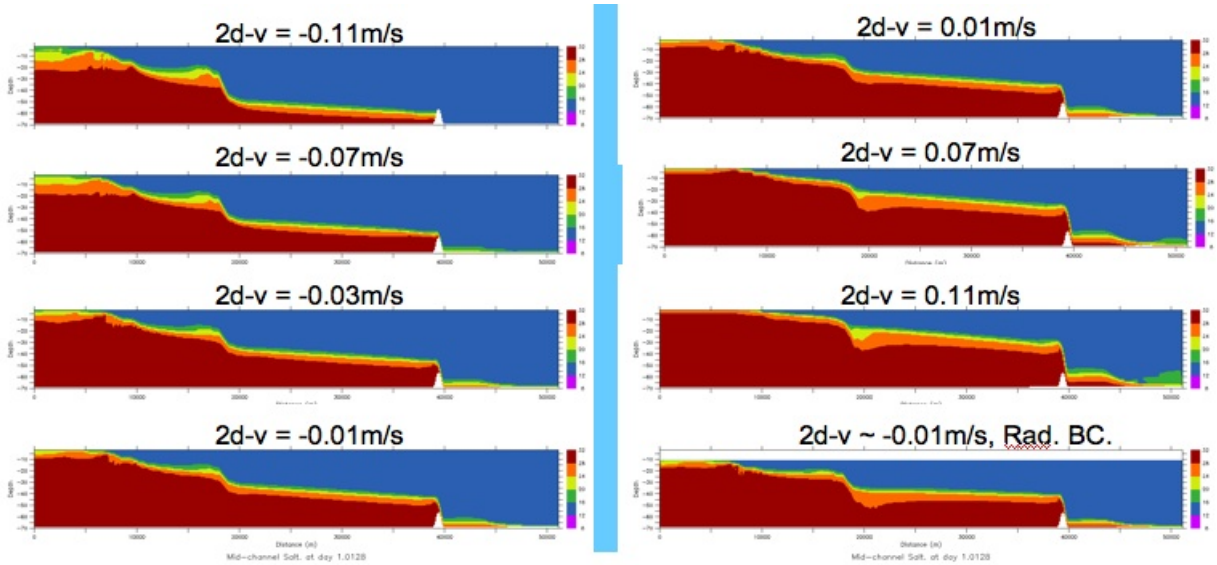
ROMS modelinden başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak, topoğrafyanın boğaz akımları için olağanüstü önemi ortaya çıktığından, boğazın dar kanal geometrisinin yeterince iyi temsil edilebilmesi çok küçük grid aralıklarının kullanılmasını gerektirmiş, bu da parallel bilgisayarlarda gerçekleştirilen hesaplama sürelerini artırmıştır.

Önce basit geometriye sahip ideal durumlar için model uygulamaları geliştirilmiş böylece model performansı değerlendirilmiştir. Bu modelde sonlu farklar yatay grid aralıkları Δx=100m, Δy=100m, ve düşey yönde 35 σ-seviyesi alınmış, momentum, ısı ve tuzluluk için K_h=15.0 m/s^2 değerleri ile sabit derinlik seviyelerine indirgenmiş Laplace tipi yatay karışım, K_v=0.001 m/s^2 değeri ile dikey karışım, üç boyutlu hız, sıcaklık ve tuzluluk için açık sınırlarda radyasyon sınır şartları, iki boyutlu / barotropik akım hızı için kuzey ucunda verilen bir hız değeri, yüzey yükseltisi için her iki uçta sıfır eğim şartları kullanılmıştır.

Model başlangıç koşulları meşhur Marsigli deneyindeki gibi boğazın ortasında keskin bir farkla birbirinden ayrılan her iki taraftaki sabit yoğunluk (sıcaklık ve tuzluluk) değerleridir. Başlangıçta verilen bu değerler farklı değerlerdeki su kütlelerin harekete geçerek yayılmaları ve birbirine belirli oranda karışmaları ile kısa bir sürede (örneğin bir gün içinde) dengeye ulaşmaktadır.

Şekil 6'da bir örneği sunulan deal durum hesaplamaları aşağıdaki genel sonuçları ortaya çıkarmıştır:

- alt ve üst akımların bloklanma durumları dahil olmak üzere iki tabakalı özellikler gösteren boğaz akımları üç boyutlu bir modelle ve uygun sınır ve başlangıç koşulları ve ortalama akım zorlaması ile yaratılabilmektedir
- boğazın iki ucu arasındaki su seviyesi farkı ile net akım debisi orantılıdır
- Karadeniz eşiğinde hidrolik kontrol bulunmakta, daralma kesitinde ise sürtünme etkileri ile desteklenen ancak iki tabakalı hesaplama ile gösterilemeyen bir hidrolik kontrol varsayılmakta, gözlenen yapıda çıkış bölgeleri önemli rol oynamaktadır

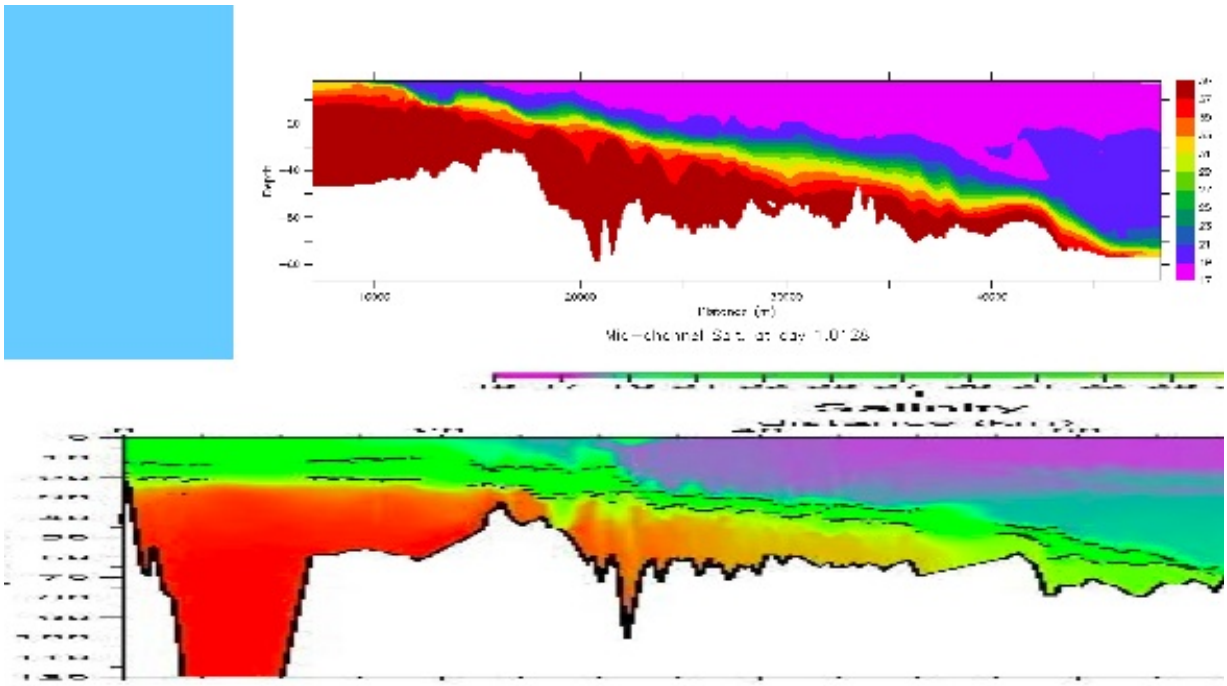


Şekil 6. İdeal durum boğaz modelinde barotropik akım hızı değiştirilerek elde edilen tuzluluk dağılımları

Bu sonuçlar Boğazlar için gerçekçi üç boyutlu modellerin geliştirilebileceğini göstermiştir. Değişken batimetri ve geometrileri gerçek verilerle temsil edilen İstanbul ve Çanakkale Boğazları modellerinin oluşturulabilmesi için önce denizcilik haritalarından sayısallaştırılan derinlikler ile ODTÜ-DBE'nün R/V BİLİM gemisinin seferlerinde elde edilen derinlik verileri birleştirilerek ayrıntılı batimetri elde edilmiştir. Ancak bu batimetrik verilerin İstanbul Boğazı özel durumunda yeterli olmadıkları ve batimetrinin yeterince temsil edilememesi nedeniyle iki tabakalı akımın gerçeğe yakın şekilde elde edilmesi olanağı bulunamamıştır.

Bu deneyim boğaz topoğrafyasının en küçük ayrıntısınn bile akımlar için ne kadar büyük bir etkisinin bulunduğunu göstermiş ve gerçek duruma ulaşılması için çok daha ayrıntılı batimetrik bilginin gerektiğini ortaya koymuştur. Bunun üzerine Proje katılımcısı olan Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'ndan ayrıntılı batimetri verileri istenmiştir. Yakın dönemde TÜBİTAK projeleri ile yapılan çalışmalarda elde edilen ve Gökaşan ve diğ. (2005, 2006, 2007) tarafından yayınlanan 20m ayrımlı derinlik verileri kullanılmaya başlanınca model sonuçlarında önemli ölçüde ilerleme sağlanmıştır.

Model düşey koordinatları üzerinde verilen dikey karışımın da gerçeği temsil etmede yetersiz kalması ROMS modelinde var olan bir karışım seçeneğinin devreye sokulmasını gerektirmiştir. Buna göre, karışım katsayıları koordinatlardan bağımsız olarak dikey yönde verilebilmektedir. Şekil 7'de gösterildiği gibi, gerçek duruma yakın seyrelme ancak bu koşulla elde edilebilmektedir. Aşağıda, dikey karışım katsayıları verildiginde elde edilen model sonuçları ile ayrıntılı ölçüm sonuçları boyuna tuzluluk kesiti üzerinde karşılaştırılmaktadır. Ara tabaka kalınlığı ve tuzluluk seyrelmesi gerçeğe oldukça yakın bir şekilde modelde temsil edilebilmektedir. Alt tabaka tuzluluğunda ölçümlerde gözlenen salınımlar, oldukça benzer özelliklerde, model sonuçlarında da bulunmaktadır



Şekil 7. İstanbul Boğazı modelinde yüksek ayırımlı batimetri ve dikey koordinatlarda karışım katsayıları kullanılarak elde edilen ve gözlem sonuçlarından elde edilen tuzluluk kesitleri

Gerçekçi model çalışmalarından elde edilen önemli bir diğer sonuç ise, gerçek duruma oldukça yaklaşan akıntı profilleridir. Özellikle, akıntı değerleri gözlemlendiği gibi üst tabakada güney bölümünde ve daralma sonrası artmakta, alt tabakada ise boğaz boyunca kararlı bir akım görülmektedir. Öte yandan, iki akım yönü arasında sıfır hızın bulunduğu yüzey, sıcaklık / tuzluluk (yoğunluk) tabakalaşmasının en keskin olduğu ara yüzeyden farklıdır ve öngörüldüğü ve Gregg ve Özsoy (1999) tarafından ölçümlerle saptandığı gibi kuzey uçta ara tabakadan daha yüksektedir.

İstanbul Boğazı'nda elde edilen deneyim Çanakkale Boğazı modelinin gerçekleştirilmesinde kullanılmış ve Çanakkale Boğazı için yine ROMS modeli temelinde bir model kurulmuştur. Yukarıda değinilen yüksek ayırımlı batimetrik veriler kullanılarak model batimetrisi sayısallaştırılmış ve model konfigurasyonuna uygun

şekilde hazırlanmıştır. Boğazın iki ucundaki genişleme bölgelerinde batimetrik değişimler sınır şartlarının kararlı bir şekilde uygulanabilmesi için düzlenmiştir. Kanal içinde ise gerçek topoğrafyada belirgin şekilde ortaya çıkan derin kanal korunmuştur.

Çanakkale Boğazı modelinde grid aralıkları Δx=100m, Δy=200m olarak alınmış, diğer parametreler için ise İstanbul Boğazı'na benzer değerler seçilmiştir. Başlangıç koşulları için benzer şekilde kanalın ortasında keskin bir değişimle her iki yanda sabit tuzluluk sıcaklık değerleri verilmiştir. Boğaz içindeki derin kanal Marmara Denizi'ne doğru önce çok yavaş, kanaldan sonra ise artan bir hızla derinleşmekte ve derin suları toplayarak taşımakta, bu nedenle taban akımları bir yerçekimi akıntısı halinde olmaktadır. Yüzey akıntıları ise beklendiği gibi Nara Burnu'nda hızlanmakta ve burada üç boyutlu nitelik kazanmakta, daha sonra genişleyen kesimde görece daha yavaşlamaktadır.

Yukarıdaki boğaz modellerinin hesaplamaları paralel bilgisayarlarda bile olağan dışı süreler aldığı için daha basit modellerin de gerekli olduğunu göstermiş, bu amaçla iki boyuta indirgenmiş modeller yapılması gündemde yerini almıştır. İki boyutlu model Miami Üniversitesi'nden Tamay Özgökmen ve Mehmet Ilıcak ile birlikte geliştirilmiş ve boğaz akımlarına uygulanmıştır. Modelin üç boyutlu modellere göre bazı avantajları bulunmakla birlikte, doğal olarak bazı türbülans parameterizasyonları gerektirmektedir. Öte yandan modelde üç boyutlu modelde kullanılan hidrostatik varsayım kullanılmamakta ve hesaplama olanakları ile ayrım gücü 1m seviyesine kadar indirilebilmekte ve bu yolla iki boyutlu girdap yapılarının küçük ölçeklerde etkileşimlerini üç boyutlu modele göre daha doğru temsil etme olanağı bulunmaktadır. Ancak gerçekte üç boyutlu olan türbülans ölçeklerinin doğrudan temsil edilebilmesi için daha da küçük ölçekler gerekmekte ve burada zorunlu olarak parameterizasyon seçenekleri kullanılmaktadır (Ilıcak et al., 2009).

3.2. Kıyısal Bölge Okyanus Modeli ve Deniz - Atmosfer Etkileşimi

İskenderun ve Mersin Körfezleri gibi, Türkiye'nin en önemli kıyısal alanlarını içinde barındıran Kilikya Baseni, güney kıyılarımızın en geniş kıta sahanlığına sahip bölgesidir. Kıbrıs ile Türkiye arasında yer alan Kilikya Baseni'nin derin kesimi bile en fazla 1000m civarındaki derinliklere ulaşmakta, hemen batısındaki Antalya Körfezi'nde 2000-3000m ve daha batısındaki Rodos Baseni'nde 4500m derinliklere ulaşan derin alanlardan büyük farklılık göstermektedir. Doğuda ise Kıbrıs'ın Kerempe Burnu ve Türkiye'nin Karataş Burnu arasında yer alan 700m derinlikli bir eşik ile Kıbrıs ve Suriye arasında yer alan ve yine 1000m civarinda derinliğe sahip olan Latakya Baseni'nden ayrılmaktadır. Kilikya Baseni'nin İskenderun ve Mersin Körfezlerini de içeren Türkiye kıyıları boyunca yer alan kıta sahanlığı Akdeniz kıyıları boyunca tek geniş kıta sahanlığı bölgesidir ve aslında doğu Akdeniz'in Levant Baseni'nde de Nil nehrine komşu kıta sahanlığı (Nil konisi) dışındaki tek geniş kıta sahanlığıdır. Ayrıca Türkiye'nin Ege, Marmara ve batı Karadeniz sahilleri boyunca yer alan kıta sahanlığı bölgeleri dışındaki tek kıta sahanlığıdır.

Bölgenin dolaşımı Doğu Akdeniz'in genel dolaşımını büyük oranda yansıtmakla birlikte, 1980'lerdeki bazı gözlemlere dayanılarak oldukça şematik bir gösterimle ortalama akımlar aşağıdaki şekilde kavramlaştırılmıştır. Daha önceki çalışmalarda gösterildiği gibi, Doğu Akdeniz dolaşımının bir kolu olan Küçük Asya akıntısı Lübnan ve Suriye kıyılarını izleyerek bölgeye Kıbrıs'ın doğusundan girer ve Türkiye'nin güney kıyıları boyunca girdaplar yaratarak ilerler. Kilikya Baseni'nin kuzeydoğu köşesindeki İskenderun ve Mersin Körfezleri ve geniş kıta sahanlığı bölgesi bu ortalama akımların önemli ölçüde değişikliğe uğradığı bir bölgedir

Kilikya Baseni'nin dolaşımının modellenmesi ve tahmini, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde yürütülmüş olan ve Avrupa ve Akdeniz ülkelerinin büyük bir bölümünü kapsayan MFSTEP projesinde geliştirilmiştir. Akdeniz'in değişik bölgelerindeki yakın-gerçek-zamanlı deniz gözlem sistemlerinin ve atmosfer modellerinin veri sağladığı, Akdeniz'in tümünü kapsayan bir dolaşım modeli, ve bu model sonuçlarını kullanan bölgesel ve kıyısal / kıta sahanlığı modelleri, etkileşimli olarak çalıştırılmaktadır. Başlangıç ve sınır koşulları model bölgeleri arasında paylaşılmakta, kütle, momentum ve ısı akıları deniz ve atmosfer modelleri arasında yüzey etkileşimi içinde bulunmaktadır.

Kilikya Baseni Modeli Princeton Ocean Model (POM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modelin yataydaki ayırımı 1.35 km dir ve bu ayırım gücüne ulaşabilmek için yaklaşık 3 s zaman aralığı ile çalıştırılmaktadır. Daha sonra MOMA Projesi çerçevesinde model alanı Datça Yarımadası'ndan İskenderun Körfezi'ne kadar Türkiye'nin tüm Akdeniz kıyısını kapsayacak şekilde genişletilerek ve modelin ayırım gücü korunarak tüm doğu Akdeniz kıyısal bölgesinde ayrıntılı sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır (Şekil 8).

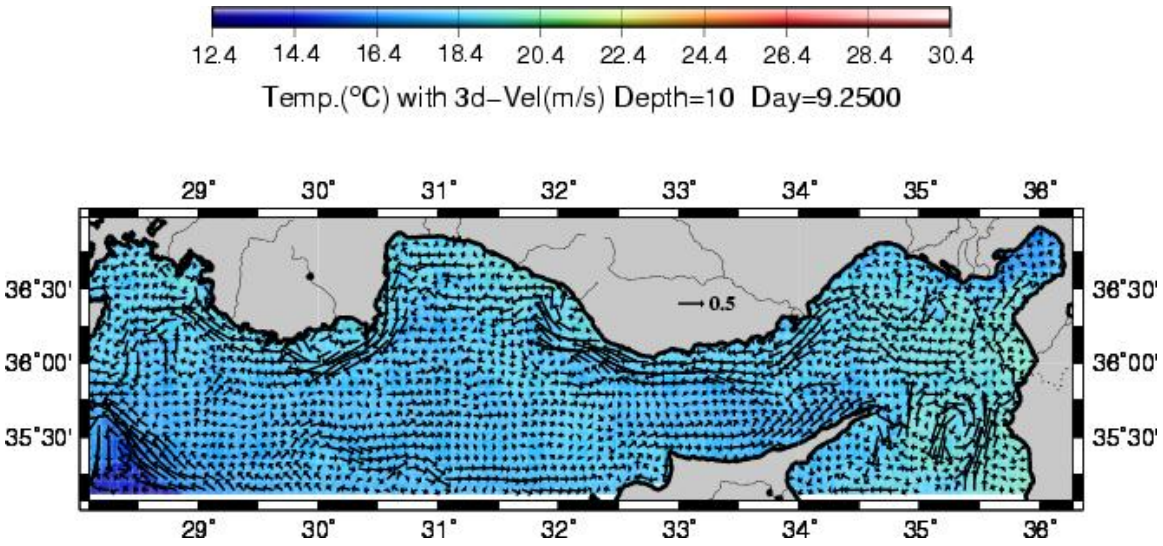
Kuzey Levant Denizi, Kilikya Baseni ve İskenderun Körfezi için ayrı ayrı ve günlük üretilen model öngörüleri, o günün 5 gün öncesinden başlayarak sonraki 5 günü kapsayan öngörüler şeklinde adresi yukarıda verilen MOMA web sitesinde kullanıma sunulmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi once MFSTEP adlı Avrupa Komisyonu destekli Entegre Proje'de geliştirilen Kilikya Baseni öngörüleri ve Şekil 8'de sunulan, MOMA projesinde model alanı genişletilerek uygulanan Kuzey Levant Denizi öngörüleri, daha sonra Akdeniz'de operasyonel oşinografi konusunda işbirliği sağlayan ve Avrupa'da bu konuda bir ağ oluşturan Mediterranean Operational Oceanography Network (MOON) http://www.moon-oceanforecasting.eu/ konsorsiyumu içinde yer almıştır. Akdeniz'de benzer operasyonel öngörüler yapan diğer merkezlerle birlikte üretilen bu öngörüler 'Cilician Basin Forecasting System' ve 'Northern Levantine Forecasting System' adları altında

http://www.moon-oceanforecasting.eu/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=38

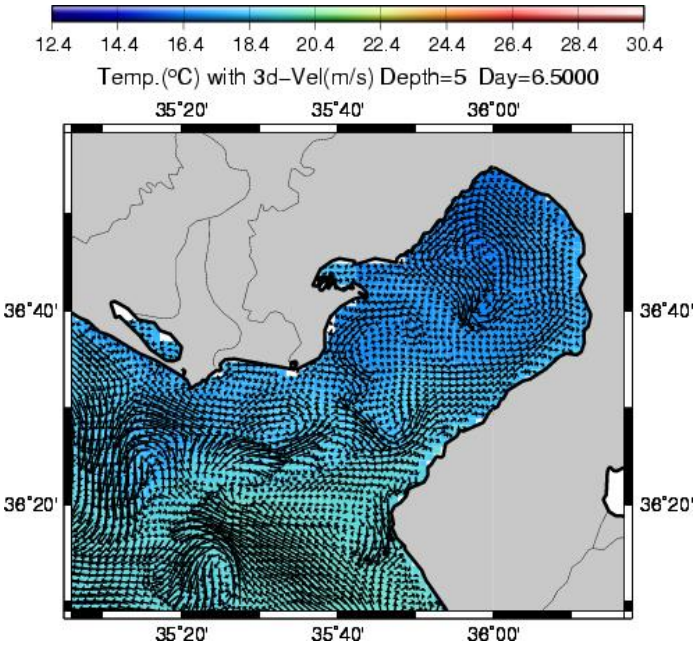
ve

http://moma.ims.metu.edu.tr/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=58

linkleri ile MOON ve MOMA adreslerinde parallel olarak yayınlanmaktadır.



Şekil 8. Kuzey Levant Denizi dolaşım modeli günlük olarak üretilen ve dolaşım durumunun 5 gün once ve 5 gün sonrasını kapsayan öngörü sonuçları

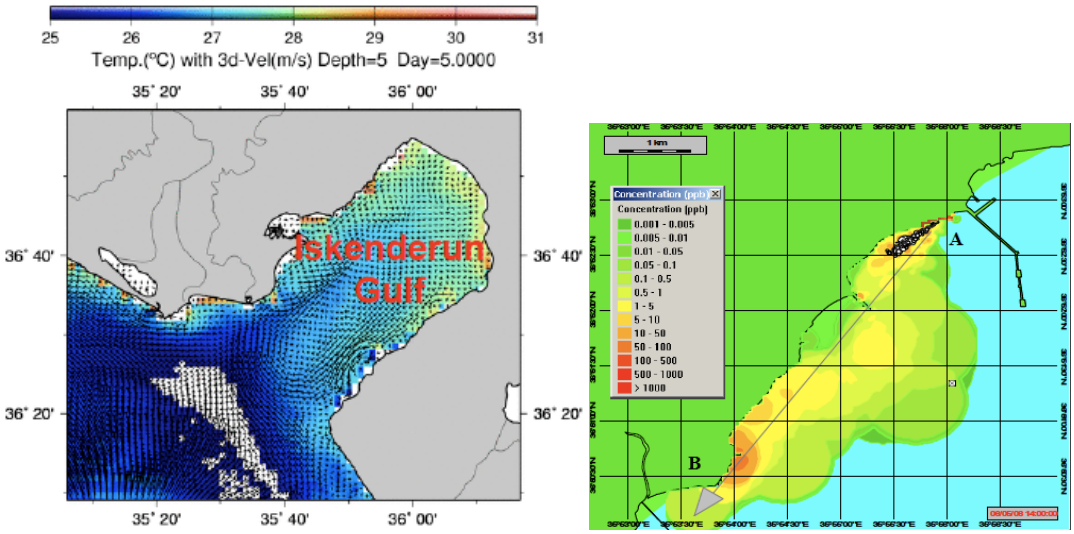


Şekil 9. İskenderun Körfezi dolaşım modeli günlük öngörü sonuçları

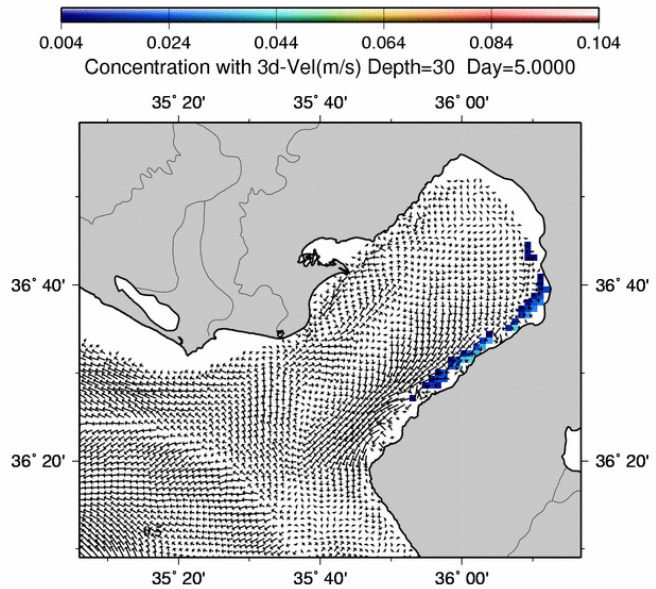
Şekil 8'de akıntı vektörleri 10 noktada bir verilmiştir, oysa modelin gerçek çözünürlüğü Şekil 9'da görüldüğü gibi çok daha yüksektir ve İskenderun Körfezi gibi ilgi odağı olan bölgelerde ayrınyılı veriler üretmekte ve taşınım modellerinde kullanılabilmektedir.

Kıyısal kaynaklardan kirlenme konusunda öngörü yeteneğinin geliştirilmesine örnek oluşturabilecek şekilde, günlük gerçek verilerle elde edilen model öngörüleri Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hatları terminallerinden oluşabilecek petrol yayılması için

oluşturulan bir yayılım modelinde (Şekil 10) gerçek zamanlı olarak kullanılmış ve yeteneği gösterilmiştir. Botaş International Ltd. (BİL) tarafından desteklenerek yapılan bu çalışma, petrol yayılımı gibi yüksek riskli bir konuya sorumlu kurumlarının yeterince ilgi göstermemesi sonucunda, tarafımızca anlaşılamayan nedenlerle sürdürülememiştir.



Şekil 10. İskenderun Körfezi'nde Kilikya Baseni modelinden elde edilen yüzey sıcaklık, akıntı öngörüleri ve BOTAŞ Bakü-Tiflis-Ceyhan petrol boru hattı terminali yakınında petrol yayılmasının modellenmesi



Şekil 11. ULLA gemisi batığından yayılan kimyasal maddenin 5. günde dağılımı ve 30m derinlikte akıntılar

Petrol yayılması öngörüleri gibi, kimyasal madde yayılımlarında da model dolaşım öngörüleri kritik önem taşımaktadır. İskenderun Körfezi içinde 8 Eylül 2004 tarihinde

batan ULLA gemisinden yayılması olası toksik kül ve Cr^{+6} izotopları için olaydan 5 gün sonrası için yapılan olası yayılma öngörüleri Şekil 11'de gösterilmektedir.

4. BÖLGESEL ATMOSFERİK DOLAŞIM VE TAŞINIM MODELLERİ VE ÖNGÖRÜ SİSTEMLERİ

4.1. Aerosol Toz Taşınımı Model Öngörüleri

Türkiye ve çevresindeki kıtalardaki çöl ve yarı-kurak alanlardan meteorolojik nedenlerle kalkan toz aerosollerin taşınması, iklim sistemi, kara ve deniz ekosistemleri, insan faaliyetleri ve sağlığı açısından büyük öneme sahiptir. Bu nedenlerle geliştirilen taşınım modelleri ile öngörülerin yapılabilmesinin pek çok faaliyet alanında etkisi bulunmaktadır.

Bölgemizde de toz taşınım modelleri geliştirilmiş ve daha önce uygulanmıştır. Özellikle Erice, İtalya'da yürütülen bir çalışma çerçevesinde ilk kez NCEP/ETA bölgesel atmosferik dolaşım modeli ile akuple edilerek toz taşınımı diğer hareket ve termodinamik denklemlerle birlikte çözülmüş ve Nickovic ve Dobricic (1996) tarafından ilk kez yayınlanmıştır.

Toz modelinde ele alınan en önemli süreçlerden biri karasal alanlardan kalkan tozun kaynak teriminin doğru temsil edilmesidir. Modelin dikkate aldığı parçacık büyüklüğü, toprak ve arazi sınıflandırması ve nemi, kuru ve ıslak çökelme, sınır tabaka yüzey etkileşimleri ve türbülans etkileri gibi fiziksel süreçler giderek geliştirilerek DREAM modeli (Nickovic, 2001) oluşturulmuştur. Modelin ilk gelişimi, en başta Fyodor Mesinger ve Zavisa Janjic gibi, ETA modelinin geliştirilmesine önemli katkılar yapmış olan Belgrad ekolünden Nickovic ve Dobricic tarafından, Özsoy'un önerisiyle gerçekleştirilmiştir. Erice, İtalya'da bir ortak çalışmada gerçekleştirilen bu ilk gelişme sonrasında Atina'da Skiron öngörü sistemi içerisinde yer alan Nickovic ve diğerleri tarafından DREAM modeli geliştirilmiştir. DREAM modelinin kısa bir tanımı aşağıdaki link'te bulunabilir: http://www.ims.metu.edu.tr/models/aral/pdf/

Halen kullanılan modelde kil, ince ve kalın silt ve kum büyüklük dağılımına karşılık gelen 0.73, 6.1, 18 and 38 μm tane büyüklükleri alınmıştır. Bunlardan ilk ikisi uzun mesafeli taşınmakta diğer ikisi kaynağın oldukça yakınında çökmektedir. Ayrıca tozun etkisiyle radyasyon ve ısı iletiminde olan değişiklikler de dikkate alınmaktadır (Perez et al, 2006) ve iklim etkisi böylece incelenebilmektedir.

Dream modeli daha önce ODTÜ-DBE'nde ARAL-KUM adlı bir Avrupa projesinde kullanılmış ve toz taşınımı öngörüleri aşağıdaki adreslerde yayınlanmıştır:

Project Aral-Kum Meteorological and Dust Forecasts
http://www.ims.metu.edu.tr/models/aral/

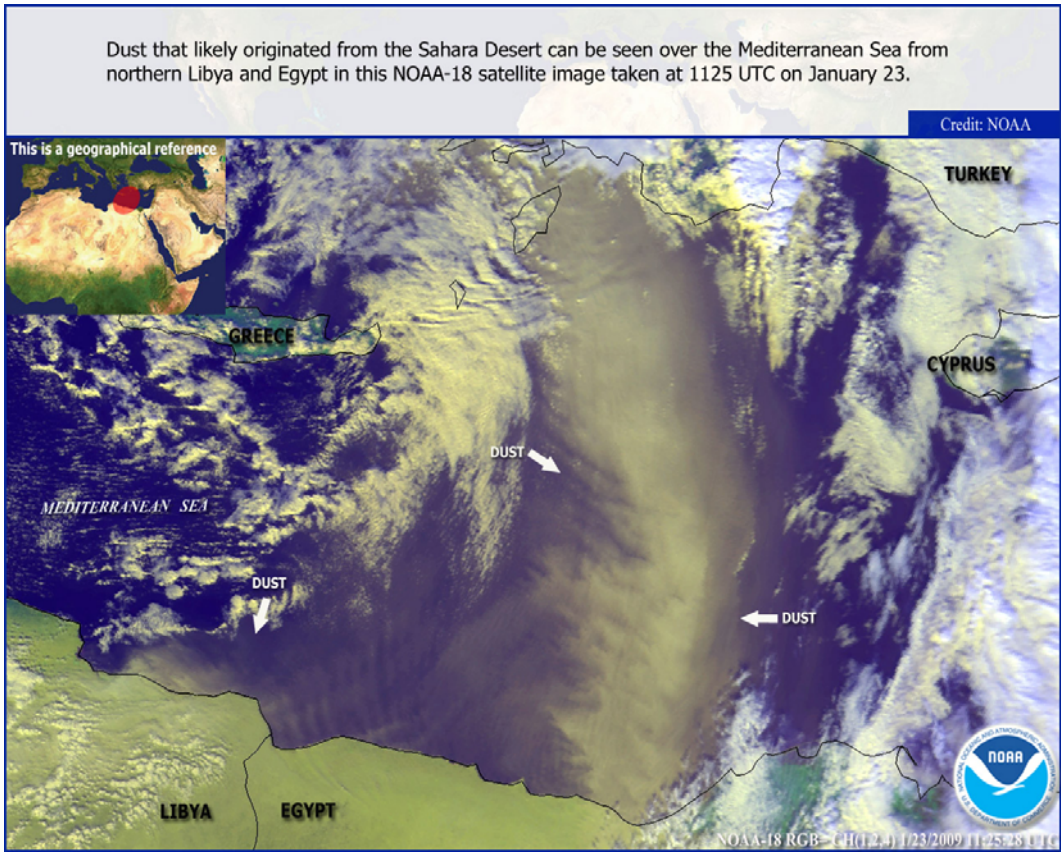
Euro-Asia Meteorological and Dust Forecasts
http://www.ims.metu.edu.tr/models/med/

MOMA Projesinde Afrika – Asya ve Avrupa kıtalarının büyük bölümünü kapsayan alan için günlük aerosol toz taşınımı modeli kurulmuş ve günlük öngörüler üretmesi sağlanmıştır. Model aynı anda hem ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde hem de Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde çalışmakta ve her gün 5 günlük öngörüler üretmektedir. Öngörüler aşağıdaki bağlantıdan ulaşılabilir:

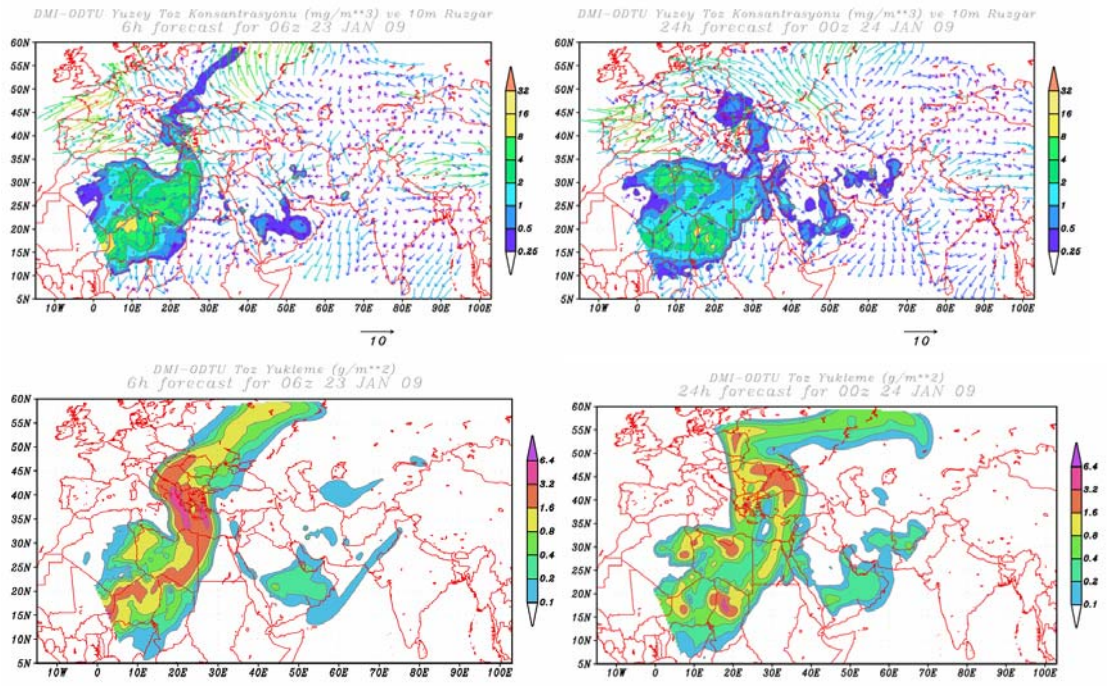
http://www.dmi.gov.tr/tahmin/toz-modeli.aspx

Bölgemizde kuzey Afrika, Arabistan yarımadası, Suriye, Irak, İran ve Afganistan bölgesi ile Orta Asya'da geniş bir alan çöllerle kaplıdır ve bunun dışında pek çok kurak ve yarı kurak alan toz taşınımına katkı yapmaktadır. Afrika'da Büyük Sahra'dan kalkan toz, Akdeniz üzerinden Türkiye'ye ve Avrasya'ya taşındığı gibi sık sık kuzey Avrupa'ya, Rusya'ya veya Orta Asya'ya ulaşmaktadır, ve bununla ilgili pek çok gözlem ve model öngörüleri şimdiye değin yapılmıştır.

Şekil 12'de örnek olarak verilen 23 Ocak 2009'da uydu görüntüsünde Afrika'da Libya ve Mısır bölgesinden kalkıp akdeniz'i geçen toz bulutunun Türkiye'nin güney kıyılarına ulaştığı görülmektedir. Şekil 13'teki model öngörülerinden görüleceği gibi, toz bulutu sadece Mısır ve Libya'dan değil gerçekte Sahra çölü ortasından kalkmakta, Balkanlara ve Rusya'ya ulaşmaktadır.



Şekil 12. 23 Ocak 2009 tarihli Afrika'dan kaynaklanan Sahra tozu bulutu



Şekil 13. 23-24 Ocak 2009 toz taşınımı olayında yüzey toz derişimi, 10m yükseklikte rüzgarlar (üstte) ve toplam kolonda toz yükleme

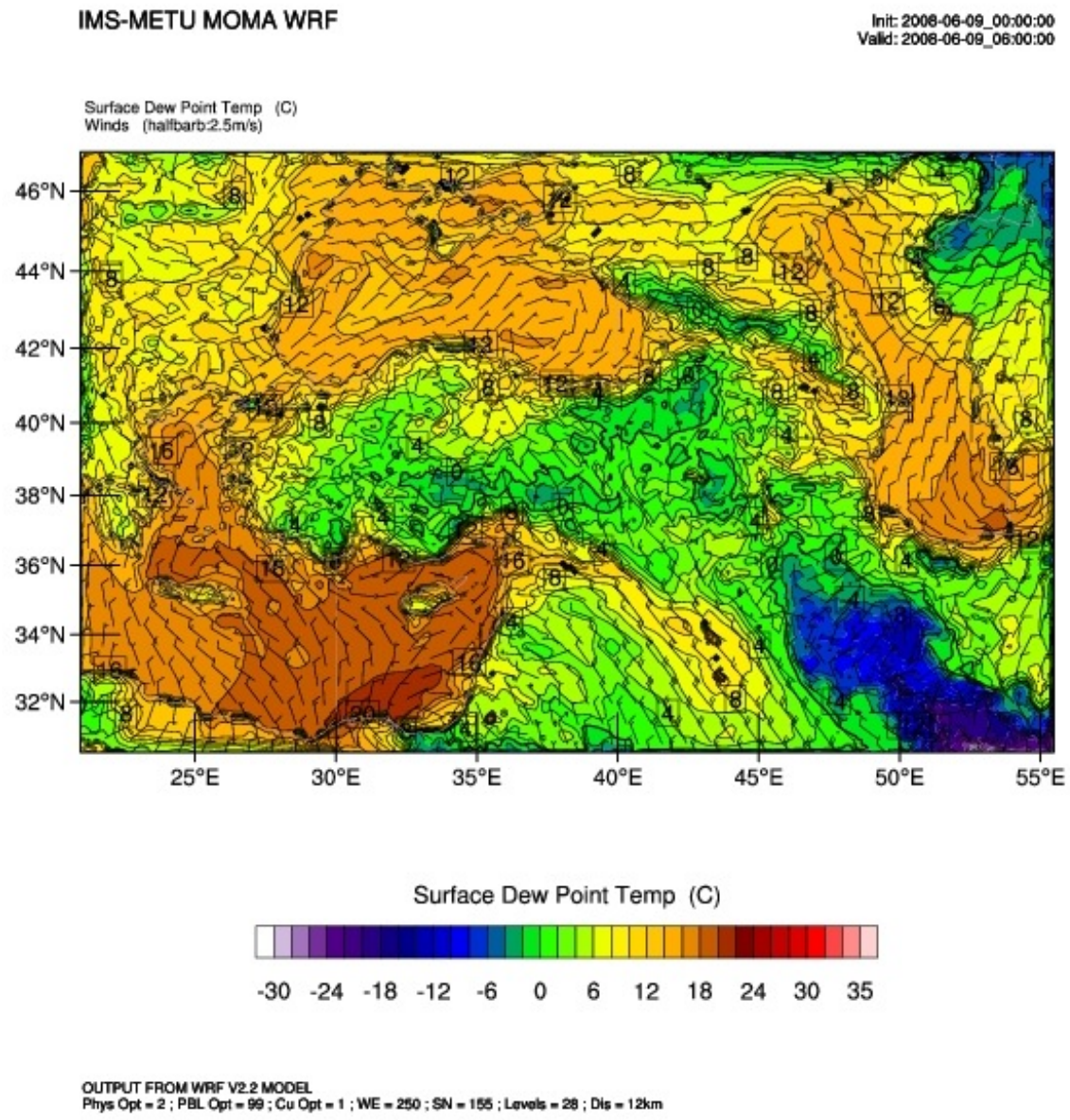
4.2. Kıyısal Bölge Orta-Ölçekli Atmosfer Modelleri ve Veri Asimilasyonu

Bugün dünyada, gerek araştırma kuruluşlarında, gerekse meteoroloji servisi veren kuruluşlarda, pek çok atmosferik dolaşım modeli kullanılıyorsa da, yukarıda verilen amaçlara uygun bölgesel bir model olan WRF modelinin öncelikle araştırma için kullanıma sokulması hedeflenmiştir.

"Weather Research and Forecasting" (WRF) modeli, operasyonel öngörüler kadar atmosferik araştırmalara yanıt verebilecek yeni nesil bir sayısal hava tahmini modelidir. Birden fazla dinamik merkez koduna sahiptir, 3DVAR adıyla anılan bir veri asimilasyonu sistemine sahiptir, ve paralel hesaplamaya olanak veren, gelişmeye açık bir yazılım mimarisi kullanır. Bölgesel öngörülerde geniş spektrumlu (sinoptik ve orta ölçekli) amosferik olayların incelenmesine olanak verir. Aslında model daha once benzer amaçlarla kullanılan, ancak son yıllarda terkedilen MM5 modelinin geliştirilerek yenilenmiş bir versiyonudur. Ayrıntılı bilgi http://wrf-model.org/index.php adresinde bulunabilir.

Model önce ODTÜ DBE'nde parallel hesaplama ortamındaki derleyiciler ile kurulmuş ve denenmiştir. Bölgesel modelin sınırları ilgi alanımızdaki üç denizi, Doğu Akdeniz (Levant Baseni, Ege, Marmara Denizleri), Karadeniz ve Hazar Denizi'ni, ve komşu kara alanlarını kapsayacak şekilde seçilmiştir. Üst-modelde 12km çözünürlükle hesaplama yapılmış, Türkiye anakarasını ve komşu kıyısal denizleri kapsayacak şekilde seçilen bir alt-bölgede de 4km orta ölçekli çözünürlük kullanılmıştır.

Modelin başlangıç ve sınır şartları için veriler European Centre For Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)'ten alınmaktadır. Günü gününe verilerin otomatik olarak elde edilebilmesi için ECMWF Mars Data Server ODTÜ_DBE'nde kurulmuş ve https://olba.ims.metu.edu.tr:9443 adresinde hizmet vermesi sağlanmıştır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü işbirliği sayesinde ECMWF verileri bu sistemle otomatik iletimle elde edilmekte ve doğrudan modelin kullanımı için arşivlenmektedir.



Şekil 14. WRF model öngörüleri – 12 km çözünürlükle Doğu Akdeniz, Ege, Türk Boğazları, Karadeniz, Hazar alanlarını kapsayan bölgesel öngörüler

Şekil 14'te bölgesel model kara ve deniz alanları için üretilen yüzey atmosferik değişkenlere bir örnek gösterilmektedir. Aynı model sistemi daha sonra Devlet

Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü bilgisayarlarında kurulmuş ve her iki kurumda da yedekli ve benzer koşullarda parallel olarak çalıştırılmaktadır. WRF modeli deneme amacı ile şu an her gün üç günlük tahminler yapacak şekilde çalıştırılmaktadır. Ancak diğer iş paketinde geliştirilen veri asimilasyonu yöntemlerinde ilerleme sağlanarak daha uzun öngörü süreleri sağlanabilecektir.

Bölgesel ölçekli sayısal hava tahmin modellerinde veri asimilasyonu yöntemi ile başlangıç veri setine gözlem verileride eklenerek kısa süreli (bir kaç günlük) tahmin kalitesinin artırılması hedeflenir. Bu kapsamda, hızla kalite kontrolünden geçirilmiş gözlemler veri asimilasyonunda kullanılarak model sonuçlarının gözlemlerle uyumlu sonuçlara ulaştırılması en önemli uygulama alanıdır. Başlangıç ve sınır şartları belirlenen bir orta ölçekli atmosfer modelinde genelleştirilmiş bir invers operatorü gözlem ve başlangıç verilerine uygulanıp modelin başlatılacağı analiz verileri elde edilir.

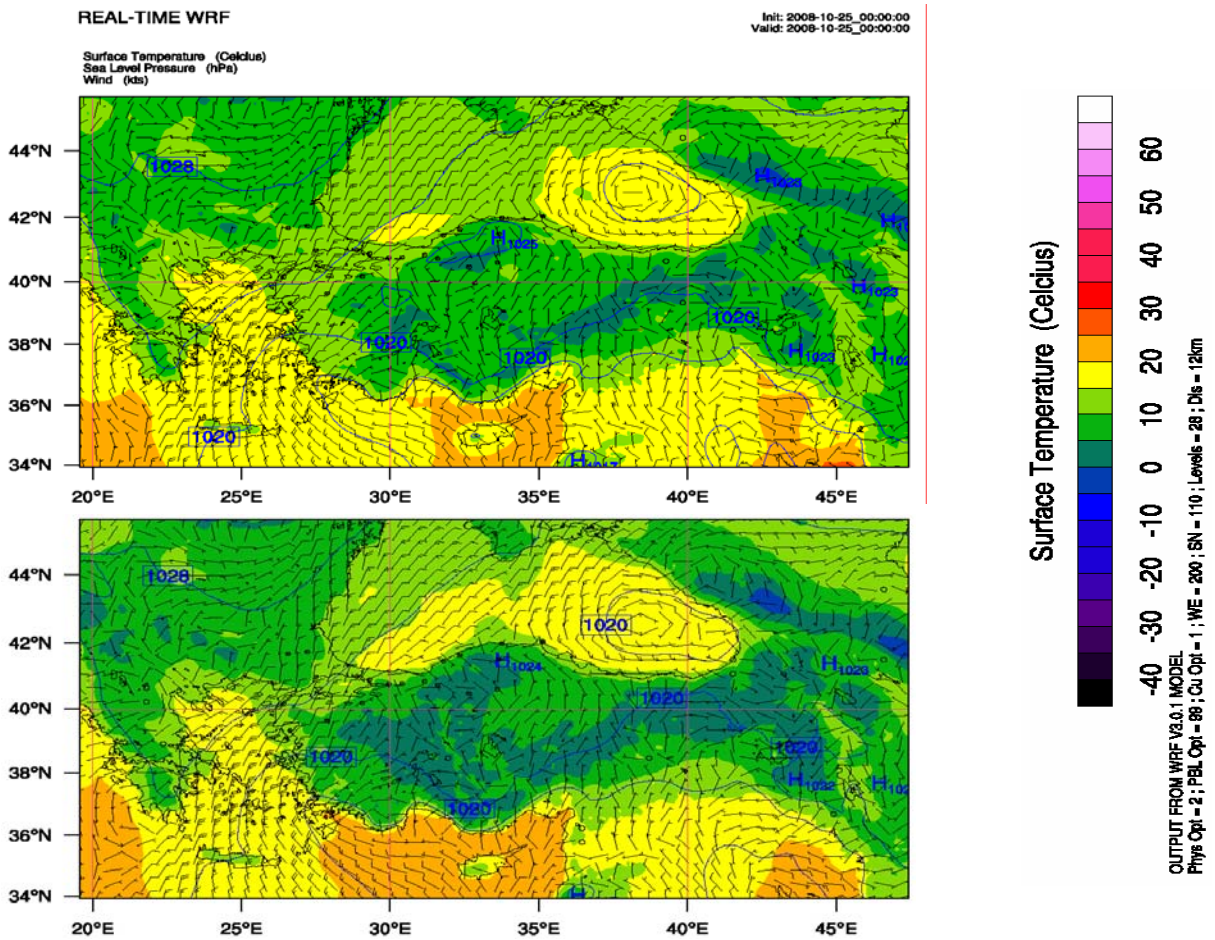
3D-Var sisteminde ilk olarak 'backround' hata kovaryans matrisleri hesaplanır. Backround hataları 12-saatlik ECMWF verileri kullanılarak hesaplanır. Daha sonra modelin çalışmaya başlayacağı günün 00:00 GMT için asimilasyon da kullanılmak üzere gözlem verileri elde edilir ve bu veriler içinde ayrı bir kovaryans matrisi hesaplanır. Elde edilen hata matrisleri (background ve gözlem) başlangıç ve gözlem verileri ile optimizasyon fonksiyonunda kullanılarak modelin başlangıç değerleri elde edilir.

WRF modelinin bölgeyi temel alan bir versiyonu ile bu model için geliştirilmiş olan 3DVAR veri asimilasyon kodları günlük olarak çalıştırılmakta, hem de 3DVAR yöntemi ile güncel verilerin asimilasyonuna uygulanmaktadır. Veri asimilasyon yönteminin dayandığı 'background error covariance' NMC metodu kullanılarak, model sonuçlarının istatistik analizi ile elde edilebilmektedir. Kovaryans bilgisi arşivlenerek hem statik olarak hem de WRF modeli ile etkileşimli çevrim içinde veri asimilasyonunda kullanılabilmektedir.

Veri asimilasyonuna sokulan gerçek veriler hâlihazırda ECMWF'ten günlük olarak alınmaktadır. Bu verilerin iletilmesi için ODTÜ-DBE'de bir bligisayarda ECMWF arayüzü olan ecgate yazılımı kurulmuş ve doğrudan veri iletişimi sağlanmıştır. Yerel verilerin DMİ tarafından gerekli formatta doğrudan sağlanması için çalışmalar yapılmış ve veri asimilasyonu programlarının ODTÜ'den sonra DMİ bilgisayarlarında çalıştırılması gerçekleştirilmiştir.

Model farklı seçilmiş durumlar için çalıştırılmış ve tahmin edilen 4-km lik yağış sonuçları farklı gözlem istasyonlarından elde edilen yağış değerleri ile karşılaştırılmıştır. Verifikasyon amaçlı kullanılan durumlar 3-4 Kasım 2006, 1 Ağustos 2007, 15 Kasım 2007, 20 Mart 2008, ve 25-26 Ekim 2008 tarihleri olarak seçilmiştir. WRF-3D-Var sistemi yukarıda belirlenen durumlar için çalıştırılmış ve analiz edilmiş olsa bile sistem aynı zamanda yakın zamanlı olarak çalışmaya devam etmekte ve tahmin ürünleri DMI'nin web ortamında yayınlanmaktadır.

Örneğin, 25-Ekim-2008 tarihinde 00:00 GMT deki WRF öngörülerinin başladığı andaki yer sıcaklığı Şekil 15'te gösterilmiştir. 3DVar ile elde edilen analiz değerleri kontrol değerlerinden farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklarda başlangıçta kullanılan gözlem değerlerinin etkisini göstermektedir. Her bir durum için 48 saatlik tahminler yukarıda elde edilen analiz değerlerinden başlanarak yapılır. Asimilasyonda kullanılan gözlem verileri, DMİ'nin kendi kaynaklarından ve ECMWF'ten elde edilmiştir. Genel olarak örnek vermek gerekirse, DMİ gözlemleri toplamda 504 adet olup bunların 481 tanesi sinoptik, 5 tanesi gemi, ve 18 taneside radyosonde ölçümlerinden oluşmaktadır. ECMWF için ise toplamda 272 gözlem olup bunların 248 tanesi sinoptik, 6 tanesi gemi, ve 18 taneside radyosonda ölçümleridir. ECMWF verisinin indirilip gerçek zamanda kullanılmasında yaklaşık olarak 8 saatlik bir gecikme olduğundan dolayı DMİ verilerinin bu tip tahminlerde kullanılması daha uygundur. DMİ verilerinin, proje süresinde otomasyona uygun hale getirilerek BUFR formatında hazırlanmaya başlanması da veri asimilasyonu için veri kullanımını kolaylaştırmıştır.



Şekil 15. 25-Ekim-2008 saat 00:00 GMT de başlangıç yer sıcaklıkları. Üstteki panel asimilasyonsuz (kontrol) değerleri ve alttaki panelde 3D-Var ile elde edilen analiz değerlerini göstermektedir.

Asimilasyonda DMİ ve ECMWF gözlemleri kullanıldığında 26 Kasım 2008 tarihinde elde edilen 24 saatlik toplam yağış ve alansal farklılıkları aşağıda gösterilmiştir. Yağışın alansal dağılımında büyük ölçüde benzerlik görülmesine karşılık, ECMWF gözlemleri kullanıldığında yağış bandının merkezinde daha şiddetli yağışlar görülmüştür.

Veri asimilasyonunun verifikasyonu ve model sonuçlarında gerçekleştirilen iyileştirmenin tahmin edilmesi uzun bir süreçtir. Bazı istasyonlarda görülen şiddetli yağış miktarları model 3DVar sistemi ile çalıştırıldığında çok daha gerçekçi sonuçlar vermekte ve modelin ürettiği yağış miktarını artırarak ölçüm değerlerine yaklaştırmaktadır. Noktasal bazda yağış miktarında elde edilen bu iyileştirmeler kısa zamanlı ani ve şiddetli yağış olaylarına bağlı olarak gelişen taşkın olaylarının tahmininde çok kritik öneme sahip olacaktır.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Stratejik önem taşıyan öncelikli kıyısal deniz bölgelerimize odaklı gözlem ve öngörü sistemleri kurulmuş, güncel ve gerçek zamanlı olarak elde edilen verilerden yaralanılarak deniz ve atmosferin gelecek durumları hakkında öneriler düzenli olarak ve her gün yeniden üretilmiştir. Modellerin kaliteli verilere dayanılarak ve gözlem sonuçlarıyla doğrulanarak geliştirilmesiyle, gerçekle daha uyumlu ve gelecek hakkında daha kesin öngörülere ulaşılmıştır. Veri asimilasyonu yöntemlerinin denendiği atmosfer modelleri uygulamada deniz ve kara alanlarımızda gerçeğe daha yakın veriler üretmeye adaydır. Gözlem ve öngörü sistemlerinin ürettiği bilgilerin yayılım ve taşınım olaylarına uygulanması gösterilmiş ve başarılı sonuşler alınmıştır.

Ülkemizde gözlem ve öngörü sistemlerinin geliştirilmesi karar süreçlerini olumlu etkileyebilcek önemli katkılar sağlayabilecektir. Ancak, kurumlarımızın bu olanakları somut olarak sahiplenmesi ve çevreyi korumak ve sürdürülebilir çevre yönetimi hedefleri doğrultusunda kullanması gerekmektedri.

Ulusal ve bölgesel ekonomik gelişme sonucunda, giderek daha fazla olumsuz etkilenen bölgelerde kurulacak Kıyısal Gözlem Sistemleri, kıyısal sistemdeki değişimlerin günü gününe izlenebilmesine olanak verecek, dolayısıyla hem kaynak yönetimi karar süreçlerine bilgi aktarabilecek, hem de tahminlerde kullanılabilecek verileri üretebilecektir. Türk Denizleri'nin tümünde kritik öneme sahip alanları örnekleyebilme yetisiyle kıyısal gözlem sistemi denizlerimizdeki araştırma programlarına istenen verileri sürekli olarak sağlayabilecektir. Çevresel duyarlılığı bulunan bölgelerde hızla yürürlüğe konulması gereken Eylem Planları, ancak gözlem sistemlerinin üreteceği verilere dayandığı sürece başarılı olabilir. Sürdürülebilir kalkınmanın en önemli araçlarından olan Kıyısal Alanlar Yönetimi, ancak bu bilgilere ve bu bilgilerle desteklenen bilimsel sorgulamalara dayanılarak geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Gregg, M. C. and E. Özsoy (1999). Mixing on the Black Sea Shelf North of the Bosphorus, Geophysical Research Letters 26, 1869-1872

Gregg, M. C. and E. Özsoy (2002). Flow, Water Mass Changes and Hydraulics in the Bosphorus, J. Geophys. Res., 107, noC3, pp. 2.1-2.23.

Ilıcak, M., Özgökmen, T. M., Özsoy, E. ve Fischer, P. F., (2009). Non-hydrostatic Modeling of Exchange Flows Across Complex Geometries, Ocean Modelling, (basımda).

Nickovic, S. and S. Dobricic (1996). A Model for Long-range transport of Desert Dust, Mon. Weather Rev., 124, 2537-1544.

Kubilay, N., Nickovic, S., Moullin, C. and F. Dulac (2000). An illustration of the Transport and Deposition of Mineral Dust onto the eastern Mediterranean, Atmos. Environ., 34, 1293-1303.

Nickovic, S., Kallos, G., A. Papadopoulos, O. Kakaliagou (2001). A Model for Prediction of Dust Cycle in the Atmosphere, J. Geophys. Res. v. 106, D16, 18,113-18,129.

Özsoy, E., Kubilay, N., Nickovic, S., Moulin, C. (2001). A hemispheric dust storm affecting the Atlantic and Mediterranean in April 1994: Analyses, modeling, ground-based measurements and satellite observations, J. Geophys. Res., 106, 18,439-18,460.

Özsoy, E., Latif, M. A., Beşiktepe, S., Çetin, N., Gregg, N. Belokopytov, V., Goryachkin, Y. and V. Diaconu (1998). The Bosphorus Strait: Exchange Fluxes, Currents and Sea-Level Changes, in: L. Ivanov and T. Oğuz (editors), Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, NATO Science Series 2: Environmental Security 47, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, vol. 1, 367 pp + vol. 2, 385 pp.

Özsoy E., Di Iorio D., Gregg M. and Backhaus J. (2001). Mixing in the Bosphorus Strait and the Black Sea Continental Shelf: Observations and a Model of the Dense Water Outflow, J. Mar. Sys., 31, 99-135.

Nickovic, S., Pejanovic, G., Özsoy, E., Pérez, C., and Baldasano., JM, (2004). Interactive Radiation-Dust Model: A Step to Further Improve Weather Forecasts. International Symposium on Sand and Dust Storm. September 12-14. Beijing, China.

Pérez, C., S. Nickovic, G. Pejanovic, J.M. Baldasano and E. Özsoy (2006). Interactive dust-radiation modeling: a step to improve weather forecasts, Journal of Geophysical Research, 111, D16206, doi:10.1029/2005JD006717.

Pérez, C., Nickovic, S., Pejanovic, G., Özsoy, E., and Baldasano, J.M., (2006). Impact of Saharan dust on numerical weather forecasts. European Geosciences Union EGU 2006. April, Vienna, Austria.

Sözer, A. and E.Özsoy (2002). A Three-Dimensional model of Bosphorus Strait

Dynamics, The 2nd Meeting on the Physical Oceanography of Sea Straits, Villef ranche, 15th-19th April 2002, pp. 207-210.

İletişim Bilgileri

Prof. Emin Özsoy
ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, Mersin 33730

Tel: (324) 521 2150

e-mail: ozsoy@ims.metu.edu.tr

(Meteoroloji ve Oşinografi Mükemmeliyet Ağı (MOMA)
Gözlem ve Model Öngörü Sistemleri)

3-BOYUTLU PALETLİ ARAÇ MODELİ GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞRULANMASI

Kemal Çalışkan [(a)], Y. Samim Ünlüsoy [(b)], Burak Tuncer [(c)]

[(a)] ODTÜ Makina Müh. Böl., Ankara, kcaliskan@taru.com.tr

[(b)] ODTÜ Makina Müh. Böl., Ankara, unlusoy@metu.edu.tr

[(c)] FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., Ankara, burak.tuncer@fnss.com.tr

ÖZ

Bu bildiride bağımsız süspansiyona sahip paletli araçların dinamik simülasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilen matematiksel modelleme ve model doğrulama çalışmaları anlatılmaktadır. Gövde ve süspansiyonlardan oluşan çok gövdeli dinamik model, esnek bant palet modeli ve güç aktarım sistemi modelini içeren bir paletli araç modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen araç modeli kullanılarak paletli araçların performans, seyir konforu ve yönlendirme analizleri eş zamanlı olarak gerçekleştirilebilmektedir. Modelin doğruluğu gerçek bir paletli araç kullanılarak yapılan kapsamlı saha testleri ile sınanmıştır. Modelin başarısı, simülasyon sonuçları ile test ölçümleri arasındaki uyum ile kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paletli Araçlar, Performans, Saha Testleri, Seyir Konforu, Simülasyon, Yönlendirme.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A 3-DIMENSIONAL TRACKED VEHICLE MODEL

ABSTRACT

In this paper, modeling and validation stages of a mathematical tracked vehicle model is described. A tracked vehicle model which is composed of the multibody dynamics model of the vehicle body and the suspensions, the flexible band track model, and the powertrain model is developed. The developed model provides for the simultaneous simulation of performance, ride, and steering dynamics of tracked vehicles. The model is validated through field tests that are performed with a real full sized tracked vehicle. Good agreement is obtained between the simulation results and test measurements for all three aspects of tracked vehicle dynamics.

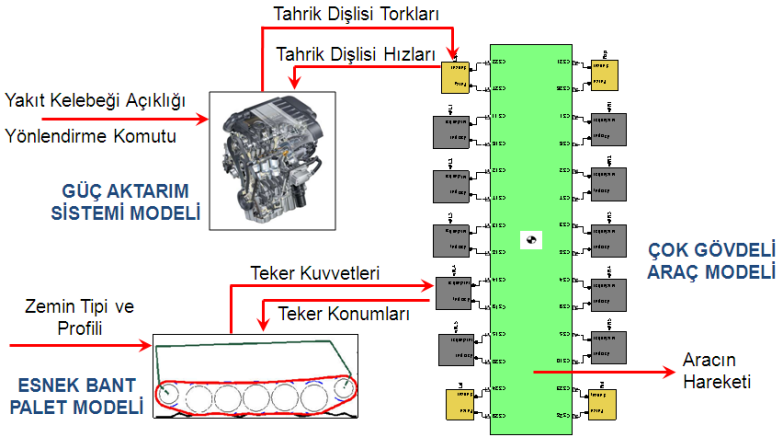
Keywords: Field Tests, Performance, Ride, Simulation, Steering, Tracked Vehicles.

1. GİRİŞ

Tasarım parametrelerinin araç dinamiği üzerine etkilerinin anlaşılması ve tasarım parametrelerinin bilgisayar ortamında eniyilenmesi için paletli araç dinamiğinin bilgisayar ortamında yüksek doğrulukta simülasyonunun gerçekleştirilmesi gereklidir. Literatürde paletli araç dinamiğinin farklı yönleri (performans, seyir konforu, ve yönlendirme) üzerine yoğunlaşan çeşitli matematiksel araç modelleri bulunmaktadır. Ancak bu modeller paletli araç dinamiğinin 3-boyutlu analizi için yeterli değildir. Ayrıca, araç alt sistemlerinin (örneğin palet-zemin etkileşimi, dinamik palet gerginliği) incelenmesi ve modellenmesi konusunda literatürde yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada paletli araç dinamiğini tüm yönleri ile ele alan, saha testleri ile doğrulanmış 3-boyutlu bir matematiksel paletli araç modeli sunulmaktadır. Geliştirilen araç modeli kullanılarak simülasyonların gerçekleştirilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım, burulma kollu süspansiyona sahip paletli araçların dinamik davranışının değişik konfigürasyonlarda, farklı parametre değerleri kullanılarak ve çeşitli zeminler üzerinde incelenmesine olanak sağlamaktadır.

2. PALETLİ ARAÇ MODELİ

Paletli araç dinamik modeli üç temel alt sistemden oluşmaktadır. Modelin alt sistemleri ve bu sistemler arasındaki veri akışı Şekil 1'de gösterilmiştir.



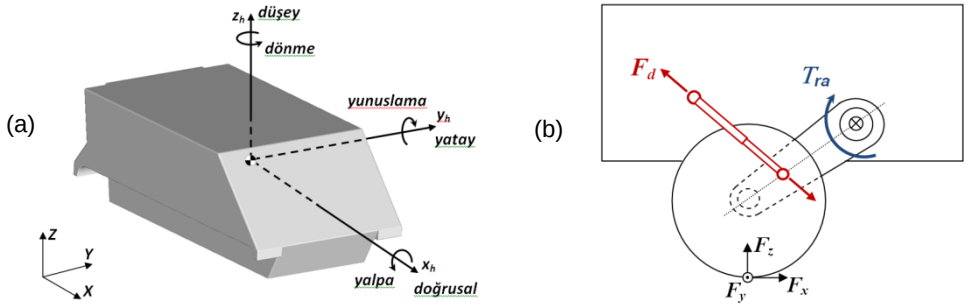
Şekil 1. Paletli Araç Model Şeması

2.1. Aracın Çok Gövdeli Dinamik Modeli

Araç gövdesi ve süspansiyonlar çoklu gövde dinamiği kullanılarak modellenmiştir. Araç gövdesi altı serbestlik derecesine sahiptir (Şekil 2a). Süspansiyon kolları gövdeye tek serbestlik dereceli olarak bağlanmıştır. Burulma çubuğunun dönme açısına bağlı olarak araç ve süspansiyon kolu arasında reaksiyon torku oluşmaktadır (Şekil 2b). İstenen tekerlerde gövde ile süspansiyon kolu arasında doğrusal sönümleyici yerleştirilebilmektedir. Teker-palet-zemin etkileşiminden gelen doğrusal-düşey-yanal kuvvetler teker merkezleri üzerinden çok gövdeli dinamik modele uygulanmıştır.

2.2. Esnek Bant Palet Modeli

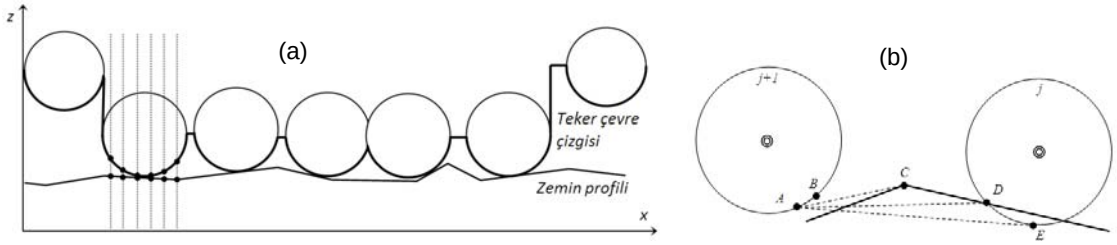
Yüksek hızlı paletli araçlarda genellikle birbirine pinlerle bağlanan kauçuk kaplı kısa baklalardan oluşan paletler kullanılmaktadır. Bu tip paletlerin esnek bant olarak



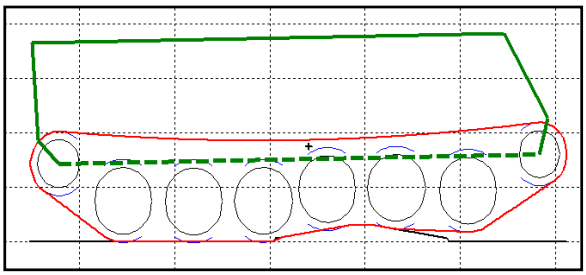
Şekil 2. (a) Gövdenin Serbestlik Dereceleri (b) Araca Etki Eden Kuvvetler

modellenmesi literatürde kabul görmüş bir yaklaşımdır [1,2,3]. Bu çalışmada sert ve yumuşak zeminler için esnek bant palet yaklaşımını esas alan iki farklı palet modeli geliştirilmiştir.

Sert zeminlerde, zeminin tamamen rijit olduğu ve tüm deformasyonun palet ve tekerde gerçekleştiği varsayılmıştır. Paletin şekli belirlenirken teker konumları ve yol yüzey profili dikkate alınmaktadır. Bu işlem için zemin profili ve teker çevre çizgisi Şekil 3a'da gösterildiği gibi belirli sayıda parçaya bölünmektedir. Şekil 3b'de gösterilen muhtemel palet eğimlerinin kıyaslanmasıyla paletin alacağı şekil belirlenmektedir. Şekil 4'te araç kasisli yolda hareket ederken paletin aldığı şekil gösterilmiştir.

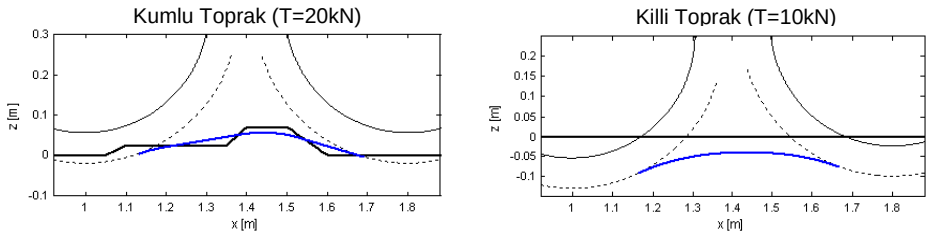


Şekil 3. Paletin Tekerler Çevresine Sardırılması



Şekil 4. Kasisli Yolda Palet Şekli

Yumuşak zeminlerde palet ve teker rijit kabul edilmiş ve tüm deformasyonun zeminde oluştuğu varsayılmıştır. Palet şekli belirlenirken paletin zemin üzerinde dengede kalması koşulu kullanılarak elde edilen denklemler kullanılmıştır [1,4]. Denge denklemleri nümerik olarak çözülerek tekerler arasında kalan paletin şekli belirlenmiştir. Geliştirilen çözüm yöntemi her tür zemin tipi ve profilinde palet şeklinin elde edilmesini sağlamaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Yumuşak Zeminde Palet Şekli

Palet şeklinin belirlenmesi işleminin sonucunda paletin tekerlere yaklaşım açıları bulunmuş olur. Palet gerginliği de bilindiği takdirde yaklaşım açıları kullanılarak paletin tekerlere uyguladığı kuvvetlerin bulunması mümkündür. Palet gerginliği, paletin şekline ve uygulanan sürüş/fren torkuna göre değişmektedir. Dinamik palet gerginliği hesaplanırken tahrik dişlisi ile avare çarkı arasında sarkmış biçimde duran paletin şekli ikinci dereceden bir polinom olarak varsayılmış ve sarkan palet doğrusal olmayan bir yay olarak modellenmiştir.

Palet kuvvetlerine ek olarak tekerler üzerine palet-zemin temasından kaynaklanan dik kuvvetler uygulanmaktadır. Sert zeminlerde bu kuvvetler radyal yay modeli kullanılarak hesaplanmıştır [5]. Yumuşak zeminlerde Denklem 1 ile verilen basınç-batma bağıntısı kullanılmıştır [1]. Denklemde p dik basıncı, z deformasyonu, k_c-k_ϕ-n zemin sabitlerini, b palet genişliğini temsil etmektedir.

$$p = \left(k_c / b + k_\phi\right) z^n \tag{1}$$

Yumuşak zeminlerde palet-zemin arasında oluşan kayma kuvvetinin hesaplanmasında kayma yer değiştirmesi-kayma gerilmesi ilişkisi (Denklem 2) kullanılmıştır [1]. Denklemde s kayma gerilmesini, p dik basıncı, j_s kayma yer değiştirmesini, c-ϕ-K_j zemine özel katsayıları ifade etmektedir. Sert zeminlerde kayma oranı-kayma kuvveti ilişkisi (Denklem 3) kullanılmıştır. Denklemde N dik kuvveti, μ sürtünme katsayısını, S kayma oranını, K_S zemine özel bir katsayıyı ifade etmektedir.

$$s = (c + p\tan\phi)(1 - e^{-|j_s|/K_j}) \tag{2}$$

$$F_{shear} = N\mu(1 - e^{-K_S|S|}) \tag{3}$$

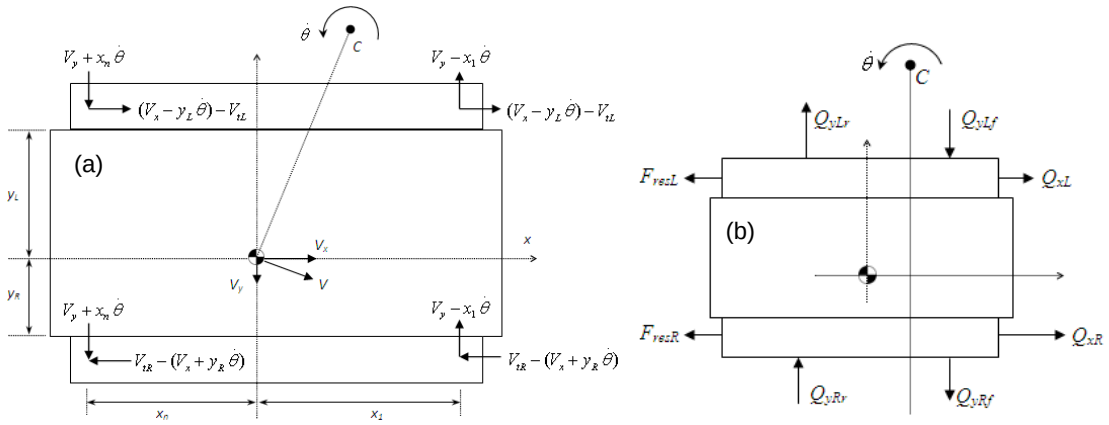
2.3. Yanal Kuvvetler ve Dönme Hareketi

Palet altında oluşan dik kuvvetler bilindiği takdirde paletin Şekil 6a'da gösterilen yanal kayma hızları kullanılarak paletli araca etki eden yanal kuvvetler hesaplanabilir. Yanal kuvvetlerin hesaplanmasında, yanal ve doğrusal kayma hızları kullanılarak elde edilen kayma açıları kullanılmıştır (Denklem 4) [6,4]. Denklemde k_{iso} yanal ve doğrusal yönler arasındaki sürtünme katsayısı oranını, K_α zemine özel bir katsayıyı, α kayma açısını ifade etmektedir.

$$F_y = Nk_{iso}\mu(1 - e^{-K_\alpha\alpha}) \tag{4}$$

Dönme manevrası sırasında aracın iç ve dış paletlerine farklı torklar uygulanmaktadır. Palet altında oluşan doğrusal kuvvetler arasındaki fark aracın dönmesine neden olmakta,

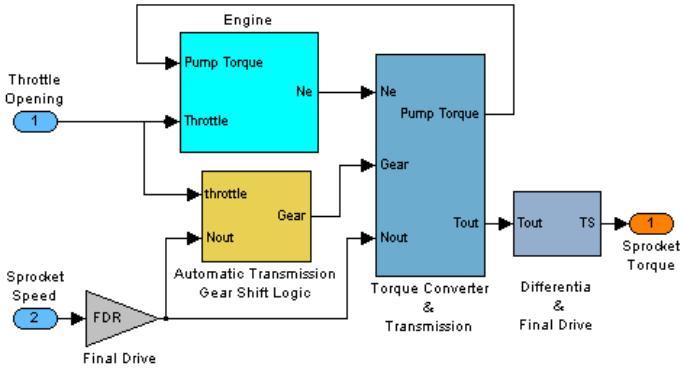
yanal kuvvetler ise dönme hareketine engel oluşturmaktadır. Şekil 6b'de C noktası etrafında dönmekte olan aracın üzerine uygulanan yanal ve doğrusal kuvvetler gösterilmiştir. Literatürde kullanılan modellerden farklı olarak bu çalışmada dönme hareketinin analizi iç-dış palet hızları yerine iç-dış palet torkları kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 6. Palet Altında Oluşan Yanal Kayma Hızları ve Yanal Kuvvetler

2.4. Güç Aktarım Sistemi Modeli

Paletli araç dinamiğinin bir bütün olarak analiz edilebilmesi amacıyla, geliştirilen araç modeline güç aktarım sisteminin dizel motordan başlayarak tahrik dişlisine kadar giden tüm elemanlarının matematiksel modelleri eklenmiştir [7]. Güç aktarım sisteminin model şeması Şekil 7'de gösterilmiştir.

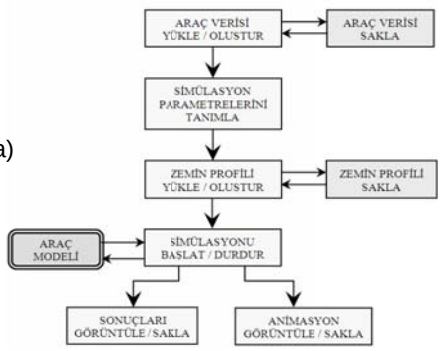


Şekil 7. Güç Aktarım Sistemi Model Şeması

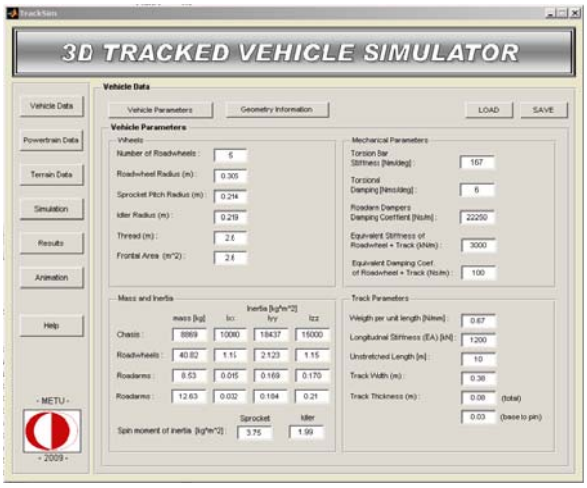
3. YAZILIM VE KULLANICI ARAYÜZÜ

Geliştirilen paletli araç modelinin etkin olarak kullanımını sağlamak amacıyla bir yazılım ve arayüz geliştirilmiştir. Yazılım matematiksel araç modeli ve kullanıcı arayüzünden oluşmaktadır. Yazılımın veri akış şeması Şekil 8a'da verilmiştir. Kullanıcı arayüzü üzerinden araç, palet ve zemine ait birçok parametre tanımlanabilmektedir (Şekil 8b). Buna ek olarak teker sayısı ve sönümleyici pozisyonları değiştirilerek farklı konfigürasyonlara sahip araçların analizi mümkündür. Hazırlanan araç ve yol girdilerine göre matematiksel araç modeli arka planda çalıştırılmakta ve sonuçlar yine kullanıcı arayüzü üzerinden görüntülenebilmektedir.

(a)

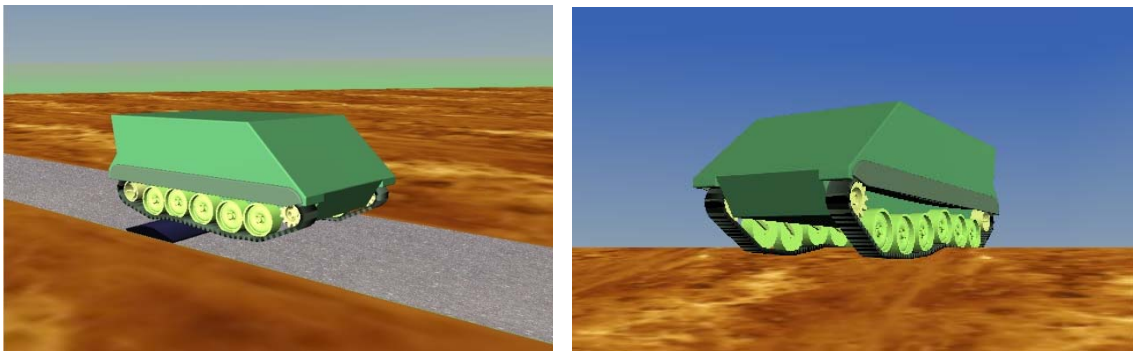


(b)



Şekil 8. (a) Yazılımın Veri Akış Şeması (b) Yazılım Arayüzü

Simülasyonlardan elde edilen sonuçlar grafiklere ek olarak 2-boyutlu ve 3-boyutlu animasyonlarla da kullanıcıya sunulmaktadır. Kullanıcı arayüzünden alınmış 3-boyutlu animasyon görüntüleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9. 3-Boyutlu Animasyondan Sahneler

4. SAHA TESTLERİ VE MODELİN DOĞRULANMASI

Geliştirilen paletli araç modelinin ve yazılımın doğrulanması amacıyla kapsamlı saha testleri gerçekleştirilmiştir. Saha testlerinde FNSS firması tarafından sağlanan altı tekerlekli zırhlı bir personel taşıyıcı kullanılmıştır. Saha testleri sırasında araç konumu ve hızı, gövdenin üç eksende ivmesi, gövde açısal konum ve hızları, süspansiyon kolu açıları, tahrik dişlisi açısal hızı, tahrik torku ve sağ-sol palet gerginlikleri ölçülmüştür.

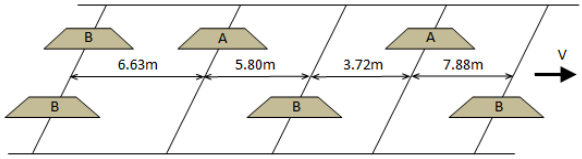
4.1. Seyir Konforu Testleri

Simülasyon modelinin seyir konforu analizlerindeki başarısını sınamak amacıyla düz asfalt yol üzerinde kasis geçme testleri yapılmıştır (Şekli 10). Testlerde iki farklı ölçüde trapezoid profile sahip kasisler değişik konfigürasyonlarda dizilmiş ve testler farklı hızlarda tekrarlanmıştır. Simülasyon girdisi olarak kasis konfigürasyonu ve sabit araç hızı kullanılmıştır.

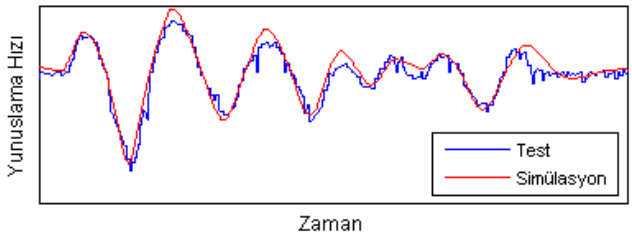


Şekil 10. Kasisli Yol Testi

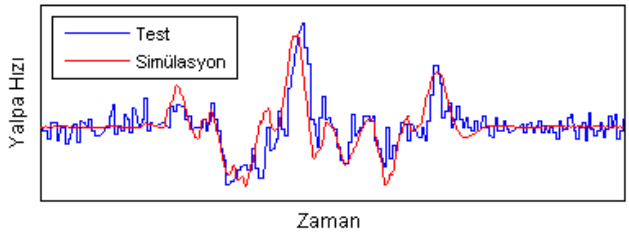
Dizilimi Şekil 11'de verilen iki farklı tipte altı kasis kullanılarak gerçekleştirilen ve iki farklı hızda tekrarlanan bir test için simülasyonlardan elde edilen sonuçların test ölçümleriyle kıyaslaması Şekil 12,13, 14 ve 15'te verilmiştir. Verilen şekiller, aracın yunuslama ve yalpa açıları ile süspansiyon kolu açılarının yüksek doğrulukla hesaplanabildiğini göstermektedir. Şekil 15'te tekerler kasis üzerinden geçerken oluşan yüksek palet gerginliklerinin başarıyla hesaplandığı görülmektedir. Bu çalışmada palet titreşimlerinin palet gerginliğine etkisi modellenmediği için palet titreşimlerinden kaynaklanan gerginlik değişimleri hesaplanamamaktadır.



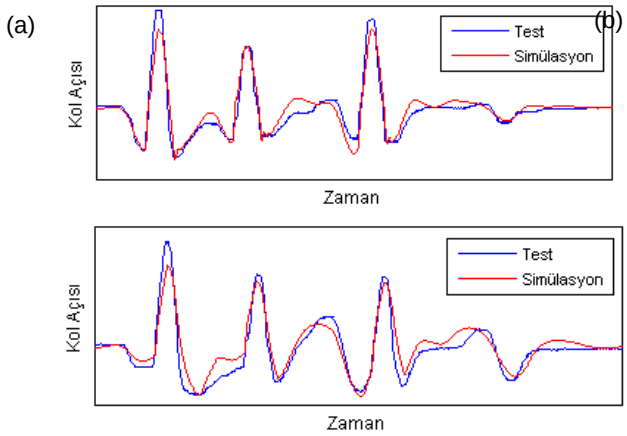
Şekil 11. Kasis Konfigürasyonu



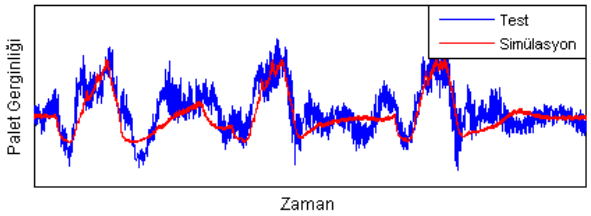
Şekil 12. Gövde Yunuslama Açısal Hızı (V=24km/saat)



Şekil 13. Gövde Yalpa Açısal Hızı (V=35km/saat)



Şekil 14. Süspansiyon Kolu Açıları (V=24km/saat) (a) 4. Teker (b) 5.Teker

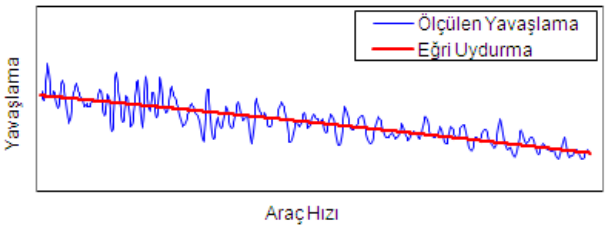


Şekil 15. Palet Gerginliği (V=24km/saat)

4.2. Performans Testleri

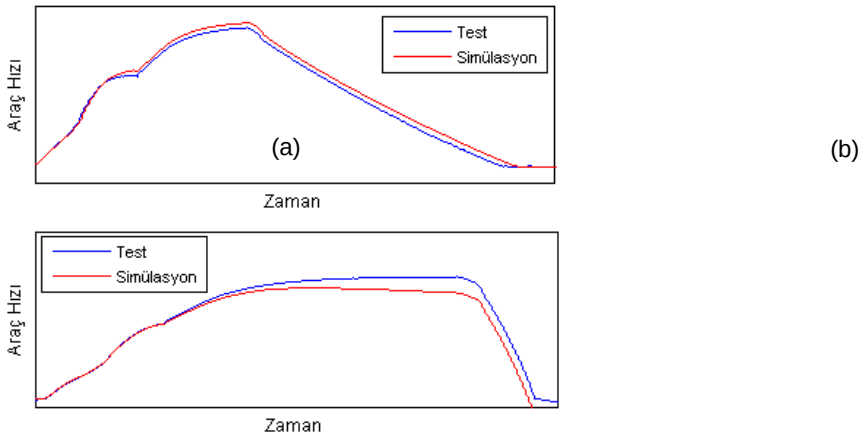
Düz asfalt zemin üzerinde gerçekleştirilen performans testlerinde ilk olarak aracın hareketine engel olan iç ve dış dirençlerin belirlenmesi amacıyla serbest durma (coast-down) testleri gerçekleştirilmiştir. Bu testlerden elde edilen hız-yavaşlama profillerine Şekil 16'da gösterildiği gibi eğri uydurma işlemi uygulanarak Denklem 5 ile verilen direnç kuvveti polinomunun katsayıları elde edilmiştir.

$$R_{total} = \left(a_{R0} + a_{R1} V_v\right) W + a_{R2} (V_r)^2 \tag{5}$$



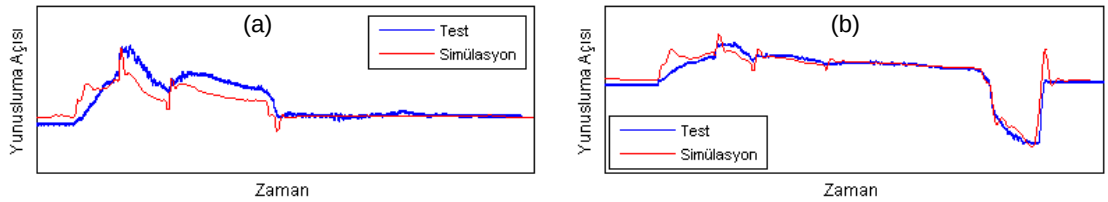
Şekil 16. Hız-Yavaşlama Profili ve Eğri Uydurma İşlemi

Saha testlerinde kaydedilen tahrik dişlisi torklarının girdi olarak kullanıldığı hızlanma testi simülasyonlarından elde edilen hız profillerinin test ölçümleri ile kıyaslaması Şekil 17'de gösterilmiştir.

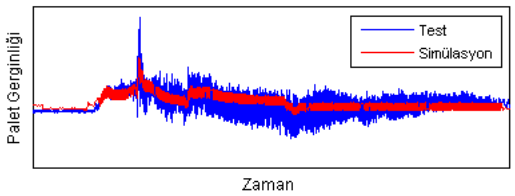


Şekil 17. Tam Gaz Hızlanma Testleri (a) Serbest Duruş (b) Frenleme

Literatürde mevcut olan çalışmalar incelendiğinde, paletli araçlara uygulanan tahrik kuvvetinin etki noktası konusunda ortak bir uygulama bulunmadığı görülmektedir. Bu çalışmada tahrik kuvvetini tek noktadan uygulamak yerine, palet boyunca değişen palet gerginliği ve teker-palet etkileşimleri kullanılarak gerçeğe mümkün olduğunca yakın bir tahrik kuvveti uygulama modeli elde edilmesi amaçlanmıştır. Hızlanma testlerinde elde edilen yunuslama açılarının simülasyonlardan elde edilen açılar ile karşılaştırılması sonucunda (Şekil 18) uygulanan modelin başarılı olduğu görülmektedir. Hızlanma testlerinde palet gerginliği değişimi Şekil 19'da gösterilmiştir.



Şekil 18. Hızlanma Testlerinde Yunuslama Açısı (a) Serbest Duruş (b) Frenleme



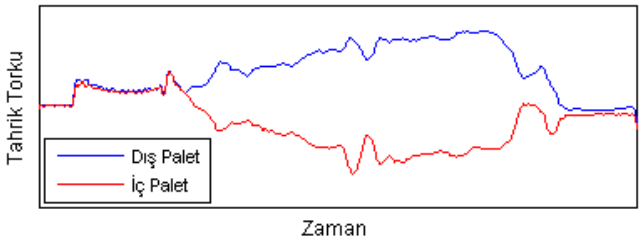
Şekil 19. Hızlanma Testinde Palet Gerginliği

4.3 Yönlendirme Testleri

Geliştirilen modelin yönlendirme analizindeki başarısını sınamak amacıyla değişik hızlarda tekrarlanan u-dönüşü ve şerit değiştirme manevrası testleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 20). Testler sırasında tahrik dişlilerince uygulanan iç ve dış palet torkları ölçülmüş ve simülasyon girdisi olarak ölçülen torklar kullanılmıştır (Şekil 21).

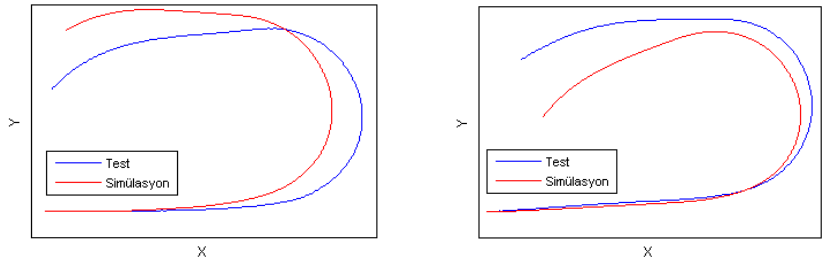


Şekil 20. U-Dönüş Testi



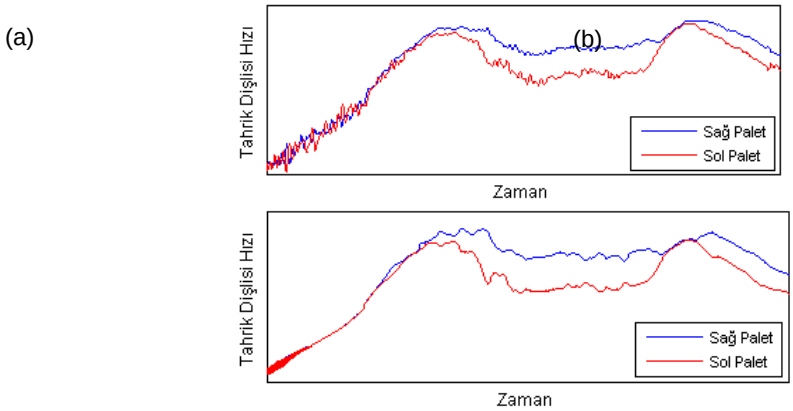
Şekil 21. Bir U-Dönüşü Testinde Ölçülen Tahrik Torkları

İki farklı u-dönüşü manevrasının simülasyonundan elde edilen araç yörüngelerinin testler esnasında GPS sistemi kullanılarak ölçülen araç yörüngesi ile kıyaslaması Şekil 22'de verilmiştir. Simülasyonun, aracın durduğu konumdan başlayarak dönme hareketinin sonuna kadar yapılması nedeniyle, ölçüm sisteminden ve modellemeden kaynaklanan hataların birikerek, aracın takip ettiği yörüngenin son bölümünde hatalara yol açtığı dikkate alınmalıdır.

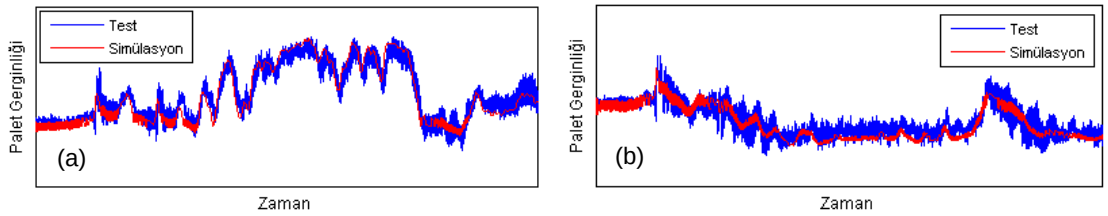


Şekil 22. U-Dönüşü Testlerinde Aracın Takip Ettiği Yörünge

Şekil 22'de gösterilen u-dönüşü manevrası için elde edilen diğer simülasyon sonuçlarının test ölçümleri ile kıyaslamaları Şekil 23 ve 24'te verilmiştir. Şekiller incelendiğinde hem iç-dış palet hız farkının hem de palet gerginliğinin yüksek doğrulukla hesaplanabildiği görülmektedir.

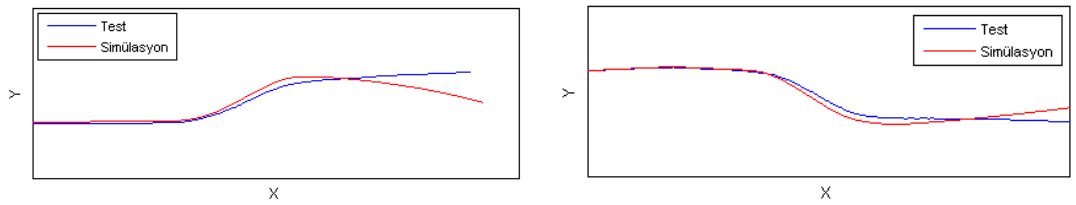


Şekil 23. U-Dönüşü Testinde İç-Dış Palet Hız Farkı (a) Test (b) Simülasyon

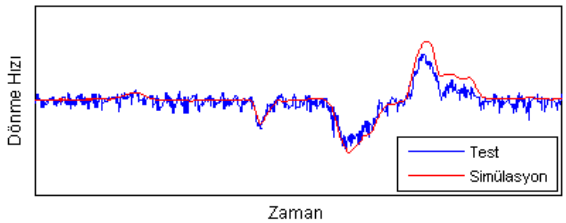


Şekil 24. U-Dönüşü Testinde Palet Gerginliği (a) Dış Palet (b) İç Palet

Farklı yönlerde tekrarlanan iki şerit değiştirme testi için simülasyonlardan ve testlerden elde edilen araç yörüngelerinin kıyaslamaları Şekil 25'te verilmiştir. Bu testlerden biri için ölçülen ve simülasyondan elde edilen araç dönme hızları Şekil 26'da görülmektedir. Şekil 25 ve 26 incelendiğinde simülasyon modelinin aracın ikinci dönme girdisine tepkisinin gerçeğe göre daha fazla olduğu görülmektedir**.**



Şekil 25. Şerit Değiştirme Testlerinde Aracın Takip Ettiği Yörünge



Şekil 26. Şerit Değiştirme Testinde Dönme Hızı

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada detaylı bir 3-boyutlu paletli araç modelinin geliştirilme aşamaları özetlenmiş ve modelin doğrulanması amacıyla gerçekleştirilen saha testlerinde alınan

ölçümlerin simülasyonlardan elde edilen sonuçlarla kıyaslamaları gösterilmiştir. Modelleme ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlarla, test ölçümlerinin uyumu başarıya ulaşıldığını göstermektedir.

Hazırlanan simülasyon yazılımı değişik araç konfigürasyonlarının kıyaslanması (örneğin tekerlek sayısı), araç tasarım parametrelerinin bilgisayar ortamında optimizasyonu, araç üzerinde yapılacak değişiklerinin (örneğin zırh giydirme) araç dinamiği üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve akıllı kontrol sistemlerinin (örneğin aktif gergi kontrolü, namlu stabilizasyon sistemi gibi) tasarımlarının yapılması ve bilgisayar ortamında sınanması gibi konularda etkin olarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar saha testlerinin yapıldığı aracı ve ölçüm sistemlerini sağlayan FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. ye teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

[1] Wong, J.Y., (1989), "Terramechanics and Off-Road Vehicles", Elsevier, 3rd Edition, Amsterdam.

[2] Sandu, C., Freeman, J.S., (2002), "Connectivity Algorithm for an Extended Rubber-Band Track Model", Heavy Vehicle Systems, v. 9, n. 4, pp. 333-353.

[3] Ma, Z.D., Perkins, N.C., (2002), "A Track-Wheel-Terrain Interaction Model for Dynamic Simulation of Tracked Vehicles", Vehicle System Dynamics, v. 37, n. 6, pp. 401-421.

[4] Çalışkan, K.Ç., (2009), "Mathematical Modeling and Simulation of Tracked Vehicle Dynamics", Doktora Tezi, ODTU, ANKARA.

[5] Dhir, A., Sankar, S., (1995), "Dynamics of Off-Road Tracked Vehicles Equipped with Trailing Arm Suspension", Proc. Inst. Mech. Engrs., v. 209, pp.195-215.

[6] Maclaurin, B., (2007), "A Skid Steering Model with Track Pad Flexibility", Journal of Terramechanics, v. 44, n. 1.

[7] Çalışkan, K.Ç., Ünlüsoy, Y.S., (2007), "3-Boyutlu Paletli Araç Dinamiği Simülasyonu", USMOS 2007 Bildiri Kitabı, p.51.

EK BİLGİ

İletişim bilgileri:
Prof. Dr. Y. Samim ÜNLÜSOY
ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü
e-posta: unlusoy@metu.edu.tr
Tel: 0 312 210 2587
Faks: 0 312 210 2536

DARBE TESİRİ ALTINDAKİ KOMPOZİT LEVHANIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE SİMÜLASYONU

Ferhat SANLI[(a)], Nihat AKKUŞ[(b)], Ersin TOPTAŞ[(c)]

Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü 34722 / Kadıköy-İstanbul / TÜRKİYE

(a) sanliferhat@yahoo.com, (b) nakkus@marmara.edu.tr, (c) etoptas@marmara.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada çelik ve alüminyum gibi farklı malzemelerden oluşan kompozit bir yapının balistik darbe altındaki davranışı simülasyon yoluyla araştırılmıştır. Kompoziti oluşturan plaka tabakalarının dizilişine göre merminin perforasyon esnasındaki hız, iç ve kinetik enerji davranışları, kompozit plakalarda ise iç enerji ve deformasyonlar araştırılmıştır.

Simülasyonlarda toplam kalınlığı 4 mm olan katmanlı, çelik ve alüminyum hedeflerden oluşan kompozit sistemin 500 m/s ilk hızla hareket eden bir mermi ile teması ve perforasyonu Ansys / Ls-Dyna 11.0 yazılımı kullanılarak simülasyonları yapılmış ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ansys / Ls-Dyna, Balistik çarpışma simülasyonu, Mermi, Alüminyum ve çelik plakaların perforasyonu, Sonlu elemanlar yöntemi, Mermi hızı

ABSTRACT

In this study, the behavior of a composite structure made of different materials such as steel and aluminum under ballistic impact was investigated through simulation. According to the board layers forming the composite velocity, internal and kinetic energy behaviors of the bullet and the internal energy during perforation and the deformations in the composite boards were studied.

In the simulations, contact and perforation of a composite system consisting of layered, steel and aluminum targets with a total thickness of 4 mm, with a bullet moving with an initial velocity of 500 m/s was simulated and compared using the software Ansys / Ls-Dyna 11.0.

Keywords: Ansys/Ls-Dyna, Ballistic impact simulation, Projectile, Perforation of aluminium and steel plates, Finite element method, Velocity of projectile

1. GİRİŞ

Darbe tesiri altındaki plastik deformasyon değişimleri en sağlıklı şekilde deneysel yollarla elde edilir. Fakat test düzeneklerinin ve test araç-gereçlerinin hazırlanmasındaki veya üretilmesindeki zorluklarının yanında, maliyetlerinin de yüksek olmasından dolayı, bilgisayar ortamında simülasyon çözümlerine yönelinmesine neden olmuştur.

Literatürde, deneysel olarak yada bilgisayar ortamında simülasyon paket programları ile yapılan çalışmalar yer almaktadır, bu çalışmalardan bazıları;

H. Kurtaran, M. Büyük, ve A. Eskandarian tarafından, bir askeri araç kapısında balistik darbe sonucu oluşan hasarın tespiti bilgisayar ortamında yapılmıştır. Hasar tespiti için sonlu elemanlar metodu yazılımı ANSYS / LS-DYNA kullanılmıştır. ANSYS / LS-DYNA ile hasar üzerinde mermi hızı, malzeme modellerinin ve malzeme kalınlığının etkileri araştırılmıştır[1].

Bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlara başka bir örnek ise; B. Acar tarafından 1000 m/s hızla, farklı açılarda sabitlenmiş hedefe (kompozit zırha) fırlatılan bir merminin (delici) zırhı delmesi ve bunun sonucunda hedefte oluşan etkileri 3D eksplisit yöntemine dayalı LS-DYNA yazılımı ile simüle edilmiş ve hedefin açısal duruşun çarpma üzerindeki etkileri gösterilmiştir.[2].

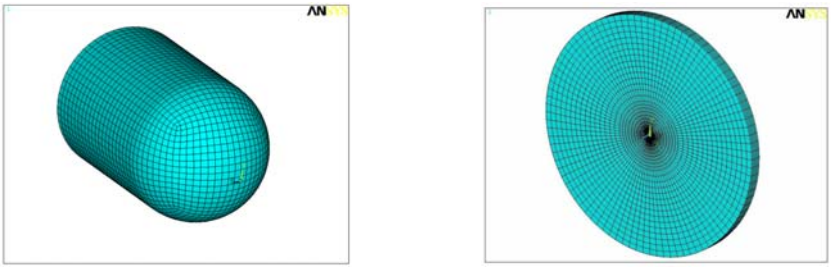
T. Borvik, A.H. Clausen, M. Eriksson, T. Berstad, O.S. Hopperstad, M. Langseth tarafından yapılan çalışmada ise; AA6005-T6 malzemeli panellere çelik bir merminin fırlatılmasıyla panellerdeki perforasyonun etkileri ve merminin giriş-çıkış hızları da deneysel olarak incelenmiş ve LS-DYNA sonlu elemanlar simülasyon programında da simülasyonu yapılmıştır[3].

Bu çalışmada ise alüminyum ve çelik, türü malzemelerin katmanlar halinde bir araya getirilmesi ile oluşan yeni grup malzemenin darbe altındaki gerilme-şekil değiştirme ve perforasyon durumları Ansys / Ls-Dyna sonlu elemanlar programı kullanılarak simülasyonu yapılmıştır ve malzemelerin en iyi mukavemeti verebilecek dizilişleri araştırılmıştır.

2. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE SİMÜLASYON

2.1. Kullanılan Yöntem Model ve Simülasyon

İlk hızı 500 m/s olan bir mermi 90^o'' lik bir açıyla, farklı malzeme katmanlarına ve toplamda aynı kalınlığa sahip plakalardan oluşan hedef sistemlerine, atış simülasyonları gerçekleştirilmiş ve balistik deformasyonları, eksplisit yöntemle Ansys / Ls-Dyna 11.0' da incelenmiştir. Mermi ve hedef modelleri bu tür çarpışmalarda kullanılan merminin çarpma noktasına doğru düzgün bir şekilde küçülen elemanların oluşturduğu bir ağ yapısı ile örülmüştür. Element tipi olarak ise eksplisit yöntemlerde kullanılan 3D solid 8 düğümlü 164 numaralı element kullanılmıştır. Malzeme modeli olarak ta plastik kinematik malzeme modeli seçilmiştir. Hourglass enerjisi kontrol altında tutulmuş ve olması gereken toplam enerjinin %5 - %10'u arasında olduğu gözlenmiştir. Sistemde çarpma anında oluşan termal ısıdan kaynaklanan malzemelerdeki yumuşama hesaba katılmamıştır. Plakalar arası herhangi bir yapıştırıcı kullanılmadığı, sadece arka arkaya eklendiği varsayılmıştır. Simülasyonlarda çözüm süresi "0.07 saniye" ve enerji değerleri için "0.35 saniye" dir, zaman çözüm aralıkları ise "50 adım" olarak belirlenmiştir. Hem mermi ile her bir plaka arasında hem de hedef sistemi oluşturan plakalar arasında çok yönlü kontak tanımlaması yapılmış ve kontak türü olarak "Nodes to Surfaces – Eroding" seçilmiştir. Mermi malzemesi olarak "Ç 1018" kullanılmıştır, hedef sistemlerde ise "4340 çeliği" ve "Alüminyum 6000" serisine ait malzemeler kullanılmıştır. Bu malzemelere ait plastik kinematik modeli parametreleri ise Çizelge 1' de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 1 Mermiye (a) ve plakaya (b) ait ağ yapısı görünümü

Çizelge 1 Mermide ve hedef sistemde kullanılan malzemelerin plastik kinematik modeline ait parametreleri

	Ç 1018	4340 Çeliği	Alüminyum 6000 serisi
Yoğunluk (ρ)	7865 kg/m^3	7850 kg/m^3	2720 kg/m^3
Elastikiyet modülü (E)	2e11 Pa	2.1e11 Pa	7.6e10 Pa
Akma gerilmesi (σ_y)	3.1e8 Pa	7.9e8 Pa	1.43e8 Pa
Tanjant modülü (E_{tan})	7.63e8 Pa	2.1e10 Pa	2.5e7 Pa
Poisson Oranı (ν)	0.27	0.3	0.34
Uzama Sertleşmesi	0	0	0
Şekil Değiştirme Hızı (C)	40	40	40
Şekil Değiştirme Hızı (P)	5	5	5
Kopma Şekil Değiştirmesi (ε_f)	0.75	0.15	0.125

Plastik Kinematik Malzeme Modeli

Bu modelde şekil değişim hızı Cowper-Symonds model kullanılarak dikkate alınmaktadır. Cowper-Symonds yeni akma gerilmesi değerini başlangıçtaki akma gerilmesi değeri ile şekil değişimi hızının fonksiyonu olan bir katsayı ile çarparak hesaplamaktadır[1].

$$\sigma_Y = \left[1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{C}\right)^{\frac{1}{P}}\right]\sigma_0 \qquad (1)$$

Bu formülde "σo" başlangıçtaki akma gerilmesini, "$\dot{\varepsilon}$" şekil değişimi hızını "C" ve "P" Cowper Symonds parametrelerini göstermektedir.

2.2. HEDEF BALİSTİĞİ SİMÜLASYONLARI

Bu bölümde aynı yarıçapa ait hedef plakalardan oluşan sistemler, toplamda aynı ağırlığa (20.11 gram) sahiptirler. Ayrıca her bir sistem içindeki malzemelerin ağırlıkları da diğer sistemlerdeki aynı malzemelerin ağırlıklarına eşittir. Bununla beraber her bir hedef sistem aynı kalınlığa (4mm) sahiptir ve hedef sistem içinde yer alan malzemelere ait plaka kalınlıkları diğer sistemlerdeki aynı malzeme plakaları ile de toplamda aynı kalınlığa sahiptirler. Sadece diziliş yönünden plakaların sıralaması değiştirilerek darbe tesiri altındaki davranışları incelenmiştir. Toplam kalınlık, sıralama, toplam ağırlık, mermiye ait çıkış hızları, kinetik enerjileri ayrıca plakalarında iç enerji grafikleri çıkarılıp incelenmiştir. Hız parametresi bu tür simülasyonlarda performans ve verimlilik açısından sonuç belirleyici ana parametre olmaktadır, kinetik enerji ölçümü ise hız parametresinin doğruluğuna yardımcı olur. Sonuçlarda değerlendirilen diğer bir parametre ise iç enerjidir ve bu değer malzemelerin çarpışmaya verdikleri tepkiler açısından önemlidir ki bir sonraki tasarım için öngörülerde bulunmamıza yardımcı olur. Isı enerjisi ise bu simülasyonlarda göz ardı edilmiştir.

Her bir sistemdeki belirtilen bu parametreler göz önünde bulundurularak birbirleri ile kıyaslanıp yorumlanmıştır. Ayrıca plakalarda yine her bir sistem içinde iç enerjileri ve fiziksel deformasyonları birbirleri ile karşılaştırılıp incelenmiştir. Grafiklerin çıktıları ise Ls-prepost yardımı ile alınmıştır.

Simülasyonu yapılan hedef sistem dizilişleri;

1. 1 mm çelik ve 3mm alüminyum plaka dizilimi
2. 1.5 mm alüminyum, 1 mm çelik, 1.5 mm alüminyum levha dizilimi
3. 0.5 mm çelik, 3 mm alüminyum ve 0.5 mm çelik levha dizilimi

Yapılan simülasyonlarda mermiye ait modelin özellikleri Çizelge 2' de verilmiştir. Ayrıca mermiye yerçekimi ivmesi de eklenmiştir.

Çizelge 2 Mermiye ait parametreler

Merminin				
Malzemesi; Ç 1018	**Hacmi**; 489.33 mm^3	**Ağırlığı**; 3.85 gram	**Eleman Sayısı**; 10800 adet	**Hızı**; 500 m/s

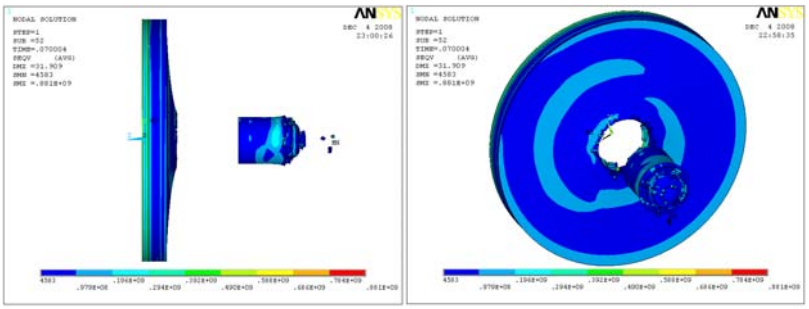
2.2.1. 1 mm Çelik Malzeme ve 3 mm Alüminyum Malzeme Dizilişi (1c+3al) Simülasyonu

Çizelge 3' te 1c+3al simülasyonunda kullanılan 1. ve 2. Plakaya ait parametreler görülmektedir.

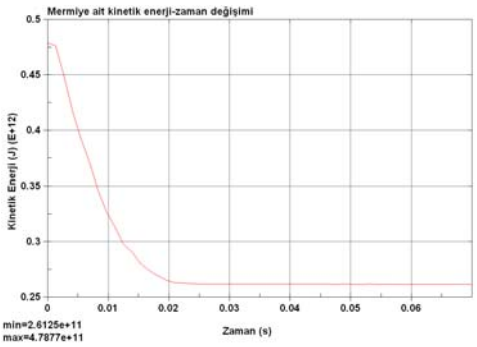
Çizelge 3 Birinci ve ikinci plakaya ait parametreler

	Malzemesi	**Kalınlığı**	**Çapı**	**Hacmi**	**Ağırlığı**	**Eleman** Sayısı
1. Plaka	4340 çeliği	1 mm	40 mm	1256.64 mm^3	9.86 gram	3200 adet
2. Plaka	Alüminyum 6000 serisi	3 mm	40 mm	3769.91 mm^3	10.25 gram	18000 adet

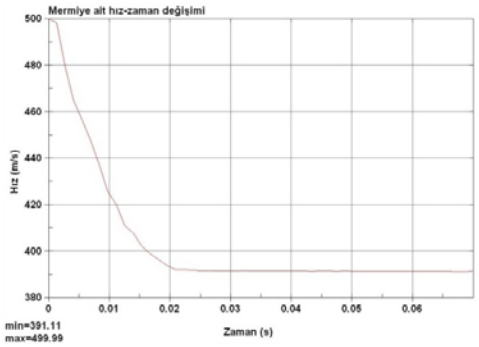
Şekil 2' de 0.07' inci saniye sonunda mermide ve plakalarda meydana gelen deformasyon görülmektedir. Şekil 3'te ise perforasyon boyunca mermide ve plakalarda oluşan zamana bağlı değişkenler grafiksel olarak verilmiştir.



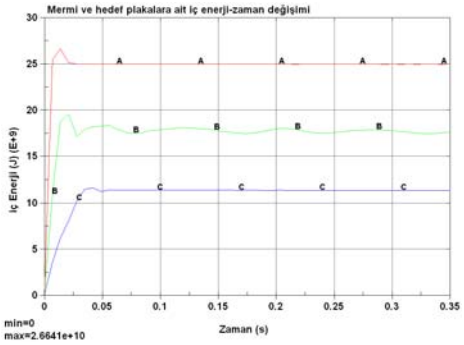
Şekil 2 0.07 'inci saniye sonu mermi ve 1c+3al hedef sistemde oluşan vonmises gerilmesi, mermi ve hedef plaka için farklı görünüş açıları



(a)



(b)



(c)

Grafik (c) için; **A** → Mermi (Ç 1018), **B** → 1. Plaka (4340 çeliği), **C** → 2. Plaka (Alüminyum 6000 serisi)

Şekil 3 1c+3al hedef sistemine ve mermiye ait sonuçların grafikleri; (a) → merminin kinetik enerji – zaman değişimi grafiği, (b) → merminin hız – zaman değişimi grafiği, (c) → mermi ve plakalara ait iç enerji – zaman değişimi grafiği

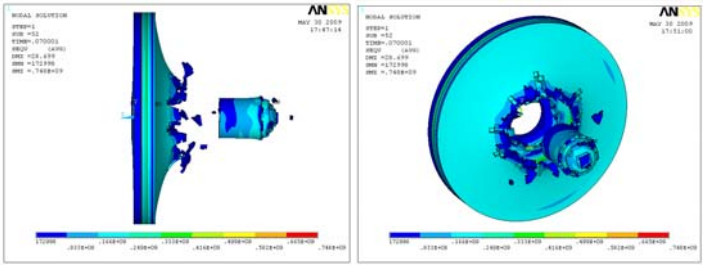
2.2.2. 1.5 mm Alüminyum Malzeme, 1 mm Çelik Malzeme ve 1.5 mm Alüminyum Malzeme Dizilişi (1.5al+1c+1.5al) Simülasyonu

Çizelge 4' te 1.5al+1c+1.5al simülasyonunda kullanılan birinci, ikinci ve üçüncü plakalara ait parametreler görülmektedir.

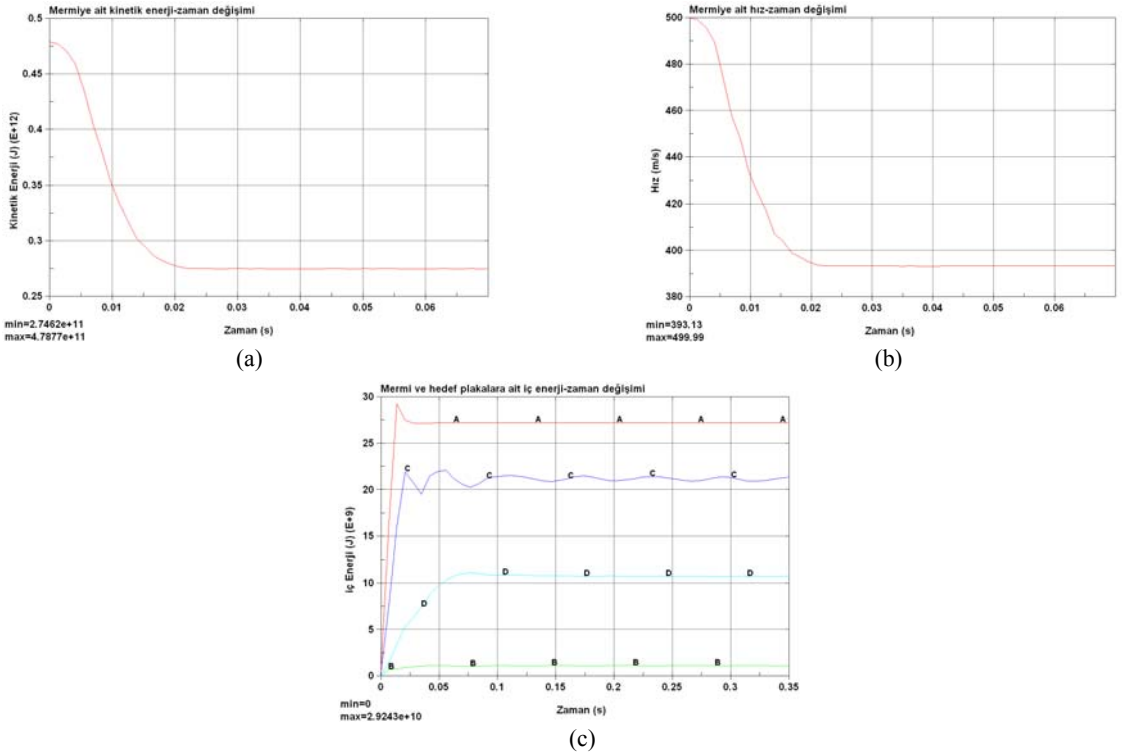
Çizelge 4 Birinci, ikinci ve üçüncü plakaya ait parametreler

	Malzemesi	Kalınlığı	Çapı	Hacmi	Ağırlığı	Eleman Sayısı
1. Plaka	Alüminyum 6000 serisi	1.5 mm	40 mm	1884.96 mm^3	5.13 gram	5400 adet
2. Plaka	4340 çeliği	1 mm	40 mm	1256.64 mm^3	9.86 gram	3600 adet
3. Plaka	Alüminyum 6000 serisi	1.5 mm	40 mm	1884.96 mm^3	5.13 gram	5400 adet

Şekil 4' te 0.07' inci saniye sonunda mermide ve plakalarda meydana gelen deformasyon görülmektedir. Şekil 5'te ise perforasyon boyunca mermide ve plakalarda oluşan zamana bağlı bazı değişkenler grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4 0.07 'inci saniye sonu mermi ve 1.5al+1c+1.5al hedef sistemde oluşan vonmises gerilmesi, mermi ve hedef plaka için farklı görünüş açıları



Grafik (c) için; **A** → Mermi (Ç1018), **B** → 1. Plaka(Alüminyum 6000 serisi), **C** → 2. Plaka (4340 Çeliği), **D** → 3. Plaka (Alüminyum 6000 serisi)

Şekil 5 1.5al+1c+1.5al hedef sistemine ve mermiye ait sonuçların grafikleri; (a) → merminin kinetik enerji – zaman değişimi grafiği, (b) → merminin hız – zaman değişimi grafiği, (c) → mermi ve plakalara ait iç enerji – zaman değişimi grafiği

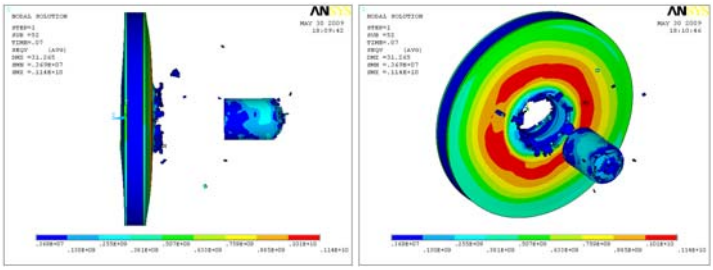
2.2.3. 0.5 mm Çelik Malzeme, 3 mm Alüminyum Malzeme ve 0.5 mm Çelik Malzeme Dizilişi (0.5c+3al+0.5c) Simülasyonu

Çizelge 5' te ise 0.5c+3al+0.5c simülasyonunda kullanılan birinci, ikinci ve üçüncü plakalara ait parametreler görülmektedir.

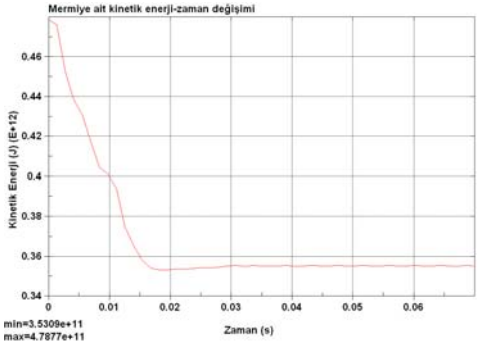
Çizelge 5 Birinci, ikinci ve üçüncü plakaya ait parametreler

	Malzemesi	Kalınlığı	Çapı	Hacmi	Ağırlığı	Eleman Sayısı
1. Plaka	4340 çeliği	0.5 mm	40 mm	628.32 mm^3	4.93 gram	3200 adet
2. Plaka	Alüminyum 6000 serisi	3 mm	40 mm	3769.91 mm^3	10.25 gram	8640 adet
3. Plaka	4340 çeliği	0.5 mm	40 mm	628.32 mm^3	4.93 gram	3200 adet

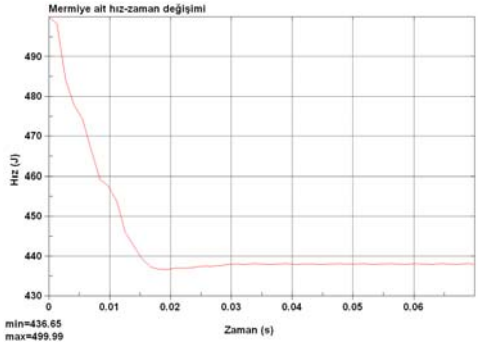
Şekil 6' da 0.07' inci saniye sonunda mermide ve plakalarda meydana gelen deformasyon görülmektedir. Şekil 7'de ise perforasyon boyunca mermide ve plakalarda oluşan zamana bağlı bazı değişkenler grafiksel olarak verilmiştir.



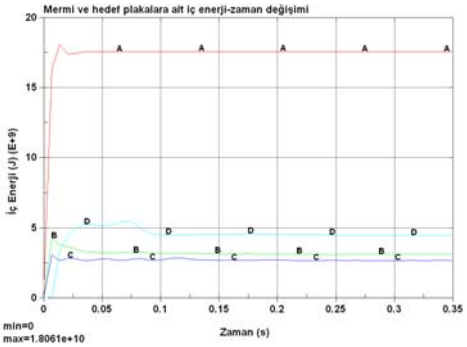
Şekil 6 0.07 'inci saniye sonu mermi ve 0.5c+3al+0.5c hedef sistemde oluşan vonmises gerilmesi, mermi ve hedef plaka için farklı görünüş açıları



(a)



(b)



(c)

Grafik (c) için; **A** → Mermi (Ç1018), **B** → 1. Plaka(4340 Çeliği), **C** → 2. Plaka (Alüminyum 6000 serisi), **D** → 3. Plaka (4340 Çeliği)

Şekil 7 0.5c+3al+0.5c hedef sistemine ve mermiye ait sonuçların grafikleri; (a) → merminin kinetik enerji – zaman değişimi grafiği, (b) → merminin hız – zaman değişimi grafiği, (c) → mermi ve plakalara ait iç enerji – zaman değişimi grafiği

3. SİMÜLASYONLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Her bir simülasyondaki çarpışma anında 1. Plakalarda ilk anda oluşan en fazla iç enerjiler bazında, alüminyum plakada, çeliğe göre daha az bir iç enerjisi oluşumuna neden olmaktadır. Yani alüminyum, çarpışma anında iç enerjiyi sönümlemektedir. Bunun sebebi alüminyumun tok bir yapıya sahip olması, yoğunluğunun düşük olmasıdır.

Çizelge 6' da mermiye ve plakalara ait sonuçlar görülmektedir ki bu sonuçlardan mermi ve plakalardaki "iç enerji" oluşumları "0.35 saniye" lik çözüme ait olup, diğer sonuçlar ise "0.07 saniye" lik çözüm sonucuna ait değerlerdir. Şekil 8, şekil 9, şekil 10 ve şekil 11 deki grafikler ise simülasyonların "0.35 saniye" lik çözümlerine aittir, bunun sebebi ise grafiklerin sürekli dengeli halini görebilme amacını taşımaktadır. Bütün şartlar aynı olup sadece çözüm süreleri "0.35 saniye" dir.

"0.35 saniye" lik çözüm içinde elde edilen değerlerin, "0.07 saniye" lik çözüm içinde elde edilen değerlerden çok az da olsa farklı olmasının sebebi "0.35 saniye" lik, ve "0.07 saniye" lik çözümlere de aynı adım değerlerinin (50 adım) girilmesidir. Bu "50 adım" lık değerde, programın "0.07 saniye" içinde değer okuma aralığı daha sık olup, "0.35 saniye" içinde bu değerlerin okuma aralıklarının daha seyrek olmasıdır.

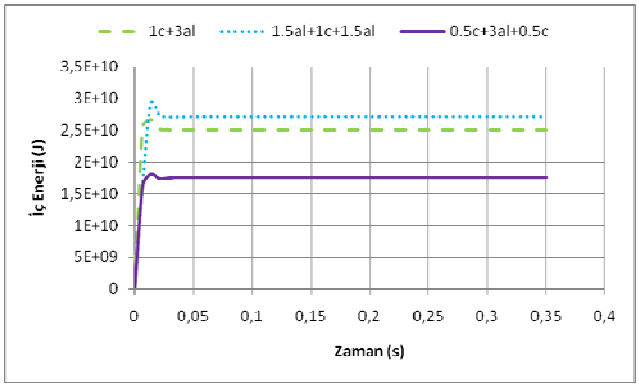
Çizelge 6 Mermi ve hedef sistemlere ait sonuçlar

			1c+3al	1.5al+1c+1.5al	0.5c+3al+0.5c
Mermi	İç Enerji (J)	Maks.	2.6641e10	2.9243e10	1.8061e10
		Min.	0	0	0
	Kinetik Enerji (J)	Maks.	4.7877e11	4.7878e11	4.7877e11
		Min.	2.6125e11	2.7462e11	3.5309e11
	Hız (m/s)	Maks.	500	500	500
		Min.	391.11	393.13	436.65
Plakalar	1. Plaka için iç Enerji (J)	Maks.	1.9536e10	1.1312e9	4.2341e9
		Min.	0	0	0
	2. Plaka için iç Enerji (J)	Maks.	1.1624e10	2.2087e10	3.0661e9
		Min.	0	0	0
	3. Plaka için iç Enerji (J)	Maks.	---	1.1086e10	5.5131e9
		Min.	---	0	0

Şekil 8' de görüldüğü gibi 1c+3al dizilişine göre "mermi" nin sahip olduğu en yüksek iç enerji değişimi "2.6641e10 J" dür.

"1.5al+1c+1.5al" diziliş şekline göre "mermi" nin sahip olduğu en yüksek iç enerji değeri "2.9243e10 J" dür.

"0.5c+3al+0.5c" dizilişine göre ise "mermi" "1.8061e10 J" iç enerji değerini almaktadır.



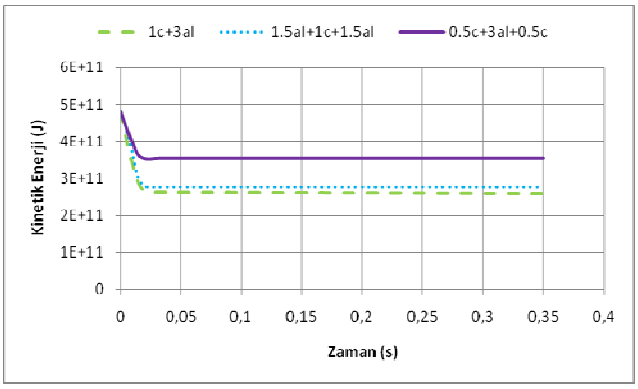
Şekil 8 Herbir hedef sistemdeki mermilere ait iç enerji - zaman değişimi grafiği

Her bir "mermi" nin 3 ayrı simülasyondaki kinetik enerjileri Şekil 9' da görülmektedir.

Buna göre 1c+3al dizilimine ait simülasyonda kinetik enerjisi "4.7877e11 J" lük bir değere sahip olan "mermi" çarpışma sonucunda "2.576e11 J" değerine kadar düşmekte ve bu değerde sabit kalmaktadır.

"1.5al+1c+1.5al" diziliminde ise başlangıçtaki kinetik enerji değeri "4.7877e11 J" lük bir değere sahip iken "mermi" nin, plakaları perforasyona uğratmasından sonra kinetik enerjisi "2.7648e11 J" değerine düşmekte ve bu değerde sabit kalmaktadır.

"0.5c+3al+0.5c" diziliminde de başlangıç değeri "4.7877e11 J" olan "mermi" nin perforasyon sonunda kinetik enerjisi "3.536e11 J" değerine kadar inmektedir ve bir süre sonra bu değerde sabit kalmaktadır.



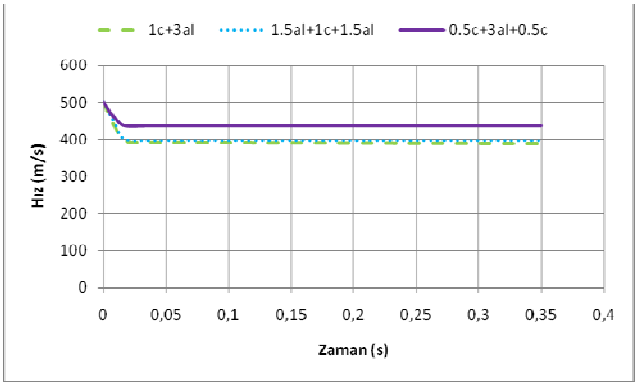
Şekil 9 Herbir hedef sistemdeki mermilere ait kinetik enerji - zaman değişimi grafiği

Diğer bir kıyaslama parametresi ise hız-zaman değişkenidir ki 3 farklı dizilişe sahip hedef sisteminde mermiye ait hız-zaman değişimi Şekil 10' da görüldüğü gibidir. Dikkat edilecek olursa hız-zaman grafiği ile kinetik enerji-zaman grafiği benzerlik göstermektedir.

1c+3al dizilişine sahip merminin çarpışma sonucunda plakalardan ayrılması ile "500 m/s" olan ilk hızı "388.38 m/s" ye kadar düşerek "0.35 saniye" lik çözüm süresi içerisinde sabit kalmaktadır.

Aynı grafikte “1.5al+1c+1.5al” dizilişine ait merminin çarpışma sonrası hızının “395.24 m/s” ye kadar düştüğü görülmektedir.

Diğer bir diziliş şekli olan “0.5c+3al+0.5c” hedef sisteminde ise yine merminin “500 m/s” lik ilk hızına karşın çarpışma sonrası “437.02 m/s” ye kadar inmektedir.



Şekil 10 Herbir hedef sistemdeki mermilere ait hız - zaman değişimi grafiği

4. SONUÇ

Simülasyonları yapılan sistemlere göre, 4 mm kalınlık sınırı olan ve bahsi geçen malzeme ağırlıklarını değiştirilmeden sadece kendi içlerinde kalınlıkları değişen sistemlerden mermi çıkış hızları ve kinetik enerji-zaman değişimleri temel alındığında en iyi performansı 1c+3al dizilimine sahip hedef sistemi vermiştir.

Yapılan bu çalışmaya göre;

- Farklı malzemelerden oluşan plakaların diziliş biçimleri, merminin zamana bağlı olarak; iç enerjisini, kinetik enerjisini ve sonuçta hızını değiştirmektedir ki buda kompozit yapıdaki farklı malzeme dizilişlerinin balistik darbede önemli olduğunu bize göstermektedir.
- Kompozitlerde, ilk plakada bulunan alüminyumun ilk çarpışma anında oluşan en yüksek iç enerji değeri bazında kendi iç enerjisini ilk plakalarda bulunan çeliğe göre daha iyi sönümleme yaptığı çizelge 6’da görülmektedir.
- Ansys / Ls-Dyna’ da yapılan bu 3 çeşit simülasyonda en iyi performansı veren diziliş şekli “1c+3al”, en kötü verimliliği veren diziliş şekli ise “0.5c+3al+0.5c” dir

KAYNAKÇA

[1] KURTARAN, H.; BÜYÜK, M.; ESKANDARIAN, A.: "Ballistic impact of GT model vehicle door using finite element method", Savunma Kongresi (Savtek), Ankara, Türkiye **(2002)**

[2] ACAR, B.: "Kompozit Zırhlarda Penetrasyonun Eksplisit Yöntemlerle Simülasyonu", Savunma Teknolojileri Kongresi (Savtek), Ankara, Türkiye **(2002)**

[3] BORVIK, T.; CLAUSEN, A.H.; ERIKSSON, M.; BERSTAD, T.; HOPPERSTAD, O.S.; LANGSETH, M.: "Experimental and numerical study on the perforation of AA6005-T6 panels", www.siciencedirect.com, **(2005)**

[4] ÜBEYLİ M.; ÖGEL B.: "Alumina / Alüminyum Katmanlı Kompozitlerin Balistik Performanslarının incelenmesi", Gazi Üniversitesi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Kongresi (Savtek), Ankara, Türkiye (2002)

[5] DURMUŞ, A.; BUYUK, M.; MUSAYEV, E.; BEDEWI, E., Nabih: "Bakır Folyolarda Plastik Perforasyon", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Kongresi (Savtek), Ankara, Türkiye (2004)

[6] ÖZŞAHİN, E.: "Entagre Bir Zırhın Yüksek Hızlı Çarpma Yükleri Altındaki Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak-Uzay Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye (2003)

[7] ŞENEL, F.; BALYA B.; PARNAS L.: "İleri Kompozit Zırh Malzemelerinin Balistik Analizi", Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Savunma Teknolojileri Kongresi (Savtek), Ankara, Türkiye (2004)

[8] BULUT, H.: "Balistik Koruyucu Teçhizatın kullanımında Kompozit Malzeme Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (2003)

[9] ÖZER, S.: "Balistik Koruma Amacıyla Kullanılan Malzemeler ve Bu Malzemelerin Balistik Deformasyonuna Etki Eden Faktörler", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (2004)

İletişim Adresleri

Ferhat SANLI
Adres: Örnek Mahallesi, 38. Cadde, Örnek Apartmanı, C Blok, Daire 7, ATAŞEHİR / İSTANBUL
Cep Tel: 0536 320 05 76
e-posta: sanliferhat@yahoo.com

Prof. Dr. Nihat AKKUŞ
Adres: Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü, Mekatronik Eğitimi Bölümü, 34722 / Kadıköy-İstanbul / TÜRKİYE
Cep Tel: 0536 658 98 66
Tel: 0 216 414 05 45 (PBX), Dahili: 320
Fax: +90 (216) 337 89 87
e-posta: nakkus@marmara.edu.tr

Arş.Gör. Ersin TOPTAŞ
Adres: Marmara Üniversitesi, Göztepe Kampüsü, Mekatronik Eğitimi Bölümü, 34722 / Kadıköy-İstanbul / TÜRKİYE
Cep Tel: -
Fax: +90 (216) 337 89 87
Tel: 0 216 414 05 45 (PBX), Dahili: 551
e-posta: etoptas@marmara.edu.tr

GÖZETMEN ATAMA PROBLEMİ İÇİN MODELLEME VE YASAKLI ARAMA YAKLAŞIMLARI

Ahmet Şen [(a)], Mehmet Çavdar [(b)]

[(a)] Deniz Harp Okulu, Dekanlık, End.Müh.Böl. 34942 Tuzla/İST., asen@dho.edu.tr

[(b)] Deniz Harp Okulu, Dz. Bil. ve Müh. Enst., 34942 Tuzla/İST, mcavdar@dho.edu.tr

ÖZ

Birçok üniversitede sınav dönemlerinde iki ayrı çizelgeleme / planlamanın yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlarda birincisi sınavlarının çizelgelemesi (hangi sınav, hangi saatte, hangi odalarda yapılacak) problemidir. İkincisi ise sınav çizelgesine uygun olarak sınavlarda kimlerin gözetmenlik görevleri yapacaklarının belirlenmesi maksadıyla çözülmesi gereken gözetmen atama problemidir. Bu çalışmada Deniz Harp Okulu sınav dönemlerindeki gözetmen görevlendirme usullerine uygun olarak tanımlanan gözetmen atama problemi üzerinde çalışılmıştır. Öncelikle problem tanımlanmış, tam sayılı modelleri sunulmuştur. Daha sonra, bu çalışmanın asıl amacı olan, problemin yasaklı arama (tabu search) sezgiseli kullanarak çözümü detaylarıyla gösterilmiştir. Mevcut gözetmen atama problemlerinin çözülebileceğini gösteren bilgisayısal sonuçlar çalışma sonunda sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atama Problemi, Doğrusal Programlama, Gözetmen Atama Problemi, Sezgisel Yöntemler, Tam Sayılı Programlama, , Yasaklı Arama

MODELING AND TABU SEARCH APPROACH FOR PROCTOR ASSIGNMENT PROBLEM

ABSTRACT

In many universities, there are two separate timetabling / scheduling problems which need to be solved during examination periods. The first is the examination timetabling problem (when and where to plan each examination). And the second one is the proctor assignment problem which determines who will proctor the exams according to the schedule generated by examination timetabling. In this study, we worked on the proctor assignment problem at Naval Academy. We define the problem and formulate a mixed integer programming model. We also show that the problem can be reformulated into combination of transportation and assignment subproblems. We develop a tabu search heuristic for the problem. Finally, we report computational results obtained by tabu search and mixed integer programming.

Keywords: Assignment Problem, Heuristics, Mixed Integer Programming, Linear Programming, Proctor Assignment Problem, Tabu Search

1. GÖZETMEN ATAMA PROBLEMİ

1.1. Problemin Tanıtımı

Deniz Harp Okulunda ara ve bitirme sınavları öğretim yılı faaliyet takviminde belirtilen zamanlarda yapılmaktadır. Ara sınavlar 1 hafta (5 iş günü), bitirme sınavları 2 hafta (10 iş günü) içerisinde tamamlanmaktadır. Sınav haftasından önce hangi öğrenci grubunun hangi dersin sınavına hangi dershanede gireceği, sınav saati ve hangi gözetmenin sınava nezaret edeceği planlanmaktadır. Herhangi bir sınav döneminde yaklaşık 330 sınav oturumunun çizelgelenmesi / planlanması gerekmektedir.

Sınavların icra edilmesi için gün içerisinde bazı periyotlar belirlenmektedir. Genelde günde 2 periyot planlama yapılırken, bu sayı daha da fazla olabilir. Sınav takvimi zorunlu şartlar dışında öğrencilerin istekleri göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Sınavların icra edilecekleri dershanelerin belirlenmesi, yeterli sayıda dershane mevcut olması nedeniyle kolay bir şekilde yapılmaktadır.

Çizelgeleme işleminin son basamağı bu çalışmanın konusu olan gözetmen atama problemidir (GAP). Çizelgeleme işlemi sonucunda herhangi bir sınavın yapılacağı gün, periyot, gerekli oda sayısı ve kaç gözetmen gerekli olduğu belirlenmektedir.

Gözetmen olarak görevlendirilebilecek ortalama 65 öğretim görevlisi bulunmaktadır. Her bir öğretim görevlisinin bir sınav döneminde icra edeceği gözetmenlik sayısı rütbesine göre belirlenmektedir. Gözetmenlik sayısı askeri hiyerarşi nedeniyle rütbeyle ters orantılıdır. Sınav döneminde personelin mazeretli olduğu periyot sayısı ve sınav döneminde gereken gözetmen adedi göz önünde bulundurularak her bir personelin tutabileceği gözetmenlik sayısı yeniden belirlenmektedir. Önemli olan husus öğretim görevlilerinin toplam gözetmenlik sayısı ile tüm periyotlar için gereken gözetmen sayısının eşit olmasıdır.

Bu çalışmaya konu olan GAP için amaç mümkün olduğunca adil bir şekilde gözetmenlik görevlerinin i) hrhangi bir gözetmen kendisi için belirlenen sayıda gözetmen görevi icra eder, ii) her sınav periyodu için gerektiği kadar gözetmen görevlendirilir, iii) bir periyotta bir öğretim elemanına birden fazla gözetmenlik görevi verilmez sıkı kısıtları altında atanmasıdır.

1.2. Yazın Taraması

Genelde GAP sınavların çizelgelenmesi problemi ile iç içedir. Bu çalışmanın dışında kaldığından sınavların çizelgelenmesi problemi ile ilgili olarak Qu ve diğerlerinin [1] çalışması ve bu çalışma içinde geçen referanslara bakılabilir.

Yazında GAP ile ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bunun sebebi birçok üniversitede problemin akademik bölümler tarafından kendi içlerinde halledilebiliyor olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. GAP ile ilgili en eski kaynak Carleton Üniversitesi için hazırlanan Awad ve Chinneck [2] çalışmasıdır. Awad ve Chinneck genetik algoritma kullandıkları çalışmalarında sınav dönemi 12-15 günü, her günde 3 sınav periyodunu içermekte, ve her bir periyotta duruma göre 30-70 arasında gözetmene ihtiyaç duyulduğunu rapor etmiştir.

Marti ve diğerleri [3] ise scatter search kullanarak University Pompeu Fabra of Barcelona'da uygulamada olan GAP problemi için çözüm rapor etmiştir. Test ettikleri en küçük problemde 23 gözetmen 21 sınav—kısım, en büyük problemde ise 180 sınav—kısım mevcuttur. Her bir sınav gününde iki planlama periyodu olduğunu belirtilmiştir. Marti ve diğerlerinin çalışmasında GAP için tamsayılı matematiksel bir model de verilmiştir.

Öner [4] tarafından sezgisel bir yaklaşım kullanılarak Deniz Harp Okulunda GAP çözümü çalışması yapılmıştır. Çalışmada öğretim elemanı için serbestlik derecesi ve her bir periyodu için uygunluk değeri saptanmış, en düşük serbestlik derecesine sahip öğretim görevlileri ve en yüksek atamaya gereksinim duyan periyodlar öncelikli olacak şekilde atamaların yapıldığı sezgisel bir yöntem rapor edilmiştir.

Özfırat ve Özkarahan [5] ise Dokuz Eylül Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü için geliştirilen bir GAP uygulaması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada toplam 33 sınav, 18 gözetmen için günde 4 periyot olacak şekilde bir problem için sonuçlar rapor edilmiştir.

2. PROBLEMİN TAM SAYILI MODELİ

Gözetmenlik görevlerinin adil şekilde dağıtılması birçok farklı şekilde yorumlanabilir. Bu çalışmada herbir gözetmen için o sınav periyodunda ne kadar gözetmenlik görevi yapacağının uygun bir şekilde belirlendiği kabul edilmiştir. Ayrıca iki ardışık sınav periyodundaki sınavların sürelerinden dolayı birbirlerini etkilemeyeceği kabuller arasındadır. Bu kabullerden sonra, adil dağıtımın sağlanması maksadıyla bir gözetmene i) iki gözetmenlik görevinin üst üste verilmesi ii) hemen mazeretli olduğu bir periyottan önce veya sonra görev verilmesi durumlarının engellenmesi amaç olarak belirlenmiştir. Bir gözetmene bu iki şartı sağlamayan herhangi bir görev verilmesi durumunda 1 ceza puanı oluştuğu kabul edilmiştir.

Bu durumda GAP problemini modellemek için kullanılam gösterim aşağıda verilmiştir.

- G gözetmenlerin kümesi $= \{1,2,...,|G|\}$
- P sınavların planlandığı periyotların kümesi $= \{1,2,...,|P|\}$
- a_p periyot p için gerekli gözetmen sayısı
- b_g gözetmen g 'nin sınav dönemi boyunca yapacağı görev sayısı
- $m_{g,p}$ gözetmen g sınav periyodu p için görev yapmaya uygunsa 1, değilse 0 değeri alan parametre
- gp bir günde sınav planlanabilecek periyot sayısı
- $x_{g,p}$ gözetmen g sınav periyodu p 'de görev atandı ise 1, diğer durumda 0
- $y_{g,p}$ gözetmen g sınav periyotları p ve $p+1$ 'deki mazeretleri ve görevlerinden dolayı ceza puanı alacaksa 1, diğer durumlarda 0.

Öyleyse GAP tamsayılı matematiksel modeli aşağıdaki gibi (TMP) oluşturulabilir.

(TMP)

$$\text{Enküçük}_{x,y}\ z = \sum_{g \in G} \sum_{\substack{p \in P: \\ p \bmod gp > 0}} y_{g,p} \qquad (1)$$

Kısıtlar:

$$\sum_{\substack{g\in G:\\ m_{g,p}=0}} x_{g,p} = a_p \qquad \forall p \in P \tag{2}$$

$$\sum_{\substack{p\in P:\\ m_{g,p}=0}} x_{g,p} = b_g \qquad \forall g \in G \tag{3}$$

$$y_{g,p} \geq \underbrace{\left(x_{g,p} + x_{g,p+1} - 1\right)}_{m_{g,p}=0,\, m_{g,p+1}=0} + \underbrace{\left(x_{g,p+1}\right)}_{m_{g,p}=1} + \underbrace{\left(x_{g,p}\right)}_{m_{g,p+1}=1} \qquad \forall g \in G, \forall p \in P : p \bmod gp > 0 \tag{4}$$

$$x_{g,p} \in \{0,1\} \qquad \forall g \in G, \forall p \in P \tag{5}$$

$$y_{g,p} \in \{0,1\} \qquad \forall g \in G, \forall p \in P : p \bmod gp > 0 \tag{6}$$

Tamsayılı matematiksel modelde (TMP) kısıt **(2)** periyotlar için gereken sayıda gözetmen görevlendirilmesini sağlar. Kısıt **(3)** ise her bir gözetmenin önceden belirlenmiş adette görev tutmasını sağlar. Kısıt **(4)** ise herhangi bir gözetmene üst üste iki periyotta (p ve $p+1$) , mazeretinden hemen sonra, veya mazeretinden hemen önce görev verilmesi durumunda y vektöründe uygun elemanın 1 değeri almasını sağlar. Kısıt **(5)** ve **(6)** ise x ve y değişkenlerini tanımlar. Amaç fonksiyonu **(1)** ise toplam cezaların en küçüklemesini amaçlar. Amaç fonksiyonu ve kısıtlarda yer alan ($p \bmod gp > 0$) ifadesi herhangi bir gün için son periyottan sonra görevlendirme olmayacağından sadece uygun noktalarda hesaplama yapmak maksadıyla kullanılmıştır.
TMP içinde yer alan **(2)** ve **(3)**Eğer TMP dikkatlice incelenirse kısıt **(2)** ve **(3)** ulaştırma problemi (transportation problem) modeline ait kısıtlardır. Ulaştırma problemine ait talep ve kapasite kısıtlarının (bu problemde **(2)** ve **(3)**) sağ tarafları tamsayı olması durumunda x vektörü kısıt matrisi katsayılarının özel yapısından dolayı (totally unimodularity) her zaman tamsayı sonuçlar üretecektir.
Eğer dikkatlice incelenecek olursa, TMP içerisinde yer alan y vektörünün elemanları mümkün oldukça 0 'a yakın olmak için zorlanacak, bunun dışında değer almaları ancak ve ancak x vektörünün elemanlarına bağlı olacaktır. Kısıt **(4)**'te eşitsizliğin sağ tarafı ancak tamsayı değerler alacağından y vektörü x 'e bağlı olarak, kısıt matrisinin özel yapısı bozulmadığı sürece, tamsayı değer alacaktır. Öyleyse TMP yeniden modelleme ile aşağıdaki doğrusal programlama modeli (DPM) halinde yazılabilir.

(DMP)

$$\text{Enküçük } z = \sum_{g\in G} \sum_{\substack{p\in P:\\ p \bmod gp>0}} y_{g,p} \tag{7}$$

Kısıtlar:

$$\sum_{\substack{g\in G:\\ m_{g,p}=0}} x_{g,p} = a_p \qquad \forall p \in P \tag{8}$$

$$\sum_{\substack{p\in P:\\ m_{g,p}=0}} x_{g,p} = b_g \qquad \forall g \in G \tag{9}$$

$$y_{g,p} \geq \underbrace{\left(x_{g,p} + x_{g,p+1} - 1\right)}_{m_{g,p}=0,\, m_{g,p+1}=0} + \underbrace{\left(x_{g,p+1}\right)}_{m_{g,p}=1} + \underbrace{\left(x_{g,p}\right)}_{m_{g,p+1}=1} \tag{10}$$

$$\forall g \in G, \forall p \in P : p \bmod gp > 0$$

$$0 \le x_{g,p} \le 1 \qquad \forall g \in G, \forall p \in P \qquad (11)$$

$$y_{g,p} \ge 0 \qquad \forall g \in G, \forall p \in P : p \bmod gp > 0 \qquad (12)$$

3. YASAKLI ARAMA YAKLAŞIMI

Çizelgeleme problemlerinde başarılı bir şekilde kullanılan [1] yasaklı arama sezgiselinin gözetmen arama probleminin çözümünde de kullanılabileceği değerlendirilmiştir. Aşağıda GAP için üretilen yasaklı arama (YA) algoritmasının adımları verilmiştir.

b_g hesapla ($\forall g \in G$ için);
Başlangıç çözümünü belirle;
Başlangıç çözümünü iyileştir;
x = İyileştirilmiş başlangıç çözümü;
En iyi çözüm = x ;
iyileşme yapılamayan iterasyon sayısı=1;
iterasyon sayısı=1;
While ((iyileşme yapılamayan iterasyon sayısı <= $*sc$) or (iterasyon sayısı <= $*ea$))
{ Tüm $x_{g,p}$ için en fazla k adet komşu çözüm olacak şekilde $K(x)$ belirle;
En iyi amaç fonksiyon değerine sahip $x' \in K(x)$ belirle;
if (x' < En iyi çözüm)
{ $x = x'$;
En iyi çözüm = x ;
}
Else
{ Yasaklı listesinde olmayan en iyi amaç fonksiyon değerine sahip $x'' \in K(x)$ belirle;
$x = x''$;
iyileşme yapılamayan iterasyon sayısı++;
}
Yasaklı listesini güncelle ;
iterasyon sayısı++;
}

3.1. Yasaklı Arama Algoritması Elemanları

a) Çözüm x : Problemin tüm kısıtlarını sağlayan herhangi bir çözümü ifade eder. DPM'de yer alan x vektörü ile aynı anlamdadır. Bir ara sınav dönemi için hazırlanan 5 gözetmenlik çözüm matrisi x Şekil 1'dedir.

	Pazartesi		Salı		Çar		Per		Cuma		
Periyod / Gözetmen No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gözetmenlik adedi
1	S	1	1						1	1	4
2	1		1						İZ	İZ	2
3	1	S			1	İZ					2
4		1	S			1	N	N			2
5				1	S		1	1		1	4
Gereken Gözetmen sayısı	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	Toplam=14

Mazeretler : N : Nöbet S : Sınav İz : izinli

Şekil 1. Ara Sınav Dönemi için Hazırlanan Çözümü.

b) Başlangıç çözümü : Yasaklı arama sezgiseli için kullanılan herhangi bir x çözümüdür. Çalışma kapsamında bir başlangıç çözümü bulan algoritma geliştirilmiştir. Başlangıç çözümünde, sınav dönemi süresince verilmesi planlanan görev sayılarının fazla olması nedeniyle kıdemsiz personelden başlanarak her bir periyot için gereken gözetmen sayıları göz önünde bulundurularak atamalar yapılmaktadır. Başlangıç çözümü, bir anlamda ulaştırma problemi başlangıç çözümü elde etmekte kullanılan Kuzey Batı köşe yönteminin değişik bir yorumlamasıyla elde edilen geliştirilmiş—Güney Batı köşe yöntemidir.

c) Başlangıç çözümünün iyileştirilmesi: Problemde eşit miktarda görev ataması bulunan gözetmenlerin, başlangıç çözümünde yer alan atamalarının tamamıyla yer değiştirilmesiyle çözümün amaç fonksiyonu değerinde iyileştirme yapılabilmesi durumunda çözüm uygun şekilde değiştirilir.

Bir ara sınav dönemi için hazırlanan 5 gözetmenlik x çözümünün 1 ile 4 numaralı gözetmen atamalarının yer değiştirilmesi ile oluşturulan geliştirilmiş çözüm matrisi Şekil 2'dedir.

d) Çözüm uzayı X : Problemin kısıtlarını sağlayan tüm x çözümleri kapsayan çözüm kümesi.

e) Komşuluk $K(x)$: $x \in X$ çözümü elde edilmiş herhangi bir çözüm olsun. Çözüm vektöründe herhangi iki gözetmen g_1 ve g_2'ye atanmış görevlerinin mazeretlerin müsait olması durumunda karşılıklı olarak yerlerinin değiştirilmesi (swap) ile edilen tüm çözümler $K(x)$ komşu çözüm kümesini oluştururlar. Bu şekilde elde edilecek komşuluk kümesi çok büyük olabileceğinden kümeye dahil olacak eleman sayısına sınırlama getirilebilir. Atamaların yer değiştirilmesiyle oluşan bir komşuluk örneği Şekil 3'tedir.

f) Amaç fonksiyonu değeri: Amaç fonksiyonu ceza puanlarının toplamıdır. DPM amaç fonksiyonunda (7) yer aldığı şekilde hesaplanır.

g) Yasaklı listesi : Çözüm esnasında çeşitliliği artırmak için belirli bir süre daha önceden yapılmış atama değişikliğine tekrar dönülmesini engellemek üzere yasaklı listesi tanımlanmıştır. Gözetmen g'ye periyot p'de görev verildi / kaldırıldı ise yasaklı listesinde olduğu sürece $x_{g,p}$ değişkeni ve aynı gün için tanımlandı ise $x_{g,p-1}$ ve $x_{g,p+1}$ değişkenleri değerini koruyacaktır. 3 adet iterasyon süresince tekrar dönülmeyecek değişimler için hazırlanan Yasaklı Liste matrisi Şekil 4'tedir.

	pazartesi		Salı		Çar		Per		Cuma		
Periyod / Gözetmen No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gözetmenlik adedi
1	S	1	1						1	1	4
2	1		1						İZ	İZ	2
3	1	S			1	İZ					2
4		1	S			1	N	N			2
5				1	S		1	1		1	4
Gereken Gözetmen sayısı	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	Toplam=14

	pazartesi		Salı		Çar		Per		Cuma		
Periyod / Gözetmen No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gözetmenlik adedi
1	S			1			1	1		1	4
2	1		1						İZ	İZ	2
3	1	S			1	İZ				1	2
4		1	S			1	N	N			2
5		1	1		S				1	1	4
Gereken Gözetmen sayısı	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	Toplam=14

Şekil 2. Başlangıç Çözümünün Geliştirilmesi Örneği.

	Pazartesi		Salı		Çar		Per		Cuma		
Periyod / Gözetmen No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gözetmenlik adedi
1	S	1	1						1	1	4
2	1		1						İZ	İZ	2
3	1	S			1	İZ					2
4		1	S			1	N	N			2
5				1	S		1	1		1	4
Periyod için Gereken Gözetmen sayısı	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	Toplam=14

Şekil 3. Atama Yer Değiştirilmesi (Swap).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1					3	3			3	3
2	1	1	2	2			1	1	2	2
3			2	2					2	2
4	1	1					1	1		
5					3	3			3	3

Şekil 4. Yasaklı Listesi.

h) Yasak kaldırma ölçütü: İncelenen komşu çözüm x' önceki iterasyonlar süresince incelenmiş en iyi amaç fonksiyon değerini veren çözümlerden daha iyi bir sonuç verirse, yasaklı listesinde olsa bile, yeni eniyi çözüm olarak x' kabul edilir.

i) Durdurma ölçütü: Problemin amaç fonksiyon değerinde belirli bir adım sayısı süresince iyileşme sağlanamazsa ya da belirlenen en fazla adım sayısına ulaşılınca arama durdurulur.

3.2. Yasaklı Arama Algoritması Parametreleri

Geliştirilen YA için gözetmen sayısı $|G|$, periyot sayısı $|P|$, gözetmenlerin mazeretleri $m_{g,p}, \forall g \in G, \forall p \in P$, herbir periyotta kaç görev gerektiği $(\sum_{p \in P} a_p)$, gözetmenlerin kıdemlerine göre sıralanmış hali, komşuluk sayısı k, yasaklı olma süresi ys, iyileşme olmadan yapılacak yapılacak en fazla adım sayısı sc ve yapılacak en fazla toplam adım sayısı ea problemin girdileri olarak kabul edilmiştir. YA algoritmasından önce her bir gözetmen g'ye kaçar görev verileceği (b_g) toplam ihtiyaca ve gözetmenlerin mazeretlerine bakarak hesaplanmaktadır. Problemin DPM ile çözümünde de hesaplanan b_g değerleri karşılaştırma yapılabilmesi maksadıyla kullanılmıştır.

4. BİLGİSAYISAL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında C++ programlama dili kullanılarak bir YA algoritması hazırlanmıştır. Öncelikle ara ve bitirme sınavları için test problemleri oluşturulmuştur. Deneyler 256 MB RAM ve PENTIUM-3 İşlemciye sahip bir dizüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

Geçmiş veriler incelendiğinde gözetmenlerin mazeret oranın % 20 civarında olduğu görülmüştür. Bu nedenle algoritma her koşumunda mazeret yoğunluğu $(my) = \%10, \%20, \%30$ olacak şekilde 20 adet problem üretilmiştir. Üretilen her bir problem $gp = 2$ *ve* 4 için çözülmüştür.

Tüm problemler için $|G| = 63$ olarak belirlenmiş, ortalama 330 sınav oturumu için görevlendirme yapılmıştır. Diğer parametreler ise iyi bir amaç fonksiyon değerine sahip çözüm bulabilecek şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda $k = 50$, $sc = 20$, $ea = 150$ değerleri esas alınmıştır.

Problemler her bir ys değeri için farklı bir sonuç vermekle birlikte karşılaştırma maksadıyla sadece $ys = 0$ *ve* 30 değerleri için GAP için YA test edilmiştir. Bir ara sınav dönemi için elde edilen sonuçlar Cetvel 1'de verilmiştir. Sonuçlarda DPM doğrusal programlamadan elde edilen eniyi çözüm değerini, YA yasaklı arama ile edilen eniyi çözüm değerini, "% fark" $(YA - DPM)/DPM)$ değerini, YA süre ise YA algoritmasının belirtilen problemi ne kadar saniyede çözdüğünü göstermektedir.

YA tarafından elde edilen sonuçları karşılaştırmak üzere tüm problemler için DPM olarak modellenmiş durumları GAMS arayüzü kullanılarak CPLEX 7.0 çözücü programıyla çözülmüştür. Test problemleri için DPM çözümleri incelendiğinde bazı problemlerde kısıt matrisinin tamsayı çözümü garanti etme özelliğinin bozulduğu görülmüştür. Test problemlerinin CPLEX ile çözüm süreleri oldukça küçük değerlerdir. Cetvel 1'de rapor edilen problem kümeleri için DPM; 5 gün ve günde 2 periyot olacak şekilde çözülen problemlerde ortalama 400 kısıt, 900 değişken, 5 gün ve günde 4

periyot olacak şekilde çözülen problemlerde ise ortalama 1000 kısıt, 2000 değişken yapısında oluşmuştur.

Cetvel 1. Ara Sınav Dönemi Test Problemleri için Elde Edilen Sonuçlar

	5 gün, günde 2 periyot												5 gün, günde 4 periyot											
	my=%10				my=%20				my=%30				my=%10				my=%20				my=%30			
Pr	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)	DPM	YA	% fark	YA süre (sn)
1	65	65	0	4	108	108	0	1	139	139	0	1	2	13	5.5	15	33	41	0.24	12	107	139	0.3	1
2	68	68	0	3	95	95	0	2	145	145	0	1	6	15	1.5	14	25	39	0.56	13	122	145	0.19	1
3	66	66	0	4	103	103	0	1	134	134	0	1	7	14	1	14	47	58	0.23	11	93	134	0.44	1
4	60	60	0	5	107	107	0	1	125	125	0	1	1	6	5	16	29	39	0.34	12	inf	*	*	1
5	70	70	0	2	92	93	0.01	2	137	137	0	1	5	16	2.2	15	24	37	0.54	10	101	137	0.36	1
6	59	59	0	5	92	92	0	2	131	131	0	1	5	12	1.4	13	29	44	0.52	12	inf	*	*	1
7	68	68	0	3	107	107	0	1	127	127	0	1	4	16	3	16	26	39	0.5	11	107	112	0.05	1
8	63	63	0	4	101	101	0	2	127	127	0	1	1	12	11	5	36	41	0.14	9	93	127	0.37	1
9	67	67	0	3	111	111	0	1	145	145	0	1	1	15	14	16	52	60	0.15	7	107	145	0.36	1
10	54	54	0	5	106	106	0	2	145	145	0	1	2	10	4	16	33	41	0.24	9	107	145	0.36	1
11	65	65	0	3	107	107	0	1	130	131	0	1	6	14	1.33	14	38	55	0.45	10	107	131	0.22	1
12	61	61	0	4	109	110	0.01	1	131	131	0	1	5	15	2	15	39	52	0.33	12	89	131	0.47	1
13	60	60	0	4	101	101	0	2	128	129	0	1	3	11	2.67	14	29	42	0.45	10	99	129	0.3	1
14	55	55	0	5	106	106	0	1	130	130	0	1	0	6	*	16	29	41	0.41	10	95	130	0.37	1
15	68	68	0	3	104	104	0	1	129	130	0	1	3	10	2.33	15	27	37	0.37	13	104	130	0.25	1
16	57	57	0	4	92	92	0	2	140	140	0	1	8	13	0.63	14	39	49	0.26	11	102	140	0.37	1
17	71	71	0	3	104	104	0	1	138	139	0	1	8	15	0.88	13	30	44	0.47	9	118	139	0.18	1
18	61	61	0	4	97	97	0	2	135	135	0	1	4	12	2	16	24	34	0.42	13	123	135	0.1	1
19	64	64	0	4	100	100	0	1	128	128	0	1	2	20	9	14	37	48	0.3	10	93	128	0.38	1
20	58	58	0	5	103	103	0	2	135	135	0	1	2	11	4.5	16	31	41	0.32	11	101	135	0.34	1
Ortalama			0	3.85			0	1.45			0	1			3.89	14.4			0.36	10.8			0.3	1

Cetvel 1 incelendiğinde YA günde periyot sayısı 2 olduğunda tüm problemler için eniyi sonuca ulaşmıştır. Problemde mazeret yoğunluğu arttıkça YA süresinin azalması ise, mazeretlerden dolayı mümkün hareketlerin azalması olarak değerlendirilebilir. Günde periyot sayısı 4'e çıktığında ise, YA eniyi değeri ile DPM eniyi değeri arasında fark daha da büyük olarak gerçekleşmiştir. Yine mazeretlerin az olduğu bölümde YA eniyi sonuçlarda yaklaşık %4 uzakta kalmıştır. Mazeret yoğunluğu arttıkça YA sonuçları DPM sonuçlarına yaklaşmış ve YA süresi de kısalmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada gözetmen atama problemlerine yasaklı arama sezgiseli ile yaklaşım üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında GAP için YA uygulaması üzerinde çalışılabileceği ve yöntemin eğitim çizelgeleme/planlama (ders çizelgeleme / sınav çizelgeleme / günlük görevlerin çizelgelemesi) problemlerine uygun olabileceği değerlendirilmiştir.

Gelecekteki çalışma olarak, YA algoritması parametrelerinin ince ayarlarının yapılması ve DPM kısıtlarının oluşturduğu çözüm uzayının köşe noktalarının (extreme points) yapısı üzerinde çalışılabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] R. Qu, E.K. Burke, B. McCollum, L.T.G. Merlot ve S.Y.Lee, (2008), "A survey of search methodologies and automated system development for examination timetabling", Journal of Scheduling, DOI: 10.1007/s10951-008-0077-5.

[2] R.M. Awad ve J.W. Chinneck, (1998), "Proctor Assignment at Carleton University", Interfaces, Vol. 28, No. 2 (Mar. - Apr., 1998), 58-71.

[3] R. Martí, H. Lourenço, ve M. Laguna, "Assigning proctors to exams with scatter search," Computing Tools for Modeling, Optimization and Simulation: Interfaces

in Computer Science and Operations Research, M. Laguna ve J.L. González-Velarde (editörler), Kluwer Academic, 2000, pp. 215–227.

[4] A.Öner, (2002), "Deniz Harp Okulunda Çizelgeleme/ Atama Problemleri ve Çözüm Yöntemleri", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Fakültesi.

[5] P.M.Özfirat, İ.Özkarahan, (2005), "A Mathematical Approach to the Integration of Exam Timetabling and Proctor Scheduling Problem", Proceedings 35th International Computers & Industrial Engineering Conference, Istanbul Turkey, 1505-1510.

EK BİLGİ

Ahmet Şen
Deniz Harp Okulu
Dekanlık, End.Müh.Böl.
34942 Tuzla İstanbul
asen@dho.edu.tr
Tel: 0-216-3952630 (3661)
Belgegeçer: 0-216-3952658

Mehmet Çavdar
Deniz Harp Okulu
Deniz Bil.ve Müh.Enst.
34942 Tuzla İstanbul
mcavdar@dho.edu.tr
Tel: 0-216-3952630
Belgegeçer: 0-216-3952658

RFID TEKNOLOJİSİNİN TEDARİK ZİNCİRİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN FARKLI ÜRÜN DEĞERLERİ İÇİN İNCELENMESİ

Alp Üstündağ

Deniz Harp Okulu Endüstri Mühendisliği Bölümü Tuzla/İstanbul austundag@dho.edu.tr

ÖZ

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemi (RFID), etrafında anten sarılı olan bir mikroçip (etiket) ve bir okuyucudan oluşan otomatik tanıma sistemidir (Auto-ID). Veri ve enerji transferi, etiket ve okuyucu arasında herhangi bir temas olmadan sağlanmaktadır. Okuyucunun yaydığı elektromanyetik dalgalar antenle buluşmakta ve etiket içindeki devreleri harekete geçirmektedir. Etiket dalgaları modüle ederek okuyucuya geri göndermekte ve okuyucu da yeni dalgayı dijital veri haline dönüştürmektedir. Bu teknoloji ile tedarik zincirinin her aşamasında gerçek zamanlı stok ve lojistik bilgisi üretici, tedarikçi, dağıtıcı ve perakendeciler tarafından paylaşılabilmektedir. Yakın gelecekte RFID kullanımı, lojistik başta olmak üzere tüm iş süreçlerinde hızla yaygınlaşacaktır. RFID yatırımlarının firmalar açısından stratejik bir karar olarak algılanması ve maliyet/fayda analizlerinin detaylı bir şekilde yapılması gereklidir. Bu çalışmada RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi farkı ürün değerleri için incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: RFID, tedarik zinciri, ürün değeri, benzetim modeli

INVESTIGATING THE IMPACT OF RFID TECHNOLOGY ON SUPPLY CHAIN FOR DIFFERENT PRODUCT VALUES

ABSTRACT

RFID is an Automatic Identification (Auto-ID) system consisting of a microchip with a coiled antenna (tag) and a reader. Data and energy are transmitted without any contact between the tag and the reader. The reader sends out electromagnetic waves that form a magnetic field so the microchip's circuits are powered. The chip modulates the waves and sends back to the reader. The reader converts the new waves into digital data. Real time inventory and logistics information is shared at any stage of the supply chain by the supplier, manufacturer, distributor and retailer. In the near future, RFID will be used widespread in bussiness processes especially in logistics. Therefore, RFID investments should be considered as strategic decisions and evaluated comprehensively. In this studyi the impact of RFID technology on supply chain is investigated for different levels of product value.

Keywords: RFID, supply chain, product value, simulation model

1. GİRİŞ

Radyo Frekanslı Tanıma Sistemleri'nin (RFID) mobil ve kablosuz iletişim teknolojileri içindeki önemi giderek artmakta, farklı kullanım alanları ile çok sayıda sektörü etkileyeceği bilinmektedir. RFID, radyo dalgalarını kullanarak ürün ve malzemelerin tanınmasını sağlayan bir otomatik tanıma sistemidir. RFID tabanlı otomatik tanıma sistemlerini oluşturan elemanlar şu şekilde tanımlamaktadır [1]:

- Belirli bir ürün ya da malzemeye atanmış tekil kimlik bilgisi
- Ürün ya da malzeme üzerine iliştirilmiş, veri depolama kapasitesine sahip ve elektronik olarak çevresi ile iletişim kurabilen bir kimlik etiketi
- Çok sayıda etiketten gelen sinyali yüksek bir hızda okuma ve doğru bir şekilde işleme yeteneğine sahip, RFID okuyucuları ve veri işleme sistemlerinden oluşan bir ağ yapısı
- Çok sayıda ürün bilgisini depolama yeteneğine sahip ağ içinde yer alan bir veya birden fazla veri tabanı

RFID etiketleri, yüksek miktarda bilgi depolayabilmekte, toplu halde hızlı bir şekilde okunup yazılabilmekte, farklı çevresel koşullar içinde okuyucular sayesinde veri iletişimini uzak mesafelerden sağlayabilmektedir. Bu özellikleri ile RFID teknolojisi, diğer otomatik tanımlama sistemlerine göre üstünlük sağlamaktadır.

RFID pazarındaki gelişmeler, uygulama alanındaki hareketliliğin giderek arttığını göstermektedir. IDTechEx şirketi tarafından yayımlanan araştırma raporunda 2007 yılı başına kadar 3,8 milyar adet RFID etiketinin satıldığı ve bu satışların 600 milyon adedinin 2005 yılında, 1,02 milyar adedinin 2006 yılında gerçekleştiği bildirilmektedir. 2006 yılında büyüklüğü $1,48 milyar olan pazarın, 2017 yılında $ 27,88 milyar olması beklenmektedir [2].

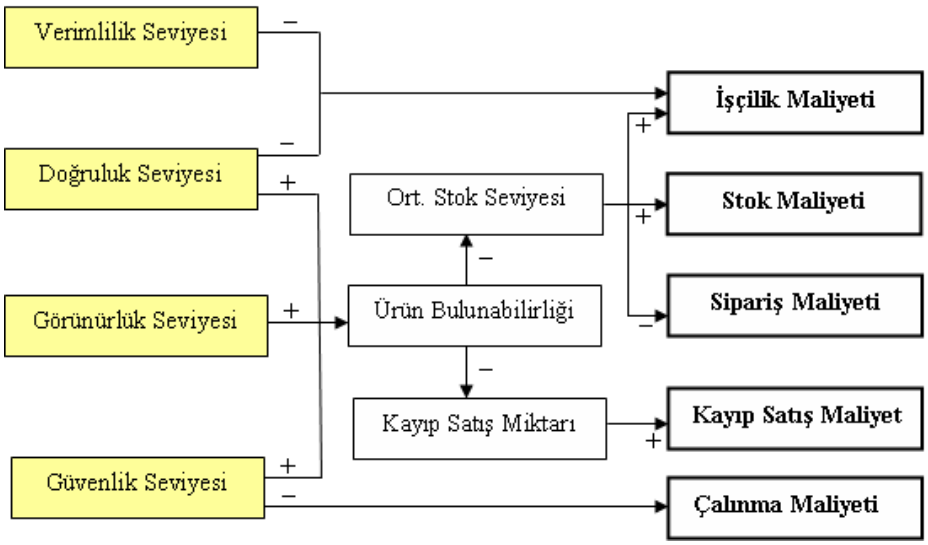
Tüm bu gelişmeler, RFID sistem yatırımlarının firmalar açından stratejik bir karar olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Yatırım değerinin yüksekliği, süreçlerde yeniden yapılanmanın gerekliliği, bu teknoloji ile ilgili performans analizlerinin en ayrıntılı şekilde yapılması gerektiğine işaret etmektedir. Bu çalışmada RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi farkı ürün değerleri için incelenmiştir.

2. RFID VE TEDARİK ZİNCİRİ

RFID teknolojisi, firmaların iş süreçlerini yeniden şekillendirmekte, verilerin toplanması ile ilgili olarak firmalara farklı bir IT altyapısı kazandırmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde RFID yatırımlarının stratejik bir karar olarak algılanması gerekmektedir. RFID teknolojisi, ürünlerin veya malzemelerin birim, kutu veya palet seviyesinde izlenmesinde büyük faydalar sağlamaktadır. Süreç verimliliği artmakta, işçilik maliyetleri azalmakta, artan görünürlük ile birlikte ürün bulunabilirliği ve tedarik zincirindeki koordinasyon artmaktadır. Tahmin hataları, gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki farklar azalmakta, depolarda tutulan stok miktarları düşmektedir. Doğruluk seviyesinin artması, zincir üyelerinin daha etkin kararlar verebilmesini sağlamaktadır.

Güvenlik seviyesinin yükselmesi ile birlikte ürün çalınma oranları düşmektedir. Stokta bulunmama ve kayıp satış oranları azalmakta, nihai anlamda müşteri memnuniyeti artmaktadır. Günümüzde, stoklarda oluşan fireler, perakendeci ve imalatçılar için büyük sorun oluşturmaktadır. Stoklarda oluşan fire; çalınma, malzemenin zarar görmesi, sahtecilik, yanlış yerleştirme ya da işlem hatalarından kaynaklanmaktadır. Bu durum gerçek ve kayıtlı stok miktarları arasında farklılığa neden olmakta ve stokta bulunmama, kayıp satış gibi sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. RFID teknolojisi ile bu sorunlara çözüm sağlanmakta, görünürlüğün artması ile birlikte gerçek stok miktarlarına daha yakın değerler elde edilmekte, ürün tedariki çok daha doğru gerçekleştirilmekte ve daha az stokta bulunmama durumu oluşmaktadır. Stokların daha doğru izlenmesi ile işlem hataları azalmakta, yanlış yerleştirmeler engellenmekte, sahtecilik ortadan kalkmakta ve fire miktarları azalmaktadır.

RFID teknolojisi ile verimlilik, doğruluk, güvenlik ve görünürlük seviyelerinde sağlanan artışın, işçilik, stok, sipariş kayıp satış ve çalınma maliyetlerinde oluşturduğu etkinin yönü Şekil 1'deki faktör ilişki diyagramında yer almaktadır [3] :



Şekil 1. Faktör-İlişki Diyagramı

3. BENZETİM MODELİ

İncelenen tedarik zinciri; üretici, dağıtıcı ve perakendeci olmak üzere üç aşamalı bir yapıdan oluşmaktadır. Müşteri talebine göre, perakendeci dağıtıcıyı, dağıtıcı da üreticiyi tetiklemektedir. Bilgi akışı müşteriden üreticiye doğru oluşurken, ürün akışı da üreticiden perakendeciye doğru gerçekleşmektedir.

Benzetim modeli Crystal Ball 7.2.1 yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Perakendeci, dağıtıcı ve üretici açısından RFID teknolojisinin beş temel lojistik süreç üzerinde uygulanacağı varsayılmıştır: Ürün kabul, ürün yerleştirme, stok sayım, ürün toplama, ürün yükleme. Perakendecinin karşıladığı müşteri talebi normal dağılıma göre oluşmakta, verilen sipariş miktarı, ekonomik sipariş miktarı (EOQ) yöntemine göre hesaplanmaktadır.

Depo giriş ve çıkış noktalarında RFID geçiş sistemlerinin yer aldığı, ürün bazında RFID uygulamasının olduğu ve görevlilerin RFID el terminalleri ile işlem yaptığı varsayılmaktadır. Tasarlanan yapıda ürün kabul ve ürün yükleme işlemlerinde RFID geçiş sistemleri yardımı ile toplu okuma gerçekleştirilmektedir. Ürün yerleştirme, stok sayım ve ürün toplama işlemleri rafların ve ürünlerin üzerindeki RFID etiketlerinin RFID el terminalleri ile okutulması yöntemi ile tamamlanmaktadır. Perakendeci seviyesinde RFID geçiş sisteminin arka depo giriş/ çıkış ve ön satış sahasının çıkışında yer aldığı varsayılmakta, raf ve arka depo stokları bir arada değerlendirilmektedir.

Modelde yanlış yerleştirilen, yanlış yüklenen, zarar gören ve çalınan ürünlerden kaynaklı gerçek ve kayıtlı stoklar arasındaki fark, tedarik zincirinin üç üyesi için de göz önüne alınmaktadır. Şekil 1'deki faktör ilişki diyagramında belirtilen ilişkiler esas alınarak, RFID teknolojisinin verimlilik, doğruluk, görünürlük ve güvenlik etkisi, işçilik, stok (elde tutma), sipariş, kayıp satış ve çalınma maliyet faktörlerindeki değişim ile ölçülmektedir.

Modelde yanlış yerleştirme (a), yanlış yükleme (δ), zarar görme (b) ve çalınma (g) olarak tanımlanan hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID teknolojisinin kullanıldığı ve kullanılmadığı durum için farklı değerler taşımaktadır. Hata oranları ve birim ürün süreç maliyetleri, RFID entegre durum için otomasyon kaynaklı olarak azalmaktadır.

Stoklarda oluşan hatalardan dolayı sistemde kayıtlı olarak görünen stoklar ile gerçek stoklar arasında fark oluşmaktadır. Gün içindeki başlangıç stoku (Ii-1) ile müşteri talebi (Di) arasındaki farka gelen sipariş miktarı (Qi) eklendiğinde görünen (kayıtlı) gün sonu stok miktarı hesaplanmaktadır (1-2). Stok sayım zamanlarında sistem, hatalardan arındırıldığında, görünen gün sonu stok değeri, gerçek gün sonu stok değerine eşitlenmektedir.

$$I_i^{görünen} = I_{i-1} - D_i + Q_i \quad (1)$$

$$I_i^{gerçek} = I_{i-1} - D_i + Q_i * [(1 - (\alpha + \beta + \gamma + \delta)] \quad (2)$$

Sistem sipariş emirlerini görünen stok pozisyonuna göre vermekte, kayıp satışlar ise gerçek stok pozisyonuna göre oluşmaktadır. Stok sayım zamanında bu farklar görülmekte, yanlış yerleştirilen ürünler doğru yerlerine taşınmakta sistem kaydı düzeltilmektedir. Bu şekilde görünen ve gerçek stoklar birbirine eşit olmaktadır

Çalışmada bağımsız faktör olarak belirlenen ürün değeri değişkeninin farklı seviyeleri için RFID uygulanan ve uygulanmayan sistem arasında oluşan performans farkı ölçülmektedir.

4. UYGULAMA

Müşteri talebi, tedarik zincirinde perakendecinin karşılaştığı talep yapısını ifade etmektedir. Tedarik zinciri envanter yönetimi ile ilgili birçok çalışmada, talep yapısının normal dağılıma uyduğu varsayılmaktadır [4]. Bu çalışma çerçevesinde de tüketici talep yapısı günlük ortalaması 1000 adet olan normal dağılım olarak belirlenmiştir. Farklı talep belirsizliklerinin tedarik zinciri üzerindeki etkisi değişen standart sapma düzeyleri ile test edilmiştir.

ABD perakende sektörü için yapılan bir araştırmada firma bazında hatalı teslimat oranı % 0.25, çalınma oranı % 1.5, zarar görmüş ürün oranı % 0.2, yanlış yerleştirme oranı % 2 olarak belirlenmiştir [5]. Bu çalışmada da, mevcut sistem hata oranları için aynı değerler baz alınmış ancak güvenlik seviyesinin daha yüksek olduğu varsayılarak çalınma oranı daha düşük tutulmuştur. RFID uygulamalı modelde zarar görmüş ürün oranı değişmemekle birlikte, diğer hata oranlarının sıfır seviyesine düşeceği varsayılmıştır (Çizelge 1). Bu şekilde RFID teknolojisinin kullanımı ile görünen ve gerçek stoklar arasındaki farkların minimum seviyeye düşmesi beklenmektedir.

Çizelge 1. Hata oranları

Hata Oran	α (yanlış yerleştirme)	β (zarar)	γ (çalınma)	δ (eksik sevkıyat)
Mevcut Sistem	% 2	% 0.2	% 0.5	% 0.25
RFID Sistem	% 0	% 0.2	% 0	% 0

Süreç bazında birim ürün depolama maliyetleri şu şekilde belirlenmiştir: Ürün kabul \$0.015, ürün yerleştirme \$0.03, stok sayım \$0.015, ürün toplama \$0.06, ürün yükleme aşaması \$0.03. Aynı araştırmada ürün bazında RFID etiket uygulamasının gerçekleştirildiği ve depo işlemleri için RFID geçiş sistemi ve el terminallerinin kullanıldığı durumda, otomasyon kaynaklı olarak beklenen işgücü kazanımları sırasıyla % 50, % 30, % 95, % 40, ve %50 olarak belirtilmiştir. Toplam maliyete etki eden birim kayıp satış maliyeti, ürünün kabul edilen kar oranı % 5, parti sipariş maliyeti \$40 olarak belirlenmiştir. Birim elde tutma maliyeti hesaplanırken yıllık faiz oranı % 5 esas alınmıştır. Tedarik zinciri üyeleri arasındaki ilişkinin göz önüne alınarak, RFID etkisinin ölçülebilmesi için, modelde her üye için aynı parametre değerleri kullanılmıştır. Deneysel tasarım için kullanılan ürün değerleri 5, 15 ve 80 olarak belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre ürün değerinin yükselmesi ile birlikte toplam tedarik zinciri maliyet kazanımı artış göstermektedir. Bu artış birim maliyetin yükselmesinden dolayı ağırlıklı olarak çalınma ve kayıp satış maliyet farklarından kaynaklanmakla birlikte, kazanım miktarı perakendeci seviyesinde daha yüksek, dağıtıcı ve üretici seviyesinde daha düşüktür. Zincir boyunca ortalama stok seviyesi azalmasına rağmen ürün değer artışından dolayı elde tutma maliyeti kazanımında artış gerçekleşmektedir. Birim elde tutma maliyetinin artmasından dolayı verilen sipariş miktarı ve genel stok seviyesi azalmakta, bu da süreç maliyet farkı kazanımında azalma eğilimi oluşturmaktadır. RFID uygulaması ile birlikte, görünen ve gerçek stok seviyeleri birbirine yaklaşmakta, sipariş maliyetinde oluşan kayıp, ürün değer artışı ile birlikte yükselmektedir.

ANOVA analizi sonucunda oluşan Çizelge 2 Tukey testi sonuçları, RFID uygulamalı tedarik zinciri toplam ve kayıp satış maliyet kazanımlarının, artan ürün değeri ile birlikte yükseldiğini göstermektedir.

Çizelge 2. Ürün değeri etkisi Tukey testi sonuçları

Bağımlı Değişken	(I) Ürün Değeri	(J) Ürün Değeri	Ortalama Farkı	P (Sig.)
	5	15	-41730	0.00
		80	-443096	0.00
Toplam Maliyet	15	5	41730	0.00
		80	-401366	0.00
	80	5	443096	0.00
		15	401366	0.00
	5	15	-12365	0.00
		80	-181339	0.00
Kayıp Satış	15	5	12365	0.00
Maliyeti		80	-168975	0.00
	80	5	181339	0.00
		15	168975	0.00

5. SONUÇ

RFID teknolojisinin özellikle tedarik zinciri açısından çok büyük faydaları bulunmaktadır. Bunlar zincirin daha sıkı izlenmesi ve yönetilmesi, stok yönetiminin daha az çalışan ile sağlanması, düşük işçilik maliyetleri, müşteri hizmetlerinde kalitenin artırılması, fire oranlarında azalma, müşterilerin daha iyi hedeflenmesi ve müşteri davranışının daha iyi modellenmesi olarak sıralanabilir. Firmalar, stratejik olarak RFID yatırım kararı vermeden önce ayrıntılı bir değerlendirme yapmalıdır. Bu bağlamda ön değerlendirme aşamasında kapsamlı süreç, teknoloji ve finans analizleri gerçekleştirmelidir. Yaptığımız bu çalışmada RFID teknolojisinin tedarik zinciri üzerindeki etkileri farklı ürün değerleri için incelenmiş, temel maliyet kazanımlarının çalınma ve kayıp satış maliyetlerinde oluştuğu görülmüştür. Ürün değeri yükseldikçe toplam maliyet kazanımının artış gösterdiği, perakendeci seviyesinde bu kazanımın daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKÇA

[1] McFarlane, D. and Sheffi, Y.(2003), "The Impact of Automatic Identification on Supply Chain Operations", The International Journal of Logistics Management, Vol 1,pp.14- 17.

[2] Das, R. and Harrop P.(2007), eds, "RFID Forecasts, Players & Opportunities 2007- 2017", IDTechEx Ltd, Cambridge, UK.

[3] Üstündağ, A.,(2007) "Radyo Frekanslı Tanıma (RFID) Teknolojisinin Tedarik Zinciri Üzerindeki Etkileri", Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] Fleisch, E. and Tellkamp C.,(2005) ”Inventory inaccuracy and supply chain performance: a simulation study of a retail supply chain”, International Journal of Production Economics, Vol. 95, pp 373-385.

[5] Hollinger, R.C. and Davis, J.L.,(2001), eds. National retail security survey, Technical Report, Department of Sociology and the Center for Studies in Criminology and Law, University of Florida, 120, Florida.

Ağ Merkezli Denizaltı Savunma Harbinde Bilgisayar Tabanlı Karar Destek Sistemlerinin Kullanım Alanları

Dr. Y.Müh.Bnb. Ömer LİVVARÇİN [(a)], Y.Müh.Bnb. Namık Kaplan [(b)]
(a) DzKK Araştırma Merkezi Komutanlığı, İstanbul, olivvarcin@armerk.tsk.tr
(b) DzKK Araştırma Merkezi Komutanlığı, İstanbul, nkaplan@armerk.tsk.tr

ÖZ

Modern deniz savaşlarında en büyük tehditlerden biri olarak kabul edilen denizaltılara karşı etkili bir savunma harbinin sağlanması; kendi imkan ve kabiliyetlerimize ilave olarak ortam şartlarının ve tehdit yeteneklerinin en doğru şekilde değerlendirilmesi ve bu çerçevede dinamik çözümler üretilmesiyle mümkün olabilmektedir. Ancak, çok sayıda etkenin çok hızlı değişkenlik göstermesinden dolayı denizaltı savunma harbine yönelik ideal çözümlerin üretilmesi; sadece operatörlerin gayretleri veya askeri dokümanlarla mümkün olamamakta ve bilgisayar tabanlı karar destek sistemlerinin kullanımını kaçınılmaz kılmaktadır. Bu amaçla geliştirilen karar destek sistemleri; harekat sahasındaki gerçek zamanlı kullanımlarının yanısıra görev öncesi planlamalarda, görev sonrası analizlerde ve gerçek senaryolar çerçevesindeki eğitimlerde de kullanılabilmektedir.

Bu araştırmada; biri uçaklardan atılan sonoboyların diğeri de bir konvoyu denizaltılara karşı korumakla görevli perde birliklerinin, denizaltı savunma harbinde etkili olarak kullanılabilmesine yönelik olarak tasarlanmış iki uygulama anlatılmıştır. Sonoboy döküş paterni Optimizasyon Modeli (SOM) olarak adlandırılan birinci uygulama; belirli bir sahada istenen yakalama olasılığının sağlanması için kısıtlı sayıda kullanılacak sonoboy tipi/sayısını dikkate alarak en uygun döküş paternini hesaplamaktadır. Perde Optimizasyon Modeli (POM) olarak adlandırılan ikinci uygulama ise, bir konvoyda bulunan ve sualtı sensörlerine haiz unsurların en uygun mevkilendirmesini gösterecek hesaplamaları yapmaktadır. Her iki uygulamada da sualtı ortamı istatistiki ve gerçek zamanlı veriler kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmektedir. Uygulamaların özellikle ağ merkezli harp kapsamında gerçek görevlere olabilecek olası katkıları da çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Denizaltı Savunma Harbi, Karar Destek Sistemleri, Akustik Modeller, Sonoboylar, Perde Harekatı

ABSTRACT

Providing an efficient Anti Submarine Warfare (ASW) against the submarines which are accepted as one of the biggest threats in modern naval wars, is possible with the correct evaluation of the environment conditions and threat capabilties in addition to our own capabilities and thus producing dynamic solutions. But producing ideal solutions for ASW is not possible with the operator efforts or military documents because of the rapidly changing dynamic characteristics of the underwater environment. As a result of this complex environment the usage of computer aided decision support systems is inevitable. Decision support systems utilised for this purpose can be used in planning phase before the mission in addition to real time usage, Decision support systems can also be used in analysis after the missions and real world trainings. Two applications designed to be effective in ASW are explained in this paper, first the sonobuoys thrown from the aircrafts second the screen units protecting the convoy against the submarines. First application called sunobuoy throw pattern optimization model is to calculate the best throwing pattern keeping in mind the number of

sonobuoys number/type to provide the requested catch probability in a defined area. Second application called screen optimization model is to calculate the stationing correctly of the units in the convoy which have the acoustic sensors. Acoustic environment are modeled with the statistical and real time data in both applications. The usebility of the proposed applications especially in network centric ASW is also examined in this study.

Keywords: Anti-Submarine Warfare, Decision Support Systems, Sonobuoys, Screening Operations

1. GİRİŞ

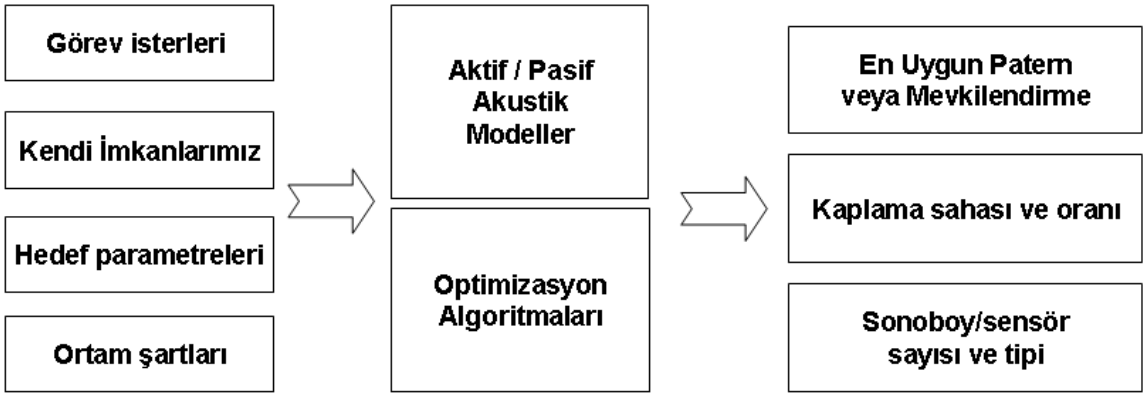
Çok sayıdaki değişkeniyle karmaşık bir denklem haline dönüşen sualtı ortamı, deniz savaşlarında denizaltılar lehine bir dengesizlik oluşturmaktadır. Her ne kadar sensör teknolojilerindeki gelişmeler bozulmuş dengeyi yeniden inşa etmek için çalışıyor olsa da henüz ciddi bir ilerleme kaydedilmiş değildir. Denizaltılara karşı icra edilecek herhangi bir harekatta, ortam ve hedef parametrelerinin en doğru şekilde değerlendirilmesi ve kendi sensörlerinin optimum şartlarda kullanılması, suüstü platformlarının başarısını artırabilecek unsurlardan biri olarak görülmektedir.

Sualtı ortamının dinamik yapısı, denizaltı savunma harbinde ortam, hedef ve kendi imkanlarımıza bağlı çok farklı çözüm seçeneklerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Mevcut uygulamalarda çeşitli NATO dokümanlarında bulunan birbirinden farklı olmakla birlikte daha çok statik koşullar için önceden tanımlanmış paternler tercih edilmektedir. Ancak bu tercihlerin yüksek seviyede bir etkinlik göstermesi arzedilen dinamik koşullar nedeniyle çoğu zaman mümkün olmamaktadır.

Gerçek şartların en doğru şekilde okunması ve hareketlerin buna göre ayarlanması çok önemli olmakla birlikte, her türlü bilginin sağlandığı ideal durumlarda bile insan beyninin kısıtlı kapasitesi ve standart yöntemlerin yetersizliği nedeniyle çoğu zaman mümkün olamamaktadır.

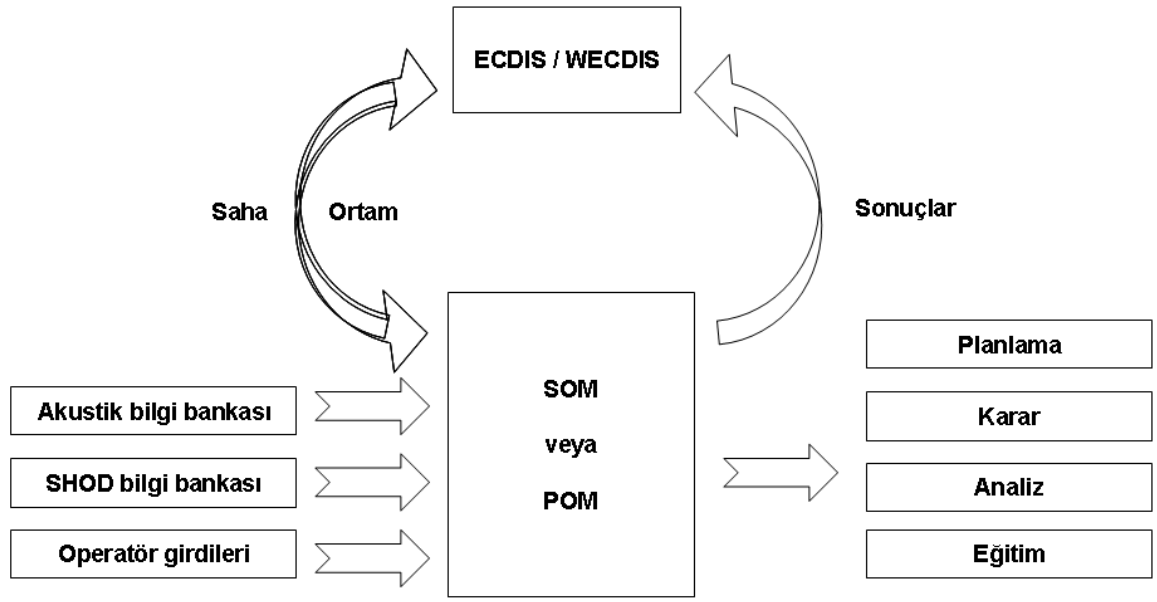
Son yıllarda modern savaşların birçok alanında kullanılan karar destek sistemlerinin denizaltı savunma harbine de uyarlanması bu konudaki ihtiyaçları bir ölçüde giderebilecektir. Bu araştırmada, bu ihtiyaca yönelik olarak tasarlanmış, Sonoboy Döküş Paterni Optimizasyon Modeli (SOM) ve Perde Optimizasyon Modeli (POM) olarak adlandırılan iki farklı uygulama anlatılacaktır.

SOM ve POM uygulamalarının çalışma blok diagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 SOM ve POM çalışma blok diagramı

Her iki uygulama da öncelikle görev isterlerini, kendi imkanlarımızı, hedef parametreleri ile ortam şartlarını modelin girdileri olarak almaktadır. Her bir akustik sensörün performansı aktif veya pasif akustik modellerde ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Su içinde gürültü yayarak ilerleyen suüstü ve sualtı platformlarının hangi mesafe ve derinliklerden duyulabileceği de pasif akustik model kullanılarak belirlenmektedir. Sensör ve platform akustik bilgileri üretildikten sonra tüm değerler optimizasyon algoritmalarının çalıştığı modele girilerek sensörlerin yerleştirileceği en uygun mevkiler belirlenmekte, kaplama sahası, yakalama olasılığı ve sensör tip/sayısı gibi parametreler hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu değerler model çıktıları olarak sergilenmektedir.
Uygulamalarda kullanılacak veriler doğrudan operatör tarafından girilebilmekte veya çeşitli kaynaklardan alınabilmektedir. Şekil 2'de gösterildiği gibi elektronik haritalardan (ECDISveya WECDIS) alınan mevki bilgisi, istatistiki ortam şartlarının depolandığı bilgi bankasından, o dönem ve mevki için ortam parametrelerini alabilmektedir. Ortam bilgi bankası Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi tarafından çeşitli zaman ve bölgelerde gerçekleştirilen ölçümlerden oluşabileceği gibi NATO'dan doğrudan temin edilmiş verilerden de oluşabilmektedir.
Platformların akustik parmakizlerine yönelik bilgiler de benzer şekilde Araştırma Merkezi Komutanlığı bünyesinde oluşturulan akustik bilgi bankasından alınabilmektedir. Bilgi bankasında bulunamayan platformlar için benzer gemi veya tip bilgileri kullanılarak jenerik akustik izler oluşturulabilmektedir.
SOM ve POM sualtı ortamının zamana bağlı değişkenlerini de dikkate alacak şekilde ilk döküş ve müteakip döküş zamanlarına da yön verebilecektir. Özellikle planlama safhasında önemli olan bu yetenek sadece performansı artırmakla kalmamakta aynı zamanda kaynak optimizasyonu yaparak tasarruf da sağlamaktadır.



Şekil 2 SOM ve POM kullanım akış diagramı

Bütün hesaplamalar yapıldıktan sonra sonuçlar ECDIS veya WECDIS elektronik haritalar üzerinde segilenebilmeketedir. SOM ve POM görev öncesi planlama, görev sırasında karar destek, görev sonrasında analiz veya herhangi bir zamanda eğitim amaçlı olarak kullanılabilmektedir.
Günümüze kadar daha az sayıdaki platformla yürütülen denizaltı savunma harbi faaliyetlerinin, hızla gelişen sensör ve bilgi harekatı teknolojileriyle birlikte ağ merkezli harbe doğru yöneldiği görülmektedir. Ağ merkezli harp, genellikle denizaltı lehine olan sualtı

ortamının dinamik koşulları içerisinde, suüstü platformaları adına avantaj oluşturabilecek bir alternatif olarak görülmekte ve bu yöndeki yeteneklerin artırılmasına yönelik araştırmalara yoğun bir şekilde devam edilmektedir. SOM ve POM münferit uygulamaların yanısıra ağ merkezli denizaltı savunma harbi uygulamalarında da katma değer oluşturabilecek şekilde geliştirilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Simülatörler veya gerçek zamanlı karar destek sistemleri son yıllarda silahlı kuvvetlerin tüm harekat tiplerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Higgins, vd., 2002). Bilgisayar tabanlı bu tür sistemlerin güvenliği teorisyenler tarafından olmasa bile operatörler tarafından halen sorgulanmaktadır (Lee ve Moray, 1992; Bisantz ve Seong, 2001). Ancak mevcut uygulamalar; özellikle sualtı harbi gibi çok fazla değişkenin dinamik karakteristikler sergilediği durumlarda, komutanların hızlı, güvenilir ve doğru karar vermesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Hicks vd., 2002).

Yeni teknolojilerin sağlıklı kullanılması operatörlerin sisteme olan güven seviyeleri ile direk olarak ilgilidir. Kompleks sistemlerde, simülatörler veya karar destek sistemleri kompleks sistemlere örnek olarak gösterilebilir, operatörlerin sisteme olan az güveni veya sisteme olan fazla güveni sistem açısından tehlike arz etmektedir. Bu yüzden simülatör sistemleri veya yeni geliştilen karar destek sistemleri tasarlarken yeni bir takım kurallar ve rehber dökümanlar teklif edilmiştir (Atoyan, vd., 2006). Ayrıca simülasyonların dağıtık olarak yapılması ve bunun kompleks sistemlerde analiz edilmesi yeni nesil simülatörler açısından çok önem arz etmektedir (Thomas. E. Hattrick, 2002).

Akustik modeller kapsamında önce mesafe bağımlı 2 boyutlu aktif ve pasif modeller geliştirilmiştir. Modellerin doğrulanması amacıyla Lybin 2.0 ve Almost 2000 akustik modelleri kullanılmıştır. Hesaplamalar 10 derecelik açı değişimleriyle tekrarlanarak akustik modelleme üç boyuta taşınmıştır.

Sensör veya platformaların mevkilendirilmesine yönelik çeşitli sınırlamalara tabi optimizasyon algoritması geliştirme çalışmalarına devam edilmektedir. Bu kapsamda genetik algoritma, Gauss-Newton, Steepest Descent, Dogleg algoritmaları gibi jenerik algoritmalar alternatif olarak değerlendirilmektedir.

3. TASARLANAN UYGULAMALAR

3.1. Sonoboy Döküş Paterni Optimizayon Modeli (SOM)

Sonoboylar suüstü ve hava vasıtalarından atılabilen ve genellikle belirli bir sahadaki denizaltıların tespit edilmesine yönelik olarak çalışan tek kullanımlık sensörlerdir. Ortam şartları ve hedef parametrelerine bağlı olarak farklı kaplama sahaları ve yakalama olasılıkları sağlayabilirler. Belirli sayıdaki sonoboyun bir patern çerçevesinde atılmasıyla belirli bir sahanın belirli bir yakalama (ve sahte alarm) olasığıyla kaplanması söz konusu olabilir. Ancak en doğru paternin bilgisayar desteği olmaksızın belirlenmesi, dinamik hedef ve ortam parametreleri nedeniyle mümkün olamamaktadır.

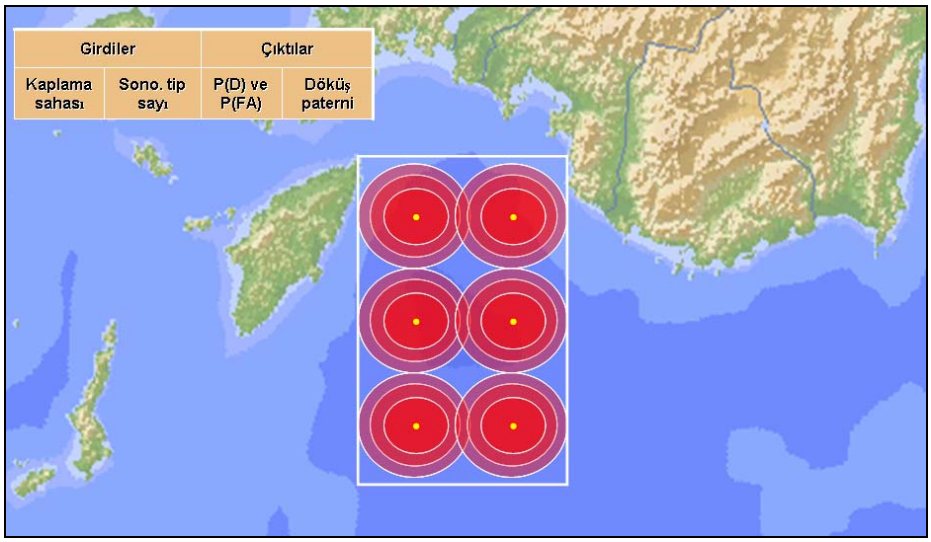
Bu konudaki ihtiyacı gidermek üzere tasarlanan Sonoboy (Döküş Paterni) Optimizasyon Modeli gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabileceği gibi görev öncesi ve sonrasındaki planlama, eğitim ve analiz amaçlı uygulamalarda da kullanılabilir.

SOM'un dört temel hesaplamayı gerçekleştirmesi hedeflenmektedir. Bahse konu hesaplamalarda kullanılacak girdiler ve alınacak sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 1 SOM Temel fonksiyonları

	Girdiler		Çıktılar	
Yakalama olasılığının belirlenmesi	**Kaplama sahası**	**Sonoboy tipi/sayısı**	**P(D) ve P(FA)**	**Döküş paterni**
Kullanılacak sonoboy sayı/tipinin belirlenmesi	P(D) ve P(FA)	Kaplama sahası	Sonoboy tipi/sayısı	Döküş paterni
Kaplama sahasının belirlenmesi	Sonoboy tipi/sayısı	P(D) ve P(FA)	Kaplama sahası	Döküş paterni
Standart paternlerin değerlendirilmesi	Standart Patern		Kaplama sahası	P(D) ve P(FA)

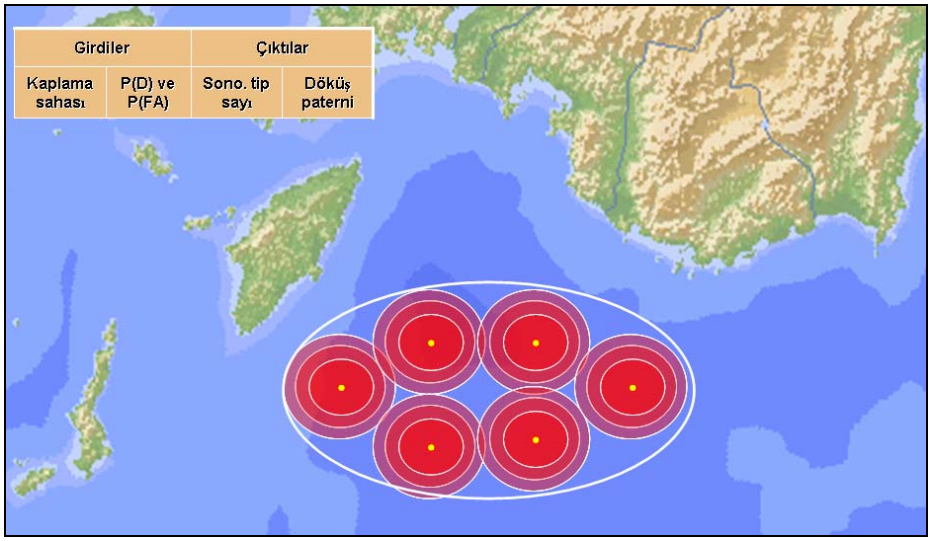
SOM'un ilk fonksiyonu belirli bir kaplama sahası içerisinde belirli tip ve sayıdaki sonoboy ile gerçeklenebilecek yakalama olasılığı - P(D) ve sahte alarm olasılığı - P(Fa) değerlerini belirlemek ve bu değerleri sağlayacak döküş paternini ekranda sergilemektir. Şekil 3'de örnek bir senaryo gösterilmiştir.



Şekil 3 Sonoboy döküş paterni ve kaplama sahasının sergilenmesi

Şekil 3'deki senaryoya göre dikdörtgen alanın 6 adet aynı tipteki sonoboyla kaplanması istenmiştir. SOM, en yüksek P(D) ve en düşük P(Fa) değerlerini sağlayacak döküş paternini hesaplamış ve segilemiştir.

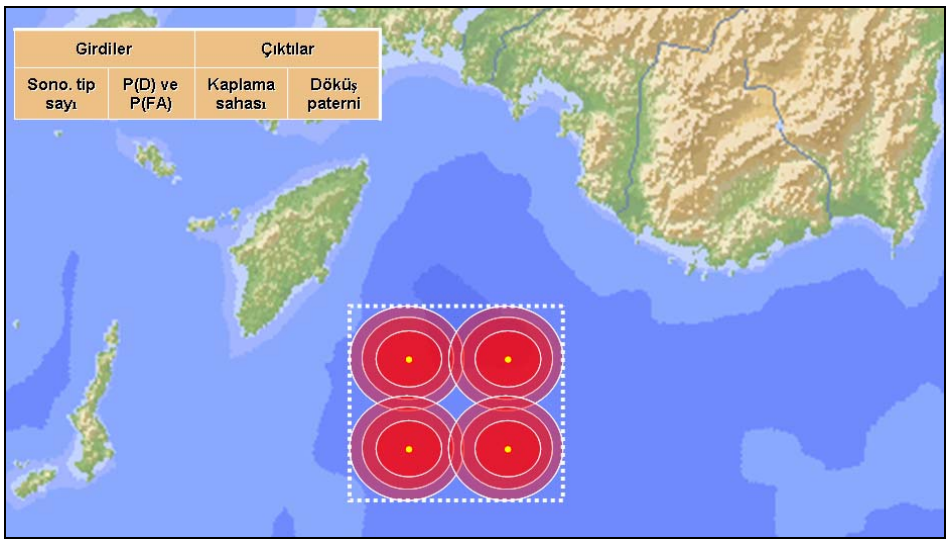
SOM'un bir diğer fonksiyonu hangi tip sonoboydan kaç adet kullanılacağının belirlenmesine yöneliktir. Bu fonksiyonun icrasında verilen kaplama sahası ile istenen P(D) ve P(Fa) değerleri dikkate alınır ve sonuçta önerilen sonoboy tipi ve sayısı ile birlikte önerilen döküş paterni de belirlenir. Örnek bir senaryo Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4 Sonoboy tip/sayısı ve döküş paterninin sergilenmesi

Bu senaryoda elips şeklinde verilen kaplama sahasının belirli P(D) ve P(Fa) değerleri sağlayanacak şekilde kaplanması istenmiştir. SOM, ihtiyacı karşılamak üzere kullanılacak en az sonoboy sayısını ve tipini belirlemiş ve çözümü döküm paterni olarak sergilemiştir.

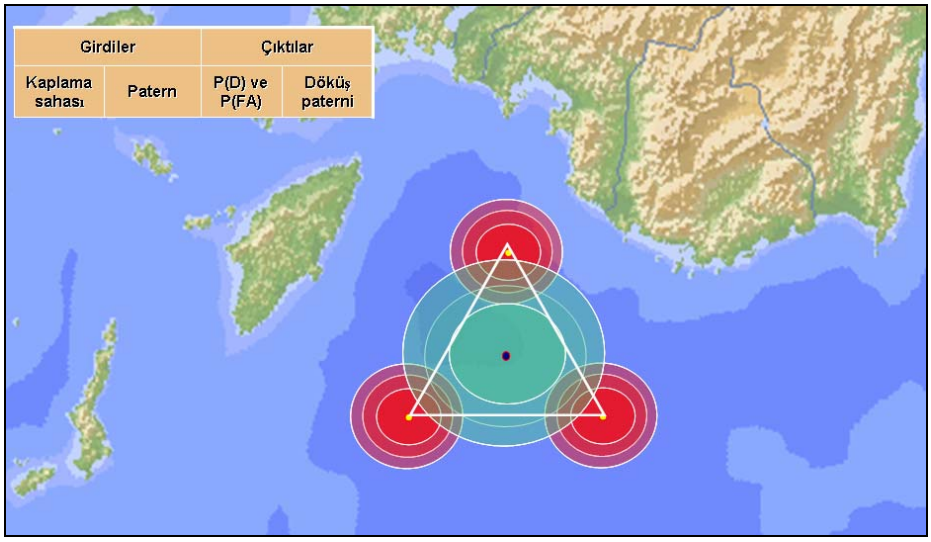
SOM'un kullanılabileceği üçüncü fonksiyon verilen tip ve sayıdaki sonoboy ile istenen P(D) ve P(Fa) değerleri sağlanacak şekilde gerçeklenebilecek kaplama sahasınının hesaplanmasına yöneliktir. Örnek bir senaryo Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5 Sonoboy döküş paterni ve kaplama sahasının sergilenmesi

Bu senaryoda istenen P(D) ve P(Fa) değerlerini sağlamak koşuluyla belirli tip ve sayıdaki sonoboyla kaplanabilecek sahanın hesaplanması istenmiştir. SOM, bu hesaplamaya ilave olarak bu kaplamayı sağlayacak döküş paternini de hesaplamıştır.

Her ne kadar dinamik ortam ve hedef parametreleri, statik çalışan standart usüllerin etkinliğini düşürüyor olsa da bazı durumlarda bahse konu yöntemlerin kullanımı düşünülebilir. Bu kapsamda SOM; askeri dökümanlarda mevcut standart paternlerin görev isterleri açısından değerlendirilmesi ve istenen kaplama sahasına yönelik uygulanması amacıyla da kullanılabilecektir. Gerçeklenebilecek yakalama olasılığı - P(D) ve sahte alarm olasılığı - P(Fa) değerleri hesaplanarak sonoboyların döküş mevkileri ile birlikte ekranda sergilenecektir. Örnek bir senaryo Şekil 6'te gösterilmiştir.



Şekil 6 Sonoboy döküş paterni ve kaplama sahasının sergilenmesi

3.2. Perde Optimizasyon Modeli (POM)

Denizaltı tehditinin yoğun olduğu bölgelerde, yüksek değerli askeri gemilerin veya ticari konvoyların, denizaltılara karşı, özel donanımlı deniz ve hava vasıtaları yardımıyla korunması büyük önem arz etmektedir. Denizaltıyla karşılaşılacağı değerlendirilen olası sektörlerde sualtı harbi yeteneğine sahip platformaların belirli bir patern çerçevesinde yerleştirilmesiyle oluşturulan bu tür korumalar perde görevi olarak adlandırılmaktadır. Perde görevinin başarılı olabilmesi için; kendi platformlarımızda bulunan sensörlerin yanısıra ortam ve hedef parametrelerinin de dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve planlamaların gerçek şartlara göre dinamik olarak belirlenmesi gerekir. Denkleme etki eden faktör sayısının fazla olması ve herbir faktörün değişkenlik arzetmesi doğru ve güvenilir perde planlamasının, askeri dökümanlar yardımıyla veya insan beyniyle çözülmesini imkansız hale getirmektedir. En etkili çözüm gerçek zamanlı çalışacak ve arka alanda akustik modellerle desteklenmiş bilgisayar tabanlı karar destek sistemlerinin kullanılmasıdır.

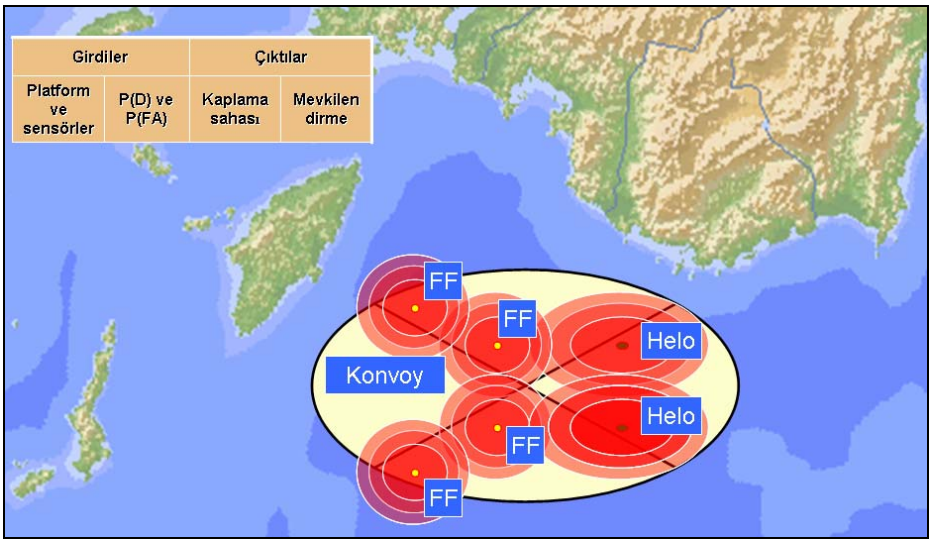
Bu dökümanda anlatılan Perde Optimizasyon Modeli (POM), sadece görev sırasındaki dinamik ihtiyaçları karşılayacak bir karar destek sistemi olarak değil görev öncesi ve sonrasında da planlama, eğitim ve analiz amaçlı kullanılabilecek bir simülatör olarak tasarlanmıştır.

POM tarafından gerçekleştirilmesi öngörülen dört temel hesaplamaya yönelik kullanılacak girdiler ve alınacak sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Tablo 2 POM Temel fonksiyonları

	Girdiler		Çıktılar	
Yakalama olasılığının belirlenmesi	Kaplama sahası	Sensör tipi/sayısı	P(D) ve P(FA)	Platform mevkileri
Kullanılacak sensör sayı/tipinin belirlenmesi	P(D) ve P(FA)	Kaplama sahası	Sonoboy tipi/sayısı	Platform mevkileri
Kaplama sahasının belirlenmesi	Sensör tipi/sayısı	P(D) ve P(FA)	Kaplama sahası	Platform mevkileri
Standart paternlerin değerlendirilmesi	Standart Perde paternleri		Kaplama sahası	P(D) ve P(FA)

POM kullanım fonksiyonları bir önceki bölümde anlatılan SOM ile büyük benzerlikler göstermektedir. Temel olarak her ikisinde de kullanılan modelleme ve simülasyon mimarileri ve araçları büyük ölçüde aynıdır. SOM için detaylı olarak açıklanan kullanım fonksiyonları POM için de uyarlanabileceğinden POM fonksiyonlarının detaylı olarak anlatımına ihtiyaç görülmemiştir. Ancak örnek bir uygulama olarak Şekil 7'te gösterilen senaryo gösterilebilir.



Şekil 7 POM örnek uygulaması

Senaryoda değerli bir konvoyun, ilerleme istikametinde denizaltılara karşı, sualtı sensörleri bulunan 4 fırkateyn (FF) ve 2 helikopter (HELO) ile belirli P(D) ve P(Fa) değerlerini sağlayacak şekilde korunması istenmiştir. POM her bir platformun sağlayabileceği kaplama alanını hesaplamış ve önerilen mevkilendirmeyi elekotronik harita üzerinde segilemiştir.

3.3. SOM ve POM'un Eğitim Amaçlı Kullanımı

SOM ve POM simülatörleri, öncelikli olarak harekat sahasındaki gerçek zamanlı ihtiyaçları karşılayacak karar destek sistemleri olarak tasarlanmışlardır. Ancak her iki simülatörde görev öncesi planlamalarda ve görev sonrası analizlerde de etkin bir şekilde kullanılabilecek yapıdadır.

SOM ve POM eğitim amaçlı olarak farklı senaryoların denenmesine ve operatörlerden karar verici üst makamlara kadar herkesin olası senaryolar üzerindeki deneyimlerini artırarak mesleki bilgi seviyesinin artmasına katkı sağlamaktadır. Bu sayede eğitime katılan personel sualtı harbiyle ilgili sadece teorik bilgileri almakla kalmayacak bu bilgilerin gerçekğe yakın senaryolardaki kullanımını da öğrenecektir.
SOM ve POM daha önce icra edilmiş gerçek görevlerin de yeniden bir senaryo dahilinde oynatılmasına imkan sağladığı için eğitime katılan personel simülatör başında olsa bile gerçek şartlara çok yakın bir ortamda çalıştığını bilecektir. Programın planlama, karar destek ve analiz amaçlı kullanılan arayüzleri ile eğitim amaçlı kullanılan arayüzünün aynı olması personelin eğitim sonrasındaki intibakını da kolaylaştıracaktır.

4. SONUÇ

SOM ve POM benzeri simülasyon ve karar destek sistemleri; denizaltı savunma harbi icra eden tüm bahriyeler için büyük önem arzetmektedir. Bilgisayar tabanlı bu tür uygulamalar; karmaşık denklemler karşısında doğru hesaplama yapma ve sonuç üretme konusunda zor durumda kalma ihtimali olan insan beyni için en önemli yardımcılar konumuna gelmektedir.
Bu araştırma kapsamında farklı amaçlara yönelik olarak tasarlanan SOM ve POM uygulamaları akustik modeller ve optimizasyon algoritmaları açısından benzerlikler göstermektedir. Tasarım aşamasında olan uygulamaların hayata geçirilmesi ile bahriyemizin denizaltı savunma harbi ve giderek daha fazla kullanım alanı bulan ağ merkezli denizaltı savunma harbi alanındaki gücünün ciddi ölçüde artacağı beklenmektedir.

KAYNAKÇA

Atoyan, H., Duquet, J.R. ve Robert J.M. Trust in new decision aid systems ACM International Conference Proceeding Series; Vol. 133, Proceedings of the 18th International Conferenceof the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine, 2006

Bisantz, A.M. ve Seong, Y. Assessment of operator trust in and utilization of automated decision-aids under different framing conditions. International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 28 (2), 2001, pp. 85-97.

Hicks, J.D., Petrov, P.V., Stoyen, A.D. ve Zhu,Q. Intelligent Agent-Based Software Architecture for Tactical Decision Aid under Overwhelming Information Inflow and Uncertainty, C2 Decision Making & Cognitive Analysis Track, 2002

Higgins,T.M., Turriff,A.E. ve Patrone, D.M., Simulation-Based Undersea Warfare Assessment,JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST, VOLUME 23, NUMBER 4, 2002

Lee, J.D. ve Moray, N. Trust, control strategies and allocation of function in human-machine systems. Ergonomis, Vol. 35, 1992, pp. 1243-1270.

Thomas, E.H. The Role of Modeling and Asynchronous Distributed Simulation in Analyzing Complex Systems of the Future Information Systems Frontiers archive
Volume 4 , Issue 2 (July 2002) table of contents Pages: 161 - 177 Year of Publication: 2002

Urick, R. J., Principles of Underwater Sound, Peninsula Publishing, Los Altos, CA, 1983

EK BİLGİ

Ömer LİVVARÇİN
Dz.K.K. Araştırma Mrk.K., Ankara Cd. No:252
34890 Pendik / ISTANBUL
olivvarcin@armerk.tsk.tr
Telefon : 0216 493 82 83 - 2114
Fax : 0216 493 82 87

Namık KAPLAN
Dz.K.K. Araştırma Mrk.K., Ankara Cd. No:252
34890 Pendik / ISTANBUL
nkaplan@armerk.tsk.tr
Telefon : 0216 493 82 83 - 2113
Fax : 0216 493 82 87

GEMİ KONSEPT OPTİMİZASYON MODELİ İÇİN KAVRAMSAL MODELLEME

Murat M. Günal [(a)], T.Noyan Kılınç [(b)], A.Özgür Toy [(a)]

[(a)] Deniz Harp Okulu K.lığı Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tuzla-İstanbul,
mgunal | otoy @dho.edu.tr

[(b)] Deniz Harp Okulu K.lığı Gemi İnşa Mühendisliği Bölümü, Tuzla-İstanbul,
tkilinc@dho.edu.tr

ÖZ

Savunma sistemlerinde modelleme ve simülasyonun rollerinden birisi de karar vericilerin savunma sistemlerinin maliyet ve etkinliği arasındaki dengeyi değerlendirmesine yardımcı olmasıdır. Bu özellikle yeni geliştirilen sistemler için doğrudur. Diğer taraftan savunma sistemleri karmaşıktır ve modellenmesinde detay seviyesi, modelleme amaçlarına ulaşılması ve karmaşıklığın basitleştirilmesi açısından uygun seçilmelidir. Bu makalede önce kavramsal modelleme, detay seviyesi ve jeneriklik seviyesi konularını incelenmiştir. İkinci olarak da bir toplam gemi sistemi modeli incelenerek gerçekleştirilmesi için bir çerçeve tanımlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Detay seviyesi, Etkinlik ölçümü, Kavramsal model, Simülasyon modelleme.

ABSTRACT

One of the roles of modelling and simulation in defence systems is to help decision makers evaluate the trade-off between cost and effectiveness. This is especially true in designing new systems. On the other hand defence systems are complex and in their modelling process the level of detail must be chosen appropriately to ensure modelling objectives can be achieved and the complexity is simplified. In this paper, first the conceptual modelling, the level of detail, and the level of genericity are discussed in simulation context. In the second part, the feasibility of a total ship system model is explored and a framework for its realisation is proposed.

Keywords: Conceptual model, Level of detail, Measure of Effectiveness, Simulation modelling.

1. GİRİŞ

Savunma projeleri giderek yüksek maliyetli ileri teknoloji ürünlerini gerektirirken, savunma bütçeleri ise giderek kısıtlanmaktadır. Bu yüzden, tüm savunma sistemlerinin tedarikinde "maliyet-etkinlik" faktörü daha sorgulanır hale getirmiştir. Gelişmiş

ülkelerin savunma bakanlıkları, tedarik süreçlerini yeniden yapılandırırken, tedarik edilecek savunma sisteminin ihtiyaçları "maliyet-etkin" şekilde karşıladığını garanti altına almaya çalışmaktadırlar.

Modelleme ve simülasyonun uygulama alanlarından birisi de savunma sistemlerinin tedarik süreçleridir. Tedarik edilecek, veya yeni geliştirilecek savunma sistemi, tedarik edilmeden önce, modelleme ve simülasyon teknikleri yardımıyla ihtiyaçların belirlenmesi ve maliyet-etkinlikleri açısından değerlendirilebilir. Ancak modelleme ve simülasyonun bu alandaki en büyük engeli savunma sistemlerinin çok bileşenli karmaşık sistemler olmasıdır. Bir sistemin bütünlüğü bozulmadan ve toplamını kapsayacak şekilde modellenmesi, hataların elimine edilmesi veya minimize edilmesi açısından önem kazanmaktadır.

Toplam Gemi Sistem (TGS) Mühendisliği, sistem mühendisliğinin gemi dizaynına uygulanması üzerine odaklanan bir çalışma dalıdır. TGS Mühendisliği gemiyi bir "toplam sistem" olarak ele alır; gemiyi oluşturan alt sistem ve bileşenlerin toplam sistem çözümü olan gemiyi nasıl etkileyeceğini inceler. Bu yüzden, gemi dizaynında görev yapan tüm mühendislik disiplinlerinden meydana gelen ortak bir çalışma ortamını gerektirir.

Savunma sistemlerinin geleneksel tedarik süreçlerinde, "maliyet-etkinlik" analizi "sezgisel (heuristic)" yöntemlere dayanmaktadır. Yani, deneyime ve/veya geçmişte kullanılmış veya kullanılmakta olan çözümler ile başka ülkelerin benzer amaçları için geliştirdiği çözümlerin analizi ile gerçekleştirilmektedir. Bu tür değerlendirmelerde, öznel (sübjektif) etkenlerin ağırlığı çok fazladır. Ancak, koşulların özgünlüğü ile güncel ve ortaya çıkmakta olan bazı teknolojik fırsatlar, artık bu yöntemi giderek yetersiz ve etkinliği sorgulanır hale getirmektedir. Bu yüzden, gelişmiş ülkeler savunma sistemi tedarik süreçlerini yeniden yapılandırırken, bilimsel karar destek yöntemlerini ve özellikle modelleme ve simülasyonu bu sürece mümkün oranda sokacak ve karar sürecini mümkün oranda öznel etkenlerden arındıracak bir yöne gitmeyi amaçlamaktadır.

Sistem mühendisliği kapsamında son yıllarda gerçekleştirilmiş olan kavramsal gelişmeler ile yeni teknikler, bilgisayarın da etkin bir araç olarak kullanılmaya başlaması ile, bu amaca yönelik olarak güzel fırsatlar sunmaktadır. Bahsekonu yeni tekniklerin bilgisayar destekli olarak uygulanması ile, belli bir zaman periyodunda insan beyninin elde edebileceğinden çok daha fazla sistem alternatifi üretilmesi ve bu alternatifler arasından genel tatmini sağlayan en "maliyet-etkin" çözümün seçilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu bildiride bir Gemi Konsept Optimizasyon Modeli (GKOM)'nin nasıl inşa edileceği kavramsal olarak incelenmiştir. Bu kapsamda "kavramsal model nedir" konusu da tekrar ele alınmış ve bu konuda bir değerlendirme yapılmıştır.

Bu bildiri iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde simülasyon modellemede kavramsal modelleme üzerinde durulmuştur. Özellikle detay seviyesi ve model tekrar kullanılırlığı incelenmiştir. İkinci bölümde ise Gemi Konsept Optimizasyon Modeli (GKOM) kavramsal olarak incelenmiş ve ilk bölümde bahsedilen konular ile ilişkilendirilmiştir. Bildirinin sonunda genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. SİMÜLASYON İÇİN KAVRAMSAL MODELLEME

Kavramsal modelleme denen olgu çeşitli bilim dallarında farklı tanımlara sahiptir. Simülasyon modelleme anlamında ise bilgisayar bilimleri ve yöneylem araştırması alanlarında tanımları benzerlikler gösterir. Bu bölümde bu iki bilim dalında kullanıldığı şekilde kavramsal model konusunda kısa bir inceleme yapılmış ve yöneylem araştırmasında kavramsal modelleme konusu tartışılmıştır.

2.1 Kavramsal Model Nedir?

Genelde bir modelin geliştirilmesinden önceki bir aşamayı, modelin gerçekte inşa edilmesinden önce modelde yer alacak unsurların tanımlanmasını kapsar. Yöneylem araştırmasında kullanıldığı şekilde bir benzetim modelinin kavramsal modeli "geliştirilecek bir benzetim modelinin amaçlarını, girdilerini, çıktılarını, içeriğini, varsayımlarını ve basitleştirmelerini tanımlayan yazılım spesifik olmayan tanımıdır" [1].

Bilgisayar bilimlerinde bu tanımlamalar daha formal teknikler kullanılarak yapılır, örneğin Unified Modelling Language (UML) diye adlandırılan teknik yardımıyla olduğu gibi. UML ile yazılım geliştirilmeden önce iş sistemlerinin nasıl modelleneceği belirlenir ve açıklanır. Her ne kadar UML genelde yazılım geliştirme sürecinde kullanılan bir araç olsa da, bir benzetim modeli projesi de bir yazılım gelişitirme projesine benzediğinden UML bir benzetim modeli için kavramsal model geliştirilmesinde kullanılabilir. Ancak yöneylem araştırmasında bir sistemin modeli geliştirilirken, bilgisayar bilimlerinin bu kadar detaylı istediği tanımlamalara ihtiyacı yoktur. Bunun nedeni bilgisayar bilimlerinin modelin kendisiyle, yöneylem araştırmasının ise modelin yapacaklarıyla ilgilenmesidir. Model inşa edilmeden önce, en ince ayrıntısına kadar planlama ve tanımlama yapmak faydalıdır. Bu bakımdan bir yazılım projesi olarak benzetim modelini ele almak yanlış bir yaklaşım değildir, ancak bunun gerekli olup olmadığı tartışılabilir. Nihayetinde hiç kullanılmayacak veya az kullanılacak olmasına rağmen emek gücü açısından maliyetli olacak bir özelliğin gerçekten bir ihtiyaç olup olmadığı değerlendirilmelidir.

Yöneylem araştırmasında kavramsal model geliştirme konusu bilgisayar bilimlerinin gerisinde kalmıştır. Bunun en büyük nedeni, az evvel de bahsedildiği gibi, modelle yapılacakların, daha doğrusu modelin nasıl kullanılacağının tanımlanmasındaki zorluklardır. Modeli kullanacak kişi veya kurumlar ihtiyaçlarını sözel olarak tanımlayabilir ama bu tanımlamaları formal yollarla dokümante etmek zordur. UML gibi teknikler model ve modelleme hakkında hiçbir bilgisi olmayan kişiler için anlaşılması zor olduğundan yetersiz kalacaktır. Yöneylem araştırmasında kavramsal model, aynı zamanda modelci ve modelin kullanıcıları arasında bir iletişim aracı olarak da kullanılır. Model geliştirmeden önce model kullanıcıları, daha doğrusu ihtiyaç makamı, modelin neler yapacağını kavramsal model vasıtasıyla tanımlar.

Simülasyon için kavramsal model geliştirmenin çeşitli yöntemleri vardır. Bu çeşitlilik aslında bu alanda bir konsensusun sağlanamadığı anlamına da gelir. Diğer taraftan çeşitliliği azaltmaya çalışan ve kavramsal model temsilini standart hale getirmeye çalışanlar da vardır [2]. Burada sadece birkaç kavramsal model tekniğinin isminden bahsetmekte fayda vardır. Bunlar, detayları simülasyon kitaplarında bulunabilecek

(örneğin [1] ve [3]) süreç akış diagramları, aktivite döngü diyagramları, ve olay grafikleridir. Bu teknikler simülasyon modeli geliştirmeden önce modellenecek sistemdeki varlıkları, aralarındaki ilişkileri, olayların nasıl gelişeceğini ve girdi-çıktıların neler olacağını belirtir.

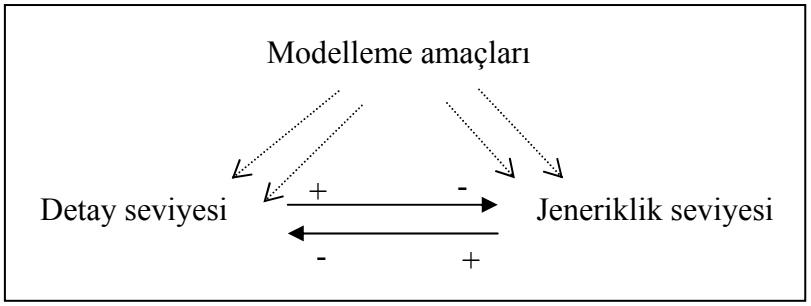
Kavramsal modelin gerekliliği tartışılmazdır. Ancak çoğunlukla bu aşamanın bir simülasyon projesinde atlanılması da çok klasiktir. Bir model geliştirilmeden önce modelci sadece aklında kabaca bir plan yapıp, çoğunlukla tecrübesinden de faydalanarak herhangi bir formal teknik kullanmadan direkt olarak modeli geliştirmeye başlar. Bunun bir nedeni de günümüzdeki simülasyon yazılımlarının çok müsait olmasıdır. Kavramsal model için zaman harcanmamakta, veya çok az zaman harcanmakta ve direkt olarak model geliştirilmeye başlanmaktadır. Bu durum iyi bir durummuş gibi görünse de aslında pek de iyi değildir. Şöyle ki, model geliştirmeden önce bir plan yapılmadığından ileriki aşamalarda ilk verilen kararlar nedeniyle sıkıntı yaşanabilmektedir.

Model geliştirmenin ilk aşamalarında gerekli gibi görünen bir kavram ileride aslında gereksiz olduğu anlaşılabilir, veya tam tersi bir durum ortaya çıkabilir. Dolayısıyla bu da kavramsal modelin model detay seviyesinin belirlenmesinde ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Aynı şekilde modelin amacı net olarak belirtilmediğinden sonraki aşamalarda modelin ne işe yarıyacağı tekrar tartışılabilir ve sonucunda bazı öğelerin gereksiz olduğu anlaşılabilir.

2.2 Detay Seviyesi

Simülasyon modellemedeki en önemli konu modelin detay seviyesini belirleyebilmektir. Bu, simülasyonun öğretmesi zor olan kısmıdır ve genellikle "sanat" olarak görülür. Modelin mutlak bir detay seviyesi yoktur ama "mantıklı" bir seviyesi vardır. Aslında modelleyicinin amacı işte bu ne çok detaylı, ne de çok kaba detaylı, mantıklı seviyeyi bulabilmektir.

Bir modelin detay seviyesini etkileyen bir çok faktör vardır. Kavramsal modelleme tekniklerinde olduğu gibi burada da bu faktörlerden bahsedilmemiştir. Ancak anlatılmak istenen modelleme amaçlarının detay seviyesinin belirlenmesinde en önemli faktör olduğudur. Şekil 1'de bu ilişki gösterilmektedir. Bu ilişkinin diğer bir boyutu da "jeneriklik seviyesi" olarak tanımlayabileceğimiz, modelin yeniden kullanılabilme seviyesidir.



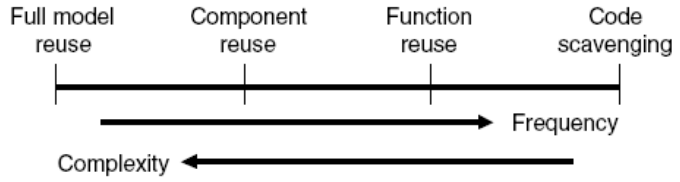
Şekil 1. Modelleme amaçları, detay seviyesi ve jeneriklik seviyesi.

Çok detaylı bir model genelde çok iyi bir model olarak algılanır. Bu aslında pek de doğru değildir; çünkü modelin iyi veya kötü olduğu aslında detay seviyesi ile ilgili değil modelin amaçlara hizmet edip etmediği ile ilgilidir. Eğer çok detaylı bir model, modelin geliştirilme amaçlarına uymuyorsa iyi bir model olduğu söylenemez. Örneğin bir geminin sualtı savunma sisteminin düşman denizaltılara karşı etkinliğini değerlendirme amacıyla bir model geliştireceğimizi varsayalım. Bu amaçla biri çok detaylı diğeri daha az detaylı iki model geliştirilmiş olsun. Eğer iki model de etkinliği değerlendirebiliyorsa daha detaylı olan modelimiz aslında iyi bir model değildir çünkü daha az detaylı olan diğer model de aynı işi yapabilmektedir. Ancak burada çok detaylı olan modelin az detaylı olana göre daha çok kaynak tükettiğini de varsayıyoruz.

Jeneriklik seviyesi de modelin detay seviyesini etkiler. Bu etki genelde ters orantılıdır, yani model jenerikleştikçe detay seviyesi azalır, özelleştikçe detay seviyesi artar şeklinde açıklanabilir.

2.3. Yeniden Kullanma (Jeneriklik) Seviyesi

Yukarıda bahsedildiği gibi bir modeldeki detay seviyesi modelin amaçları olduğu kadar modelin yeniden kullanma seviyesinden de etkilenir. Yeniden kullanmanın seviyesinin de çeşitleri vardır. Bu konuda şekil 2'de bir spektrum verilmiştir. Modelin içeriğinin değişmeden tamamen parametreleri ile tekrar kullanılması da jeneriklik göstergesidir, model içindeki bir parça kodlamanın da. Ancak önemli olan, skalada sola yaklaştıkça model komplesitesinin arttığıdır.



Şekil 2. Model yeniden kullanımı spekturumu (Robinson et al (2004) s.481'den alınmıştır).

Modelin amaçlarında modelin jenerik olup olmayacağı belirtilmelidir. Eğer jenerik bir sistem için model geliştirilecekse sistemin ortak elemanları, sorunları, etkileyen faktörler gibi konular detaylı incelenmeli ancak kavramsal modelde özetlenmelidir. Gereksiz yere detay eklenmesi modeli karmaşıklaştırır, anlaşılması zor bir hale getirir. Örneğin spesifik bir geminin hava savunma sisteminin çok detaylı bir şekilde modellendiğini varsayalım. Bu modelin başka bir geminin hava savunma sistemi için de kullanılabilmesi için, yeni modellenecek sistemin gerekli bütün öğelerini de içermesi gerekir.

3. GEMİ KONSEPT OPTİMİZASYON MODELİ

Toplam Gemi Sistem (TGS) Mühendisliğinin'nin modelleme ve simülasyon tekniklerini kullandığı iki büyük saha bulunmaktadır :

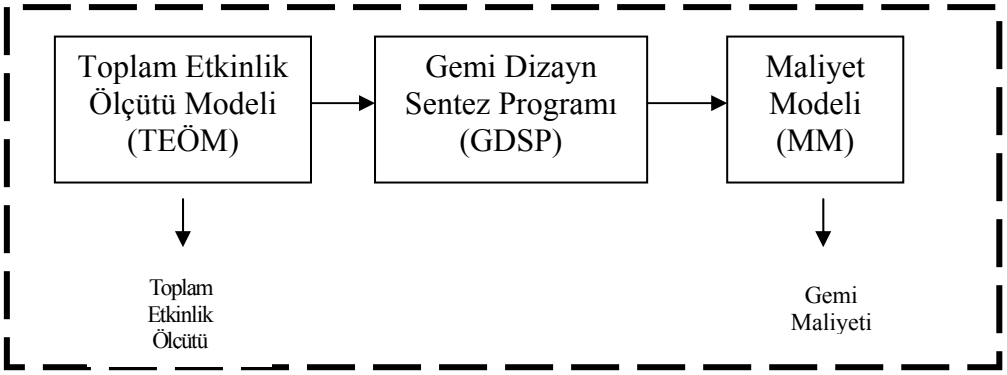
Birincisi; "harekat etkinlik" ve "maliyet" optimizasyonuna baz teşkil edecek modellerin geliştirilmesi ve bu optimizasyon sürecinin bilgisayar destekli hale getirilmesidir. Bu sahada simülasyon, harekat etkinlik ve maliyet optimizasyonlarını destekleyicidir.

İkincisi saha ise; toplam gemi bekasını (survivability) ve bekayı meydana getiren alt kırılımları gerek müstakil, gerekse bütünleşik bir disiplin olarak gemi dizaynına uygulanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirirken, yine birçok analitik modelin oluşturulması ve bu sürecin yine azami oranda bilgisayar destekli olarak uygulanması hedeflenmektedir. Bu sahada simülasyon, çoğunlukla, tehdit senaryolarının gerçekleşmesi durumunda geminin bu senaryolar çerçevesinde bekasını istenen seviyede koruyup koruyamayacağını belirlemek amacıyla kullanılır.

Bu bildiride, ilk sahada kullanılan modelleme ve simülasyon uygulamaları ele alınmıştır. Bu uygulamaların merkezini, "Gemi Konsept Optimizasyon Modeli (GKOM)" oluşturmaktadır.

GKOM, gemi dizaynının ilk aşamaları olan "fizibilite çalışmaları" ile "konsept dizayn" safhalarına odaklanır. Bu safhalar, yeni dizayn edilecek bir geminin "konsept"inin şekillendirildiği safhalardır. Yani, gerek bir platform olarak gerekse ana sistemlerinin (savaş sistemi, ana tahrik sistemi, elektrik sistemi, vb.) ihtiyaçları en optimum şekilde karşılamasını sağlayacak alternatiflerinin araştırıldığı aşamalardır. Öyle ki, bir savaş gemisinin nihai maliyetinin %80'inden fazlasının dizaynın bu safhalarında sabitlendiği bilinmektedir [5]. Geminin gerek platform performanslarına, gerekse gemiyi oluşturan kritik ana sistemlerine ait üst seviye isterlerin bu safhalarda oturtulduğu göz önüne alındığında, bu görüşün büyük oranda geçerli olduğu değerlendirilmektedir.

GKOM'un genel model yapısı Şekil 3'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi GKOM üç alt modelden oluşmaktadır. Her ne kadar her bir kutucuk bir modeli ifade ediyor gibiyse de aslında bir model kütüphanesi şeklinde de olabilir.



Şekil 3. Gemi Konsept Optimizasyon Modeli Bileşenleri.

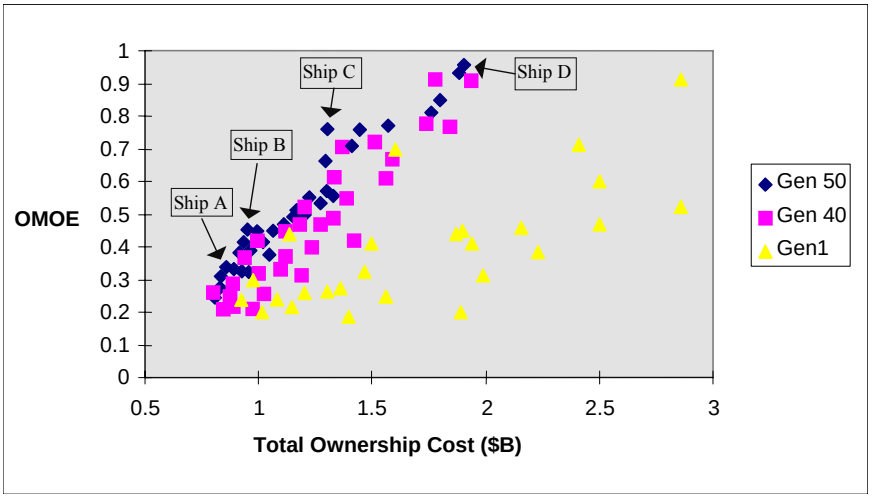
Toplam Etkinlik Ölçütü Modeli (TEÖM), geminin her bir harekat alanı (Denizaltı Savunma Harbi, Hava Savunma Harbi, Suüstü Savunma Harbi, Mobilite, gibi) için belirlenecek olan etkinlik ölçütlerinin, bu harekat alanlarının birbirine göre nisbi önem dereceleri ile bir araya getirilmesini gerektirmektedir. Her bir harekat alanına ait etkinlik ölçütü, o alana özgü belirlenmiş olan performans ölçütlerinin yine birbirlerine göre nisbi önem dereceleri çerçevesinde bir araya gelmesiyle oluşturulur. Her bir harekat alanı için incelenecek sistem alternatifleri, o alana ait performans ölçütleri ile ilişkilendirilir. Mobilite alanındaki performans ölçütlerini geminin sürat, seyir siası, denizciliği, manevra kabiliyeti gibi performans özellikleri oluşturur. Bu şekilde, olası tüm sistem

alternatifleri ve performans özellikleri alternatifleri arasından rastgele seçilerek elde edilen kombinasyonlar için geminin toplam etkinlik ölçütünün nasıl değişeceği belirlenir.

TEÖM'ün çıktıları Gemi Dizayn Sentez Programı (GDSP)'na girdi oluşturmaktadır. GDSP, gemi toplam etkinlik ölçütüne kumanda eden farklı ister ve sistem alternatiflerine karşı geminin bütünün nasıl tepki vererek değişeceğini simüle eden ve diğer konfigürasyon özelliklerinin nasıl değişeceğini gösteren bir modeldir. Bu nedenle, GDSP, GKOM'nin en değerli bileşenidir.

GKOM'nin son bileşeni, GDSP'nin çıktılarını değerlendiren Maliyet Modeli (MM)'dir. Bu model, GDSP'nin önerdiği, TEÖM'e göre etkinliği belirlenen bir geminin ne kadara malolacağını tahmin eder.

Nihayetinde bu modelin elde etmek istediği aslında Toplam Etkinlik Ölçütü (TEÖ) ile maliyet arasındaki ilişkiyi bulmaktır. Örnek bir karşılaştırma grafiği Şekil 4'de sunulmuştur.



Şek**il 4.** Toplam Etkinlik Ölçütü ve Maliyet grafiği [6].

Savunma sistemlerinin günümüzde birbirine daha da entegre hale gelmiş olması, bir sistemin simülasyonunu da yaparken tamamının düşünülmesini gerektiren bir hale getirmiştir. Gemi Konsept Optimizasyon Modeli (GKOM), başta da ifade edildiği şekilde, işte bu kavram ve tekniklerin spesifik olarak gemiye uygulanmasını hedefleyen bir model olacaktır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME

Günümüzde giderek karmaşıklaşan sistemlerin modellenmesi de aynı oranda güçleşmektedir. Model olarak nitelendirilen kavram aslında bir sistemin basitleştirilmiş benzetimi olduğundan karmaşık sistemlerin de aslında basitleştirilerek tanımlanması gereklidir. Bu aşamada model geliştirilmeden önce modelin sınırlarının çizilmesi ve bir kavramsal modelin oluşturulması önemlidir. Bu bildirinin ilk bölümünde bahsedildiği gibi bir modelin detay seviyesi aslında modelleme amaçları ile ilişkilidir. Diğer taraftan

modelin jeneriklik seviyesi de, yani modelin ne kadarının ve ne seviyede tekrar kullanılacağı, modelin detay seviyesini etkiler.

Bu bildiride bir model hakkında genel bir bilgilendirme yapılmıştır. İlk bölümde bahsedilen kavramsal modelleme ve detay seviyesi konularınındaki incelemenin, bahsedilen modelin gerçekleştirilmesinde kilit rol alacağı düşünülmektedir. Böylesine karmaşık bir modeli çok karmaşık bir şekilde modellemek doğru olmayacaktır. Nitekim modellemenin amacı karmaşıklığı ortadan kaldırmak ve problemi basitleştirmektir. Bunu söylerken mantıklı bir seviyede basitleştirmekten bahsedilmektedir çünkü aşırı basitleştirme de modelin gövenilirliğini azaltacaktır.

Şekil 3'de sunulan model yapısı bir ideali yansıtmaktadır. Nihai model belki bu yapıda olacaktır ancak tahmin edileceği gibi herbir bileşen başlıbaşına bir iş yükü getirdiğinden bazı bileşenler daha az detaylı olmak zorundadır.

KAYNAKÇA

[1] Robinson, S., (2004) Simulation: The practice of model development and use. John Wiley & Sons Ltd. Chichester,England.

[2] Onggo, B.S.S. (2009) "Towards a unified conceptual model representation: a case study in healthcare". Journal of Simulation, 3, pp 40–49.

[3] Pidd M (2004). Computer Simulation in Management Science, 5th edition. Wiley: Chichester, UK.

[4] Robinson S., R.E. Nance, R.J. Paul, M. Pidd, S.J.E. Taylor (2004) Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles. Simulation Modelling Practice and Theory 12 (2004) 479–494.

[5] Brown A., Salcedo J., (2003) Multiple-Objective Optimization In Naval Ship Design. Naval Engineers Journal (Fall 2003) 49–61.

[6] Whitcomb C., (2005) Naval Systems Engineering – Pareto Optimal Trade Off. Summer Surface Naval Ship Design Program (2005) (The University of Michigan) Ders Notları.

EK BİLGİ

Murat M.GÜNAL
Deniz Harp Okulu, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tuzla İstanbul
mgunal@dho.edu.tr
0216 3952630 dahili 3649

A.Özgür TOY
Deniz Harp Okulu, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tuzla İstanbul
otoy@dho.edu.tr
0216 3952630 dahili

T.Noyan KILINÇ
Deniz Harp Okulu, Gemi İnşa Mühendisliği Bölümü, Tuzla İstanbul
tkilinc@dho.edu.tr
0216 3952630 dahili

MÜSTAKBEL MEVKİ KESTİRİMİNDE ETKİLEŞİMLİ ÇOKLU MODEL VE EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ KULLANIMI

Mehmet OCAKLI, Muhammet ALTUN, Mustafa L. CİVELEK

Dz.K.K. Araştırma Merkezi Komutanlığı, Ankara Cad. No:252 34890

Pendik / İSTANBUL

mehmetocakli@gmail.com, maltun@armerk.tsk.tr, mlcivelek@armerk.tsk.tr

ÖZ

Bu çalışmada hareketli hedeflerin takibi ve müstakbel mevki kestirimi için bir hedef hareketi kestirim algoritması önerilmektedir. Bu algoritma ilk olarak hedefe ait mevki ölçümlerinden yola çıkarak hedefin anlık durum değişkenlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. İkinci aşamada ise anlık durum kestirim algoritmasının sonuçlarını kullanarak hedefin gelecek hareketini tahmin etmeye çalışmaktadır. Bu sayede, takibi devam eden bir tehdide karşı kullanılacak tedbirin hedefe ulaşana kadar geçecek zaman (uçuş süresi) sonrasında hedefin bulunacağı müstakbel mevki (hedef vuruş noktası) tahmin edilerek hedef imhası gerçekleştirilebilir. Bu amaçla, öngörülen hedef hareketleri incelenerek uygun hareket modelleri ile anlık kestirim yapan ve belirlenen hareket modeline göre müstakbel mevki kestirimi yapabilen bir hedef pozisyonu kestirim algoritması geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: En küçük kareler kestiricisi, etkileşimli çoklu model, hareket modelleri, hedef izleme, vuruş noktası kestirimi.

USING INTERACTING MULTIPLE MODELS AND LEAST SQUARES METHODS FOR FUTURE POSITION ESTIMATION

ABSTRACT

In this study, a target motion estimation algorithm is suggested for tracking and future position estimation of a moving target. This algorithm primarily aims to estimate current state variables using the target position measurements. Then, the future motion of the target is estimated using the results obtained in current state estimation algorithm. Target kill can be performed by estimating the future position of a target (target hit point) after a time period (time of flight) defined as the required time to reach the precaution, which can be used for the threat that is already been tracking, to the target. For this purpose, a target position estimation algorithm is developed that can be able to estimate the current state of the target using appropriated motion models selected by examining predicted target motions, and also the future position according to determined motion model.

Keywords: Least square estimation, interacting multiple models, motion models, target tracking, hit point estimation.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada kullanılacak hedef tipleri su üstü platformların maruz kalabileceği hava ve su üstü tehditleri olarak seçilmiştir. Bu hedef tanımlaması, uçak ve güdümlü mermi gibi yüksek hızlarda seyreden tehditleri içerdiği gibi helikopter ve gemi gibi düşük hızlı hedefleri de kapsamaktadır. Platformda bulunan tehdit algılama sensörleri, tespit ettikleri hedefe ait pozisyon ölçümleri sağlamaktadır. Elde edilen veriler, sensörlerden gelen ölçüm gürültülerinden dolayı bir filtre kullanılarak tanımlanan hareket modeline uygun, kararlı bir yapıda kullanılmalıdırlar. Bu sayede, ölçüm gürültüsü en aza indirilmeye çalışılarak hedef hareketi hareket modeline uygun bir dinamiğe dönüştürülür. Bu yöntemle, hedef hareketi durum vektörleri hareket süresince tahmin edilerek hedef izleme gerçekleştirilir.

Kalman filtresi hedef takibi uygulamalarında en çok kullanılan hedef durum kestirim yöntemidir. Hedef hareket modeli doğru tanımlanabilirse, ölçümlerden ve hedef dinamiklerinden kaynaklanan durum hataları minimize edilerek anlık hedef durum kestirimi başarıyla yapılabilmektedir.

Çeşitli manevralar yapma kabiliyetindeki bir hedefin izlenmesi hareket modellerinin tanımlanması açısından zor bir problemdir. Hedef takip başarımını etkileyen en önemli kriterlerden biri hedefin yapabileceği manevraların ne kadarının kullanılan hareket modelleri tarafından kapsanabildiğidir. Birden fazla hareket modeli ile takip yapılırken her bir hareket modeli verilen ölçüm setinde sınanarak en uygun yörünge sağlayan hareket modeli ile takip yapılabileceği gibi kullanılan hareket modellerinin ağırlıklı ortalamaları da kullanılabilir. Etkileşimli çoklu model (IMM: interacting multiple model) yöntemi farklı manevralar yapma kabiliyetindeki hedeflerin takibinde sıklıkla kullanılan bir hedef izleme yöntemidir [Ref. 5,6 ve 7].

Etkileşimli çoklu model (IMM: Interacting Multiple Model) yönteminde, hareket modellerinin ağırlıkları bir önceki kestirimde hesaplanan ağırlıklara ve yeni ölçüm verisinin hareket modeli kestirimine uygunluğuna göre belirlenmektedir. Bu yöntemle, birden fazla hareket modeli ile hedef izleme gerçekleştirilebilir.

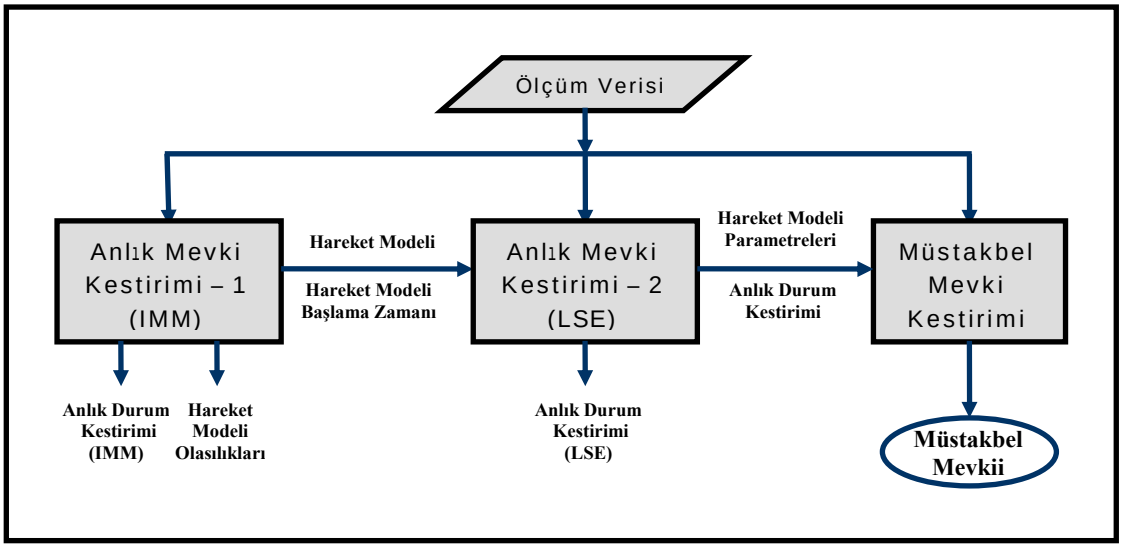
Bu çalışmada cevap aranan ikinci problem ise, anlık durum vektörleri ve hareket modeli ağırlıkları bilinen bir hedefin belli bir zaman zarfında takip edeceği yörüngenin tahmin edilmesidir. Kestirim yapılacak müstakbel mevki, tehdidin ortadan kaldırılması için kullanılacak savunma veya saldırı tedbirine göre değişmektedir. Bu çalışmada, tahmin edilen aralık, hedefin imha edilebileceği en kısa süre, "uçuş süresi" (ToF: Time of Flight) olarak adlandırılmaktadır. Her bir anlık durum kestirimde hesaplanan tahmini uçuş süresi sonrasında hedefin bulunacağı pozisyon hedef vuruş noktası olarak adlandırılmaktadır.

Önerilen müstakbel mevki kestirim algoritması Bölüm-2'de detaylarıyla açıklanacaktır. Algoritmanın ana basamakları belirlenecek ve genel akış diyagramı verilecektir. Bölüm-3'de belirlenen hedef tiplerinin yapacağı manevralardan yola çıkarak oluşturulan hareket modelleri anlatılmaktadır. Bu modelleri kullanarak hedef ölçümlerinden durum vektörlerini tahmin eden hedef izleme sistemi Bölüm-4'de detaylarıyla incelenmektedir. Bu çalışmanın nihai hedefi olan müstakbel mevki kestirimi Bölüm-5'de anlatılmıştır.

Önerilen sistemin başarımı Bölüm-6'da simülasyon sonuçlarıyla gösterilmektedir. Bölüm-7 de çalışmanın kısa bir özeti ve değerlendirmeler sunulmuştur.

2. ÖNERİLEN MÜSTAKBEL MEVKİ KESTİRİM ALGORİTMASI

Bu çalışmada, hareketli hava ve su üstü hedeflerinin hareketleri incelenerek bu hareketleri kapsayacak hareket modelleri tanımlanmıştır. Tanımlanan bu modeller kullanılarak hedeflerden elde edilen radar pozisyon ölçümleriyle anlık durum kestirimleri yapılacak ve hedefin hangi hareket modeline göre hareket ettiği kestirilmeye çalışılacaktır. Belirlenen hareket modeline göre ve hesaplanmış olan model parametreleri yardımıyla müstakbel mevki kestirimi gerçekleştirilecektir. Önerilen müstakbel mevki kestirim algoritması genel akış diyagramı Şekil-1 de gösterilmiştir.



Şekil 1: Müstakbel mevki kestirim algoritması genel akış diyagramı

Önerilen müstakbel mevki kestirim algoritması iki aşamada incelenecektir. İlk aşama, hedefin hareketini tanımlayan hareket modelinin tespiti ve bu hareket modeline ait parametrelerin çıkartılmasını kapsar. Bu amaçla, hedef farklı hareket modellerini içeren bir hedef izleme sistemi tarafından izlenerek, hedefin anlık durum kestirimleri ve hareket modeli olasılıkları incelenir. Hedef hareketine en yakın yörüngeyi tanımlayan hareket modeli hedef hareket modeli olarak seçilir. Hareket modelinin parametreleri, o hareket modelinin geçerli olduğu süre boyunca alınan ölçümler kullanılarak tahmin edilir.

İkinci aşamada ise, bilinen bir hareket modeline göre müstakbel mevki kestirimi yapılmaktadır. Model parametreleri ve başlangıç noktası bilinen bir hedefin müstakbel mevkisi hareket modeli kullanılarak hesaplanır. Çalışmanın geri kalan kısmında, önerilen müstakbel mevki kestirim algoritması detaylarıyla anlatılacaktır.

3. HAREKET MODELLERİ

Bu çalışmada tanımlanacak manevraların X-Y düzlemi ve Z düzlemi olarak ayrı incelenmesi öngörülmüştür. Bu yaklaşım su üstü hedeflerinde hareketin yalnızca yatay düzlemde sınırlandırılmasından dolayı daha başarılı sonuçlar sağlamaktadır. Hava hedeflerinde ise bu yaklaşımın geçerli olması için dikey düzlemde yapılacak manevraların diğer düzlemlerden bağımsız olması gerekmektedir. İncelenen güdümlü mermi, uçak ve helikopter manevralarında manevraların bir çoğunda hedefin dikey düzlemde maruz kaldığı manevraların diğer düzlemlerden bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Dikey düzlemde genellikle yükseklik değişim manevraları yapılmakta ve bu manevralar dikey doğrultuda sabit hız veya sabit ivme ile tanımlanabilmektedir.

Yatay düzlemde (X-Y) öngörülen hedef manevralarının ise sabit hız ile doğrusal hareket, sabit ivmeli doğrusal hareket ve koordineli dönüş hareketleri ile tanımlanabileceği tespit edilmiştir. Bu amaçla, X-Y düzlemi ve Z ekseninde öngörülen hedef manevralarını tanımlamak için üç hareket modeli tanımlanmıştır. Bu hareket modelleri aşağıda verilmiştir.

- Doğrusal Sabit Hız (Linear Constant Velocity) Hareket Modeli
- Doğrusal İvmeli (Linear Acceleration) Hareket Modeli
- Koordineli Dönüş (Coordinated Turn) Hareket Modeli

Bu hareket modellerinden ilk ikisi hem X-Y düzlemi hem de Z ekseninde tanımlanırken, koordineli dönüş hareket modeli yalnızca X-Y düzleminde tanımlanmaktadır. Yatay düzlemde (X-Y) öngörülen ivmelenme manevraları doğrusal ivmelenme ve koordineli dönüş hareketleri olarak incelenecektir. Yatay düzlemde (X-Y) öngörülen ivmelenme manevraları doğrusal ivmelenme ve koordineli dönüş hareketleri olarak incelenecektir. Hareket modelleri için kullanılan durum ve ölçüm denklemleri aşağıda verilmiştir [Ref.1-2].

$$\mathbf{x} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{\Gamma}\mathbf{w} \quad , \quad \mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{v} \tag{1}$$

Hedefe ait anlık durum değişkenleri aşağıda gösterilmiştir.

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x & V_x & y & V_y & z & V_z & a & a_z & w \end{bmatrix}^T \tag{2}$$

Bu durum değişkenlerini X-Y düzlemi ve Z eksenini için ayrı ayrı inceleyeceğimizden durum değişkenleri aşağıda verildiği gibi tanımlanacaktır.

$$\mathbf{x}_{XY} = \begin{bmatrix} x & V_x & y & V_y & a & w \end{bmatrix}^T \quad , \quad \mathbf{x}_Z = \begin{bmatrix} z & V_z & a_z \end{bmatrix}^T \tag{3}$$

Ölçüm değişkenleri radarla tespit edilen hedef konumudur. Bu ölçüm vektörlerini X-Y düzlemi ve Z eksenini için ayrı ayrı inceleyeceğimizden durum değişkenleri aşağıda verildiği gibi tanımlanacaktır.

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}^T \quad => \quad \mathbf{y}_{XY} = \begin{bmatrix} X & Y \end{bmatrix}^T \quad , \quad \mathbf{y}_z = Z \tag{4}$$

Hareket modellerinde kullanılacak ölçüm denklemleri her modelde aynı yapıda tanımlanmaktadır. X-Y düzlemi ve Z eksenini için oluşturulan ölçüm denklemlerinde kullanılacak $\mathbf{H}_{XY}$ ve $\mathbf{H}_{Z}$ matrisleri aşağıda tanımlanmıştır.

$$\mathbf{H}_{XY} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad , \quad \mathbf{H}_{Z} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Durum ve ölçüm denklemlerinde kullanılan $\mathbf{w}$ ve $\mathbf{v}$ değişkenleri sırasıyla durum ve ölçüm gürültüleridir. Bu gürültülerin birbirlerinden bağımsız, beyaz gürültü oldukları ve normal olasılık dağılımına sahip oldukları kabul edilir. Gürültü denklemlerinde, $\mathbf{Q}$ ve $\mathbf{R}$ sırasıyla süreç ve ölçüm hata değişinti (covariance) matrisleridir.

$$\mathbf{w} = N(0, \mathbf{Q}) \quad , \quad \mathbf{v} = N(0, \mathbf{R}) \tag{6}$$

Bu durum değişkenlerine uygun sabit hızlı doğrusal hareket, sabit ivmeli doğrusal hareket ve koordineli dönüş hareket modelleri aşağıda detaylarıyla açıklanmaktadır.

3.1. Doğrusal Sabit Hız (Linear Constant Velocity) Hareket Modeli

Sabit hız ile hareket eden hedefler için kullanılan sabit hızlı doğrusal hareket modelinin X-Y düzlemi ve Z ekseninde aşağıda verildiği gibi tanımlanmaktadır.

$$\mathbf{F}_{XY} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$\mathbf{F}_{Z} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{8}$$

3.2. Doğrusal İvmeli (Linear Acceleration) Hareket Modeli

Yatay düzlemde (X-Y) doğrusal bir yörünge üzerinde hızlanarak veya yavaşlayarak hareketine devam eden hedefleri izlemek için kullanılan bu yöntemde hareketin belirleyici parametresi doğrusal yörünge üzerinde oluşan ivme vektörünün (a) büyüklüğüdür. Hedefin anlık hız vektörleri kullanılarak hedef hareketinin yönü aşağıda verilen eşitlikten hesaplanabilir.

$$\theta = arc\ \tan\ (V_x / V_y) \tag{9}$$

İvmelenme hedef hareketi yönünde olduğundan uygulanacak ivmenin X ve Y eksenlerindeki karşılıları aşağıdaki θ açısı kullanılarak hesaplanabilir.

$$a_x = a \cdot \sin(\theta) \quad , \quad a_y = a \cdot \cos(\theta) \tag{10}$$

Sabit ivmeli hareket modelinde a_x ve a_y ivmeleri yerine ivme büyüklüğü (a) ve yönelimi (θ) kullanılarak doğrusal ivmeli hareket modeli aşağıda verilen yapıda tanımlanabilir. Z-ekseninde tanımlanan ivmeli hareket modeli ise tek bir eksende tanımlanan sabit ivmeli hareket modelidir.

$$\mathbf{F}_{XY} = \begin{bmatrix} 1 & T & 0 & 0 & \frac{1}{2}T^2\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & T\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T & \frac{1}{2}T^2\cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & T\cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$\mathbf{F}_{Z} = \begin{bmatrix} 1 & T & T^2/2 \\ 0 & 1 & T \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

3.3. Koordineli Dönüş (Coordinated Turn) Hareket Modeli

Bir düzlem üzerinde sabit açısal hızla dönüş yapan sabit hızlı bir nesne düzlem üzerinde tanımlanan bir dairenin üzerinde hareketini sürdürür. Bu dönüş hareketi koordineli dönüş olarak adlandırılır ve koordineli dönüş hareket modeli kullanılarak hedef hareketi tanımlanabilir. Koordineli dönüş hareket modelinde hedefin hız büyüklüğü sabit kalırken dönüş düzlemlerindeki hız vektörlerinin büyüklükleri dönüş açısı cinsinden düzlem üzerlerindeki izdüşümleri cinsinden ifade edilmektedir. Koordineli dönüş hareket modeli X-Y düzleminde aşağıda belirtildiği yapıda tanımlanmaktadır [Ref.1-2].

$$\mathbf{F}_{XY} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin(wT)}{w} & 0 & -\frac{1-\cos(wT)}{w} & 0 & 0 \\ 0 & \cos(wT) & 0 & -\sin(wT) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1-\cos(wT)}{w} & 1 & \frac{\sin(wT)}{w} & 0 & 0 \\ 0 & \sin(wT) & 0 & \cos(wT) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{13}$$

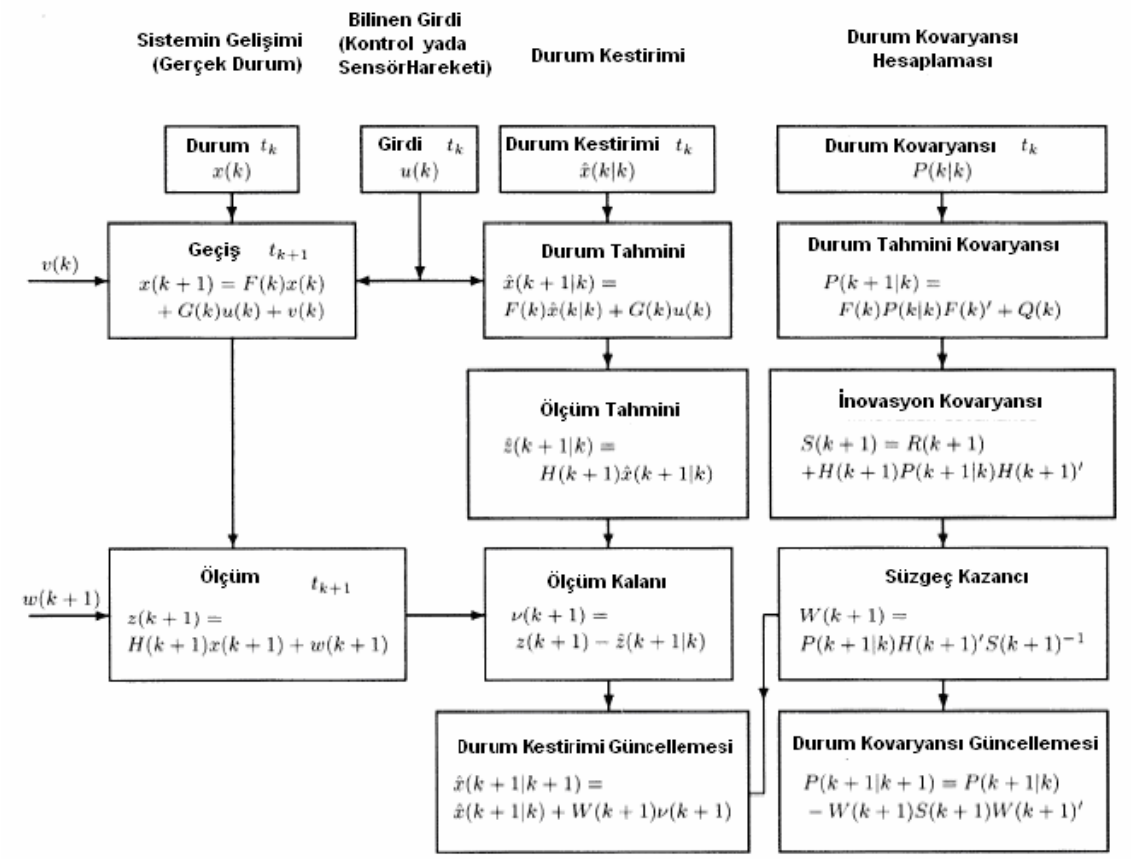
4. ANLIK DURUM KESTİRİMİ

Bu aşamada, platformda bulunan tehdit algılama sensörlerinden gelen hedef pozisyon ölçümleri tanımlanan hareket modellerine uygulanarak, hedefin anlık durum vektörleri tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemle, hedef hareketi durum vektörleri hareket süresince tahmin edilerek hedef izleme gerçekleştirilir.

4.1. Kalman Filtre

Kalman filtresi hedef takibi uygulamalarında en çok kullanılan hedef durum kestirim yöntemidir. Hedef hareket modeli doğru tanımlanabilirse, ölçümlerden ve hedef dinamiklerinden kaynaklanan durum hataları minimize edilerek anlık hedef durum kestirimi başarıyla yapılabilmektedir.

Kalman filtresi için bir döngü adımına ait süreç grafiği Şekil-2'de gösterilmiştir.

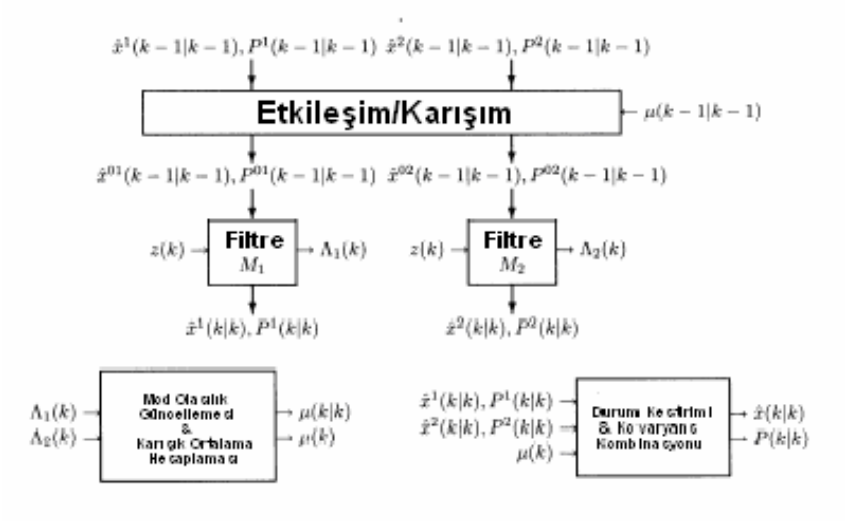


Şekil 2. Kalman filtresi için bir döngü adımına ait süreç grafiği [Ref.1]

4.2. Etkileşimli Çoklu Model (IMM: Interacting Multiple Model)

Hedef hareketi birden fazla hareket modeli ile tanımlandırılmayı gerektirecek manevraları içeriyorsa, bu durumda, birden fazla hareket modeli aynı anda veya en uygunu seçilerek kullanılarak hedef takibi yapılabilmektedir.

Etkileşimli çoklu model (IMM: interacting multiple model) yönteminde, hareket modellerinin ağırlıkları bir önceki tahminde hesaplanan ağırlıklara ve yeni ölçüm verisinin hareket modeli tahminine uygunluğuna göre belirlenmektedir [Ref.1,2 ve 3]. Bu yöntemle, birden fazla hareket modeli ile hedef izleme gerçekleştirilebilir.



Şekil 3. IMM algoritmasına ait bir süreç grafiği [Ref.1]

Bu çalışmada, Bölüm-3'de tanımlanan her bir hareket modelleri için ayrı Kalman filtresi uyarlanmış ve hedeften alınan ölçümler doğrultusunda bu hareket modellerine göre hedef izleme gerçekleştirilmiştir. Her bir kalman takipçisi, gelen her yeni ölçümde Şekil-2'de belirtilen yöntemi izleyerek her bir modelde hedef durum vektörünü ($\mathbf{x}$) ve koveryans matrisini ($\mathbf{P}$) güncelleyerek hedef takibini sürdürmektedir. Son olarak, kullanılan üç hareket modelinin sonuçları güncellenen model olasılıklarına göre ağırlıklı ortalamaları alınarak hedefe ait etkileşimli çoklu model (IMM) hedef durum vektörleri ($\mathbf{x}$) ve koveryans matrisleri ($\mathbf{P}$) hesaplanır.

IMM algoritmasında, hareket modeli sonuçlarını ilişkilendirmek için kullanılan model olasılıkları her bir yeni ölçüm için tekrarlanan bu kestirim prosedüründe güncellenerek hedef hareketinin hareket modellerine uygunluğunu tanımlar. Bu tanımlamadan yola çıkarak hedefin yaptığı manevralara ve bu manevraların ne kadar sürdüğüne karar verilebilir. Bu çalışmada, anlık takip sisteminde kullanılan IMM algoritmasının sisteme en büyük katkısı hareket modelinin ve bu hareket modeline geçiş anının belirlenmesi yönünde olmaktadır. Şekil-3'de görüleceği gibi IMM tabanlı anlık tahmin algoritması çıktılarından yalnızca hareket modeli ve hareket modeli başlangıç zamanı müstakbel hedef kestirimi için kullanılmaktadır. Bu bilgiler kullanılarak bir sonraki bölümde anlatılacak en küçük kareler kestiricisi (LSE) tabanlı anlık tahmin algoritması ile anlık durum vektörleri hesaplanacaktır.

4.3. En Küçük Kareler Kestiricisi (LSE: Least Square Estimation)

En küçük kareler kestiricisi (LSE: Least Square Estimation) yöntemi aşağıda verilen genel model yapısında tanımlanan $\mathbf{x}$ durum vektörünü doğrusal ölçümleri ($\mathbf{z}$) kullanarak tahmin etmeye çalışır [1].

$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{w} \tag{14}$$

Bu hesaplamada kullanılacak maliyet fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

$$J = \left[\mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x}\right]^T \left(\mathbf{R}\right)^{-1} \left[\mathbf{z} - \mathbf{H}\mathbf{x}\right] \tag{15}$$

İkinci dereceden hata vektörlerini en aza indirmeyi amaçlayan en küçük kareler kestiricisi bu maliyet fonksiyonun durum vektörlerine göre türevini sıfıra eşitleyerek aşağıda verilen yapıya dönüştürülür.

$$\mathbf{x} = \left[\mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H} \right]^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{z} \tag{16}$$

Bu yaklaşımın kullanılabilmesi için tanımlanan matris çarpımlarının tersinin tanımlı olması gerekmektedir.

Bu çalışmada en küçük kareler kestiricisi (LSE: Least Square Estimation) yöntemi iki farklı görevde kullanılmaktadır. İlk olarak, hedef izleme algoritmalarının ilk değer atamalarında durum vektörlerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. İlk değer atama işleminde kullanılacak ölçüm sayısı sabittir ve bu çalışmada ilk 8 ölçüm (1 saniye) olarak belirlenmiştir. Yapılan testlerde, farklı senaryolarda ve farklı manevralarda ilk değer hesabında ilk 8 verinin LSE yöntemi için yeterli olduğuna karar verilmiştir.

LSE yönteminin ikinci önemli görevi ise, özellikle hareket modeli geçişleri ve model parametrelerinin değiştiği durumlarda, değişikliğin olduğu andan itibaren gelen ölçümleri kullanarak anlık durum vektörlerini tahmin etmektir. IMM tabanlı anlık tahmin algoritmasıyla hesaplanan tahmini hareket modeli ve hareket modeli başlangıç zamanı en küçük kareler kestiricisi (LSE) tabanlı anlık tahmin algoritmasıyla işlenerek müstakbel hedef kestirimi bloğu girdilerini sağlayacaktır. Bu girdiler, Şekil-1'de de gösterildiği gibi; hareket modeli parametreleri ve anlık durum kestirimleridir. Hareket modellerine göre ihtiyaç duyulan ve anlık durum kestirimleri Çizelge-1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Hareket modeli parametreleri ve anlık durum kestirimleri

Hareket modeli	Hareket modeli parametreleri	Anlık durum kestirimi
HM - 1	-	Mevki (x, y) – Hız (Vx, Vy)
HM - 2	Açısal hız (w)	Mevki (x, y) – Hız (Vx, Vy)
HM - 3	Doğrusal İvme (a)	Mevki (x, y) – Hız (Vx, Vy)

İlk değer atamada kullanılan ölçüm sayısı sabitken, anlık durum kestiriminde ve hareket modeli parametrelerinin tahmininde kullanılacak ölçüm sayısı değişikliğin olduğu zamana bağlı olduğundan değişkendir. IMM tabanlı anlık tahmin algoritması ile tahmini hareket modeli ve hareket modeli başlangıç zamanı hesaplanabilmektedir. Bu sayede kullanılan hedef hareket modeline ait ölçümler belirlenerek, bu ölçümler ile LSE tabanlı anlık tahmin algoritması çalıştırılabilir. Yeni hareket modeline ait yeterli ölçüm toplanması gerektiğinden LSE yönteminin en az 8 ölçümle (1 saniye), işlem yükü ve geçmişe bağımlılığı azaltmak için de en fazla 40 ölçümle (5 saniye) yapılması kararlaştırılmıştır.

5. TAHMİN EDİLEN VURUŞ NOKTASI KESTİRİMİ

Bu çalışmanın nihai hedefi takip edilen tehdide karşı yapılacak saldırının nereye yapılacağı, yani hedef vuruş noktasının (Predicted Hitting Point. PHP) tahminidir. Vuruş noktası kestiriminde en önemli kriterlerden biri hedefin imha edilebileceği en kısa süre olarak tanımlanan uçuş süresinin (ToF: Time of Flight) doğru hesaplanmasıdır. Bu çalışmada, her bir anlık kestirim anında uçuş süresinin bilindiği varsayılmaktadır.

Bu varsayımdan yola çıkılarak hedefin uçuş süresi sonunda bulunması beklenen mevki vuruş noktası kestirimi olarak kullanılacak ve tedbir silahları bu noktaya hedefleneceklerdir.

Çeşitli manevralar yapma kabiliyetindeki bir hedefin müstakbel hareket kestiriminde hedef hareket modelinin sabit kalacağı varsayımıyla kestirim yapılmaktadır. Hedefin yeni bir manevraya başlaması sonucu hedef hareket modelinde meydana gelebilecek bir değişikliği manevra başlamadan önce kestirmek mümkün değildir. Bu nedenle, bu çalışmada müstakbel mevki kestirimi anlık kestirim sonuçlarıyla tanımlanacak hareket modeli kullanılarak yapılacaktır.

Anlık takip algoritmasında IMM'in verdiği anlık durum vektörleri ile hareket modeli olasılıkları hedefin bundan sonraki hareketini belirten en önemli verilerdir. Genel yaklaşım, en yüksek olasılığa sahip hareket modeli uçuş süresi boyunca anlık durum vektörlerinden başlatılarak ilerletilir ve uçuş süresi sonunda müstakbel durum vektörleri hesaplanır. Bu süreç iki adımda tanımlanmaktadır: Anlık durum kestirimi ve hareket modeli kestirimi. Vuruş noktasının tahmin edilmesinde kullanılabilecek yöntemler belirtilen iki süreç adımlarına göre Çizelge-2'de verildiği gibi sıralanabilir.

Çizelge 2. Vuruş noktasının kestiriminde kullanılabilecek bazı yöntemler

	Anlık durum kestirimi	**Hareket modeli kestirimi**
Yöntem-1	IMM	En yüksek ihtimalli model
Yöntem-2	IMM	Tüm Modellerin ağırlıklı ortalaması
Yöntem-3	LSE	En yüksek ihtimalli model
Yöntem-4	LSE	Tüm Modellerin ağırlıklı ortalaması

Hareket modeli kestiriminde iki farklı yol izlenebilir. Anlık kestirimlerde en yüksek model olasılığını veren model kullanılarak anlık durum vektörleri geleceğe taşınabileceği gibi tüm modellerin müstakbel mevki kestirimleri de hesaplamaya dahil edilebilir. IMM'in sağladığı model olasılıkları kullanılarak modellerin müstakbel mevki kestirimlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak vuruş noktası kestirimi yapılabilir. Ağırlıklı ortalama yöntemiyle hesaplanan konum en yüksek model olasılığını veren modele daha yakın çıkmasına rağmen geniş zaman aralıklarında bu modelden uzaklaşır. Elde edilen mevki kestirimi tam olarak hiçbir modele ait olmamakla birlikte anlık hareket modelinin seçiminden emin olunmayan durumlarda ortalama sonuç verdiği için kullanılmaktadır. Yapılan testlerde, geliştirilen anlık model kestirim sisteminin (IMM sonucu elde edilen model olasılıkları) anlık hareket modellerini başarılı bir şekilde tespit edebildiği ve hareket modeli değişimlerini yeterince hızlı tespit ettiği gözlemlenmiştir. Bu gözleme dayanarak, anlık kestirimlerde en yüksek model olasılığını veren model kullanılarak müstakbel mevki kestirimi yapılması uygun görülmüştür.

Anlık durum kestirimi, 4.Bölüm'de detaylarıyla açıklandığı gibi hem IMM algoritmasıyla hem de LSE algoritmasıyla yapılabilmektedir. IMM sonucunda tahmin edilen anlık kestirimler müstakbel mevki kestirimi için başlangıç koşullarını ve hareket parametrelerini sağlamaktadır. Hareket modelinin uzun süre aynı kaldığı senaryolarda anlık hedef durum vektörleri gerçeğe yakın hesaplanabilirken özellikle hareket modeli değişimlerinde yeni hareket modelini tanımlayan anlık durum vektörlerinin gerçeğe

yakın değerler ulaşması uzun zaman almaktadır. Bu gecikme hareket modelinin ölçümlere karşı kararlı olabilmesi için gereklidir. Bununla birlikte, hareket modeli geçişlerinde zorlanan kalman filtresi ve IMM algoritması yeni modele ayak uydurmakta zorlanır ve geçmişin etkisinden kurtulana kadar beklenen etkisini gösteremeyebilir. Bu nedenlerle, özellikle hareket modeli geçişleri ve model parametrelerinin değiştiği durumlarda, değişikliğin olduğu andan itibaren gelen ölçümleri kullanarak yeni bir anlık kestirim üretme gereği doğmaktadır. Bu çalışmada, müstakbel mevki kestirimi algoritmalarında sıkça karşılaşılan bu probleme bir çözüm önerilmektedir. Hareket modeli geçişleri ve model parametrelerindeki değişiklikler gözlenerek bu değişikliklerden öncesini unutan bir anlık kestirim algoritması önerilmektedir. Literatürde, özellikle hedef izleme algoritmalarının ilk değer atamalarında sıklıkla kullanılan en küçük kareler kestiricisi (LSE: Least Square Estimation) anlık kestirim algoritması takip sırasında anlık durum kestirimi için kullanılacaktır. En küçük kareler kestiricisi yöntemi Bölüm 4.3'de açıklanmıştır.

En küçük kareler kestiricisi (LSE) tabanlı anlık tahmin algoritması ile hesaplanan hareket modeli parametreleri ve anlık durum kestirimleri kullanılarak uçuş süresi ($t-t_0$) sonunda hedefin bulunağı müstakbel mevki aşağıda verilen denklem kullanılarak hesaplanabilir.

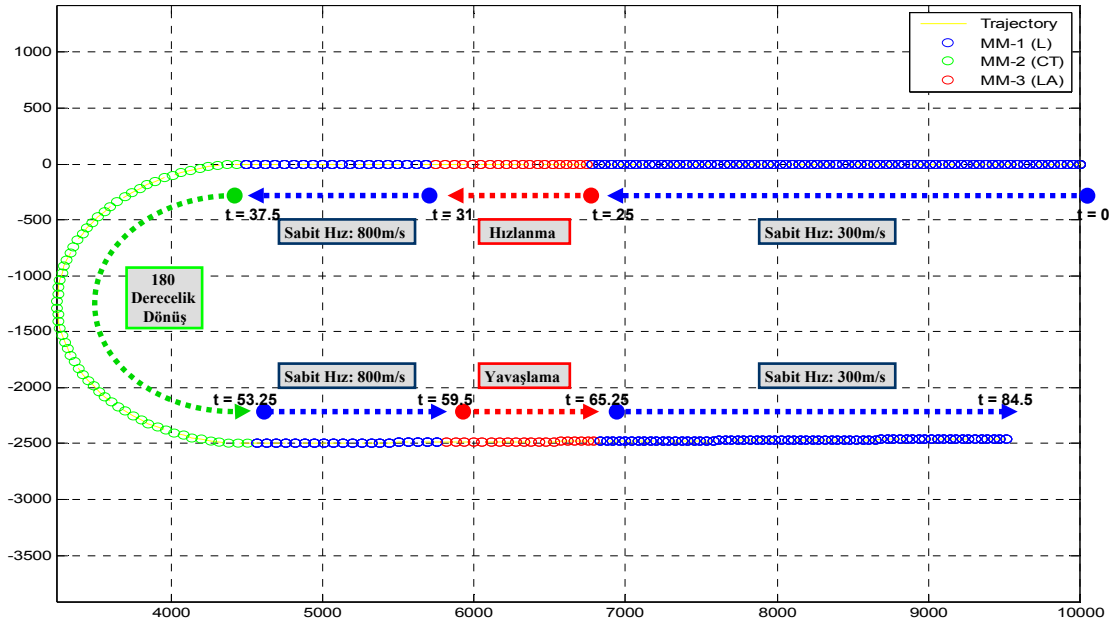
$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{F}(t-t_0)\cdot\mathbf{x}(t_0) \tag{17}$$

Bu denklemde, $\mathbf{F}(t-t_0)$, hareket modeli işlem matrisinin uçuş süresi ($t-t_0$) ve model parametrelerine göre uyarlanmış işlem matrisidir. $\mathbf{x}(t_0)$ ise LSE tabanlı anlık tahmin algoritmasının sağladığı başlangıç durum kestirimleridir.

6. BENZETİM SONUÇLARI

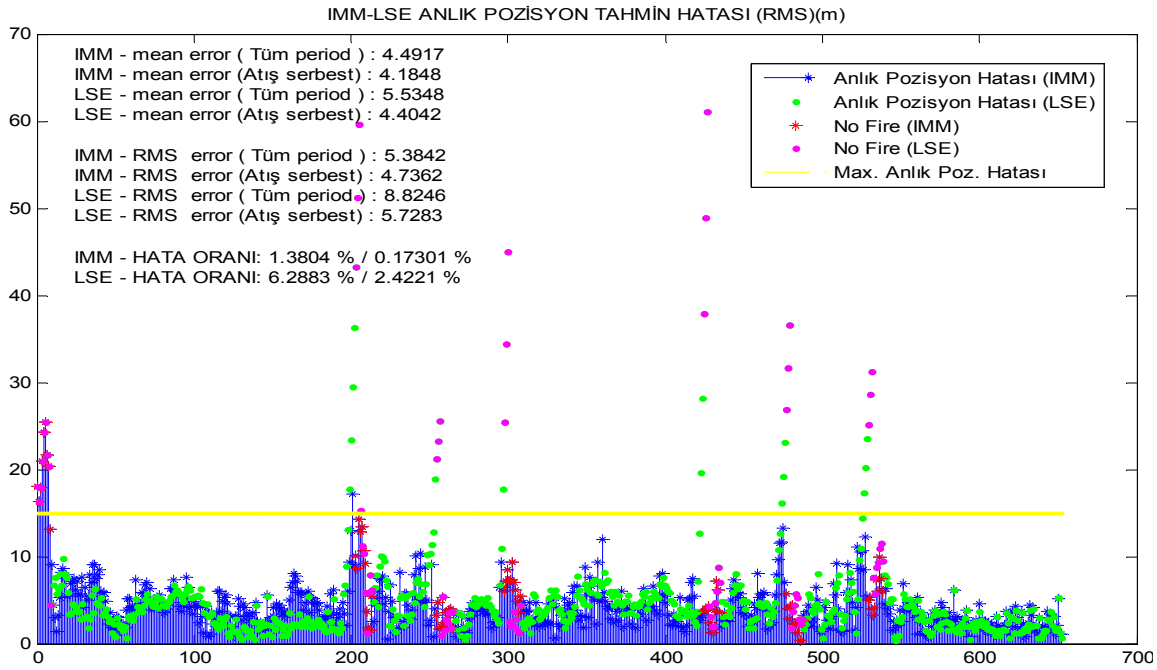
Önerilen algoritma Matlab R2007b [Ref.4] sürümünde kodlanarak Sony VAIO Laptop Intel Core 2 Duo T7700 2.4GHz-2GB RAM konfigürasyonuna sahip bir bilgisayarda test edilmiştir. Kullanılan ölçüm verileri, hedef karakteristikleri incelenerek oluşturulan üç boyutlu hareket manevralarına radar ölçüm hatalarına yakın beyaz gürültüler eklenerek oluşturulmuştur. Sentetik radar ölçümleri birden çok manevrayı içerecek şekilde 8 Hz'de oluşturulmuş ve Matlab ortamında kaydedilmiştir.

Testlerde kullanılan örnek bir senaryo Şekil-4'de verilmiştir. Bu senaryo, tanımlanan üç hedef hareket modeline uygun hareketler içermektedir. Hedef sabit hızlı düzgün doğrusal hareket (L: Linear) modeli ile başlayarak sabit ivmeli düzgün doğrusal hareket modeli ile kısa bir süre hızlanmakta, daha sonra tekrar sabit hızla hareketine devam etmektedir. Hedefe 4500 metre mesafede 180 derecelik koordineli dönüş hareket modeline (CT:Coordinated Turn) göre dönüş yapmakta ve tekrar sabit hızla uzaklaşmaktadır. Daha sonra yavaşlayarak tekrar sabit hızlı hareketine devam etmektedir. Aşağıda hareket modelleri şekillerde ayrıntıları verilen renklerle belirtilmektedir.

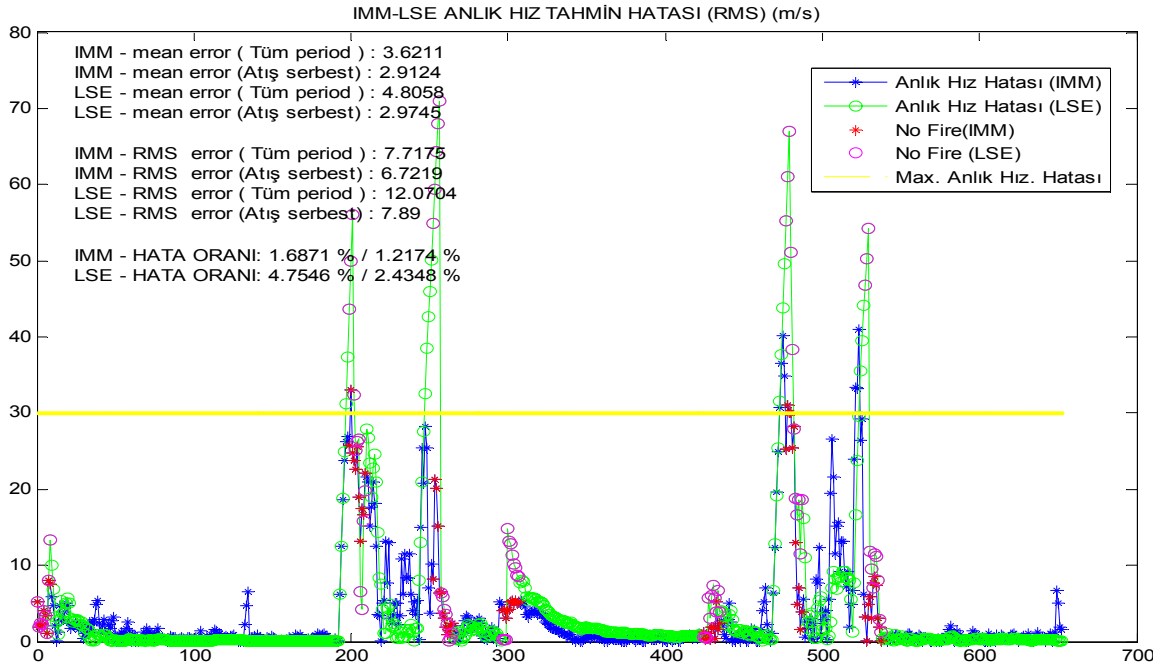


Şekil 4: Testlerde kullanılan örnek bir senaryo

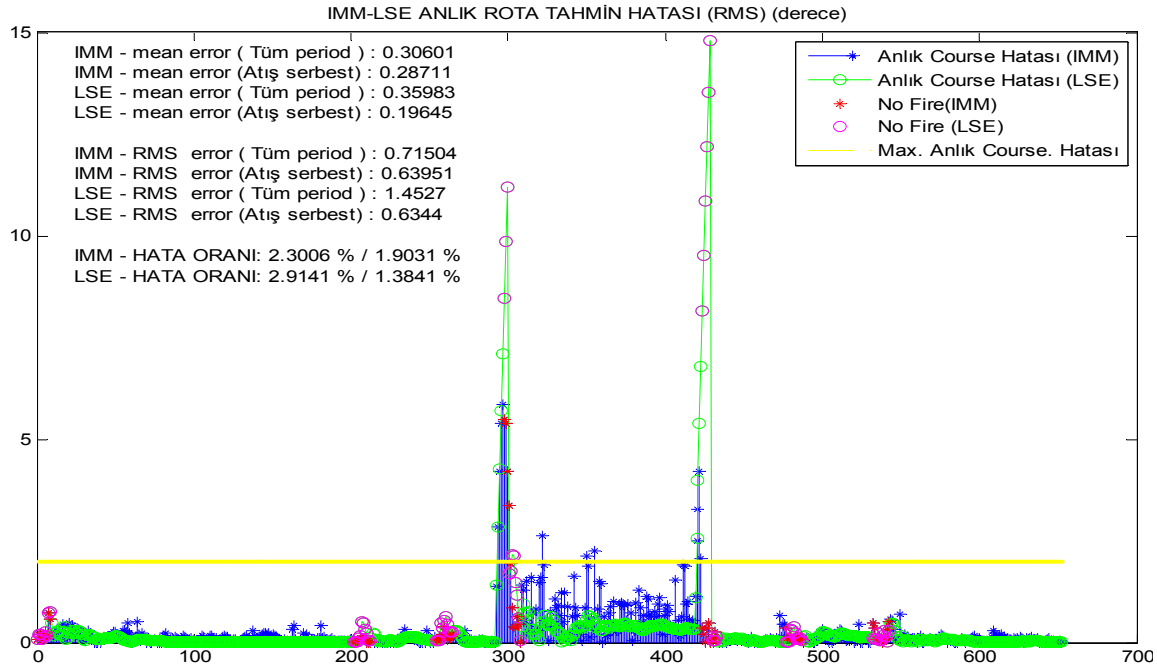
Yukarıda verilen senaryoya ait anlık durum değişkenleri (pozisyon, hız, rota ve doğrusal ivme) kestirimlerinin başarımı aşağıda verilen RMS (root mean square) hata grafikleri ile gösterilmiştir.



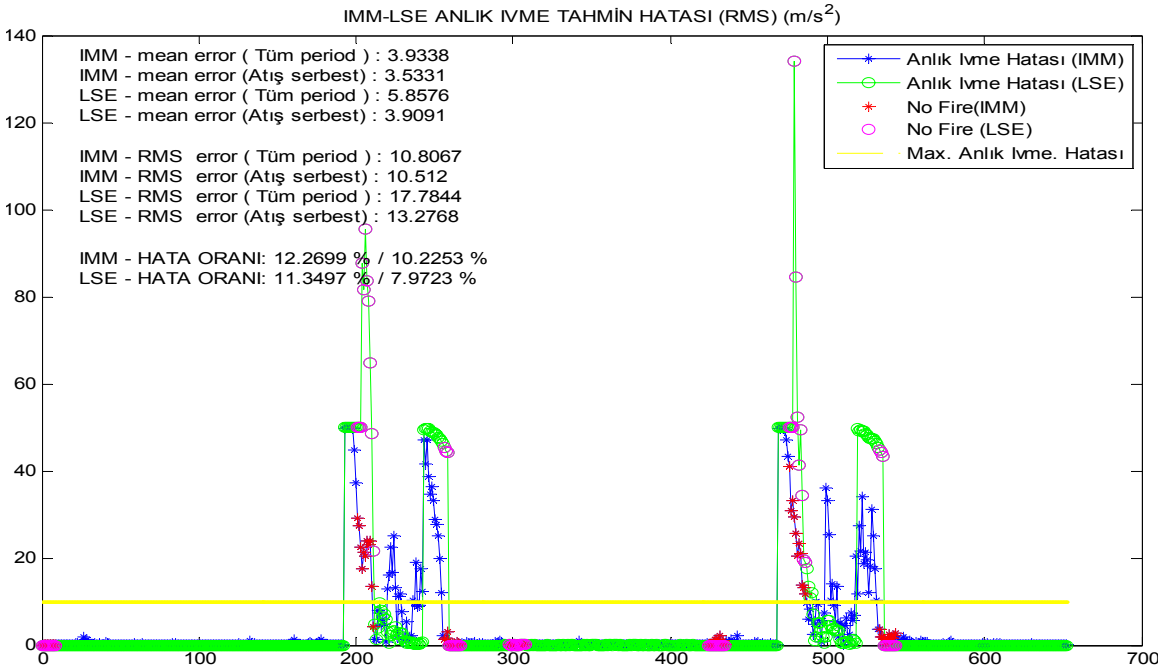
Şekil 5: IMM ve LSE yöntemleri anlık pozisyon tahmin hataları



Şekil 6: IMM ve LSE yöntemleri anlık hız tahmin hataları

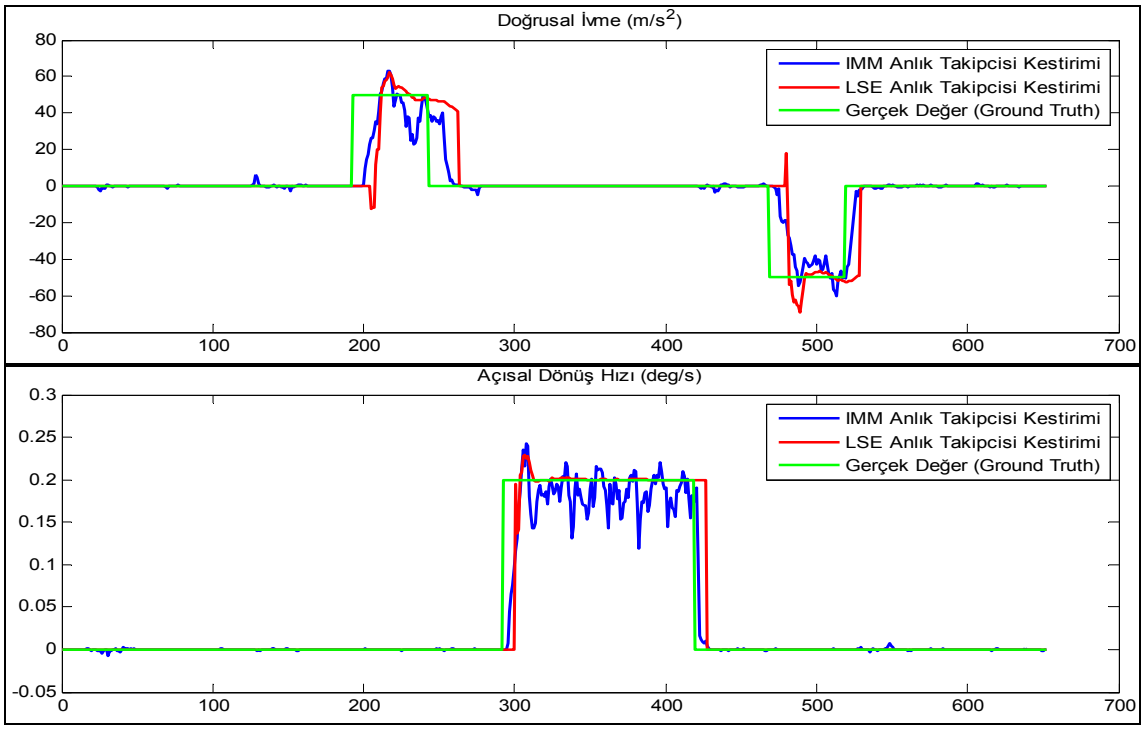


Şekil 7: IMM ve LSE yöntemleri anlık rota tahmin hataları



Şekil 8: IMM ve LSE yöntemleri anlık ivme tahmin hataları

Verilen senaryoya ait gürültüsüz anlık rota ve doğrusal ivme değişimleri ve belirtilen anlık kestirim algoritmalarının rota ve doğrusal ivme kestirim başarımları Şekil-9'da gösterilmiştir.

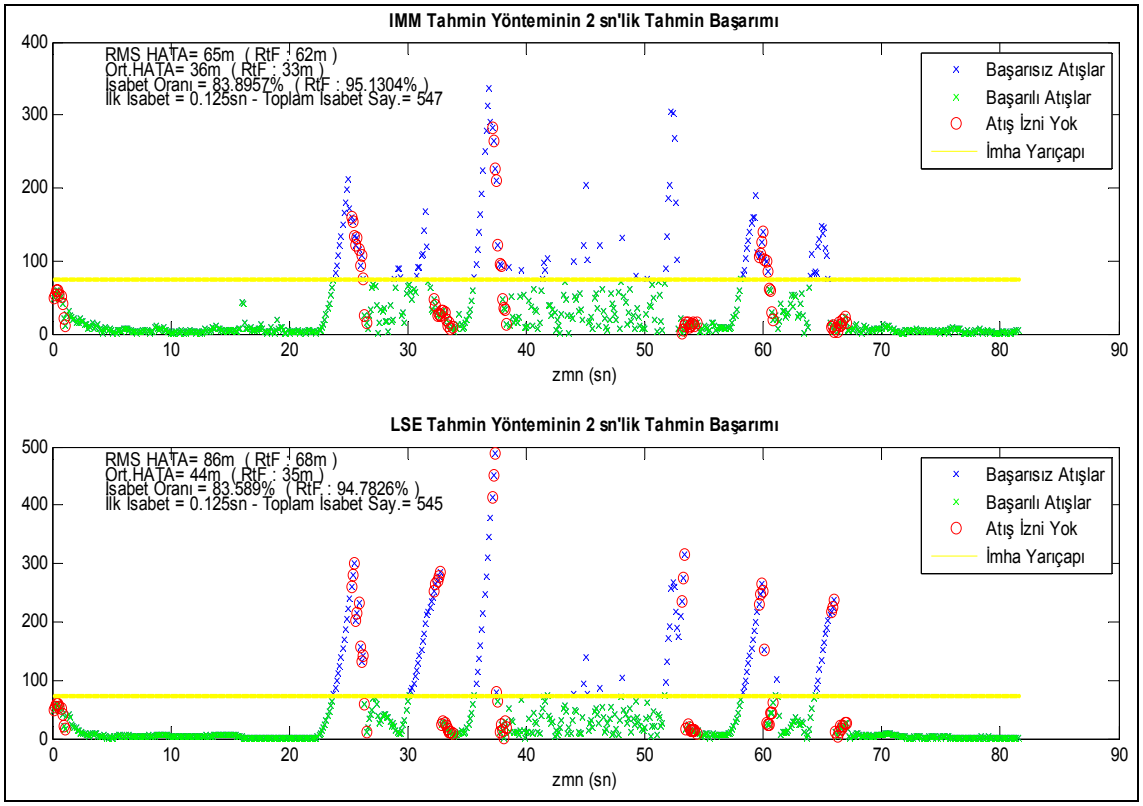


Şekil 9: IMM ve LSE yöntemleri anlık ivme ve dönüş hızı kestirimleri

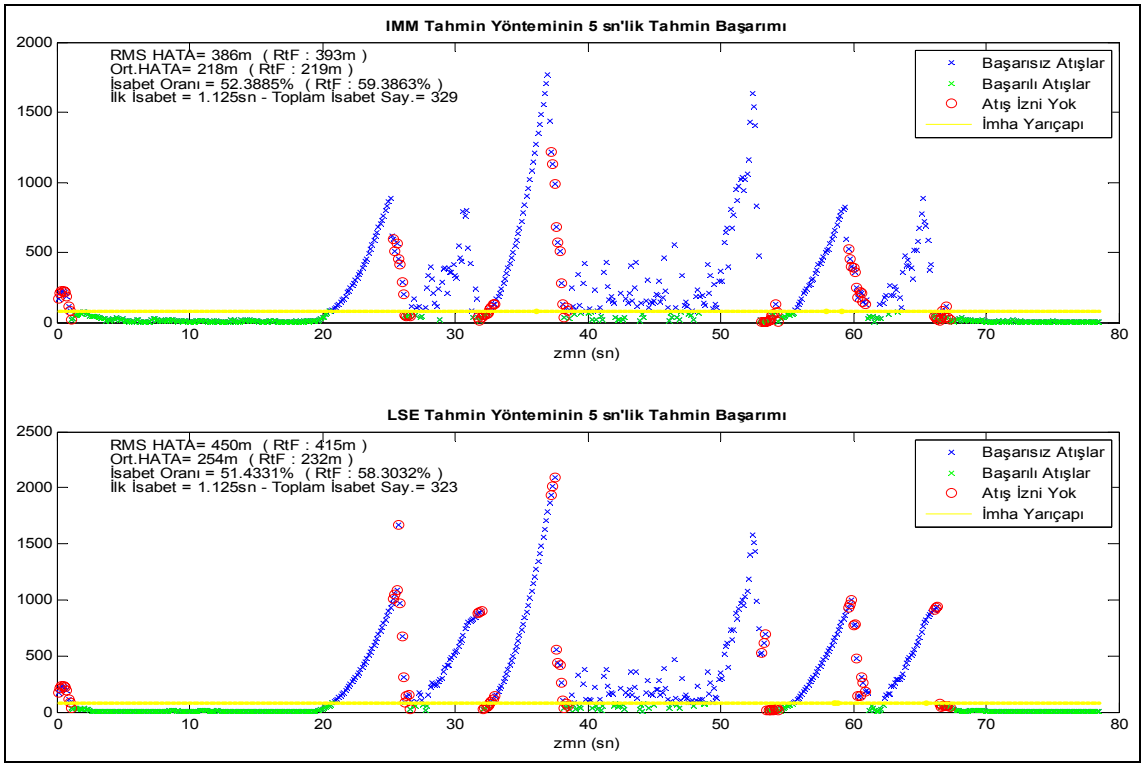
Yukarıda verilen durum değişkenleri (pozisyon, hız, rota ve doğrusal ivme) anlık kestirim başarımı grafiklerinde LSE yöntemi ile IMM yönteminin senaryo genelinde birbirlerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. LSE yöntemi ile anlık durum değişkenlerinin kestirimde hedef uzun süre aynı modelde seyrettiği sürece IMM algoritmasına kıyasla daha başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Bununla birlikte, hata grafikleri yapılan kestirim hataların LSE yönteminde daha kararlı değiştiğini göstermektedir. IMM yönteminde ise birden çok hareket modelini kullanıldığından model geçişlerinde anlık tahmin kestirimi LSE yöntemine göre daha başarılıdır. LSE yöntemi hedefin hareket modeli değiştirdiğini anlamak ve yeni hareket modeline ait parametreleri kestirebilmek için harcadığı zamanda IMM çoklu model takibi sayesinde hedefin manevralarına ilk aşamada daha hızlı uyum sağlasa da hedefi kaybedebilir. Bu amaçla, LSE yöntemi ile hedef hareket modeli değişimleri gözlenmekte ve bu geçiş aşamasında anlık tahmin ve müstakbel mevki tahmin sonuçlarının güvenilir olmadığı sisteme uyarı olarak gönderilir. Anlık ve müstakbel mevki kestirim başarımlarında, grafikte atış izni verilmeyen (No Fire) bölgeler diye adlandırılan bu model geçiş bölgeleri ihmal edilmektedir.

LSE yönteminin özellikle rota ve doğrusal ivme durum değişkenlerinin kestirimindeki başarımı (Şekil-9'da verilmiştir) ve kararlı yapısı sistemin dönüş ve doğrusal ivmelenme manevraları süresince mevki kestirim başarımını arttırmaktadır.

Testlerde kullanılan hedefe ait 2 ve 5 saniyelik müstakbel mevki kestirim başarım grafikleri Şekil-10 ve Şekil-11'de ayrıntılarıyla verilmektedir.



Şekil 10: İki Saniye Sonrası Hedef Müstakbel Mevki Kestirim Hataları



Şekil 11: Beş Saniye Sonrası Hedef Müstakbel Mevki Kestirim Hataları

Tahmin yürütülen zaman aralığında gerçekleşen hareket modeli değişiklikleri müstakbel mevki kestiriminde büyük hatalara sebebiyet vermektedir. Ancak, tahmin yürütülen süre zarfında hedef aynı hareket modeli ile seyrettiği durumlarda son hareket modeline ait ölçümler kullanılarak LSE yöntemiyle hesaplanan anlık hareket modeli parametreleri ile gerçeğe yakın müstakbel mevki kestirimleri yapılabilmektedir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada hareketli hedeflerin takibi ve ileriye yönelik müstakbel mevki kestirim için bir hedef izleme ve ileri kestirim algoritması önerilmektedir. Bu algoritma hedefe ait ölçümlerden yola çıkarak öncelikle hedefin anlık durum vektörlerini tahmin etmeyi amaçlar. İkinci aşamada ise anlık kestirim algoritmasının sonuçlarını kullanarak hedefin gelecek hareketini tahmin etmeye çalışır. Bu sayede, takibi devam eden bir tehdide karşı kullanılacak tedbirin hedefe ulaşana kadar geçecek zaman (uçuş süresi) sonrasında hedefin bulunacağı müstakbel mevki (hedef vuruş noktası) tahmin edilerek hedef imhası gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmanın özgünlüğü, hareket modeli değişimlerinin hızlı ve doğru kestirilmesiyle ileri kestirimlerin manevra süresince toplanan ölçümler kullanılarak daha başarılı yapılabilmesinden kaynaklanmaktadır. Hedefin belirlenen son hareket modeline uygun ölçümlerle yapılan anlık kestirimler ileri kestirim aşamasında daha gerçekçi müstakbel mevki tespitini sağlamaktadır. Bu sayede, daha başarılı imha noktası kestirimi ile hedef imha başarımı artmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Shalom Y.B., Li X.-R., Kirubarajan T., "Estimation with Applications to Tracking and Navigation", 2001, Wiley&Sons Inc.

[2] Blackman, S., Popoli, R., Design and Analysis of Modern Tracking Systems, Artech House, 1999.

[3] Simeonova L., Semerdjiev T., "Specific Features of IMM Tracking Filter Design", Procon Ltd., Sofia, Bulgaristan, 2002, sayfa. 154-165

[4] MATLAB V 7.5.0.342 (R2007b), The MathWorks Inc., Agustos 2005, web adresi: http://www.mathworks.com/products/matlab/

[5] Ru J., Li X. R., Jilkov P. V., "Multiple-Model Detection of Target Maneuvers", Dept. of Electrical Engineering, University of New Orleans, LA, 2005,

[6] Shalom B., Yeddanapudi M., Pattipati K., "IMM Estimation for Multitarget-multisensor Air Traffic Surveillance", Proceedings of the IEEE, Vol 85, Iss 1, sayfa: 80-86, 1997,

[7] Ding Z., Hong L., "A Distributed IMM Fusion Algorithm for Multi-platform Tracking", Signal Processing, Vol. 64, Issue 2, sayfa: 167-176, 1998

İLETİŞİM BİLGİLERİ

Mehmet OCAKLI
Dz.K.K. Araştırma Merkez Komutanlığı,
Ankara Cad. No:252 P.K.46 34890
Pendik-İSTANBUL
E-posta : mehmetocakli@gmail.com
Telefon : +90 216 493 8283 / 2234
Faks : +90 216 493 8287

Muhammet ALTUN
Dz.K.K. Araştırma Merkez Komutanlığı,
Ankara Cad. No:252 P.K.46 34890
Pendik-İSTANBUL
E-posta : maltun@armerk.tsk.tr
Telefon : +90 216 493 8283 / 2112
Faks : +90 216 493 8287

Mustafa L. CİVELEK
Dz.K.K. Araştırma Merkez Komutanlığı,
Ankara Cad. No:252 P.K.46 34890
Pendik-İSTANBUL
E-posta : mlcivelek@armerk.tsk.tr
Telefon : +90 216 493 8283 / 2200
Faks : +90 216 493 8287

HLA FEDERE ARAYÜZ SERVİSLERİNİN ÖN VE SON KOŞULLARININ FEDERASYON MİMARİ METAMODELİNE EKLENMESİ

Vijdan Kızılay[(a)], Okan Topçu [(b)], Halit Oğuztüzün [(c)]

[(a)] İTÜ, Ayazağa Kampüsü Maslak,34469, İSTANBUL, vkizilay@itu.edu.tr

[(b)] Deniz Harp Okulu, Tuzla, İSTANBUL, otopcu@dho.edu.tr

[(c)] ODTÜ, İnönü Bulvarı, 06531, ANKARA, oguztuzn@ceng.metu.edu.tr

ÖZ

Federasyon Mimari Metamodeli (FAMM), Yüksek Seviye Mimarisi (HLA) uyumlu federasyon mimarilerinin formal olarak oluşturulmasına olanak sağlayan ve otomatik kod üretimini destekleyen bir metamodeldir. Bir federasyon mimarisi, hem statik bir federasyon modelini (federasyon nesne modeli ve federasyon yapısı) hem de dinamik bir davranış (federelerin gözlemlenebilir davranışları) modelini içermektedir. Federe davranış modeli için FAMM ile modellenen ve HLA federe arayüz spesifikasyonunda belirtilen servisleri sağlayan servis kütüphaneleri kullanılmaktadır. FAMM halihazırda IEEE HLA 1516 ve DMSO HLA 1.3 servis kütüphanelerini içermektedir. Mevcut kütüphanelerde HLA federe arayüz servislerinin sadece ayrıksı durumları, girdi ve çıktı argümanları tanımlanmış, servislerin ön ve son koşulları ise tanımlanmamıştır.

Bir federasyon mimarisinde her bir federenin davranış modelinde kullanılan HLA federe arayüz servislerinin çağrılmadan önce ön koşullarının sağlandığının statik olarak analiz edilmesi ile HLA federe arayüz spesifikasyonunun doğru kullanıldığının sağlaması yapılabilir. Böylece, model bazında federenin HLA federe arayüz servislerini standard spesifikasyona uygun olarak kullanması garanti altına alınabilir. Bu kapsamda ön koşulların ve son koşulların modele eklenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma HLA federe arayüz servisleri için ön ve son koşulların davranış modeline nasıl entegre edildiğini, yapılan metamodel değişikliklerini ve alınan modelleme kararlarını anlatmaktadır.

Anahtar Kelimeler: HLA, RTI Servisleri, Metamodel, Ön Koşul, Son Koşul, Yüksek Seviye Mimarisi

INTRODUCING PRECONDITIONS AND POSTCONDITIONS OF HLA FEDERATE INTERFACE SERVICES TO THE FEDERATION ARCHITECTURE METAMODEL

ABSTRACT

Federation Architecture Metamodel (FAMM) enables the formal representation of High Level Architecture (HLA) compliant federation architectures and supports automatic

code generation. A federation architecture includes a static federation model (federation object model and federation structure) and a dynamic behavior (observable behavior of federates) model. The service libraries which provides the services defined in the HLA federate interface specification and modeled with FAMM are used for representing a federate behavioral model. FAMM currently includes IEEE HLA 1516 and DMSO HLA 1.3 method libraries. In the current libraries, only the exceptions and the returned/supplied arguments of the HLA methods are defined. The preconditions and postconditions of HLA methods are not defined.

The HLA federate interface specification can be verified by making static analysis of preconditions before calling HLA methods that are used in each federate's behavioral model in a federation architecture. This forces the modeler to use the HLA methods in accordance with the standart specification in a model level. In this context, adding preconditions and postconditions to model plays an important role. This paper presents how the preconditions and postconditions of the HLA methods are integrated to the model, the metamodel modifications made, and modelling decisions.

Keywords: High Level Architecture, HLA Methods, Metamodel, Postcondition, Precondition

1. GİRİŞ

Yüksek Seviye Mimarisi (HLA - High Level Architecture) [1, 2, 3], dağıtık simülasyon sistemlerinin bir arada çalışabilmesi için geliştirilmiş ortak bir mimaridir. Federe olarak adlandırılan simülasyon bileşenlerinin birbirleriyle haberleşmesi HLA Koşum Zamanı Altyapısı (RTI - Runtime Infrastructure) üzerinden gerçekleşmektedir. HLA RTI, HLA federe arayüz spesifikasyonu dökümanında [2] tanımlanan standart servisleri sağlamaktadır. Bu servisler, federasyona katılan federeler arası veri akışını ve koordinasyonu düzenlemektedir. HLA federe arayüz servisleri, kısaca RTI servisleri, federasyon yönetimi, bildirim yönetimi, nesne yönetimi, sahiplik yönetimi, zaman yönetimi, veri dağıtım yönetimi ve destek servisleri olmak üzere yedi grup altında toplanmıştır [2].

HLA federe arayüz spesifikasyonunda, her bir RTI servisi; ayrıksı durumları (exceptions), girdi (supplied) ve çıktı (returned) argümanları, ön ve son koşulları (pre and post conditions) ile tanımlanmıştır. Ön koşullar, her bir RTI servisinin doğru çalışabilmesi için sağlanması gereken koşulları belirtirken son koşullar eğer servis doğru şekilde çalışırsa oluşması gereken koşulları belirtmektedir.

Federasyon mimarisinin oluşturulması sırasında federe-RTI etkileşiminin modellenmesi federelerin birbirleriyle olan etkileşiminin daha modelleme aşamasında görülmesi açısından önemlidir. Federeler RTI ile etkileşimlerinde yukarıda bahsedilen servisleri kullanmaktadırlar. Servislerin doğru çalışabilmesi için her bir servisin çağrılmadan önce sağlanması gereken ön koşullar ve doğru çalışması halinde de oluşturması gereken son koşullar vardır. Bir servisle ilgili bütün ön koşulların oluşturulamaması durumunda servis çağrısı başarısızlıkla bitecektir. Örneğin, henüz yaratılmamış bir federasyona dahil edilmiş olan federe modelinin koda dönüştürülmesi halinde çalışma zamanında belirtilen federasyonun var olmadığını gösteren ayrıksı durum oluşacaktır. Müteakip

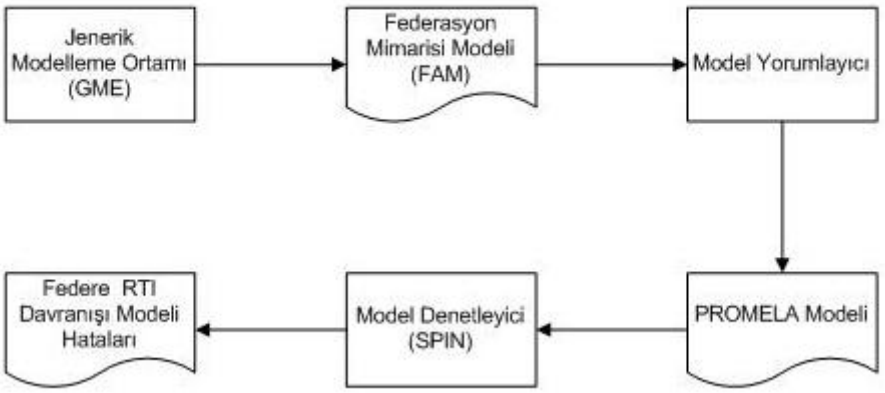
RTI servis çağrıları da federasyon oluşturulmadığı için aynı ayrıksı durumu oluşturacaklardır. Ayrıksı durumları kodlamaya geçmeden önce modelleme aşamasında ön koşulları ve son koşulları test ederek tespit etmek federe geliştiricilere doğru federe davranışı oluşturma yönünde avantaj sağlayacaktır.

Bu çalışmada, federasyon mimarisinin modellenmesi için Federasyon Mimarisi Modelleme Ortamı (FAME) [4] kullanılmaktadır. FAME, Federasyon Mimarisi Metamodeli (FAMM) [5] paradigması yüklendiğinde Jenerik Modelleme Ortamı (GME) [6] tarafından sağlanan alana özel modelleme ortamıdır. GME[1] Vanderbilt Üniversitesi tarafından geliştirilmiş, etki alanına özel, metamodel ve model oluşturma aracıdır. Hem FAMM'ın oluşturulmasında hem de bu metamodele dayalı federasyon mimarilerin oluşturulmasında aynı araç kullanılmaktadır [6].

Federasyon Mimari Metamodeli, HLA uyumlu federasyon mimarilerinin formal olarak oluşturulmasına olanak sağlamakta ve otomatik kod üretimini desteklemektedir. FAMM, federasyon için biçimsel bir gösterim ve uygulama alanına yönelik bir dildir. FAMM'ın öne çıkan özelliği Canlı Sıralama Çizelgelerine (LSC) [7] dayalı olarak federelerin davranışlarının tanımlanabilmesine olanak vermesidir. FAMM ile ilgili ayrıntılı bilgilere [4]'den ulaşılabilir.

Bir federasyon mimarisi, hem statik bir federasyon modelini (federasyon nesne modeli ve federasyon yapısı) hem de dinamik bir davranış (federelerin gözlemlenebilir davranışları) modelini içermektedir. FAMM'da HLA Servisleri Metamodeli (HSMM), HLA federe arayüz servislerini modellemeyi sağlamaktadır. HSMM sadece metotlar, argümanlar ve ayrıksı durumlar için çatı oluşturmaktadır. Servisler HLA arayüz spesifikasyonunda tanımlı programlama dilinden bağımsız ve federe arayüzünü oluşturan tanımlamalardır. Programlama dilindeki arayüz gerçeklemeleri ise metot olarak adlandırılmaktadır. RTI servisleri, HSMM modelini temel alarak GME kütüphanesi olarak oluşturulmuştur. Federe davranış modeli için yine FAMM ile tanımlanmış RTI servis kütüphaneleri kullanılmaktadır. FAMM, IEEE HLA 1516 ve DMSO HLA 1.3 servis kütüphanelerini [8] içermektedir. Mevcut kütüphanelerde RTI servislerinin sadece ayrıksı durumları, girdi ve çıktı argümanları tanımlanmış, servislerin ön ve son koşulları ise tanımlanmamıştır. Bir federasyon mimarisinde her bir federenin davranış modelinde kullanılan RTI servislerinin çağrılmadan önce ön koşullarının sağlandığının statik olarak analiz edilmesi ile HLA federe arayüz spesifikasyonunun doğru kullanıldığının sağlaması yapılabilir. Bu, model bazında federenin RTI servislerini standard spesifikasyona uygun olarak kullanmasını sağlar. Bu kapsamda ön koşulların ve son koşulların modele eklenmesi önemli görülmektedir. Yaptığımız çalışma federasyon mimari modelinin[2] statik analizini yaparak federelerin RTI ile ilişkili davranışındaki modelleme hatalarını tespit etme çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır. Çalışmanın adımları Şekil 1'de görülmektedir.

[1] Bu çalışmada GME versiyon 7.6.29 kullanılmıştır.
[2] "Federasyon Mimarisi" ve "Federasyon Mimari Modeli" aynı anlamda birbirleri yerine kullanılmaktadır.



Şekil 1. HLA Federelerinin RTI ile İlişkili Davranışlarının Doğrulanması

Bu makale, RTI servisleri için ön ve son koşulların davranış modeline nasıl entegre edildiğini, yapılan metamodel eklentilerini, ve alınan modelleme kararlarını anlatmaktadır.

2. ÖN ve SON KOŞULLAR İÇİN METAMODEL EKLENTİLERİ

HLA federe arayüz spesifikasyonlarını dinamik olarak mümkün olduğunca geniş bir yelpazede destekleyebilmek ve öngörülemeyen değişiklikler olduğunda en düşük düzeyde etkilenmesini sağlamak için, FAMM'ın geliştirilmesinde HLA federe arayüz spesifikasyonunda belirlenen servislerin tek tek metamodelde tanımlanması yerine, sadece bu servisleri oluşturan temel elemanların (metot, argüman gibi) FAMM'da yer almasına karar verilmiştir [8]. FAMM'ın servis desteği sağlayan parçası, HLA Servis Metamodeli olarak adlandırılmaktadır.

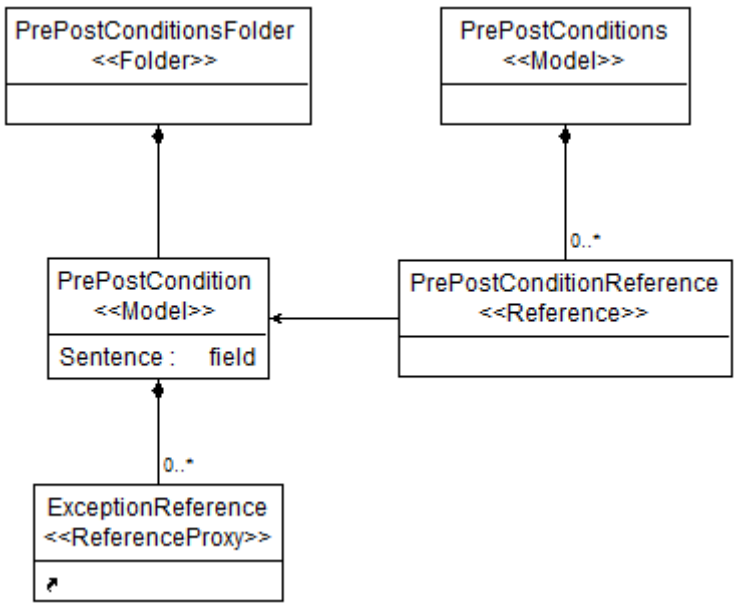
HSMM, HLA federe arayüz servislerinin GME kütüphanesi olarak oluşturulmasını desteklemektedir. HLA servislerinin sunumu için IEEE 1516 HLA servis kütüphanesi (IMLib) ve DMSO 1.3 servis (DMLib) kütüphanesi oluşturulmuştur. Aslında GME kütüphaneleri de oluşturulmuş bir modeldir. Oluşturulan bu modeller GME projeleri (federasyon mimarisi oluşturma amacıyla tasarlanan projeler) içinde kullanılabilmektedirler. Kütüphane modelleri, ithal edildikleri modeller içinde değiştirilemez ve oldukları gibi kullanılır.

IEEE Standart for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Federate Interface Specification [2] dökümanında tanımlanan her bir RTI servisin (girdi ve çıktı) argümanları, ayrıksı durumları, ön ve son koşulları bulunmaktadır. Örneğin, "Create Federation Execution" isimli RTI servisinin girdi argümanları olarak federasyon ismi ve FOM dökümanı göstergesi tanımlanmış olup, çıktı argümanları için bir şey tanımlanmamıştır. RTI servisin çalışması durumunda oluşabilecek ayrıksı durumlar ise, belirtilen federasyonun önceden yaratılmış olması, girdi argümanlarında

sağlanan FOM dökümanı göstergesinin bulunamaması, geçersiz FOM dökümanı ve RTI iç hatası olarak tanımlanmıştır. RTI servisin ön koşulu olarak belirtilen federasyonun var olmaması ve son koşulu olarakta belirtilen isimle bir federasyonun yaratılmış olması tanımlanmıştır. Mevcut kütüphanelerde RTI servislerinin sadece ayrıksı durumları, girdi ve çıktı argümanları tanımlanmış, servislerin ön ve son koşulları ise tanımlanmamıştır.

Ön ve son koşulların modele eklenmesi için RTI servislerinin modellenmesinde de uygulanan temel modelleme kararı izlenmiştir. Bu karar gereği her bir ön ve son koşulu metamodele eklemek yerine bu koşulların tanımlanacağı model elemanları metamodele (FAMM) eklenmiş, ön/son koşullar ise metamodelde tanımlanan bu model elemanları yardımıyla servis kütüphanesinde (IMLib) tanımlanmıştır.

RTI servislerinin ön ve son koşullarını modellemeye olanak sağlaması için ihtiyaç duyulan model elemanları Şekil 2'de gösterildiği şekilde metamodelde tanımlanmıştır.

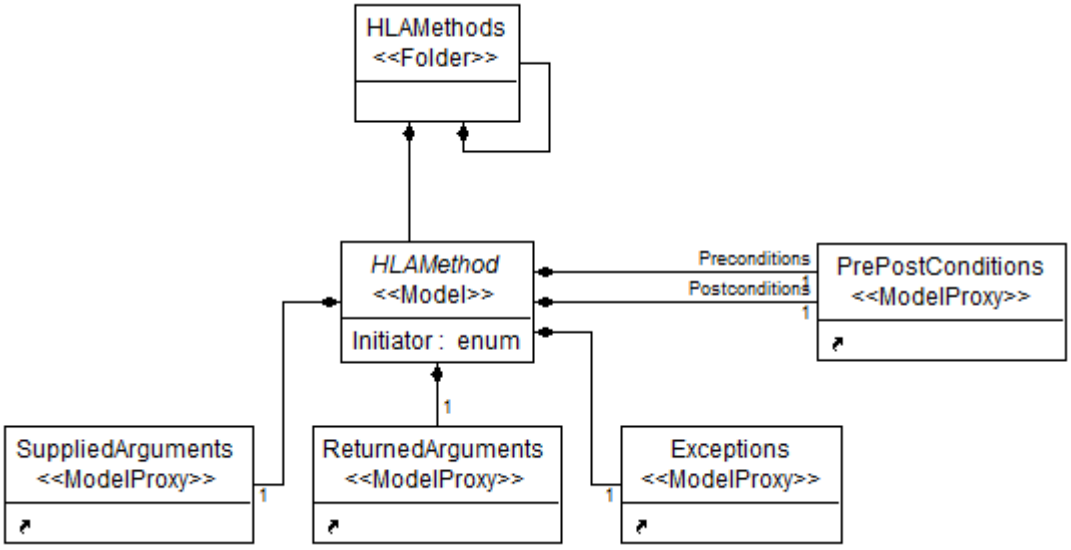


Şekil 2. Ön ve Son Koşulların Tanımlanabilmesi için Metamodele Eklenen Model Elemanları

`PrePostConditions` model elemanı sıfır veya daha fazla `PrePostConditionReference` elemanı içerebilmektedir. Federe arayüz spesifikasyonunda tanımlı olan koşulların her biri `PrePostCondition` model elemanı ile temsil edilmektedir. `PrePostCondition` model elemanının `Sentence` özniteliği koşulun federe arayüz spesifikasyonunda görünen kısmını içermektedir. "The federation execution exists" gibi. Bu açıklama model ile spesifikasyon arasında izlenebilirlik sağladığı gibi servis kütüphanelerini inceleyenlerin koşulları anlaması için

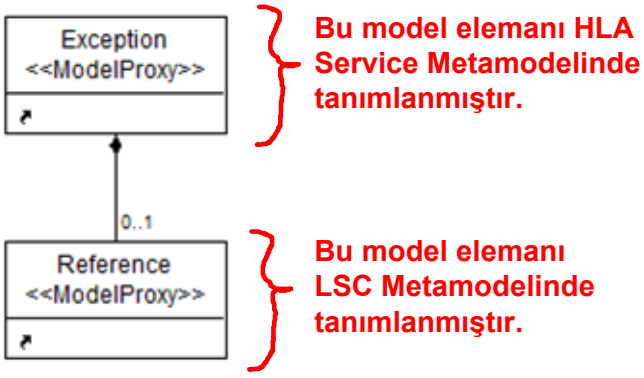
de faydalı olacaktır. `PrePostConditionsFolder`, servis kütüphanelerinde tüm koşulların tanımlandığı ana klasör olarak görev yapmaktadır.

Servis kütüphanelerinde `HLAMethod` modelinin koşullarını eklerken ön ve son koşulları ayırmak için `PrePostCondition` modeline "Type" özniteliğini eklemek yerine her bir metot için `Preconditions` ve `Postconditions` olmak üzere Şekil 3'te görüldüğü gibi iki rol tanımlanmıştır. Bu sayede model yorumlayıcılar tek tek öznitelik kontrolü yapmak yerine doğrudan ön veya son koşullara eriştiklerini bileceklerdir. Rol isimlerinin altındaki bir (1) rakamları her bir HLA metot model elemanında bir `Preconditions` ve bir `Postconditions` modelinin bulunmak zorunda olduğunu belirtmektedir.



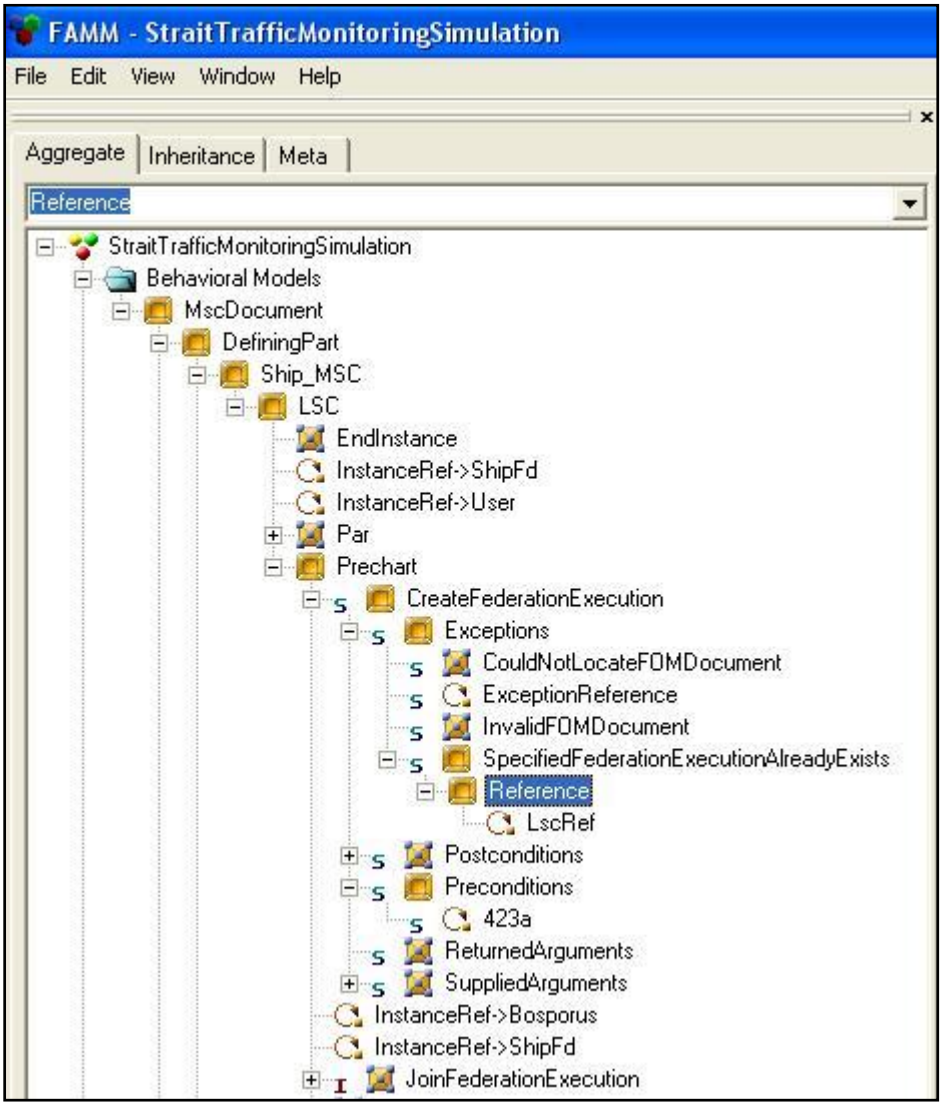
Şekil 3. HLA Metotları için Metamodel Yapısı

Ön ve son koşullar sağlanmadıkları zaman ayrıksı durum oluşturmaları kaçınılmazdır. Bu nedenle koşulların ve ayrıksı durumların modelde birbirleriyle bağlantısının sağlanması gereklidir. Yapılan çalışma ile IMLib'te koşullar ve ayrıksı durumlar arasında bağlantı sağlanmıştır. İlişkilendirmeyi yapabilmek için `PrePostCondition` model elemanının sıfır veya daha fazla `ExceptionReference` model elemanı içerebilmesine olanak sağlayacak şekilde ilişki kurulmuştur. FAMM, ayrıksı durumlar için referanslar aracılığı ile davranış modeli oluşturulabilmesine izin vermektedir (Şekil 4). Böylelikle bir metodun ön koşulu sağlanamadığında oluşabilecek ayrıksı durum/durumların belirtilebilmesi hatta bu ayrıksı durum için de davranışının modellenebilmesi imkanı sağlanmıştır. Son koşullar için ayrıksı davranışların dikkate alınmasına gerek yoktur.



Şekil 4. Ayrıksı Durum ve LSC Referans Bağlantısı

Şekil 5'te görüldüğü gibi `CreateFederationExecution` HLA metodunun ön koşulu 423a kodlu federasyonun yaratılmamış olması koşuludur. Federasyonun önceden yaratılmış olması halinde oluşması beklenen ayrıksı durum `SpecifiedFederationExecutionAlreadyExists` model elemanı ile modellenmiştir. `SpecifiedFederationExecutionAlreadyExists` ayrıksı durumunu temsil eden modele referans eden bir `ExceptionReference` model elemanıda 423a ön koşulu altında oluşturulmuştur. `SpecifiedFederationExecutionAlreadyExists` model elemanı altına ayrıksı durumun oluşması durumunda beklenen davranış modelini referans eden `LSCRef` model elemanı eklenerek ön koşulun sağlanamaması durumunda oluşacak ayrıksı durumun davranış modeline bağlantısı sağlanmıştır.



Şekil 5. Ön Koşulun Ayrıksı Durum Davranış Modeline Bağlantısı

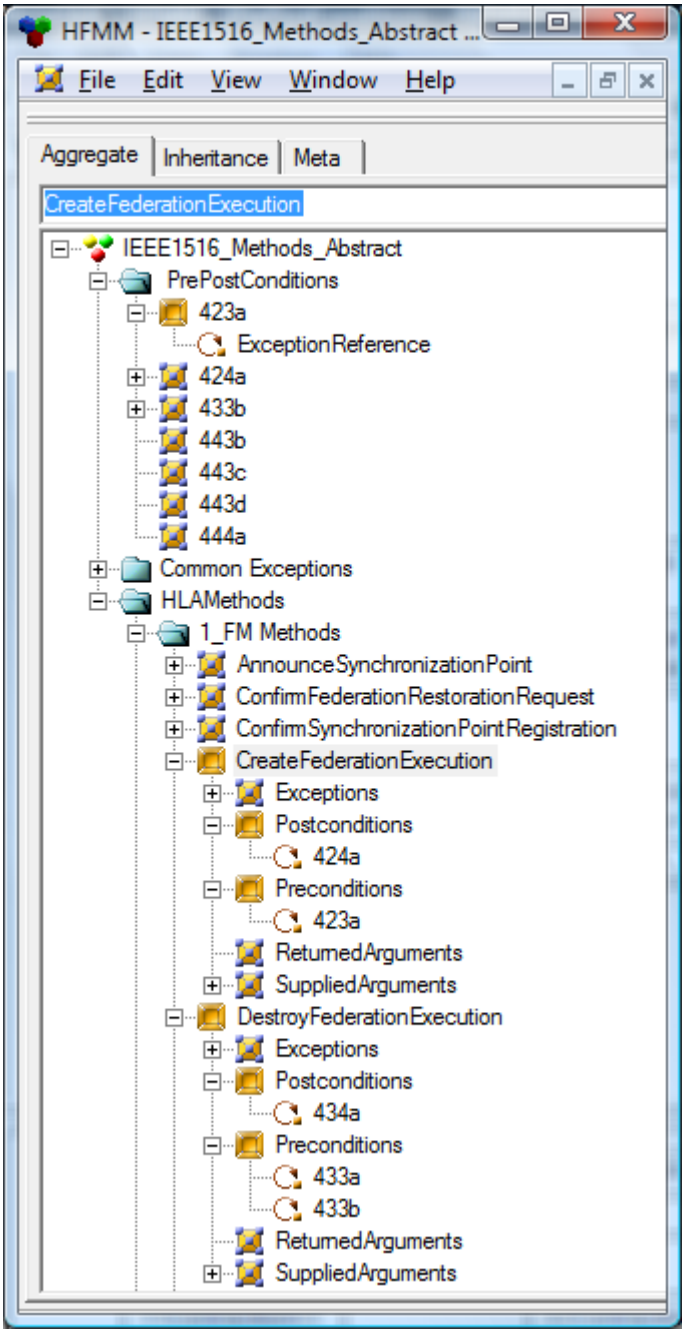
3. ÖN VE SON KOŞULLARIN IEEE 1516 SERVİS KÜTÜPHANESİNE EKLENMESİ

HSMM'de `HLAMethods` model elemanına ilgili ön ve son koşul model elemanlarını ekleme işlemi tamamlandıktan sonra ön ve son koşullar servis kütüphanelerine eklenebilecek hale gelmiştir. RTI servislerinin koşulları kullanabilmesi için koşulların tanımlanması gereklidir. Bu nedenle öncelikle federe arayüz spesifikasyonundaki koşullar tanımlanmıştır. Ön ve son koşulların tanımlanması ve servislere eklenmesi çalışması sadece IEEE 1516 HLA servis kütüphanesine uygulanmıştır.

IMLib'te HLA metotlardaki tüm koşullar için koşul havuzu oluşturulmuştur. Koşulların özniteliği olarak açıklayıcı isimleri bulunmaktadır. Koşullara isim vermek yerine IEEE Standart for M&S HLA – Federate Interface Specification dökümanındaki [2] bölüm ve madde başlığına denk düşen sembolik kodlar verilmiştir. Örneğin "Federation execution does not exist." koşulu 423a olarak kodlanmıştır. Koşulun tanımı yapılırken ilişkili olduğu ayrıksı durumlarda koşul modelinin altına ilgili ayrıksı duruma referans eden `ExceptionReference` olarak eklenmiştir.

Bir HLA metodunda önce `Preconditions` ve `Postconditions` model elemanları oluşturulmuş müteakiben ilgili koşulu referans gösteren referans elemanı eklenmiştir. Şekil6'da IMLib ekran görüntüsünde de görüldüğü gibi HLA metodun ön koşulları `Preconditions` modeli altına son koşulları ise `Postconditions` modeli altına eklenmiştir.

Örnek olarak, "Create Federation Execution" metodunun ön koşulu, federasyonun önceden yaratılmış olmamasıdır. Bu koşul öncelikle koşul havuzuna eklenmiştir. 423a sembolik kodlu koşulun `Sentence` özelliği "Federation execution does not exist." olarak atanmıştır. "Create Federation Execution" metodunun `Preconditions` modeline 423a koşulunu referans eden `PrePostConditionReference` modeli eklenmiştir. 423a koşulunun oluşturabileceği "The specified federation execution already exists." ayrıksı durumuna referans eden `ExeceptionReference` modeli koşul altına eklenmiştir.



Şekil 6. Ön ve Son Koşulların IMLib'e Eklenmesi

Ön ve son koşulların IMLib'e eklenmesiyle birlikte model yorumlayıcı HLA metodunun ön ve son koşullarına model üzerinden ulaşabilmektedir. Model denetleyici HLA metodun ön koşullarına bakarak eğer ön koşullar sağlanmıyorsa federenin RTI davranışında bir sorun olduğunu anlayabilir. Böylece kodlamaya geçmeden federenin HLA RTI davranışındaki sorun fark edilir. Örneğin federe kaydetmediği nesne sınıfının öznitelik güncellemelerini yayınlamaya çalışıyorsa model denetleyici modeldeki

güncelleme işini yapan HLA metodunun ön koşullarını incelediği zaman ilgili nesnenin federe tarafından kaydedilmediğini anlayabilecektir.

5. SONUÇ

HLA federe arayüz servislerinin ön ve son koşullarının FAMM'a entegre edilmesi federelerin dinamik RTI davranışlarının modelleme aşamasında doğruluğunun sınanması ve hataların modelleme aşamasında bulunup ele alınması açısından fayda sağlayacaktır. Yaptığımız çalışma, yani ön ve son koşulların federasyon mimarilerinde gösterilebilmesi, federasyon mimarisi modelinin statik analizi çalışmasının ilk adımını oluşturmaktadır. Amacımız ilerleyen çalışmalarımızda federasyonda yer alan federelerin HLA RTI ile ilişkili olan davranış modelinin sınamasını RTI servislerin ön ve son koşullarını kullanarak yapmaktır. Statik model analizcisi federelerin HLA RTI ile ilgili davranışlarını analiz edecek ve davranış modelini PROMELA (Process or Protocol Meta Language) sunumuna dönüştürecektir. PROMELA koşut proseslerin dinamik olarak yaratılmasına izin veren bir doğrulama modelleme dilidir [9]. PROMELA SPIN aracına girdi oluşturmaktadır. SPIN modellenen sistemin çalışmasını rastgele veya yinelenen simülasyonlar ile gerçekleştirerek modelin doğruluğunu test etmektedir. SPIN dağıtık yazılım sistemlerinin modellerinin sınanması için kullanılan etkin bir doğrulama sistemidir [9]. PROMELA'ya dönüştürülen federelerin HLA RTI davranış modellerinin doğrulanması SPIN aracı ile yapılacaktır.

KAYNAKÇA

[1] IEEE 1516 Standart for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules, September 2000.

[2] IEEE 1516.1 Standart for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA)- Federate Interface Specification, September 21, 2000.

[3] IEEE 1516.2 Standart for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Object Model Template Specification, 21 September 2000.

[4] Topçu Okan, "Metamodeling for the HLA Federation Architectures", PhD Thesis, The Department of Computer Engineering, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turkey, December 2007.

[5] Topçu Okan, Adak Mehmet, and Oğuztüzün Halit, "A Metamodel for Federation Architectures", ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation (TOMACS), vol.18, issue 3, article no. 10, pp. 10:1-10:29, http://doi.acm.org/10.1145/1371574.1371576, July 2008.

[6] ISIS, "A Generic Modeling Environment GME 6 User's Manual v6.0". Institute for Software Integrated Systems (ISIS) Vanderbilt University, 2006.

[7] Damm, W. and Harel, D., "LSCs: Breathing Life Into Message Sequence Charts", in Formal Methods in System Design, 19, 45-80, 2001.

[8] Dökeroğlu, T., Topçu, O. and Oğuztüzün, H. HLA federasyon mimarileri için federe arayüz spesifikasyon kütüphanesi, 2. Ulusal Yazılım Mimarisi Konferansı (UYMK'08), 11-12 Eylül 2008, İzmir, 89-98.

[9] Spin Model Checker, The Primer and Reference Manual, Gerard J. Holzmann

[10] Topçu Okan and Oğuztüzün Halit, "Federation Architecture Modeling Environment (FAME) and Case Studies", Technical Report (Draft), 2009.

EK BİLGİ

VİJDAN KIZILAY

vkizilay@itu.edu.tr

İTÜ Ayazağa Kampüsü 34469 MASLAK İSTANBUL

TEL: (+90 212) 285 36 82

FAX: (+90 212) 285 36 79

OKAN TOPÇU

otopcu@dho.edu.tr

Deniz Harp Okulu TUZLA İSTANBUL

TEL: (+90 216) 395 26 30

FAX: (+90 312) 210 55 44

HALİT OĞUZTÜZÜN

oguztuzn@ceng.metu.edu.tr

ODTÜ İnönü Bulvarı 06531 ANKARA

TEL: (+90 312) 210 55 87

FAX: (+90 312) 210 55 44

RTOOLKIT YAZILIM ÇATISI'NDA TASARIM ÖRÜNTÜLERİ KULLANILARAK YSM UYUMLULUĞUNUN SAĞLANMASI

Hakan SAVAŞAN

Dz. K.K.lığı Araştırma Merkezi Komutanlığı, Pendik / İSTANBUL,
hsavasan@armerk.tsk.tr

ÖZ

RToolkit, hızlı YSM federe geliştirme için kullanılan açık kaynak kodlu, çok platformlu nesne yönelimli bir simülasyon yazılım çatısıdır. Birleştirilmiş ve basitleştirilmiş bir programcı arayüzü sayesinde HLA 1.3 ve IEEE 1516 YSM standartlarının her ikisini de destekler, aynı zamanda, kaynak kodu yeniden yazmaksızın geliştiricilerin iki standarda da uyumlu federeler geliştirmesine olanak tanır. RToolkit RPR-FOM uyumludur ve değişik FOM'lara kolaylıkla adapte edilebilir. RToolkit'in tasarımı ve gerçekleştirilmesi sırasında iyi bilinen tasarım örüntüleri ve nesne yönelimli programlama paradigmaları kullanılmıştır. Bu makalede RToolkit geliştirilirken karşılaşılan tasarım problemlerine çözüm olarak hangi tasarım örüntülerinin kullanıldığı ayrıntılı olarak sunmaktadır. Tasarım örüntülerinin kullanımı sayesinde çatının tasarım ve geliştirilmesi için harcanan çaba azaltılmış, kullanıcılar tarafından kolayca öğrenilme imkanı sağlanmış, geliştirme ortamlarına entegre edilebilirliği en üst seviyeye çıkartılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nesne Yönelimli, Tasarım Örüntüleri, Yazılım Çatısı, Yeniden Kullanım, Yüksek Seviyeli Mimari

ENABLING HLA COMPLIANCY BY USING DESIGN PATTERNS IN RTOOLKIT FRAMEWORK

ABSTRACT

The RToolkit is an open source, cross platform object oriented distributed simulation framework for rapid HLA federate development. It supports both HLA 1.3 and IEEE 1516 HLA standards with a unified and simplified API and enables developers to implement federates compatible with both standards without rewriting the source code. The RToolkit is RPR-FOM compatible and can be easily customized for different FOMs. Well known design patterns and object oriented programming paradigms are used during design and implementation. This paper presents which design patterns are used to solve design problems faced during implementation of the RToolkit. By using design patterns within the framework reduces the design and implementation effort, decreases learning curve of the framework and maximizes integration of the framework with development environments.

Keywords: Design Patterns, Framework, High Level Architecture, Object Oriented, Reuse.

1. GİRİŞ

Yazılım çatıları, belli bir alanda farklı ihtiyaçlara yönelik uygulamalar üretebilecek şekilde özelleştirilebilen yarı tamamlanmış uygulama iskeletleridir. Genellikle özel kullanım alanlarına özgü ve nesne yönelimli olarak geliştirilen yazılım çatıları, belirli bir tasarım mimarisini zorunlu kıldıkları için yeniden kullanılabilir tasarımlar olarak da görülürler [1]. Etkili yeniden kullanım olanakları, geliştirme sürecinde standardizasyon ve otomasyon sağladıkları için yazılım kalitesini arttıran, buna paralel olarak geliştirme maliyetlerini düşüren yazılım çatıları, Yüksek Seviyeli Mimari (YSM) uyumlu federe geliştirmek için de yaygın biçimde kullanılmaktadırlar [2,3,4].

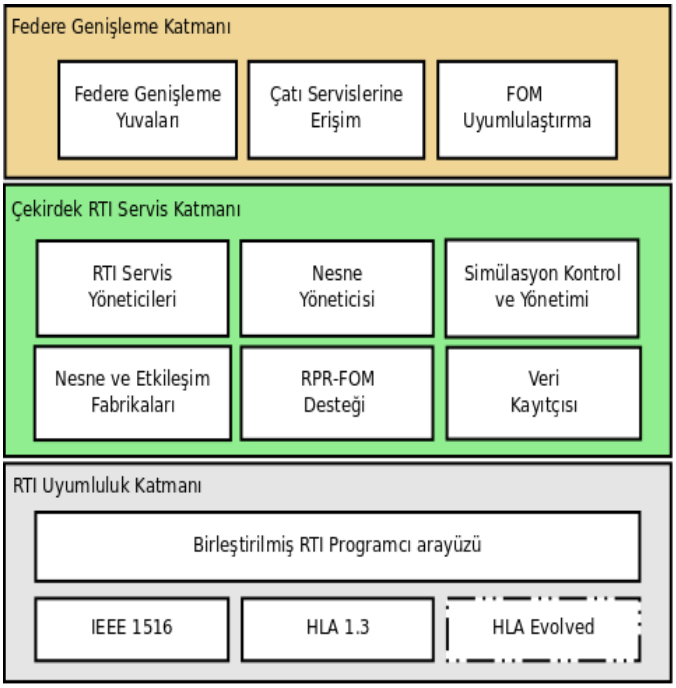
Yazılım çaltıları belirli bir programlama dilinde geliştirilmiş ve doğrudan uygulama geliştirmek için kullanılan yazılım bileşenleridir. Tasarım örüntüleri ise, yaygın olarak karşılaşılan yazılım mühendisliği problemlerine karşı önerilen tekrarlanabilir çözümlerdir. Çoğunlukla nesne yönelimli olarak tanımlalanan tasarım örüntüleri, yazılım çatılarından farklı olarak belirli bir programlama dilinden bağımsız ve daha üst seviyede kalıplardır [1,5]. Ancak yazılım çatıları ile tasarım örüntüleri arasında oldukça yakın bir ilişki bulunmaktadır. Tasarım örüntüleri yazılım çatılarının geliştirilmesini, uygulanmasını ve dokümante edilmesini desteklerler [1].

Bu makalede YSM uyumlu federe geliştirmek için kullanılan RToolkit adlı açık kaynak kodlu dağıtık simülasyon çatısının, yaygın olarak kullanılan tasarım örüntülerine dayandırılarak yapılmış olan tasarımı anlatılmaktadır. Makale şöyle düzenlenmiştir: 2. Bölüm çatıya genel bir bakış sunar. 3. Bölümde çatı katmanlarında kullanılan tasarım örüntülerini ayrıntılı olarak anlatılmaktadır, 4. Bölümde sonuç niteliğinde saptamalar verilmektedir.

2. RTOOLKIT'E GENEL BAKIŞ

RToolkit, oldukça karmaşık ve hataya açık olan YSM uyumlu federe geliştirme sürecini hızlandırmak için tasarlanmış olan, açık kaynak kodlu, farklı platformda çalışabilen, nesne yönelimli bir C++ yazılım çatısıdır. YSM federe geliştiricileri RToolkit tarafından sağlanan hatadan arındırılmış soyut tasarımı federe isterleri doğrultusunda özelleştirerek, hem geliştirme çabalarını azaltabilirler, hem de sistematik yeniden kullanım yoluyla yazılım kalitesini arttırabilirler. RToolkit, karmaşık RTI programcı arayüzünü basitleştirerek RTI ve federe ile ilgili genel görevler için standart bir işlevsellik sağlar. Ayrıca, federeye özgü simülasyon davranışlarının gerçekleştirilebilmesi için gerekli esnek ve genişleyebilir bir yazılım mimarisi sunar. RToolkit'le halihazırdaki YSM standartlarına (HLA 1.3 veya IEEE 1516) uygun federeler geliştirilebileceği gibi, varolanlan federeleri kaynak kodlarını değiştirmeksizin farklı YSM standartlarına uyumlu hale getirmek te mümkündür. RPR-FOM 1.0 versiyonunu destekleyen RToolkit kolayca farklı FOM'lara uyumlu hale getirilebilir. Katmanlı bir yapıda tasarlanmış olan RToolkit, Şekil 1'de gösterilmiş olan, biribirleri ile gevşek bağımlılığa sahip üç farklı tabakadan oluşur.

En alt katman olan RTI Uyumluluk Katmanı birbirlerinden farklı YSM standartlarına ait RTI programcı arayüzlerini basitleştirerek, tek bir programcı arayüzü haline getirir. Bu sayede çatının üst katmanları, farklı standartlardaki YSM Arayüz Tanımlamasından kaynaklanan RTI programcı arayüzü değişikliklerinden korunmuş olur.



Şekil 1. RToolkit Katmanları.

Çatının üst katmanlarındaki sınıflar farklı YSM standartlarına ait fonksiyonları çağırmak yerine bu katman tarafından tanımlanmış olan birleştirilmiş RTI programcı arayüzü fonksiyonlarını çağırırlar. RTI Uyumluluk Katmanı kullanılan YSM standardına uygun RTI elçisini ve fonksiyonlarını derleme zamanında seçer. Bu yöntemle aynı federe kodu hiç değiştirilmeden yeniden derlenerek farklı YSM standartlarına uyumlu hale getirilebilir. Ayrıca, kullanılan YSM standardına özgü veri türlerini üst katmanlara görünmez kılmak için gereken yardımcı fonksiyonlar ve tip tanımlamaları da bu katmanda yer almaktadır.

İkinci katman, federeden bağımsız Çekirdek RTI Servis Katmanıdır, ve hemen hemen bütün YSM federeleri tarafından ihtiyaç duyulan genel RTI servislerini ve yardımcı işlevleri içerir. Bu katman büyük ölçüde bir üst katman olan Federe Genişleme Katmanı tarafından kullanılır ve bu katmanı kullanılarak federe ihtiyaçlarına göre kolayca özelleştirilebilir.

RTI işlevlerinin tek elden yönetildiği yönetici sınıflar bu katmanda tanımlanmıştır. Bu yönetici sınıflar, kendi alanlarına giren bütün federe tarafından başlatılan RTI servislerini çağırmaktan ve RTI tarafından başlatılan servislere karşılık vermekten sorumludurlar. Çekirdek RTI Servis Katmanı ayrıca YSM standardı ve RTI yazılımları tarafından desteklenmeyen nesne takip ve yönetimi, veri kaydı, simülasyon kontrol ve denetimi gibi işlevleri de içerir.

Üçüncü ve en üst katman federeye özgü davranışların ve federe için kullanılan FOM'un yazılım çatısı ile tümleştirilmesi için kullanılan Federe Genişleme Katmanıdır. Bu katman federeye özgü davranışları çatıya dahil etmek için federe geliştiricilere FOM uyumluluğu ve genişleme noktaları sağlar. RToolkit bünyesinde iki farklı genişleme

yöntemi bulunur. Birinci yöntem FOM uyumluluğu için çatıya yerleştirilen ana sınıfların alt sınıflara türetilmesidir. Federe geliştiriciler federeye özgü simülasyon nesne ve etkileşim sınıflarını, bunlara denk düşen ana sınıflarından türetirler. İkinci genişleme yöntemi ise, önceden tanımlanmış bir olay meydana geldiğinde çatının çağırdığı olay temelli geri çağırma metodlarının federe tarafından çatıya kayıt edilmesidir. RToolkit bu olaylar gerçekleştiğinde federe tarafından kendisine kayıt ettirilmiş olan bu metodları çağırarak federe tarafından belirlenmiş olan işlevleri yerine getirir. RToolkit bu kapsamda güvenli olmayan konvansiyonel geri çağırma mekanizmasını kullanmaktan ziyade, tip güvenliği ve esneklik sağlayabilmek için Gözlemci (Observer) tasarım örüntüsünü kullanır.

3. RTOOLKIT'DE KULLANILAN TASARIM ÖRÜNTÜLERİ

Bir yazılım çatısı, belli sayıda sınıflardan oluşan özel bir uygulama türü için soyut bir tasarım olarak kabul edilir [6]. RToolkit'teki her katman, birbirleriyle bağlantılı C++ sınıflarıdan oluşmaktadır. RToolkit içerisinde federe geliştiricilere sağlanan servislerin gerçekleştirilebilmesi için geliştirilen bu sınıfların tasarımında yaygın tasarım örüntülerinden yararlanılmıştır. Hangi katmanda hangi tasarım örüntülerinin kullanıldığı Çizelge 1'de sunulmuştur. Bu bölüm RToolkit katmanlarında tasarım örütlerinin nasıl kullanıldığı hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir.

Çizelge 1. RToolkit Katmanlarında Kullanılan Tasarım Örüntüleri

RToolkit Katmanı	**Kullanılan Tasarım Örüntüleri**
RTI Uyumluluk Katmanı	Sarmalayıcı Vitrin (Wrapper Façade) Yegane (Singleton)
Çekirdek RTI Servis Katmanı	Yegane (Singleton) Fabrika Yöntemi (Factory Method) Gözlemci (Observer) Reaktör (Reactor)
Federe Genişleme Katmanı	Yegane (Singleton) Gözlemci (Observer)

3.1 RTI Adaptasyon Katmanı ve Sarmalayıcı Vitrin Tasarım Örüntüsü

Mevcut YSM standartlarının her ikisi de federeler arasındaki FOM nesneleri veya etkileşimleri ile ilgili veri değişiminin RTI üzerinden yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu veri değişimine ilişkin kurallar ve yordamlar ise yine standardın bir parçası olan YSM Arayüz Tanımlamasında yer almaktadır [7,8]. Ancak mevcut YSM standartlarına ait arayüz tanımlamaları birbirleri ile uyumlu olmadığı için, farklı YSM standartlarına uyan federeler birbiriyle uyumlu değildir ve birbirleri arasında iletişim kuramazlar. Birbirleri arasında iletişim kurabilmelerini sağlamak için, federe kaynak kodunun diğer YSM standardına göre değiştirilmesi ya da özelleştirilmiş bir çözüm geliştirilmesi gerekmektedir [9]. Buna paralel olarak, bir federenin tek bir arayüz tanımlaması kullanarak aynı anda her iki YSM standardına da uyumlu olabilmesi mümkün değildir. RToolkit'te RTI Uyumluluk Katmanı, farklı arayüz tanımlamalarından kaynaklanan

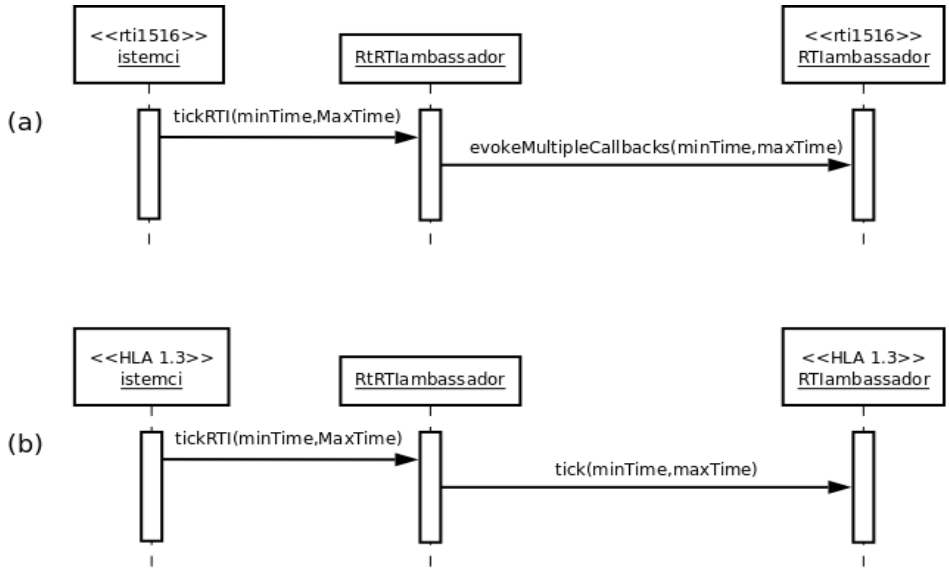
RTI programcı arayüzü bağımlılıklarını gidermek amacıyla basitleştirilmiş tek bir RTI programcı arayüzü sağlar. RToolkit bu arayüzün sağlanması için Sarmalayıcı Vitrin tasarım örüntüsünü kullanır.

Sarmalayıcı Vitrin tasarım örüntüsü genellikle düşük seviyeli fonksiyonları ve veri yapılarını daha kararlı ve kolay kullanılabilir nesne yönelimli sınıf arayüzlerine çevirmek amacıyla kullanılır [10]. Sarmalayıcı Vitrin sınıfı kullanılarak geliştirilmiş yazılım çatılarına örnek olarak, C dilinde yazılmış işletim sistemi seviyesindeki programcı arayüzlerini ve veri yapılarını daha üst seviyeli nesne yönelimli arayüzler ile değiştiren ACE, MFC ve AWT gibi yaygın kullanılan kütüphaneler verilebilir. RTI uyumluluk katmanı için de çözülmesi gereken problem buna çok yakındır. RToolkit'in daha üst katmanlarının kullanılan YSM standardından bağımsız hale getirilebilmesi için, YSM Federe Arayüz Tanımlamalarındaki farklılıklardan kaynaklanan birbirleri ile uyumlu olmayan veri yapıları ve RTI elçisi metodlarının sarmalanarak basitleştirilmiş tek bir arayüz altında toplanması gerekmektedir. RToolkit'de bu işlev `RtRTIambassador` olarak adlandırılan bir sınıf tarafından sağlanmaktadır. `RtRTIambassador` derleme zamanında seçilen YSM standardına uygun `RTIambassador` nesnesini çalışma zamanında yaratarak, üst katmanlardaki istemci sınıflar tarafından kendi verdiği arayüz üzerinden yapılan RTI çağrılarını, veri yapılarında ve metod argümanlarında gerekli dönüşümleri yaparak uygun `RTIambassador`'a iletir. `RTIambassador` bundan sonraki süreci kullanılan YSM standardında belirtilen arayüz tanımlamasına uyumlu olarak yürütür. Tüm istemciler tarafından tek bir RTI servis erişim noktası kullanımını garanti edebilmek amacıyla `RtRTIambassador` sınıfı Yegane tasarım örüntüsü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kullanımda bulunan iki standarda ait Federe Arayüz Tanımlamalarındaki farklılıklardan en tipik olanı, federe tarafından çalışma esnasında belirli aralıklarla RTI'ın işlem yapmasına olanak sağlamak için çağırılması gereken tetikleme fonksiyonudur. Bu fonksiyonun HLA 1.3 standardındaki adı `tick()` iken IEEE 1516 standardında `evokeMultipleCallbacks()` olarak adlandırılmıştır. Çalışma zamanında RToolkit'in RTI standardından bağımsız üst katmanları bu fonksiyonu federe tarafından belirlenen aralıklarla otomatik olarak çağırır. Ancak bu katmanlar standartdan bağımsız hale gelebilmek için, bu işlemi yerine getirmek amacıyla `RtRTIambassador` sınıfının `tickRTI()` metodunu çağırırlar. Bu metod Şekil-2'de verilen sekans diyagramında gösterildiği gibi, kullanılan YSM standardına uygun fonksiyonu çağırarak RTI'ın çalışma zamanında işlem yapmasına izin verir.

3.2 FOM Uyumluluğu ve Fabrika Yöntemi Tasarım Örüntüsü

RToolkit FOM uyumluluğu sağlayabilmek amacıyla istemci federelerin çatıyı özelleştirmesini sağlamak için kalıtım ve sanal metodları kullanır. Bu nedenle FOM nesne sınıflarını temsil eden C++ sınıfları `RtObjectClass` adı verilen soyut bir sınıftan türetilir. Aynı durum FOM etkileşimleri için de geçerlidir. Etkileşimler `RtInteraction` sınıfından türetilir. RToolkit'in istemci federe tarafından yayınlanan veya uzak federeler tarafından yayınlandığı keşfedilen FOM nesnelerine ve etkileşimlerine karşılık gelen sınıf örneklerini çalışma anında dinamik olarak yaratma becerisine sahip nesne ve etkileşim fabrikaları vardır [10].



Şekil 2.(a) IEEE 1516 Standardında tickRTI() metodunun kullanılması.
(b) HLA 1.3 Standardında tickRTI() metodunun kullanılması.

Bu sınıf örnekleri, istemci federe tarafından yayınlanan ya da abone olunan yerel ya da uzak simülasyon nesnelerini ya da etkileşimlerini çalışma anında temsil etmekte kullanılırlar. Bu sınıflar FOM'da belirtilen kendilerine ait nesne öz nitelikleri veya parametreleri yanında, bunların RTI üzerinden düzgün olarak iletimini sağlayacak veri kodlayıcı ve çözücü metodları da içerirler.

Gamma ve arkadaşları tarafından tanımlanmış olan Fabrika Metodu [5] temel olarak örüntünün yapısını belirtmekle beraber, RToolkit gibi genişletilebilir yazılım çatılarında kullanımı önemli dezavantajlar içermektedir. Nesne yönelimli programlama yöntemlerine uygun olmaması, soyutlama ve düşük bağımlılık prensiplerine aykırı programlama yapısı ve genişletilebilme zorlukları bu dezavantajlardan en önemli olanlarıdır [11]. Bahsedilen dezavantajların ortadan kaldırılabilmesi için fabrika sınıfları nesne yaratıcı fonksiyon işaretçileri kullanır. Nesne yaratıcı fonksiyonlar `RtObjectInstance` veya `RtInteraction` işaretçisi döndürmek zorundadır. İstemci federe yaratıcı metodları karşılık geldikleri FOM nesnesini veya etkileşimini de kullanarak RToolkit'e kaydeder. RToolkit bu sınıflar için RTI'dan birer sınıf tutamağı alarak yaratıcı metodları indeksler ve çalışma anında yayınlanan veya abone olunan FOM sınıfına veya etkileşimine uygun yaratıcı metodu kullanarak yeni nesneler yaratır.

3.3 Reaktör Tasarım Örüntüsü Kullanarak Simülasyon Kontrol ve Yönetimi

Grafik kullanıcı arayüzü ihtiyacı olmayan federeler için ana simülasyon döngüsünün oluşturulması ve kontrol edilmesi önemli problem kaynaklarından birdir. Özellikle girdi/çıktı işlemlerinin kotarılması, soket kullanımı, kullanıcı tarafından klavyeden yapılan girişlerin okunması, işletim sistemi sinyallerinin işlenmesi gibi ihtiyaçları karşılamak zorunda olan federeler oldukça karmaşık yapıya sahip olabilirler. YSM uyumlu simülatörlerde tüm bunlara ilave olarak yerel olarak simüle edilen nesnelere ilişkin güncellemelerin RTI üzerinden diğer federelere sağlanması, abone olunan uzak nesnelere ilişkin güncellemelerin alınması gibi periyodik olarak yapılması gereken RTI

bağlantılı işlevler de eklendiğinde, simülasyon kodunun yapısı çok daha karmaşık hale gelecektir. RToolkit bu tip federeler için ana simülasyon döngüsünün kontrol ve yönetimini kolaylaştırmak, simülasyon kodunun çok daha kolay ve anlaşılır olarak oluşturulmasını sağlamak amacıyla Reaktör tasarım örüntüsünü kullanır.

Reaktör tasarım örüntüsü bir veya daha fazla istemci tarafından bir uygulamaya yönlendirilen servis isteklerinin aynı anda kotarılabilmesi için kullanılır. Uygulama kapsamındaki her bir servis bir olay kotarıcısı ile temsil edilir ve bu kotarıcılar dışarıdan gelen servis isteklerini karşılamaktan sorumludurlar. Olay kotarıcıların yönetimi bir başlangıç dağıtıcısı tarafından, gelen servis isteklerinin uygun olay kotarıcılarına yönlendirilmesi ise senkron bir olay yönlendirici tarafından sağlanır [12].

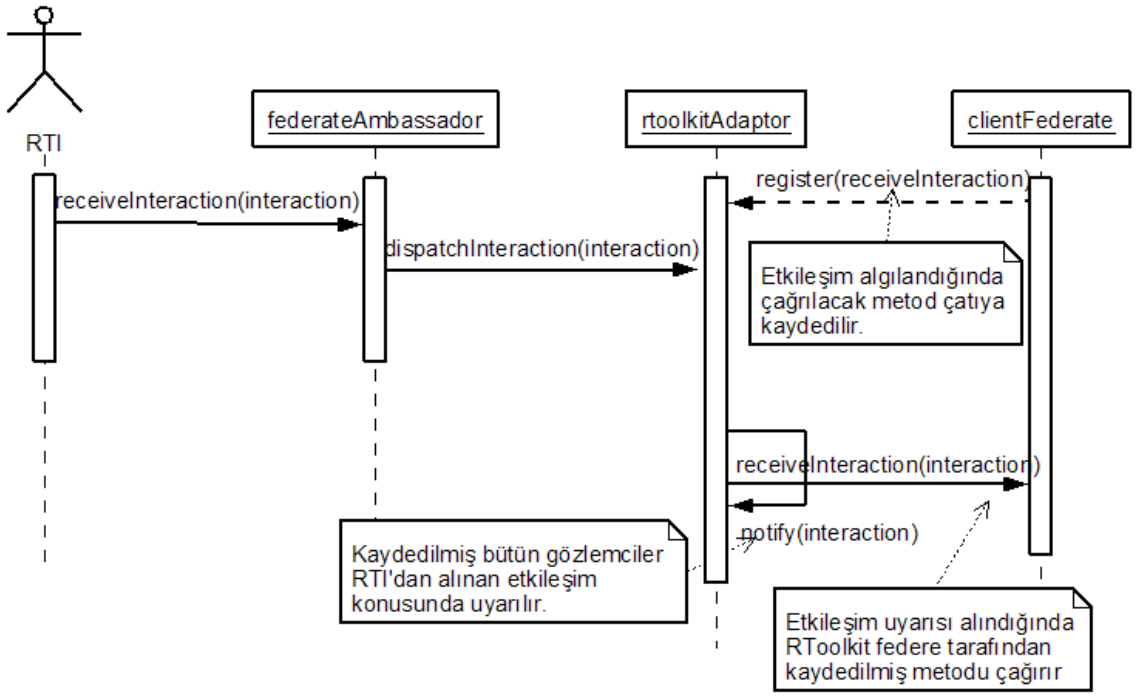
Feder geliştiriciler RToolkit tarafından sağlanan `RtCoreApplication` sınıfını kullanarak simülasyon döngüsünü kontrol edebilirler. Bu sınıf federenin çalışma zamanı parametrelerinin dinamik olarak ayarlanabilmesi için, bu parametreleri komut satırından veya XML tabanlı bir konfigürasyon dosyasından okuyabilir. Ayrıca federeler bu sınıfa kayıt ettikleri olay kotarıcıları vasıtasıyla simülasyon dahilindeki girdi/çıktı işlemlerini, zamanlayıcılara ait zaman aşımı işlemlerini ve işletim sistemi sinyallerini nesne yönelimli yöntemlerle kotarabilirler. Federelerin simülasyon döngüsünü kendi ihtiyaçlarına yönelik olarak özelleştirerek genişletmelerine imkan tanımak için Reaktör tasarım örüntüsü Gözlemci tasarım örüntüsüyle beraber kullanılmaktadır. Gözlemci tasarım örüntüsü ilerideki bölümlerde daha ayrıntılı olarak anlatılacaktır. `RtCoreApplication` sınıfı Reaktör tasarım örüntüsünü gerçeklemek için ACE kütüphanesi tarafından sağlanan ve düşük seviyeli işletim sistemi olay yönlendirme mekanizmalarını nesne yönelimli üst seviyeli taşınabilir bir çatıda birleştiren `ACE_Reactor` yazılım çatısını kullanır [13,14].

3.4 Gözlemci Tasarım Örüntüsü Kullanarak Çatının Özelleştirilmesi

Yazılım çatılarının sınıf kütüphaneleri gibi diğer tekrar kullanım tekniklerinden en önemli farkı, çalışma zamanında ana program akışını kendi kontrolüne almalarıdır. Bu durum kontrolün el değiştirmesi olarak adlandırılır. Kontrolün el değiştirmesinden sonra uygulamaya özel işlevlerin yerine getirilebilmesi için uygulama geliştiriciler çatı tarafından tanımlanmış olan genişleme yuvalarını kullanırlar. Genişleme yuvaları yazılım çatısı tarafından program akışı esnasında uygun zamanlarda çağırılarak uygulamaya özgü işlevler yerine getirilir.

RToolkit içerisinde federe geliştiricilerin federeye özel işlevleri yerine getirebilmeleri için tanımlanan genişleme yuvaları Gözlemci tasarım örüntüsü kullanılarak tasarlanmıştır [5]. Özellikle RTI tarafından çağrılan servislerin federe tarafından özelleştirilebilmesi için kullanılan gözlemci tasarım örüntüsü, libsigc++ kütüphanesi tarafından gerçekleştirilmiş olan sinyal ve slot kavramları kullanılarak geliştirilmiştir [15,16].

RTI üzerinden alınan bir etkileşim sonrasında federe tarafından istenen davranışın RToolkit'e entegre edilmesi tipik bir genişleme ihtiyacı örneği olarak ele alınabilir. Şekil 3'te gösterildiği gibi çatı federe elçisi vasıtasıyla RTI'dan etkileşimi alır. Federe elçisi daha sonra aldığı etkileşime uygun C++ sınıf örneğini yaratır ve etkileşimle beraber gelen parametre değerlerinin bu örnek tarafından saklanmasını sağlar.



Şekil 3. Gözlemci Tasarım Örüntüsü Kullanılarak Çatının Genişletilmesi.

Federe elçisi son adım olarak federenin üst katmanları üzerinden kendisini kaydettirmiş olan gözlemcilere alınan etkileşim ile ilgili bir uyarı yayınlar. Çatının federe ihtiyaçları doğrultusunda genişletilmesi işte tam bu noktada gerçekleşir. Çünkü bu uyarı neticesinde çağrılan kod federe geliştirici tarafından RToolkit'e kaydedilmiş olan federeye özgü davranıştır.

4. SONUÇ

Kaynak kodu seviyesinde tekrar kullanılabilirliği en üst seviyede sağlayabilen nesne yönelimli yazılım çatıları, yazılımların geliştirme maliyetlerini düşürürken kalitesini de arttırırlar. RToolkit, bu önemli kazanımlardan yola çıkarak, kaynak kod içerisinde değişiklik yapmadan halen kullanımda olan YSM standartlarına uygun federe geliştirmek için tasarlanmış olan bir yazılım çatısıdır.

Yazılım çatıları sahip oldukları modülerlik, tekrar kullanılabilirlik ve genişleyebilirlik özelliklerinden dolayı geliştiricilere yukarıda bahsedilen avantajları sunarken, yazılım çatılarının geliştirilmesi esnasında harcanan çabanın fazla olması, öğrenme ve uygulamada yaşanan zorluklar, mevcut ortama ve diğer uygulama çatılarına uyumsuzluk gibi bir dizi dezavantajı da beraberinde getirebilirler [1]. Bir yazılım çatısı, yaygın yazılım mühendisliği problemleri için tekrar uygulanabilir çözümler olarak tanımlanabilen Tasarım Örüntüleri kullanılarak tasarlanıp gerçekleştirildiğinde, bu tip dezavantajlar en az seviyeye indirilebilir. RToolkit içerisinde daha önceki bölümlerde ayrıntılarıyla sunulmuş olan yaygın tasarım örüntülerinin kullanımı ile:

(1) Tasarım ve geliştirme esnasında karşılaşılan problemler, yaygın ve kabul görmüş çözümler ile giderilmiş, bu sayede tasarım ve geliştirme için harcanan çaba azaltılmıştır,

(2) Öğrenim eğrisi düzleştirilerek, özellikle tasarım örüntülerine hakim yazılım geliştiriciler tarafından çatının kolayca öğrenilme imkanı sağlanmıştır,

(3) Diğer YSM uyumlu federe geliştirme ortamlarına entegrasyonu için geliştiriciler tarafından harcanması gereken çaba en alt seviyeye indirilmiştir.

Ancak gözden kaçırılmaması gereken bir husus da, tasarım örüntülerinin yazılım çatılarına göre daha üst seviyede ve herhangi bir yazılım geliştirme dilinden bağımsız olarak tanımlanmış soyut çözümler olduklarıdır. Oysa bir yazılım çatısı, çoğunlukla nesne yönelimli bir programla dili ile yazılmış tekrar kullanılabilir bir yazılım parçasıdır. Bu yüzden yazılım çatılarının oluşturulmasında kullanılan tasarım örüntülerinin, yazılım çatısının geliştirildiği programlama dilinin özelliklerine ve dilin tanıdığı imkanlara uygun olarak kodlanması gerekmektedir. Tasarım örüntülerinin kodlanması esnasında oluşacak yetersizlikler, çalışma anında performans sorunları yaşanmasına veya kötü kaynak yönetimine sebebiyet verebilir. RToolkit içerisinde bu tip problemlerin engellenmesi için tasarım örüntülerinin çoğu sıfırdan geliştirilmemiş, uzun yıllardır farklı uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılan, pek çok geliştirici tarafından geliştirilen, açık kaynak kodlu ACE ve libsigc++ yazılım çatıları içinde gerçekleştirilmiş olan tasarım örüntüleri kullanılmıştır. RToolkit de açık kaynak kodlu bir yazılımdır ve GNU Kısıtlı Genel Kamu Lisansı (LGPL) ile lisanslanmıştır [17]. RToolkit http://rtoolkit.sourceforge.net internet adresinden temin edilebilir.

KAYNAKÇA

[1] Mohamed E. Fayad, Ralph E. Johnson, Douglas C. Schmidt: “Building Application Frameworks: Object-Oriented Foundations of Framework Design”, John Wiley & Sons, September 13, 1999.

[2] Kevin Cox: “A Framework-based Approach to HLA Federate Development”, Proceedings of 1998 Fall Simulation Interoperability Workshop.

[3] Hakan Savaşan: “Design and Implementation of a Fine-Grained and FOM Dependent RTI Framework for Rapid Federate Development” , Proceedings of 2007 Spring Simulation Interoperability Workshop.

[4] Hakan Savaşan: “The RToolkit: An Open Source Object Oriented Distributed Simulation Framework”, Proceedings of 2008 Fall Simulation Interoperability Workshop.

[5] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and J. Vlissides: “Design Patterns: elements of Reusable Object-Oriented Software”, Reading, MA, Addison-Wesley, 1995.

[6] Ralph E. Johnson, Brian Foote: “Designing Reusable Classes”, Journal of Object-Oriented Programming, June/July 1988.

[7] U.S. Department of Defense, High Level Architecture Interface Specification Version 1.3, Draft 11, 20 April 1998.

[8] IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Federate Interface Specification, IEEE 1516.1-2000, 9 March 2001.

[9] Björn Möller, Lennart Olsson: "Practical Experiences from HLA 1.3 to HLA IEEE 1516 Interoperability", Proceedings of 2004 Fall Simulation Interoperability Workshop.

[10] Douglas C. Schmidt: "Wrapper Facade: A Structural Pattern for Encapsulating Functions within Classes", C++ Report, SIGS, Vol. 11, No 2, February, 1999.

[11] Andrei Alexandrescu: "Modern C++ Design: Generic Programming and Design Patterns Applied", Reading, MA, Addison-Wesley, 2001.

[12] Douglas C. Schmidt: "Reactor: An Object Behavioral Pattern for Demultiplexing and Dispatching Handles for Synchronous Events", Proceedings of the 1st Pattern Languages of Programs Conference, August 1994.

[13] Douglas C. Schmidt: "The Reactor: An Object-Oriented Interface for Event-Driven UNIX I/O Multiplexing (Part 1 of 2)", C++ Report, February 1993.

[14] Douglas C. Schmidt: "The Object-Oriented Design and Implementation of the Reactor: A C++ Wrapper for UNIX I/O Multiplexing (Part 2 of 2)", C++ Report, September/October 1993.

[15] libsigc++ -- Callback Framework for C++, http://libsigc.sourceforge.net.

[16] Signals and Slots Vikipedi girdisi, http://en.wikipedia.org/wiki/Signals_and_slots.

[17] GNU Lesser General Public License, http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html.

EK BİLGİ

Hakan SAVAŞAN
Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Araştırma Merkezi Komutanlığı
Ankara Caddesi No:256 Pendik/İstanbul
Tel: 0 216 493 82 83 Dahili: 2122
Fax: 0 216 493 82 87
Eposta: hsavasan@armerk.tsk.tr

BİLGİ SİSTEMLERİ MODELLEMESİ
- Gelişmeler ve Yönelişler -

Prof. Dr. Ziya Aktaş

Başkent Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği BölümüBaşkanı, zaktas@baskent.edu.tr

ÖZ

Yüzyıllar öncesinde bilginin bir güç , bir kuvvet olduğu söylenmişti. Ama ancak iki binli yıllara gelirken kısaca bilgi dediğimiz şeyin aslında kişiye, zamana ve koşullara bağlı olarak veri-haber-bilgi (data-information-knowledge) üçlüsünden birisinin olabildiğini, tarım ve sanayi çağlarının ardından gelmekte olan çağın bilgi çağı diye adlandırıldığını görüyoruz. Sanayi ötesi toplumlara daha şimdiden bilgi toplumu denilmesi de boşuna değil. Zira bilgi teknolojileri veya bilişim araçları şimdilerde toplumun her kesimini etkiler, yeniden yapılandırır oldu.

Bir kuruluşun bilgi sistemi o kuruluşun her düzeyindeki çalışanlarının ihtiyaç duydukları bilgiyi gerekli zamanda, gerekli doğrulukta ve gerekli miktarda sağlayabilecek yazılım, donanım, ve insan bileşenlerinin oluşturduğu bir sistem olarak tanımlanabilir. Böyle bir sistemin kurulup işler hale gelmesi için atılması gereken adımlar da mühendislik disiplinine uygun adımlardır. Bu adımların olmazsa olmazları arasında da modeller ve modelleme süreçleri yer almaktadır.

Bu bildiride kısaca bilgi, bilgi sistemi gibi temel kavramlara göz attıktan sonra yazılım geliştirmede kullanılagelinen ve sırası ile klasik yaklaşım, yapısal yaklaşım, nesnel yaklaşım gibi adlarla bilinen, yaklaşımların özünü aktarıp, her birinde kullandığımız ve kullanmakta olduğumuz modelleme araçları üzerinde kısaca durulacaktır. Güncel olan Modele Dayalı Geliştirme (MDD, Model Driven Development) yaklaşımı ve RUP/UML gibi modelleme araçlarının ardından SOA (Service Oriented Architecture) veya Servis Odaklı Mimari konusuna kısaca değinilecektir. Makalede iki model örneğine de yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgi, bilgi sistemi, haber-enformasyon, klasik yaklaşım, model, modelleme, nesnel yaklaşım, servis odaklı yaklaşım, veri, yapısal yaklaşım, yazılım, yazılım mühendisliği.

INFORMATION SYSTEMS MODELLING
- Developments and Trends -

ABSTRACT

For centuries it has been said that information (knowledge) is power. Yet, only towards the years of two thousands we just have started to understand the distinction between the terms data, information and knowledge . We also note that any of these triads depends on the time, person, and conditions. The new era has already been named as 'knowledge age' after agricultural ages and industrial ages. Post industrial societies are now being named as information society or knowledge society. Because, information and communications Technologies have been affecting and reshaping all dimensions of all societies.

Information system of an organization may be defined as a system that provides information / knowledge at the right time, at right volume and at right accuracy to the right person. Such a system consists of software, hardware and human components. In developing such a system an engineering approach has to be followed. Thus, models and modelling have become the 'must' steps of such an approach.

In this paper, some terms such as information, information system are reviewed first. After that various approaches that we have been following in the development of information systems such as classical approach, structured approach and object oriented approach will be summarized noting the relevant modelling tools. Later , Model Driven Development (MDD) approach together with RUP(Rational Unified Process) and UML (Unified Modelling Language) will be summarized next. A new trend named Service Oriented Architecture , (SOA) is also briefly summarized at the end.

Two model examples are given in the paper.

Keywords: Classical approach, data, information, knowledge, model, modelling, object-oriented approach, service oriented approach, software, software engineering.

1. GİRİŞ

Bu bölümde bilgi ve bilgi sistemleri konuları ile model ve modelleme konuları iki ayrı alt bölüm halinde sunulacaktır.

1.1. Bilgi ve Bilgi Sistemi

Yüzyıllar öncesinden beri bilginin bir güç, bir kuvvet olduğu söylenegelmiştir. Ama, ancak iki binli yıllara gelirken iki kişi veya kurum arasında iletilen ve adına kısaca bilgi dediğimiz bir mesajın aslında kişiye, zamana, ortama ve koşullara bağlı olarak (veri-haber-bilgi) (data-information-knowledge) olabildiğini biliyoruz. [Örneğin, 1.] Tarım ve sanayi çağlarının arkasından gelen ve bir zamanlar sanayi-ötesi dediğimiz çağın daha şimdiden bilgi çağı olarak adlandırıldığını ve bu çağdaki toplumlara da bilgi toplumu denilmekte olduğunu biliyoruz. Bilgi ve bilgi teknolojileri her toplumun her kesimini yakından ilgilendirir ve etkiler oldu. Bütün bu gelişmelerde bilginin iletilmesinde ve bilginin gömülü olduğu ortamı anlayıp bilgiyi bulmak, derlemek,

paylaşmak ve kullanmak gibi temel süreçlerde olmazsa olmaz olan yazılımı göz ardı edemeyiz.

Bir kuruluştaki bilgi sistemini o kuruluştaki her düzey çalışanın ihtiyaç duydukları bilgiyi onlara gereken zamanda, gereken doğrulukta ve gereken miktarda sağlayabilen yazılım, donanım ve insan bileşenlerinin oluşturduğu bir sisteme diyoruz. Böyle bir sistemin ve onun özünü oluşturan yazılımın geliştirilip uygulanmaya konulması için izlenen, izlenmesi gereken adımlar da mühendislik disiplinine uygun adımlardır. Görünüşte farklılıklar da olsa yazılım geliştirilirken de diğer klasik mühendislik disiplinlerinde olduğu gibi (planlama-analiz-tasarım-gerçekleştirim-bakım ve onarım) adımlarını izlediğimiz bir gerçek. Daha da önemlisi, tüm diğer mühendislik uygulamalarında olduğu gibi model kullandığımız, modelleme yaptığımız da doğru.

1.2. Model ve Modelleme

Yazılım geliştirmenin özellikle analiz-tasarım aşamalarında, bir sonraki aşama olan gerçekleştirim aşamasında, üretilecek kodun yapmasını beklediğimiz, istediğimiz şeyleri daha önce bir model üstünde görüp tartışmaya ve kararlaştırmaya önem vermekteyiz. Modelin basit ve kolay olması gerek ekip elemanlarının kendi aralarında gerekse de yazılımcı ile kullanıcı-müşteri arasındaki iletişimin sağlanıp, görüş birliği oluşturulmasında çok yararlı olduğunu biliyoruz.

Genelde mühendislik uygulamalarında kullanmakta olduğumuz modeller ikonik-analog-matematiksel olarak üçe ayrılır. İkonik modeli gerçek bir sistemin farklı ölçekteki somut bir kopyası olarak iki veya üç boyutlu olarak kullanırız. Analog modeli ise gerçek bir sistemin sembolik bir ifadesi olarak tanımlayabiliriz. Bu modeller çoğu kez iki boyutlu çizelgeler, şekiller ve diyagramlar olarak kullanılırlar. Bu nedenle bu tür modellere çoğu kez Grafik Model de denilmektedir. Daha soyut modeller için ise matematik kullanıyoruz. Bu tür modellerle problem çözümü için sayısal ve istatiksel teknikler kullanırız. Özellikle yazılım geliştirmede kullandığımız modelleri de metinsel (descriptive)-grafik-matematiksel olmak üzere üçe ayırabiliriz.

2. BİLGİ SİSTEMİ GELİŞTİRMEDE MODEL ve MODELLEME

Aşağıdaki alt bölümlerde yazılım geliştirmede geçirdiğimiz geliştirme evrelerini, yani klasik, yapısal ve nesnel yaklaşımları, modelleme açısından özetleyerek günümüzde kullanılmakta olan Modele Dayalı Geliştirme (Model Driven Development, MDD), RUP (Rational Unified Proces) ve UML (Unified Modeling Language) konuları kısaca özetlenecektir.

2.1 Klasik Yaklaşım

Yazılım geliştirmede yetmiş ve seksenli yıllarda izlenen temel yaklaşım olan klasik yaklaşımda kullanılan Çağlayan (Water-Fall) adlı yaklaşımın özü (planlama-analiz-tasarım-gerçekleştirim-bakım ve onarım) aşamalarının sıra ile kullanılmasıdır. O dönemde kullanılan program akış diyagramlarının insan yerine bilgisayarın işlem adımlarının modellediğinin daha sonraları farkına varıldı. Bu nedenle yeni modelleme

arayışları başladı. Başarılı bir uygulama için Çağlayan modelinin adımlarının gerekli olduğu ama yeterli olmadığı görülünce seksenli yıllarda Yapısal Yaklaşım izlenmeye başlandı.

2.2 Yapısal Yaklaşım

Seksenli yıllarla birlikte yaygın olarak kullanılmaya başlanan yapısal programlama dilleri ardından yeni modelleme araçları da kullanılmaya başlandı. Geliştirilmesi gereken sistemlerin yapılarını ve modüllerini tanımlamaya ve sistemi parçalar halinde tanımlayıp geliştirmeye özen gösteren bir yaklaşımdı bu. HIPO, Jackson,Warnier-Orr, SADT ve Yapısal Analiz-Tasarım (Yourdon) gibi modeller bu dönemde kullanılır oldu. Bu isimlerle bilinen yaklaşımlar tanınmaya başlandı. [1] Bu dönemde kullanılmaya başlanan ve hala kullanılır olan bir modelleme tekniği de Veri Akış Diyagramı (Data Flow Diagram) adını taşımaktadır. Bir sistemi oluşturan süreçlerin ve alt süreçlerinin modellenmesini amaçlayan Veri Akış Diyagramı adlı bu modelde kare, ucu açık dikdörtgen ve daire gibi basit temel şekiller kullanılır. Bu modelin en önemli yanı sadece yazılım için değil hemen hemen herhangi bir sistem için kullanılabilir olmasıdır. Bir örnek olarak Ankara için önerilen bir su yönetimi modeli makalenin sonunda Şekil 1. olarak verilmiştir.[2]

2.3 Nesnel Yaklaşım

Klasik ve Yapısal Yaklaşımların en önemli eksiklikleri geliştirme sürecinde tekrar, yani iterasyon olanağı olmamasıydı. Spiral denilen bir yöntem ile hem iterasyon hem de risk kavramı geliştirme sürecinde yer buldu. [3,4]. Ancak başarılı bir yazılım geliştirme için bu da yeterli olmadı. En önemli özellik olan tekrar kullanılabilirlik (reusability) gerkli oldu. Bu amaçla doksanlı yıllardan itibaren çeşitli isimler altında nesnel yaklaşım yöntemleri önerilip kullanılmaya başlandı. Bütün bu çalışmalar ve gelişmeler ABD'de hızla sürerken Avrupa Birliğinde de yazılım geliştirmede ortak bir yaklaşımın kullanımı amacı ile yeni bir yaklaşımın geliştirilmesi için özel bir proje başlatıldı: Euro Method. Proje başarı ile sürerken ABD'de ikibinli yıllara doğru RUP ve UML adlı yöntemler ve modeller piyasaya çıktı ve önce ABD sonra da tüm dünyada kullanılmaya başlandı.

3. RUP ve UML

Doksanlı yıllardaki nesnel yaklaşım yöntemlerinin en başarılı örnekleri Booch, Jacobson ve Rumbough tarafından geliştirildi. O yıllardaki fazla sayıdaki bu tür yaklaşımların bir kargaşa ortamı yaratması üzerine bu üçlü Rational adlı ve birkaç yıl önce IBM tarafından satın alınan şirkette bilgi ve deneyimlerini birleştirerek adına RUP (Rational Unified Proces) denilen bir yöntem ve adına UML (Unified Modeling Language) denilen bir modelleme tekniği geliştirdiler. RUP ve UML günümüzde de-Fakto dediğimiz, resmi olmayan bir standard konumuna ulaştı. RUP yönteminin özü adına (Inception, Elaboration, Construction, Transition) denilen dört aşama boyunca iterasyona da tabi tutarak yazılımın aşama aşama geliştirilmesidir. Bu aşamalarda bir dizi işlem adımı (Business Modeling, Requirements, Analysis & Design, Implementation, Test, Deployment, Configuration & Change Management, Project

Management, Environment) UML diyagramları kullanılarak modellenir. Kullanılabilen UML diyagramları ise şöyle sıralanabilirler: (class diagram , object diagram , use-case diagram , sequence diagram , collaboration diagram , statechart diagram , activity diagram , component diagram , and deployment diagram). [6]

RUP yönteminin pratik açıdan en önemli yanı çok karmaşık problem için uygulanabilmesi yanında çeşitli ara adımlarının kısaltılarak özellikle küçük ve kısa zamanda üretilmesi öngörülen yazılım projeleri için de adına çevik (agile) denilen bir grup yöntem gibi de kullanılabilir olmasıdır.

Günlük hayatımızda sık sık kullanmakta olduğumuz ATM makinaları ile ilgili basit bir örnek de Kullanım Senaryosu Diyagramı (Use Case Diagram) olarak makalenin sonunda Şekil 2. içinde sunulmuştur.[6] Bu tür modeller kullanılarak yazılım geliştirme yaklaşımına Model Destekli Mimari (Model Driven Architecture, MDA) veya Model Destekli Geliştirme (Model Driven Development, MDD) denilmektedir.[7]

4. YÖNELİŞLER

İnternet kullanımının son yıllarda hızla gelişmesi ve artması yazılım uygulamalarında web teknolojisinin kullanımını kaçınılmaz kılmıştır. Bu alandaki dikkat çeken bir yöntem anlamsal ağ (Semantic web) adı ile bilinmektedir.

Son birkaç yıldır yazılım geliştirmede dikkat çeken bir yöntem de SOA (Service Oriented Architecture), Servis Yönelik Mimari adını taşıyan yöntemdir. SOA için henüz tam ve kesin bir tanım verilememkle birlikte temel motivasyonu Darwinci bir yaklaşımla " Canlıların en güçlü ve akıllı olanları değil, değişime en iyi uyum sağlayanlar soylarını başarı ile sürdürebilmişlerdir" görüşü olmuştur. [8] SOA bir sistemin ölçekli büyüyebilmesini ve büyürken esnek kalmasını sağlayabilen ve en önemlisi, bilişim ile iş dünyası (business) arasındaki boşluğa köprü oluşturabilen ve bu amaçla kullanılabilen bir yaklaşımdır. [8], [9].

Model Destekli Yaklaşım (MDA) olarak bilinen yöntemin bütünleşik bir iş mimarisi ve yönetişim yapısı sağlayarak geliştirilecek yazılımın iş ihtiyaçlarının çabuk ve uygun olarak karşılanabilmesi için SOA yaklaşımına destek sağlayabileceği konusunda da bir görüş bildirilmiştir. [7]

KAYNAKÇA

[1] Aktaş Z., (1987), "Structured Analysis and Desgn of Information Systems", Prentice Hall, USA.

[2] Aktaş Z., (2008), "Su Yönetimi İçin Bir Model Önerisi: SBS ve ANKARA", 5. Dünya Su Forumu Bölgesel Hazırlık Süreci Türkiye Bölgesel Su Toplantısı , 15- 16 Mayıs 2008, Ankara, Bildiriler Kitabı ss. 28-32.

[3] Pressman, R., (2006), "Software Engineering", 6 th Ed., McGraw Hill.

[4] Sommerville I., (2007), "Software Engineering", 8th Ed., Pearson.

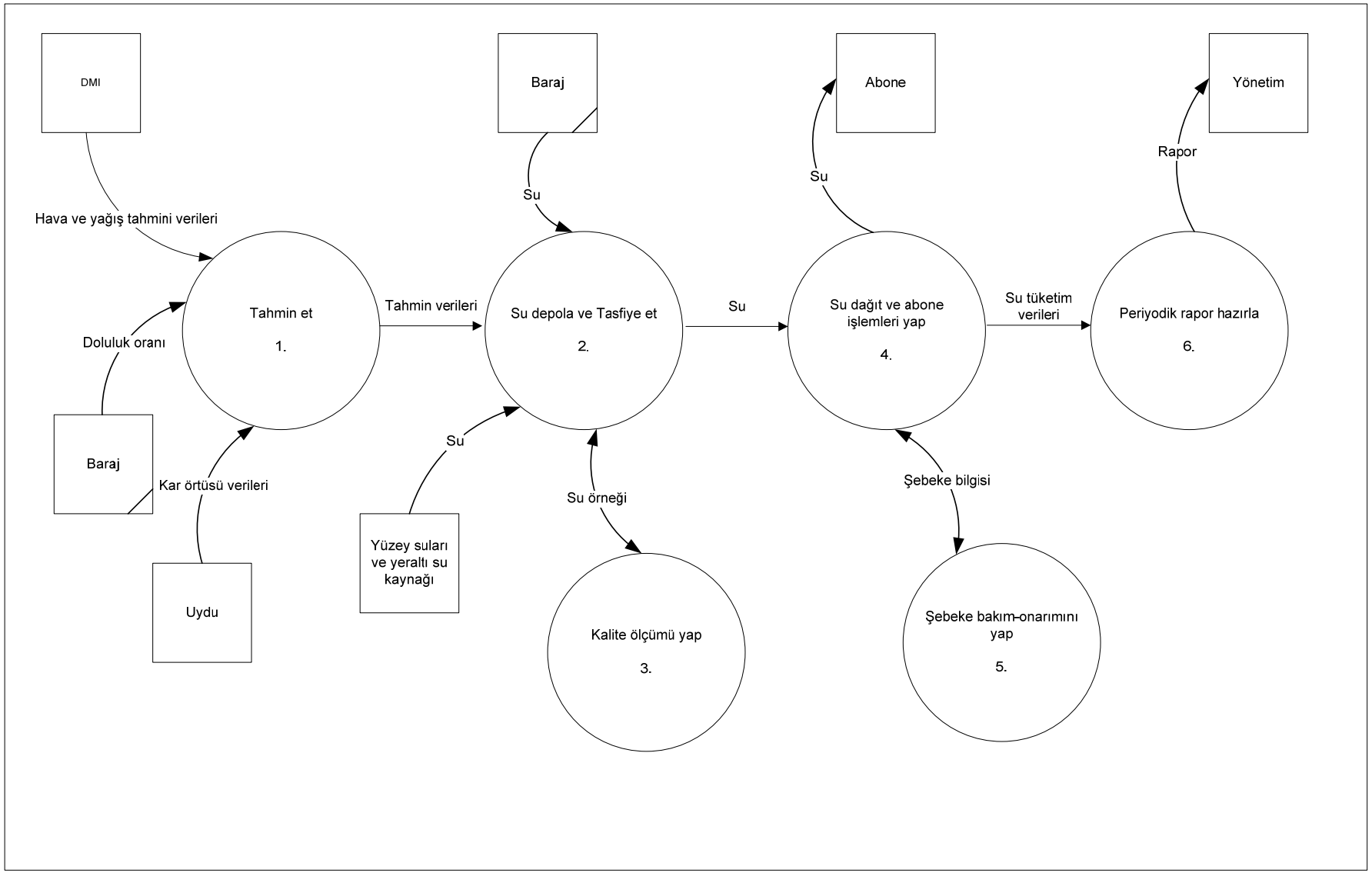
[5] Çetin, S., (1998), "An Information System Acquisition Management Model for Turkey", METU, Ph.D. Thesis, Dept. of Computer Eng.

[6] Boggs&Boggs , (2002), *"UML Programming"*, SYBEX, USA.

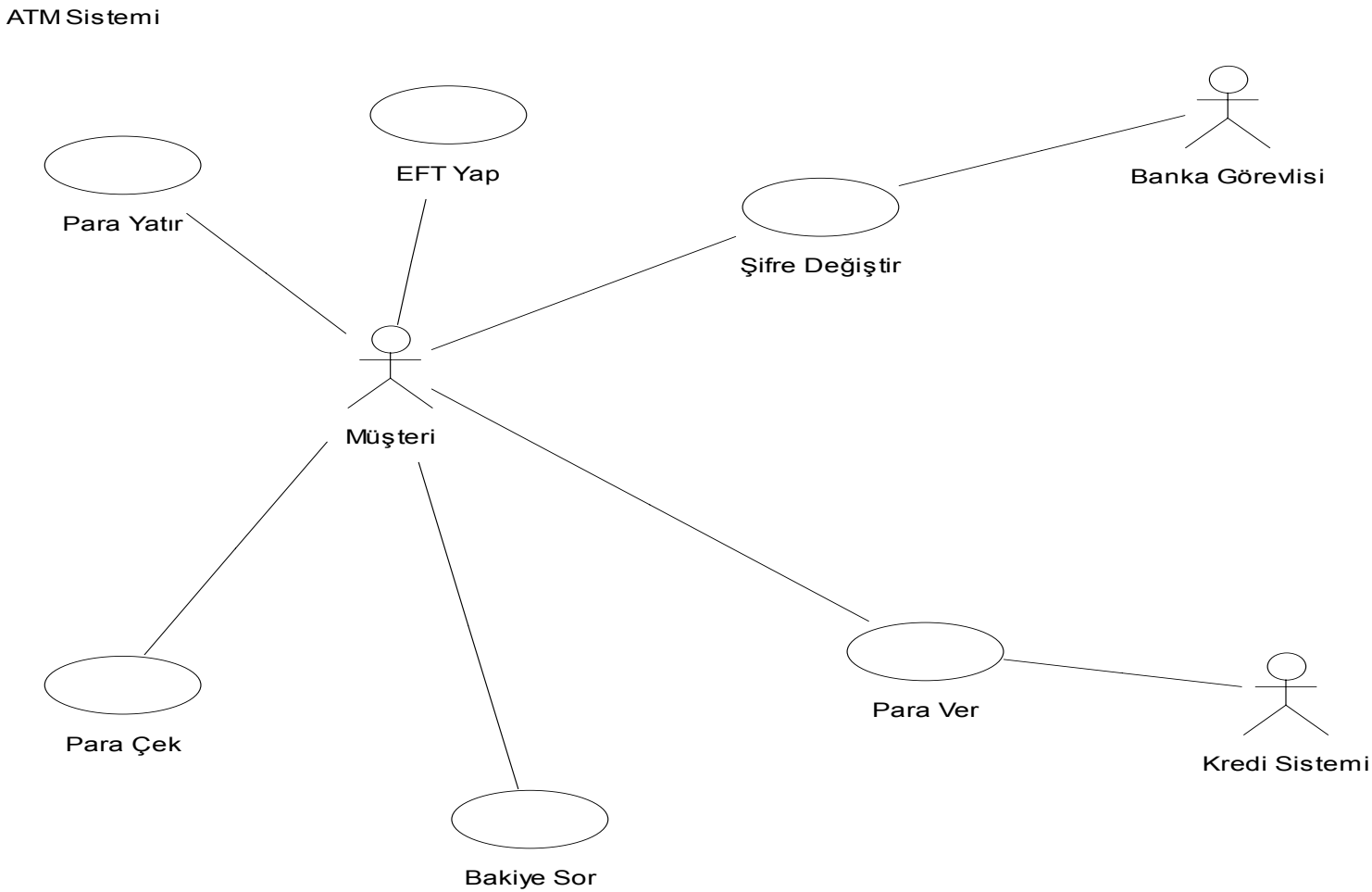
[7] Brown, A., (2008), "MDA Redux: Practical Realization of Model Driven Architecture", IBM Software Group, USA.

[8] Josuttis, N.M., (2007),"SOA in Practice", O'Reilly.

[9] Pulier, E. and H. Taylor, (2006),"Understanding Enterprise SOA", Manning



Şekil 1. Su Bilgi Sistemi (SBS) Genel Bakış Diyagramı



Şekil 2. Bir Kullanım Senaryosu (Use Case) Diyagram Örneği

EK BİLGİ

Prof. Dr. Ziya Aktaş
Başkent Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Başkanı
Bağlıca Kampusu - ANKARA
zaktas@baskent.edu.tr
Tel: 234 10 10 / 2152
Faks: 234 10 51

HELİKOPTERLERDE ROTOR-GÖVDE-HARİCİ YÜK ETKİLEŞİMLERİNİN AERODİNAMİK ANALİZİ

Oguz Uzol [(a)], Eser Kubalı [(b)], Nilay Sezer-Uzol [(c)], İlkay Yavrucuk [(d)]

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

[(b)] AEROTIM Mühendislik Yazılım ve Danışmanlık Ltd. Şti., ODTÜ-KOSGEB Tekmer No:219, ODTÜ, Ankara, kubali@aerotim.com.tr

[(c)] TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, nesezeruzol@etu.edu.tr

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

ÖZ

Bu bildiride, helikopterlerde oluşan rotor-gövde-harici yük aerodinamik etkileşim problemleri yazarlar tarafından geliştirilen *AeroSIM+* yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Öncelikle doğrulama amaçlı yapılan sadece rotor ve rotor-gövde etkileşim test durumları hesaplama sonuçları sunulmuş, daha sonra da düşük ilerleme oranlı (advance ratio) bir uçuşta harici yük üzerindeki etkiler gösterilmiştir. Düşük ilerleme oranlı hareket esas olarak askı durumuna çok yakın olduğu için rotor öz bölgesinin önemli bir kısmı gövdeye ve harici yüke çarparak basınç dağılımlarında oldukça zamana bağlı ve üniform olmayan etkiler meydana getirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Helikopter, Helikopter aerodinamiği, Rotor-gövde etkileşimi, Panel metod, Harici yük

ABSTRACT

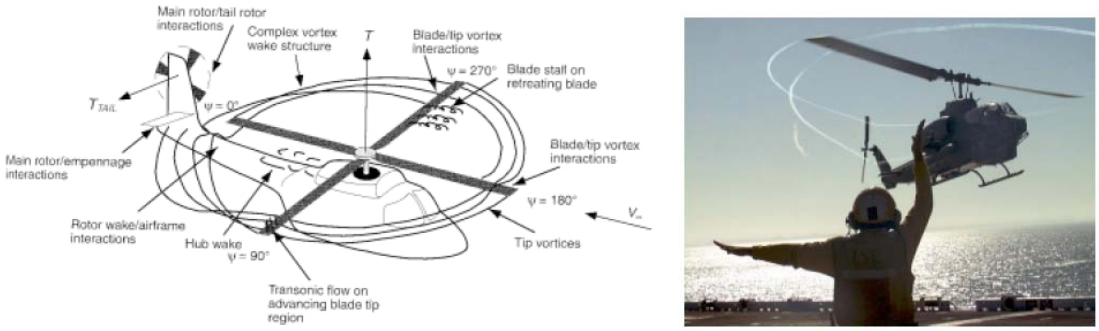
This paper presents the numerical investigation of rotor-fuselage-external store aerodynamic interactions for helicopters using the *AeroSIM+* code developed by the authors. First the results for an isolated rotor and a rotor-body interaction test case, then the results for the effects on an external store in a low advance ratio forward flight are presented. Because the low advance ratio case is very close to the case of hover, a major part of the rotor wake impinges upon the fuselage and on the external store generating unsteady and highly non-uniform pressure distributions on these bodies.

Keywords: Helicopter, Helicopter aerodynamics, Rotor-body interaction, Panel method, External store.

1. GİRİŞ

Helikopter rotor sistemlerinin etrafındaki akış alanları oldukça üç boyutlu, zamana göre değişen ve girdaplı akış alanlarıdır. Rotor palleri etrafındaki akışların, özellikle iz bölgelerinin doğru modellenebilmesi, rotor-gövde ve eğer mevcutsa rotor-gövde-harici yük aerodinamik etkileşimlerinin öngörülebilmesi açısından oldukça önemlidir.

Askı durumunda rotordan aşağıya doğru daralan simetrik iz bölgesi varken [1], ileri-uçuş durumunda iz bölgesi girdapları hem aşağıya hem de ileri-uçuş hızının etkisi ile geriye doğru taşınmakta ve daha karmaşık ve simetrik olmayan bir şekil almaktadır [2, 3]. Ayrıca, helikopterler için ana rotor / gövde / kuyruk rotoru / pala aerodinamik etkileşimleri helikopter etrafında oldukça karmaşık ve tahmini zor akışlara sebep olmaktadır. Bu etkileşimleri özetleyen bir çizim Şekil 1'de görülmektedir. Bu akışların yer veya gemi üzerindeki karmaşık akış alanları ile etkileşim simülasyonları da zor problemlerdendir [4].



Şekil 1. (a) İleri uçuş yapan bir helikopter üzerindeki etkileşimler [2] (b) Gemiye iniş yapan bir AH-1W helikopterinin görüntülenen uç girdapları [5]

Bilgisayar teknolojisi, sayısal yöntemler ve türbülans modellerindeki son gelişmeler karmaşık akışların sayısal hesaplamalar ile tahminlerini mümkün kılmaya başlamıştır ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonlarının tüm bilim ve mühendislik alanlarındaki rolü artan bir öneme sahiptir. Navier-Stokes denklemlerinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği metodları ile çözümü birinci-ilkeler tabanlı hesaplamalar olarak önemli olsa da henüz mühendislik tasarım aşamalarında ve gerçek zamanlı simülasyonlarda pahalı olduğu için kullanılamamaktadır. Diğer bir yandan bilgisayarların hızının artması ve ilerleyen yöntemler serbest-iz-bölgesi modellemelerinin hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlayarak panel metodlarının mühendislik tasarım aşamalarında daha yaygın kullanılmasına izin vermektedir [6].

Bu bildiride, helikopterlerde oluşan rotor-gövde-harici yük aerodinamik etkileşim problemleri yazarlar tarafından geliştirilen *AeroSIM+* yazılımı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Öncelikle doğrulama amaçlı yapılan sadece rotor ve rotor-gövde etkileşim test durumları hesaplama sonuçları sunulacak, daha sonra da düşük ilerleme oranlı (advance ratio) bir uçuşta harici yük üzerindeki etkiler sunulacaktır.

2. YÖNTEM

Geliştirilen yeni aerodinamik analiz aracı *AeroSIM+*'da serbest iz bölgesi modellemesi ve zamana bağlı panel metodu çözümleri kullanılır. Bu amaçla, akış çözümü istenilen alan içerisindeki rotor palaları ile çözüm alanı içerisindeki diğer kaldırma-kuvveti-yaratmayan (non-lifting) geometriler üzerinde (örneğin helikopter gövdesi, çeşitli harici yükler, vs gibi) öncelikle yüzey panelleri oluşturulur. Daha sonra rotor ve kanat panellerinin üzerine, hücum kenarları panellerin ¼ veter uzunluğuna ve kolokasyon (collocation) noktaları panellerin ¾ veter uzunluğuna denk gelen girdap halkaları yerleştirilir. Diğer yüzeyler üzerindeki girdap halkaları ise yüzey panelleri ile aynı geometriye sahiplerdir ve kolokasyon noktası olarak panel merkez noktasını kullanırlar. Çözüm alanı içerisine istenilen sayıda, boyutta, konumda ve dönme yönlerinde rotor palaları, kanatlar ve diğer geometriler eklenebilir.

Çözüm alanı içerisindeki rotor palaları panellendikten ve kinematik hareket yönleri ve/veya dönüş yönleri belirlendikten sonra zamana bağlı olarak simülasyonlar yapılır. Her zaman adımında her rotor palasının firar kenarından girdap şiddetleri bilinen girdaplar salınmaya başlanır ve bu girdaplar zaman içerisinde çoğalarak iz bölgesini oluşturur. Bu salma sırasında iz bölgesinin kuvvetten bağımsız olması ile ilgili fiziksel gereklilik kullanılarak iz bölgesi panelleri her zaman adımında lokal akış hızı ile hareket ettirilir.

İz bölgesindeki girdapların ve pala/gövde girdap halkalarının birbirleri üzerine indüklediği hızlar Biot-Savart denklemi kullanılarak hesaplanır. Biot-Savart denkleminin $r \rightarrow 0$ durumunda tekil olmasından dolayı, bu hız hesaplamalarında çeşitli girdap özü modelleri de kullanılmaktadır. Bu makalede sunulan örneklerde Rankine girdap-özü modeli kullanılmıştır, fakat *AeroSIM+* yazılımı Vatistas [7], Scully [8] ve Oseen-Lamb [9] gibi farklı girdap-özü modellerinin kullanılmasına da olanak vermektedir. Viskoz girdap yayılması (vortex diffusion) etkileri kaynak [10]'da verilen yöntemler kullanılarak, zamana bağımlı girdap-özünün genişlemesi kavramına dayalı bir şekilde hesaplanır.

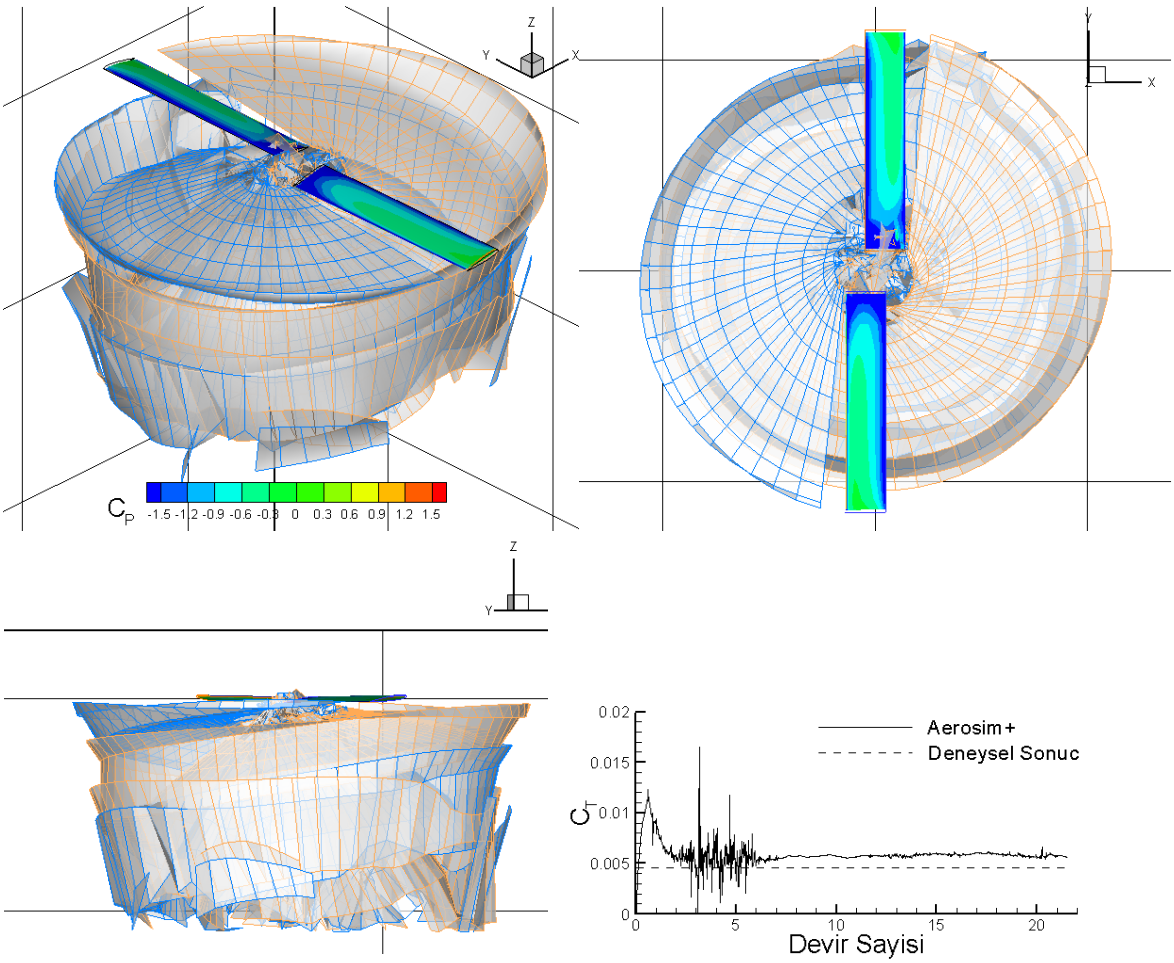
3. SİMÜLASYON SONUÇLARI

3.1. Askı (Hover) Durumunda Helikopter Rotor Simülasyonları

Rotor sonuçlarının doğrulanması ve test edilmesi amacı ile Caradonna ve Tung [11] rotor modelinin askı durumundaki simülasyonları yapılmıştır. Bu rotor NACA 0012 profiline sahip, burulması ve daralması olmayan, iki palalı, yarı çapı 1.143 m ve pala-açıklık-oranı 6 olan bir rotordur. Bu deneylerde pala kollektif açıları 8° ve dönüş hızı 1250 devir/dakika'dır ki bu 0.44 uç Mach sayısına denk gelmektedir. Caradonna ve Tung [11] rotoru için yapılan simülasyonlarda palaların alt ve üst yüzeylerinde ve pala boyunca 10'ar panel kullanılmıştır. Hem pala veteri hem de pala açıklığı boyunca sinüs-dağılımı kullanılarak, hücum ve firar kenarları ile kök ve uç bölgelerinde panel dağılımları yoğunlaştırılmıştır.

Ani başlatılan rotor dönüşünü takiben fiziksel olarak rotor iz bölgesinin uzun süre palalara yakın durması ve ancak belli bir devir sayısı kadar dönme gerçekleştikten sonra

ilk başlangıç girdaplarının ve ilk iz bölgelerinin palalardan uzaklaşmalarından dolayı, ileri uçuş durumu ile karşılaştırıldığında askı durumu rotor simülasyonları daha zorlayıcıdır. Zamandan bağımsız (steady state) bir çözümün elde edilebilmesi için oldukça çok sayıda devir için hesaplama yapılması gerekir. Şekil 2'de askı durumundaki rotorun serbest iz girdapları 21 devir döndükten sonraki anda görüntülenmektedir. Uç girdapları ve firar kenarından ayrılarak aşağıya doğru sarmal olarak dönerek inen iç girdap yüzeyi açıkça görülmektedir. Rotora üstten ve yandan bakıldığında rotor izinin daralma karakteristiği gözlemlenebilmektedir (Şekil 2). Bu rotor simülasyonu için hesaplanan itki katsayısının ($C_T = T / \rho\pi R^2\Omega^2R^2$) zamana göre değişimi ise yine Şekil 2'de verilmiştir. Yaklaşık 7 inci devrin sonuna kadar gözlenen salınımların ana sebebi henüz rotordan yeterince uzaklaşmamış başlangıç ve kök girdaplarının etkileridir. Bu devirden sonra bu salınımlar yok olmuş ve itki katsayısı belli bir değere yakınsamıştır. Bu değer Caradonna ve Tung [11] deneylerinde ölçülen değerden yaklaşık %26 daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 2. Askı durumundaki Caradonna-Tung rotorunun 21 devir dönüş sonrası iz bölgesi geometrisi ve itki katsayısının zamana göre değişimi

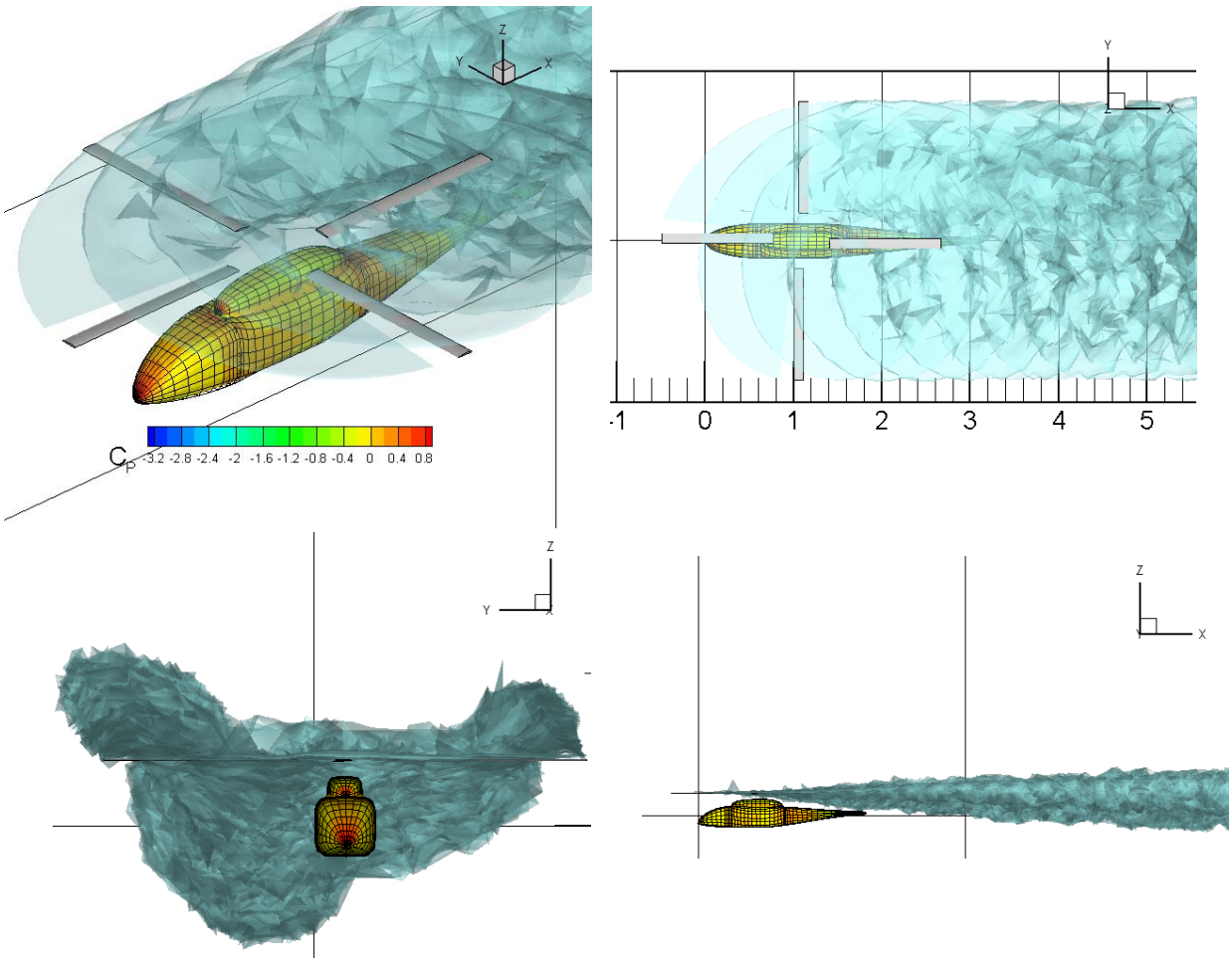
3.2. Helikopter Rotor-Gövde Etkileşim Simülasyonları

Helikopter rotor-gövde etkileşimlerinin incelenmesi amacı ile kaynak [12]'de deneysel verileri ve geometrik bilgisi verilen ve helikopter gövde hesaplamalarında doğrulama maksatlı olarak sıklıkla kullanılan "Robin (Rotor Body Interaction)" gövde geometrisi kullanılmıştır. Bu gövdenin üzerine yine kaynak [12]'de detayları verilen dört palalı, RC10B3 profiline sahip, 1.575 m yarıçaplı, 8° burulma ve 5° hatve açılı ve 1250 d/d hızla dönen bir rotor yerleştirilmiş ve 0.2 ilerleme oranına (advance ratio) denk gelen 39.6 m/s ileri-uçuş durumu için çözümler elde edilmiştir. Her bir palanın üzerine veter boyunca 32 panel ve pala boyunca da 12 panel yerleştirilmiştir. Şekil 3'te, helikopter rotorunun yaklaşık 9.5 dönüşü tamamladıktan sonra elde edilen rotor iz bölgesi konfigürasyonu görülmektedir. Gövde üzerindeki renkler ise basınç katsayısı dağılımlarını göstermektedir. İleri-uçuş şartlarında oluşan ve hem xz hem de yz düzlemlerinde bakılıdığında açıkça görülen karakteristik asimetrik iz bölgesi Şekil 3'te görülebilmektedir. Gövde üzerinde elde edilen basınç katsayısı değerlerinin, gövde boyunca üç ayrı kesitte (burundan 0.05R, 0.60R ve 1.34R uzaklıkta. R: rotor yarıçapı) deneysel verilerle karşılaştırmaları ise Şekil 4'te verilmektedir.

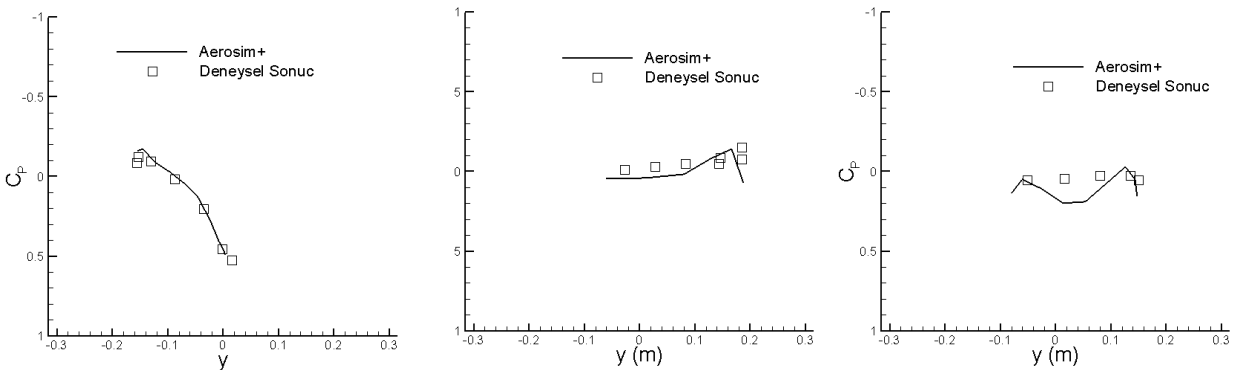
Rotor-gövde-harici yük etkileşimlerini incelemek amacı ile de Robin gövdesinin dış tarafına (sadece bir tarafa) Şekil 5'te görüldüğü gibi 6:1 oranlı prolate spheroid şekilli bir harici yük yerleştirilmiştir. Bu simülasyonlar 0.05 ilerleme oranlı bir ileri uçuş senaryosu için yapılmıştır. İlerleme oranının düşüklüğünden dolayı rotor iz bölgesi ve uç girdapları büyük ölçüde gövdeye ve harici yüke çarpmakta ve bu cisimler üzerinde oldukça karmaşık, zamana bağlı değişen ve üniform olmayan basınç dağılımları ve yüklemeler meydana getirmektedirler.

4. SONUÇLAR

Helikopterlerde çeşitli uçuş koşullarında meydana gelebilecek rotor-gövde-harici yük aerodinamik etkileşimleri, yazarlar tarafından geliştirilen *AeroSIM+* programı kullanılarak incelenmiştir. Hem izole rotor hem de rotor-gövde test durumları için çözümler yapılmış ve deneysel sonuçlara yakın çözümler elde edilmiştir. Düşük ilerleme oranlı uçuş esas olarak askı durumuna çok yakın olduğu için rotor öz bölgesinin önemli bir kısmı gövdeye ve harici yüke çarparak basınç dağılımlarında oldukça zamana bağlı ve üniform olmayan etkiler meydana getirmektedir.

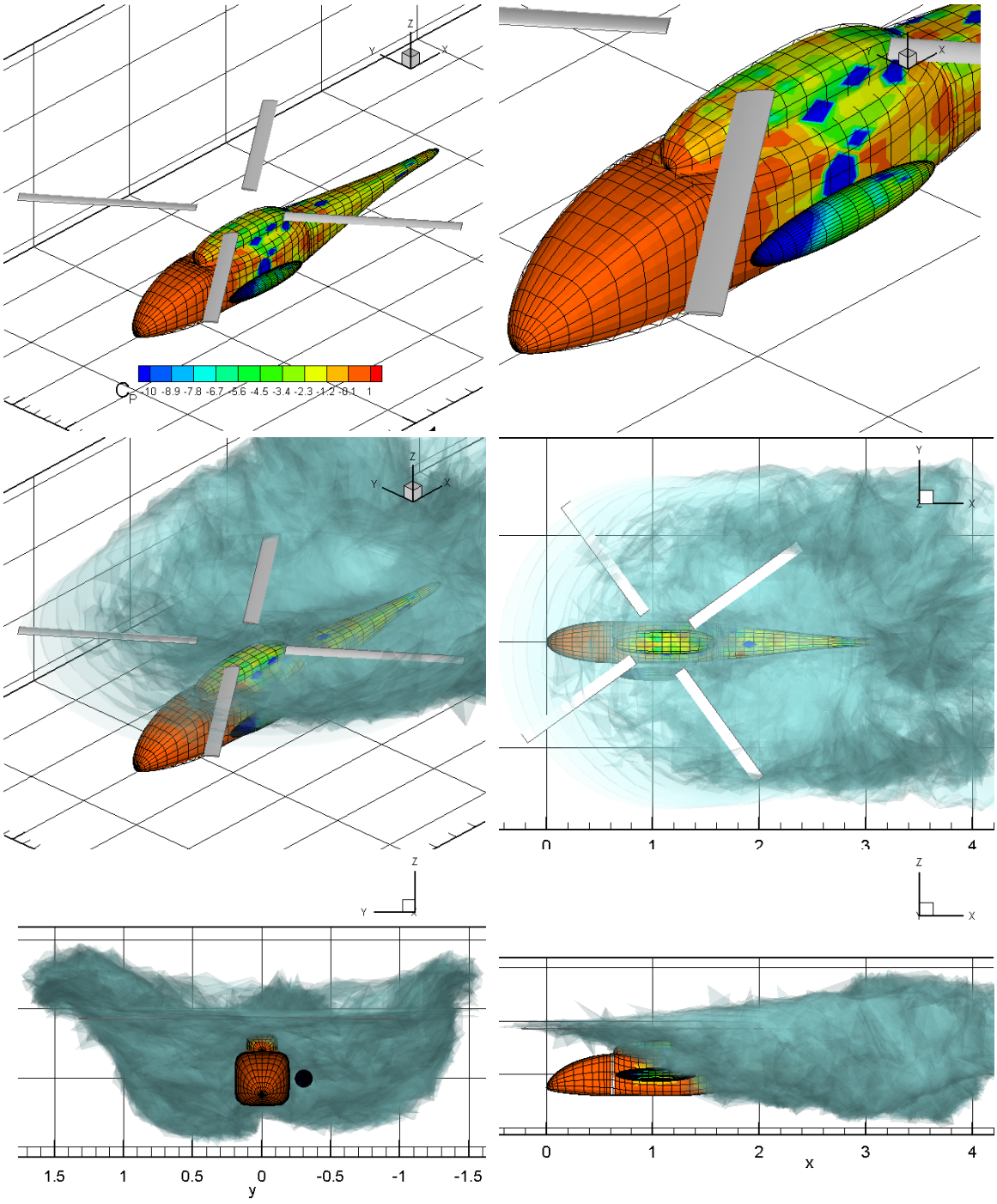


Şekil 3. Robin helikopteri için 0.2 ilerleme oranlı (advance ratio) ileri uçuş durumunda iz bölgesi geometrisi ve gövde üzerindeki basınç katsayısı dağılımları



(a) (b) (c)

Şekil 4. Robin helikopteri için 0.2 ilerleme oranlı (advance ratio) ileri uçuş durumunda gövde üzerindeki basınç katsayısı dağılımlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırılması, (a) x/R=0.05 (b) x/R=0.6 (c) x/R=1.34.



Şekil 5. Robin gövdesi ve rotoru ile bir harici yük etrafında ve yaklaşık 5.6 rotor dönüşü sonundaki iz bölgesi geometrisi ve girdap dağılımları. İlerleme oranı 0.05.

KAYNAKÇA

[1] Landgrebe, A.J., *The Wake Geometry of a Hovering Helicopter Rotor and its Influence on Rotor Performance*, Journal of the American Helicopter Society, Vol. 17, No. 4, pp. 3-15, Oct. 1972.

[2] Leishman, J.G., *Principle of Helicopter Aerodynamics*, Cambridge University Press, 2000

[3] Sezer-Uzol, N., Uzol, O., *Sabit ve Döner Kanat Aerodinamik Etkileşim Analizleri İçin Serbest İz Bölgesi Modellemeli Zamana Bağli Panel Metod Hesaplamaları*, II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 15-17 Ekim 2008, İTÜ, İstanbul.

[4] Lee, D., Sezer-Uzol, N., Horn, J. F., and Long, L. N., *Simulation of Helicopter Shipboard Launch and Recovery with Time-Accurate Airwakes*, Journal of Aircraft, 42(2), pp. 448-461, 2005.

[5] U.S. Navy Approach Photo Gallery web page. (http://safetycenter.navy.mil/media/gallery/photos/approach/default.htm)

[6] Willis, D.J., Peraire, J. and White, J.K., *A combined pFFT-multipole tree code, unsteady panel method with vortex particle wakes*, Int. J. Numer. Meth. Fluids 2000.

[7] Vatistas, G.H., Kozel, V., and Mih, W.C., *A Simpler Model for Concentrated Vortices*, Experiments in Fluids, Vol. 11, 1991.

[8] Scully, M.P., Computation of Helicopter Rotor Wake Geometry and Its Influence on Rotor Harmonic Airloads, ASRL TR 178-1, March 1975.

[9] Lamb, Sir Horace, *Hydrodynamics*, 6th Edition, pp. 592-593, 668-669, Cambridge University Press, 1932.

[10] Wachspress, D.A., Quackenbush, T.R., Boschitsch, A.H., *First-Principles Free-Vortex Wake Analysis for Helicopters and Tiltrotors*, American Helicopter Society 59th Annual Meeting, May 6-8, Phoenix, Arizona, 2003.

[11] Caradonna, F.X. and Tung, C., *Experimental and Analytical Studies of a Model Helicopter Rotor in Hover*, NASA TM-81232, 1981

[12] Freeman, C. E., Mineck, R. E., 1979, *Fuselage Surface Pressure Measurements of a Helicopter Wind Tunnel Model with a 3.15 m Diameter Single Rotor*, NASA-TM-80051

KOMPOZİT BİR MİNİ İNSANSIZ HAVA ARACININ GÖVDE ÜZERİNE DÜŞÜK HIZLI DARBELİ İNME ANALİZLERİ

Serhan Yüksel
TAI, seryuksel@tai.com.tr

Altan Kayran
Havacılık ve Uzay Müh., ODTÜ
Ankara, Türkiye, akayran@metu.edu.tr

Nafiz Alemdaroğlu
Havacılık ve Uzay Müh., ODTÜ
Ankara, Türkiye, nafiz@metu.edu.tr

ÖZ

Bu makalede kompozit malzemeden üretilmiş olan bir mini insansız hava aracının rijit ve toprak zemine gövde üzeri düşük hızlı darbeli inişi açık sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Gövde üstüne iniş yapan mini insansız hava araçları çakıl, asfalt, beton, çim ve sert toprak gibi farklı zeminlere, ani rüzgar gibi insan kontrolü dışındaki etkenler nedeni ile, düşük hızlı darbeye maruz kalacak şekilde inmek durumunda kalabilmektedirler. Bu nedenle makalede sunulan çalışmanın ana amacı düşük hızlı darbeli iniş yüklerinin hava aracının yapısı üzerindeki etkilerini incelemek ve yapısal tasarım sürecine katkı sağlamaktır. Mini insansız hava aracının düşük hızlı yere çarpma analizleri iç güçlendirmesiz ve iç güçlendirmeli gövde ve gövde-kanat bütünü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve değişik alt yapı elemanlarının analiz modeline eklenmesinin hava aracının davranışına olan etkisi irdelenmiştir. Gerçek uçuş testlerinde sert inişler sırasında sık olarak meydana gelen ve önceden öngörülemeyen gövde-arka kuyruk uzantısındaki bir bölgedeki hasar gerçekleştirilen açık sonlu elemanlar analizleri ile belirlenebilmiştir. Açık sonlu elemanlar analizi ile bu kırım bölgesinin belirlenmesi tasarım iyileştirmesi açısından son derece kıymetli bir veri oluşturmuşdur.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava aracı, düşük hızda çarpma, gövde üstü iniş, kompozit yapı, açık sonlu elemanlar yöntemi

LOW VELOCITY IMPACT ANALYSIS OF A COMPOSITE MINI UNMANNED AIR VEHICLE DURING BELLY LANDING

ABSTRACT

In this article belly landing of an unmanned mini air vehicle with low velocity impact on the soil and rigid ground has been investigated by explicit finite element analysis. Mini unmanned air vehicles which land over its belly on gravel, asphalt, cement, grass and hard soil might be exposed low velocity impact during landing due to reasons such as gusts which are beyond the control of human. Therefore, the main aim of the article

is to investigate the effect of the loads due to low velocity impact on the structure of the air vehicle, and contribute to the design process. Low velocity impact analysis of the mini unmanned air vehicle has been performed separately for the fuselage and fuselage-wing combination with and without internal reinforcements, and the effect of adding different sub-structures to the analysis model has been examined. A damage zone, which has been experienced frequently due to hard landings in the real flight tests between the fuselage and the rear tail boom and which could not be predicted beforehand, has been located by the explicit finite element analysis. Determination of the particular failure zone by the explicit finite element analysis has provided valuable information towards design improvement.

Keywords: Unmanned air vehicle, low velocity impact, belly landing, composite structure, explicit finite element method

1. GİRİŞ

Günümüzde insansız hava araçları sivil ve askeri alanda çok sık olarak kullanılmaktadır. Keşif, gözetleme, istihbarat, afet bölgesi tarama, orman yangını denetleme, trafik kontrolü, çevre kirliliği denetlemesi, savaş uçağı gibi çok değişik görev senaryolarında kullanılan insansız hava araçları giderek artan bir öneme sahip olmaya başlamıştır. Otonom uçuş kabiliyetleri nedeni ile pilot gereksinimi olmayan insansız hava araçlarının tasarımında daha düşük emniyet faktörleri kullanılmakta ve azami performans sağlamak amacına yönelik olarak hava aracının bütünü kompozit malzemeden üretilmektedir. Uluslararası İnsansız Hava Araçları Sistemleri [1] insansız hava araçlarını çok değişik kategorilere ayırmıştır. Bu sınıflandırmaya göre mini insansız hava araçları genellikle 10 km'den daha az bir menzile sahip olup, uçuş yükseklikleri 150-300 m arasında değişmekte ve yaklaşık olarak 2 saatlik bir uçuş süresine sahiptirler. Ağırlık olarak 30 kg'dan daha düşük ağırlıkta olan mini insansız hava araçlarının elden atılan ve gövde üzerine iniş yapan tiplerinin ise azami ağırlıkları 5 kg civarındadır. Düşük ağırlıkta olan mini insansız hava araçlarının en temel özelliği kalkış ve iniş için bir piste ihtiyaç duymamalarıdır. Elle atılıp gövde üzerinde inme özelliğine sahip olmaları itibarı ile mini insansız hava araçlarının yakın mesafeli keşif ve gözetleme amaçlı görevlerde ve değişik arazi koşullarında çok etkin olarak kullanım senaryoları bulunmaktadır. Gövde üzerine inen mini insansız hava araçlarının özellikle gövde üzeri inişleri sırasında yapısal bütünlüklerini korumaları ve eğer koruyamıyorlarsa ayrılabilir konfigürasyonda tasarlanmaları gerekmektedir. Gövde üzerine iniş yapan insansız hava araçlarına örnek olarak AeroVironment firmasının ürünleri olan RQ-11 Raven ve FQM-151 Pointer, Boeing firmasının ürünü olan ScanEagle UAV, BAI firmasının ürünü olan Javelin ve AAI firmasının ürünü olan Aerosonde örnek olarak gösterilebilir [2]. Gövde üstüne iniş yapan mini insansız hava araçları çakıl, asfalt, beton, çim ve sert toprak gibi farklı zeminlere, ani rüzgar gibi insan kontrolü dışındaki etkenler nedeni ile, düşük hızlı darbeye maruz kalacak şekilde inmek durumunda kalabilmektedirler.

Kompozit malzemelerin düşük hızlı darbe yüklerine karşısındaki davranışları literatürde yoğun olarak incelenmiştir [3-8]. Kaynaklar [3-8]'de yer alan çalışmalar kompozit malzemelerin düşük hızlı darbelere karşı dayanımını ve hasar oluşma mekanizmalarını

inceleyen örnek çalışmalardan bazılarıdır. Ancak bu çalışmalarda düşük hızlı darbe yüklerinin etkileri genellikle kompozit malzemeden üretilmiş plakalar üzerinde incelenmiş ve bu çalışmaların ana hedefleri değişik malzeme konfigürasyonlarının kompozit plakaların darbe dayanımı nasıl etkilediğini araştırmak olmuştur. Yapılan çalışmaların bazılarında düşük hızlı darbe yüklerinin bir nevi eşdeğer statik değerleri tespit edilmiş ve darbe hasarı incelemesi bu eşdeğer statik yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tür bir çalışmaya en güzel örnek Greszczuk [3] tarafından sunumuş olan çalışmadır. Greszczuk'un çalışmasında çarpan ve çarpılan malzemelerdeki kontak deformasyonu ve plakanın yük altında eğilmesi bir enerji korunumu ilişkisinde biraraya getirilerek plakalar için düşük hızlı darbe yükü ve darbe alanı hesaplaması yapılmıştır. Ancak genellikle literatürdeki düşük hızlı darbe yükü ve darbe hasarı tayini çalışmaları deneysel ve sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak yapılmaktadır.

Kompozit malzemeden yapılmış bir mini insansız hava aracı kompleks iç ve dış geometriye sahip olmasının yanında gövde, kanat gibi farklı alt yapı elemanlarının bir araya gelmesi ile karmaşık bir yapısal bütünlük arz etmektedir. Karmaşık geometri ve çarpmaya dayalı yüklerin oluşması nedeni ile bu tür yapıların darbe yükleri karşısındaki davranışı çoğunlukla açık sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmektedir [9-10]. Bu makale kapsamında ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümünde tasarlanarak üretilmiş olan mini bir insansız hava aracının gövde üzerine düşük hızlı darbeli inişi sırasındaki davranışı açık sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Analizler MSC Dytran programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [10]. Bu çalışmanın ana amaçlarından birisi de uçuş testleri sırasında sert inişlerde insansız hava aracının gövde-kuyruk uzantısındaki bir bölgede yaşanan kırımların açık sonlu elemanlar analizi ile öngörülüp öngörülemeyeceğini belirlemektir. Kırım yaşanan bölge ve hava aracı yapısının kısa tanıtımı bir sonraki kısımda verilecektir. Çalışma kapsamında aynı zamanda mini insansız hava aracının rijit ve toprak zemine düşük hızlı çarpma analizleri iç güçlendirmesiz ve iç güçlendirmeli gövde ve gövde-kanat bütünü için ayrı ayrı gerçekleştirilmiş ve değişik alt yapı elemanlarının analiz modeline eklenmesinin hava aracının davranışına olan etkisi irdelenmiştir.

2. 'GÜVENTÜRK' MİNİ İNSANSIZ HAVA ARACI VE GÖVDE ÜZERİ İNİŞ HESAPLAMALARI

2.1. Hava aracının kısa tanıtımı

Makalede üzerinde çalışılan platform olan 'Güventürk' mini insansız hava aracı ODTÜ Havacılık ve Uzay Mühendisliğinde tasarlanarak üretilmiş ve başarılı bir şekilde uçuş test sürecinden geçmiştir. 'Güventürk' üzerindeki otopilotu vasıtası ile otonom uçma kabiliyetine sahip olup, kanat içine yerleştirilmiş olan bir kamera ile gerçek zamanlı olarak video görüntüsü aktarabilmektedir. Hava aracının azami ağırlığı 4.5 kg, kanat açıklığı 2.2 m, gövde uzunluğu 1.35 m'dir. Şekil 1 mini insansız hava aracının uçuş testleri sırasında çekilmiş olan bir resmini vermektedir. Şekil 2 ise mini insansız hava aracının elden atılarak uçma konumuna getirilişini göstermektedir.



Şekil 1. ‘Güventürk’ mini insansız hava aracı

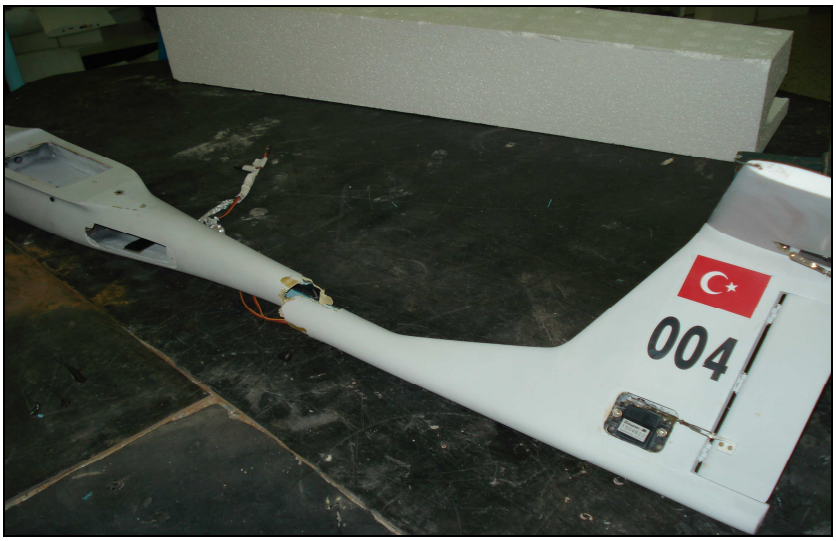


Şekil 2. ‘Güventürk’ün elden atılarak uçma konumuna geçirilişi

Şekil 3’de mini insansız hava aracının toprak-çim karışımı bir zemine inmek üzere iken çekilmiş fotografı yer almaktadır. Şekil 3 yumuşak bir iniş durumunu göstermektedir. Ancak özellikle darbeli rüzgarın olduğu koşullarda hava aracının yere değmesi sırasında dikey sürati yüksek olabilmektedir. Bu makalede gerçekleştirilen açık sonlu elemanlar analizlerinde hava aracının uçuş yönü ve dikey hızı hesaba katılmış ancak sürtünme ihmal edildiği için uçuş yönü hızının göz önüne alınması sadece inme benzetimlerinin daha gerçekçi görünmesini sağlamıştır. Şekil 3 aynı zamanda sert inişler sırasında gövde-arka kuyruk uzantısında kırım yaşanan bölgenin yaklaşık konumunu göstermektedir. Şekil 4 ise sert iniş nedeni ile kuyruk uzantısında yaşanan kırımı göstermektedir.



Şekil 3. 'Güventürk'ün gövde üzerine inişi



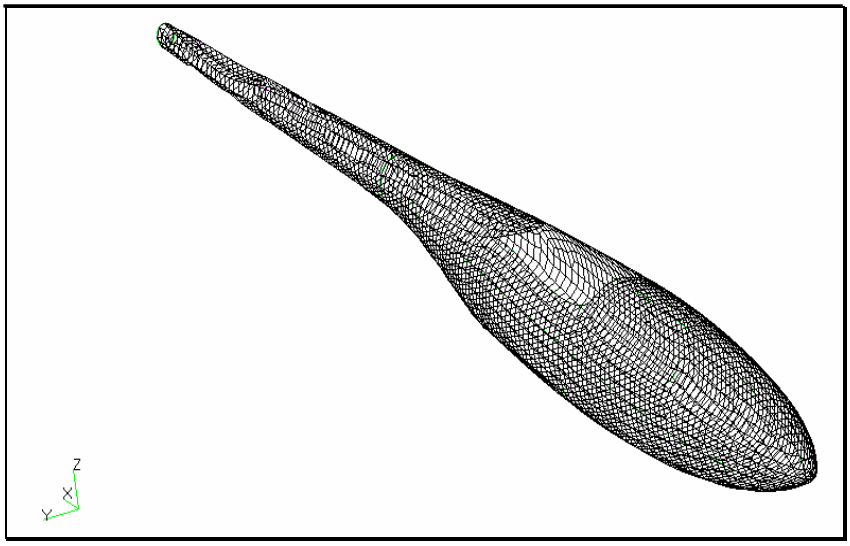
Şekil 4. Gövde- arka kuyruk uzantısında sert iniş nedeni ile meydana gelen kırım

2.2. Mini insansız hava aracının iniş hız hesaplamaları

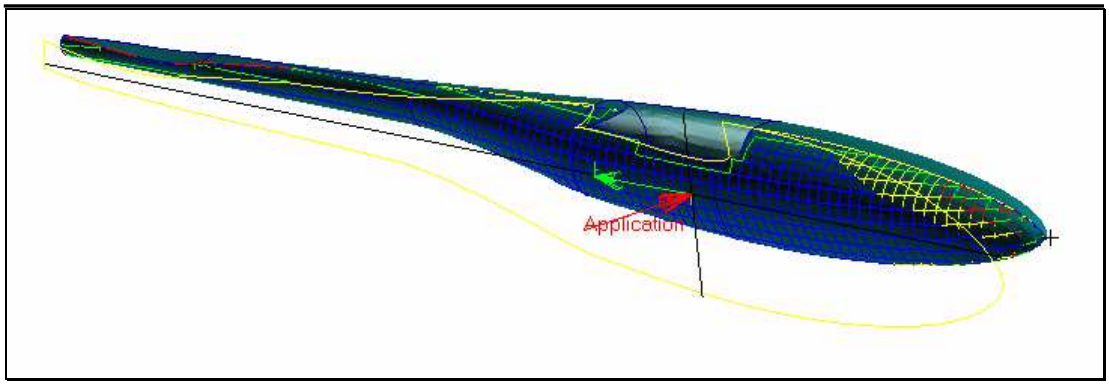
Mini insansız hava aracının yer ile temas ettiği andaki yatay ve düşey hızlarının hesaplanmasında bazı kabullerde bulunulmuştur. İniş sırasında yaklaşma hızı olarak perdövites hızının yaklaşık olarak %30 fazlası alınmıştır. Yaklaşma hızı için böyle bir aralık hava araçları için makul bir değerdir. Yaklaşma açısı ise yaklaşık olarak 3.5 derece olarak alınmıştır. Bu değer üst bir sınır olup amaç daha yüksek düşey hız elde etmekdir. Bu kabullerin ışığında yere çarpma analizlerinde girdi olarak kullanılacak olan iniş sırasındaki yatay hız 12 m/s, düşey hız ise 0.7 m/s olarak olarak hesaplanmıştır. Yere temas sırasında hava aracının açısal hızı ihmal edilmiştir.

3. HAVA ARACI YAPISININ KOMPOZİT MODELLEMESİ

Bu kısımda hava aracı gövdesinin kompozit modellemesi kısa olarak tarifenecektir. Kompozit modelleme ‘MSC Laminate Modeler’ aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir [11]. Şekil 5 çözüm ağı atılmış kabuk gövde analiz modelini göstermektedir. Gövdenin bazı bölgeleri iki yönlü eğime sahip olduklarından örgülü kompozit kumaşın gövde üzerinde yerleştirilmesi sırasında katlanması söz konusu olmaktadır. Bu nedenle kumaşın kat yerlerinden kesilerek yüzeye tam oturacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. ‘MSC Laminate Modeler’ aracı kumaşın katlanma benzetimi gerçekleştirebilmekte ve kumaşın yüzeye tam oturabilmesi için kesim yapılması gereken yerler hakkında ipucu vermektedir.



Şekil 5. Sonlu elemanlar çözüm ağı atılmış kabuk gövde analiz modeli



Şekil 6. ‘MSC Laminate Modeler’ aracında kumaşın gövde üzerine katlanması

Şekil 6’da örnek bir kumaş katının hava aracının gövdesinin bir tarafına yerleştirilmesinin resmi verilmiştir. Kırmızı ok kompozit katın gövde üzerine değdiği ilk noktayı göstermektedir. Yeşil ok ise kat açılarının ölçüldüğü referans yönü, bir başka

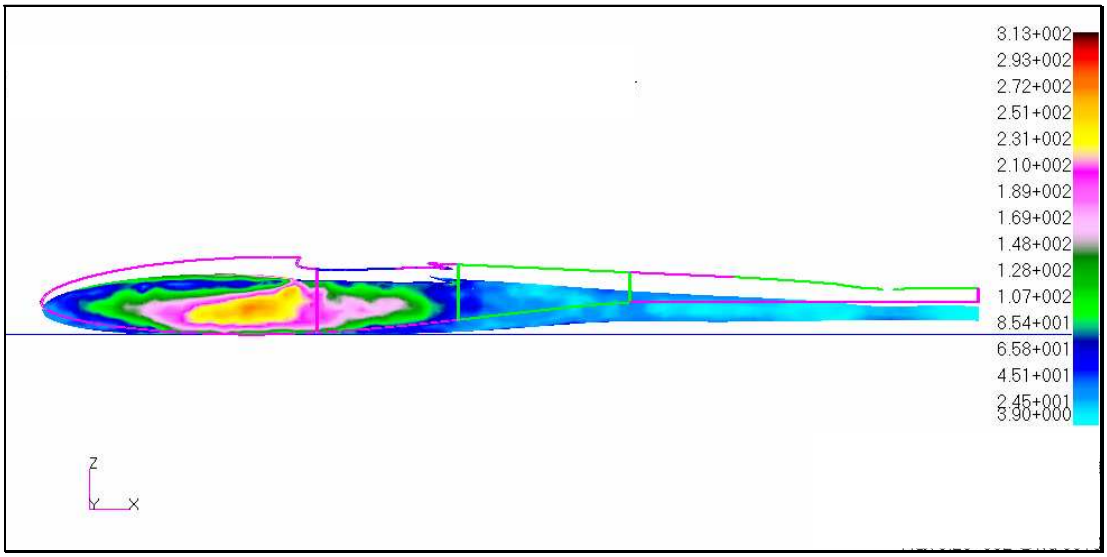
deyişle 0 derece yönünü göstermektedir. Yarım gövde biçiminde kesilmiş olan kumaş katının gövde üzerinde yerleştirilmesi sırasında özellikle çift yönde eğime sahip olan noktalarda 'MSC Laminate Modeler' aracı katlanma hesabı yapmakta ve kullanıcıya kesik yapılması gereken yerler hakkında ipucu vermektedir. Gerekli kesikler yapıldıktan sonra kumaş gövde üzerine tam olarak oturmaktadır. 'MSC Laminate Modeler' aracı ile ilgili detaylı bilgi için Kaynak 11'e başvurulmalıdır. Açık sonlu elemanlar analizinde kabuk gövde, gövde eksenine göre 45 derece açı yapan 12 kat karbon örgülü kumaş-epoksi reçine kompozit malzeme kullanılarak modellenmiştir. Gövdenin simetri düzlemine göre kompozit katlar her iki yönden Şekil 6'da gösterildiği gibi gövde üzerine yerleştirilerek kabuk gövde modeli tamamlanmıştır. 45 derecelik katman açısı düz plakalar üzerinde yapılan çarpma analizleri neticesinde belirlenen en uygun konfigürasyon olduğu için kabuk gövdenin kompozit modellemesinde öncelikle 45 derecelik katman açıları tercih edilmiştir.

4. AÇIK SONLU ELEMANLAR HESAPLAMALARI

Mini insansız hava aracının açık sonlu elemanlar yöntemi ile yere inme benzetimleri MSC Dytran programı ile gerçekleştirilmiştir. Bu makaleki çalışma hasar oluşumu ve ilerleyişini içermemektedir. Hesaplamalar düşük hızlı çarpma nedeni ile hava aracının değişik yapısal elemanlarında meydana gelen gerilme ve şekil değişikliğinin zamana göre değişiminin belirlenmesine yöneliktir. Ana amaç bu sonuçları kullanarak tasarımcıya yön vermektir. Hasar oluşumu ve ilerleyişi başka bir çalışma kapsamında yapılacaktır. Hesaplamalarda hava aracının yapısal olmayan kütlelerinin benzetimi için her düğüm noktası üzerine 1gram'lık kütle ataması da yapılmıştır.

4.1. Kabuk gövde analizleri

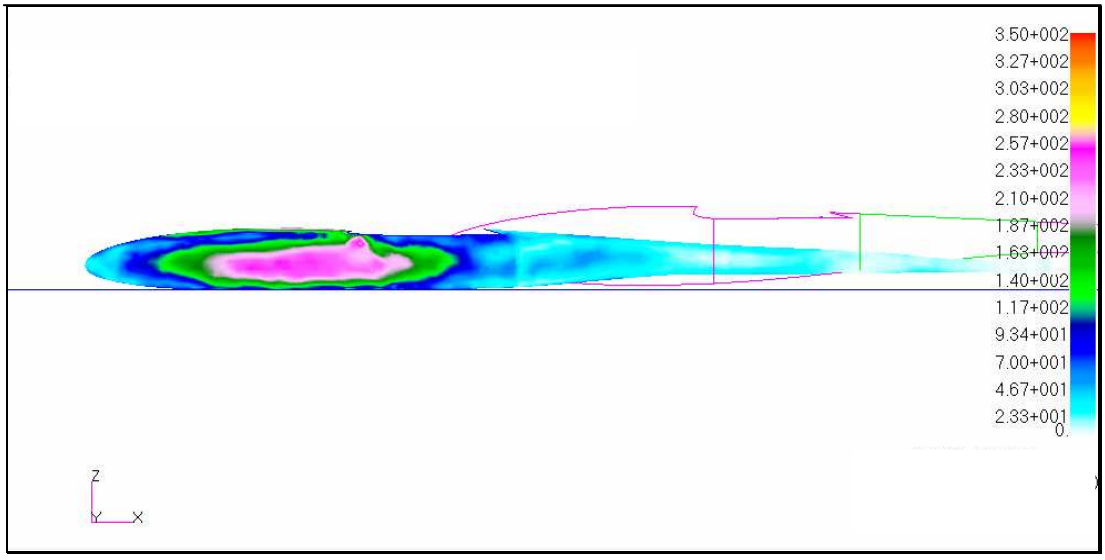
MSC Dytran programında gerçekleştirilen kabuk gövde analizleri sonucunda elde edilen örnek bir eşdeğer gerilme çıktısı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Rijit zemin üzerine iniş sırasında azami eşdeğer gerilme dağılımı (t=0.04 sn)

Şekil 7 gövde altında iniş sırasında darbeyi ilk karşılayan bölgede azami gerilmenin yaşandığı andaki yan gövde kabuğunun iç kompozit katmanında meydana gelen gerilme dağılımını vermektedir. Azami gerilme yaklaşık olarak çarpmadan 0.04 sn sonra meydana gelmiştir. Şekil 7'de aynı zamanda çarpma öncesi kabuk gövdenin deformasyona uğramamış tel kafes resmi de çizilmiştir. Kabuk gövdenin iniş sırasında yere çarpma nedeni ile esnemesi ve yere doğru yaklaşması açık bir şekilde Şekil 7'de görülmektedir.

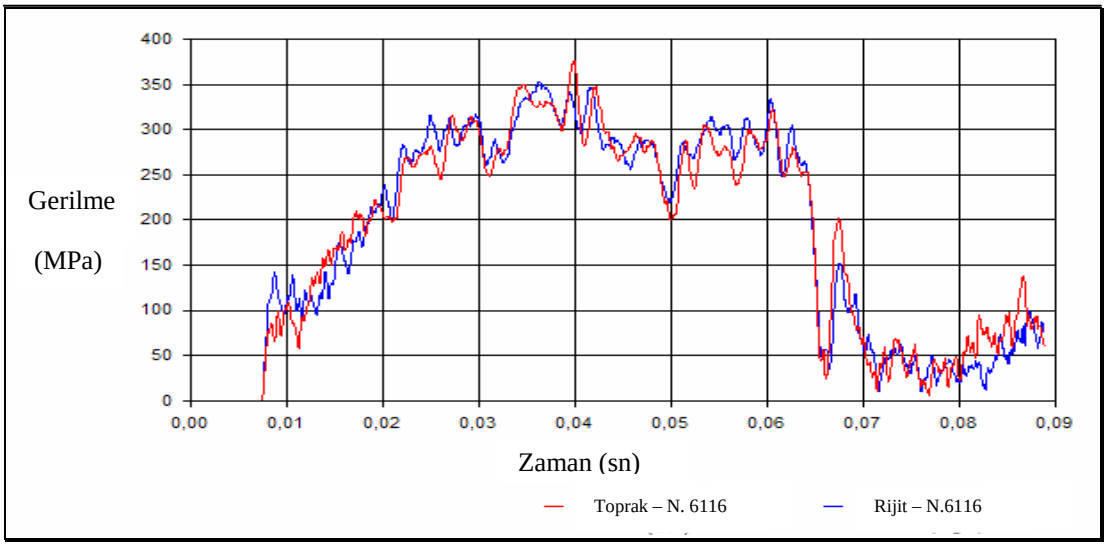
Kabuk gövdenin aynı zamanda toprak zemin üzerine inişinin de benzetimi yapılmıştır. Toprak zemin elastik malzeme olarak modellenmiş ve Bowles tarafından toprak için verilmiş olan Young elastik katsayısı ve Poisson oranlarının averajı olan 150 MPa ve 0.35 değerleri analizlerde zemin için malzeme katsayıları olarak kullanılmıştır [12]. Şekil 8 toprak zemin üzerine iniş sırasında azami gerilmenin meydana geldiği andaki kabuk gövdenin iç kompozit katmanındaki gerilme dağılımını göstermektedir. Azami gerilme anı rijit zemin inişinde olduğu gibi yaklaşık olarak çarpmadan sonra 0.04 sn'de meydana gelmiştir. Her iki iniş durumda da azami gerilme gövde altında darbeyi ilk karşılayan bölgede meydana gelmiştir.



Şekil 8. Toprak zemin üzerine iniş sırasında azami eşdeğer gerilme dağılımı (t=0.04 sn)

Şekil 9 rijit ve toprak zemin inişleri sırasında gövde altında azami gerilme yaşayan bölgede bir düğüm noktasındaki gerilmenin zamana göre değişimini vermektedir. Görüldüğü gibi kabuk gövde iniş benzetimlerinde her iki zemine iniş durumunda 6116 numaralı düğüm noktasındaki gerilmenin zaman göre değişimi birbirine çok yakındır. İlk darbe anında rijit zemin üzerine iniş sırasında meydana gelen gerilmedeki anlık artışın toprak zemin inişi sırasında gerilmede meydana gelen anlık artışa göre çok daha yüksek olduğu Şekil 9'da açık olarak gözükmektedir. Her iki zemine iniş durumunda da azami gerilme değerlerinin anlık olarak 350 MPa seviyesine çıktığı gözlemlenmiştir. Karbon-epoksi kompozit levha malzemelerin statik çekme mukavemet değerleri kullanılan kumaş malzeme ve reçine kumaş oranına göre farklılıklar göstermektedir.

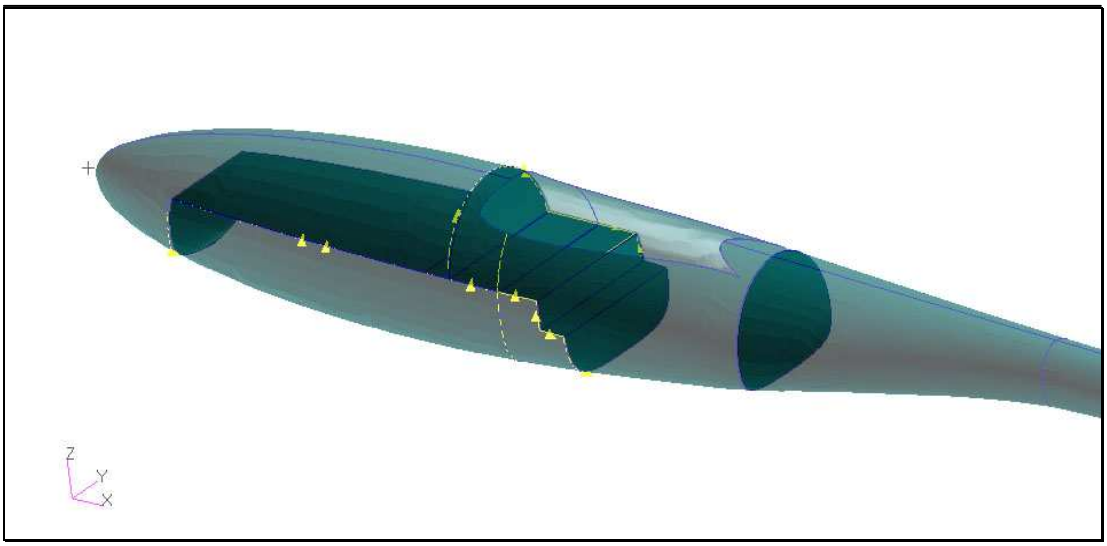
Ancak karbon-epoksi kompozit levha malzemelerinin statik çekme mukavemet değerleri yaklaşık olarak asgari 450 MPa'dan başlamak üzere daha yüksek değerlerdedir [13].



Şekil 9. Azami gerilme noktasındaki eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

4.2. Güçlendirilmiş gövde analizleri

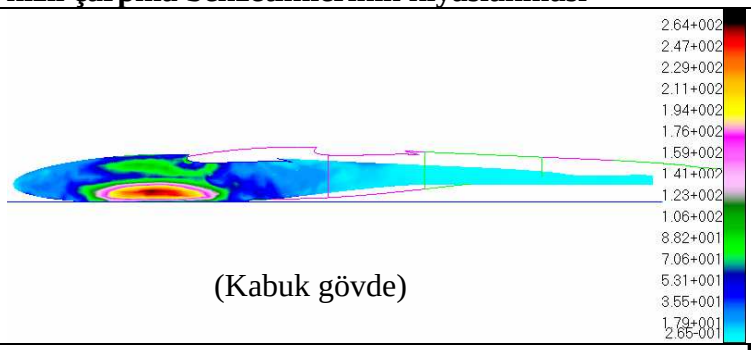
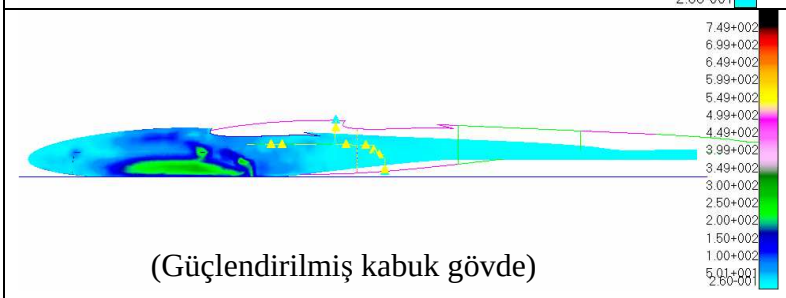
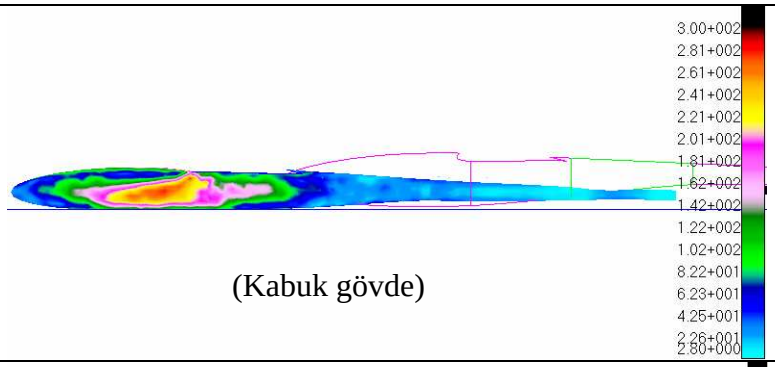
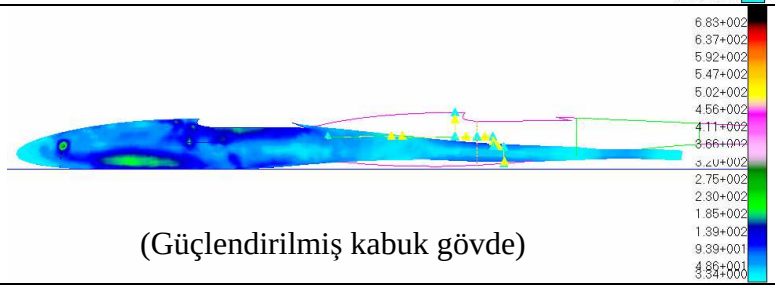
Mini insansız hava aracının yere inme analizlerinin ikinci safhasında kabuk gövde içine gerçek üretimde kullanılan güçlendirici ve ayırıcı malzemeler Şekil 10'da gösterildiği gibi yerleştirilmiş ve açık sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir.

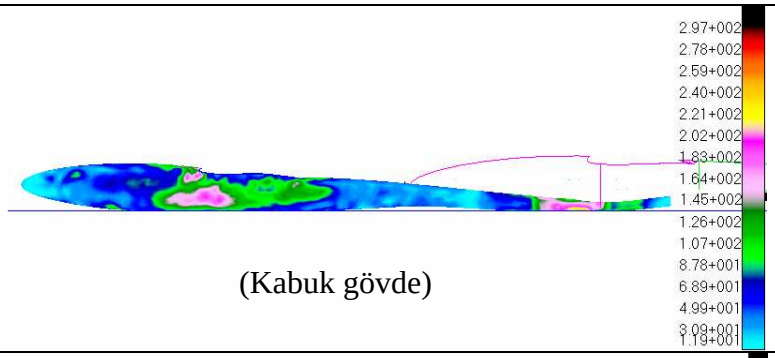
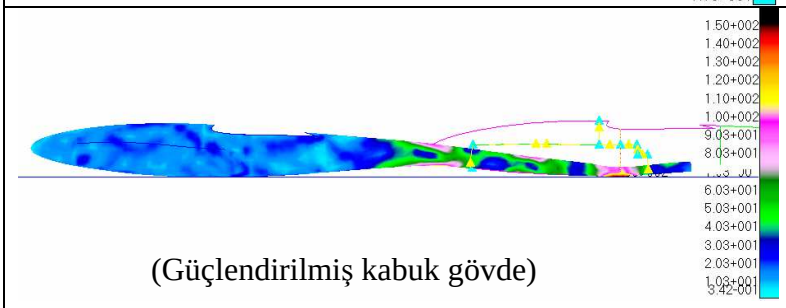
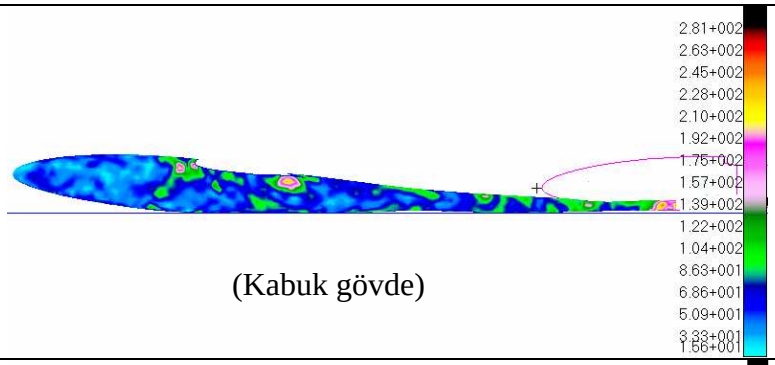
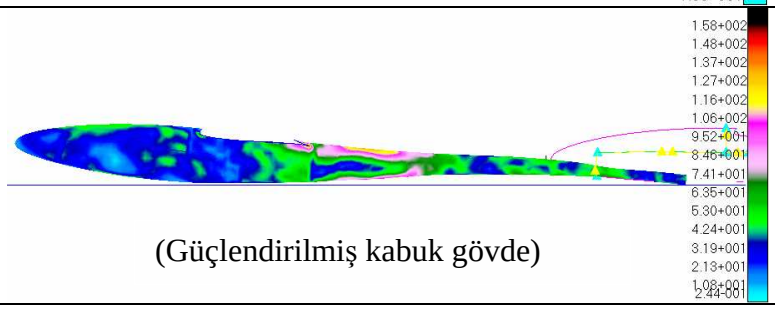


Şekil 10. Kabuk gövdenin iç güçlendirmeleri

Tablo 1' de kabuk gövde ve güçlendirilmiş kabuk gövdenin rijit zemin üzerine düşük hızla çarpma benzetimleri kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Tablo 1. Kabuk gövde ve güçlendirilmiş kabuk gövdenin rijit zemin üzerine düşük hızlı çarpma benzetimlerinin kıyaslanması

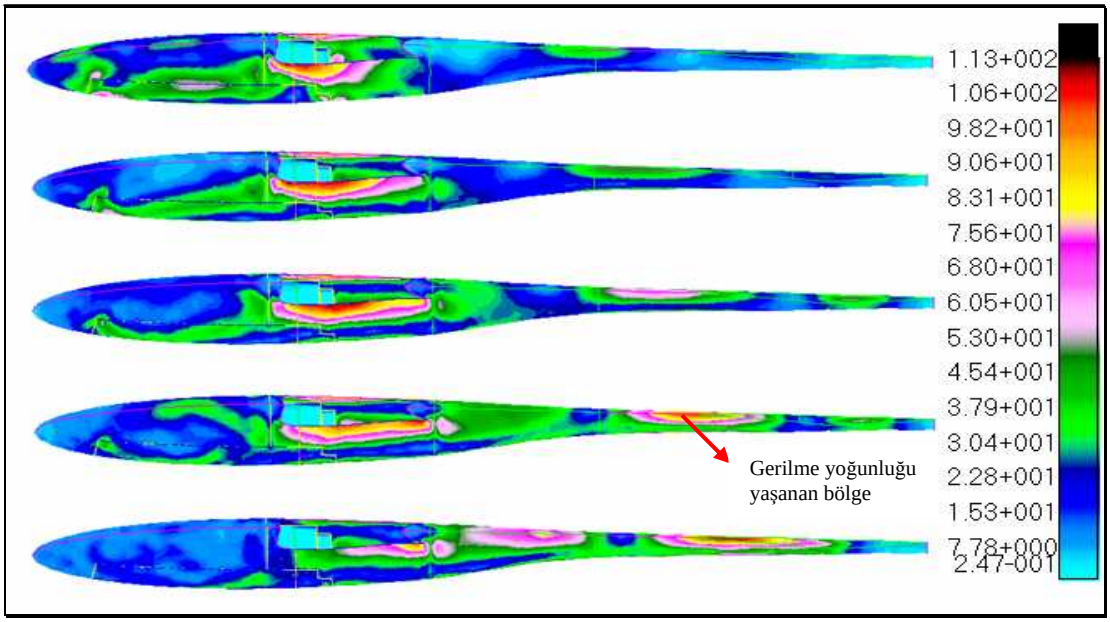
t = 0.022 sn	 (Kabuk gövde)  (Güçlendirilmiş kabuk gövde)
t = 0.044 sn	 (Kabuk gövde)  (Güçlendirilmiş kabuk gövde)

t = 0.066 sn	 (Kabuk gövde)  (Güçlendirilmiş kabuk gövde)
t = 0.088 sn	 (Kabuk gövde)  (Güçlendirilmiş kabuk gövde)

Tablo 1’de gerilme skalalarına dikkate bakıldığı vakit özellikle çarpmadan hemen sonra güçlendirilmiş kabuk gövdedeki azami gerilme seviyesinin kabuk gövde gerilme seviyesine göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüksek gerilme değerleri özellikle güçlendiriciler eklendikten sonra sonlu elemanlar modelinde güçlendirici kabuk dik kesişim noktalarında gerilme yoğunlaşması nedeni ile meydana gelmektedir. Ancak hava aracının üretimi sırasında dik kenarlar hiç bir zaman dik olarak bırakılmamış ve bu kenarlar yumuşatılmış ve ilave köşebent kompozit katları ile güçlendirilmiştir. Bu detaylar analiz modelini çok karmaşık hale getireceğinden sonlu elemanlar modelinde

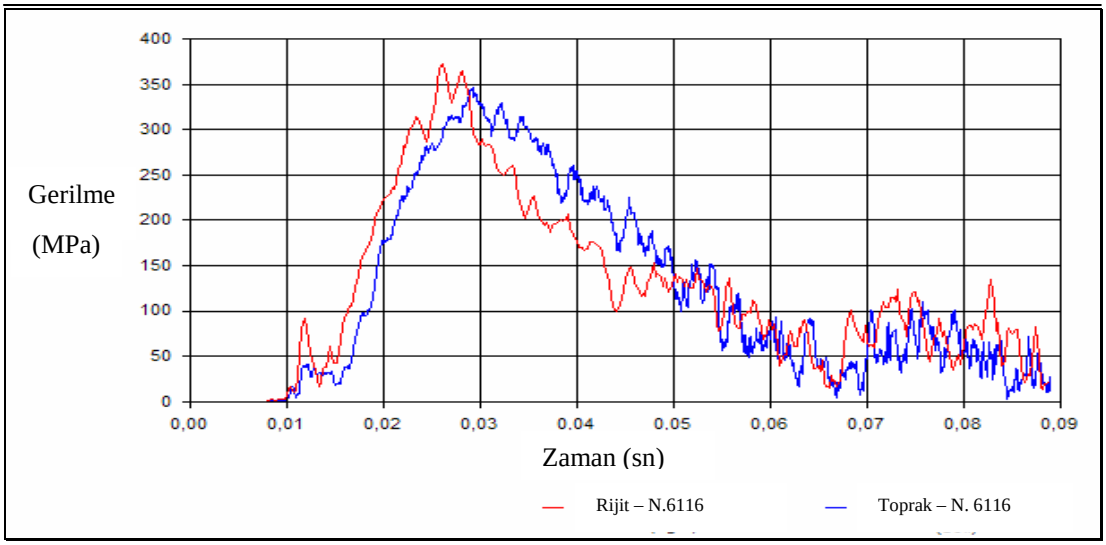
bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında azami gerilme olarak raporlanan değerler hava aracı üretimi ile uyumlu noktalardır. Tablo 1'den de görüldüğü gibi çarpmanın başlangıcında yan gövde üzerindeki azami gerilme seviyeleri her iki durum içinde birbirine yakındır. Ancak güçlendirilmiş kabuk gövde üzerindeki gerilme dağılımı daha muntazamdır. Kabuk gövde üzerinde ise gövdenin yere çarptığı bölgede gerilme yoğunlaşması daha belirgindir. Tablo 1'de dört değişik zaman için verilmiş olan resimlere bakıldığı vakit kabuk gövdenin zemin ile çarpışması nedeni ile beklenildiği gibi daha fazla şekil değiştirdiği ve zemine doğru basıldığı açık bir şekilde kendini göstermektedir. Özellikle kuyruk uzantısının 0.044 sn'den sonra yere tamamen yapışık hale geldiği gözlenmiştir. Güçlendirilmiş kabuk gövde durumunda ise Şekil 10'da görüldüğü gibi sadece ön gövde güçlendirildiği için, kuyruk uzantısının 0.044 sn'den sonra ankastre kiriş gibi davrandığı ve kuyruk uzantısının arka kısmının yere çarptığı görülmektedir. Kuyruk uzantısının arka kısmının yere çarpmasından sonra 0.088 sn'deki resimden de açık bir şekilde görüldüğü gibi kuyruk uzantısı geri sıçramıştır. Her iki durum içinde gerilme dalgalarının gövde üzerinde dağılımı net bir şekilde gözükmektedir.

Şekil 4'de uçuş testleri sırasında sert inişlerde yaşanan kırım bölgesinin açık sonlu elemanlar analizi ile belirlenebilmesi için hava aracının yere çarpmasından sonra 0.033-0.055 saniye aralığı daha detaylı olarak Şekil 11'de incelenmiştir. Şekil 11'de hava aracının yere çarpmasından sonra gerilme dalgalarının yayılımı net bir şekilde gözükmektedir. Ayrıca Şekil 11'de kuyruk uzantısında gerilme yoğunluğu yaşanan bölge de işaretlenmiştir. Bu bölgenin Şekil 4'de sert iniş sırasında sık olarak yaşanan kırım bölgesi ile son derece yakın olduğu görülmektedir. Bu bölge kuyruk uzantısının kesit alanın daraldığı bölgeye denk gelmektedir. Açık sonlu elemanlar analizi ile önceden öngörülemeyen kırım bölgesinin belirlenmesi mümkün olmuştur.



Şekil 11. Güçlendirilmiş kabuk gövdenin orta katmanındaki gerilme dağılımı (0.033 – 0.055 sn aralığı)

Güçlendirilmiş kabuk gövdenin toprak zemine düşük hızlı çarpma analizleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil 12 rijit ve toprak zemin inişleri sırasında gövde altında azami gerilme yaşayan bölgede bir düğüm noktasındaki gerilmenin zamana göre değişimini vermektedir. Güçlendirilmiş kabuk gövde iniş benzetimlerinde rijit zemin üzerine iniş durumunda çarpışmadan sonraki ilk anlarda düğüm noktası üzerindeki gerilme artışı toprak zemin inişi durumuna göre belirgin bir şekilde yüksek olmuştur. Ayrıca rijit zemin üzerine iniş sırasında düğüm noktasında meydana gelen azami gerilme değerinin de toprak zemine inme durumunda meydana gelen azami gerilmeden yüksek olduğu görülmektedir. Azami gerilme zamanından sonra ise toprak zemine inme durumunda düğüm noktası üzerindeki gerilmenin belli bir süre rijit zemine inme durumunda düğüm noktasında meydana gelen gerilmeden daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Ancak Şekil 12 sadece bir düğüm noktasındaki gerilmenin çarpışma sonrasındaki zamana göre değişimini vermektedir. Toprak ve rijit zemin üzerine inişlerin hava aracının davranışına olan etkisini daha iyi belirleyebilmek için hava aracının bütününde gerinim enerjisi dağılımınının zamana göre değişimini hesaplamak gerekmektedir. Bu makaledeki çalışmanın gelecekte genişletilmesi ve bu tür hesaplamaların daha geniş olarak sunulması önerilmektedir.

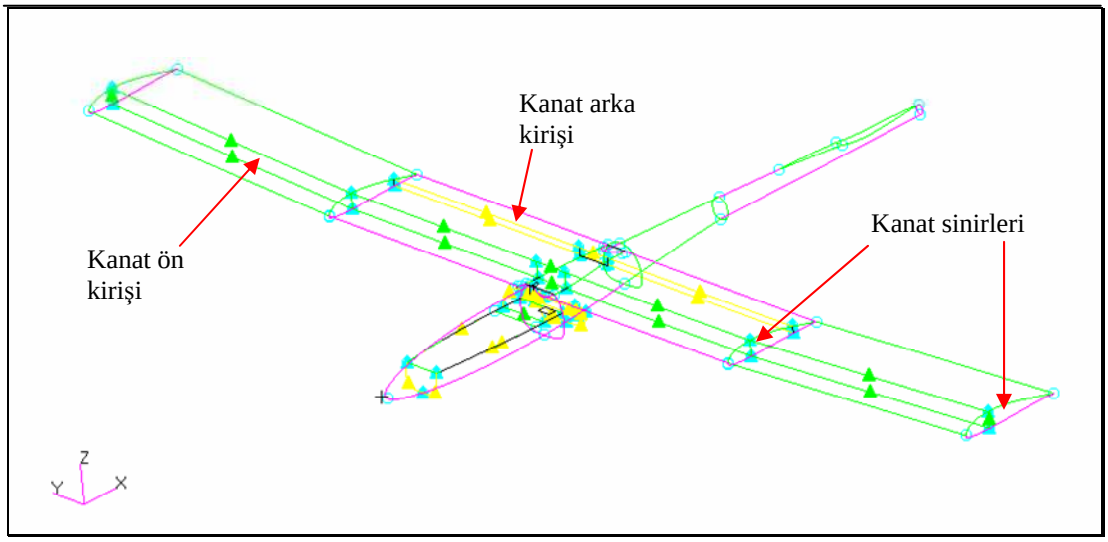


Şekil 12. Azami gerilme noktasındaki eşdeğer gerilmenin zamana göre değişimi

4.3. Bütünleşik güçlendirilmiş gövde-iç yapılı kanat analizleri

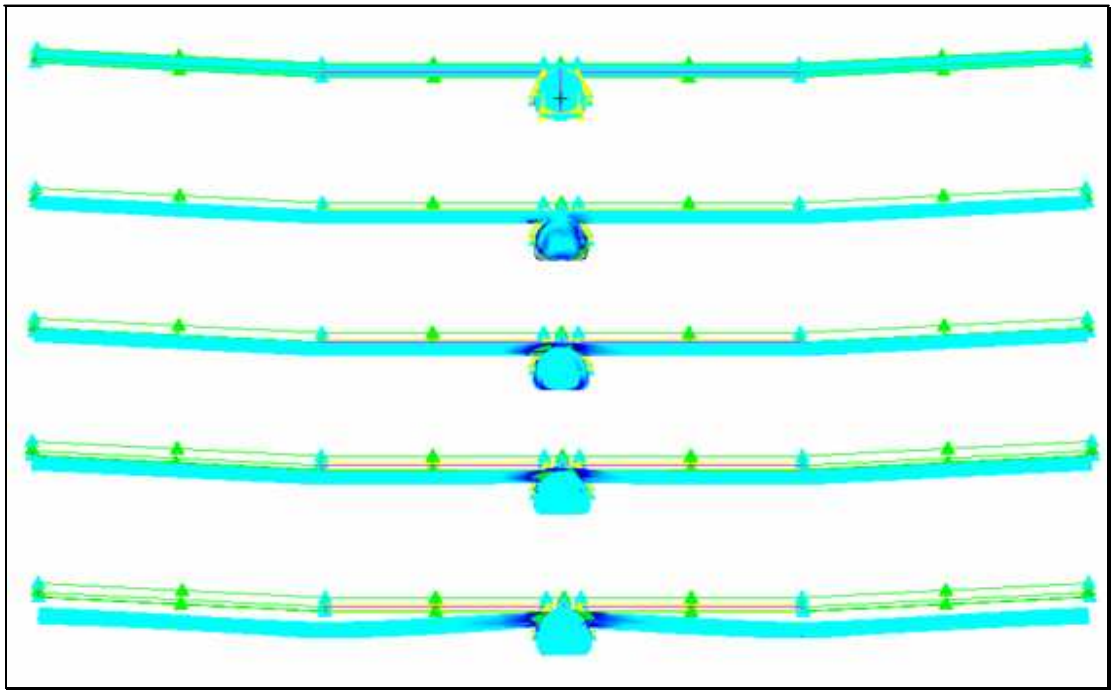
Bu makale kapsamında sunulacak olan son açık sonlu elemanlar analiz hesaplamaları bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanat analizlerini içermektedir. Mini insansız hava aracının yere düşük hızlı çarpma analizleri ile ilgili daha detaylı sonuçlar Yüksel [13] tarafından ayrıntılı bir şekilde raporlanmıştır. Şekil 13 bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanadın tel kafes modelini göstermektedir. Kanat iki adet iç kiriş yapısı ve dört adet sinir yapısı ile güçlendirilmiş ve gövde ile bütünleşik hale getirilmiştir. Bu çalışmanın ana amacı hava aracının yere çarpmasından sonra kanadın nasıl şekil değiştirdiği üzerinde fikir elde etmektir. Bu analizlerde kanadın ağırlığının da eklenmesi nedeni ile özellikle kanat gövde birleşim yerlerinde gerilim değerleri güçlendirilmiş gövde durumuna nazaran daha yüksek çıkmıştır. Ancak daha

öncede ifade edildiği gibi gerilim yoğunlaşmasının olduğu yerler gerçek üretim modeli ile uyumlu değildir. Çözüm sürelerinin makul seviyelerde tutulması için sonlu elemanlar modelinin karmaşık olmamasına özen gösterilmiştir.



Şekil 13. Bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanat

Şekil 14 bütünleşik kanat ve gövdenin rijit zemine düşük hızlı çarpmasından sonra gövde-kanat birleşim bölgesindeki gerilme dalgasının yayılımını ve hava aracının maruz kaldığı şekil değiştirmeyi göstermektedir.



Şekil 14. Bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanat üzerindeki gerilme dağılım şekilleri (sırasıyla; t=0 sn, t=0.022 sn, t=0.045 sn, t=0.056 sn, t=0.075 sn)

Şekil 14’te yere çarpma öncesindeki hava aracı geometrisinin tel kafes modeli de yer almaktadır. Çarpma sonrasında gövde üzerinden yayılan gerilim dalgalarının gövde kanat bağlantısı üzerinden kanada geçtiği ve kanat üzerinde yayılmaya başladığı Şekil 14’te görülmektedir. Bunun dışında çarpmanın etkisi nedeni ile gövdenin ve kanadın esnemesi de açık bir şekilde gözükmektedir. Hava aracının zemin ile temasından sonra kanat üzerinde dihedralin başladığı kısmın esneme nedeni ile yere en çok yaklaşan bölge olduğu görülmektedir. Ancak kanat yer ile temas etmemektedir. Gövde üzerine inen insansız hava araçlarında aranılan en önemli özellikleriden birisi de iniş sırasında kanadın yer ile temas etmemesidir. Kanadın da dahil olduğu analizlerde kanadın sadece yapısal ağırlığı hesaba katılmış ve kanat üzerine yapısal olmayan ağırlık eklemesi yapılmamıştır. Bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanat analizleri sonucunda kanat ucunun kanat gövde birleşim noktasına göre 2 cm civarında esnediği belirlenmiştir. Şekil 14’de kanat gövde birleşiminde gerilme yoğunluğu yaşandığı görülmektedir. Gerçekçi gerilme değerleri elde etmek için bu bölgenin üretim de olduğu gibi detaylı bir şekilde modellenmesi kırım öngörüsü yapabilmek için gereklidir.

5. SONUÇ

Bu makalede kompozit malzemeden üretilmiş olan bir mini insansız hava aracının rijit ve toprak zemine gövde üzeri düşük hızlı darbeli inişi açık sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İnsansız hava aracının rijit ve toprak zemin üzerine düşük hızlı inme benzetimleri MSC Dytran programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen hesaplamalar düşük hızlı çarpma nedeni ile hava aracının değişik yapısal elemanlarında meydana gelen gerilme ve şekil değişikliğinin zamana göre değişiminin belirlenmesine yöneliktir. Ana amaç bu sonuçları kullanarak tasarımcıya yön vermektir. Hasar oluşumu ve ilerleyişi bu çalışma kapsamında ele alınmamıştır. Analiz modelini çok yüklü hale getirmemek için çalışma kapsamında analiz modeline kuyruk bölgesi dahil edilmemiştir.

Uçuş testleri sırasında sert inişlerde insansız hava aracının gövde-kuyruk uzantısındaki bir bölgede yaşanan kırım bölgesi açık sonlu elemanlar analizleri neticesinde belirlenebilmiştir. Ayrıca bütünleşik güçlendirilmiş gövde ve iç yapılı kanat analizleri sonucunda kanadın yer ile temas etmediği gerçekleştirilen analizler sonucunda ortaya çıkmıştır. Düşük hızlı yere çarpma analizleri neticesinde kompozit katmanlarda gerçekçi gerilme değerlerinin elde edilebilmesi için analiz modelinde özellikle hava aracının kesişen yüzeylerinin üretim ile uyumlu bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Bu çalışmanın gelecekte bir iş kalemi olarak ele alınması önerilmektedir.

Bu çalışma açık sonlu elemanlar yönteminin mini insansız hava araçlarının gövde üzerine inme benzetimlerinin gerçekleştirilmesinde etkili olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Açık sonlu elemanlar yönteminde kararlı çözüm elde etmek için kullanılan zaman aralığı çözüm ağının sıklığı ile çok yakından ilgilidir. Bu nedenle bütün geometrik ayrıntıların yer aldığı hava aracı modellerinin gövde üzerine inme analizlerinin güçlü bilgisayarlarda gerçekleştirilmesi sayısal sonuçların güvenilirliği açısından son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

[1]Unmanned Vehicle Systems International, *http://www.uvs-info.com/Yearbook2007/158_UAS_Categories-Tables-Figures.pdf*, son ulaşım tarihi 11 Mart, 2009.

[2] Unmanned Vehicles Handbook, The Shephard Press Ltd., *http://www.aerospace-index.com/images/2006homeai/UVH08.pdf*, 2008, son ulaşım tarihi 13 Mayıs, 2009.

[3] Greszczuk, L. B., *"Damage in Composite Materials due to Low Velocity Impact"*, Impact Dynamics, 55-94, John Wiley & Sons, 1982.

[4] Choi, H.Y., Wang, H.S., Chang, F.K., "*Effect of Laminate Configuration and Impactor's mass on the Initial Impact Damage of Graphite/Epoxy Composite Plates due to Line-Loading Impact*," Journal of Composite Materials, 26, 804-827, 1992.

[5] Erarslanoğlu, G., Ardıç, E.S., Kayran, A., Bolcan, C., "*A Method of Failure Prediction in Laminated Composites Subjected to Low Velocity Impact*", Proceedings of Second Biennial European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA), 2, 111-118, 1994.

[6] Lawcock, G.D., Ye, L., Mai, Y.W., Sun, C.T., *"Effects of Fibre/Matrix Adhesion on Carbon-Fibre-Reinforced Metal Laminates- II, Impact Behaviour,"* Composites Science and Technology, 12, 1621-1628, 1998.

[7] Shyr, T.W., Pan, Y.H., *"Impact Resistance and Damage Characteristics of Composite Laminates,"* Composite Structures, 62 (2), 193-203, 2003.

[8] Choi, I.H., *"Low-velocity impact analysis of composite laminates under initial in-plane load"*, Composite Structures, 86 (1-3), 251-257, 2008.

[9] Zukas, J.A., *"Introduction to hydrocodes"*, Elsevier Ltd., Oxford, UK. 2004.

[10] MSC Software Corporation., *"MSC Dytran Theoretical Manual"*, 2005.

[11] MSC Software Corporation., *"MSC Laminate Modeler User's Guide"*, 2005.

[12] Bowles, J.E., "*Foundation Analysis and Design*", McGraw-Hill Publishing Co., 1996.

[13] Turgut, T., *"Manufacturing and Structural Analysis of a Lightweight Sandwich Composite UAV Wing"*, Mastır tezi, ODTÜ, 2007.

[14] Yüksel, S., *"Low Velocity Impact Analysis of a Composite Mini Unmanned Air Vehicle During Belly Landing"*, Mastır tezi, ODTÜ, 2009.