

168388

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAREKETLİ UYGUN BİYOLOJİK HEDEFLERDEN
SAÇILAN ELEKTROMAGNETİK DALGALARA İLİŞKİN
FDTD YAKLAŞIMI YARDIMIYLA HEDEFİN
DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Erhan ERMIŞOĞLU

**FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Taner ŞENGÖR

Prof. Dr. Taner Şengör 3/2/2005
Prof. Dr. Ercan Topuz 2/2/2005
Y. Doç. Dr. Refet RAMAZAN 02/02/2005

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	10
1.1 Tezin Konusu ve Amacı	10
1.2 Konunun Önemi	10
2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU.....	11
2.1 Gelen Alanın Belirlenmesi.....	12
2.2 Hareket Tiplerinin Sınıflandırılması.....	21
2.3 Kullanılan İnsan Vücudu Modeli	28
2.4 Dispersif Ortam Parametrelerinin Hesaplanması	29
2.5 Üç Boyutlu Karışım Modeli.....	30
3. ÇÖZÜMLER VE DEĞERLENDİRMELER.....	33
3.1 Direkt Probleme İlişkin Çözümler	33
3.2 Ters Probleme İlişkin Çözümler	53
3.2.1 Hız ve Alan Şiddeti İlişkisi Kurma Yaklaşımı.....	53
3.2.1.1 Logaritmik İlişki.....	54
3.2.2 Eğri Uydurma Yaklaşımı	56
4. SONUÇLAR	58
KAYNAKLAR.....	59
EKLER.....	60
Ek 1 FDTD mimarisi	61
Ek 2 Gelen alan formülasyonu	63
Ek 3 Saçılan alan FDTD formülasyonu.....	64
Ek 4 Ayrık alan formalizmi.....	67
Ek 5 Sınır Koşulları	70
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMA LİSTESİ

FDTD Finite Difference Time Domain Method
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Genişletilmiş problem uzayı.....	12
Şekil 2.2 Problem Uzayı	13
Şekil 2.3 E_x bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	14
Şekil 2.4 E_x bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	14
Şekil 2.5 E_x bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	15
Şekil 2.6 E_y bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	15
Şekil 2.7 E_y bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	16
Şekil 2.8 E_y bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi	16
Şekil 2.9 E_z bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi	17
Şekil 2.10 E_z bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi	17
Şekil 2.11 E_z bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi	18
Şekil 2.12 H_x bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi	18
Şekil 2.13 H_x bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi.....	19
Şekil 2.14 H_x bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi.....	19
Şekil 2.15 H_y bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi.....	20
Şekil 2.16 H_y bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi.....	20
Şekil 2.17 H_y bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi.....	21
Şekil 2.18 1. normal harekete ait yörünge	24
Şekil 2.19 2. normal harekete ait yörünge	24
Şekil 2.20 3. normal harekete ait yörünge	25
Şekil 2.21 4. normal harekete ait yörünge	25
Şekil 2.22 Tedirgin harekete ait yörünge.....	26
Şekil 2.23 1. şüpheli harekete ait yörünge	26
Şekil 2.24 2. şüpheli harekete ait yörünge	27
Şekil 2.25 3. şüpheli harekete ait yörünge	27
Şekil 2.26 Kullanılan insan vücudu modeli.	28
Şekil 3.1 Gözlem Noktaları.....	34
Şekil 3.2 $P_1(1.2,1.2,1.6)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği. 34	
Şekil 3.3 $P_1(1.2,1.2,1.6)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ex-t karakteristiği 35	
Şekil 3.4 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği. 36	
Şekil 3.5 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği..... 36	
Şekil 3.6 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği. 37	
Şekil 3.7 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ey-t karakteristiği 37	
Şekil 3.8 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği. 38	
Şekil 3.9 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği..... 38	
Şekil 3.10 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği 39	
Şekil 3.11 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ez-t karakteristiği .. 39	
Şekil 3.12 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği 40	
Şekil 3.13 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği 40	
Şekil 3.14 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği..... 41	
Şekil 3.15 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ex-t karakteristiği..... 41	
Şekil 3.16 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği 42	
Şekil 3.17 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği..... 42	
Şekil 3.18 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği..... 43	
Şekil 3.19 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ey-t karakteristiği..... 43	
Şekil 3.20 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği 44	
Şekil 3.21 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği..... 44	
Şekil 3.22 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği 45	
Şekil 3.23 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ez-t karakteristiği 45	

Şekil 3.24 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği.....	46
Şekil 3.25 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği.....	46
Şekil 3.26 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği.....	47
Şekil 3.27 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ex-t karakteristiği.....	47
Şekil 3.28 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği	48
Şekil 3.29 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği.....	48
Şekil 3.30 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği.....	49
Şekil 3.31 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ey-t karakteristiği.....	49
Şekil 3.32 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği	50
Şekil 3.33 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği.....	50
Şekil 3.34 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği.....	51
Şekil 3.35 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ez-t karakteritiği	51
Şekil 3.36 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği.....	52
Şekil 3.37 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği.....	52
Şekil 3.38 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ noktasındaki E_x alan şiddetinin hareket tiplerine ait yerel minimumları ile hareket tiplerinin hızlarının ilişkisi	54
Şekil 3.39 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ noktasındaki E_x alan şiddetinin hareket tiplerine ait yerel minimumlarının logaritması ile hareket tiplerinin hızlarının ilişkisi	55
Şekil 3.40 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ noktasındaki $E_x(t)$ değişimlerinde ortaya konan eğri uydurma yaklaşımı	56
Şekil 3.41 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ noktasındaki $E_x(t)$ değişimlerinde ek olarak ele alınan hızların yerel minimumları ile ilişkili eğri uydurma yaklaşımı	57
Şekil Ek3.1 Yee Hücresi	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Hareketlerin sınıflandırılması	22
Çizelge 2.1 a Hareketlerin sınıflandırılması.....	23
Çizelge 2.2 $\tau_1 = 46.25$ ns ve $\tau_2 = 0.0907$ ns olan dokulara ilişkin Debye sabitleri (Furse). 29	
Çizelge 2.3 100 MHz'de dokuların bağıl dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri.....	30
Çizelge 2.4 Kullanılan insan vücudu modelindeki bölgelere ait katmanlar ve hacim oranları31	
Çizelge 2.5 Kullanılan insan vücudu modelindeki bölgelerin efektif bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri	32
Çizelge 3.1 $E_x(t)$ değişiminde gözlenen yerel minimumlara karşılık gelen hızlara bağılı olarak hesaplanan gerçek yerel minimumlar.....	54
Çizelge 3.2 $E_x(t)$ değişiminde gözlenen yerel minimumlara karşılık gelen hızlar	55
Çizelge 3.3 Şekil 3.41'de ifade edilen A, B, C eğrilerinin hareket tipi ve hızları.....	57



ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması aşamasında katkılarını hiç eksik etmeyen değerli hocam Prof. Dr. Taner ŞENGÖR'e teşekkür ederim.

Programlama konusundaki sorularımı büyük bir sabırla yanıtlayan değerli arkadaşlarım Ar. Gör. Ümit BAKIRCI ve Ar. Gör. Bülent BOLAT'a ve uykusuz geceleri benimle birlikte paylaşan anneme ve babama sonsuz teşekkürler.



ÖZET

Bu çalışmanın amacı insan hareketlerini değerlendirecek ve buna bağlı olarak çıkış verecek olası bir elektronik düzeneğin tasarlanması için gereken ön tasarı parametrelerini oluşturmaya çalışmaktır. Kapalı bir hacimde veya sürekli kontrol altında tutulması gereken bir depo alanındaki hareketlerin sınıflandırılarak şüpheli, tedirgin olarak nitelendirilen hareketlerin normal olarak nitelendirilen hareketlerden ayırt edilebilmesi amaçlanmıştır. Problem, bir ters saçılma kurgusuyla modellenmiştir. FDTD tekniği kullanılarak hareketin zaman domeninde karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre normal bir hareket yapan bir insan ile şüpheli veya tedirgin bir hareket yapan insan farklı ve karakteristikler ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Saçılma, FDTD, İnsan Vücudu.



ABSTRACT

The goal of this thesis is to find out necessary data for a possible design of an electronic system which is programmed to give a relay output due to the human movement behaviour. We intend to separate the electric field characteristics of various movement, classified as normal, disquited, and/or suspicious, in a closed three dimensional region, and/or in a warehouse, which is strictly under control. The problem is modelled as an inverse scattering problem. Approach of electromagnetic waves in time domain characteristics of the different movement behaviour is obtained by using FDTD technique. According to the results, we obtain that the characteristics are different for each examples.

Keywords: Scattering, FDTD, Human Body.



1. GİRİŞ

1.1 Tezin Konusu ve Amacı

Güvenlik ve benzeri amaçlarla, örneğin bir oda, bir fabrika depo alanı gibi çeşitli bölgelerin uzaktaki bir kontrol noktasında ve gözcü bir şahıs bulunmaksızın radyo dalgaları ve/veya mikrodalgalar yardımıyla gözlenmesi, pratikteki bazı ihtiyaçlar bakımından önem taşıyabilecek bir durumdur. Bu türden uygulamalar açısından uygun bir alıcı cihazın kontrol, karar ve uygulama mekanizmalarının, hedef bölgesindeki bir insan hareketliliğinin başlaması halinde faaliyete geçmesi ve bu hareketliliğin yönünü izleyebilmesi istenir. Bu tür bir cihazın gerçekleştirilebilmesi, ilk aşamada hareketli biyolojik bir hedefe ilişkin uygun bir ters saçılma probleminin kurulup çözülmesi sayesinde olanaklı olabilecektir. Çünkü, bunun sonucunda amacın gerçekleştirilebilirliğini belirleyecek bir çözümlülük kavramı ortaya çıkarılmış olacak ve bu ifade de cihazın gerçekleşmesine yönelik parametrelerin değerlerini belirleyecektir. Bu itibarla, maksimum 30-50 m uzaktaki bir insan yapısına benzer hareketli cisimlerin radyo dalgalarıyla uzaktan algılanmasına olanak sağlayabilecek uygun ters saçılma problemlerinin zaman domeninde, FDTD yöntemiyle çözülmesi ile ilgilenilecektir. Burada, belirtilen açılardan uygun bir analitik yaklaşımın veya sayısal hesap algoritmasının elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Tezdeki anlamıyla ters problemden kastedilen elektromagnetik dalganın ölçü sonucu elde edilen zamanla değişiminden, hareketin bölüm 2.2'de, Çizelge 2.1, Çizelge 2.1a ve Şekil 2.18-Şekil 2.25 ile tanımlanan tiplerden hangisine uyduğu, hedefin hızının hangi merteye aralığı içinde kaldığı gibi bilgilerin elde edilmesidir.

1.2 Konunun Önemi

Yukarıdaki paragraflarda değinildiği gibi, tezin konusu insansız güvenlik sistemlerinin tasarımına yönelik bir katkıya sahiptir. Dolayısıyla çeşitli endüstriyel ve güncel uygulama alanlarında yeri vardır. Tezde ele alınan konu belirtilen alanlara yenilik ve çeşitlilik bakımından katkı oluşturabilecek bir potansiyelindedir.

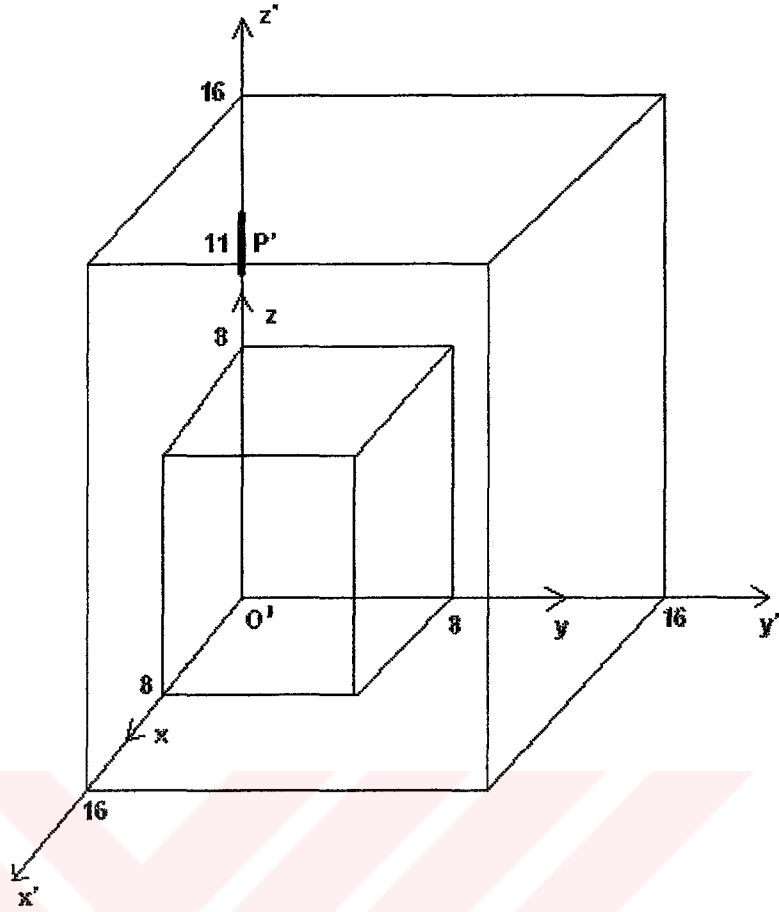
2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Gerek FDTD tekniğinin uygulanabilirlik koşulları gerekse süreksizliklerin ebadı problem uzayının ortaya konulmasında ana unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada insan vücudu ile ilgilenildiğinden sistemin çalışma dalga boyu insan vücudunun ebadına uygun olmalıdır. İnsan boyunun ortalama olarak 165-200 cm aralığında değiştiği göz önüne alınırsa, dalga boyunun da bu mertebede ($\lambda < 100$ cm) seçilmesi uygun olacaktır.

Bu tezde göz önüne alınan elektromagnetik dalganın dalga boyu 3 m olarak belirlenmiştir. Yayılma ortamı boşluk olduğundan buna tekabül eden dalga frekansı 100 MHz'dir (Kalaycıoğlu). Ek 1'de FDTD tekniği ile yapılan simülasyon için gereken hücre boyutlarının kartezyen koordinatlarda nasıl seçilmesi gerektiği ele alınmıştır. Kullanılan Yee hücresi küp şeklinde olup bir kenarının uzunluğu 20 cm olarak seçilmiştir. Bu da dalga boyunun on beşte birine tekabül etmektedir. Literatüre göre FDTD uygulamalarında hücre ebadının $\lambda/10$ ile $\lambda/20$ arasında olması gerekmektedir. Hesap süresi aralığı, Courant kararlılık koşuluna bağlı olarak belirlenmektedir. Ek 1'de bu kurala ilişkin formülasyon belirtilmiştir. (Ek1.2) ifadesine bağlı olarak hesap süresi aralığı 3,84 ns olarak hesaplanmıştır.

Analizi yapılacak uzayın büyüklüğüne bağlı olarak hücre sayısı belirlenecek olduğundan ne kadar büyük hacim kullanılıyorsa o kadar fazla hücre hesaba katılacaktır. Bu da simülasyonun işlem süresini arttırmaktadır. Bunu engellemek için çeşitli ve uygun algoritmaların geliştirilmesi olanaklıdır.

100x100x100 m³'lük bir hacim incelenmek istenirse problem uzayı, yukarıdaki yaklaşım göz önünde bulundurulmaksızın toplam 500x500x500 hücreden oluşacaktır. Bu da simülasyonun yapılacağı bilgisayarın bellek ve işlemci kapasitesini hayli arttırmaktadır. Bu yüzden daha az hücre ile çalışma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bu problemde ele alınan geometri 8x8x8 m³ büyüklüğündedir. Bölüm 2.1'den görülebileceği gibi hacimde dış radyasyon sınır koşulu sağlanamayacağından bu hacmin sınır yüzeyi mükemmel iletkenle çevrelenmiştir. Simülasyonun yapıldığı bilgisayarın kapasitesi göz önüne alındığında tek bir işlem yaklaşık 1 saat sürmektedir.



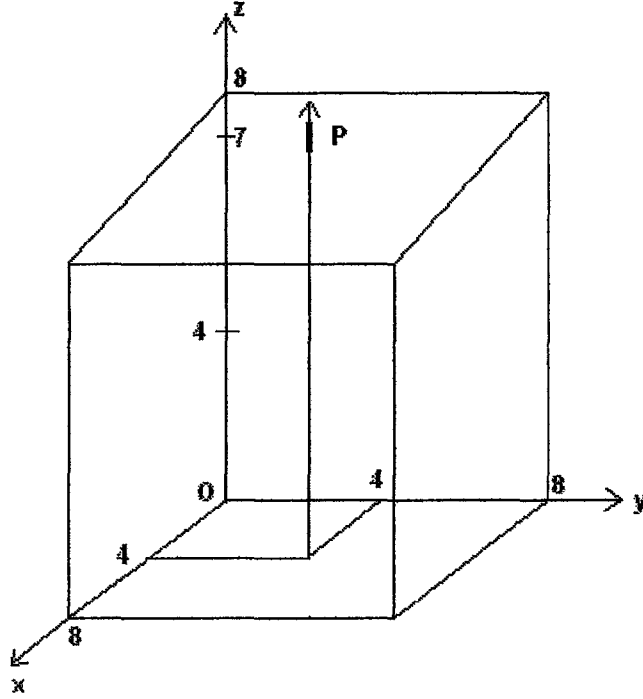
Şekil 2.1 Genişletilmiş problem uzayı

2.1 Gelen Alanın Belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan anten yarım dalga dipolüdür. Dipolün alanına ilişkin formülasyonlar Ek 2’de ifade edilmiştir.

Dış radyasyon koşulunun sağlanabileceği bölgeyi görebilmek açısından gelen alan, problem uzayını içine alacak şekilde $16 \times 16 \times 16 \text{ m}^3$ ’lük daha büyük bir hacimde hesaplanmıştır.

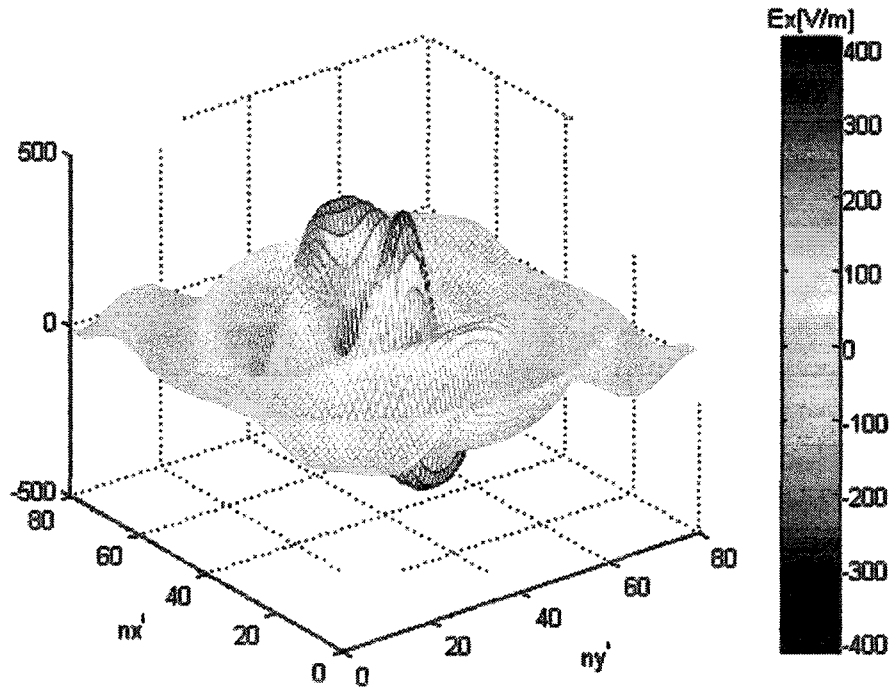
Gerek toplam alan, gerekse saçılan alan gelen alandan büyük olamayacağından bu makul bir yaklaşımdır. Şekil 2.3’ten görülebildiği gibi kaynaktan 16 m uzakta gelen alanın sönümlendiği kabul edilebilir. Dolayısıyla, dış radyasyon sınır yüzeyini kaynaktan en az 16 m uzakta almak gerekir. Ancak, bu durumda problem uzayındaki hücre sayısı artmaktadır. Bu ise problemin eldeki mevcut olanaklarla çözümünü olanaksızlaştırmaktadır. Belirtilen güçlüğü aşmak için problem uzayı $8 \times 8 \times 8 \text{ m}^3$ ’lük bir hacimde sınırlanarak bölgenin sınır yüzeyinin mükemmel iletken bir malzemeye kaplandığı varsayılmıştır. Karışıklığı önlemek



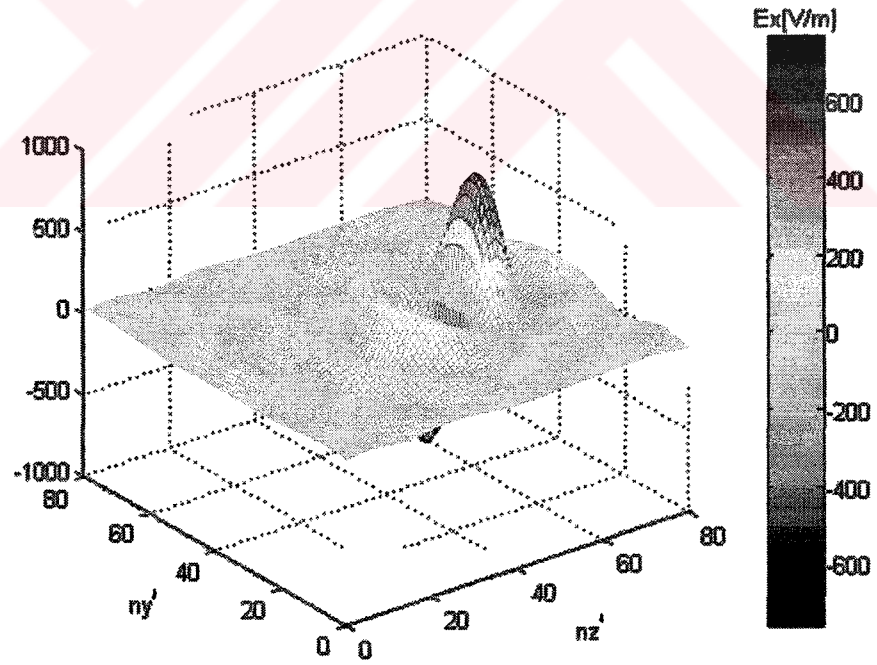
Şekil 2.2 Problem Uzayı

bakımından, yalnızca gelen alanın hesaplanması için kullanılan $16 \times 16 \times 16 \text{ m}^3$ 'lük bölgeye genişletilmiş problem uzayı diyeceğiz.

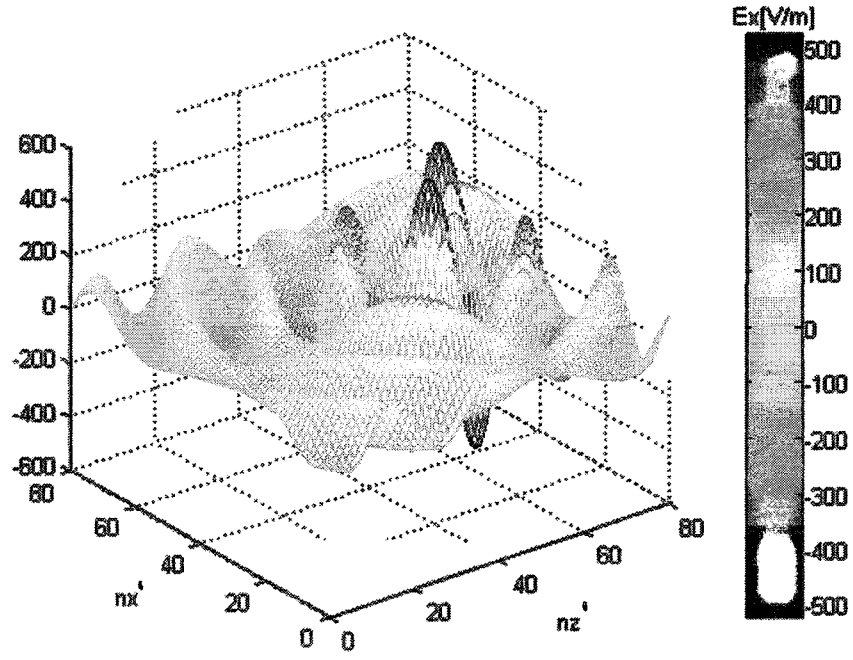
Adım sayısı her bir koordinat eksenine için 80 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, her bir koordinat çizgisi üzerindeki artımlar 0.2 m 'dir. Anten problem uzayının tam ortasına ve z yönünde 3 m yukarıya yerleştirilmiştir. Antenin bulunduğu nokta P' ise, P' noktasının koordinatları $P(x',y',z')=P(8,8,11)$ 'dir. Örneğin, P' noktasının koordinatlarının konum adımları cinsinden ifade edilmesi gerektiğinde $P(nx',ny',nz')=P(40,40,55)$ olacaktır. Bu nokta, antenin ortasına denk gelmektedir. Problem uzayı, antenin yerleştirildiği bir P noktasını içine alan $8 \times 8 \times 8 \text{ m}^3$ 'lük bir hacimdir. Öyle ki, genişletilmiş problem uzayındaki bu P noktası problem uzayında $P'(4,4,7)$ noktasına gelecek şekilde koordinat sistemi seçilmiştir. Saçılma probleminde anten z doğrultusunda yerleştirilmiş olup koordinatı $(x=4, y=4, z=7)$ 'dir. Aşağıdaki şekillerde hertz dipolünün genişletilmiş problem uzayındaki belirli arakesit yüzeylerindeki alan dağılımları görülmektedir.



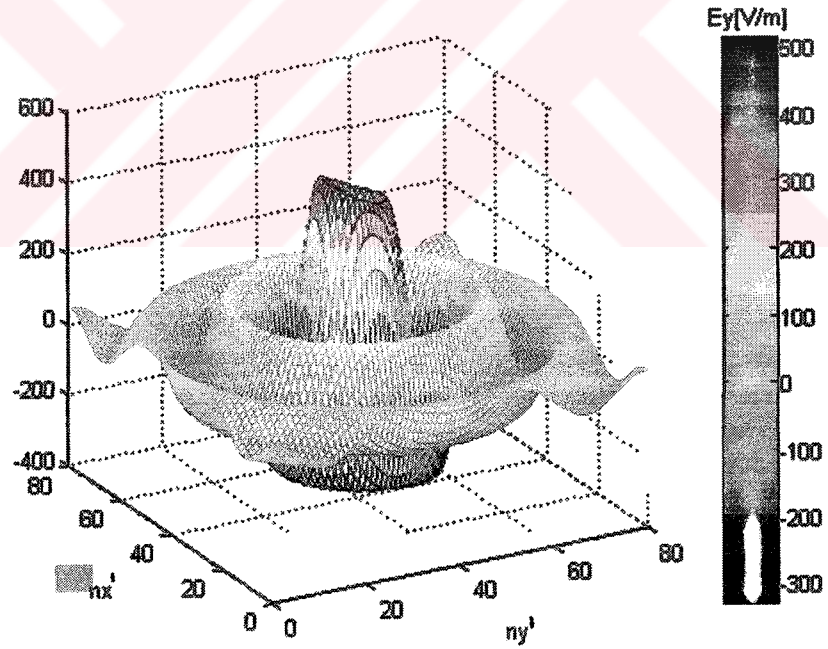
Şekil 2.3 E_x bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



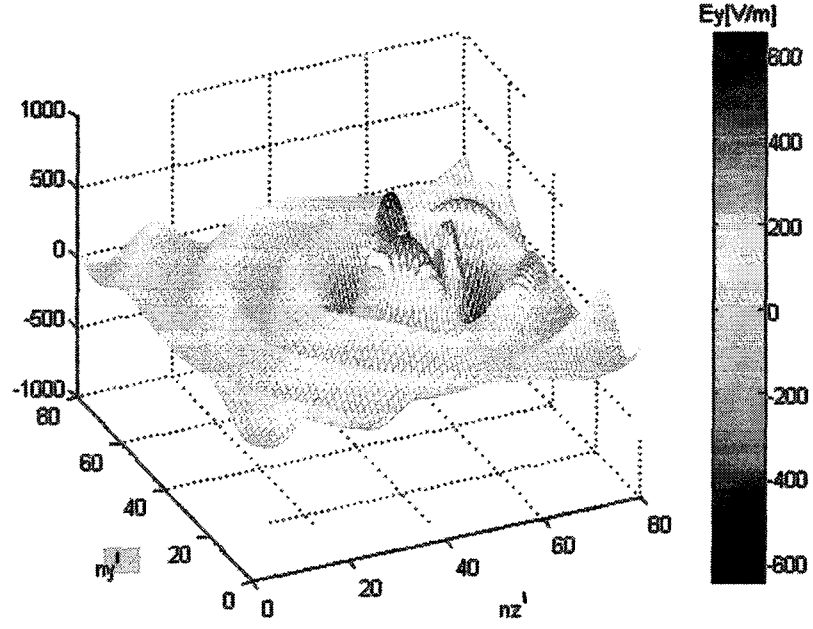
Şekil 2.4 E_x bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



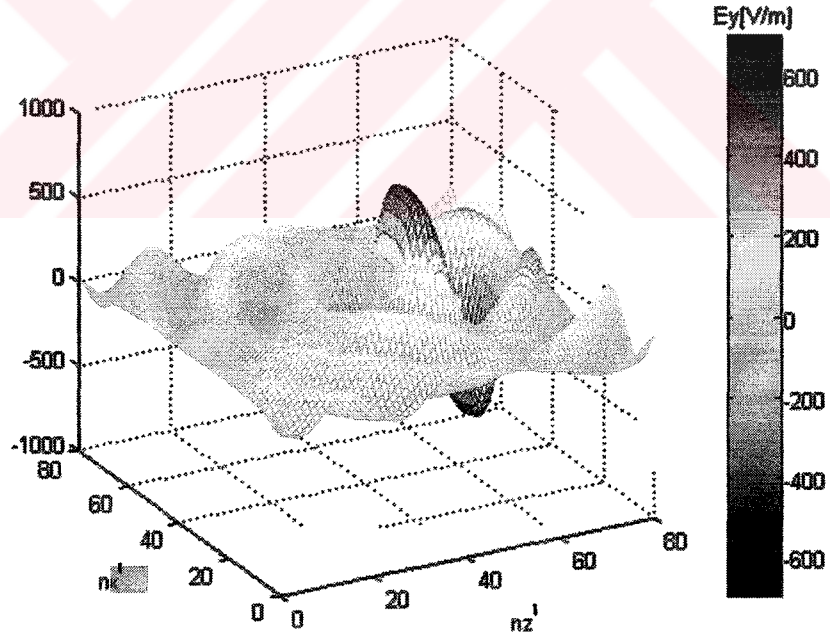
Şekil 2.5 E_x bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



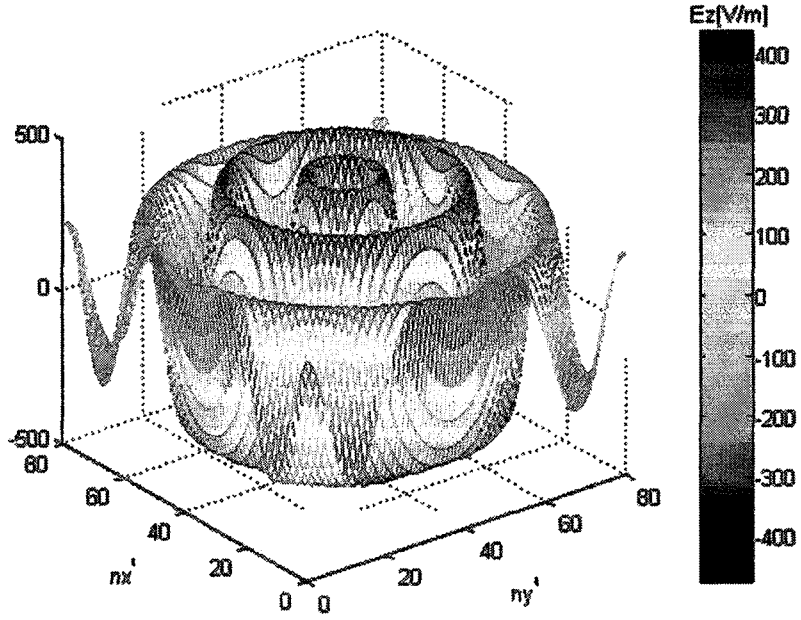
Şekil 2.6 E_y bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



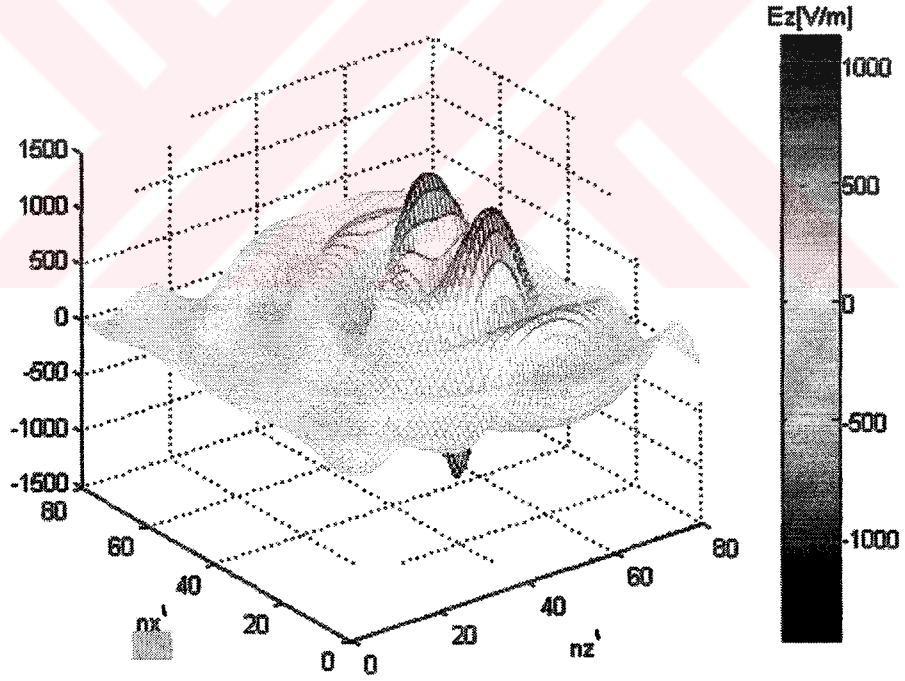
Şekil 2.7 E_y bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



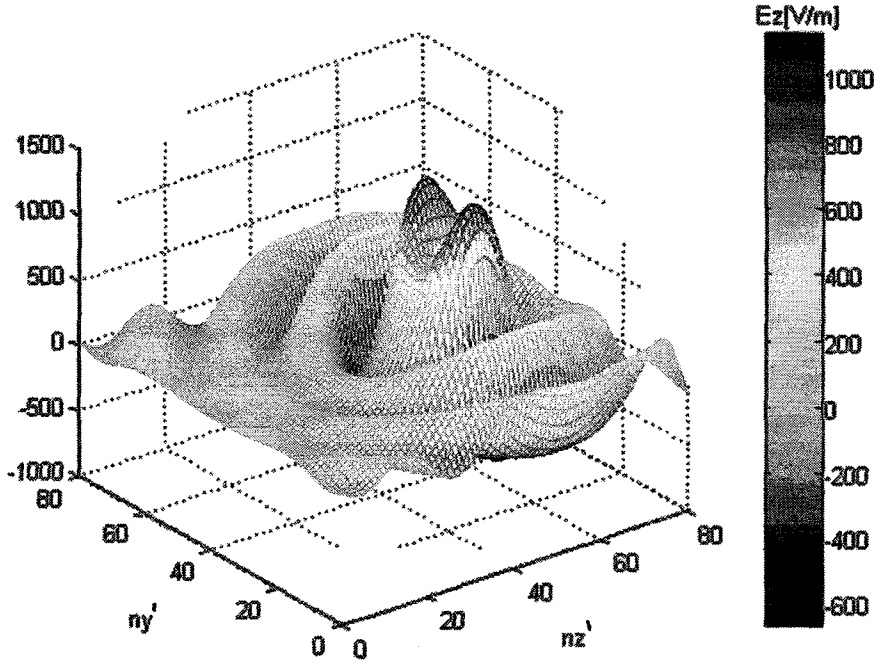
Şekil 2.8 E_y bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi boyunca değişimi



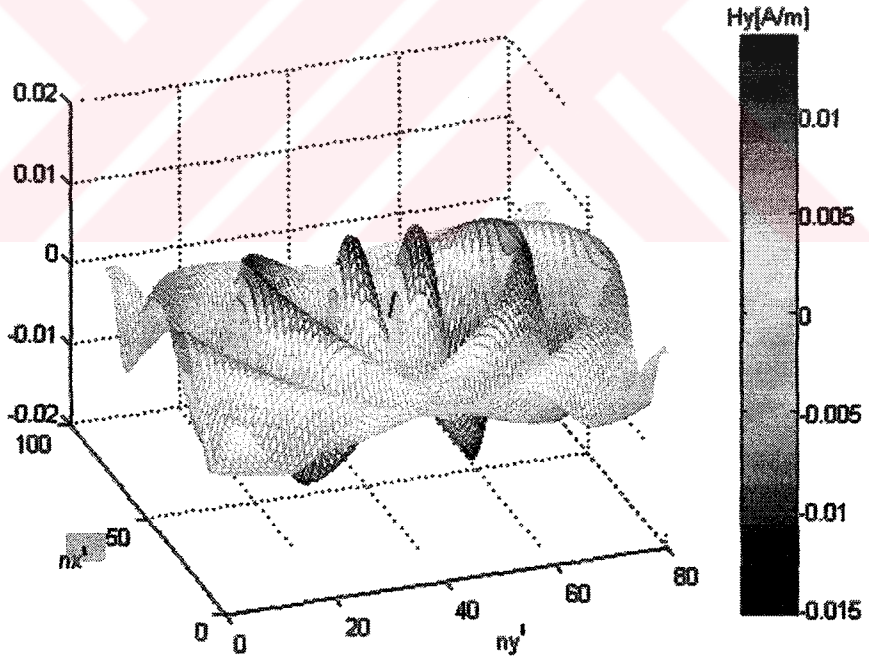
Şekil 2.9 E_z bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



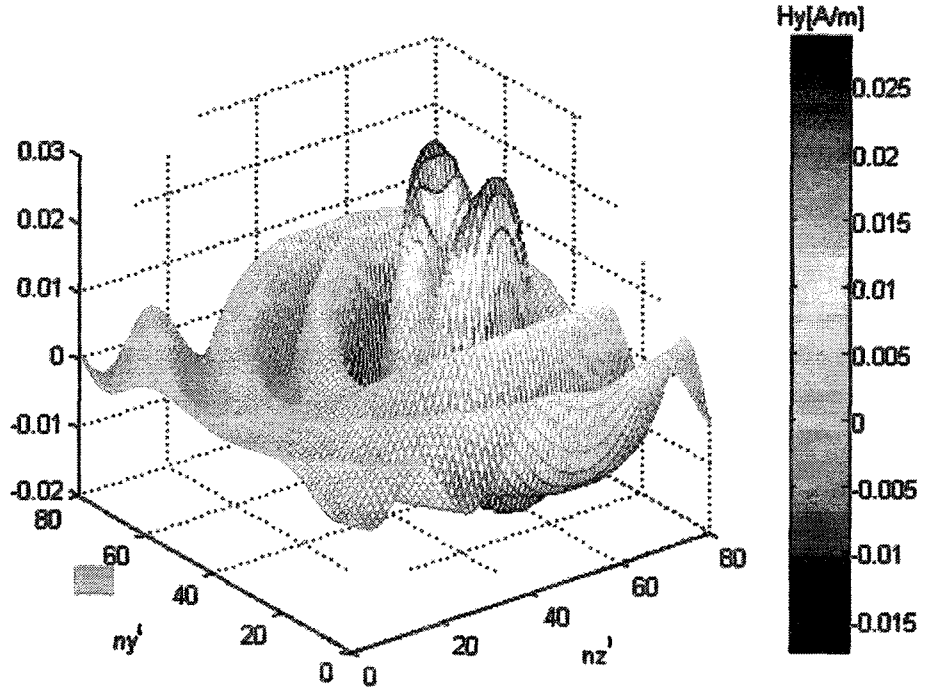
Şekil 2.10 E_z bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



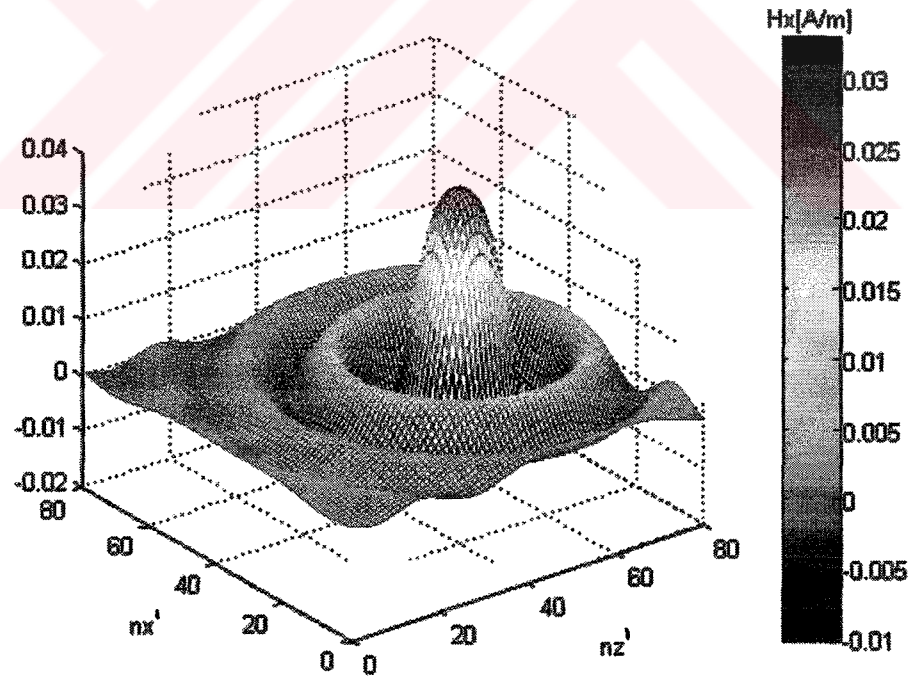
Şekil 2.11 E_z bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



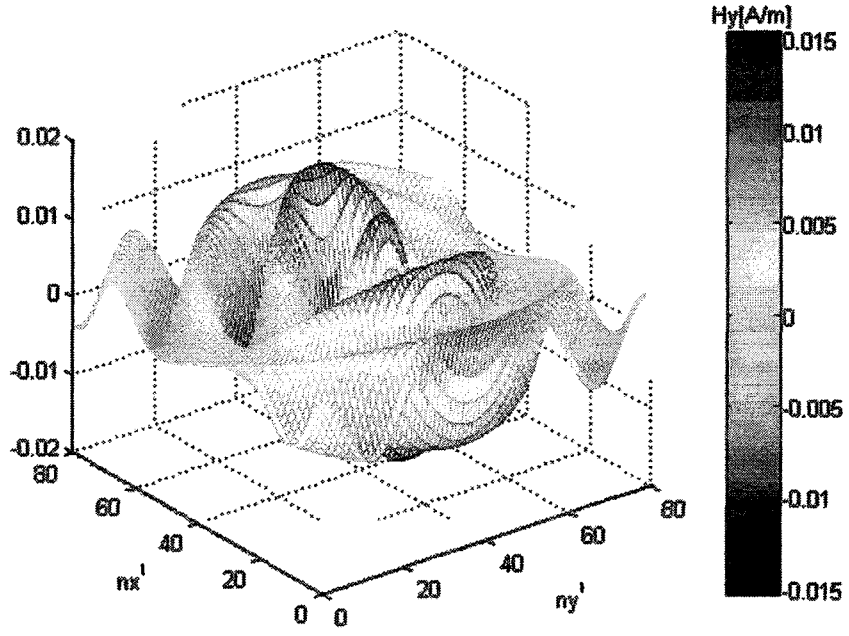
Şekil 2.12 H_x bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



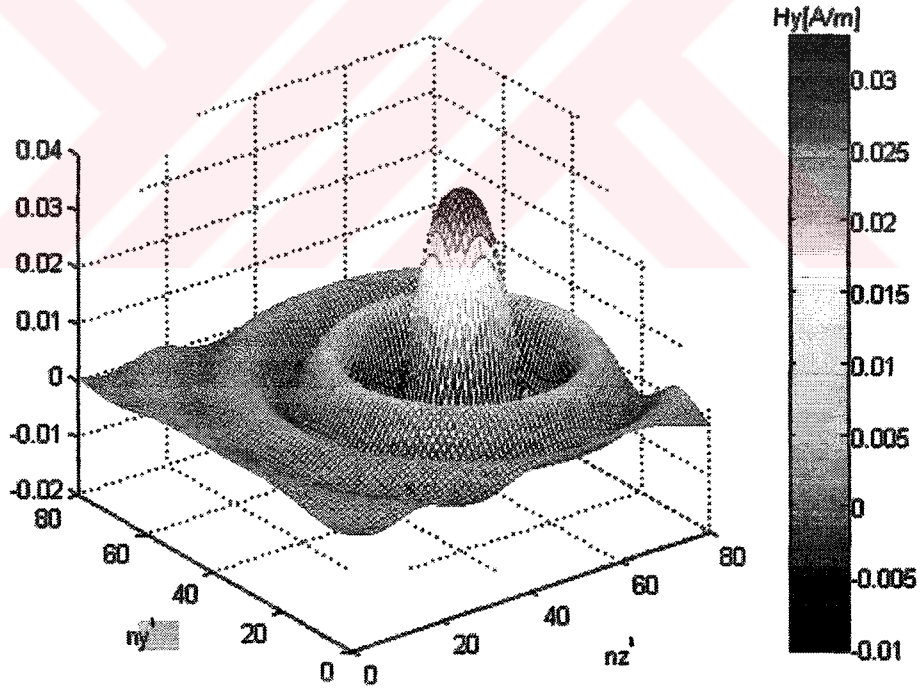
Şekil 2.13 H_x bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



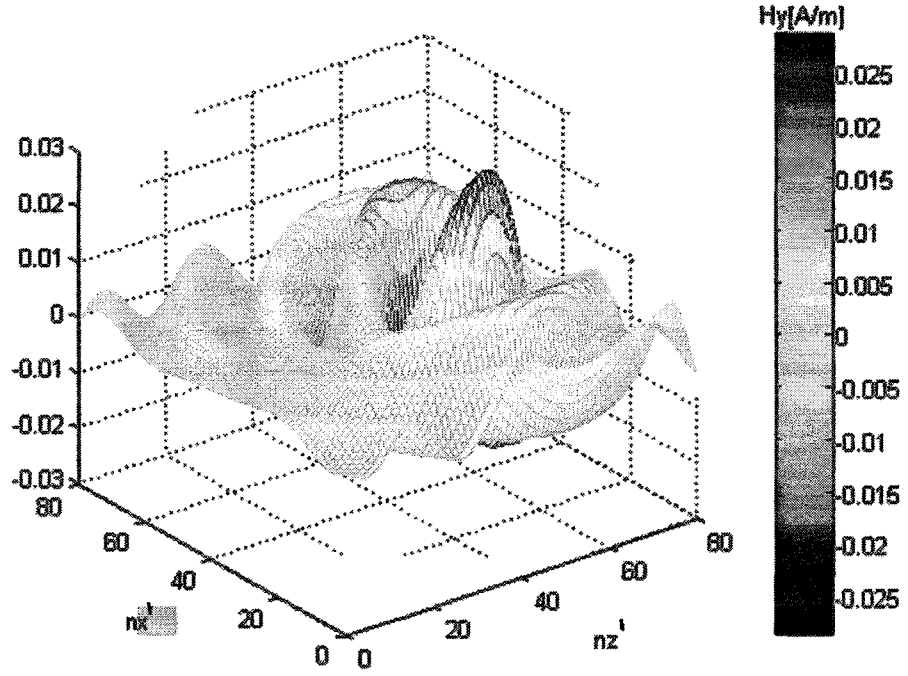
Şekil 2.14 H_x bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



Şekil 2.15 H_y bileşeninin genliğinin $z = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



Şekil 2.16 H_y bileşeninin genliğinin $x = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi



Şekil 2.17 H_y bileşeninin genliğinin $y = 7.2$ düzlemi üzerindeki değişimi

2.2 Hareket Tiplerinin Sınıflandırılması

Bu tezde üç tip hareket tanımı üzerinde çalışılmıştır. Bunlar normal, tedirgin ve şüpheli hareketler olarak nitelendirilmiştir. Hareketler $z = 0.8$ düzleminde.

Tanımlanan her bir hareket tipinin $\Delta T = 1$ s'lik zaman aralığında 30 saniye boyunca bulunduğu koordinatlar Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Hareketlerin sınıflandırılması

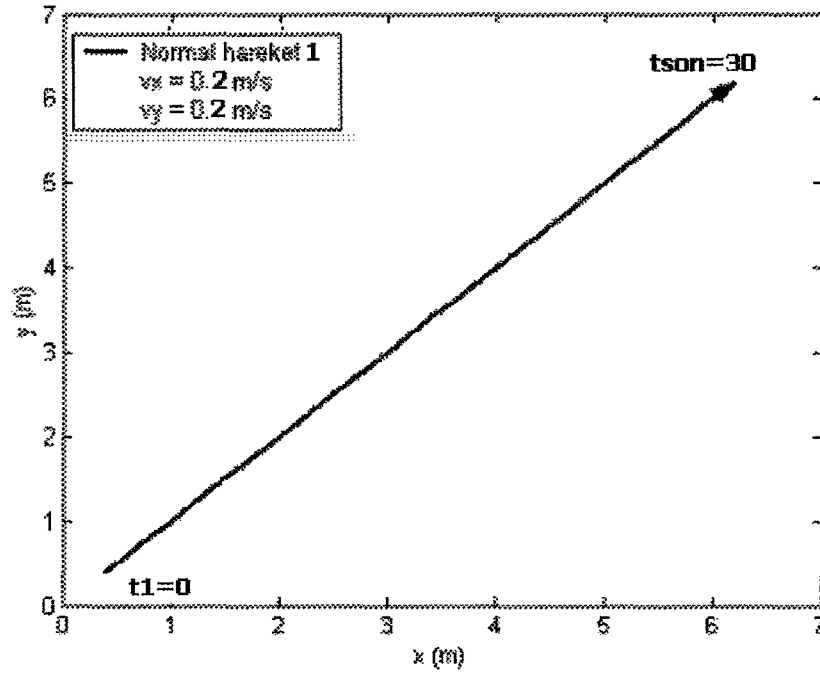
Hareket t (s)	Normal Hareket 1 ($v_x = v_y = 0.2$ m/s)		Normal Hareket 2 ($v_x = v_y = 0.4$ m/s)		Normal Hareket 3 ($v_x = v_y = 0.5$ m/s)		Tedirgin Hareket		Şüpheli Hareket 1		Şüpheli Hareket 2	
	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)	x (m)	y (m)
1	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	1,9	1,9	1	2	1,4	2,6
2	0,8	0,8	1,2	1,2	1,4	1,4	2,9	2,9	1,2	2,8	1,6	0,2
3	1	1	1,6	1,6	1,9	1,9	3,9	3,9	1,4	3	1,6	3
4	1,2	1,2	2	2	2,4	2,4	4,9	4,9	1,6	2,6	1,8	1,6
5	1,4	1,4	2,4	2,4	2,9	2,9	5,9	5,9	1,8	1,8	2	1
6	1,6	1,6	2,8	2,8	3,4	3,4	6,9	6,9	2	1	2,2	3,8
7	1,8	1,8	3,2	3,2	3,9	3,9	7,9	7,9	2,2	0,6	2,4	1
8	2	2	3,6	3,6	4,4	4,4	6,9	6,9	2,4	0,8	2,6	2,8
9	2,2	2,2	4	4	4,9	4,9	5,9	5,9	2,6	1,6	2,8	3,6
10	2,4	2,4	4,4	4,4	5,4	5,4	4,9	4,9	2,8	2,8	3	1,2
11	2,6	2,6	4,8	4,8	5,9	5,9	3,9	3,9	3	4	3,2	4,4
12	2,8	2,8	5,2	5,2	6,4	6,4	2,9	2,9	3,2	4,8	3,2	2,6
13	3	3	5,6	5,6	6,9	6,9	1,9	1,9	3,4	5	3,4	5
14	3,2	3,2	6	6	7,4	7,4	0,9	0,9	3,6	4,6	3,6	2
15	3,4	3,4	6,4	6,4	7,9	7,9	1,9	1,9	3,8	3,8	3,8	4,4
16	3,6	3,6	6	6	7,4	7,4	2,9	2,9	4	3	4	4,4
17	3,8	3,8	5,6	5,6	6,9	6,9	3,9	3,9	4,2	2,6	4	2,6
18	4	4	5,2	5,2	6,4	6,4	4,9	4,9	4,4	2,8	4,2	5,8
19	4,2	4,2	4,8	4,8	5,9	5,9	5,9	5,9	4,6	3,6	4,4	3,6
20	4,4	4,4	4,4	4,4	5,4	5,4	6,9	6,9	4,8	4,8	4,6	4,2
21	4,6	4,6	4	4	4,9	4,9	7,9	7,9	5	6	4,8	6,2
22	4,8	4,8	3,6	3,6	4,4	4,4	6,9	6,9	5,2	6,8	4,8	3,2
23	5	5	3,2	3,2	3,9	3,9	5,9	5,9	5,4	7	5	6
24	5,2	5,2	2,8	2,8	3,4	3,4	4,9	4,9	5,6	6,6	5,2	5,4
25	5,4	5,4	2,4	2,4	2,9	2,9	3,9	3,9	5,8	5,8	5,4	4
26	5,6	5,6	2	2	2,4	2,4	2,9	2,9	6	5	5,6	7,2
27	5,8	5,8	1,6	1,6	1,9	1,9	1,9	1,9	6,2	4,6	5,6	4,6
28	6	6	1,2	1,2	1,4	1,4	2,9	2,9	6,4	4,8	5,8	5,8
29	6,2	6,2	0,8	0,8	0,9	0,9	3,9	3,9	6,6	5,6	5,8	7,2
30	6,4	6,4	0,4	0,4	0,4	0,4	4,9	4,9	6,8	6,8	6	4,4

Yukarıda tanımlanan hareketlere ilişkin yörüngelerin grafikleri aşağıdaki şekillerde belirtildiği gibidir. Farklı şekillerde tanımlanan diğer hareketlere ilişkin ayrıntılar Çizelge 2.1a'da verilmiştir.

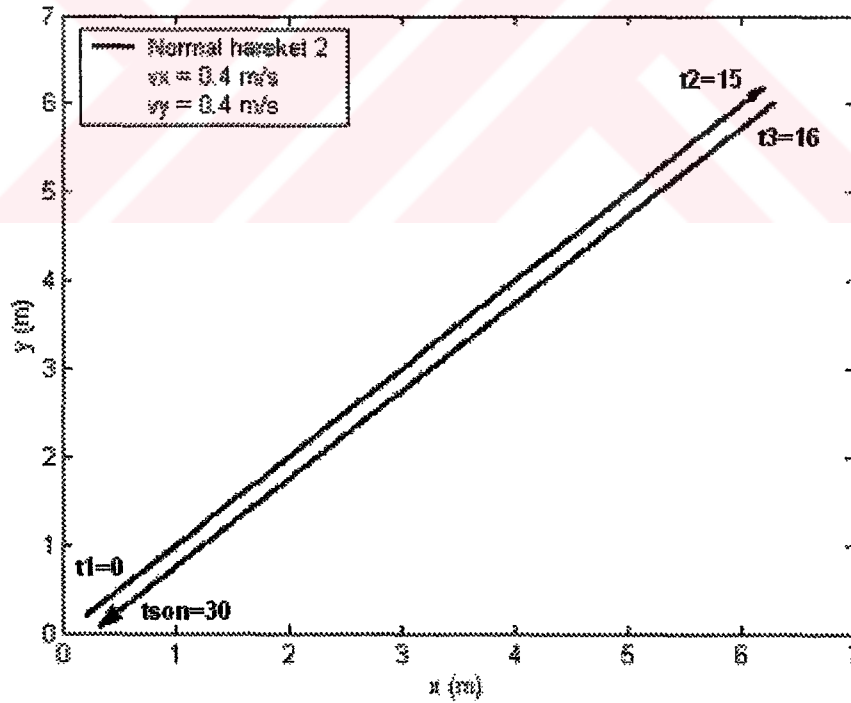
Çizelge 2.1a Hareketlerin sınıflandırılması

Hareket		Normal Hareket 4			Şüpheli Hareket 3			
t (s)		x (m)	y (m)		x (m)	y (m)		
1	vx=0.7 ; vy=0 m/s	1.9	1.2	vx=1 ; vy=0 m/s	1.2	0.2		
2		2.6	1.2		2.2	0.2		
3		3.3	1.2		3.2	0.2		
4		4.0	1.2		4.2	0.2		
5		4.7	1.2		5.2	0.2		
6		5.4	1.2		4.7	0.2		
7	vx=0 ; vy=0.7 m/s	6.1	1.2	vx=-0.5 m/s	4.2	0.2		
8		6.8	1.2		3.7	0.2		
9		6.8	1.9		3.2	0.2		
10		6.8	2.6		3.2	1.2		
11		6.8	3.3		3.2	2.2		
12		6.8	4.0		3.2	3.2		
13		6.8	4.7		3.2	4.2		
14		6.8	5.4		3.2	5.2		
15		6.8	6.1		3.2	6.2		
16		vx=0 ; vy=0 m/s	6.1		6.1	vx=0 ; vy=1 m	3.2	6.2
17			5.4		6.1		3.2	6.2
18			4.7		6.1		3.2	6.2
19	4.0		6.1	3.2	5.4			
20	3.3		6.1	4.0	4.6			
21	2.6		6.1	4.8	3.8			
22	1.9	6.1	5.6	3.8				
23	vx=-0.7 ; vy=0 m/s	1.2	6.1	vx=0.8 ; vy=-0.8 m/s	6.4	3.0		
24		1.2	5.4		7.2	2.2		
25		1.2	4.7		8.0	2.2		
26		1.2	4.0		7.2	2.2		
27		1.2	3.3		6.4	2.2		
28		1.2	2.6		5.6	2.2		
29		1.2	1.9		4.8	2.2		
30		1.2	1.2		4.0	2.2		

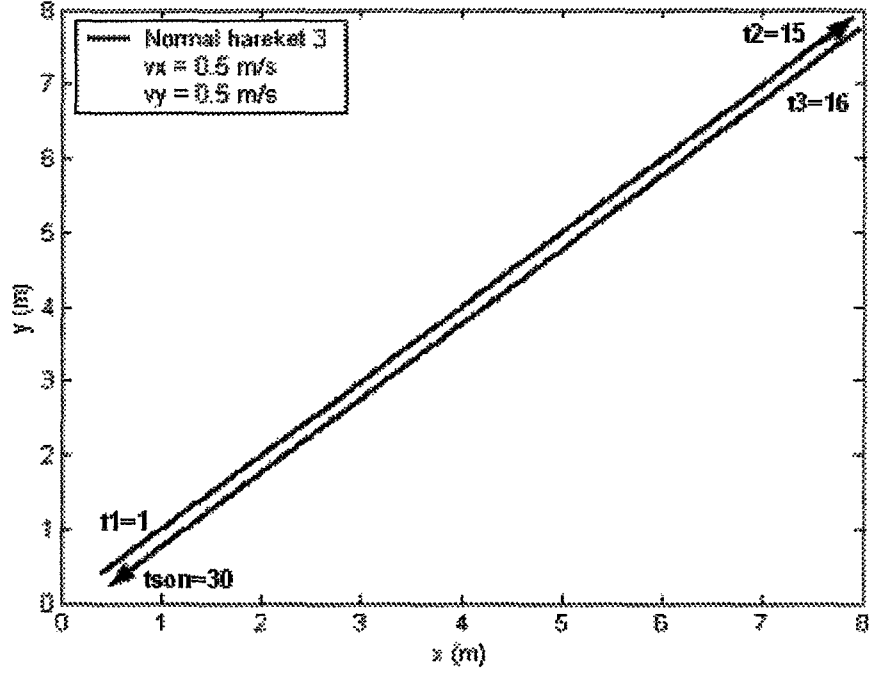
Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.1a'da belirtilen hareketlere ilişkin yörüngeler Şekil 2.18 – Şekil 2.25'te gösterildiği gibidir.



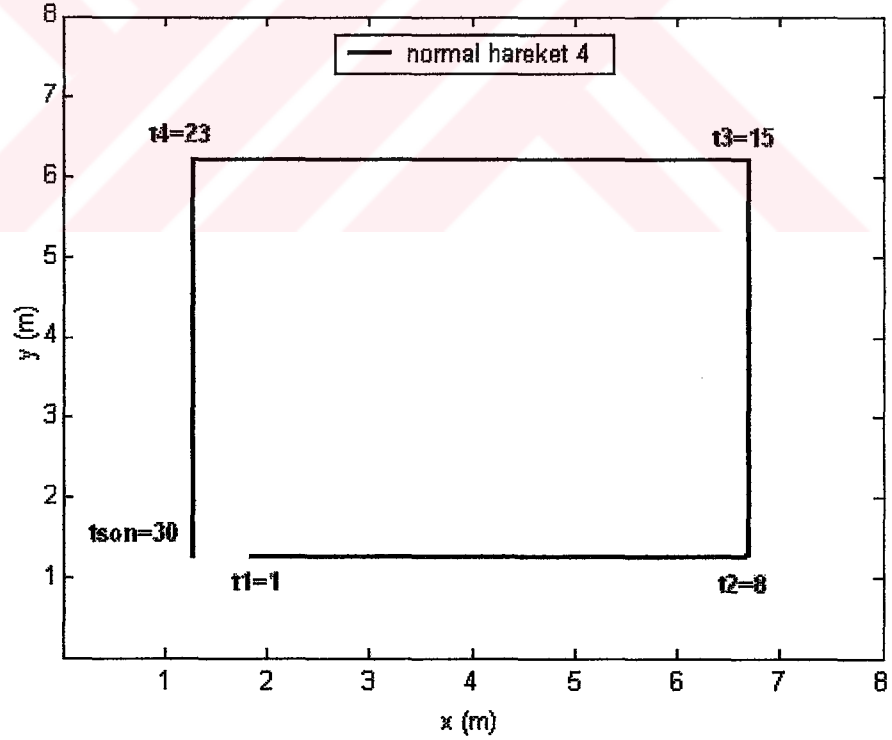
Şekil 2.18 1. normal harekete ait yörünge



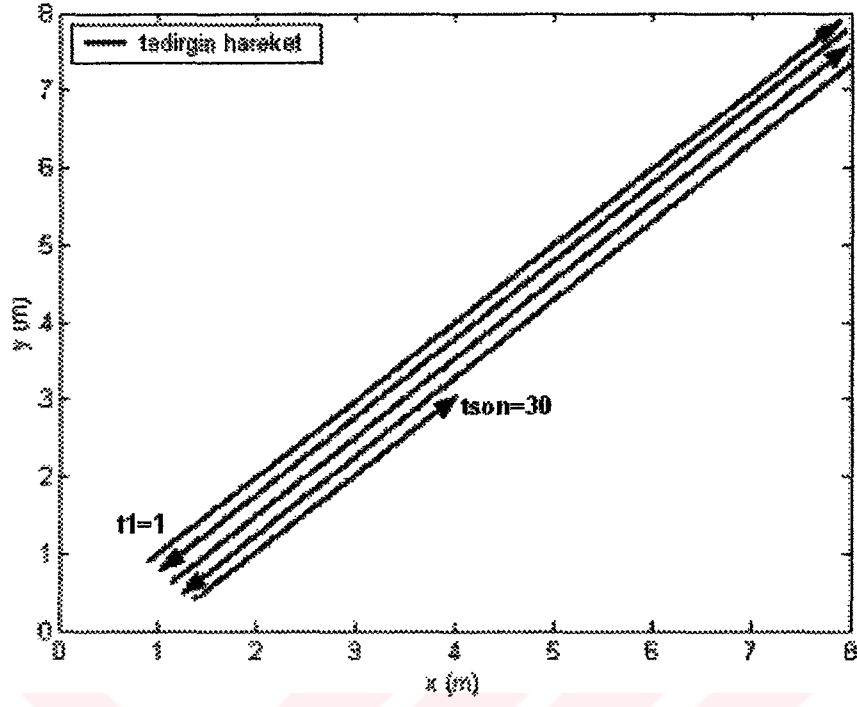
Şekil 2.19 2. normal harekete ait yörünge



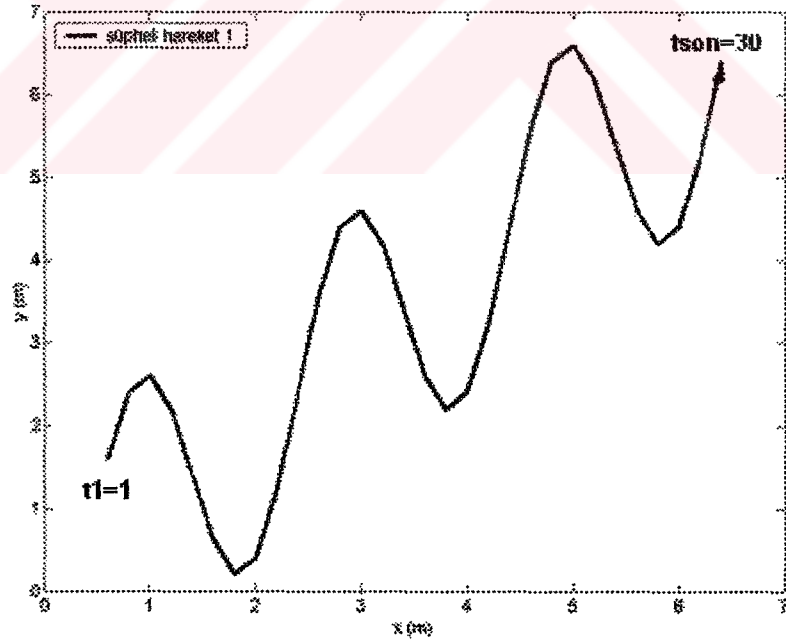
Şekil 2.20 3. normal harekete ait yörünge



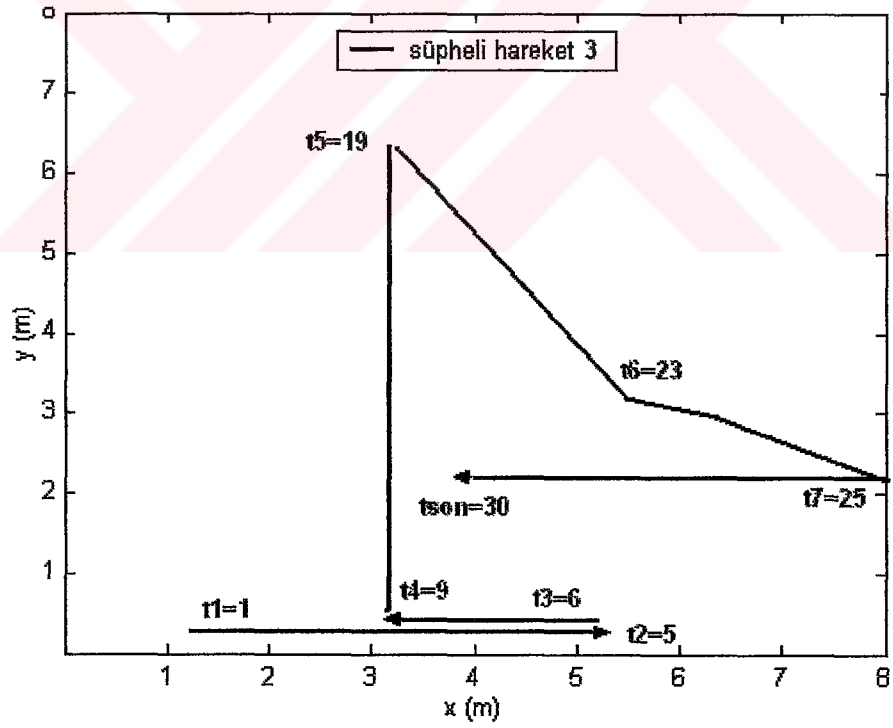
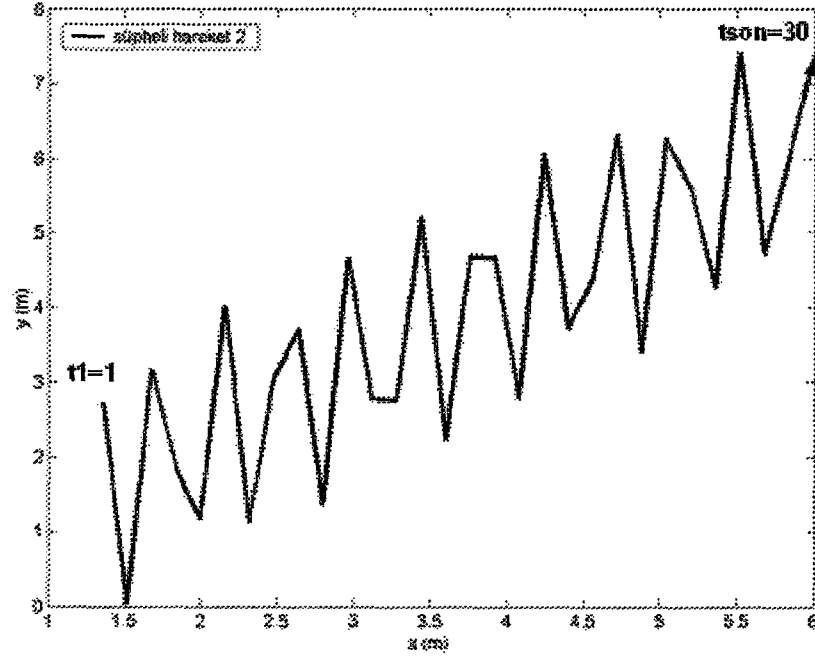
Şekil 2.21 4. normal harekete ait yörünge



Şekil 2.22 Tedirgin harekete ait yörünge



Şekil 2.23 1. şüpheli harekete ait yörünge



Bu hareketlerin birer saniye aralıklarla analizi yapılacak olduğundan Courant stabilite kriterine bağlı kalmak açısından zaman domeninde bir normalizasyon gerçekleştirilmiştir. Buna göre, gelen alan ifadelerindeki zamanın fonksiyonu olan ifadelerde aşağıdaki tanımlar yapılmıştır (Holland):

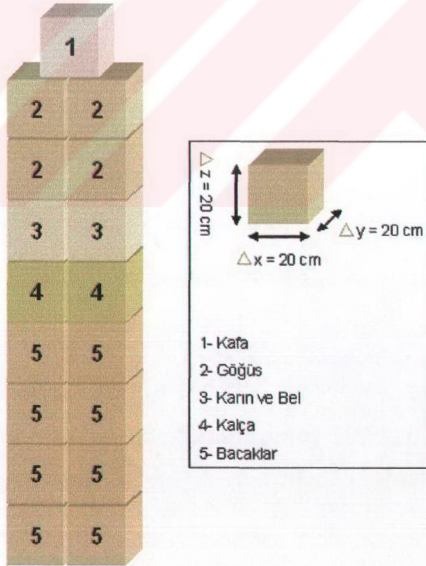
$$\Delta T = \Delta t \frac{1}{3,84} 10^9 \quad (2.1)$$

$$\Omega = \omega \cdot 3,84 \cdot 10^{-9} \quad (2.2)$$

Burada ΔT , normalize hesap süresi ve Ω , normalize frekanstr.

2.3 Kullanılan İnsan Vücudu Modeli

Bu çalışmada işlemler kartezyen koordinat sisteminde yapıldığı için, insan vücudunun ve probleme dahil olan tüm süreksizliklerin geometrisi kübik hücreler kullanılarak modellenmektedir. Probleme ilişkin ele alınan insan, 180 cm boyunda, 40 cm enindedir. İnsan vücudu için kullanılan model Şekil 2.26'deki gibidir.



Şekil 2.26 Kullanılan insan vücudu modeli.

2.4 Dispersif Ortam Parametrelerinin Hesaplanması

İnsan vücudunu oluşturan organların dokuları dispersiftir. Dispersif malzemelere ilişkin kompleks dielektrik sabitinin hesaplanmasına ilişkin eşitlik aşağıda belirtilmiştir (Furse) ;

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_0 \left[\varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_{s1} - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_1} + \frac{\varepsilon_{s2} - \varepsilon_\infty}{1 + j\omega\tau_2} \right] \quad (2.3)$$

Burada, ω ve $\varepsilon^*(\omega)$ sırasıyla, açısal frekansı ve bu frekansa ilişkin kompleks dielektrik sabitidir. ε_∞ , ε_{s1} , ε_{s2} , τ_1 ve τ_2 dokulara ilişkin sabitler olup, bazı dokular için değerleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 $\tau_1 = 46.25$ ns ve $\tau_2 = 0.0907$ ns olan dokulara ilişkin Debye sabitleri (Furse).

Doku	ε_∞	ε_{s1}	ε_{s2}
Kas	40.0	3948	59.09
Kemik / Kıkırdak/Yağ	3.4	312.8	7.11
Kan	35.0	3563	66.43
Bağırsak	39.0	4724	66.09
Karaciğer	36.3	2864	57.12
Böbrek	35.0	3332	67.21
Pankreas / Dalak	10.0	3793	73.91
Akciğer	10.0	1224	13.06
Kalp	38.5	4309	54.58
Beyin / Sinir	32.5	2064	56.86
Deri	23.0	3399	55.59
Göz	40.0	2191	56.99

Çizelge (2.2)'de belirtilen dokuların 100 MHz'deki bağıl dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri (2.3) eşitliğiyle elde edilmiştir. Buna ilişkin değerler Çizelge 2.3'de gösterilmiştir. Dispersif toprak için kullanılan ifade (2.4) eşitliğiyle verilmiştir (Leuschen);

$$\varepsilon_r(\omega) = 3 + \frac{0.5(1 + j\omega 10^{-10})}{1 + j\omega 10^{-10} - \omega^2 6.10^{-20}} \quad (2.4)$$

Çizelge 2.3 100 MHz'de dokuların bağıl dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri.

Doku	ϵ_r	σ (S/m)
Kas	63.65	0.7523
Kemik / Kıkırdak/Yağ	7.4639	0.0603
Kan	70.5011	0.6836
Bağırsak	71.5436	0.9032
Karaciğer	60.3971	0.5465
Böbrek	71.0053	0.6397
Pankreas / Dalak	78.1776	0.7425
Akciğer	14.486	0.2328
Kalp	59.579	0.8205
Beyin / Sinir	59.184	0.3956
Deri	59.4776	0.6549
Göz	59.4792	0.4161

2.5 Üç Boyutlu Karışım Modeli

Bu çalışmada ele alınan Yee hücrelerinin bir kenarının uzunluğu 20 cm olduğundan, bu hücrenin birden fazla organı veya dokuyu ihtiva edebileceği düşünülür. Dielektrik sabiti ve iletkenliğin Yee hücresi içerisinde lineer olması istendiğine göre efektif bir dielektrik sabiti ve iletkenlik hesabının yapılması kaçınılmazdır. Bu tip karışım modellemelerinde ortaya konan iki farklı kural incelenmiştir.

İlki 1904 yılında J.C Maxwell Garnett tarafından literatüre kazandırılan karışım tahmin kuralıdır. Bu kuralla belirlenen efektif kompleks dielektrik sabiti (2.5) eşitliğiyle tanımlanmıştır (Sihvola, 1992).

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_e + 3f\epsilon_e \frac{\epsilon_i - \epsilon_e}{\epsilon_i + 2\epsilon_e - f(\epsilon_i - \epsilon_e)} \quad (2.5)$$

Burada, ϵ_i ve ϵ_e , sırasıyla homojen bir malzeme ile çevrelenmiş hacim içerisinde rasgele yerleşen malzemenin kompleks dielektrik sabiti ve bu malzemeyi çevreleyen homojen yapının kompleks dielektrik sabitidir. f ise bu malzemelerin hacimsel oranlarıdır ve (2.6) eşitliği ile tanımlanmıştır;

$$f = \frac{V_i}{\sum V} \quad (2.6)$$

Burada V_i , homojen yapı içerisinde rastgele yerleşen malzemenin hacmidir.

İncelenen ikinci tahmin kuralı ise, Bruggeman formülü olarak adlandırılan ve özellikle

uzaktan algılama çalışmalarında daha çok Polder-van Santen formülü olarak tanınan formüldür. Bu kuralla belirlenen efektif kompleks dielektrik sabiti (2.7) eşitliğiyle tanımlanmıştır (Sihvola, 1999) ;

$$(1-f) \frac{\epsilon_e - \epsilon_{eff}}{\epsilon_e + 2\epsilon_{eff}} + f \frac{\epsilon_i - \epsilon_{eff}}{\epsilon_i + 2\epsilon_{eff}} = 0 \quad (2.7)$$

Bruggeman formülünde ele alınan model, Maxwell Garnett kuralında ele alınan modelle aynıdır. Yapılan nümerik analizlerde özellikle yüksek hacim oranlarında Bruggeman formülünün ölçüm değerleriyle daha bağdaşır olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle efektif kompleks dielektrik sabitlerinin belirlenmesinde Bruggeman formülü kullanılmıştır. Bu kurala göre elde edilen Şekil 2.26'da belirtilen bölgelere ait katmanlar ve bunların hacim oranları Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 Kullanılan insan vücudu modelindeki bölgelere ait katmanlar ve hacim oranları

Bölge	Katman 1	Katman 2	Katman 3	Katman 4	Katman 5	Katman 6	f Hacim Oranı
1	Beyin	Kafatası	Deri	---	---	---	0.5787; f_1 0.8503; f_2
2	Kalp	Akciğer	Göğüs Kafesi	Kas	Yağ	Deri	0,0255; f_1 0.9491; f_2 0.8994; f_3 0.9308; f_4 0.9703; f_5
3	Bağırsak	Yağ	Deri	---	---	---	0.8566; f_1 0.9671; f_2
4	Kemik	Kas	Yağ	Deri	---	---	0.8127; f_1 0.9327; f_2 0.9765; f_3
5	Kemik	Kas	Yağ	Deri	---	---	0.4225; f_1 0.9047; f_2 0.9721; f_3

Hacim oranları doku veya organlara ait kesit kalınlıkları değerlendirilerek hesaplanmış ampirik bir çalışmadır. Bu değerlerle birlikte hesaplanan bölgelere ait efektif bağlı dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri Çizelge 2.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5 Kullanılan insan vücudu modelindeki bölgelerin efektif bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri

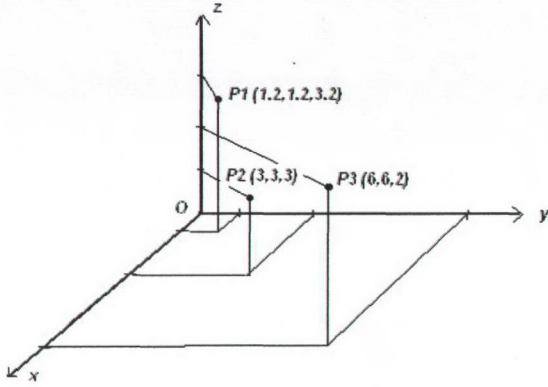
Bölge	ϵ_r	σ (S/m)
1	33.942	0.2551
2	17.2382	0.2511
3	58.6211	0.7264
4	11.9956	0.1036
5	29.4446	0.3185

3. ÇÖZÜMLER VE DEĞERLENDİRMELER

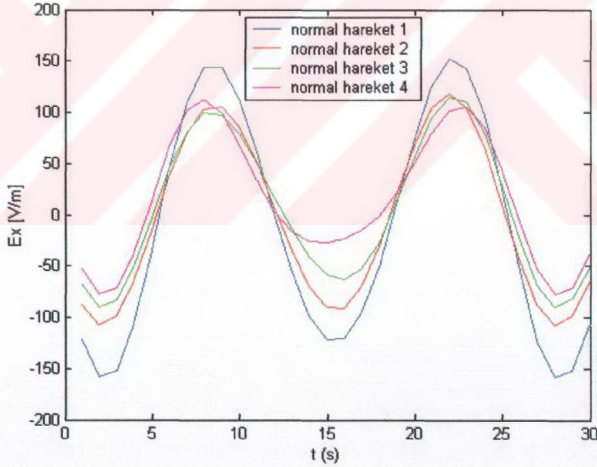
Önce direkt probleme ilişkin sonuçlar elde edilmiştir. Sonra direkt probleme ilişkin dataolar bir arada ve karşılaştırmalı olarak irdelenmek suretiyle rastgele seçilen veri gruplarının hangi hareket grubuna dahil bir harekete uyduğuna ve hedefin hızına ilişkin ters problem göz önüne alınmıştır.

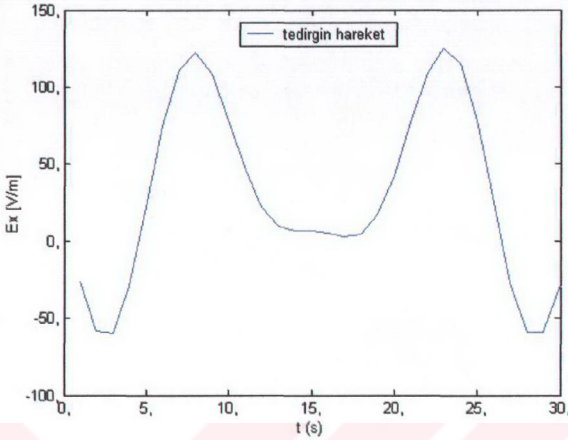
3.1 Direkt Probleme İlişkin Çözümler

Simülasyonlar sonucunda üç farklı gözlem noktasındaki veriler incelenmiştir. Bu noktalar sırasıyla $P_1(1.2,1.2,1.6)$, $P_2(3,3,3)$ ve $P_3(6,6,1)$ noktalarıdır ve Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu gözlem noktalarına ilişkin elektrik alan Şekil 3.2-Şekil3.37’de verilmiştir. (Bkz. Ek3-5)



Şekil 3.1 Gözlem Noktaları

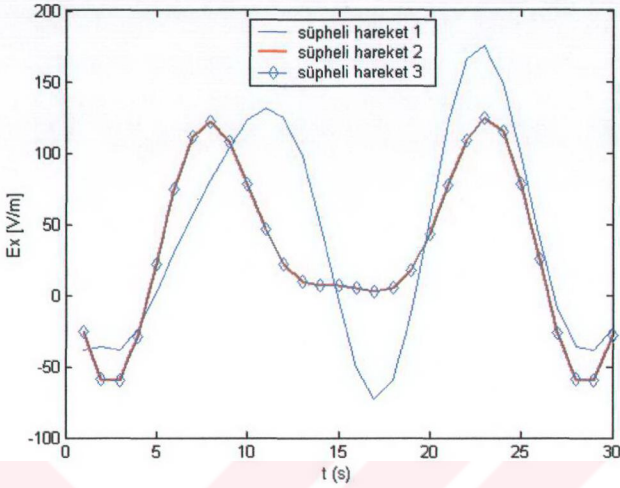
Şekil 3.2 $P_1(1.2, 1.2, 1.6)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği



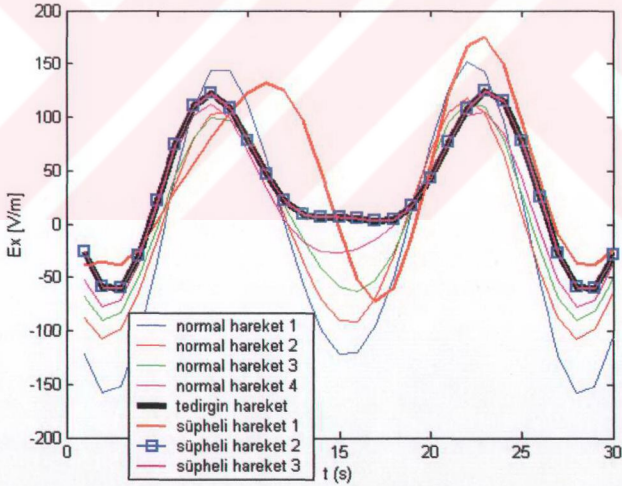
Şekil 3.3 $P_1(1.2,1.2,1.6)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin E_x - t karakteristiği

$P_1(1.2,1.2,3.2)$ noktasında E_x 'in zamanla değişimi 1, 2, 3 ve 4 numaralı hareket tipleri için Şekil 3.2'deki gibi elde edilmiştir. Bu hareket tiplerinin yerel minimumları ilk üç tip için hemen hemen birbirini andıran bir görünüme sahiptir. Sinüzoidal bir eğriye benzemeleri ve belli sayıda kırılma noktalarına sahip olmaları bu hareket tiplerine ilişkin uygun karakteristik özellikler olarak yorumlanabilir. Bu üçünden farklı olan dördüncü tipe ise bu kısımda sürekli bir eğri çizilmektedir. Bu husustan da söz konusu hareket tipine ilişkin uygun bir karakteristik olarak yararlanılabilir. Aynı zamanda bu grafiklerin yerel minimumları ile hedefin hızı arasında bir ilişki kurulabileceği görülmektedir.

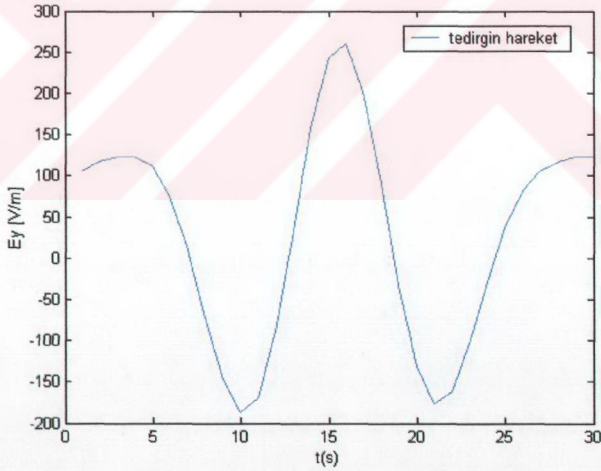
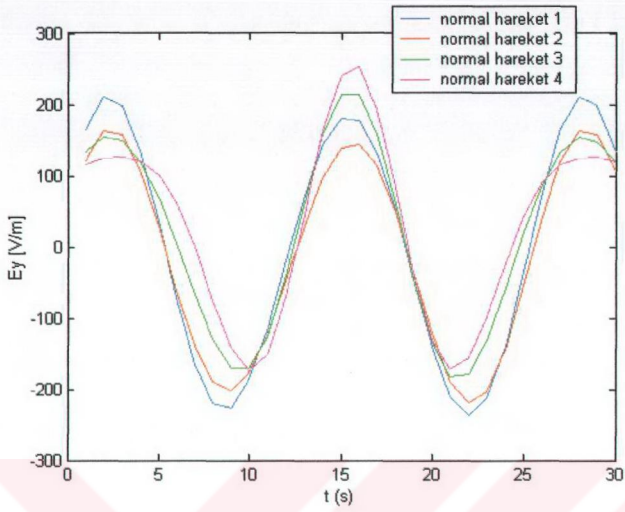
Şekil 3.3'te tedirgin harekete ilişkin karakteristiğin normal hareketlerden farklı olarak yerel minimumlarındaki sürekliliğin bu hareket tipini karakterize etmesi şeklinde yorumlanabilir. Şekil 3.4'teki grafikte ise normal hareketkilerden farklı grafikler elde edilmiştir. Şüpheli hareketlerin grafiklerinde üstüste çakışık yapıda iki şeklin olması ters problemin kötü kurulu (ill-posed) karakteri ile ilişkilidir.

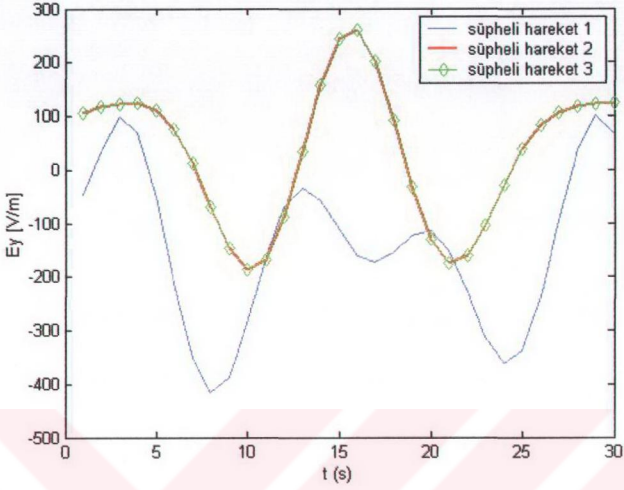


Şekil 3.4 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği

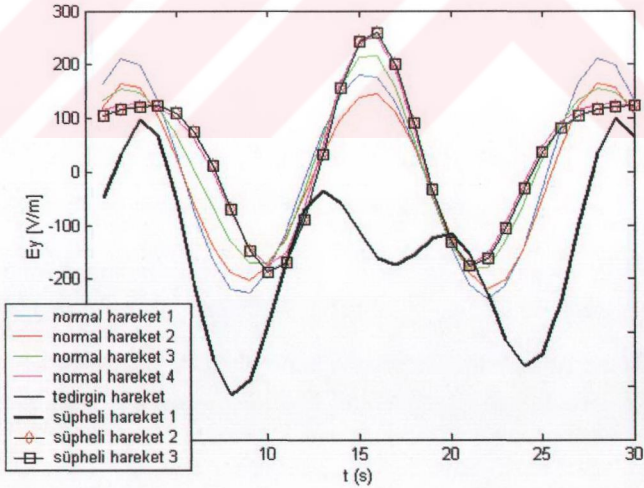


Şekil 3.5 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği

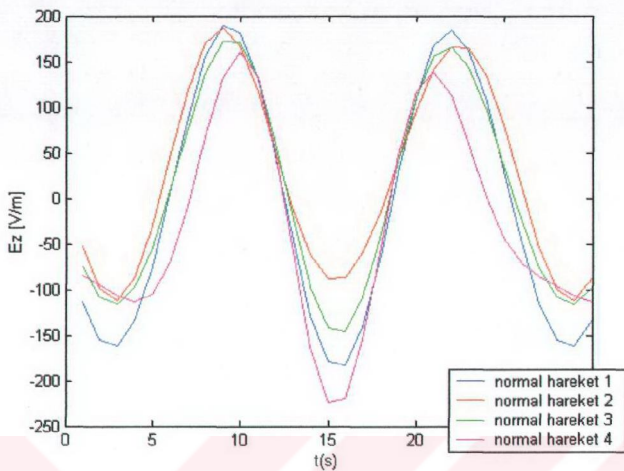




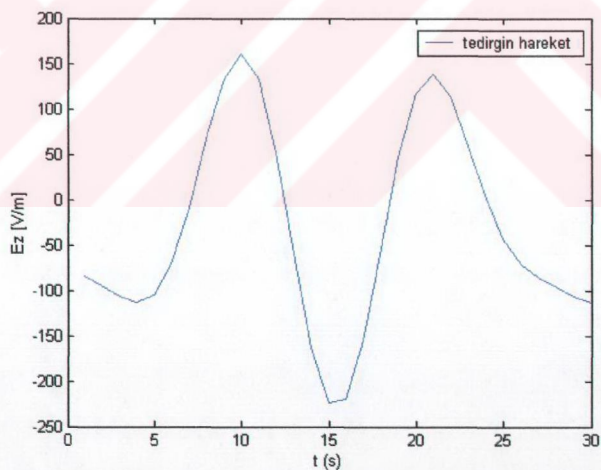
Şekil 3.8 $P_1(1.2, 1.2, 3.2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



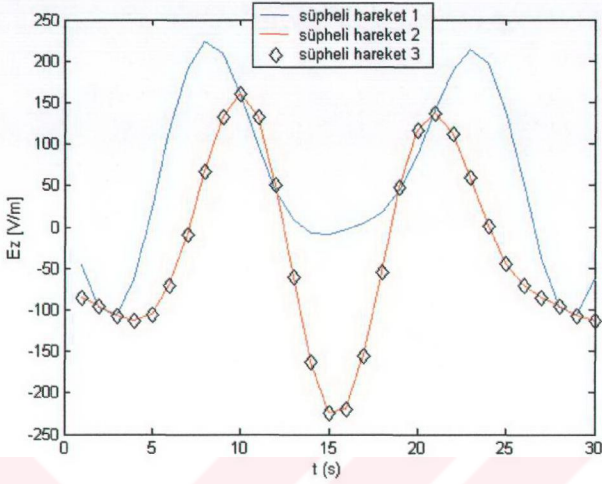
Şekil 3.9 $P_1(1.2, 1.2, 3.2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



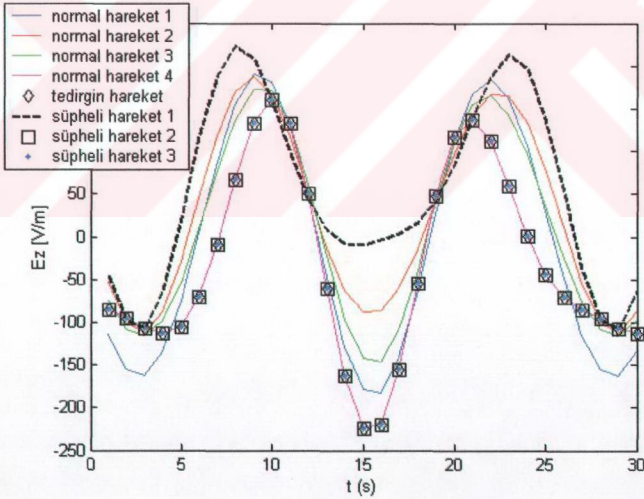
Şekil 3.10 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği



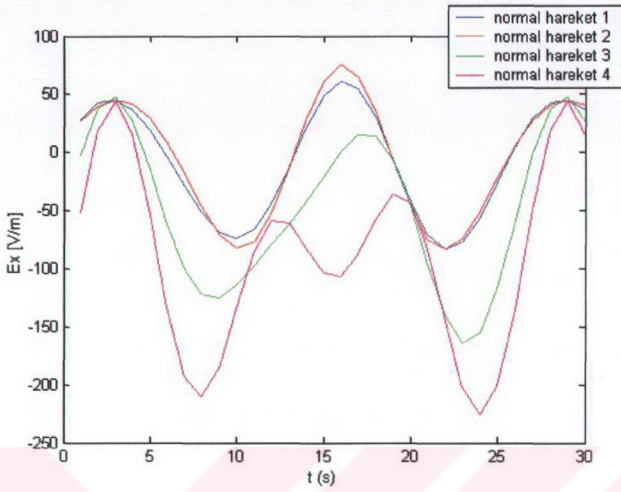
Şekil 3.11 $P_1(1.2,1.2,3.2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ez-t karakteristiği



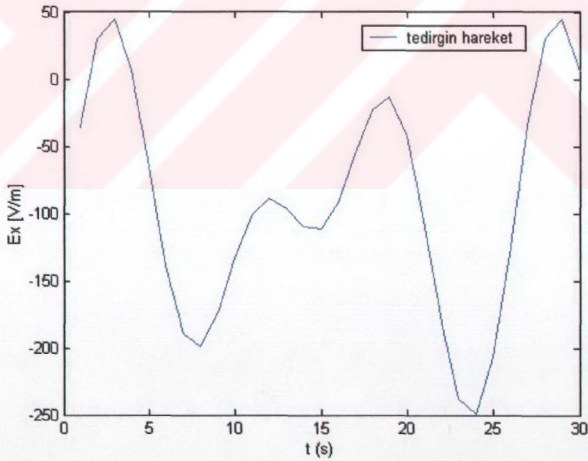
Şekil 3.12 P₁(1.2,1.2,3.2) gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği



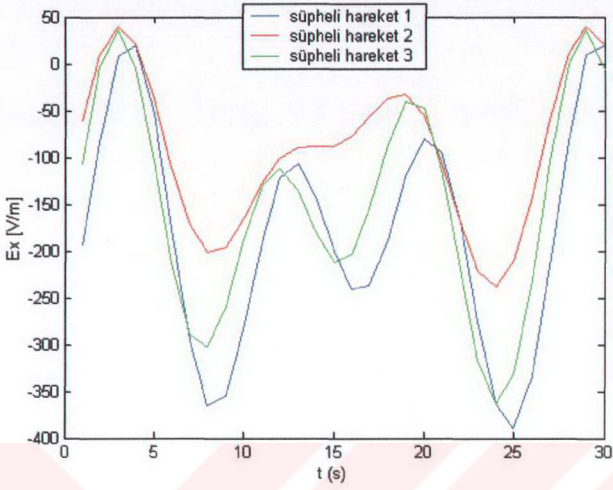
Şekil 3.13 P₁(1.2,1.2,3.2) gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ez-t karakteristiği



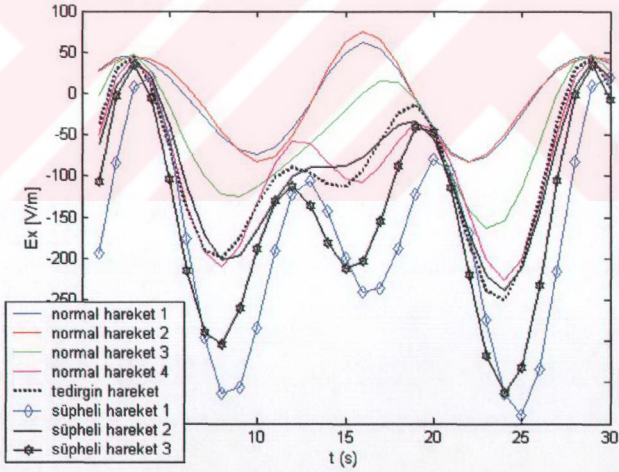
Şekil 3.14 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin Ex-t karakteristiği



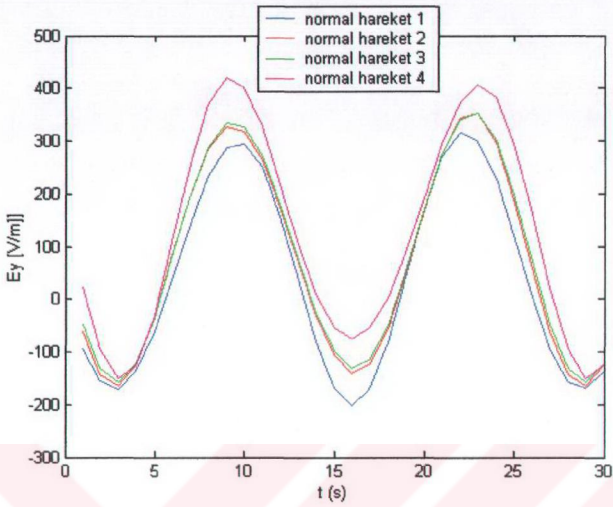
Şekil 3.15 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin Ex-t karakteristiği



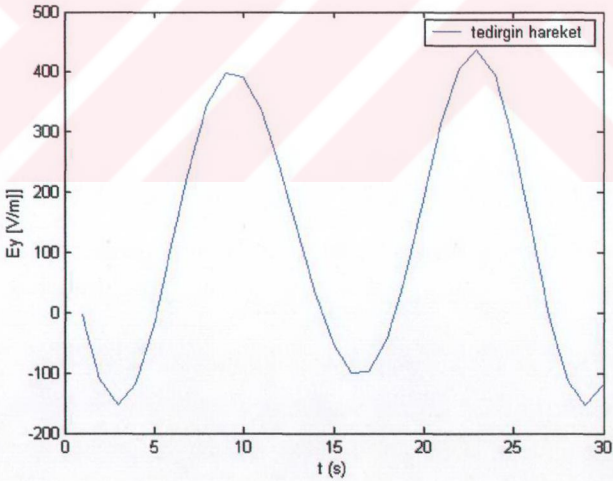
Şekil 3.16 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin $Ex-t$ karakteristiği



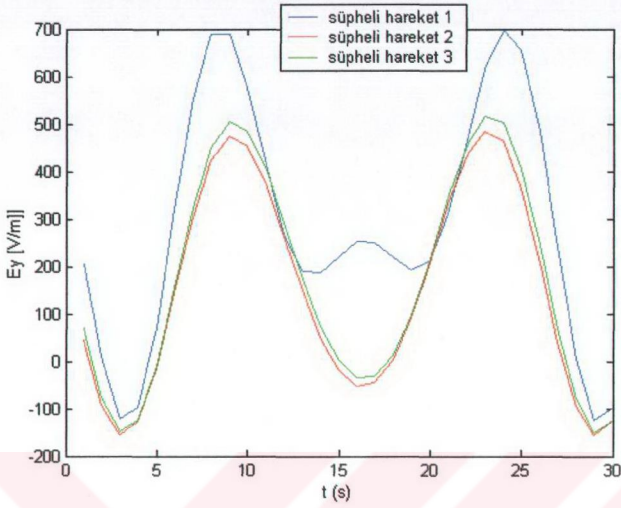
Şekil 3.17 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin $Ex-t$ karakteristiği



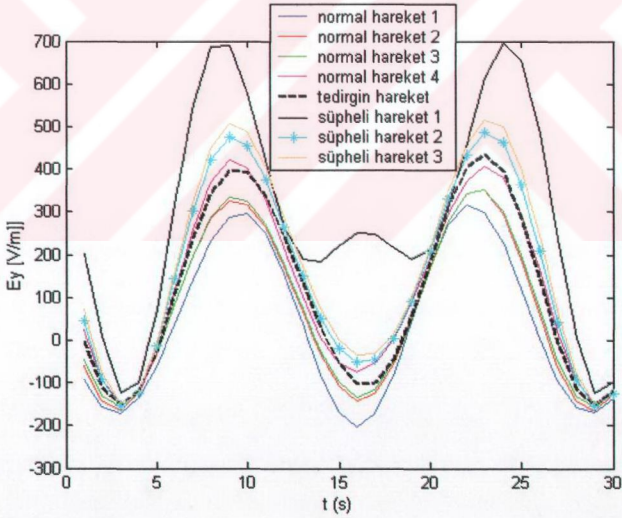
Şekil 3.18 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



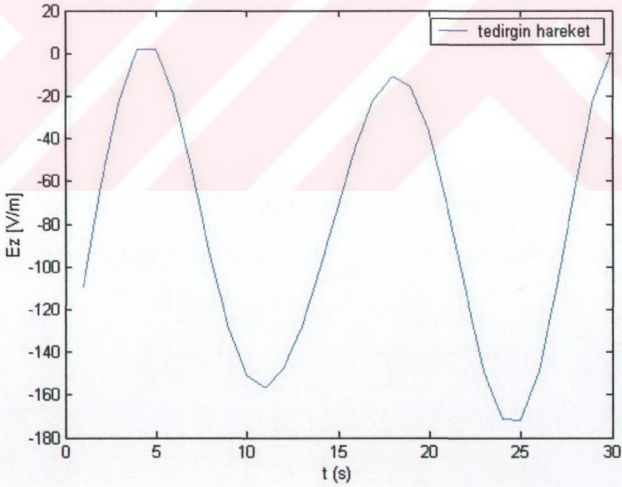
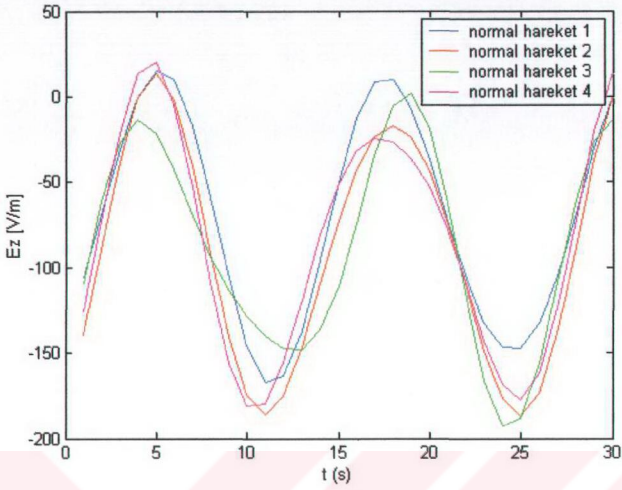
Şekil 3.19 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin E_y - t karakteristiği

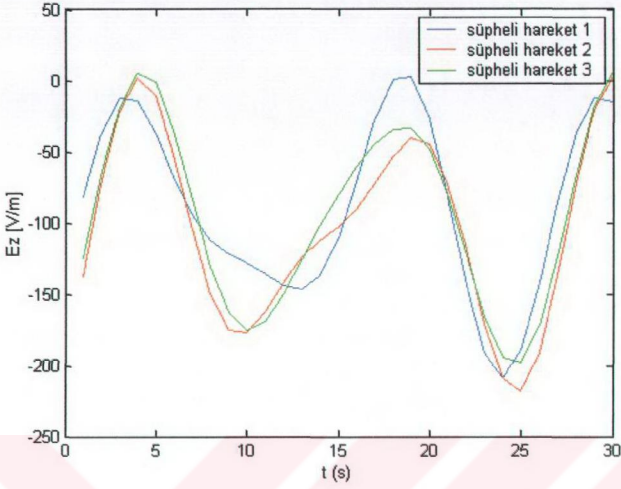


Şekil 3.20 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği

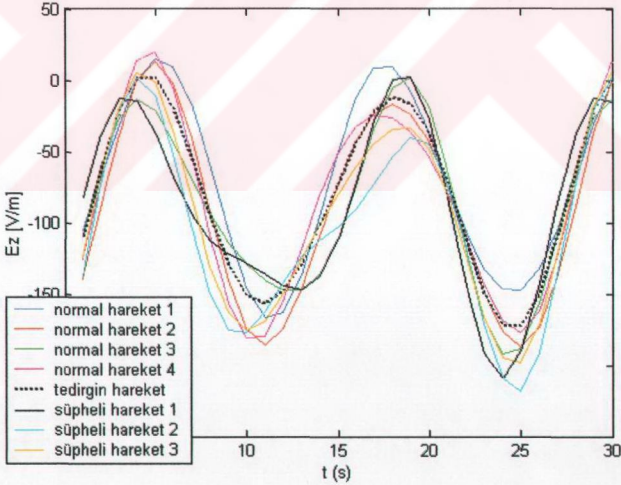


Şekil 3.21 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin Ey-t karakteristiği

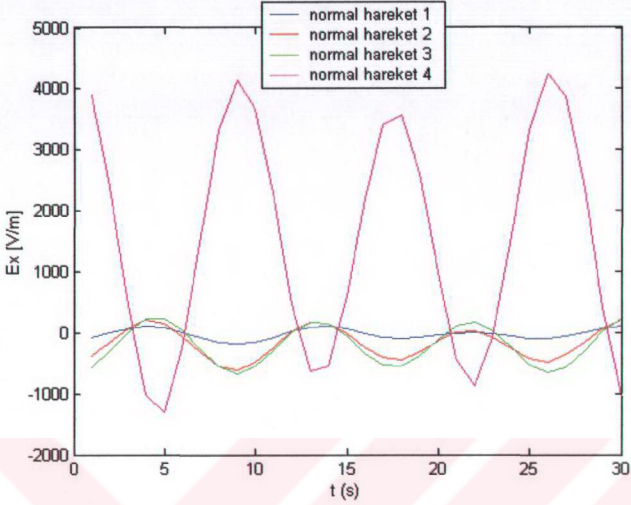




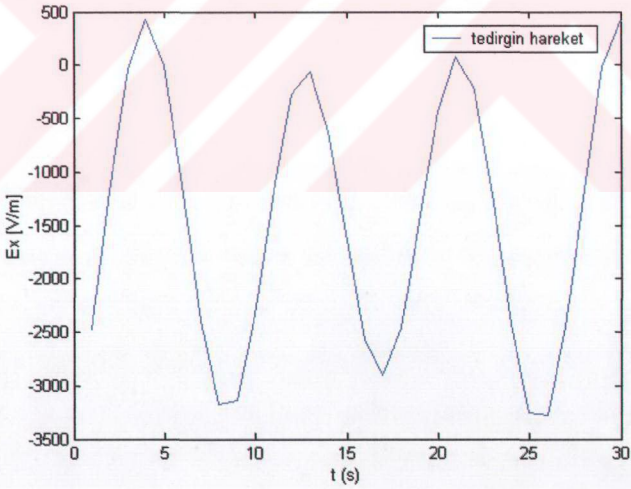
Şekil 3.24 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_z - t karakteristiği



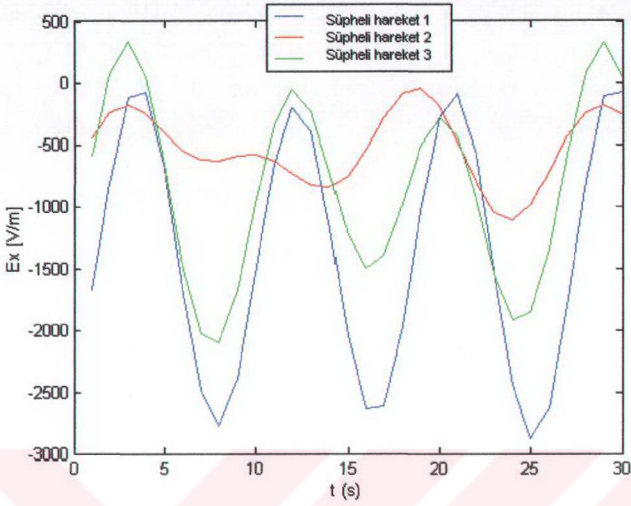
Şekil 3.25 $P_2(3,3,3)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_z - t karakteristiği



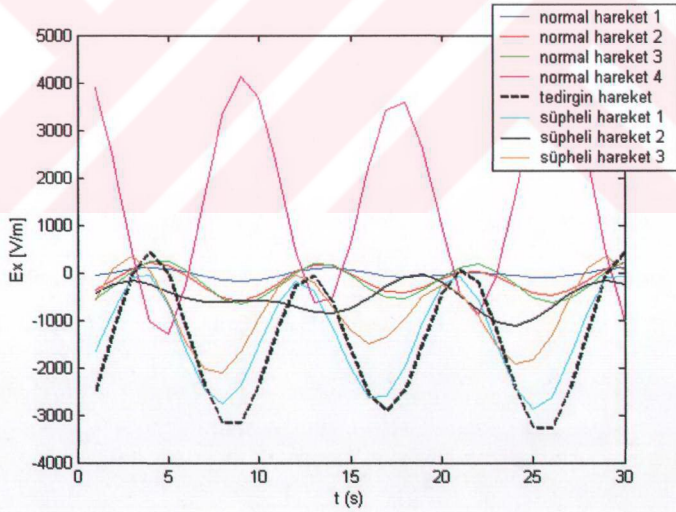
Şekil 3.26 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği



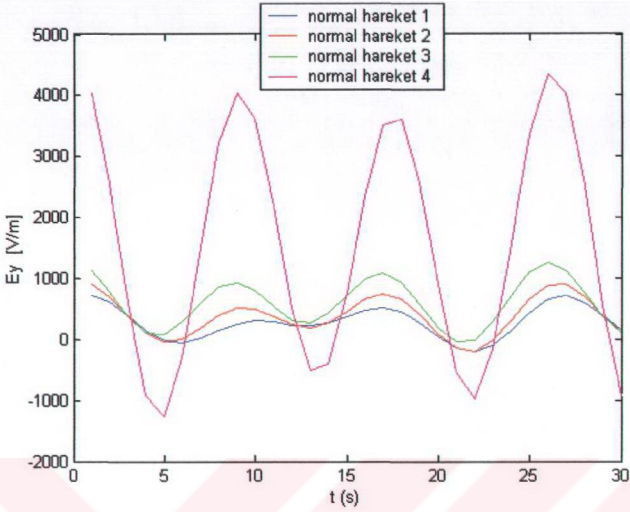
Şekil 3.27 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin E_x - t karakteristiği



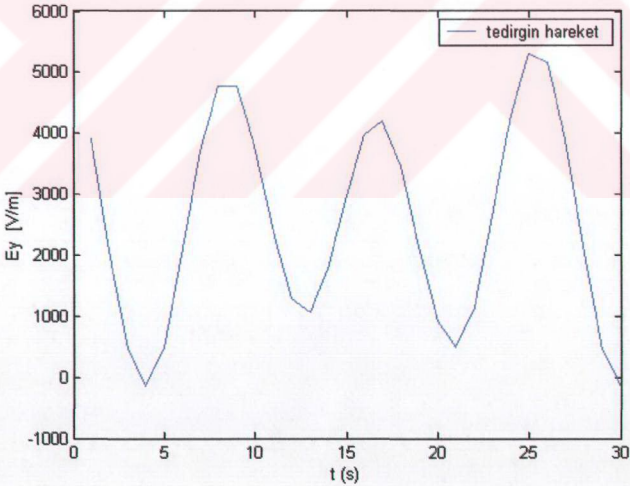
Şekil 3.28 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği



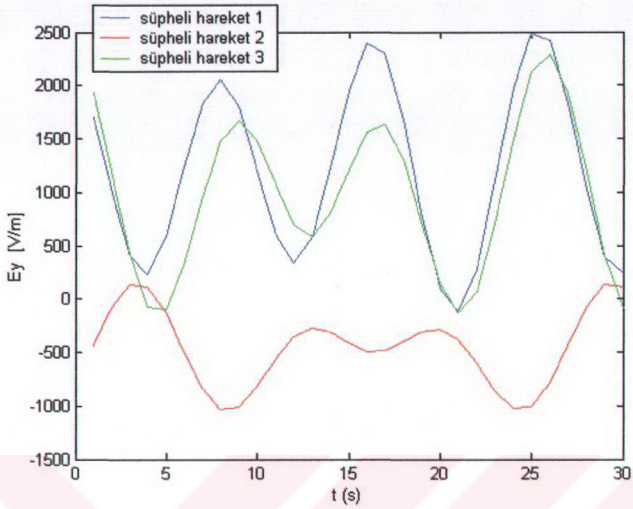
Şekil 3.29 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_x - t karakteristiği



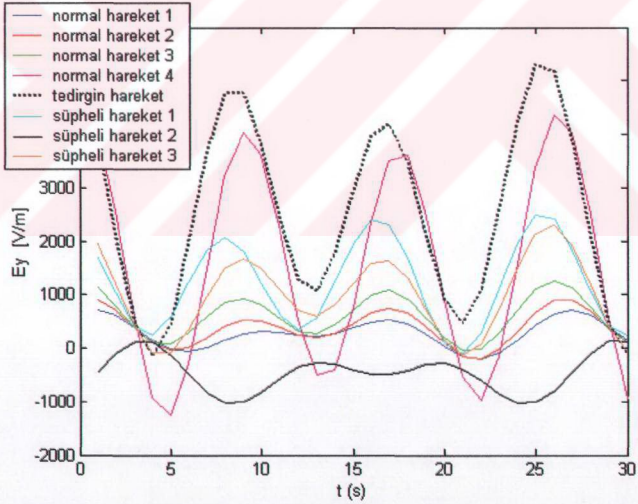
Şekil 3.30 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



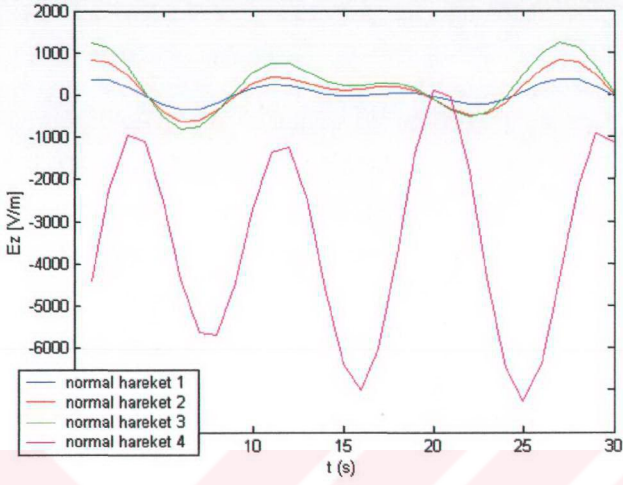
Şekil 3.31 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin E_y - t karakteristiği



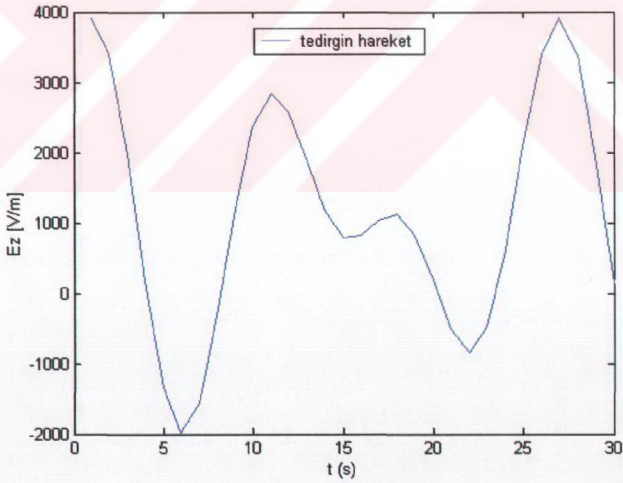
Şekil 3.32 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



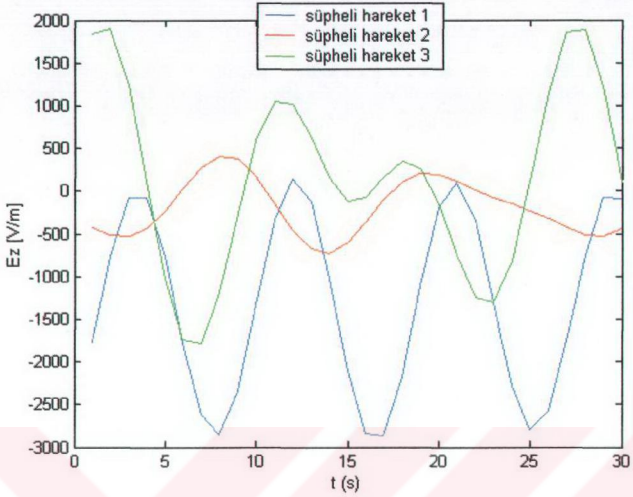
Şekil 3.33 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_y - t karakteristiği



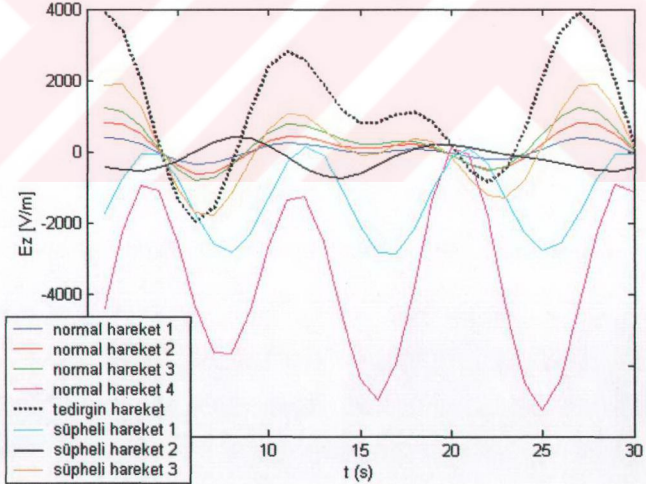
Şekil 3.34 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki normal hareketlere ilişkin E_z - t karakteristiği



Şekil 3.35 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki tedirgin harekete ilişkin E_z - t karakteristiği



Şekil 3.36 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki şüpheli hareketlere ilişkin E_z - t karakteristiği



Şekil 3.37 $P_3(6,6,2)$ gözlem noktasındaki hareketlere ilişkin E_z - t karakteristiği

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde özellikle normal hareket olarak sınıflandırılmış olan hareketlere ait karakteristiklerin diğer hareket karakteristiklerinden her üç gözlem noktasında da farklılıklar gösterdiği ve kendi kategorisi içerisinde de benzerlikler taşıdığı sonucuna varılabilir. Tedirgin ve şüpheli hareket olarak sınıflandırılan hareketlerin ise birbirleriyle benzerlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Ortaya konulan tezin amacına uygun olarak elde edilen bu farklılığın en azından böyle bir sistemin üzerinde çalışılabileceği, yapılacak ölçümlerle, ampirik yaklaşımlarla sistemin işlerlik düzeyine çıkarılabileceği söylenebilir.

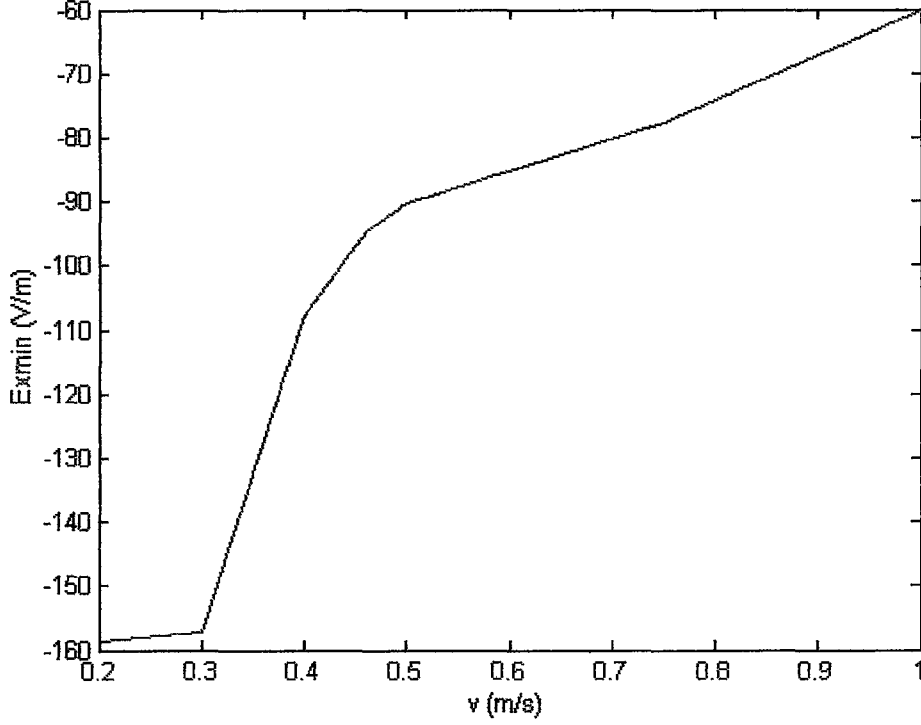
3.2 Ters Probleme İlişkin Çözümler

Şekil 3.1’de erişilen sonuçlar ve Şekil 3.2-Şekil 3.37’deki eğriler yardımıyla hareket tipleri ilişkili olarak ortaya çıkartılan karakteristik bir yapıya sahip olduğunu ortaya koyan yorumlar, bu kısımda yarı analitik – yarı nümerik bir yaklaşımla tezde incelenen olaya ilişkin hem kendisini hem de çözümünü verecek hale getirilmiştir. Buradaki ters problemin tanımı, elektromagnetik dalganın ölçü sonucu elde edilen zamanla değişiminden hareketin 2.2’de Çizelge 2.1-2.1a ve Şekil 2.18-Şekil 2.25 ile tanımlanan tiplerden hangisine uyduğunun ve hedefin hızının hangi merteye aralığı içinde kaldığının elde edilmesidir.

3.2.1 Hız ve Alan Şiddeti İlişkisi Kurma Yaklaşımı

Normal hareket 1, 2 ve 3’e ilaveten $v=0.3$ m/s, $v=0.46$ m/s, $v=0.75$ m/s hızları için de hesaplar yapılarak E_x ’lerin yerel minimumları ve v arasındaki grafik Şekil 3.38’deki gibi elde edilmiştir.

Bu grafik üzerinden yukarıdaki hesaplarda göz önüne alınan hızla hareket ettiği düşünülen bir hedefe ilişkin sonuçları yaklaşık olarak elde etmek olanaklı olabilir. Örneğin, gözlem sonucu elde edilen $E_x(t)$ değişiminin yerel minimumu -87 V/m olsun. Şekil 3.38’den buna karşılık gelen hız $v=0.6$ m/s olarak okunur. Şekil 3.38’in $v<1$ kısmı normal hareket kategorisine uyan hedeflerle elde edilmiştir. Dolayısıyla söz konusu gözlemin, yani -87 V/m’lik yerel minimumu, normal hareket kategorisinde ve yaklaşık 0.6 m/s’lik bir hızla hareket eden bir hedefe ait olabileceği sonucuna erişilir. Benzer şekilde bir başka gözlem sonucu elde edilen $E_x(t)$ değişiminin yerel minimumunun -123 V/m olduğunu varsayalım. Gene Şekil 3.38’ten buna karşılık gelen hız, $v=0.36$ m/s olarak okunur. Dolayısıyla, bu gözlemin gene normal hareket kategorisinde ve yaklaşık 0.36 m/s’lik bir hızla hareket eden bir hedefe ait olabileceği sonucuna erişilir. Bu sonuçlara ilişkin değerler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.



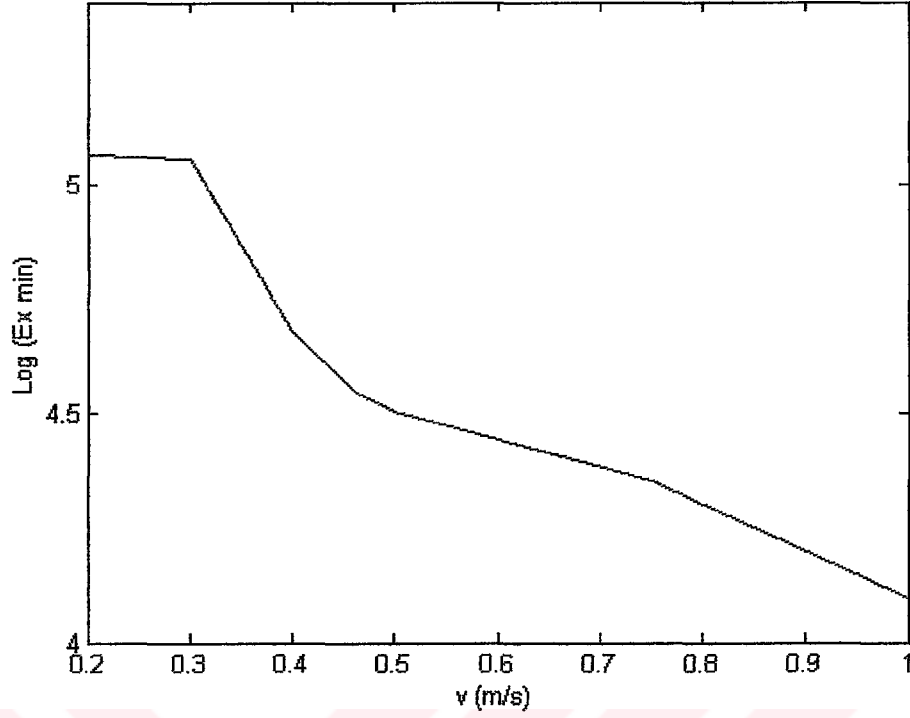
Şekil 3.38 P_1 (1.2,1.2,3.2) noktasındaki E_x alan şiddetinin hareket tiplerine ait yerel minimumları ile hareket tiplerinin hızlarının ilişkisi

Çizelge 3.1 $E_x(t)$ değişiminde gözlenen yerel minimumlara karşılık gelen hızlara bağlı olarak hesaplanan gerçek yerel minimumlar.

Gözlenen $E_x(t)$ 'nin yerel minimumu (V/m)	Şekil 3.38'den okunan v hızı (m/s)	$E_x(t)$ 'nin gerçek yerel minimumu (V/m)
-87	0.6	-90.40
-123	0.36	-107.85

3.2.1.1 Logaritmik İlişki

$E_x(t)$ 'nin yerel minimumu ile hız arasında logaritmik bir ilişki kurmayı düşünelim. Bu amaçla Şekil 3.38'deki düşey eksen logaritmik olarak taksimatlandırılarak Şekil 3.39'daki grafik elde edilmiştir. Burada yata eksen hedefin hızını, düşey eksen $E_x(t)$ 'nin yerel minimumunun logaritmasını göstermektedir. Yukarıdaki kısımdaki algoritmayı bu grafik üzerinde tekrarlamak mümkündür.



Şekil 3.39 P₁ (1.2,1.2,3.2) noktasındaki E_x alan şiddetinin hareket tiplerine ait yerel minimumlarının logaritması ile hareket tiplerinin hızlarının ilişkisi

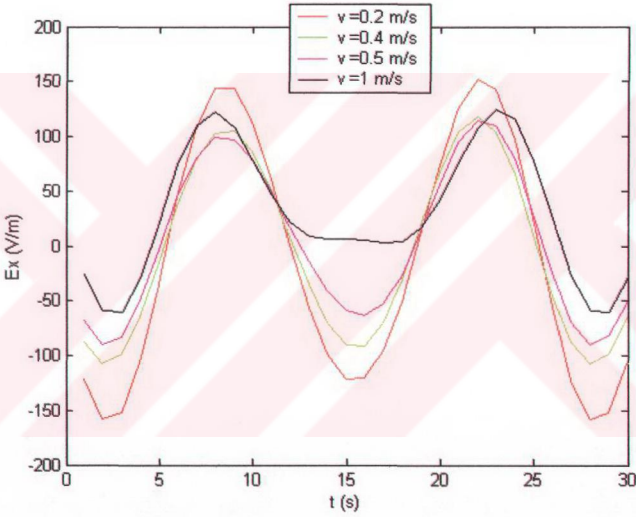
Gözlem sonucu elde edilen E_x(t) değişiminin yerel minimumu -85.62 V/m olur. Şekil 3.39'dan buna karşılık gelen hız $v = 0.6$ m/s olarak okunur. Dolayısıyla, bu gözlemin normal hareket kategorisinde ve yaklaşık 0.6 m/s'lik bir hızla hareket eden bir hedefe ait olabileceği sonucuna erişilir. Benzer şekilde bir başka gözlem sonucu elde edilen E_x(t) değişiminin yerel minimumunun -125.3 V/m olduğunu varsayalım. Gene Şekil 3.39'dan buna karşılık gelen hız $v = 0.36$ m/s olarak okunur. Dolayısıyla, bu gözlemin normal hareket kategorisinde ve yaklaşık 0.36 m/s'lik bir hızla hareket eden bir hedefe ait olabileceği sonucuna erişilir.

Çizelge 3.2 E_x(t) değişiminde gözlenen yerel minimumlara karşılık gelen hızlar

Gözlenen E _x (t)'nin yerel minimumu (V/m)	Şekil 3.38'den okunan v hızı (m/s)	E _x (t)'nin gerçek yerel minimumu (V/m)
-85.62	0.6	-90.40
-125.3	0.36	-107.85

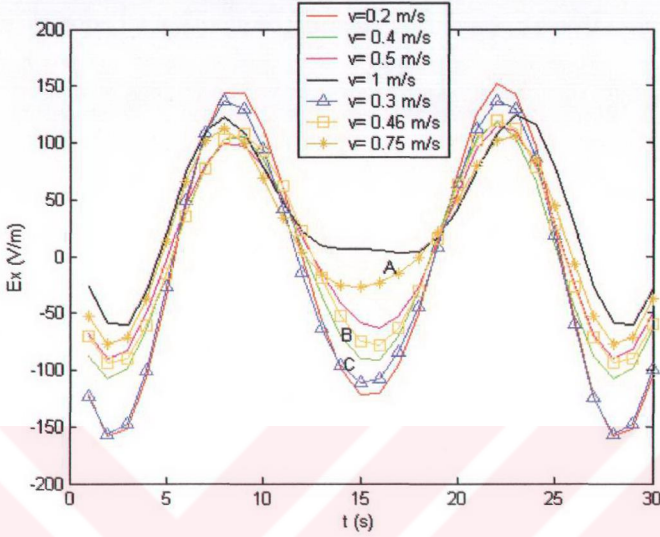
3.2.2 Eğri Uydurma Yaklaşımı

Normal hareket 1 ($v=0.2$ m/s), normal hareket 2 ($v=0.3$ m/s), normal hareket 3 (0.5 m/s), tedirgin hareket ($v=1$ m/s) için elde edilen direkt problem sonuçlarını aynı grafik üzerinde gösterelim. (Bkz. Şekil 3.40). Şekil 3.40'daki yerel minimumları birleştirerek L_M ile gösterilen eğriyi çizelim. Bu eğriyi yerel minimum yörüngesi L_E ile $E_x(t)$ eğrilerinin kesiştiği a, b, c noktalarına aynı eğriye ilişkin hız değerini verecek şekilde bir ölçek değeri karşı düşürmek olanaklıdır. Bu ölçekleme, L_E üzerindeki abc yay uzunluğu örneği $1-0.2 = 0.8$ m/s hızına, bc yay uzunluğu $0.5-0.2=0.3$ m/s hızına, ab yay uzunluğu $1-0.5=0.5$ m/s hızına karşı düşecek şekilde yapılabilir.



Şekil 3.40 P1 (1.2,1.2,3.2) noktasındaki $E_x(t)$ değişimlerinde ortaya konan eğri uydurma yaklaşımı

Şimdi, çeşitli gözlemler sonucu elde edilen $E_x(t)$ değişimlerinin Şekil 3.41'de sırayla *, \square ve Δ ile işaretlenen A, B ve C eğrileri gibi olduğunu varsayalım. L_E ile A, B ve C eğrilerinin kesişme noktalarına L_E üzerindeki ölçek cinsinden karşı düşen değerleri grafikten okuyalım. Söz konusu değerler A, B ve C eğrilerinin L_E civarındaki kısımlarının hangi hız ve hareket kategorisine göre hareket eden bir hedefe ait olabileceğinin ifade edilmesine olanak sağlayacaktır. Bu yaklaşımın sonuçları Çizelge 3.3'te topluca verilmiştir.



Şekil 3.41 P_1 (1.2,1.2,3.2) noktasındaki $E_x(t)$ değişimlerinde ek olarak ele alınan hızların yerel minimumları ile ilişkili eğri uydurma yaklaşımı

Çizelge 3.3 Şekil 3.41’de ifade edilen A, B, C eğrilerinin hareket tipi ve hızları

Eğri	Hareket Tipi	Hız (m/s)
A	Normal Hareket	0.3
B	Normal Hareket	0.46
C	Normal Hareket	0.75

4. SONUÇLAR

Bölüm 3'teki şekiller incelendiğinde özellikle normal hareket olarak sınıflandırılmış olan hareketlere ait karakteristiklerin diğer hareket karakteristiklerinden farklı gözlem noktalarında farklılıklar gösterdiği ve kendi kategorisi içerisinde de benzerlikler taşıdığı sonucuna varılabilir. Tedirgin ve şüpheli hareket olarak sınıflandırılan hareketlerin ise birbirleriyle benzerlik gösterdiği benimsenebilir. Tezin amacına uygun olarak elde edilen bu farklılığın en azından böyle bir sistemin üzerinde çalışabileceği, yapılacak ölçümlerle, ampirik yaklaşımlarla sistemin işlerlik düzeyine çıkarılabileceği söylenebilir. İşaret işleme teknikleri ile burada yazılan analiz zenginleştirilebilir. Ele alınması gereken bir diğer husus analizin daha büyük bir problem uzayında yapılabilmesinin sağlam sağlamamayacağıdır. Bellek ve işlemci kapasitesi daha yüksek olan bilgisayarların kullanılmasıyla daha detaylı hallere ilişkin analizler ve buna bağlı olarak daha fazla ters çevirme modellemeleri yapmak mümkün olacaktır.

Diğer taraftan yapay sinir ağları yaklaşımları ile Bölüm 3.2'deki yaklaşımlar genişletilebilir. İlerideki çalışmalar için bu tür yaklaşımlarla da ilgilenmeye başlanmıştır.

Tezde erişilen sonuçlar, normal bir hareket yapan bir araç ile şüpheli veya tedirgin bir hareket yapan insandan saçılan elektromanyetik dalgaların birbirlerinden farklı karakteristikte özellikler gösterdiği ortaya konmaktadır.

KAYNAKLAR

Elliot, R.S, "Antenna Theory and Design", Printice Hall, 1981, New York.

Furse, C.M., Chen, J.Y., Gandhi, P., (1994) "The Use of the Frequency-Dependent Finite-Difference Time Domain Method for Induced Current and SAR Calculations for a Heterogeneous Model of the Human Body", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2 May 1994, Vol. 36, No. 2, 128-133.

Holland, R., Simpson, L., Kunz, K.S., (1980) "Finite Difference Analysis of EMP Coupling to Lossy Dielectric Structures", IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 3 August 1980, Vol,EMC-22.

Kalaycıoğlu, K., "Silindirik Geometriye Sahip Saçılma Problemlerinde İntegral Gösterim Yoluyla Kesin Sayısal Çözüm Yaklaşımı", Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1997.

Kunz, K.S., Luebbers, R.J. "The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetics", CRC Press, 1993.

Leuschen, C., Plumb, R., "Introducing the Effects of Dispersive Media into the Finite-Difference Time-Domain Algorithm", The University of Kansas, Radar Systems and Remote Sensing Laboratory.

Sihvola, A., Lindell, I., (1992), "Polarizability Modeling of Heterogeneous Media", PIER 6 Progress in Electromagnetics Research, 1992, 101-151.

Sihvola, A., (1999), "Electromagnetic Mixing Formullas and Applications", IEEE Electromagnetic Waves Series, 1999, London.

EKLER

- Ek 1 FDTD mimarisi
- Ek 2 Gelen alan formülasyonu
- Ek 3 Saçılan alan FDTD formülasyonu
- Ek 4 Ayrık alan formalizmi
- Ek 5 Sınır Koşulları



Ek 1 FDTD mimarisi

FDTD uygulamalarında titizlikle belirlenmesi gereken büyüklükler ve hususlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Hücre boyutları
2. Zaman adımı büyüklüğü
3. Gelen alanın tanımı
4. Saçıcının yapılandırılması
5. Toplam alanın hesaplanması
6. Dış radyasyon sınır koşulu

Hücre boyutunun belirlenmesi en kritik aşamadır. Saçıcıyla ilgili doğru sonuçları alabilmek için yeteri kadar küçük olmalıdır. Ayrıca yapılan programın düzgün çalışabilmesi açısından da yeteri kadar büyük olmalıdır. Permittivitesi ve iletkenliği yüksek malzemeler ile çalışırken daha yüksek frekans ve bununla birlikte daha küçük hücre boyutları seçilmelidir.

Hücre boyutu seçildikten sonra, maksimum zaman adımı Courant kararlılık koşulu ile hesaplanır. Elbetteki saçılan alanın belirlenebilmesi için gelen alanın programa giriş verileri olarak tanımlanması gerekmektedir. Dış radyasyon sınır koşulu problem uzayının sınırlarının belirlenmesi açısından önemlidir. Bir diğer konu da simülasyonun yapıldığı bilgisayarın bellek ve işlemci kapasitesidir. Hücre boyutlarının küçük olması, buna bağlı olarak geniş bir problem uzayının ve küçük zaman adımlarının seçilmesi işlem süresi açısından daha yüksek işlemci ve bellek gereksinimini ortaya çıkaracaktır. Elbetteki pratik uygulamalarda süper bilgisayarlar kullanılarak işlem süresi açısından ortaya çıkan problemler rahatlıkla ortadan kaldırılabılır.

Hücre boyutlarının belirlenmesi saçıcının boyutlarına ve çalışma frekansına bağlıdır. Özellikle yüksek iletkenlikli ve yüksek permittiviteli bir saçıcı analizi yapılırken yüksek frekansta çalışılması gerekmektedir ve hücre boyutu dalga boyunun en az 10'da biri olmalıdır. Tam doğru sonuçların elde edilebilmesi için hücre boyutu dalga boyunun 20'de biri olacak şekilde seçilmelidir (Kunz). Elbetteki saçıcının küçük veya büyük olması bu kural açısından çalışma frekansının belirlenmesinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bir insandan saçılan alanın analizi ile bir uçaktan saçılan alanın analizi karşılaştırıldığında, sonuç olarak saçıcıyı maksimum hücre sayısı ile modellemek gerektiğinden çalışma frekansları değişecektir.

Zaman adımının seçilmesi aşağıdaki eşitlikler ifade edilen Courant kararlılık koşuluyla bağlıdır;

$$v\Delta t \leq \frac{du}{\sqrt{D}} \quad (\text{Ek1.1})$$

Burada v ve D sırasıyla, problem uzayındaki maksimum propagasyon hızı ve ele alınan problem uzayının boyutudur. Daha genel olarak 3 boyutlu dikdörtgen uzay için aşağıdaki şekilde ifade edilir (Kunz):

$$v\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (\text{Ek1.2})$$

Maksimum propagasyon hızı genellikle boş uzay için ışık hızıdır. Tecrübelerle göre (Ek1.1) ve (Ek1.2) ifadelerinde belirlenen zaman adımları eşit değerler kullanıldığında daha doğru sonuçlar vermektedir. Ancak bu durum için bir istisna söz konusudur. Saçıcının iletkenliğinin yüksek olduğu durumlarda Courant limitine göre daha küçük zaman adımları kullanılmalıdır.



Ek 2 Gelen alan formülasyonu

Dipol antenin kartezyen koordinatlardaki alan bağıntıları aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibidir (Elliot):

$$\vec{E} = \frac{c^2 \tilde{I} l}{i\omega 4\pi \mu_0^{-1} r} e^{i(\omega t - k r)} \left\{ \begin{aligned} & \left[\left(-k^2 + \frac{i3k}{r} + \frac{3}{r^2} \right) \sin \theta \cos \theta \right] [\vec{a}_x \cos \phi + \vec{a}_y \sin \phi] \\ & + \vec{a}_z \left[\left(\frac{i2k}{r} + \frac{2}{r^2} \right) \cos^2 \theta + \left(k^2 - \frac{ik}{r} - \frac{1}{r^2} \right) \sin^2 \theta \right] \end{aligned} \right\} \quad (\text{Ek2.1})$$

$$\vec{H} = \frac{\tilde{I} l}{4\pi} \left(ik + \frac{1}{r} \right) \frac{e^{i(\omega t - k r)}}{r} \sin \theta [-\vec{a}_x \sin \phi + \vec{a}_y \cos \phi] \quad (\text{Ek2.2})$$

Burada, k , l , ω , μ_0 , ve r sırasıyla, ortamın dalga sayısı, $\frac{1}{2}$ anten boyu, açısal frekans, boşluğun magnetik geçirgenliği ve gözlem noktasının antene olan uzaklığıdır.



Ek 3 Saçılan alan FDTD formülasyonu

Gelen ve saçılan alan zaman domeninde Maxwell eşitliklerini sağlayacak olduğundan lineer izotropik malzemelerin zaman boyunca davranışlarının tanımlanabilmesi için gerek ve yeter veriler Maxwell eşitlikleri ve alan dağılımlarının başlangıç değerleridir. Maxwell eşitlikleri aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.1})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (\text{Ek3.2})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{Ek3.3})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Ek3.4})$$

Burada \vec{D} , elektrik akı yoğunluğu ve \vec{B} , magnetik akı yoğunluğu olup aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir;

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{Ek3.5})$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{Ek3.6})$$

Maxwell eşitlikleri, FDTD'de kullanılacakları formda aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibi tekrar düzenlenebilir.

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{E}) - \frac{\sigma^*}{\mu} \vec{H} \quad (\text{Ek3.7})$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{-\sigma}{\epsilon} \vec{E} + \frac{1}{\epsilon} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \quad (\text{Ek3.8})$$

Burada (Ek3.1) ve (Ek3.2) eşitliklerine ek olarak magnetik yük yoğunluğu ve elektriksel yük yoğunluğu bileşenleri eklenmiştir. Bu ifadeler sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibidir;

$$\vec{\mu} = \sigma^* \vec{H} \quad (\text{Ek3.9})$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad (\text{Ek3.10})$$

Burada (Ek3.10) eşitliği ile ortamda kayıplı dielektrik bir malzemenin olabileceği göz önüne

alınmıştır. Keza, (Ek3.9) ifadesinde bulunan σ^* , magnetik iletkenlik terimi ile de magnetik kayıp olasılığı göz önünde bulundurulmuştur.

(Ek3.7) ve (Ek3.8) eşitlikleri herhangi bir gözlem noktasındaki toplam alanı elde edebilmek için ayrıntı hale getirilebilir. İlk olarak saçılan, gelen ve toplam alanla ilgili eşitlikler şöyledir;

$$E^{toplam} \equiv E^{gelen} + E^{saçılan} \quad (\text{Ek3.11})$$

$$H^{toplam} \equiv H^{gelen} + H^{saçılan} \quad (\text{Ek3.12})$$

Toplam alan gelen alan ile saçılan alanın toplamından ibarettir. Saçıcının bulunduğu ortamda toplam alan aşağıdaki eşitlikleri sağlayacaktır;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{toplam} = -\frac{\mu \cdot \partial \vec{H}^{toplam}}{\partial t} - \sigma^* \vec{H}^{toplam} \quad (\text{Ek3.13})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{toplam} = \frac{\epsilon \cdot \partial \vec{E}^{toplam}}{\partial t} + \sigma \cdot \vec{E}^{toplam} \quad (\text{Ek3.14})$$

Bununla birlikte boş uzayda gelen alan ifadeleri de aşağıdaki eşitliklerle ifade edilecektir;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{gelen} = -\frac{\mu_o \cdot \partial \vec{H}^{gelen}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.15})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{gelen} = \frac{\epsilon_o \cdot \partial \vec{E}^{gelen}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.16})$$

Toplam alan ifadeleri tekrar aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\vec{\nabla} \times (\vec{E}^{gelen} + \vec{E}^{saçılan}) = -\frac{\mu \cdot \partial (\vec{H}^{gelen} + \vec{H}^{saçılan})}{\partial t} - \sigma^* (\vec{H}^{gelen} + \vec{H}^{saçılan}) \quad (\text{Ek3.17})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{H}^{gelen} + \vec{H}^{saçılan}) = \frac{\epsilon \cdot \partial (\vec{E}^{gelen} + \vec{E}^{saçılan})}{\partial t} + \sigma (\vec{E}^{gelen} + \vec{E}^{saçılan}) \quad (\text{Ek3.18})$$

Saçılan alan ifadeleri, (Ek3.17) ve (Ek3.18) eşitlikleri ile ifade edilen toplam alan eşitliklerinden (Ek3.15) ve (Ek3.16) eşitlikleri ile ifade edilen gelen alan eşitliklerinin çıkarılması ile elde edilir. Böylece, saçılan alana ait formülasyon aşağıdaki eşitliklerde belirtildiği gibi elde edilir;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{saçılan} = -\frac{\mu \cdot \partial \vec{H}^{saçılan}}{\partial t} - \sigma^* \vec{H}^{saçılan} - \left[\frac{(\mu - \mu_o) \partial \vec{H}^{gelen}}{\partial t} + \sigma^* \vec{H}^{gelen} \right] \quad (\text{Ek3.19})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{\text{saçılan}} = \frac{\epsilon}{\partial t} \frac{\partial \vec{E}^{\text{saçılan}}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{\text{saçılan}} + \left[\frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\partial t} \frac{\partial \vec{E}^{\text{gelen}}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{\text{gelen}} \right] \quad (\text{Ek3.20})$$

Saçıcının dışındaki boş uzayda toplam alan aşağıdaki ifadeleri sağlar;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{\text{toplam}} = -\frac{\mu_0 \partial \vec{H}^{\text{toplam}}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.21})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{\text{toplam}} = \frac{\epsilon_0 \partial \vec{E}^{\text{toplam}}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.22})$$

(Ek3.21) ve (Ek3.22) eşitlikleriyle belirtilen ifadeler aşağıdaki gibi tekrar düzenlenebilir;

$$\vec{\nabla} \times (\vec{E}^{\text{gelen}} + \vec{E}^{\text{saçılan}}) = -\frac{\mu_0 \partial (\vec{H}^{\text{gelen}} + \vec{H}^{\text{saçılan}})}{\partial t} \quad (\text{Ek3.23})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{H}^{\text{gelen}} + \vec{H}^{\text{saçılan}}) = \frac{\epsilon_0 \partial (\vec{E}^{\text{gelen}} + \vec{E}^{\text{saçılan}})}{\partial t} \quad (\text{Ek3.24})$$

Böylece, toplam alan ifadelerinden gelen alan ifadelerini çıkararak boş uzaydaki saçılan alan ifadelerini elde etmek mümkün olacaktır;

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{\text{saçılan}} = -\frac{\mu_0 \partial \vec{H}^{\text{saçılan}}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.25})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{\text{saçılan}} = \frac{\epsilon_0 \partial \vec{E}^{\text{saçılan}}}{\partial t} \quad (\text{Ek3.26})$$

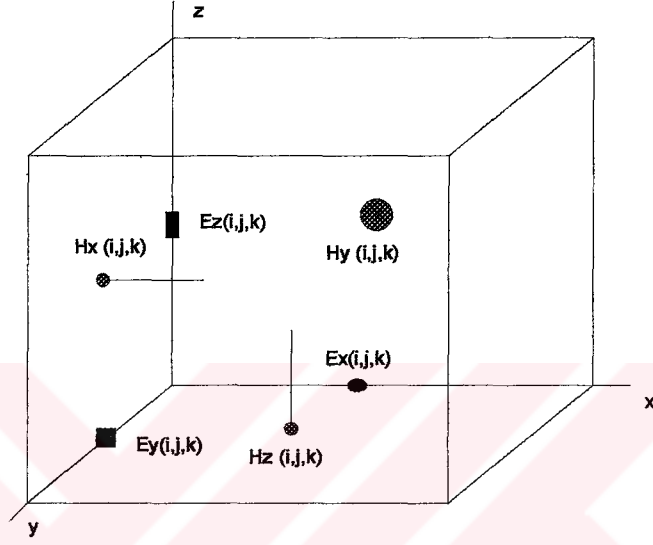
Aslında yukarıdaki ifadeler (Ek3.19) ve (Ek3.20) eşitliklerinde ortam parametrelerinin boş uzaydaki değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen ifadelerdir. Fark denklemlerinin oluşturulması için zamana göre türev ifadelerini kalan terimlerin bir fonksiyonu olarak tekrar düzenlemek gerekmektedir.

$$\frac{\partial \vec{H}^{\text{saçılan}}}{\partial t} = -\frac{\sigma^*}{\mu} \vec{H}^{\text{saçılan}} - \frac{\sigma^*}{\mu} \vec{H}^{\text{gelen}} + \frac{(\mu - \mu_0)}{\mu} \frac{\partial \vec{H}^{\text{gelen}}}{\partial t} - \frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{E}^{\text{saçılan}}) \quad (\text{Ek3.27})$$

$$\frac{\partial \vec{E}^{\text{saçılan}}}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E}^{\text{saçılan}} - \frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E}^{\text{gelen}} - \frac{(\epsilon - \epsilon_0)}{\epsilon} \frac{\partial \vec{E}^{\text{gelen}}}{\partial t} + \frac{1}{\epsilon} (\vec{\nabla} \times \vec{H}^{\text{saçılan}}) \quad (\text{Ek3.28})$$

Ek 4 Ayrık alan formalizmi

Analitik ifadelerin nümerik analizini yapabilmek için ilk olarak değişkenlerin ayrık olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Problem uzayı $x = I \Delta x$, $y = J \Delta y$, $z = K \Delta z$ ve zaman da, $t = n \Delta t$ olarak ayrık formda yazılabilir. Hücreler tüm uzay boyunca uniform seçilerek I, J, K indisleriyle ayrı olarak tanımlanabilirler. Bu hücre üzerinde altı adet alan bileşeni tanımlanır ve Yee hücresi olarak adlandırılır. Şekil Ek3.1'de gösterilmiştir. Zaman değişkeni elektrik alan için N olurken magnetik alan N + ½ olmaktadır (Kunz).



Şekil Ek3.1 Yee Hücresi

(Ek3.27) ve (Ek3.28) ifadelerinde saçılan alan terimlerini bir tarafa toplayacak olursak aşağıdaki ifadeler elde edilir;

$$\epsilon \cdot \frac{\partial E^{saçılan}}{\partial t} + \sigma \cdot E^{saçılan} = -\sigma \cdot E^{gelen} - (\epsilon - \epsilon_0) \frac{\partial E^{gelen}}{\partial t} + (\nabla \times H^{saçılan}) \quad (\text{Ek4.1})$$

$$\mu \frac{\partial H^{saçılan}}{\partial t} + \sigma^* \cdot H^{saçılan} = -\sigma^* \cdot H^{gelen} + (\mu - \mu_0) \frac{\partial H^{gelen}}{\partial t} - (\nabla \times E^{saçılan}) \quad (\text{Ek4.2})$$

Kısmi türevli ifadelerin ayrık olarak ifade edilebilmesi için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılır;

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(x, t_2) - f(x, t_1)}{\Delta t} \approx \frac{f(x, t_2) - f(x, t_1)}{\Delta t} \quad (\text{Ek4.3})$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_2, t) - f(x_1, t)}{\Delta x} \approx \frac{f(x_2, t) - f(x_1, t)}{\Delta x} \quad (\text{Ek4.4})$$

Dolayısıyla (Ek4.1) ve (Ek4.2) ifadeleri zaman boyunca güncellenecek şekilde aşağıdaki şekilde tekrar ifade edilebilir;

$$\varepsilon(E^{s,n} - E^{s,n-1}) + \sigma \Delta t E^{s,n} = -\sigma \Delta t E^{g,n} - (\varepsilon - \varepsilon_0) \Delta t \dot{E}^{g,n} + (\nabla \times H^{s,n-1/2}) \Delta t \quad (\text{Ek4.5})$$

$$\begin{aligned} \mu(H^{s,n+1/2} - H^{s,n-1/2}) + \sigma^* \Delta t H^{s,n-1/2} &= -\sigma^* \Delta t H^{g,n-1/2} + (\mu - \mu_0) \Delta t \dot{H}^{g,n-1/2} \\ -\Delta t (\nabla \times E^{s,n}) \end{aligned} \quad (\text{Ek4.6})$$

Burada, \dot{E} ve \dot{H} ile ifade edilen terimler aşağıda belirtildiği gibidir;

$$\dot{E}^{g,n} = \frac{E^{g,n} - E^{g,n-1}}{\Delta t} \quad (\text{Ek4.7})$$

$$\dot{H}^{g,n} = \frac{H^{g,n} - H^{g,n-1}}{\Delta t} \quad (\text{Ek4.8})$$

Böylece problem uzayında zaman boyunca güncellenecek alan bileşenleri aşağıdaki şekilde tekrar yazılır;

$$\begin{aligned} E_x^s(i, j, k)^n &= \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_x^s(i, j, k)^{n-1} - \left(\frac{\sigma \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_x^g(i, j, k)^n - \left(\frac{(\varepsilon - \varepsilon_0) \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \dot{E}_x^g(i, j, k)^n \\ &\left(\frac{\Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \left[\frac{H_z^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_z^s(i, j-1, k)^{n-1/2}}{\Delta y} + \frac{H_y^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_y^s(i, j, k-1)^{n-1/2}}{\Delta z} \right] \end{aligned} \quad (\text{Ek4.9})$$

$$\begin{aligned} E_y^s(i, j, k)^n &= \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_y^s(i, j, k)^{n-1} - \left(\frac{\sigma \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_y^g(i, j, k)^n - \left(\frac{(\varepsilon - \varepsilon_0) \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \dot{E}_y^g(i, j, k)^n \\ &\left(\frac{\Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \left[\frac{H_x^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_x^s(i, j, k-1)^{n-1/2}}{\Delta z} + \frac{H_z^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_z^s(i-1, j, k)^{n-1/2}}{\Delta x} \right] \end{aligned} \quad (\text{Ek4.10})$$

$$\begin{aligned} E_z^s(i, j, k)^n &= \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_z^s(i, j, k)^{n-1} - \left(\frac{\sigma \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) E_z^g(i, j, k)^n - \left(\frac{(\varepsilon - \varepsilon_0) \Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \dot{E}_z^g(i, j, k)^n \\ &\left(\frac{\Delta t}{\varepsilon + \sigma \Delta t} \right) \left[\frac{H_y^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_y^s(i-1, j, k)^{n-1/2}}{\Delta x} + \frac{H_x^s(i, j, k)^{n-1/2} - H_x^s(i, j-1, k)^{n-1/2}}{\Delta y} \right] \end{aligned} \quad (\text{Ek4.11})$$

$$\begin{aligned} H_x^{s,n+1/2} &= H_x^{s,n-1/2} - \left(\frac{\sigma^* \Delta t}{\mu} \right) H_x^{s,n-1/2} + \left(\frac{\sigma^* \Delta t}{\mu} \right) H_x^{g,n-1/2} + \left(\frac{\mu - \mu_0}{\mu} \right) \Delta t \dot{H}_x^{g,n-1/2} \\ &- \left(\frac{\Delta t}{\mu} \right) \left[\frac{E_z^s(i, j, k)^{n-1} - E_z^s(i, j-1, k)^{n-1}}{\Delta y} + \frac{E_y^s(i, j, k)^{n-1} - E_y^s(i, j, k-1)^{n-1}}{\Delta z} \right] \end{aligned} \quad (\text{Ek4.12})$$

$$\begin{aligned}
H_y^{s,n+1/2} = & H_y^{s,n-1/2} - \left(\frac{\sigma^* \cdot \Delta t}{\mu} \right) H_y^{s,n-1/2} + \left(\frac{\sigma^* \cdot \Delta t}{\mu} \right) H_y^{g,n-1/2} + \left(\frac{\mu - \mu_0}{\mu} \right) \Delta t \dot{H}_y^{g,n-1/2} \\
& - \left(\frac{\Delta t}{\mu} \right) \left[\frac{E_x^s(i, j, k)^{n-1} - E_x^s(i, j, k-1)^{n-1}}{\Delta z} + \frac{E_z^s(i, j, k)^{n-1} - E_z^s(i-1, j, k)^{n-1}}{\Delta x} \right]
\end{aligned} \tag{Ek4.13}$$

$$\begin{aligned}
H_z^{s,n+1/2} = & H_z^{s,n-1/2} - \left(\frac{\sigma^* \cdot \Delta t}{\mu} \right) H_z^{s,n-1/2} + \left(\frac{\sigma^* \cdot \Delta t}{\mu} \right) H_z^{g,n-1/2} + \left(\frac{\mu - \mu_0}{\mu} \right) \Delta t \dot{H}_z^{g,n-1/2} \\
& - \left(\frac{\Delta t}{\mu} \right) \left[\frac{E_y^s(i, j, k)^{n-1} - E_y^s(i-1, j, k)^{n-1}}{\Delta x} + \frac{E_x^s(i, j, k)^{n-1} - E_x^s(i, j-1, k)^{n-1}}{\Delta y} \right]
\end{aligned} \tag{Ek4.14}$$

Ortamın özelliği ne olursa olsun, yukarıdaki eşitlikler en genel halde kullanılabilir. Ancak çalışılan ortamın boş uzay, kayıplı dielektrik, kayıplı magnetik veya mükemmel iletken oluşma durumuna göre bazı indirgemeler yapılabilir. Örnek olarak boş uzayda $\varepsilon \rightarrow \varepsilon_0$, $\mu \rightarrow \mu_0$, $\sigma^*, \sigma \rightarrow 0$ olacaktır.

Ek 5 Sınır Koşulları

Hareket eden bir insan vücudu incelendiğinden farklı dielektrik özelliklere sahip olan hücreler arasında toplam alan bileşenlerine ait sınır koşulları algoritmaya dahil edilmiştir. Her bir zaman adımında elektrik ve magnetik alan ifadelerinin teğetsel bileşenleri birbirine eşittir. Algoritmaya dahil edilen sınır koşullarına aşağıdaki atama komutları karşı düşmektedir:

$\epsilon (t; nx,ny-1,nz) ; \sigma(t; nx,ny-1,nz) \neq \epsilon (t; nx,ny,nz) ; \sigma(t; nx,ny,nz)$ durumunda;

$$E_t (t; nx,ny,nz) = E_t(t; nx,ny-1,nz) \quad (\text{Ek5.1a})$$

$$H_t (t; nx,ny,nz) = H_t(t; nx,ny-1,nz) \quad (\text{Ek5.1b})$$

$\epsilon (t; nx-1,ny,nz) ; \sigma(t; nx-1,ny-1,nz) \neq \epsilon (t; nx-1,ny,nz) ; \sigma(t; nx-1,ny,nz)$ durumunda;

$$E_t (t; nx,ny,nz) = E_t(t; nx-1,ny,nz) \quad (\text{Ek5.2a})$$

$$H_t (t; nx,ny,nz) = H_t(t; nx-1,ny,nz) \quad (\text{Ek5.2b})$$

$\epsilon (t; nx,ny,nz-1) ; \sigma(t; nx-1,ny,nz-1) \neq \epsilon (t; nx,ny,nz-1) ; \sigma(t; nx,ny,nz-1)$ durumunda;

$$E_t (t; nx,ny,nz) = E_t(t; nx,ny,nz-1) \quad (\text{Ek5.3a})$$

$$H_t (t; nx,ny,nz) = H_t(t; nx,ny,nz-1) \quad (\text{Ek5.3b})$$

Mükemmel iletkenin bulunduğu noktalarda ise sınır koşulları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$E (t; nx,ny,nz) = 0 \quad (\text{Ek5.4a})$$

$$H (t; nx,ny,nz) = 0 \quad (\text{Ek5.4b})$$

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.01.1979	
Doğum yeri	Çaycuma	
Lise	1992-1996	Zonguldak Mehmet Çelikel Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak. Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı, Haberleşme Programı

Çalıştığı kurumlar

2000-2000	MBIS Bilgisayar Otomasyon Danışmanlık Hizm. Ltd. Şti
2000-2002	Honeywell Otomasyon ve Kontrol Sistemleri AŞ.
2002-2003	KC İletişim Ltd. Şti.
2003-2004	Tesan İletişim AŞ.