

USMOS 2011
DÖRDÜNCÜ ULUSAL
SAVUNMA UYGULAMALARI
MODELLEME VE SİMÜLASYON
KONFERANSI

BİLDİRİ KİTABI

EDİTÖRLER

Veysi İŞLER

Halit OĞUZTÜZÜN

Nur Evin ÖZDEMİREL

Bilge Kaan GÖRÜR

14-15 HAZİRAN 2011
ODTÜ KÜLTÜR VE KONGRE MERKEZİ
ANKARA

ISBN: 978-605-88041-0-4

Kapak Tasarım

Aslı YILMAZ

Basım Yeri

X Matbaacılık, Ankara

Telefon

ÖNSÖZ

2005 yılında birincisi yapılan Ulusal Savunma Uygulamaları Modelleme ve Simülasyon (USMOS) Konferansı 2011 yılında dördüncü kez gerçekleştiriliyor. Bu yıl konferans ODTÜ-TSK Modelleme ve Simülasyon Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından Genelkurmay Başkanlığı, Milli Savunma Bakanlığı, Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü ve Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü desteği ile düzenlenmiştir.

Bu yıl USMOS 2011 konferansına 110 adet bildiri özeti gelmiş, bir sonraki aşamada bunların 89'unun tam metni değerlendirilmek üzere alınmıştır. Değerlendirilen bildiri sayısında önceki yıllarda gerçekleştirilen USMOS konferanslarındakine oranla önemli bir artış olmuştur. Gönderilen bildirimler toplam 84 program kurulu üyesi arasında paylaştırılmıştır. Her bildiri en az 2 hakem tarafından değerlendirilmiş ve toplam 289 bildiri değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yıl yapılan iki aşamalı değerlendirme sonucunda 89 bildirin 70'i kabul edilmiştir. Teması "Ulusal Kritik Teknoloji Olarak Modelleme ve Simülasyon" olan konferansta, kabul edilenler arasında en çok bildirin yer aldığı konunun 20 bildiriyle "mühendislik uygulamalarında simülasyon" olduğu, bunu 15 bildiriyle "karar destek amaçlı modelleme ve simülasyon" ve 8 bildiriyle "dağıtık simülasyon ve birlikte çalışabilirlik" konularının izlediği görülmüştür.

Kabul edilen bildirimler arasında 23 adet bildiri sanayiden, 16 adet bildiri üniversitelerden, 10 adet bildiri Türk Silahlı Kuvvetleri'nden, 3 adet bildiri ise kamu kurumlarından gelmiştir. Kalan bildirimlerden 13 adet bildirin sanayi-üniversite işbirliği kapsamında, 4 adet bildirin kamu-üniversite işbirliği kapsamında, 1 adet bildirin ise kamu-üniversite-TSK işbirliği kapsamında hazırlandığı görülmüştür.

Daha önceki konferanslarda olduğu gibi bu yıl düzenlenen konferansa da ilgi oldukça artmış görünmektedir. Hem kayıt olan katılımcı sayısı hem de bildiri sayısında bariz artış bulunmaktadır. Değerlendirmeye alınan bildiri sayısındaki önemli artış Modelleme ve Simülasyon alanında ülkemizde üretilen ve paylaşılan bilginin arttığı anlamına gelmektedir. Milli savunma sanayinde son yıllardaki gelişmeler bu tür konferanslara yansımakta, üretilen bilginin bu konferanslarda paylaşımı yoluyla bilginin artışı ve sanayiye dönüşünün hızlanması beklenmektedir.

Bu yıl sergi alanında 24 kurum yer almaktadır. Ayrıca, konferansın son oturumunda "Ulusal Kritik Teknoloji Olarak Modelleme ve Simülasyon" başlıklı bir panel düzenlenmiştir. Bu panelde farklı paydaşların temsilcileri Modelleme ve Simülasyonun ülkemizde kritik bir teknoloji olarak daha etkin üretilmesi ve kullanılması için görüşlerini paylaşacaklardır.

USMOS 2011 ODTÜ, Ankara

Bu konferansın düzenlenmesine katkıda bulunan Genelkurmay Başkanlığı, Milli Savunma Bakanlığı, Savunma Sanayii Müsteşarlığı, Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü, Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü ve Hava Harp Okulu Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü'ne; ODTÜ Rektörlüğü'ne; Savunma Sanayii İmalatçılar Derneği'ne; konferansın koordinasyon ve yürütme kurullarının üyelerine; konferansın davetli konuşmacısı Erdal Çayırcı'ya; bildirileri değerlendiren hakemlere; deneyim ve birikimlerini paylaşan panel konuşmacılarına; konferansa bildiri gönderen ve sunan yazarlara; oturumları yöneten oturum başkanlarına; sergi alanında yer alan kurumlara; sponsor olan sanayi kuruluşlarına ve tüm katılımcılara teşekkür ederiz.

EDİTÖRLER

Veysi İŞLER

Halit OĞUZTÜZÜN

Nur Evin ÖZDEMİREL

Bilge Kaan GÖRÜR

USMOS 2011 ODTÜ, Ankara

DÜZENLEYEN KURULUŞLAR



ODTÜ-TSK MODSİMMER



ODTÜ



Genelkurmay Başkanlığı



Milli Savunma Bakanlığı



Savunma Sanayii Müsteşarlığı



Kara Harp Okulu



Deniz Harp Okulu



Hava Harp Okulu

KONFERANS KURULLARI

Koordinasyon Kurulu

Veysi İŞLER (Konferans Başkanı, ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Zübeyde ÇAĞLAYAN (SSM)

Mahmut BAYRAK (MSB)

Kadir TEMİZ (Gnkur. Bşk.lığı)

Berna DENGİZ (Başkent Üniv.)

Ali IŞIK (Kara Harp Okulu)

İhsan SABUNCUOĞLU (Bilkent Üniv.)

Mustafa İhsan KIZILTAŞ (Ortadoğu Teknopark A.Ş.)

Kemal SALAR (Dz. K.K.lığı)

Faruk A. YARMAN (SASAD)

Yürütme Kurulu

Veysi İŞLER (Konferans Başkanı, ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Halit OĞUZTÜZÜN (Program Kurulu Eşbaşkanı, ODTÜ)

Nur Evin ÖZDEMİREL (Program Kurulu Eşbaşkanı, ODTÜ)

Altan ÖZKİL (Atılım Üniv.)

Levent KANDİLLER (Çankaya Üniv.)

M. Paşa UYSAL (Kara Harp Okulu)

Nebi GÜL (MSB)

Semra GÜLEÇ (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Bilge Kaan GÖRÜR (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Abdullah Murat ŞENYİĞİT (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Ömer ARSLAN(Gnkur. Bşk.lığı)

Erkan KÖSE (Kara Harp Okulu)

Ekrem Oğuz ÜLKER (SSM)

Elif YAZAR (Ortadoğu Teknopark A.Ş.)

Adnan SUSOY(SSM)

Ahmet DİNÇ(SSM)

Akay ÇAĞLAYAN (Dz. K.K.lığı)

Anıl Bozcuk ŞENGEZER (ODTÜ-TSK MODSİMMER)

Fatih TÜRKSOYU (Gnkur. Bşk.lığı)

Hakan Soner APLAK (Kara Harp Okulu)

Halil Turan KASAPÇOPUR (Kara Harp Okulu)

İlker AKGÜN (Gnkur. Bşk.lığı)

Kayhan İMRE (Hacettepe Üniv.)

Ömer ÇETİN (Hv. Kuv. K.)

Taner ALTUNOK (Çankaya Üniv.)

Program Kurulu

M. Ali AKÇAYOL
İbrahim AKGÜN
A. Ziya AKTAŞ
A. Oğuz AKYÜZ
Nafiz ALEMDAROĞLU
Nedim ALPDEMİR
Fulya ALTIPARMAK
Taner ALTUNOK
H.Soner APLAK
İbrahim ARAS
Haluk AYGÜNEŞ
Selim Saffet BALCISOY
Özkan BALI
Yahya BAYKAL
Semih BİLGİN
Müslim BOZYİĞİT
Serhat BURMAOĞLU
Aysu Betin CAN
Tolga CAN
Kürşat ÇAĞILTAY
Hakan ÇAĞLAR
Celal Zaim ÇİL
Oğuz DİKENELLİ
Ali DOĞRU
Umut DURAK
Şebnem DÜZGÜN
Serpil EROL
Filiz ERSÖZ
Uğur GÜDÜKBAY
Serkan GÜMÜŞ
Murat GÜNAL
Ziya GÜVENÇ
Hüseyin HACIHABİBOĞLU
Mehmet F. HOCAOĞLU
Kayhan İMRE
Veysi İŞLER
Mehmet KABAK
Bilgin KAFTANOĞLU
Levent KANDİLLER
Kasım Murat KARAKAYA
Ercüment KARAPINAR
Orhan KARASAKAL

Sinan KAYALIGİL
Şevki KAYIR
Yiğit KAZANÇOĞLU
Saadettin Erhan KESEN
Ömer KIRCA
Erkan KÖSE
Funda KURTULUŞ
M. Kemal LEBLEBİCİOĞLU
Halit OĞUZTÜZÜN
Aydın OKUTANOĞLU
Bülent ÖRENCİK
N. Evin ÖZDEMİREL
Bülent ÖZKAN
Yakup ÖZKAZANÇ
Altan ÖZKİL
Özgür ÖZPEYNİRCİ
Tayfur ÖZTÜRK
Faruk POLAT
Şeref SAĞIROĞLU
Ümit Sami SAKALLI
Osman SAN
Ece Güran SCHMIDT
Canan SEPİL
Fatih Erdoğan SEVİLGİN
Cevat ŞENER
Ozan TEKİNALP
Tuğba TEMİZEL
M. Caner TESTİK
Hatice Sancar TOKMAK
Okan TOPÇU
İsmail Hakkı TOROSLU
Ufuk TÜREN
Y. Ziya UMUL
Murat Paşa UYSAL
Samim ÜNLÜSOY
Fatoş Yarman VURAL
İlkay YAVRUCUK
Adnan YAZICI
Ali YAZICI
Orhan YILDIRIM
Erdal YILMAZ
Orkun ZORBA

İÇİNDEKİLER

Önsöz	III
Düzenleyen kuruluşlar	V
Konferans kurulları	VII
Sponsorlar	XIII
Emeği geçenlere teşekkür	XIV
İçindekiler	XIII
Bildiriler	1
Kavramsal modelleme	3
Fatih Küçükyavuz, N. Alpay Karagöz, Onur Demirörs. Görev uzayındaki kavramsal modellerin simülasyon uzayındaki modellere dönüşümü.....	3
Ömer Ünal, Okan Topçu. İnsansız suüstü aracı karakol görevinin NATO veri modeli (JC3IEDM) ile modellenmesi	14
Emre Özkütük. SMAA – Stokastik çok kriterli kabul edilebilirlik analizi	26
MODSİM sistemleri yönetimi	38
Ayçin Gürdamar, Çağatay Ündeğer, Tayfun Cumhur. Hava aracı parametrelerinin optimizasyonu için simülasyon tabanlı tedarik yaklaşımı	38
Oray Kulaç. Modelleme ve simülasyon projelerinde proje yönetim modelleri üzerine bir inceleme	50
Zuhal Kale Demirkıran, Taner Altunok, Altan Özkil. Sistem tedarik sürecinde teknoloji değerlendirilmesi için simülasyon kullanımı	59
Mühendislik uygulamaları: Sensörler I	67
Nebi Gül, İlker İcen, Ceyda Berk Karakulak. Elektro-optik sistemlerde performansı önceden tanımlayacak bir matematiksel model geliştirilmesinin görüntü yoğunlaştırıcı tüp(GYT)'e uygulaması.....	67
Kadir Eraltay, Yakup Özkazanç. FMCW radarlarda çoklu hedef çözümleme yeteneğinin modellenmesi ve simülasyonu.....	79
Muhammed Duman, Ali Cafer Gürbüz. Yere işleyen radarda veri benzetimi ve görüntüleme yöntemlerinin geliştirilmesi	90

USMOS 2011 ODTÜ, Ankara

Eğitim amaçlı MODSİM I	101
Yasin Kaygusuz, Koray Özel, Tolga İnal. Dağınık aviyonik mimariler için küçük ölçekli bir uçuş gösterge simülatörü tasarım ve uygulaması.....	101
Ertan Çınar, Fulya Aybek, Cem Çetek, Aydan Cavcar. Radar simülatöründe yeni teknolojilerin kullanımı ve hava trafik kontrol eğitimine katkıları	113
Fulya Aybek, Ertan Çınar, Cem Çetek, Aydan Cavcar. Hava trafik kontrol eğitimi ve meydan kapasitesi geliştirilmesinde meydan kontrol simülatörü uygulamaları.....	123
Karar destek amaçlı MODSİM I	134
Ahmet Kabarcık, Levent Kandiller, Haluk Aygüneş. Ağların hareketli yol-kesici tarafından en kısa güzergâh kullanılarak kesilmesi.....	134
Murat Karakaya. Yollardan geçiş güvenliğini sağlayacak bir sensör ağının modellenmesi ve uygulanabilirliğinin benzetimle denemesi	146
Mehmet Özer Metin, Mert Karadağlı, Onur Ak. Güvenlik zafiyet analizi ve risk değerlendirme sistemi	158
Kerem Kaynar, Mehmet Özer Metin. Siber güvenlik ve trafik analiz simülasyon ortamı	170
Mühendislik uygulamaları: Sensörler II	182
Koray Başbilen, Murat Efe, Murat Atun, Orkun Zorba. Radar benzetiminde oluk etkisinin modellenmesi	182
Ozan Doğan, Tayfun Aykır, Abdullah Kurtoğlu. SAR sistem tasarımı amacıyla bir mühendislik aracı	193
Caner Özdemir, Betül Yılmaz, Feyza Toktaş. Yüksek frekanslarda büyük ve karmaşık hedeflerin radar kesit alanı benzetimi yazılımının geliştirilmesi	202
Halil Uysal, Ali Rıza Bozbulut, Mete Severcan. Geniş bantlı elektronik karıştırıcı etkinliğinin uzay – zaman uyarlamalı radar sistemlerinde bastırılmasının modellenmesi	212
Dağıtık simülasyon ve birlikte çalışabilirlik I	223
Kerem Kaynar, Mehmet Özer Metin. Büyük ölçekli ağlar için sanal sına ortamı	223
Hüseyin Kutluca, Turgay Çelik, Günay Özkan. Füze sistemleri için geliştirilecek benzetimlerinde taktik çevre benzetimi kullanımı	235

YÜKSEK FREKANSLARDA BÜYÜK VE KARMAŞIK HEDEFLERİN RADAR KESİT ALANI BENZETİMİ YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ

Caner Özdemir ^(a), Betül Yılmaz ^(b), Feyza Toktaş ^(c)

^(a) Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yenişehir 33343
Mersin, cozdemir@mersin.edu.tr

^(b) Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yenişehir 33343
Mersin, betuly@mersin.edu.tr

^(c) Mersin Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yenişehir 33343
Mersin, feyzatoktas@mersin.edu.tr

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek frekanslarda büyük ve karmaşık hedeflerin Radar Kesit Alanı (RKA) değerlerini oldukça hızlı ve verimli bir şekilde hesaplayan benzetim kodu geliştirilmiştir. Geliştirilen benzetim kodu, Geometrik Optik (GO) ve Fiziksel Optik (FO) teorilerini kullanan Seken Işın Yöntemine (SIY) [1] dayanmaktadır. Benzetim kodunun dayandığı kuramsal çıkarım kısaca verilmiştir. Literatürdeki RKA değerleri bilinen çeşitli referans hedefler kullanılarak benzetim kodu test edilmiştir. Geliştirilen kod, söz konusu hedeflerden saçılma hesabı kullanılarak doğrulandıktan sonra elektriksel olarak büyük ve karmaşık bir hedeften elektromanyetik saçılma ve RKA hesabı benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim zamanı, mevcut elektromanyetik benzetim yazılımı [2] ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik benzetim, fiziksel optik, geometrik optik, nümerik elektromanyetik, radar kesit alanı, seken ışın yöntemi.

DEVELOPMENT OF SIMULATION SOFTWARE FOR THE RADAR CROSS SECTION OF LARGE AND COMPLEX TARGETS AT HIGH FREQUENCIES

ABSTRACT

In this work, we set out to develop a fast and effective simulation code for the fast calculation of radar cross section (RCS) from large and complex-shaped targets at high frequencies. The code is based on the famous shooting and bouncing ray (SBR) method [1] that uses geometric optics (GO) and the physical optics (PO) theory. The theory behind the implementation of the code is briefly given. The code is tested with various benchmark targets whose RCS values can be readily found in the literature. After validating the code with those objects, the electromagnetic scattering and the RCS calculation from electrically large and complex shaped objects are simulated with the code. The simulation time of our code is also compared with a commercially available electromagnetic simulator software [2] for comparison purposes.

Keywords: Electromagnetic simulator, geometric optics, numerical electromagnetic, physical optics, radar cross section, shooting and bouncing rays.

1. GİRİŞ

Doğrusal boyutları birkaç dalga boyunu aşan karmaşık nesnelere saçılan elektromanyetik (EM) alanların hesaplanması ve RKA değerlerinin bulunması büyük önem arz etmekte olup, pek çok çalışmanın da konusu olmuştur [1]. RKA, bir cismin radardaki görünürlük miktarı veya radar sinyallerini yansıtma miktarı olarak tanımlanabilir [3]. Elektriksel olarak büyük ve karmaşık nesnelere saçılan elektrik alanı; tam dalga yöntemleri (Moment metodu ve sonlu farklar gibi) ile hesaplamak çok yüksek boyutlu matris denklemlerin çözümünü gerektirdiğinden günümüz bilgisayarlarında mümkün değildir [4]. Son yıllarda bilgisayarlardaki ve saçılan alan analiz kavramlarındaki gelişmeler ile karmaşık ve büyük cisimlerin saçılan alanlarının hesabı yüksek frekans teknikleri ile mümkün olabilmektedir [5]. Literatürde bu yöntemlerden Geometrik Optik ve Fiziksel Optik (GO-FO); saçılan dalga yayılımını tanımlayan yüksek frekans tekniklerinden olup, saçılan fiziksel alan yaklaşık olarak, gerçek değere çok yakın şekilde bulunabilmektedir [6]. Bu nedenle yüksek frekanslarda, büyük ve karmaşık hedefler için saçılma kestirimi yapabilen RKA hesabında en etkin yöntem olarak FO bazlı Seken Işın Yöntemi (SIY) başarılı bir şekilde kullanılmaktadır [1].

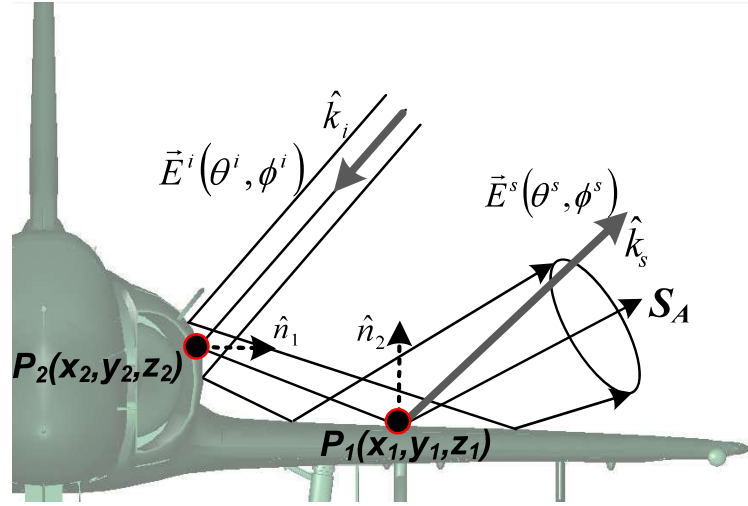
Bu bildiride, yüksek frekanslarda büyük ve karmaşık hedeflerden EM saçılma alanlarını hesaplayan ve bunun sonucunda RKA değerlerini hızlı ve verimli bir şekilde tahmin edebilen SIY-FO yöntemini kullanan bir benzetim kodu geliştirilmiştir. Söz konusu

kod, sadece elektriksel olarak büyük mükemmel iletken nesnelere saçılan alanı oldukça hızlı bir şekilde hesaplayabilmektedir. Benzetim kodu, literatürde RKA değerleri bilinen çeşitli referans hedefler için test edilmiştir. Aynı zamanda mevcut hedefler için kod ile elde edilen sonuçlar, ticari bir EM yazılımı olan FEKO[®]'nin sonuçları ve ölçüm/analitik sonuçlar ile de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Geliştirilen kod ile referans hedeflerden saçılma doğrulandıktan sonra özellikle askeri önem arz eden bazı karmaşık platformlar için RKA analizi gerçekleştirilmiştir.

2. SEKEN IŞIN YÖNTEMİ İLE SAÇILMA HESABI

Seken Işın Yöntemi (SIY), büyük ve karmaşık nesnelere elektromanyetik saçılmayı yüksek frekanslarda başarılı şekilde tahmin edebilen nümerik bir yöntemdir. SIY yönteminde, çok yoğun ışın demeti platforma doğru gönderilir, ışınlar Geometrik Optik (GO) kurallarına göre takip edilir (Şekil 1). Her bir ışının alan şiddeti, Yansıma katsayıları (Γ) ve Işın-Tüpü ıraksama faktörleri (DF) hesaplanarak bulunur. Dolayısıyla Şekil 1'den de görüleceği üzere P_1 noktasından saçılan alan, P_2 noktası civarında aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [1,7].

$$\vec{E}(x_2, y_2, z_2) = (DF) \cdot (\Gamma) \cdot \vec{E}(x_1, y_1, z_1) \cdot \exp\left(-jk\left[(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2\right]^{1/2}\right) \quad (1)$$



Şekil 1. Seken Işın Yöntemi Geometrisi

Buna göre P_2 noktası civarına gelen elektrik alan, P_1 'deki elektrik alanın $\vec{k} \cdot \vec{r}$ miktarı kadar faz kaybından sorumlu olan faz terimi ile Γ ve DF katsayılarının çarpılması ile hesaplanır. Dolayısıyla her sekme için, sadece bu üç parametrenin hesaplanması o sekmeye ait elektrik alanın bulunması için yeterli olacaktır.

Elektrik alan takibinin bu şekilde yapılmasından sonra, ışın platformdan ayrılırken, bakış yönüne doğru saçılan elektrik alan aşağıdaki FO saçılma entegrali sayesinde hesaplanır.

$$E^{BS}(\theta, \varphi) = \frac{jk\eta \cdot \exp(-jkr)}{4\pi r} \cdot \iint_{S_A} \vec{J}_S \cdot \exp(j\vec{k} \cdot \vec{r}_N) \cdot \vec{d}s \quad (2)$$

Burada, \vec{k} dalga numarası vektörünü, η ortamın karakteristik empedansını, \vec{r}_N orijinden ışının son çarpma noktasına kadar olan vektörü ve $\vec{J}_S = 2 \cdot \vec{E}(x_N, y_N, z_N) \times \hat{n}$ son sekme yüzeyindeki akım yoğunluğunu vermektedir.

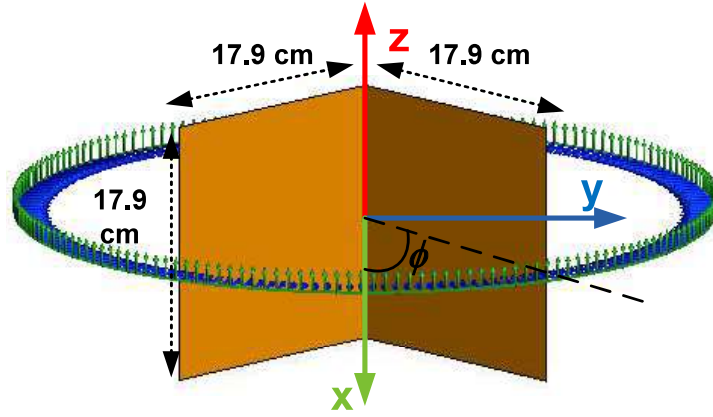
3. REFERANS NESNELER İLE DOĞRULAMA

Bu çalışmada yüksek frekanslarda benzetimi gerçekleştirilecek olan büyük ve karmaşık nesnelere elektromanyetik saçılma hesabı, yukarıda da teorisi kısaca özetlenen SIY'a dayanan C programlama dilinde geliştirilmiş bir kod ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen kod, hedef cismin bilgisayar destekli tasarım dosyasına ihtiyaç duymaktadır. Hedef cismin yüzeyi küçük üçgensel yamalar şeklinde oluşturulur.

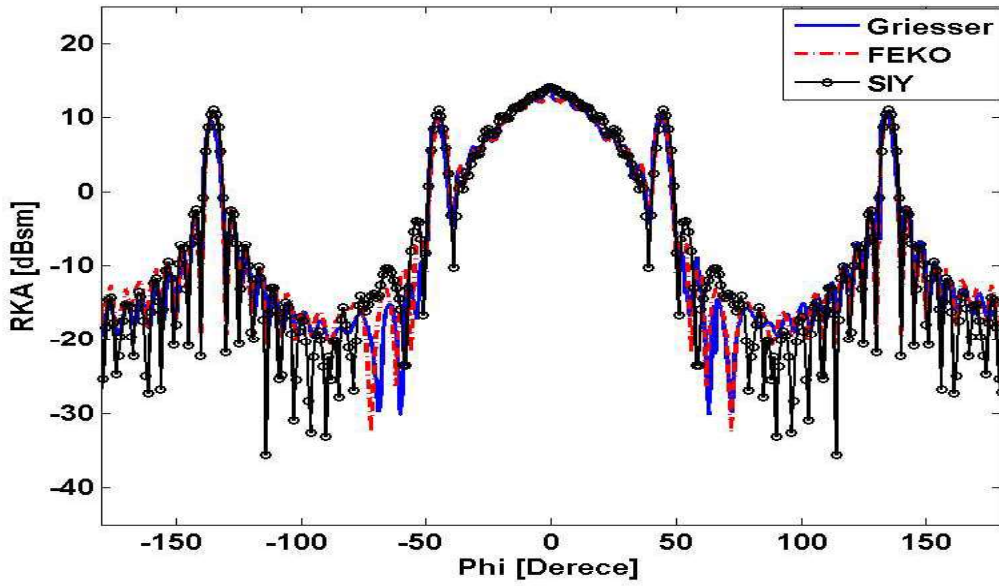
Geliştirmiş olduğumuz kodun doğruluğunu test etmek için, literatürde RKA değerleri analitik olarak bilinen ya da RKA değeri ölçülmüş değişik kanonik yapıların [8,9] farklı frekans ve bakış açılarında benzetimleri gerçekleştirilmiştir.

3.1. Dihedral köşe yansıtıcısı:

Yazılımın çoklu yansımalarındaki başarısını doğrulamak için, geometrisi Şekil 2' de verilen ikili köşe yansıtıcısı kullanılmıştır. Elde edilen sonucu, referans diğer sonuçlarla karşılaştırmak [10] üzere, geometrideki her bir kare plakanın boyutları $5.6 \lambda \times 5.6 \lambda$ olarak seçilmiştir. Bu durumda, plakaların her bir kenarı 9.4 GHz de 17.90 cm olarak hesaplandı. Saçılan elektrik alan, belirtilen frekans değerinde $\theta^i = \theta^s = 90^\circ$ ve $\phi^i = \phi^s = -180^\circ : 180^\circ$ bakış açılarında monostatik olarak dikey-dikey (DD) polarizasyonunda elde edilmiştir. Şekil 3'de farklı yatay açıları ikili köşe yansıtıcısı için benzetim sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Burada kesik olmayan çizgi, literatürden referans olarak alınan Griesser'in ölçüm sonucunu [10], kesikli çizgi aynı benzetim parametreleri kullanılarak FEKO yazılımı ile gerçekleştirmiş olduğumuz benzetim sonucunu ve noktalarla belirtilmiş olan ise geliştirmiş olduğumuz yazılım ile elde ettiğimiz RKA sonucunu göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, geliştirdiğimiz kod ile elde edilen RKA sonucu referans RKA değeri ve FEKO yazılımı sonucu ile mükemmele yakın şekilde örtüşmektedir.



Şekil 2. İkili köşe yansıtıcısı için benzetim geometrisi

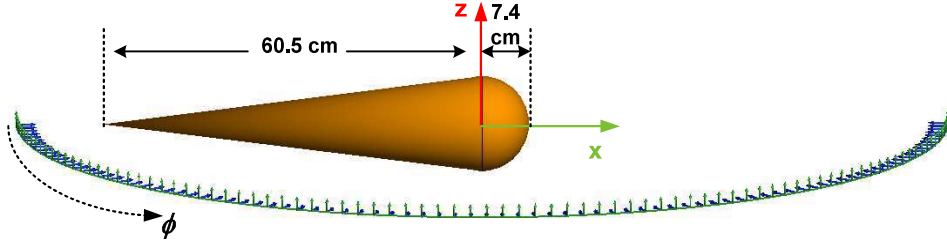


Şekil 3. Farklı yatay açıları için RKA sonuçları: Griesser benzetimi (kesiksiz), FEKO sonucu (kesikli) ve geliştirilen SIY kodu sonucu (noktasal)

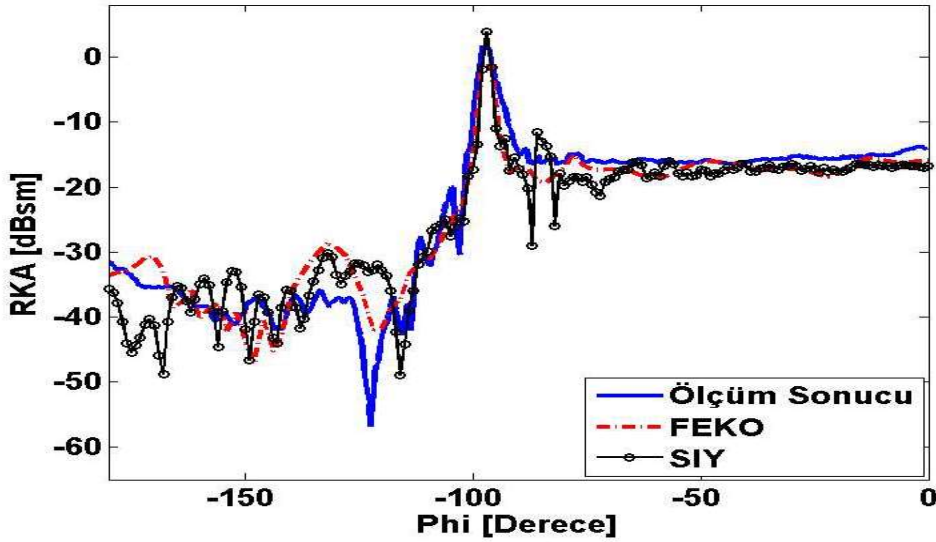
3.2. Koni - küre:

Koni-küre geometrisi literatürde RKA hesaplamalarında sıklıkla karşılaştığımız referans hedef olarak kullanılan bir nesnedir. Bu çalışmada, [10, 11]'deki RKA ölçüm sonucuyla karşılaştırmak üzere, söz konusu geometrinin benzetimi geliştirilen kod ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4, benzetimi gerçekleştirilen geometriyi göstermektedir. Benzetim, 9 GHz frekansında $\theta^i = \theta^s = 90^\circ$ ve $\phi^i = \phi^s = -180^\circ:0^\circ$ bakış açıları için monostatik konfigürasyon ve yatay-yatay (YY) polarizasyonu için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzetim sonucu, aynı parametreler ile hesaplanan FEKO yazılımının

sonucu ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5, farklı yatay açılarında (181 ayrıık açıda) hesaplanan RKA değerlerini göstermektedir. Şekilden de gözlemlenebileceği üzere, geliştirmiş olduğumuz yazılım ile gerçekleştirilen RKA benzetim sonucu, referans ölçüm sonucu ve FEKO yazılımının ürettiği sonuçla oldukça iyi bir şekilde uyuşmaktadır. Sonuçlar arasındaki küçük tutarsızlıklar, farklı benzetimlerde, geometrinin farklı ızgaralama (üçgensel yamaların boyutları) değeri kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kavisli yüzeylere sahip olan koni-küre geometrisinin çok daha küçük düzlemsel üçgensel yamalar kullanılarak, bilgisayar destekli tasarımının (BDT) gerçekleştirilmesi sayesinde; sonuçlar arasındaki uyumun daha iyi olabileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Koni-küre için benzetim geometrisi

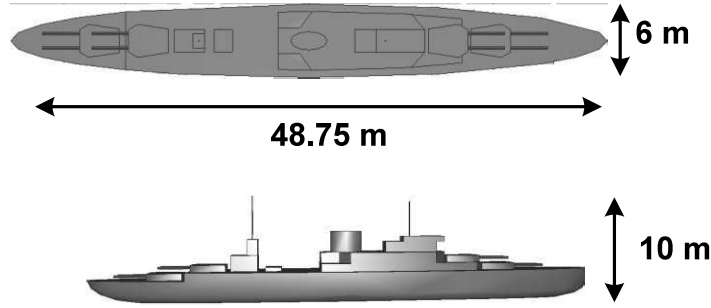


Şekil 5. Farklı yatay açıları için RKA sonuçları: Ölçüm Sonucu [11] (kesiksiz), FEKO sonucu (kesikli) ve geliştirilen SIY kodu sonucu (noktasal)

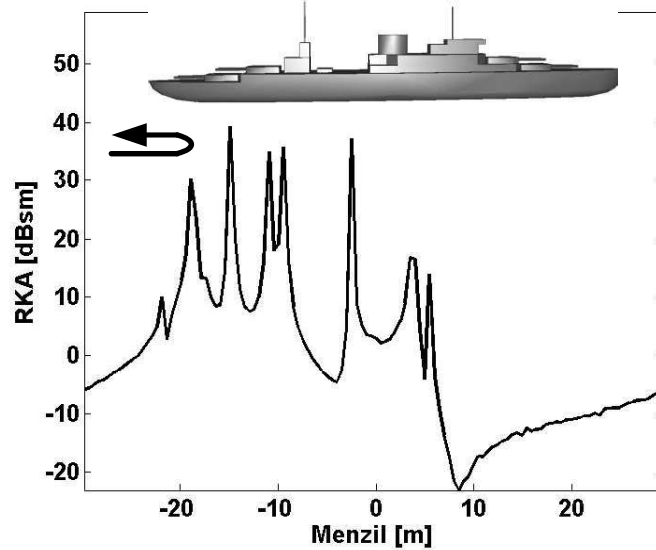
4. BÜYÜK VE KARMAŞIK HEDEFLERİN RKA HESABI

Bir önceki bölümde, kanonik yapı (ikili köşe yansıtıcısı) ve referans bir hedef (koni-küre nesnesi) ile kodumuzun RKA hesaplamalarındaki geçerliliği ve doğruluğu test

edilmiş olup, bu bölümde geliştirilen kod elektriksel olarak büyük ve karmaşık hedeflerin yüksek frekanslardaki elektromanyetik saçılım benzetimi için kullanılacaktır. İlk olarak, BDT modeli Şekil 6'da verilen bir savaş gemisi modeli için elektrik alan saçılım benzetimi gerçekleştirilmiştir. Saçılan elektrik alan, geminin burun yönünden 3 GHz orta frekansında, 300 MHz frekans bandında ve 2.5 MHz eşit aralıklarla toplam 120 ayrı frekans değeri için toplanmıştır. Elde edilen bu ayrı frekans verisine Ters Fourier Dönüşümü uygulanmasıyla mevcut hedefin zaman uzayındaki geri saçılım cevabı elde edilmiştir [12]. Şekil 7'de, hedefe zaman-menzil dönüşümü uygulanması ile elde edilen menzil profili sunulmaktadır. Şekilden de görüleceği üzere önemli saçılma merkezleri, geminin ön tarafındaki toplardan ve orta bölümündeki ikili, üçlü yansıtıcı gibi çalışan yapılardan kaynaklanmaktadır.



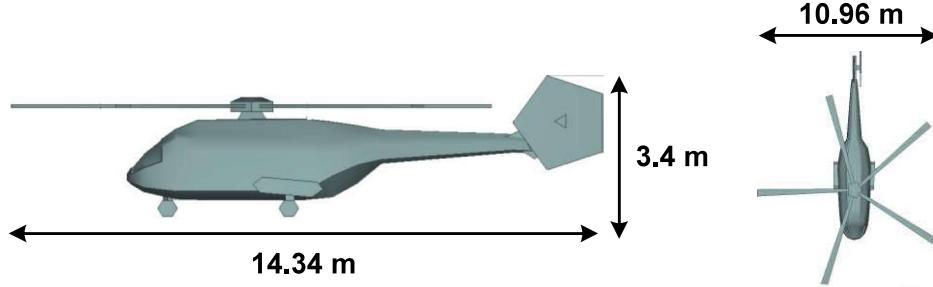
Şekil 6. Savaş gemisinin BDT modeli



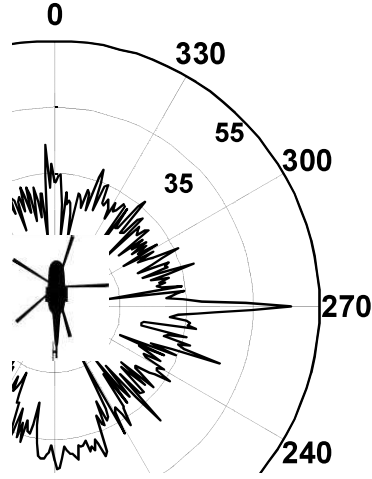
Şekil 7. Savaş gemisi modeline ait menzil profili

İkinci olarak, farklı yatay açılarındaki RKA değişimini gözlemlemek için, bir helikopter modelinin DD-monostatik RKA benzetimi aynı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Benzetim

8 GHz taşıyıcı frekansında 1°lik açı aralıkları ile yapılmıştır. Şekil 8'de hedefin BDT modeli ve Şekil 9'da da farklı yatay açılara karşılık gelen monostatik RKA imzası verilmektedir.



Şekil 8. Helikopterin BDT modeli



Şekil 9. 8 Ghz'de, farklı yatay açılarında helikopter modelinin DD polarizasyonda monostatik RKA değişimi (dBsm)

5. SONUÇLAR

Bu bildiriye yüksek frekanslarda elektriksel olarak büyük ve karmaşık nesnelere saçılan alan hesabı ve RKA kestirimini yüksek doğrulukta ve oldukça hızlı tahmin edebilen SIY-FO yöntemine dayanan bir kod geliştirilmiştir. Geliştirilen kodun güvenilirliğini test etmek amacıyla, analitik sonuç ve ölçüm sonucu literatürde mevcut olan bazı referans hedeflerin RKA benzetimi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar ticari bir EM yazılımı olan FEKO yazılımı sonuçları ile de

karşılaştırılmıştır. Sonuçlar söz konusu kodun, RKA hesabındaki başarısını açıkça ortaya koymaktadır. Kodun güvenilirliği bu şekilde doğrulandıktan sonra, karmaşık ve büyük hedefler için benzetimler gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarından farklı frekans ve bakış açılarına göre hedefin farklı polarizasyonlarında RKA değişimi incelenerek yorumlanmıştır. Çizelge 1’de benzetim zamanlarına göre incelendiğinde, geliştirilen kodun oldukça hızlı ve etkin çalıştığı açıkça görülmektedir.

Geliştirilen kod, mevcut ticari yazılımlarla karşılaştırıldığında; oldukça hızlıdır. Söz konusu kod, görsel ara yüzü tasarımı yapılarak radar endüstrisi sanayisinin kullanımına açılabilir. Mevcut yazılımların çözemediği elektriksel olarak büyük ve karmaşık platformların elektromanyetik çözümlemesi rahat bir şekilde bu kod ile yapılabilir.

Çizelge 1. Benzetimi yapılan hedefler için benzetim zamanı

Nesne	Benzetim Aralığı	Tek bir CPU için toplam benzetim zamanı	
		FEKO	SIY-FO kod
İkili köşe yansıtıcısı (her plaka $5.6\lambda \times 5.6\lambda$)	361 açı değeri	109 sn	10 sn
Koni-küre (uzunluğu: 20.4λ)	181 açı değeri	108 saat 20 dk	9 dk
Savaş gemisi (boyutu $\sim 500\lambda \times 60\lambda$)	120 frekans değeri	-	6 dk
Helikopter (boyutu: $\sim 400\lambda \times 293\lambda$)	361 açı değeri	-	1 saat

6. KAYNAKÇA

- [1] Ling, H., Chou, R.C. ve Lee, S.W. (1989), Shooting and Bouncing Rays: Calculating the RCS of an arbitrarily shaped cavity, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 194-205.
- [2] FEKO Suite 6.0, EM Software and Systems (www.feko.info), 2010.
- [3] Knott, E.F., Shaeffer, J.F. ve Tuley, M.T. (2004), Radar cross section (2nd edition), *Scitech Publishing*.
- [4] Harrington, R.F. (1993), Field computation by moment methods, *IEEE Press*.
- [5] Baldauf, J., Lee, S., Lin, L., Jeng, S., Scarborough, S.M. ve Yu, C.L. (1991), High frequency scattering from trihedral corner reflectors and other benchmark targets: SBR versus experiment, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 1345-1351.
- [6] Keller, J.B. (1950), Determination of reflected and transmitted fields by geometrical optic, *Journal of Optical Society of America*.

- [7] Bhalla, R. ve Ling, H. (1995), A fast algorithm for signature prediction and image formation using the shooting and bouncing ray technique, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 727-731.
- [8] Zhenghong, G. ve Mingliang, W. (2008), An efficient algorithm for calculating aircraft RCS based on the geometrical characteristics, *Chinese J. Aeronautics*, 296-303.
- [9] Fernandez-Recio, R., Jurado-Lucena, A., Errasti-Alcala, B., Poyatos-Martinez, D., Escot-Bocanegra, D. ve Montiel-Sanchez, I. (2009), RCS measurements and predictions of different targets for radar benchmark purpose, *Intern. Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications*, 443-446.
- [10] Grieesser, T., Balanis, C.A. ve Liu, K. (1989), RCS analysis and reduction for lossy dihedral corner reflectors, *Proceedings of the IEEE*, 806-814.
- [11] Woo, A.C., Wang, H.T.G., Schuh, M.J. ve Sanders, M.L. (1993), EM programmer's notebook-benchmark radar targets for the validation of computational electromagnetics programs, *Antennas Propagat. IEEE*, 84-89.
- [12] Özdemir, C. ve Chang, K. (2005), Synthetic aperture radar, *The Wiley Encycl. of RF and Microwave Engineering*, New York: Wiley Interscience.