

168391

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAREKETLİ CİSİMLERDEN ELEKTROMAGNETİK
DALGA SAÇILMASININ FDTD YÖNTEMİYLE
UZAKTAN ALGILAMAYA YÖNELİK OLARAK
ANALİZİ**

Elektronik ve Haberleşme Müh. Fikret TOKAN

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Taner ŞENGÖR

Prof. Dr. Taner ŞENGÖR

Prof. Dr. Selim Şeker

Prof. Dr. İ. Akdoğan

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iii
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SİLİNDİRİK KOORDİNAT SİSTEMİNDE HAREKET EDEN CİSİM MODELİ.....	3
2.1 Silindirik Koordinat Sisteminde Hareket Eden İnsan Bacakları Modeli.....	3
2.2 Silindirlerin Hareket Denklemlerinin Elde Edilmesi	7
2.3 Hareket Modelleri.....	16
2.3.1 Normal Hareket	17
2.3.2 Tedirgin Hareket.....	18
2.3.3 Şüpheli Hareket	20
3. GELEN ALAN İFADESİNİN ELDE EDİLMESİ.....	22
3.1 Gelen Alana Ait Magnetik Vektör Potansiyelinin Bulunması	22
3.2 Gelen Alana Ait Magnetik Alan İfadesinin Bulunması	24
3.3 Gelen Alana Ait Elektrik Alan İfadesinin Bulunması.....	25
4. PROBLEM UZAYININ VE HÜCRE BOYUTLARININ BELİRLENMESİ.....	26
4.1 Dış Radyasyon Sınır Koşulunun Belirlenmesi	26
4.2 Hücre Boyutlarının Ve Zaman Adımının Belirlenmesi.....	28
5. DİSPERSİF ORTAM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI	31
5.1 Üç Boyutlu Karışım Modeli	32
6. AYRIK ALAN FORMÜLASYONU	35
6.1 Sınır Koşulları	36
6.2 Saçılan Alan İfadelerinin Ayrık Forma Dönüştürülmesi.....	38
7. ÇÖZÜMLER VE DEĞERLENDİRMELER	43

8. SONUÇLAR.....	51
EKLER.....	52
Ek 1 Silindirik Koordinat Sisteminde Koordinat Dönüşümü.....	54
Ek 2 Maxwell Denklemlerinden Hareketle Saçılan Alan İfadelerinin Elde Edilmesi	55
Ek 3 Hazırlanan Bilgisayar Programı.....	59
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	76



SİMGE LİSTESİ

\vec{E}	Elektrik alan
\vec{H}	Magnetik alan
\vec{B}	Magnetik akı yoğunluğu
\vec{D}	Elektrik akı yoğunluğu
μ	Magnetik geçirgenlik
σ	İletkenlik
ε	Dielektrik sabiti
\bar{x}	Dönüştürülmüş koordinatlardaki x eksenini
\bar{y}	Dönüştürülmüş koordinatlardaki y eksenini
\bar{z}	Dönüştürülmüş koordinatlardaki z eksenini
\bar{x}_x	$\bar{o}\bar{x}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{x}_y	$\bar{o}\bar{x}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{x}_z	$\bar{o}\bar{x}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{y}_x	$\bar{o}\bar{y}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{y}_y	$\bar{o}\bar{y}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{y}_z	$\bar{o}\bar{y}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{z}_x	$\bar{o}\bar{z}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{z}_y	$\bar{o}\bar{z}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
\bar{z}_z	$\bar{o}\bar{z}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü
a	Anten yarıçapı
l	Bacak boyu
$V\rho$	Silindirlerin ρ doğrultusundaki hızı
Vz	Silindirlerin z doğrultusundaki hızı
$Va\rho$	Ayağın ρ doğrultusundaki hızı
Vaz	Ayağın z doğrultusundaki hızı
$Vk\rho$	Kalçanın ρ doğrultusundaki hızı
Vkz	Kalçanın z doğrultusundaki hızı
\vec{A}	Magnetik vektör potansiyeli
\vec{I}	Antenin üzerinden akan akım
\bar{z}	Antenin yerden yüksekliği
$\bar{\rho}$	Antenin üzerindeki noktanın anten merkezinden olan uzaklığı
$\bar{\phi}$	Antenin üzerindeki noktanın ϕ açısı
R	Gözlem noktasının antene olan uzaklığı
k	Dalga sayısı
v	Problem uzayındaki maksimum propagasyon hızı
D	Problem uzayının boyutu
ω	Çalışma frekansı
$\varepsilon^*(\omega)$	Çalışma frekansına bağlı kompleks dielektrik sabiti
ε_i	Homojen bir malzemeyle çevrelenmiş hacmin içerisine rasgele yerleşen malzemenin kompleks dielektrik sabiti
ε_e	Homojen yapının kompleks dielektrik sabiti
f	Hacimsel oran

KISALTMA LİSTESİ

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



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Ötelenmiş koordinat sistemi.....	3
Şekil 2.2 Döndürülmüş koordinat sistemi.....	4
Şekil 2.3 Sola yatık bir silindir için kullanılan koordinat sistemi.....	5
Şekil 2.4 $t=0$ anındaki insan bacakları modeli.....	7
Şekil 2.5 $t = t_1$ anındaki insan bacakları modeli.....	8
Şekil 2.6 $t = t_2$ anındaki insan bacakları modeli.....	9
Şekil 2.7 $t = t_3$ anındaki insan bacakları modeli.....	10
Şekil 2.8 $t = t_4$ anındaki insan bacakları modeli.....	11
Şekil 2.9 $t = t_5$ anındaki insan bacakları modeli.....	12
Şekil 2.10 $t = t_6$ anındaki insan bacakları modeli.....	13
Şekil 2.11 $t = t_7$ anındaki insan bacakları modeli.....	14
Şekil 2.12 $t = t_8$ anındaki insan bacakları modeli.....	15
Şekil 2.13 Normal hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.....	18
Şekil 2.14 Tedirgin hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.....	19
Şekil 2.15 Şüpheli hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.....	21
Şekil 3.1 Magnetik dipol antenin koordinat sistemine yerleşimi.....	22
Şekil 4.1 (a) E_{ρ}^i ; (b) E_{ϕ}^i ; (c) E_z^i bileşenlerinin zaman domenindeki ifadelerinin $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında zamanla değişimi.....	26
Şekil 4.2 (a) H_{ρ}^i ; (b) H_{ϕ}^i ; (c) H_z^i bileşenlerinin zaman domenindeki ifadelerinin $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında zamanla değişimi.....	27
Şekil 4.3 Problem uzayı.....	28
Şekil 4.4 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında (a) D_{ρ} ; (b) D_{ϕ} ; (c) D_z 'in zamanla değişimi.....	30
Şekil 6.1 Problem uzayı ve bu uzaya ait silindirik yapıdaki FDTD hücresi.....	35
Şekil 6.2 Geçiş yüzeyleri.....	37
Şekil 7.1 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.....	44
Şekil 7.2 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.....	44
Şekil 7.3 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.....	45
Şekil 7.4 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan magnetik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.....	45
Şekil 7.5 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan magnetik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.....	46
Şekil 7.6 $(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli	

hareket” için saçılan magnetik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.	46
Şekil 7.7 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.	47
Şekil 7.8 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.	47
Şekil 7.9 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.	48
Şekil 7.10 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.	48
Şekil 7.11 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.	49
Şekil 7.12 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.	49

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 $V_z, V_\rho, V_{az}, V_{kz}, V_{a\rho}, V_{k\rho}$ hızlarının “normal hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.	17
Çizelge 2.2 “Normal hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.	17
Çizelge 2.3 $V_z, V_\rho, V_{az}, V_{kz}, V_{a\rho}, V_{k\rho}$ hızlarının “tedirgin hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.	18
Çizelge 2.4 “Tedirgin hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.	19
Çizelge 2.5 $V_z, V_\rho, V_{az}, V_{kz}, V_{a\rho}, V_{k\rho}$ hızlarının “Şüpheli hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.	20
Çizelge 2.6 “Şüpheli hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.	20
Çizelge 5.1 $\tau_1 = 46.25$ ns ve $\tau_2 = 0.0907$ ns olan dokulara ilişkin statik ve dielektrik sabitleri.	31
Çizelge 5.2 100 MHz’de dokuların bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri.	32
Çizelge 5.3 Kullanılan insan vücudu modelindeki bacağına ait dokuların hacim oranları ve $\epsilon_i, \epsilon_e, \sigma_i, \sigma_e$ değerleri.	34
Çizelge 5.4 Kullanılan insan vücudu modelindeki bacak bölgesinin efektif bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri.	34

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her adımında katkılarını esirgemeyerek çalışmama ışık tutan değerli hocam Prof. Dr. Taner Şengör'e teşekkürü bir borç bilirim.

Desteklerini her an yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarım Nurhan Türker, Övünç Polat, Cenk Dinçbakır ve Altay Alvur'a teşekkür ederim.

Çalışmamın bu konu üzerinde çalışacak araştırmacılara faydalı olması dileğiyle.



ÖZET

Zaman domeninde sonlu farklar (FDTD) metodu, zamanla değişim içeren elektromagnetik alan problemlerin çözümünde kullanılan sayısal metodlardan biridir. Bu tezde, hareketli cisimlerden saçılan elektromagnetik dalgaların FDTD metodu ile çözümü yapılmıştır. Hareketli cisim, insan bacakları olarak belirlenmiş ve insan bacaklarından saçılan elektromagnetik dalgalar hesaplanarak insan hareketleri değerlendirilmiştir. Problemin çözümünde, çözümün tekliğinin sağlanması, hücre boyutlarının sağlaması gereken kriterlere özen gösterilmiş, zaman adımının belirlenmesinde Courant karalılık koşulu dikkate alınmıştır.

Hareketli cisim olarak seçilen insan bacakları iki adet silindir ile modellenmiş ve bu silindirlere ait hareket denklemleri elde edilmiştir. Problem uzayına uygun olarak dairesel elektrik akımı halkası şeklindeki kaynak verici anten olarak seçilmiştir. Hareketli cismin silindir şeklinde olması sebebiyle gelen alan ifadeleri dairesel silindirik koordinat sisteminde yazılmıştır. FDTD metodunun uygulanabilmesi için gelen dalga ve cismin yüzeyinin hareket denklemleri ayrıık forma dönüştürülerek saçılan alana ait değer ve grafikler, tanımlanan üç farklı hareket modeli için ayrı ayrı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: FDTD, saçılma, silindirik bacak adımları modeli, karışım modeli, zaman adımı, hücre boyutları.

ABSTRACT

Finite difference time domain method (FDTD) is one of the numerical methods used for the solution of the electromagnetic problems involving variations with respect to the time. In this thesis, the electromagnetic waves scattering from the moving objects are evaluated by using the FDTD method. The moving object is determined as human legs and the movement of the human legs is considered by calculating the electromagnetic waves scattered from the human legs. At the solution of the problem, both the uniqueness of the solution and the criteria that cell dimensions should obey are provided and the Courant stability condition is taken into account in the determination of the time steps.

The human legs selected as the moving object is modeled by two cylinders and the movement equations for these cylinders are obtained. The circular electric current ring source is chosen as the transmitter antenna appropriate for the problem space. Due to the cylindrical shape of the moving object, the incident wave equations are written in circularly cylindrical coordinate system. For the use of FDTD method, the incident wave equations and the movement equations for surface of the object are transformed to the discrete form and the results and graphics of the scattered field are obtained for three different movement models, which are described separately.

Keywords: FDTD, scattering, cylindrical leg step model, mixture model, time step, cell dimensions.

1. GİRİŞ

Güvenlik amacıyla, örneğin (a) bir fabrika giriş çıkış ambar kapılarının uzaktaki bir kontrol noktasından gözcü bir şahıs bulunmaksızın radyo dalgaları ve/veya mikrodalgalar yardımıyla gözlenmesi; (b) havaalanlarında gözden uzak bölgelerde teröre yönelik olarak faaliyet gösterenlerin davranışlarının tedirgin yapısından hareketle tespit edilebilmesi amacıyla radyo dalgaları ve/veya mikrodalgalardan yararlanılması gibi ihtiyaçlar, hareketli cisimlerden elektromagnetik dalga saçılmasına ilişkin analitik ve/veya sayısal sonuçların elde edilmiş olmasını gerektirir. Burada ifade edilen ihtiyaç bakımından alıcı cihazın çalışma prensibinin, hedef bölgesindeki insan hareketliliğini algılayıp bu hareketin karakteristik yapısının şüpheli bir kişinin davranış formuna uyup uymadığına karar verebilecek nitelikte olması gerekir. Bu tür bir cihazın gerçekleştirilebilmesi, ilk aşamada yürüyen bir insana ilişkin uygun bir direkt saçılma probleminin kurulup çözülmesiyle olanaklıdır. Zira, bunun sonucunda amacın gerçekleştirilebilirliğini olanaklı hale getirebilecek bir karakteristik büyüklük, kavramsal olarak tanımlanabilmiş olur ve bu büyüklüğün ve/veya büyüklüklerin gerek analitik gerek sayısal ifadesi ve/veya ifadeleri de cihazın gerçekleşmesine yönelik parametrelerin değerlerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Bu itibarla 4-9 m mesafedeki insan yapısı benzeri hareketli cisimlerden elektromagnetik dalga saçılması problemlerinin zaman domeninde, FDTD yöntemiyle çözülmesiyle söz konusu konfigürasyona elverişli büyüklüklerin uygun ifadeleri elde edilmiştir.

Bu tezde, başlangıç olarak silindirik koordinat sisteminde insan yürüyüşüne benzeyen bir formda hareket eden uygun bir cisim modeli oluşturulmuştur. İnsan bacakları, hareket eden cisim olarak seçilmiş ve konumları zamanla değişen iki adet sonlu silindir ile modellenmiştir. Bu cismin hareketine ilişkin denklemler 2. bölümde elde edilmiştir. Sonraki bölümde verici anten tipine karar verilerek seçilen antenin problem uzayında oluşturduğu gelen alana ait magnetik vektör potansiyeli, magnetik alan ifadesi ve elektrik alan ifadesinin bulunması formülasyonlarına yer verilmiştir. 4. bölümde problem uzayı ve problemin çözümüne uygun hücre boyutları belirlenmiştir. Dış radyasyon sınır koşuluna karar verilmiş, hücre boyutları ve zaman adımı hesaplanmıştır. Verici antenin oluşturduğu elektrik alan ve magnetik alanın problem uzayı içerisindeki değişimi ve bu alanların dış radyasyon sınır yüzeyi üzerindeki değerlerine bölümdeki grafiklerde yer verilmiştir.

Hareketli cismin insan olarak seçilmesi ve insan dokularının dispersif yapıya sahip olması nedeniyle dielektrik sabitini frekansa bağlılığı içeren uygun bir formda ifade etmek gerekir. Bu tezde bacağa ait efektif dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri Furse'nin çalışmasında yer

alan debye sabiti değerleri kullanılarak (Furse, 1994), (Ermişoğlu, 2004) 5. bölümde 100 MHz için hesaplanmıştır. Dispersif ortam parametrelerinin hesaplanmasının ardından üç boyutlu karışım modeli oluşturulmuştur (Sihvola, 1992), (Sihvola, 1999), (Ermişoğlu, 2004).

Bu tezde problemin çözümü için sayısal bir yaklaşım olan FDTD metodu kullanılmıştır. Dolayısıyla, gelen alan ve saçılan alan formülasyonu, Ek. 2'de verilen saçılan alan ifadeleri kullanılmak suretiyle FDTD metoduna uygun olarak, Maxwell denklemlerinden hareketle 6. bölümde ayrık (discrete) forma dnştrlmştir.

7. bölümde ise, problem uzayında saçılan alanı tespit etmek amacıyla hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak üç farklı hareket modeli için saçılan elektrik ve magnetik alanı ifade eden sayısal sonuçlara ve bu sonuçların verildiği grafiklerle ilgili yorumlara yer verilmiştir.



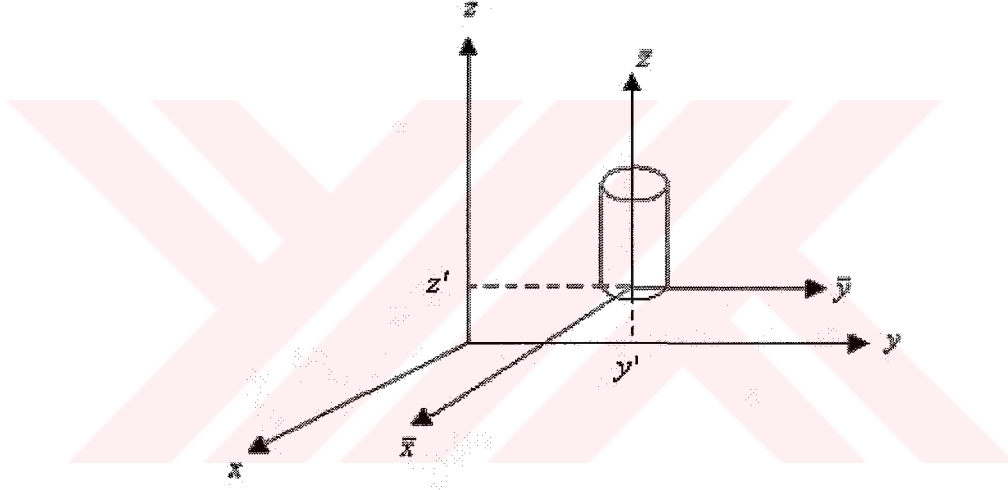
2. SİLİNDİRİK KOORDİNAT SİSTEMİNDE HAREKET EDEN CİSİM MODELİ

Bu çalışmada, insan bacakları, silindirik koordinat sisteminde hareket eden uygun bir cisim olarak modellenmiştir.

2.1 Silindirik Koordinat Sisteminde Hareket Eden İnsan Bacakları Modeli

Hareket denklemlerine kolaylık getirmesi amacıyla insanın yalnızca bacaklarının hareketi incelenmiştir. İnsan bacaklarının boyu 1 metre, yarıçapı 10 cm olan iki adet silindirden oluştuğu kabul edilmiştir.

Hareket eden silindir denklemlerinin oluşturulması Ek.1'de verilen koordinat dönüşümü kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2.1 Ötelenmiş koordinat sistemi.

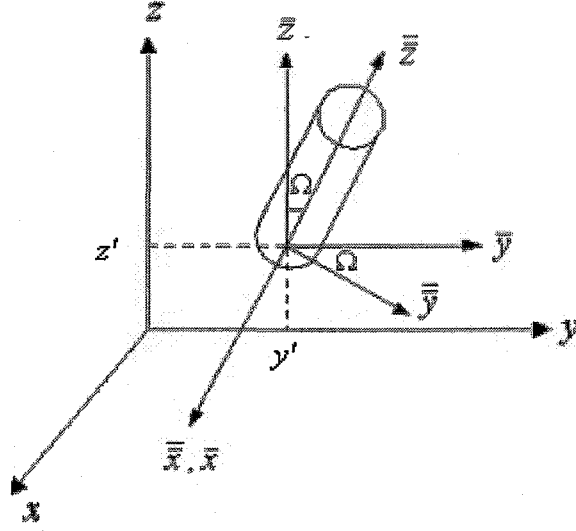
Kartezyen koordinat sisteminde x eksenini sabit kalmak koşulu ile y ve z eksenlerinin y', z' kadar ötelenmesi ile oluşan yeni koordinat sistemi Şekil 2.1'de yer alır. Ötelenmiş koordinat sistemindeki koordinat bileşenlerinin ötelenmeden önceki koordinat sistemi bileşenleri cinsinden ifadesi,

$$\bar{x} = x \quad (2.1)$$

$$\bar{y} = y - y' \quad (2.2)$$

$$\bar{z} = z - z' \quad (2.3)$$

eşitliklerinde gösterildiği gibidir.



Şekil 2.2 Döndürülmüş koordinat sistemi.

Şekil 2.2'de, y', z' kadar ötelenmiş koordinat sisteminin $x=0$ düzlemi içinde ve \bar{z} eksenini etrafında Ω açısı kadar sağa doğru döndürülmesiyle oluşan yeni koordinat sistemi gösterilmiştir. Döndürülmüş koordinat sistemindeki koordinat bileşenlerinin ötelenmiş koordinat sistemindeki koordinat bileşenleri cinsinden ifadesi,

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega & \sin \Omega \\ 0 & -\sin \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$\bar{x} = x \quad (2.5)$$

$$\bar{y} = y \cos \Omega + z \sin \Omega \quad (2.6)$$

$$\bar{z} = -y \sin \Omega + z \cos \Omega \quad (2.7)$$

eşitlikleriyle ifade edilmiştir. Bu koordinat dönüşümü sırasında diğer eksenlere dik olan \bar{x} eksenini sabit kalmış, diğer iki eksen aralarındaki açı korunacak şekilde Ω açısı kadar aynı yönde döndürülmüşlerdir.

Döndürülmüş koordinatlardaki silindir yarıçapı $\bar{\rho}$, silindirik koordinat sisteminde aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\bar{\rho}^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 \quad (2.8)$$

$$\bar{\rho}^2 = x^2 + (y \cos \Omega + z \sin \Omega)^2 \quad (2.9)$$

y' ve z' noktasına ötelenmiş ve sola doğru Ω açısı kadar döndürülmüş koordinat sisteminin ifadesi

$$\begin{bmatrix} \bar{\bar{x}} \\ \bar{\bar{y}} \\ \bar{\bar{z}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Omega & -\sin \Omega \\ 0 & \sin \Omega & \cos \Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

şeklindedir.

(2.17) eşitlik numaralı matristen $\bar{\bar{x}}$, $\bar{\bar{y}}$ ve $\bar{\bar{z}}$ ifadelerinin $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ cinsinden eşitlikleri aşağıdaki gibidir:

$$\bar{\bar{x}} = \bar{x} = x \quad (2.18)$$

$$\bar{\bar{y}} = \bar{y} \cos \Omega + \bar{z} \sin \Omega \quad (2.19)$$

$$\bar{\bar{z}} = -\bar{y} \sin \Omega + \bar{z} \cos \Omega \quad (2.20)$$

Bu sonuncu koordinat dönüşümü sırasında, öncekilerde olduğu gibi, diğer eksenlere dik olan $\bar{\bar{x}}$ eksenini sabit kalmış, diğer iki eksen aralarındaki açılar korunacak şekilde, Ω açısı kadar aynı yönde döndürülmüşlerdir.

Döndürülmüş bu sonuncu koordinat sistemindeki silindir yarıçapı $\bar{\bar{\rho}}$, silindirik koordinat sisteminde aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\bar{\bar{\rho}}^2 = \bar{\bar{x}}^2 + \bar{\bar{y}}^2 \quad (2.21)$$

$\bar{\bar{x}}$ ve $\bar{\bar{y}}$ değerleri yerlerine yazılırsa (2.18) eşitliği,

$$\bar{\bar{\rho}}^2 = x^2 + (\bar{y} \cos \Omega - \bar{z} \sin \Omega)^2 \quad (2.22)$$

şekline dönüşür. \bar{y} ve \bar{z} değerleri (2.22) numaralı eşitlikte yerlerine konular ve

$$x = \rho \cos \phi \quad (2.23)$$

$$y = \rho \sin \phi \quad (2.24)$$

$$z = z \quad (2.25)$$

denklemlerinde yer alan, x , y ve z' in kartezyen koordinat sistemindeki değerleri yerine silindirik koordinat sistemindeki değerleri yazılırsa;

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 = & \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + y'^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi y' \cos^2 \Omega + z^2 \sin^2 \Omega + z' \sin^2 \Omega - 2z z' \sin^2 \Omega \\ & - 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega + 2\rho z' \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega + 2y' z \cos \Omega \sin \Omega - 2y' z' \cos \Omega \sin \Omega \quad (2.26) \end{aligned}$$

eşitliği elde edilir. Bu ifade sola doğru yatık bir silindirin yarıçapının silindirik koordinat sistemindeki genel ifadesidir (bkz. Şekil 2.3).

2.2 Silindirlerin Hareket Denklemlerinin Elde Edilmesi

$t = 0$ anında insanın dış radyasyon sınır yüzeyi üzerinde durduğu, bu andan itibaren ρ ekseninde doğrudusunda sabit bir $V\rho$ hızıyla, $\phi = \frac{\pi}{2}$ düzleminde harekete başladığı kabul edilmiştir.

a : silindirin yarıçapı,

l : bacak boyu,

$V\rho$: silindirlerin ρ doğrultusundaki hızı,

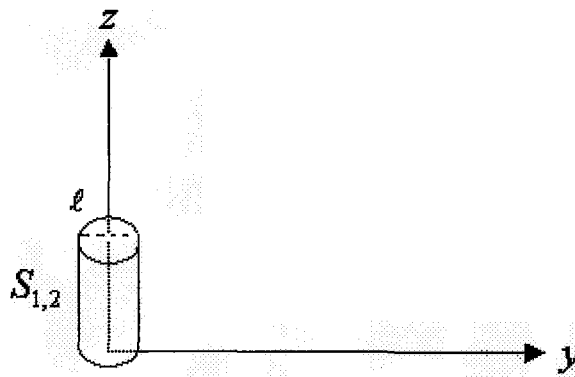
Vz : silindirlerin z doğrultusundaki hızı,

$Va\rho$: ayağın ρ doğrultusundaki hızı,

Vaz : ayağın z doğrultusundaki hızı,

$Vk\rho$: kalçanın ρ doğrultusundaki hızı,

Vkz : kalçanın z doğrultusundaki hızı olmak üzere silindirlerin yüzeylerinin ρ ekseninde doğrultusundaki hareket denklemleri bu kısımda ve aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

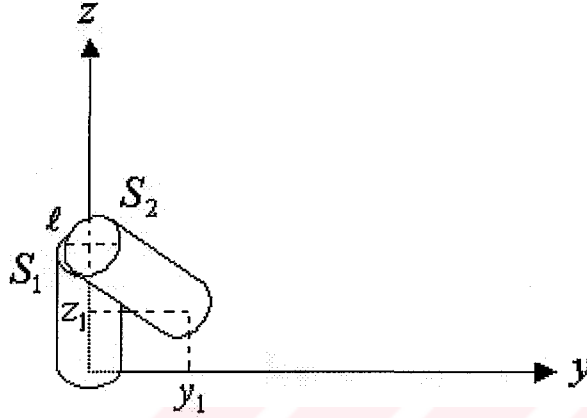


Şekil 2.4 $t=0$ anındaki insan bacakları modeli.

$t = 0$ anındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeylerinin ifadeleri ile belirtilebilir. Burada δ ve u , sırasıyla Dirac distribüsyonunu ve Heavyside birim basamak fonksiyonunu göstermektedir.

$$S_1 \equiv \{\delta(\rho - a)[u(z) - u(z - l)], \phi \in [0, 2\pi)\} \quad (2.27)$$

$$S_2 \equiv \{\delta(\rho - a)[u(z) - u(z - l)], \phi \in [0, 2\pi)\} \quad (2.28)$$



Şekil 2.5 $t = t_1$ anındaki insan bacakları modeli.

$t \in (0, t_1]$ zaman aralığındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeyleri,

$$S_1 : \delta(\rho - a)[u(z) - u(z - l)] \quad (2.29)$$

$$S_2 : \delta(\bar{\rho} - a)[u(z - V_z t) - u(z - l)] \quad (2.30)$$

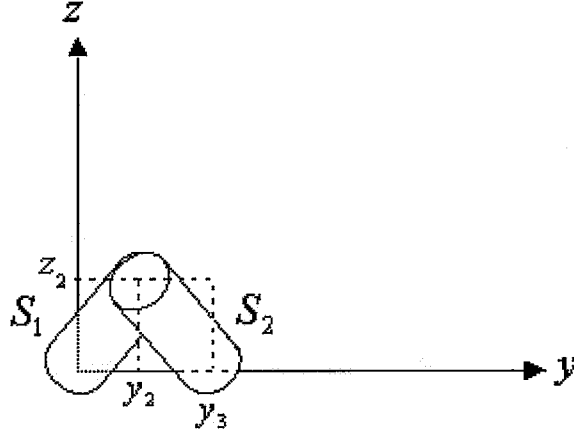
özdeşlikleri ile tanımlanmak suretiyle S_2 silindir yüzeyinin yarıçapının ifadesi aşağıdaki eşitlikte yer almaktadır.

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (V\rho t)^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi V\rho t \cos^2 \Omega + z^2 \sin^2 \Omega \\ &+ (l - Vz t)^2 \sin^2 \Omega - 2z(l - Vz t) \sin^2 \Omega + 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega - 2\rho(l - Vz t) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ &- 2V\rho t z \cos \Omega \sin \Omega + 2V\rho t(l - Vz t) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.31)$$

Cismin $t \in (0, t_1]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{V\rho t}{l - Vz t}\right) \quad (2.32)$$

eşitliği ile ifade edilir.



Şekil 2.6 $t = t_2$ anındaki insan bacakları modeli.

$t \in (t_1, t_2]$ zaman aralığındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeyleri

$$S_1 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z) - u(z - l + Vz(t - t_1))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi] \quad (2.33)$$

$$S_2 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z - z_1 + Vaz(t - t_1)) - u(z - l + Vz(t - t_1))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi] \quad (2.34)$$

S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı ρ , ϕ , z cinsinden,

$$\bar{\rho}^2 = \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \sin^2 \Omega + z^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi z \cos \Omega \sin \Omega \quad (2.35)$$

eşitliği ile elde edilir. Cismin $t \in (t_1, t_2]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi ise aşağıdaki gibi olur:

$$\Omega = \arctan \left(\frac{V\rho(t - t_1)}{l - Vz(t - t_1)} \right) \quad (2.36)$$

S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı,

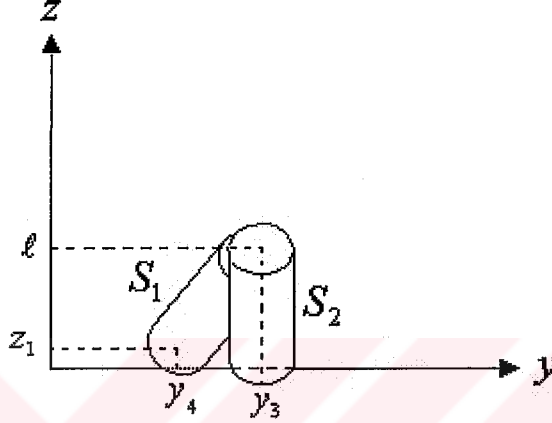
$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 = & \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (y_1 + Va\rho(t - t_1))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (y_1 + Va\rho(t - t_1)) \cos^2 \Omega \\ & + z^2 \sin^2 \Omega + (z_1 - Vaz(t - t_1))^2 \sin^2 \Omega - 2z(z_1 - Vaz(t - t_1)) \sin^2 \Omega + 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ & - 2\rho(z_1 - Vaz(t - t_1)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega - 2(\rho_1 + Va\rho(t - t_1))z \cos \Omega \sin \Omega \\ & + 2(\rho_1 + Va\rho(t - t_1))(z_1 - Vaz(t - t_1)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.37)$$

ve cismin $t \in (t_1, t_2]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi de,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_1 + V a \rho(t-t_1) - V k \rho(t-t_1)}{l - z_1 + V a z(t-t_1) - V k z(t-t_1)}\right) \quad (2.38)$$

olur.

$t \in (t_2, t_3]$ zaman aralığındaki durum aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.7 $t = t_3$ anındaki insan bacakları modeli.

S_1 silindir yüzeyi,

$$S_1 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z - V a z(t-t_2)) - u(z - z_2 + V k z(t-t_2))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.39)$$

ile ifade edilir. S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (V a \rho(t-t_2))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (V a \rho(t-t_2)) \cos^2 \Omega \\ &+ z^2 \sin^2 \Omega + (V a z(t-t_2))^2 \sin^2 \Omega - 2z (V a z(t-t_2)) \sin^2 \Omega + 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ &+ 2\rho (V a z(t-t_2)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega - 2(V a \rho(t-t_2)) z \cos \Omega \sin \Omega - 2(V a \rho(t-t_2))(V a z(t-t_2)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.40)$$

ve cismin $t \in (t_2, t_3]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_2 + V k \rho(t-t_2) - V a \rho(t-t_2)}{z_2 + V k z(t-t_2) - V a z(t-t_2)}\right) \quad (2.41)$$

olur. S_2 yüzeyi,

$$S_2 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z) - u(z - z_2 + V z(t-t_2))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.42)$$

ile ifade edilen S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı,

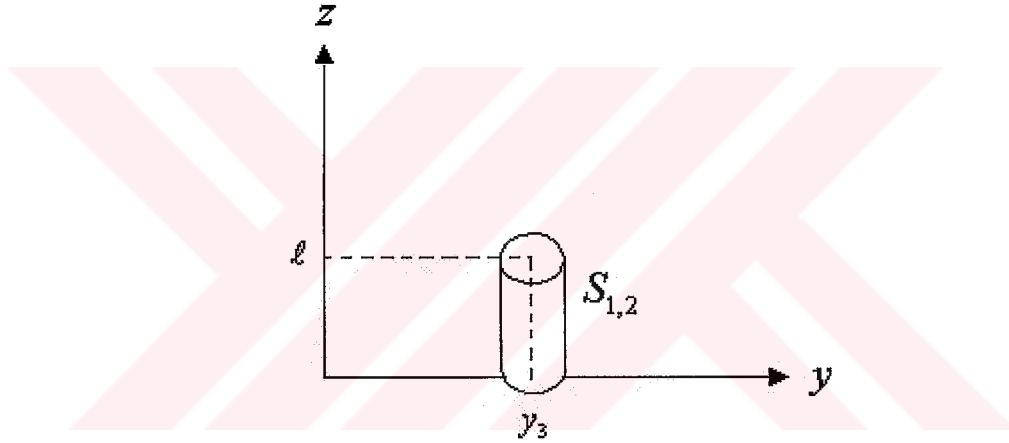
$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + \rho_3^2 \cos^2 \Omega + 2\rho \sin \phi z \cos \Omega \sin \Omega + z^2 \sin^2 \Omega \\ &- 2z \rho_3 \cos \Omega \sin \Omega - 2\rho \rho_3 \sin \phi \cos^2 \Omega \end{aligned} \quad (2.43)$$

ve cismin $t \in (t_2, t_3]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi de

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_2 - \rho_3 - V\rho(t-t_2)}{z_2 + Vz(t-t_2)}\right) \quad (2.44)$$

olur.

$t \in (t_3, t_4]$ zaman aralığındaki durum aşağıdaki gibidir:



Şekil 2.8 $t = t_4$ anındaki insan bacakları modeli.

S_1 silindir yüzeyi,

$$S_1 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z - z_1 - Vz(t-t_3)) - u(z - l)], \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \right\} \quad (2.45)$$

ile ifade edilir. S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (\rho_4 + V\rho(t-t_3))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (\rho_4 + V\rho(t-t_3)) \cos^2 \Omega \\ &+ z^2 \sin^2 \Omega + (z_1 - Vz(t-t_3))^2 \sin^2 \Omega - 2z(z_1 - Vz(t-t_3)) \sin^2 \Omega - 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ &+ 2\rho(z_1 - Vz(t-t_3)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega + 2(\rho_4 + V\rho(t-t_3))z \cos \Omega \sin \Omega \\ &- 2(\rho_4 + V\rho(t-t_3))(z_1 - Vz(t-t_3)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.46)$$

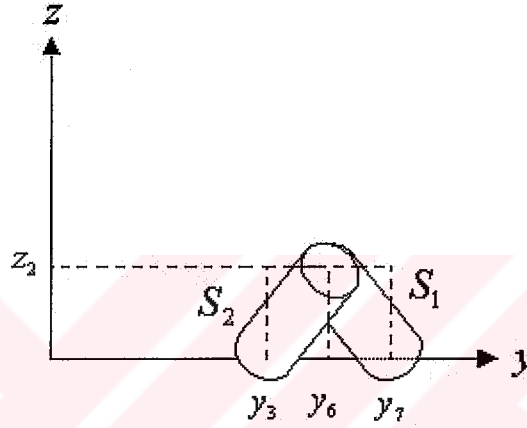
ve cismin $t \in (t_4, t_5]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_3 + V\rho(t-t_4)}{l - Vz(t-t_4)}\right) \quad (2.53)$$

olur. S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\bar{\rho}^2 = \rho^2 - 2\rho \sin\phi \rho_3 + \rho_3^2 \quad (2.54)$$

olur.



Şekil 2.10 $t = t_6$ anındaki insan bacakları modeli.

$t \in (t_5, t_6]$ zaman aralığındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeylerinin,

$$S_1 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z - z_1 + Vaz(t - t_5)) - u(z - l + Vz(t - t_5))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.55)$$

$$S_2 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a) [u(z) - u(z - l + Vz(t - t_5))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.56)$$

ifadeleri ile belirlenir. S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 = & \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (\rho_5 + Va\rho(t-t_5))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (\rho_5 + Va\rho(t-t_5)) \cos^2 \Omega \\ & + z^2 \sin^2 \Omega + (z_1 - Vaz(t-t_5))^2 \sin^2 \Omega - 2z(z_1 - Vaz(t-t_5)) \sin^2 \Omega + 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ & - 2\rho(z_1 - Vaz(t-t_5)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega - 2(\rho_5 + Va\rho(t-t_5))z \cos \Omega \sin \Omega \\ & + 2(\rho_4 + Va\rho(t-t_5))(z_1 - Vaz(t-t_5)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.57)$$

ve cismin $t \in (t_5, t_6]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_3 - \rho_3 + Va\rho(t-t_5) - Vk\rho(t-t_5)}{l - z_1 + Vaz(t-t_5) - Vkz(t-t_5)}\right) \quad (2.58)$$

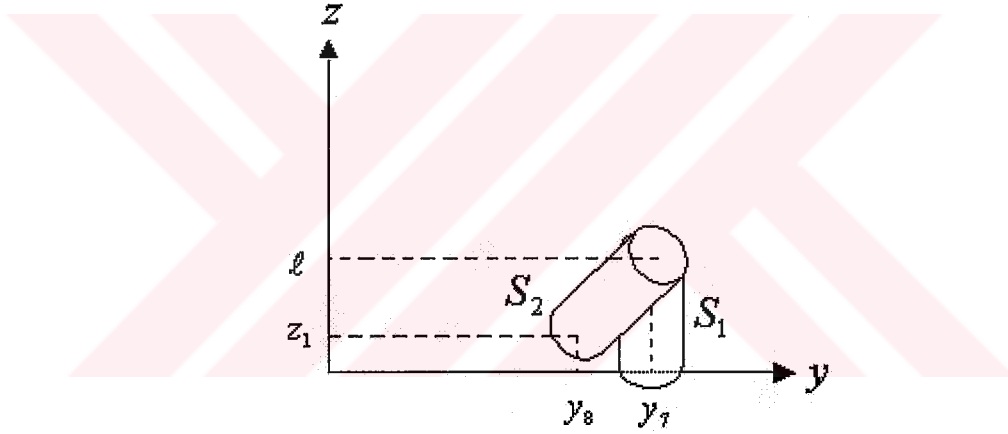
olur. S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + \rho_3^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi \rho_3 \cos^2 \Omega + z^2 \sin^2 \Omega \\ &- 2z \rho \cos \Omega \sin \Omega + 2z \rho_3 \sin \Omega \cos \Omega \end{aligned} \quad (2.59)$$

ve cismin $t \in (t_5, t_6]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_3 + V\rho(t-t_5)}{l - Vz(t-t_5)}\right) \quad (2.60)$$

olur.



Şekil 2.11 $t = t_7$ anındaki insan bacakları modeli.

$t \in (t_6, t_7]$ zaman aralığındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeylerinin aşağıdaki ifadeleri ile belirlenmiştir:

$$S_1 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a)[u(z) - u(z - z_2 + Vz(t - t_6))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.61)$$

$$S_2 \equiv \left\{ \delta(\bar{\rho} - a)[u(z - Vaz(t - t_6)) - u(z - z_2 + Vkz(t - t_6))] \right\}, \bar{\phi} \in [0, 2\pi) \quad (2.62)$$

S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\bar{\rho}^2 = \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + \rho_7^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi \rho_7 \cos^2 \Omega + z^2 \sin^2 \Omega$$

$$+ 2z \rho \cos \Omega \sin \Omega \sin \phi - 2z \rho_7 \sin \Omega \cos \Omega \quad (2.63)$$

ve cismin $t \in (t_6, t_7]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan \left(\frac{\rho_7 - \rho_6 + V\rho(t-t_6)}{z_2 + Vz(t-t_6)} \right) \quad (2.64)$$

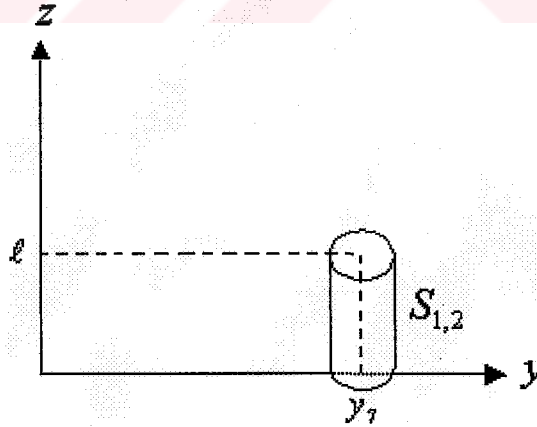
olur. S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (\rho_3 + Va\rho(t-t_6))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (\rho_3 + Va\rho(t-t_6)) \cos^2 \Omega \\ &+ z^2 \sin^2 \Omega + (Vaz(t-t_6))^2 \sin^2 \Omega - 2z(Vaz(t-t_6)) \sin^2 \Omega - 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ &+ 2\rho(Vaz(t-t_6)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega + 2(\rho_3 + Va\rho(t-t_6))z \cos \Omega \sin \Omega \\ &- 2(\rho_3 + Va\rho(t-t_6))(Vaz(t-t_6)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.65)$$

ve cismin $t \in (t_6, t_7]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi,

$$\Omega = \arctan \left(\frac{\rho_6 - \rho_3 + Vk\rho(t-t_6) - Va\rho(t-t_6)}{z_2 + Vkz(t-t_6) - Vaz(t-t_6)} \right) \quad (2.66)$$

olur.



Şekil 2.12 $t = t_8$ anındaki insan bacakları modeli.

$t \in (t_7, t_8]$ zaman aralığındaki durum, S_1 ve S_2 silindir yüzeylerinin aşağıdaki ifadeleri ile belirlenmiştir:

$$S_1 \equiv \{\delta(\bar{\rho} - a)[u(z) - u(z-l)], \bar{\phi} \in [0, 2\pi)\} \quad (2.67)$$

$$S_2 \equiv \{\delta(\bar{\rho} - a)[u(z - z_1 + Vz(t - t_7)) - u(z - l)], \bar{\phi} \in [0, 2\pi)\} \quad (2.68)$$

S_1 silindir yüzeyinin yarıçapı,

$$\bar{\rho}^2 = \rho^2 - 2\rho \sin \phi \rho_7 + \rho_7^2 \quad (2.69)$$

ve S_2 silindir yüzeyinin yarıçapı da,

$$\begin{aligned} \bar{\rho}^2 &= \rho^2 \cos^2 \phi + \rho^2 \sin^2 \phi \cos^2 \Omega + (\rho_8 + V\rho(t - t_7))^2 \cos^2 \Omega - 2\rho \sin \phi (\rho_8 + V\rho(t - t_7)) \cos^2 \Omega \\ &+ z^2 \sin^2 \Omega + (z_1 - Vz(t - t_7))^2 \sin^2 \Omega - 2z(z_1 - Vz(t - t_7)) \sin^2 \Omega - 2\rho z \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega \\ &+ 2\rho(z_1 - Vz(t - t_7)) \sin \phi \cos \Omega \sin \Omega + 2(\rho_8 + V\rho(t - t_7))z \cos \Omega \sin \Omega \\ &- 2(\rho_8 + V\rho(t - t_7))(z_1 - Vz(t - t_7)) \cos \Omega \sin \Omega \end{aligned} \quad (2.70)$$

olur. Cismin $t \in (t_7, t_8]$ zaman aralığındaki hareketi sırasında Ω açısının zamanla değişimi ise aşağıdadır:

$$\Omega = \arctan\left(\frac{\rho_7 - \rho_8 + V\rho(t - t_7)}{z_2 + Vz(t - t_7)}\right) \quad (2.71)$$

Yukarıda yer alan hareket denklemleri cismin hareketinin bir periyodu için yazılmıştır. Hareketin devam etmesi halinde formülasyonlar yapısını koruyacak, devam eden periyot için geçerli hız ve konum değerleri belirlenerek, sürekli hareket denklemleri elde edilecektir. Bu çalışmada üç farklı hareket modeline yer verilmiştir. İlk modelde cismin hareketinin normal, ikinci modelde tedirgin, üçüncü modelde ise şüpheli yapıda olduğu düşünülmüştür. Bu modellerin tanımlarına sonraki alt bölümde yer verilmiştir. Cisim hareket modelleri her üç periyot için de incelenmiştir.

2.3 Hareket Modelleri

Bu bölümde, tezde göz önüne alınan üç farklı hareket modelinin tanımı verilmiştir. Modeller cismin hareketinin normal, tedirgin ve/veya şüpheli yapıda olduğu düşünülerek hazırlanmış ve bu hareketler “normal hareket”, “tedirgin hareket” ve/veya “şüpheli hareket” olarak adlandırılmıştır.

2.3.1 Normal Hareket

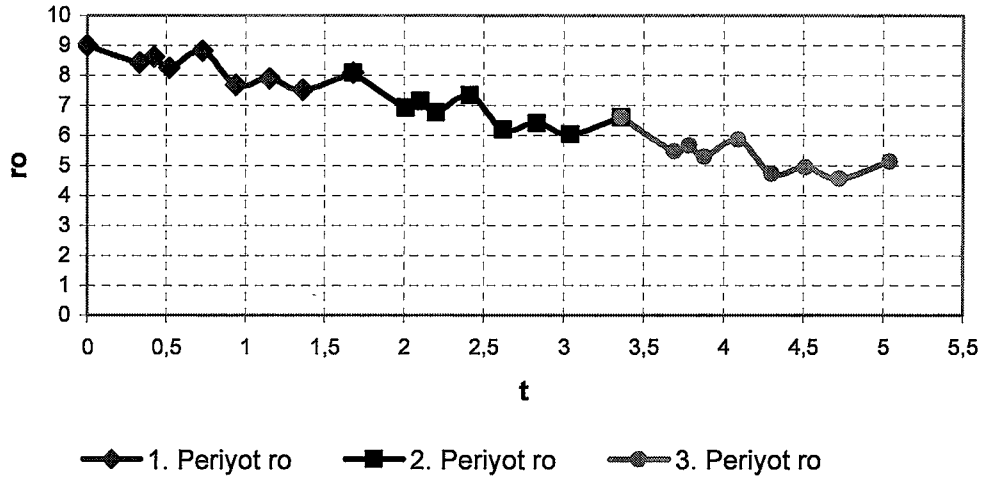
“Normal hareket” olarak adlandırılan hareket modelinde, insan bacaklarını modelleyen silindirelerin $t=0$ anında, dış radyasyon sınır yüzeyi üzerinde, $\phi = \pi/2$ sabit düzleminde sabit $V_z, V_\rho, V_{az}, V_{kz}, V_{a\rho}, V_{k\rho}$ hızlarıyla harekete başladığı ve hareketin her üç periyodu boyunca da hareketin bu hızlarla devam ettiği kabul edilmiştir. Söz konusu hızların değerleri çizelge 2.1’de verilmiştir. Bir önceki bölümde hareket denklemleri verilen yürüme modellerinin zaman değerleri ve buldukları konumlar çizelge 2.2’de mevcuttur. Bu hareketin zaman düzlemindeki değişimi Şekil 2.13’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 $V_z, V_\rho, V_{az}, V_{kz}, V_{a\rho}, V_{k\rho}$ hızlarının “normal hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.

	V_ρ	V_z	V_{az}	V_{kz}	$V_{a\rho}$	$V_{k\rho}$
1. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121
2. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121
3. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121

Çizelge 2.2 “Normal hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.

1. periyot		2. periyot		3. periyot	
$t_0=0$	$\rho_0=9$	$t_8=1.68$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=3.360$	$\rho_{16}=9-2.39$
$t_1=0.33$	$\rho_1=9-0.57$	$t_9=2.010$	$\rho_9=9-2.05$	$T_{17}=3.690$	$\rho_{17}=9-3.53$
$t_2=0.422$	$\rho_2=9-0.37$	$t_{10}=2.102$	$\rho_{10}=9-1.85$	$T_{18}=3.782$	$\rho_{18}=9-3.33$
$t_3=0.519$	$\rho_3=9-0.74$	$t_{11}=2.199$	$\rho_{11}=9-2.22$	$T_{19}=3.879$	$\rho_{19}=9-3.70$
$t_4=0.730$	$\rho_4=9-0.17$	$t_{12}=2.410$	$\rho_{12}=9-1.65$	$T_{20}=4.090$	$\rho_{20}=9-3.13$
$t_5=0.941$	$\rho_5=9-1.31$	$t_{13}=2.621$	$\rho_{13}=9-2.79$	$T_{21}=4.301$	$\rho_{21}=9-4.27$
$t_6=1.152$	$\rho_6=9-1.11$	$t_{14}=2.832$	$\rho_{14}=9-2.59$	$T_{22}=4.512$	$\rho_{22}=9-4.07$
$t_7=1.363$	$\rho_7=9-1.48$	$t_{15}=3.043$	$\rho_{15}=9-2.96$	$T_{23}=4.723$	$\rho_{23}=9-4.44$
$t_8=1.680$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=3.360$	$\rho_{16}=9-2.39$	$T_{24}=5.040$	$\rho_{24}=9-3.87$



Şekil 2.13 Normal hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.

Yukarıdaki şekilde hareketli cismin merkezinin konumunun “normal hareket” olarak adlandırılan hareket modeli için zamanla değişimi her üç periyot için gösterilmiştir.

2.3.2 Tedirgin Hareket

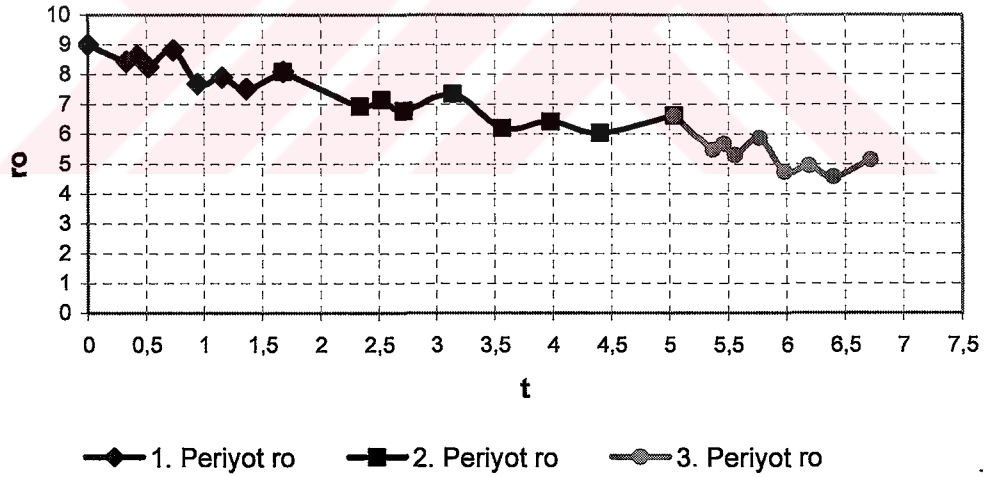
“Tedirgin hareket” olarak adlandırılan hareket modelinde, ilk periyotta insan bacaklarını modelleyen silindirlerin $t=0$ anında, dış radyasyon sınır yüzeyi üzerinde, $\phi = \pi/2$ sabit düzleminde sabit V_z , V_ρ , V_{az} , V_{kz} , $V_{a\rho}$, $V_{k\rho}$ hızlarıyla hareket ettikleri, ikinci periyotta ise hızların bu periyot boyunca sabit kalmak koşuluyla ilk periyottaki hızlara oranla yarıya düştüğü; üçüncü periyotta ise hızların ilk periyottaki hızlara eşit büyüklükte olduğu ve bu periyot boyunca sabit kaldığı kabul edilmiştir ve değerleri çizelge 2.3’de verilmiştir. Yürüme modellerinin zaman değerleri ve buldukları konumlar çizelge 2.4’de yer alır. Bu hareketin zaman düzlemindeki değişimi Şekil 2.14’de verilmiştir.

Çizelge 2.3 V_z , V_ρ , V_{az} , V_{kz} , $V_{a\rho}$, $V_{k\rho}$ hızlarının “tedirgin hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.

	V_ρ	V_z	V_{az}	V_{kz}	$V_{a\rho}$	$V_{k\rho}$
1. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121
2. periyot	0.8635	0.16	0.379	0.1655	0.2575	0.5605
3. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121

Çizelge 2.4 “Tedirgin hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.

1. periyot		2. periyot		3. periyot	
$t_0=0$	$\rho_0=9$	$t_8=1.68$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=5.040$	$\rho_{16}=9-2.39$
$t_1=0.33$	$\rho_1=9-0.57$	$t_9=2.340$	$\rho_9=9-2.05$	$t_{17}=5.370$	$\rho_{17}=9-3.53$
$t_2=0.422$	$\rho_2=9-0.37$	$t_{10}=2.524$	$\rho_{10}=9-1.85$	$t_{18}=5.462$	$\rho_{18}=9-3.33$
$t_3=0.519$	$\rho_3=9-0.74$	$t_{11}=2.718$	$\rho_{11}=9-2.22$	$t_{19}=5.559$	$\rho_{19}=9-3.70$
$t_4=0.730$	$\rho_4=9-0.17$	$t_{12}=3.140$	$\rho_{12}=9-1.65$	$t_{20}=5.770$	$\rho_{20}=9-3.13$
$t_5=0.941$	$\rho_5=9-1.31$	$t_{13}=3.562$	$\rho_{13}=9-2.79$	$t_{21}=5.981$	$\rho_{21}=9-4.27$
$t_6=1.152$	$\rho_6=9-1.11$	$t_{14}=3.984$	$\rho_{14}=9-2.59$	$t_{22}=6.192$	$\rho_{22}=9-4.07$
$t_7=1.363$	$\rho_7=9-1.48$	$t_{15}=4.406$	$\rho_{15}=9-2.96$	$t_{23}=6.403$	$\rho_{23}=9-4.44$
$t_8=1.680$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=5.040$	$\rho_{16}=9-2.39$	$t_{24}=6.720$	$\rho_{24}=9-3.87$



Şekil 2.14 Tedirgin hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.

Yukarıdaki şekilde hareketli cismin merkezinin konumunun “tedirgin hareket” olarak adlandırılan hareket modeli için zamanla değişimi her üç periyot için gösterilmiştir.

2.3.3 Şüpheli Hareket

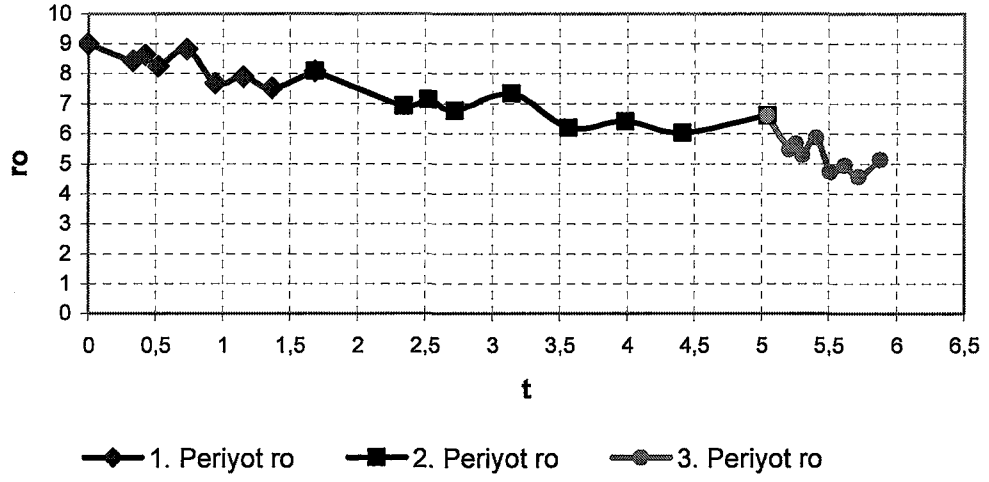
“Şüpheli hareket” olarak adlandırılan hareket modelinde, birinci periyotta insan bacaklarını modelleyen silindirin $t=0$ anında, dış radyasyon sınır yüzeyi üzerinde, $\phi = \pi/2$ sabit düzleminde sabit V_z , V_ρ , V_{az} , V_{kz} , $V_{a\rho}$, $V_{k\rho}$ hızlarıyla hareket ettikleri, ikinci periyotta ise hızların bu periyot boyunca sabit kalmak koşuluyla ilk periyottaki hızlara oranla yarıya düştüğü; üçüncü periyotta ise hızların bu periyot boyunca sabit ve ikinci periyodun 4 katı, ilk periyottaki hızların 2 katı büyüklükte olduğu kabul edilmiştir ve değerleri çizelge 2.5’de verilmiştir. Yürüme modellerinin zaman değerleri ve buldukları konumlar çizelge 2.6’da yer alır. Bu hareketin zaman düzlemindeki değişimi Şekil 2.15’de verilmiştir.

Çizelge 2.5 V_z , V_ρ , V_{az} , V_{kz} , $V_{a\rho}$, $V_{k\rho}$ hızlarının “Şüpheli hareket” için her üç periyot süresindeki değerleri.

	V_ρ	V_z	V_{az}	V_{kz}	$V_{a\rho}$	$V_{k\rho}$
1. periyot	1.727	0.32	0.758	0.331	0.515	1.121
2. periyot	0.8635	0.16	0.379	0.1655	0.2575	0.5605
3. periyot	3.454	0.64	1.516	0.662	1.030	2.242

Çizelge 2.6 “Şüpheli hareket” için her üç periyot süresindeki zaman ve konum değerleri.

1. periyot		2. periyot		3. periyot	
$t_0=0$	$\rho_0=9$	$t_8=1.68$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=5.040$	$\rho_{16}=9-2.39$
$t_1=0.33$	$\rho_1=9-0.57$	$t_9=2.340$	$\rho_9=9-2.05$	$t_{17}=5.205$	$\rho_{17}=9-3.53$
$t_2=0.422$	$\rho_2=9-0.37$	$t_{10}=2.524$	$\rho_{10}=9-1.85$	$t_{18}=5.251$	$\rho_{18}=9-3.33$
$t_3=0.519$	$\rho_3=9-0.74$	$t_{11}=2.718$	$\rho_{11}=9-2.22$	$t_{19}=5.2995$	$\rho_{19}=9-3.70$
$t_4=0.730$	$\rho_4=9-0.17$	$t_{12}=3.140$	$\rho_{12}=9-1.65$	$t_{20}=5.405$	$\rho_{20}=9-3.13$
$t_5=0.941$	$\rho_5=9-1.31$	$t_{13}=3.562$	$\rho_{13}=9-2.79$	$t_{21}=5.5105$	$\rho_{21}=9-4.27$
$t_6=1.152$	$\rho_6=9-1.11$	$t_{14}=3.984$	$\rho_{14}=9-2.59$	$t_{22}=5.616$	$\rho_{22}=9-4.07$
$t_7=1.363$	$\rho_7=9-1.48$	$t_{15}=4.406$	$\rho_{15}=9-2.96$	$t_{23}=5.7215$	$\rho_{23}=9-4.44$
$t_8=1.680$	$\rho_8=9-0.91$	$t_{16}=5.040$	$\rho_{16}=9-2.39$	$t_{24}=5.880$	$\rho_{24}=9-3.87$



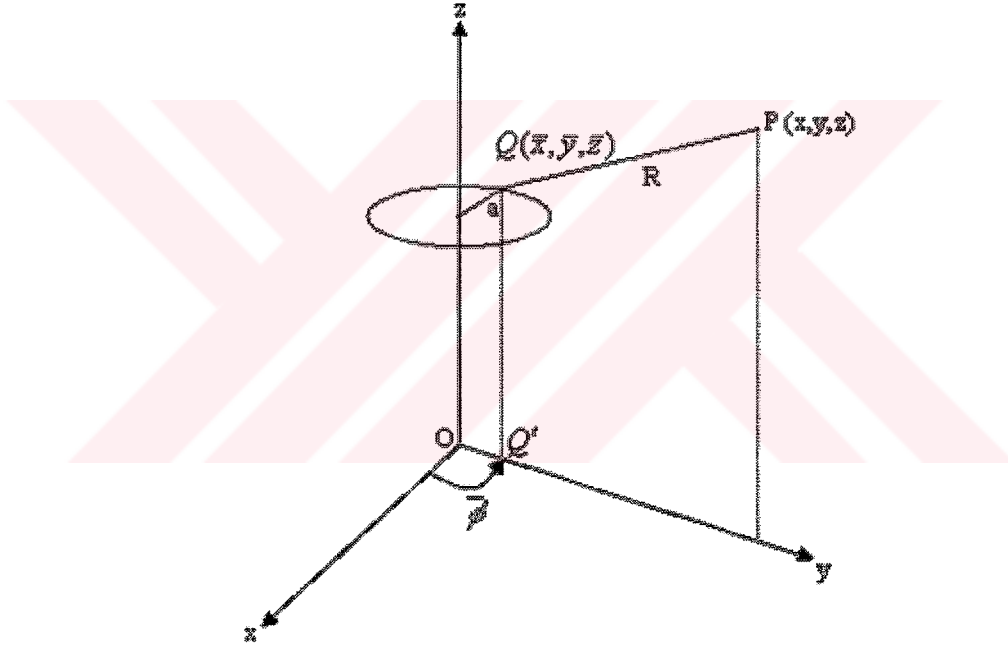
Şekil 2.15 Şüpheli hareket için cismin merkezinin zamanla değişimi.

Yukarıdaki şekilde hareketli cismin merkezinin konumunun “şüpheli hareket” olarak adlandırılan hareket modeli için zamanla değişimi her üç periyot için gösterilmiştir.

3. GELEN ALAN İFADESİNİN ELDE EDİLMESİ

Gelen alan, ortamda herhangi bir saçıcının bulunmadığı durumda, ve yalnızca ortamda bulunan antenin yarattığı alandır. Ortamda bulunan hareketli cismin silindir şeklindeki bacaklar olması nedeniyle bu problemde koordinat sistemi olarak dairesel silindirik koordinat sistemi seçilmiştir (Balanis, 1989).

Silindirik koordinat sistemine uygun, verici anten olarak $z = \bar{z}$ düzlemindeki dairesel akım halkasından ibaret anten seçilmiştir. Antenin yerden yüksekliği 1m 'dir. Anten ve antenden R kadar uzaktaki bir P noktası Şekil 3.1'deki gibidir. Antenin yarıçapı $a=20\text{ cm}$, antenin üzerinden akan akım $I=10\text{ mA}$ ve çalışma frekansı 100 MHz 'dir (Kalaycıoğlu, 1997). Dış ortam boşluktur.



Şekil 3.1 Magnetik dipol antenin koordinat sistemine yerleşimi.

3.1 Gelen Alana Ait Magnetik Vektör Potansiyelinin Bulunması

Antenden R kadar uzaktaki bir P noktasında magnetik vektör potansiyelinin uzak alan ifadesi kaynak akımı ve yarıçapı uygun seçildiğinde aşağıdaki gibi verilmiştir (Şengör), (Kalaycıoğlu, 1997) :

$$\vec{A} = \frac{\mu_0 I_0}{4\pi} \iiint \vec{e}_\phi \delta(\bar{z}) \delta(\bar{\rho} - a) \frac{e^{ikR}}{R} \bar{\rho} d\bar{\rho} d\bar{z} d\bar{\phi} \quad (3.1)$$

Burada, \vec{A} , \vec{I} , \bar{z} , $\bar{\rho}$, $\bar{\phi}$, R , a , k sırasıyla, magnetik vektör potansiyeli vektörü, antenin üzerinden akan akım, antenin yerden yüksekliği, antenin üzerindeki Q noktasının anten merkezinden olan uzaklığı, antenin üzerindeki noktanın ϕ açısı, gözlem noktasının antene olan uzaklığı, anten yarıçapı ve ortamın dalga sayısıdır.

Antenin üzerindeki Q noktasının kartezyen koordinat sistemindeki radyal uzaklığı,

$$\bar{\rho} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (3.2)$$

dır. (3.1) eşitliğiyle verilen integral, $\bar{\rho}$ ve \bar{z} 'ye göre integre edilerek,

$$\vec{A} = \frac{\mu \vec{I}_0}{4\pi} \int \frac{e^{ikR}}{R} d\vec{l} \quad (3.3)$$

eşitliğine dönüşür. Burada ,

$$d\vec{l} = a d\bar{\phi} \vec{e}_{\bar{\phi}} \quad (3.4)$$

$$R = \sqrt{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2} \quad (3.5)$$

dir. Burada \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} anten üzerinde seçilen noktanın koordinatlarını belirtmektedir ve antenin yarıçapı a olmak üzere, dairesel silindirik koordinat sistemindeki ifadeleri yazılarak,

$$\vec{A} = \int_{\bar{\phi}=0}^{2\pi} \frac{e^{ik\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}}}{\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}} a d\bar{\phi} \vec{e}_{\bar{\phi}} \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir. (3.6) numaralı eşitlikteki magnetik vektör potansiyeli ifadesini silindirik koordinat sisteminde yazarken kullanılan koordinat dönüşümü aşağıda belirtilmiştir:

$$x = \rho \cos \phi \quad (3.7)$$

$$y = \rho \sin \phi \quad (3.8)$$

$$z = z \quad (3.9)$$

Birim vektör bilindiği gibi,

$$\vec{e}_{\bar{\phi}} = \cos \bar{\phi} \vec{e}_x + \sin \bar{\phi} \vec{e}_y \quad (3.10)$$

olarak ifade edileceğinden magnetik vektör potansiyeli

$$\begin{aligned} \tilde{A} = a \int_{\bar{\phi}=0}^{2\pi} \frac{e^{ik\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}}}{\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}} \cos \bar{\phi} d\bar{\phi} \vec{e}_x + \\ a \int_{\bar{\phi}=0}^{2\pi} \frac{e^{ik\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}}}{\sqrt{(\rho \cos \phi - a \cos \bar{\phi})^2 + (\rho \sin \phi - a \sin \bar{\phi})^2 + (z - \bar{z})^2}} \sin \bar{\phi} d\bar{\phi} \vec{e}_y \end{aligned} \quad (3.11)$$

halini alır (Şengör, 1996,1997), (Kalaycıoğlu, 1997). (3.11) numaralı integral eşitliğinin değeri $\bar{\phi}$ değerini $[0, 2\pi)$ aralığında $\Delta\bar{\phi}$ kadar arttırıp integralin hesap edilen bu noktadaki değerinin $\Delta\bar{\phi}$ değeriyle çarpılması ve $\bar{\phi}$ değerinin $\Delta\bar{\phi}$ kadar arttırılmak suretiyle elde edilen değerlerin toplanması sonucu nümerik olarak elde edilmiştir. Magnetik vektör potansiyelinden yararlanılarak bulunan elektrik ve magnetik alan ifadeleri de nümerik olarak hesaplanmıştır. Dairesel silindirik koordinat sisteminde çalışılmasından dolayı, magnetik vektör potansiyelinin dairesel silindirik koordinat sistemindeki bileşenleri,

$$\tilde{A}_\rho = \tilde{A}_x \cos \phi + \tilde{A}_y \sin \phi \quad (3.12)$$

$$\tilde{A}_\phi = -\tilde{A}_x \sin \phi + \tilde{A}_y \cos \phi \quad (3.13)$$

şeklinde hesaplanacaktır.

3.2 Gelen Alana Ait Magnetik Alan İfadesinin Bulunması

Magnetik alan bileşenleri ise μ_0 boşluğun magnetik geçirgenliği olmak üzere,

$$\tilde{H} = \frac{1}{\mu} \text{rot} \tilde{A} \quad (3.14)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. (3.14) eşitliğinde, dairesel silindirik koordinat sistemindeki ifadeler yazılarak magnetik alana ilişkin her bir bileşen,

$$\tilde{H}_\rho = \frac{-1}{\rho \mu} \left[\rho \frac{\partial \tilde{A}_\phi}{\partial z} \right] \quad (3.15)$$

$$\tilde{H}_\phi = \frac{1}{\rho \mu} \left[\rho \frac{\partial \tilde{A}_\rho}{\partial z} \right] \quad (3.16)$$

$$\tilde{H}_z = \frac{1}{\rho \mu} \left[\frac{\partial(\rho \tilde{A}_\phi)}{\partial \rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial \phi} \right] \quad (3.17)$$

eşitlikleri ile ifade edilmiştir.

3.3 Gelen Alana Ait Elektrik Alan İfadesinin Bulunması

Bilindiği gibi, elektrik alanın dairesel silindirik koordinat sistemindeki ifadesi, σ , μ , ε sırasıyla iletkenlik, magnetik geçirgenlik ve dielektrik sabiti olmak üzere,

$$\tilde{E} = \frac{1}{\sigma - i\omega\varepsilon} \text{rot}\tilde{H} \quad (3.18)$$

şekindedir. (3.18) eşitliğinde, dairesel silindirik koordinat sistemindeki ifadeler yazılarak elektrik alana ilişkin her bir bileşen,

$$\tilde{E}_\rho = \frac{1}{\rho(\sigma - i\omega\varepsilon)} \left[\frac{\partial \tilde{H}_z}{\partial \phi} - \frac{\rho \partial \tilde{H}_\phi}{\partial z} \right] \quad (3.19)$$

$$\tilde{E}_\phi = \frac{1}{\rho(\sigma - i\omega\varepsilon)} \left[\frac{\rho \partial \tilde{H}_\rho}{\partial z} - \frac{\rho \partial \tilde{H}_z}{\partial \rho} \right] \quad (3.20)$$

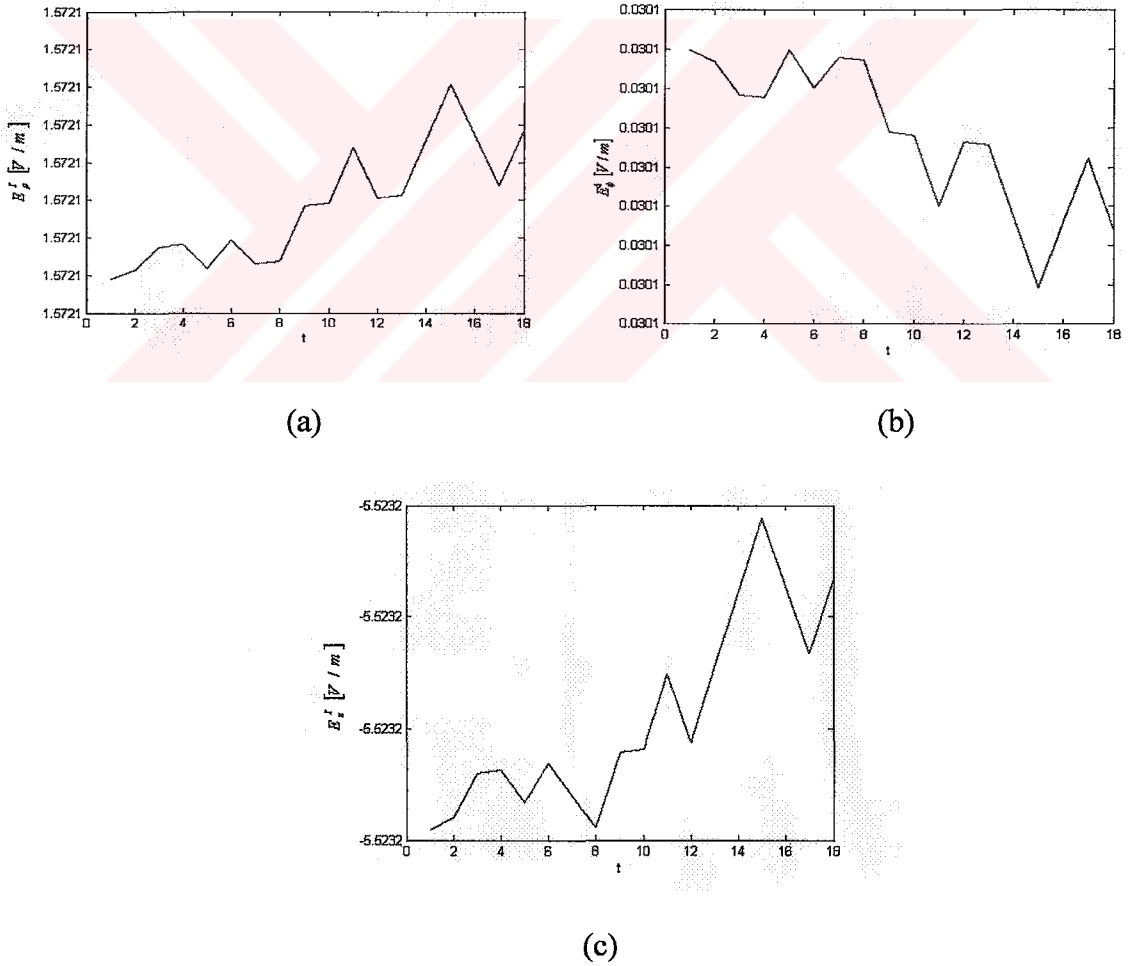
$$\tilde{E}_z = \frac{1}{\rho(\sigma - i\omega\varepsilon)} \left[\frac{\partial \rho \tilde{H}_\phi}{\partial \rho} - \frac{\partial \tilde{H}_\rho}{\partial \phi} \right] \quad (3.21)$$

eşitlikleri ile ifade edilmiştir. FDTD metodunun zaman domeninde çalışmayı gerektiren bir metot olmasından dolayı problemin çözümünde kullanılan gelen elektrik ve magnetik alan ifadelerinin, hareketli cisme ait hareket denklemlerinin ve saçılan alan ifadelerinin zamana bağlı olmaları gerekmektedir. Bu sebepten (3.15), (3.16), (3.17), (3.19), (3.20) ve (3.21) eşitlikleriyle verilen ifadelerin zaman domeninde yazılmaları ve zamana bağlı olarak yazılmak istenen fonksiyonun genliğin mutlak değerinin $\psi = sbt$ eşfaz yüzeyini göstermek üzere, $\sqrt{2} \cos(\psi - \omega t)$ ile çarpılması gerekir.

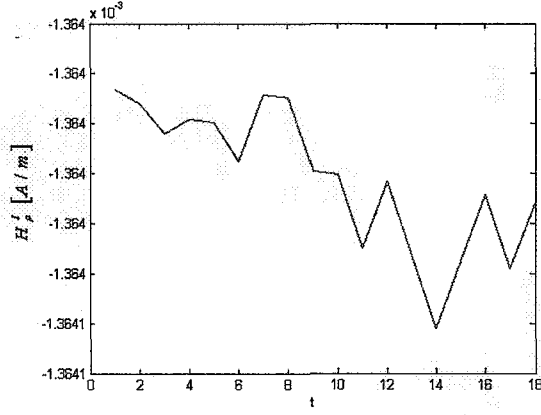
4. PROBLEM UZAYININ VE HÜCRE BOYUTLARININ BELİRLENMESİ

4.1 Dış Radyasyon Sınır Koşulunun Belirlenmesi

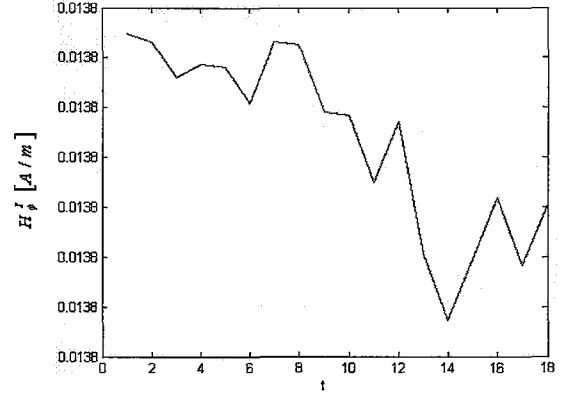
Problem uzayının belirlenmesi öncelikle dış radyasyon sınır yüzeyinin seçilmesiyle olanaklıdır. Dış radyasyon sınır yüzeyi problem uzayının sınırlarını belirleyecektir. Bu problemde dış radyasyon sınır yüzeyi, hücre ayrıtlarının 0.15m ile 0.3m arasında olmasını sağlayan değer olan $\rho = 4$ m ve $\rho = 9$ m silindirik yanal yüzeyler ile $z = 0$ ve $z = 5.6$ m düzlemleri olarak belirlenmiştir. $\rho = 4$ m yüzeyi üzerinde $E^T \approx E^i(\rho, \phi, z)$ olduğu ve diğer sınır yüzeylerinin yutucu bir malzemeyle kaplandığı kabul edilmiştir. Gelen alana ait elektrik alanın ve magnetik alanın zaman domeni ifadelerinin $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında zamanla değişimini veren grafikler Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.



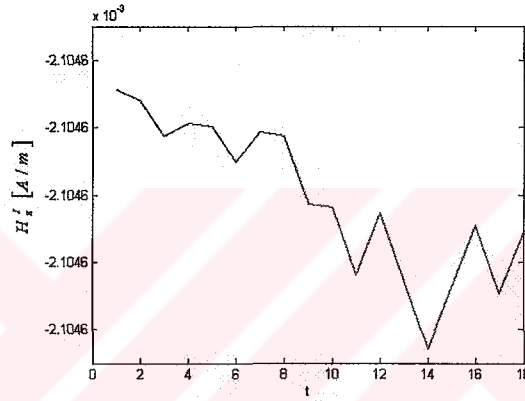
Şekil 4.1 (a) E_ρ^i ; (b) E_ϕ^i ; (c) E_z^i bileşenlerinin zaman domenindeki ifadelerinin $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında zamanla değişimi.



(a)



(b)

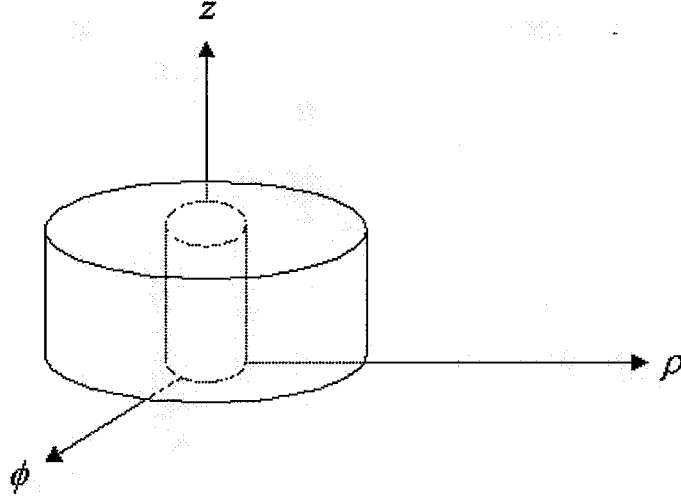


(c)

Şekil 4.2 (a) H_ρ^i ; (b) H_ϕ^i ; (c) H_z^i bileşenlerinin zaman domenindeki ifadelerinin $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ noktasında zamanla değişimi.

Gelen alana ait elektrik ve magnetik alanın zamanla değişiminin grafiklerden fark edilememesinin sebebi çalışma frekansının 100 MHz (Kalaycıoğlu, 1997) ve işaretin periyodunun 10^{-8} sn olmasına karşın grafiklerde kullanılan zaman adımının 0.3 sn olmasıdır. 0.3 sn ve katları, 10^{-8} sn'nin tam katı olduğundan işaretin farklı periyoduna fakat aynı noktasına denk gelmektedir. Bu sebepten gözlem noktasında gelen alana ait elektrik ve magnetik alanın zamanla değişimi grafiklerde görülememektedir.

Hücre boyutları ve çözümün kararlılığı bakımından(bkz. Şekil 4.2) problem uzayı $\{(r, \phi, z)/4 \leq r \leq 9m, \phi \in [0, 2\pi), 0 \leq z \leq 5.6\}$ bölgesiyle tanımlanmıştır. Problem uzayı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Problem uzayı.

4.2 Hücre Boyutlarının Ve Zaman Adımının Belirlenmesi

Hücre boyutlarının ve zaman adımının belirlenmesi, problemin çözümündeki kritik aşamalardan biridir. Saçıcıyla ilgili doğru sonuçların alınabilmesi açısından hücre boyutları yeterince küçük olmalıdır. Hücre boyutlarının çok küçük seçilmesi değişken sayısını çok büyüteceğinden, programın çalışma süresini çok uzatır. Bu sebeple hücre boyutlarını bilgisayar programının çalışmasını engellemeyecek büyüklükte seçmek gerekir. Seçilen hücre boyutları dalga boyunun en az 10'da biri olmalıdır. Tam doğru sonuçların elde edilebilmesi için, hücre boyutları dalga boyunun 20'de biri olacak şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada frekans 100 MHz olarak seçilmiştir (Kalaycıoğlu, 1997). Dalga boyu 3 m'dir. Buradan hücre boyutlarının 0.15 m ile 0.3 m arasında olmasına karar verilebilir. Hücre boyutları 0.2 m olarak seçilmiştir. Dairesel silindirik koordinat sisteminde çalışılması sebebiyle, en dıştaki hücrenin bir ayrıtı en içteki hücrenin bir ayrıtındandır ve en dıştaki hücrenin boyutları 0.2 m, 0.2 m ve 0.3 m, en içteki hücrenin boyutları ise 0.2 m, 0.2 m, 0.15 m olarak seçilmiştir.

Zaman adımının belirlenmesi,

$$v\Delta t \leq \frac{du}{\sqrt{d}} \quad (4.1)$$

eşitsizliğiyle verilen Courant kararlılık koşuluna bağlıdır. Burada v ve d sırasıyla, problem uzayındaki maksimum propagasyon hızı ve ele alınan problem uzayının boyutudur. Problem uzayı içerisinde propagasyon hızı değişiklik gösterebilir, fakat maksimum propagasyon hızı göz önüne alınarak işlem yapıldığından bu propagasyon hızının maksimum hızdan daha

küçük olduğu alt bölgelerde zaman adımının değiştirilmesi gerekmeyecektir.

Daha genel olarak 3-boyutlu dairesel silindir şeklindeki bir bölge için, zaman adımı,

$$v\Delta t \leq \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(\Delta\rho)^2} + \frac{1}{(\rho \Delta\phi)^2} + \frac{1}{(\Delta z)^2}}} \quad (4.2)$$

eşitsizliği ile belirlenir. Tecrübelerle göre, (4.1) ve (4.2) ifadelerinden bulunan zaman adımlarının yaklaşık olarak, eşitsizliğin sağlanacağı maksimum Δt olarak seçilmesi uygun düşmektedir.

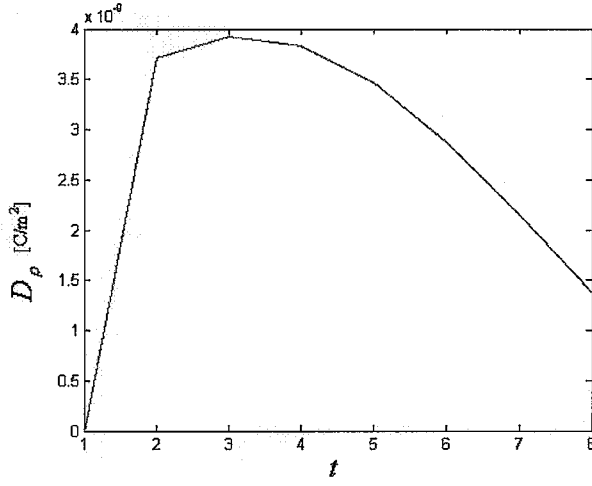
Bu tezde çalışılan problemde, yukarıda da belirtildiği gibi en içteki ile en dıştaki hücrelerin boyutları birbirlerinden farklıdır. Hücre ayrıtlarından, $\rho \Delta\phi$ hesaplanırken, en içteki silindirik hücrenin yarıçapı kullanılmıştır; çünkü bu hesapla bulunan Δt değeri, en dıştaki silindirik hücre kullanılarak hesaplanan Δt değerini kapsamaktadır.

Zaman adımının belirlenebilmesi için en içteki hücre boyutları (4.2) ile verilen eşitsizlikte yerleştirilirse, $\Delta t \leq 3.51.10^{-10}$ s olarak bulunur.

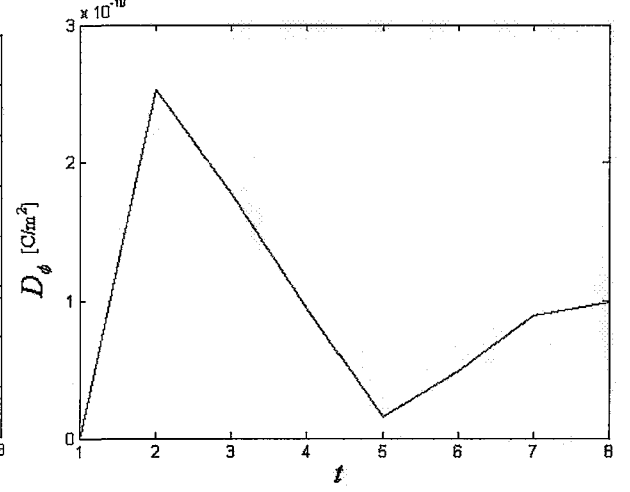
Bu çalışmada yaklaşık olarak 5-10 saniye boyunca hareketli cismin hareketinin problem uzayında gözlenmesi amaçlandığından, $1.75.10^{12}$ - $2.62.10^{12}$ adet zaman adımına ihtiyaç duyulacaktır. Alan bileşenlerinin her birinin ρ , ϕ , z , t 'ye bağlı oldukları düşünülürse, yalnızca zaman değişkeni için $1.75.10^{12}$ - $2.62.10^{12}$ adet zaman adımına ihtiyaç duyulan saçılan alan bileşenleri mevcut bilgisayarlarımızın olanaklarıyla hesaplanamamaktadır. Bu güçlüğü aşmak için aşağıda açıklandığı gibi \vec{D} deplasman vektörünün zamanla değişim hızının ihmal edilebilecek bir mertebede kalmasından yararlanılmıştır.

Zaman adımı 3.10^{-10} sn olarak seçilip saçılan alana ait $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ hesaplandığında oluşan grafikler

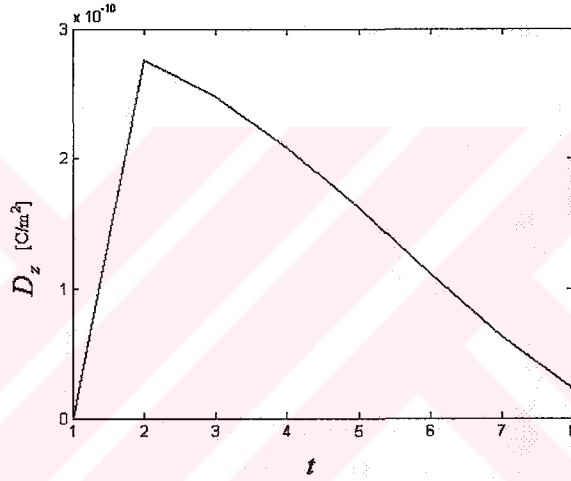
Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4 P($6, \frac{\pi}{2}, 2$) noktasında (a) D_ρ ; (b) D_ϕ ; (c) D_z 'in zamanla değişimi.

Şekil 4.8'de yer alan grafiklerden de görülebileceği gibi $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ 'nin değişimi 10^{-10} mertebesinde kaldığından yaklaşık olarak değişimin ihmal edilebileceği, $\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \approx 0$ olduğu kabul edilebilir. Bu durumda Courant kararlılık koşulu ile elde edilen zaman adımını kullanma zorunluluğu ortadan kalkar. Bu nedenle, çalışmanın ileriki aşamalarında Δt değeri, cismin hareketindeki değişimlerin gözlenebilmesine olanak verecek şekilde ve 0.3 sn olarak seçilmiştir.

5. DİSPERSİF ORTAM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

İnsan vücudunda bulunan doku ve organlar dispersif özelliktedirler. Bu kısımda, bacağı oluşturan dokuların kemik, kas, yağ, deri olduğu varsayılarak etkin dielektrik sabiti hesaplanmıştır. Dispersif malzemelere ilişkin kompleks dielektrik sabitinin hesaplanmasında,

$$\varepsilon^*(\omega) = \varepsilon_0 \left[\varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_{s1} - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau_1} + \frac{\varepsilon_{s2} - \varepsilon_\infty}{1 + i\omega\tau_2} \right] \quad (5.1)$$

ile belirli Lorentz bağıntısı kullanılmıştır. Burada, ω ve $\varepsilon^*(\omega)$ sırasıyla, çalışma frekansı ve çalışma frekansına bağlı olan kompleks dielektrik sabitleridir. ε_∞ frekansta elektrik geçirgenliği, ε_{s1} ve ε_{s2} sıra ile 1 ve 2 indisli ortamların 0 frekansta statik elektrik geçirgenliği, τ_1 ve τ_2 sıra ile 1 ve 2 indisli ortamların röleksasyon sabitleridir. Bacağı oluşturan dokulara ait parametrelerin değerleri Çizelge 5.1'de gösterilmiştir (Furse, 1994).

Çizelge 5.1 $\tau_1 = 46.25$ ns ve $\tau_2 = 0.0907$ ns olan dokulara ilişkin statik ve dielektrik sabitleri.

Doku	ε_∞	ε_{s1}	ε_{s2}
Kas	40.0	3948	59.09
Kemik	3.4	312.8	7.11
Yağ	3.4	312.8	7.11
Deri	23.0	3399	59.59

Çizelge 5.1'de belirtilen dokuların 100 MHz'deki bağlı dielektrik sabitleri ve iletkenlikleri, kompleks dielektrik sabitinin hesaplanmasına ilişkin eşitlik (5.1) ile kompleks dielektrik sabitini tanımlayan,

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_0 \left(\varepsilon_r - \frac{i\sigma}{\omega\varepsilon_0} \right) \quad (5.2)$$

eşitliği yardımıyla elde edilmiştir. Hesaplanan değerler, Çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 100 MHz'de dokuların bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri.

Doku	ϵ_r	$\sigma(S/m)$
Kas	63.65	0.7523
Kemik	7.4639	0.0603
Yağ	7.4639	0.0603
Deri	59.4792	0.6549

5.1 Üç Boyutlu Karışım Modeli

Bu tezde ele alınan modeldeki silindirik yapıdaki hücre, boyutları nedeniyle, birden fazla dokuyu ihtiva edebilecektir. Dielektrik sabiti ve iletkenliğin hücre içerisinde sabit bir değere sahip olması istendiğinden , bacaklar için efektif bir dielektrik sabiti ve efektif bir iletkenliğin hesaplanması gerekmektedir. Bu tip karışım modelleri için iki farklı kural göz önüne alınmıştır.

İlki 1904 yılında J.C Maxwell Garnet tarafından literatüre kazandırılan karışım tahmin kuralıdır. Bu kuralla belirlenen efektif kompleks dielektrik sabiti,

$$\epsilon_{eff} = \epsilon_e + 3f\epsilon_e \frac{\epsilon_i - \epsilon_e}{\epsilon_i + 2\epsilon_e - f(\epsilon_i - \epsilon_e)} \quad (5.3)$$

eşitliğiyle tanımlanmıştır (Sihvola). Burada, ϵ_i ve ϵ_e sırasıyla homojen bir malzemeyle çevrelenmiş hacmin içerisine rasgele yerleşen malzemenin kompleks dielektrik sabiti ve bu malzemeyi çevreleyen homojen yapının kompleks dielektrik sabitidir. f ise bu malzemelerin hacimsel oranlarıdır ve,

$$f = \frac{V_i}{\Sigma V} \quad (5.4)$$

eşitliğiyle tanımlanmıştır. Burada V_i , homojen yapı içerisine rasgele yerleşen malzemenin hacmidir.

İncelenen ikinci tahmin kuralı ise, Bruggeman formülü olarak adlandırılan ve özellikle uzaktan algılama çalışmalarında daha çok Polder-van Santen formülü olarak bilinen formüldür. Bu kuralla belirlenen efektif kompleks dielektrik sabiti aşağıda tanımlanmıştır:

$$(1-f) \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_{eff}}{\varepsilon_e + 2\varepsilon_{eff}} + f \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{eff}}{\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}} = 0 \quad (5.5)$$

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 sabitinin belirlenmesinde Bruggeman formülü kullanılmıştır. Bu eşitlikte bacağın en iç kısmında kemik, üzerinde kas, onun üzerinde yağ, en üstte de deri tabakası olduğu kabul edilmiştir. Öncelikle, kemik ve üzerindeki kas tabakası için efektif kompleks dielektrik sabiti, daha sonra bu yapı ve üzerindeki yağ tabakası için efektif kompleks dielektrik sabiti bulunmuş ve son olarak bu yapıyı deri tabakasının kapladığı kabul edilerek bacak için efektif kompleks dielektrik sabiti hesaplanmıştır. (5.5) eşitliğinde, kompleks değerler yerlerine yazılırsa, aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$(1-f) \left[\frac{\left(\varepsilon_e - i \frac{\sigma_e}{\omega \varepsilon_0} \right) - \left(\varepsilon_{eff} - i \frac{\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right)}{\varepsilon_e - i \frac{\sigma_e}{\omega \varepsilon_0} + 2 \left(\varepsilon_{eff} - i \frac{\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right)} \right] + f \left[\frac{\left(\varepsilon_i - i \frac{\sigma_i}{\omega \varepsilon_0} \right) - \left(\varepsilon_{eff} - i \frac{\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right)}{\varepsilon_i - i \frac{\sigma_i}{\omega \varepsilon_0} + 2 \left(\varepsilon_{eff} - i \frac{\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right)} \right] = 0 \quad (5.6)$$

Bu eşitlikte reel ve sanal kısımlar ayrı ayrı sıfıra eşitlenerek,

$$(1-f) \left[(\varepsilon_e - \varepsilon_{eff})(\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}) - \frac{(\sigma_e - \sigma_{eff})(\sigma_i + 2\sigma_{eff})}{(\omega \varepsilon_0)^2} \right] + f \left[(\varepsilon_e - \varepsilon_{eff})(\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}) - \frac{(\sigma_e - \sigma_{eff})(\sigma_i + 2\sigma_{eff})}{(\omega \varepsilon_0)^2} \right] = 0 \quad (5.7)$$

$$(1-f) \left[(\varepsilon_e - \varepsilon_{eff}) \left(\frac{\sigma_i + 2\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right) + (\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}) \left(\frac{\sigma_e + 2\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right) \right] + f \left[(\varepsilon_e - \varepsilon_{eff}) \left(\frac{\sigma_i + 2\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right) + (\varepsilon_i + 2\varepsilon_{eff}) \left(\frac{\sigma_e + 2\sigma_{eff}}{\omega \varepsilon_0} \right) \right] = 0 \quad (5.8)$$

eşitlikleri elde edilir. Kullanılan f değerleri Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Kullanılan insan vücudu modelindeki bacağına ait dokuların hacim oranları ve $\varepsilon_i, \varepsilon_e, \sigma_i, \sigma_e$ değerleri.

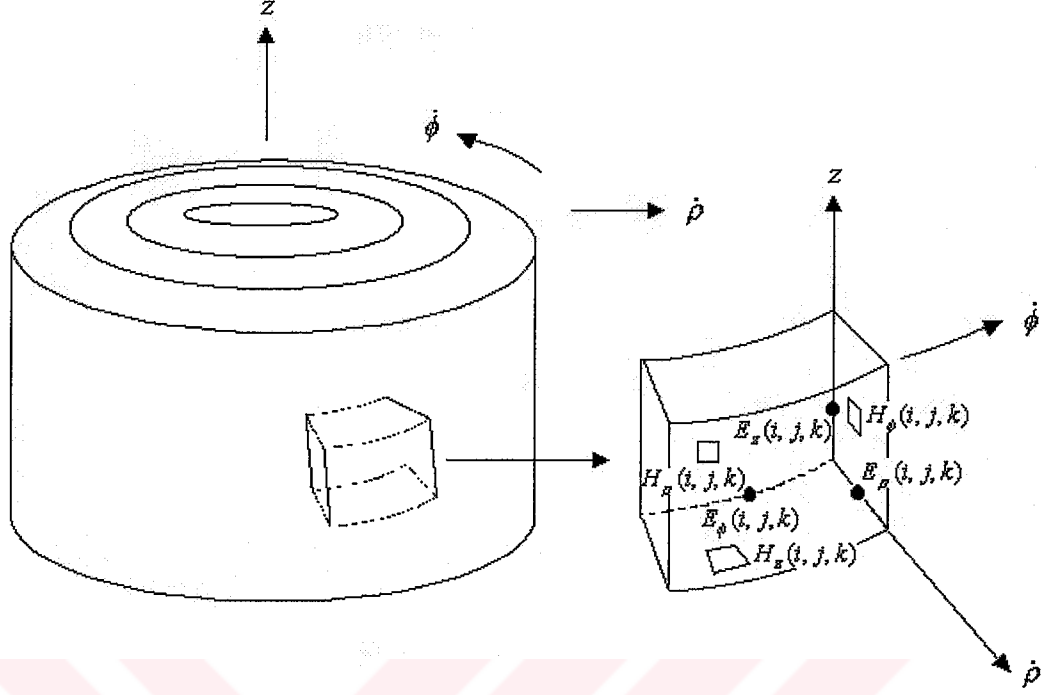
Bölge	f	1-f	ε_i	σ_i	ε_e	σ_e
kemik	0.4225	-	7.4639	0.0603	-	-
kas	-	0.5775	-	-	63.65	0.7523
kemik+kas	0.9047	-	31.883	0.3489	-	-
yağ	-	0.0953	-	-	7.4639	0.0603
kemik+kas+yağ	0.9721	-	28.8031	0.3113	-	-
deri	-	0.0279	-	-	59.4776	0.6549

Hacim oranları, dokulara ait kesit kalınlıkları değerlendirilerek hesaplanmış ampirik bir çalışmadır (Ermişoğlu, 2004). Bu değerlerle birlikte hesaplanan bölgelere ait efektif bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Kullanılan insan vücudu modelindeki bacak bölgesinin efektif bağıl dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri.

Bölge	ε_r	$\sigma(S/m)$
bacak	29.4445	0.3184

6. AYRIK ALAN FORMÜLASYONU



Şekil 6.1 Problem uzayı ve bu uzaya ait silindirik yapıdaki FDTD hücresi.

Bu tezde göz önüne alınan problemin çözümü için sayısal bir yöntem olan FDTD metodu kullanılmıştır. Bu sebepten gelen alan ve saçılan alan formülasyonu, FDTD metoduna uygun olarak ayrık formda yazılmıştır. FDTD hücresi içerisinde zaman değişkeni elektrik alan için $N-1/2$ olurken manyetik alan için ise N olmaktadır (Kunz, 1993).

Analitik ifadeleri nümerik yapabilmek için ilk olarak değişkenlerin ayrık formda ifade edilmesi gerekmektedir. Ayrık uzaydaki değişkenler (adımlar) I, J, K ve n olmak üzere sırasıyla $\Delta\rho, \Delta\phi, \Delta z$ ve Δt artımları cinsinden $\rho = I\Delta\rho, \phi = J\Delta\phi, z = K\Delta z$ ve zaman da $t = n\Delta t$ yazılır.

Kısmi türevler, ayrık formda,

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{f(x,t) - f(x,t - \Delta t)}{\Delta t} \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x,t) - f(x - \Delta x,t)}{\Delta x} \quad (6.2)$$

eşitlikleri ile ifade edilebilmiştir. Kısmi türevli ifadelerin (6.1) ve (6.2) ile verilen tanımlarından yararlanarak, manyetik alana ait (3.15), (3.16) ve (3.17) eşitlikleri aşağıdaki

şekilde yazılmıştır:

$$\tilde{H}_\rho(I, J, K) = \frac{-1}{\mu\rho(I)} \left[\rho(I) \frac{[\tilde{A}_\phi(I, J, K) - \tilde{A}_\phi(I, J, K-1)]}{\Delta z} \right] \quad (6.3)$$

$$\tilde{H}_\phi(I, J, K) = \frac{1}{\mu\rho(I)} \left[\rho(I) \frac{[\tilde{A}_\rho(I, J, K) - \tilde{A}_\rho(I, J, K-1)]}{\Delta z} \right] \quad (6.4)$$

$$\tilde{H}_z(I, J, K) = \frac{1}{\mu\rho(I)} \left[\rho(I) \frac{[\tilde{A}_\phi(I, J, K) - \tilde{A}_\phi(I-1, J, K)]}{\Delta\rho} + \tilde{A}_\phi(I, J, K) \right] \quad (6.5)$$

$$\frac{-1}{\mu\rho(I)} \left[\frac{[\tilde{A}_\rho(I, J, K) - \tilde{A}_\rho(I, J-1, K)]}{\Delta\phi} \right]$$

Kısmi türevli ifadelerin (6.1) ve (6.2) ile verilen tanımlarından yararlanarak, elektrik alana ait (3.19), (3.20) ve (3.21) eşitlikleri aşağıdaki şekilde yazılmıştır:

$$\tilde{E}_\rho(I, J, K) = \frac{1}{\sigma - i\omega\epsilon} \left[\frac{[\tilde{H}_z(I, J, K) - \tilde{H}_z(I, J-1, K)]}{\Delta\phi \rho(I)} - \frac{[\tilde{H}_\phi(I, J, K) - \tilde{H}_\phi(I, J, K-1)]}{\Delta z} \right] \quad (6.6)$$

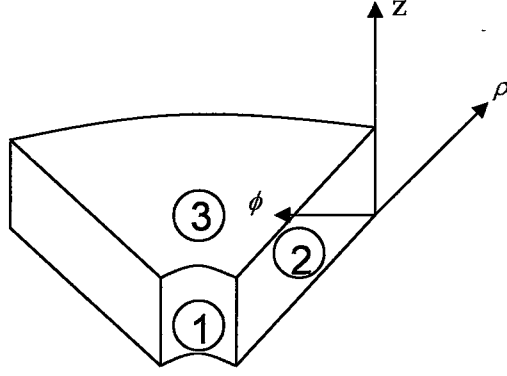
$$\tilde{E}_\phi(I, J, K) = \frac{1}{\sigma - i\omega\epsilon} \left[\frac{[\tilde{H}_\rho(I, J, K) - \tilde{H}_\rho(I, J-1, K)]}{\Delta\phi} - \frac{[\tilde{H}_z(I, J, K) - \tilde{H}_z(I-1, J, K)]}{\Delta\rho} \right] \quad (6.7)$$

$$\tilde{E}_z(I, J, K) = \frac{1}{\sigma - i\omega\epsilon} \left[\tilde{H}_\phi(I, J, K) + \rho(I) \frac{[\tilde{H}_\phi(I, J, K) - \tilde{H}_\phi(I-1, J, K)]}{\Delta\rho} \right] \quad (6.8)$$

$$\frac{1}{\sigma - i\omega\epsilon} \frac{[\tilde{H}_\rho(I, J, K) - \tilde{H}_\rho(I, J-1, K)]}{\rho(I)\Delta\phi}$$

6.1 Sınır Koşulları

Bu tezde kullanılan sınır koşulları, havadan sıçıcı içerisine girilen durumlarda saçıcı içerisindeki toplam alanın hesaplanması amacıyla elektrik ve magnetik alanların teğetsel bileşenlerinin sürekli olmasından hareketle belirlenmiş olan geçiş yüzeylerinde geçerli koşullardır.



Şekil 6.2 Geçiş yüzeyleri.

Aşağıda yazılmış olan sınır koşullarının geçerli olduğu geçiş yüzeyleri şekildeki gibidir.

1 numaralı yüzey için geçerli sınır koşulları;

$$E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) E_{\phi}^{i,n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) + E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) \quad (6.9a)$$

$$E_z^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) E_z^{i,n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) + E_z^{s,n+\frac{1}{2}}(I-1,J,K) \quad (6.9b)$$

$$H_{\phi}^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I-1,J,K) H_{\phi}^{i,n+1}(I-1,J,K) + H_{\phi}^{s,n+1}(I-1,J,K) \quad (6.9c)$$

$$H_z^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I-1,J,K) H_z^{i,n+1}(I-1,J,K) + H_z^{s,n+1}(I-1,J,K) \quad (6.9d)$$

eşitlikleri ile verilmiştir.

2 numaralı yüzey için geçerli sınır koşulları;

$$E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) E_{\rho}^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) + E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) \quad (6.10a)$$

$$E_z^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) E_z^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) + E_z^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J-1,K) \quad (6.10b)$$

$$H_{\rho}^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I,J-1,K) H_{\rho}^{i,n+1}(I,J-1,K) + H_{\rho}^{s,n+1}(I,J-1,K) \quad (6.10c)$$

$$H_z^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I,J-1,K) H_z^{i,n+1}(I,J-1,K) + H_z^{s,n+1}(I,J-1,K) \quad (6.10d)$$

eşitlikleri ile verilmiştir.

3 numaralı yüzey için geçerli sınır koşulları;

$$E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) E_{\rho}^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) + E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) \quad (6.11a)$$

$$E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) E_{\phi}^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) + E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K-1) \quad (6.11b)$$

$$H_{\rho}^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I,J,K-1) H_{\rho}^{i,n+1}(I,J,K-1) + H_{\rho}^{s,n+1}(I,J,K-1) \quad (6.11c)$$

$$H_{\phi}^{s,n+1}(I,J,K) = Q^{n+1}(I,J,K-1) H_{\phi}^{i,n+1}(I,J,K-1) + H_{\phi}^{s,n+1}(I,J,K-1) \quad (6.11d)$$

eşitlikleriyle verilmiştir. Yukarıdaki eşitlikler ile tanımlanmış olan sınır koşullarından, geçiş yüzeyinin konumuna göre uygun olanı veya uygun olanları geçiş yüzeyleri sınırlarında kullanılarak saçıcı içerisindeki toplam alan hesaplanmıştır. Q, gelen elektrik alanının varlığı durumunda 1 değerini alan, ortama antenden direkt gelen alan bulunmuyorsa (saçıcı içinde) 0 değerini alan nesne fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

6.2 Saçılan Alan İfadelerinin Ayrık Forma Dönüştürülmesi

Ek. 2'de yer alan saçılan alan formülasyonlarında sonlu farklar formları yerleştirildiğinde aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\begin{aligned} & \frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K)}{\Delta t} \left[E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) - E_{\rho}^{s,n-\frac{1}{2}}(I,J,K) \right] + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) E_{\rho}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) = \\ & -\sigma^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) E_{\rho}^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} \\ & \left[Q^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) E_{\rho}^{i,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) - E_{\rho}^{s,n-\frac{1}{2}}(I,J,K) \right] + \frac{1}{\rho^{n+1}(I,J,K) \Delta \phi} \\ & \left[H_z^{s,n+1}(I,J,K) - H_z^{s,n+1}(I,J-1,K) \right] + \frac{1}{\Delta z} \left[H_{\phi}^{s,n+1}(I,J,K) - H_{\phi}^{s,n+1}(I,J,K-1) \right] \end{aligned} \quad (6.12)$$

$$\frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K)}{\Delta t} \left[E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) - E_{\phi}^{s,n-\frac{1}{2}}(I,J,K) \right] + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I,J,K) E_{\phi}^{s,n+\frac{1}{2}}(I,J,K) =$$

$$\begin{aligned}
& -\sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0\right)}{\Delta t} \\
& \left[Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \right] + \frac{1}{\Delta z} \left[H_\rho^{s, n+1}(I, J, K) - H_\rho^{s, n+1}(I, J, K-1) \right] \\
& - \frac{1}{\Delta \rho} \left[H_z^{s, n+1}(I, J, K) - H_z^{s, n+1}(I-1, J, K) \right] \tag{6.13}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} \left[E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_z^{s, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \right] + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) = \\
& -\sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0\right)}{\Delta t} \\
& \left[Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \right] + \frac{1}{\Delta \rho} \left[H_\phi^{s, n+1}(I, J, K) - H_\phi^{s, n+1}(I-1, J, K) \right] \\
& \frac{1}{\Delta \phi} \frac{1}{\rho(J)} \left[H_\rho^{s, n+1}(I, J, K) - H_\rho^{s, n+1}(I, J-1, K) \right] + \frac{1}{\rho(J)} \frac{H_\phi^{s, n+1}(I, J, K)}{\Delta \rho} \tag{6.14}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} \left[H_\rho^{s, n+1}(I, J, K) - H_\rho^{s, n}(I, J, K) \right] = -\frac{\left(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0\right)}{\Delta t} \\
& \left[Q^{n+1}(I, J, K) H_\rho^{i, n+1}(I, J, K) - Q^n(I, J, K) H_\rho^{i, n}(I, J, K) \right] - \frac{1}{\rho(J) \Delta \phi} \left[E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J-1, K) \right] \\
& + \frac{1}{\Delta z} \left[E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K-1) \right] \tag{6.15}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} \left[H_\phi^{s, n+1}(I, J, K) - H_\phi^{s, n}(I, J, K) \right] = -\frac{\left(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0\right)}{\Delta t} \\
& \left[Q^{n+1}(I, J, K) H_\phi^{i, n+1}(I, J, K) - Q^{n+1}(I, J, K) H_\phi^{i, n}(I, J, K) \right] - \frac{1}{\Delta z} \left[E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K-1) \right] \\
& + \frac{1}{\Delta \rho} \left[E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K) \right] \tag{6.16}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} [H_z^{s, n+1}(I, J, K) - H_z^{s, n}(I, J, K)] = -\frac{(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} \\
& [Q^{n+1}(I, J, K)H_z^{i, n+1}(I, J, K) - Q^{n+1}(I, J, K)H_z^{i, n}(I, J, K)] - \frac{1}{\Delta z} [E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K-1)] \\
& - \frac{E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\rho(J)\Delta\rho} + \frac{1}{\Delta\rho} [E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K)] \tag{6.17}
\end{aligned}$$

Denklemlerdeki bilinmeyenlerin bulunması amacıyla, denklemdeki bulunmak istenen ifadeler (bilinmeyenler) bir tarafa bilinenler ise bir tarafa toplanarak, yukarıdaki eşitlikler,

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \right) E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \frac{H_z^{s, n+1}(I, J, K)}{\rho(J)\Delta\phi} + \frac{H_\phi^{s, n+1}(I, J, K)}{\Delta z} = \\
& \frac{\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} E_\rho^{s, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\rho^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\rho^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) + \frac{\left(\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\rho^{i, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{H_z^{s, n+1}(I, J-1, K)}{\rho(J)\Delta\phi} + \frac{H_\phi^{s, n+1}(I, J, K-1)}{\Delta z} \tag{6.18}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \right) E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \frac{H_\rho^{s, n+1}(I, J, K)}{\Delta z} + \frac{H_z^{s, n+1}(I, J, K)}{\Delta\rho} = \\
& \frac{\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} E_\phi^{s, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) + \frac{\left(\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) E_\phi^{i, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{H_\rho^{s, n+1}(I, J, K-1)}{\Delta z} + \frac{H_z^{s, n+1}(I-1, J, K)}{\Delta\rho} \tag{6.19}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} + \sigma^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \right) E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \left(\frac{1}{\rho(J) \Delta \rho} + \frac{1}{\Delta \rho} \right) H_\phi^{s, n+1}(I, J, K) + \frac{H_\rho^{s, n+1}(I, J, K)}{\rho(J)} = \\
& \frac{\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta t} E_z^{s, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \sigma^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) Q^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{\left(\varepsilon^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) + \frac{\left(\varepsilon^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) - \varepsilon_0 \right)}{\Delta t} Q^{n-\frac{1}{2}}(I, J, K) E_z^{i, n-\frac{1}{2}}(I, J, K) \\
& - \frac{H_\rho^{s, n+1}(I, J-1, K)}{\rho(J) \Delta \phi} - \frac{H_\phi^{s, n+1}(I-1, J, K)}{\Delta \rho} \tag{6.20}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} H_\rho^{s, n+1}(I, J, K) + \frac{1}{\rho(J) \Delta \phi} E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) + \frac{E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta z} = \frac{\mu^n(I, J, K)}{\Delta t} H_\rho^{s, n}(I, J, K) \\
& + Q^{n+\frac{1}{2}}(I, J-1, K) \frac{E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I, J-1, K)}{\rho(J) \Delta \phi} - \frac{(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n+1}(I, J, K) H_\rho^{i, n+1}(I, J, K) \\
& + \frac{(\mu^{n-1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n-1}(I, J, K) H_\rho^{i, n-1}(I, J, K) - \frac{E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K-1)}{\Delta z} \tag{6.21}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} H_\phi^{s, n+1}(I, J, K) + \frac{1}{\Delta z} E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) - \frac{E_z^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\Delta \rho} = \frac{\mu^n(I, J, K)}{\Delta t} H_\phi^{s, n}(I, J, K) \\
& - Q^{n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K) \frac{E_z^{i, n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K)}{\Delta \rho} - \frac{(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n+1}(I, J, K) H_\phi^{i, n+1}(I, J, K) \tag{6.22}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{(\mu^{n-1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n-1}(I, J, K) H_\phi^{i, n-1}(I, J, K) + \frac{E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K-1)}{\Delta z} \\
& \frac{\mu^{n+1}(I, J, K)}{\Delta t} H_z^{s, n+1}(I, J, K) + \left(\frac{1}{\rho(J) \Delta \rho} + \frac{1}{\Delta \rho} \right) E_\phi^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K) + \frac{E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J, K)}{\rho(J) \Delta \phi} = \frac{\mu^n(I, J, K)}{\Delta t} H_z^{s, n}(I, J, K)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + Q^{n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K) \frac{E_\phi^{i, n+\frac{1}{2}}(I-1, J, K)}{\Delta \rho} - \frac{(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n+1}(I, J, K) H_z^{i, n+1}(I, J, K) \quad (6.23) \\
& + \frac{(\mu^{n+1}(I, J, K) - \mu_0)}{\Delta t} Q^{n+1}(I, J, K) H_z^{i, n+1}(I, J, K) - \frac{E_\rho^{s, n+\frac{1}{2}}(I, J-1, K)}{\rho(J) \Delta \phi}
\end{aligned}$$

haline getirilir.

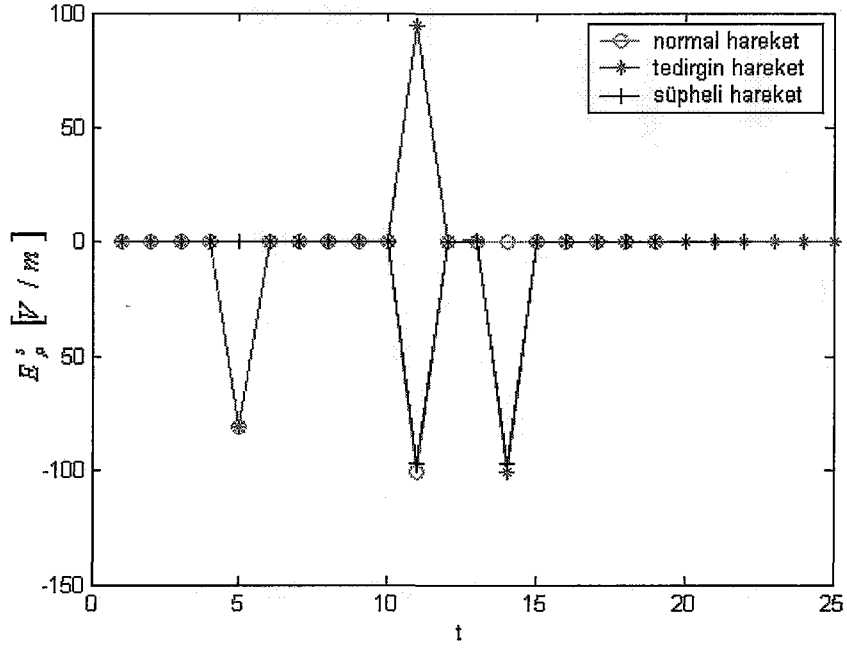
7. ÇÖZÜMLER VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, problem uzayında saçılan alanı tespit etmek amacıyla hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak değişik noktalarda, sabit hızla ilerleyen hareketli cisim modeli ve hızı sabit olmayan cisim modelleri için saçılan elektrik ve magnetik alanı ifade eden sayısal sonuçlara ve bu sonuçların verdiği grafikler üzerinde yapılan yorumlara yer verilmiştir.

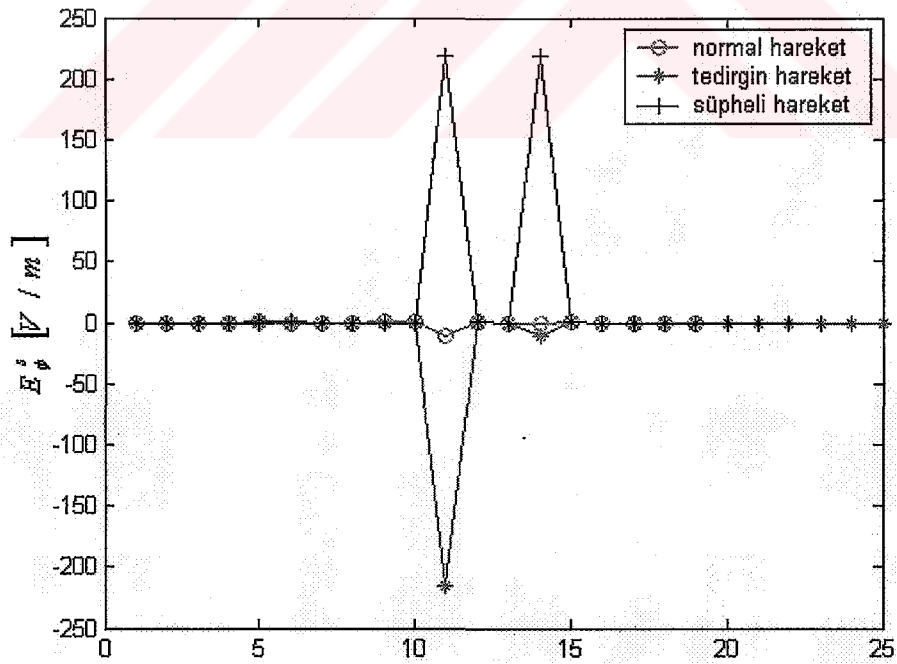
Bu sonuçlar elde edilirken, bacaklarının boyu 1 metre, yarıçapı 10 cm olan iki adet silindirden oluştuğu düşünülen insanın, $t = 0$ anında dış radyasyon sınır yüzeyi üzerinde durduğu, bu andan itibaren ρ eksenine doğrultusunda sabit bir $V\rho = 1.727$ hızıyla, $\phi = \frac{\pi}{2}$ düzleminde harekete başladığı kabul edilmiştir. Bu problemde dış radyasyon sınır yüzeyi, hücre ayrıtlarının 0.15m ile 0.3m arasında olmasını sağlayan değer olan $\rho = 4$ m ve $\rho = 9$ m silindirik yanal yüzeyler ile $z = 0$ ve $z = 5.6$ m düzlemleri olarak belirlenmiştir. $\rho = 4$ m yüzeyi üzerinde $E^T \approx E^i(\rho, \phi, z)$ olduğu ve diğer sınır yüzeylerinin yutucu bir malzemeyle kaplandığı kabul edilmiştir. Alanın değişimine ait grafikler elde edilirken zaman adımı $\Delta t = 0.3$ sn olarak alınmıştır.

Bu tezde üç farklı simülasyon modeline yer verilmiştir. İlk modelde cismin hareketinin normal, ikinci modelde tedirgin ve üçüncü modelde şüpheli yapıda olduğu düşünülmüş ve bu hareketler “normal hareket”, “tedirgin hareket” ve “şüpheli hareket” olarak adlandırılmıştır.

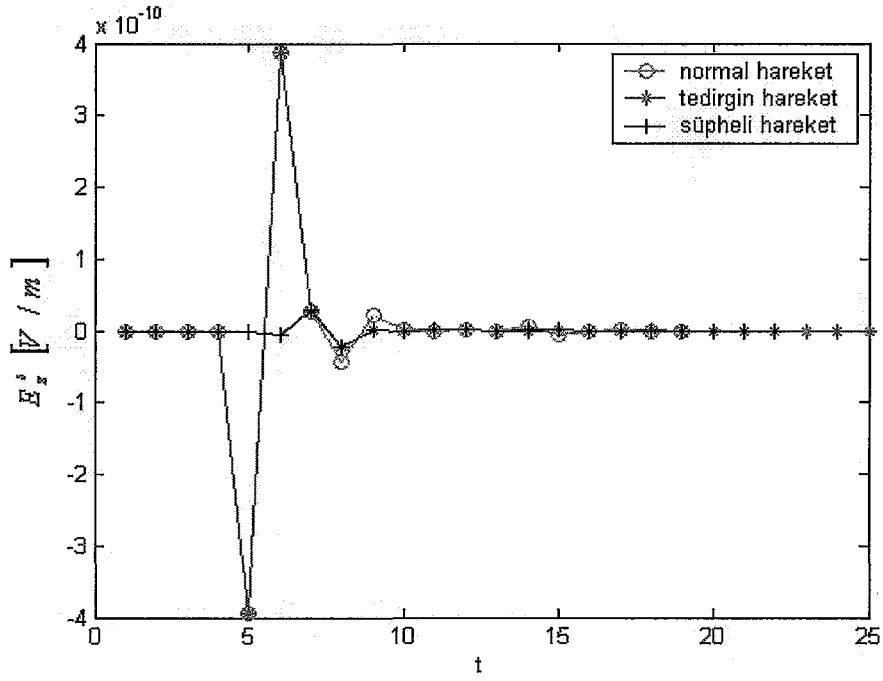
Cismin hareketi üç farklı periyot süreci için incelenmiştir. İlk simülasyon uygulamasında, cismin hızlarının her üç periyotta da sabit olduğu; ikinci uygulamada hızların ilk ve son periyotlarda eşit ve sabit, ikinci periyotta ise sabit fakat diğer hızların yarı büyüklüğünde olduğu, son uygulamada cismin hızlarının ilk periyotta sabit, ikinci periyotta ilk periyottaki hızların yarısı büyüklüğünde, son periyotta ise hızların ilk periyottaki hızların iki katı büyüklüğünde olduğu kabul edilerek cismin hareketi modellenmiştir. Aşağıdaki grafikler $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik ve magnetik alanın ρ , ϕ ve z bileşenine aittir.



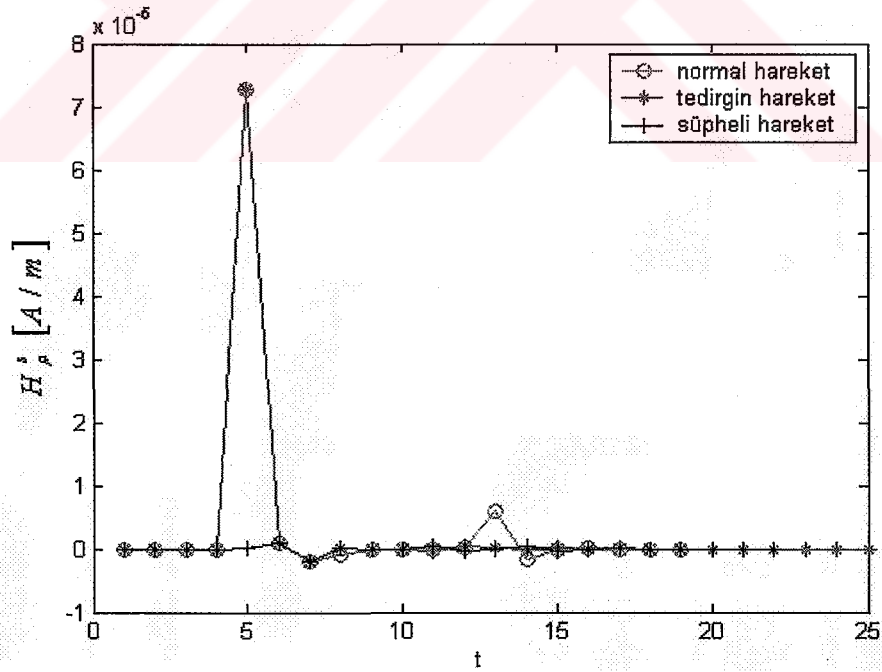
Şekil 7.1 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.



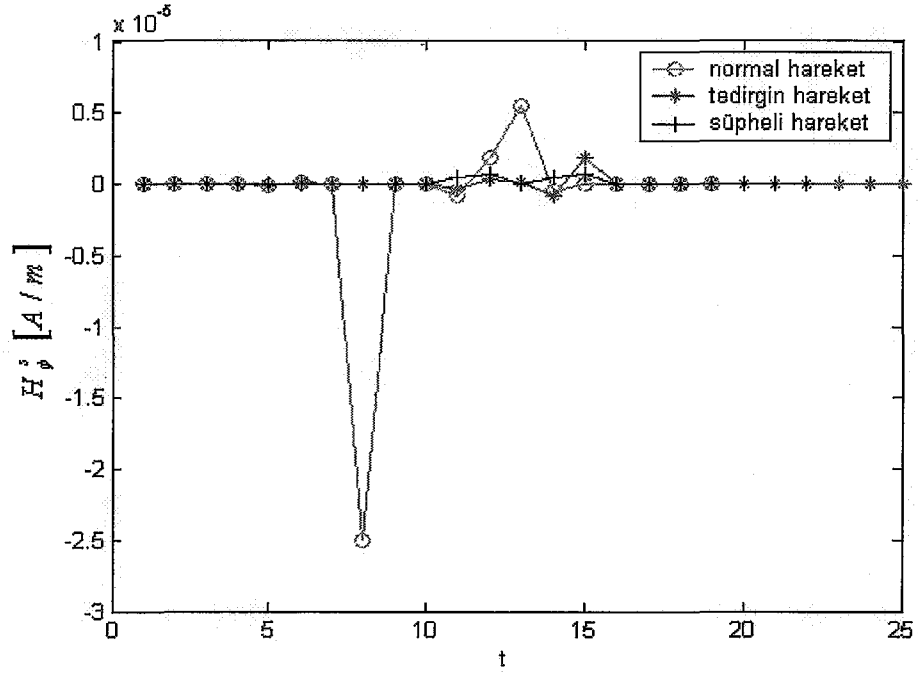
Şekil 7.2 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.



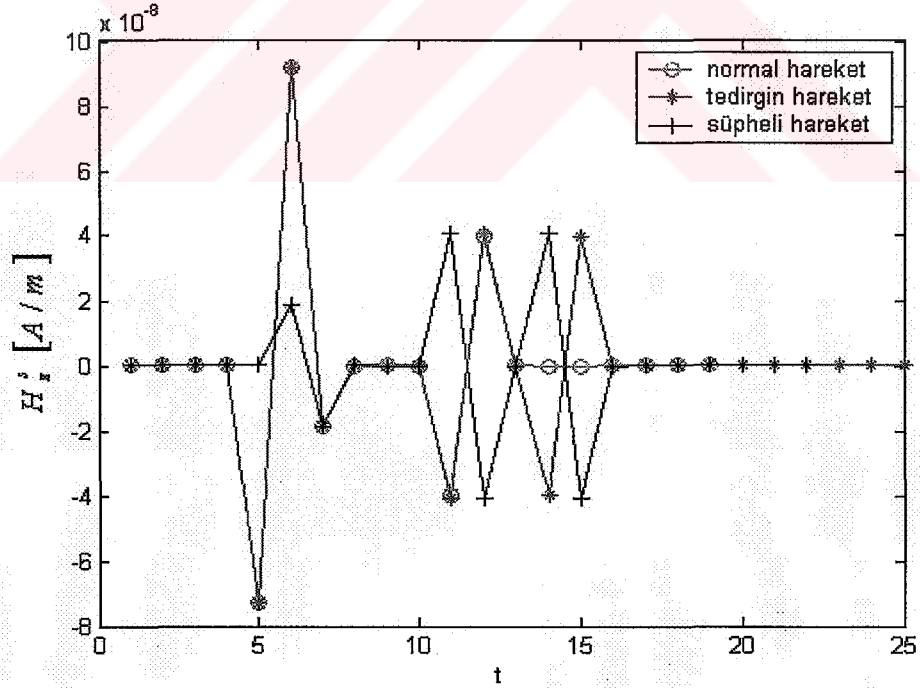
Şekil 7.3 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan elektrik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.



Şekil 7.4 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan magnetik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.

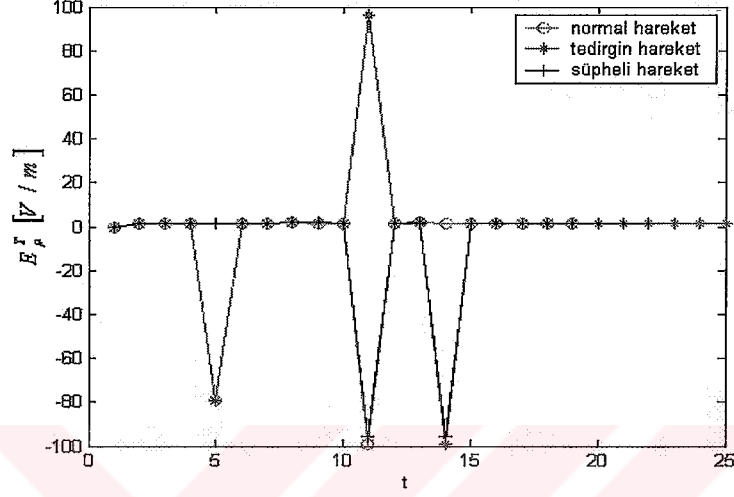


Şekil 7.5 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan magnetik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.

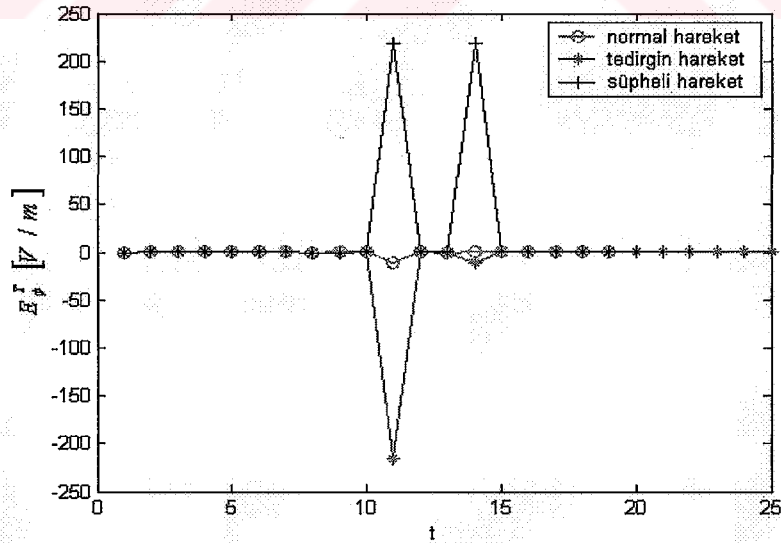


Şekil 7.6 $(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için saçılan magnetik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.

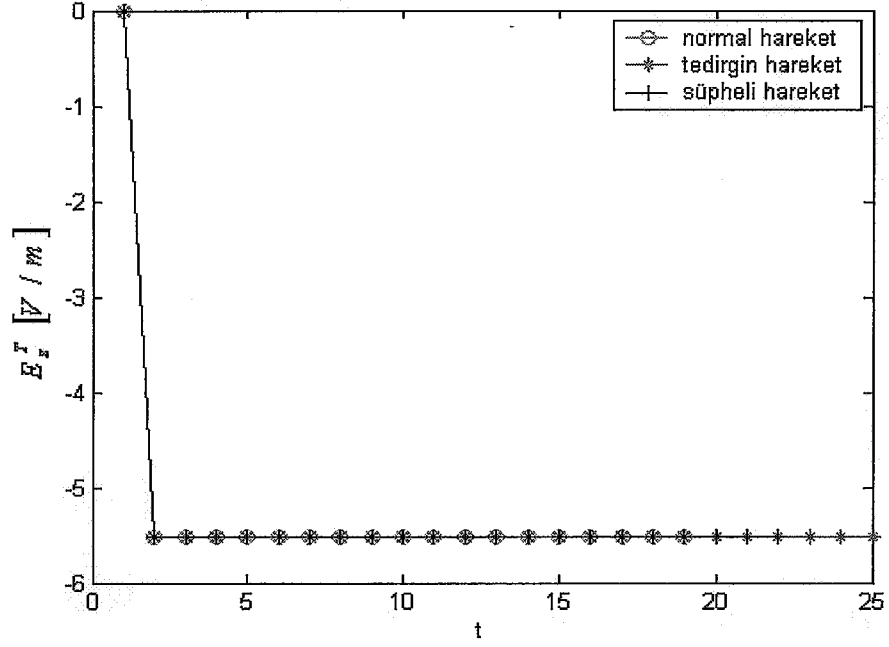
Gözlem noktasına yerleştirilmiş olan alıcı antene ulaşan alan, ortamda bulunan gelen alan ve saçılan alanın toplamıdır. Aşağıdaki grafikler $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik ve magnetik alanın ρ , ϕ ve z bileşenine aittir.



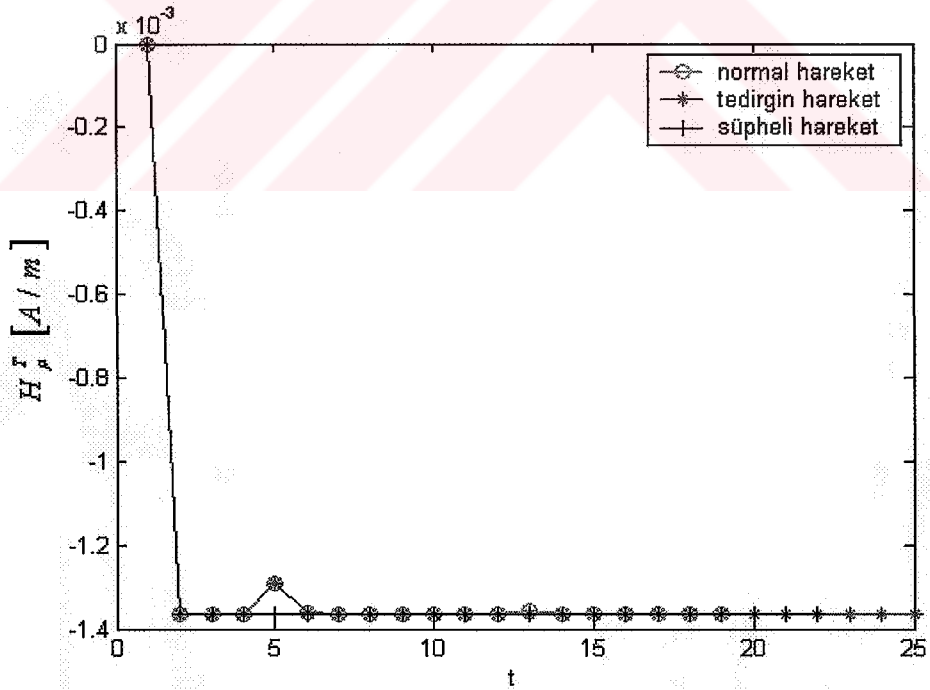
Şekil 7.7 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.



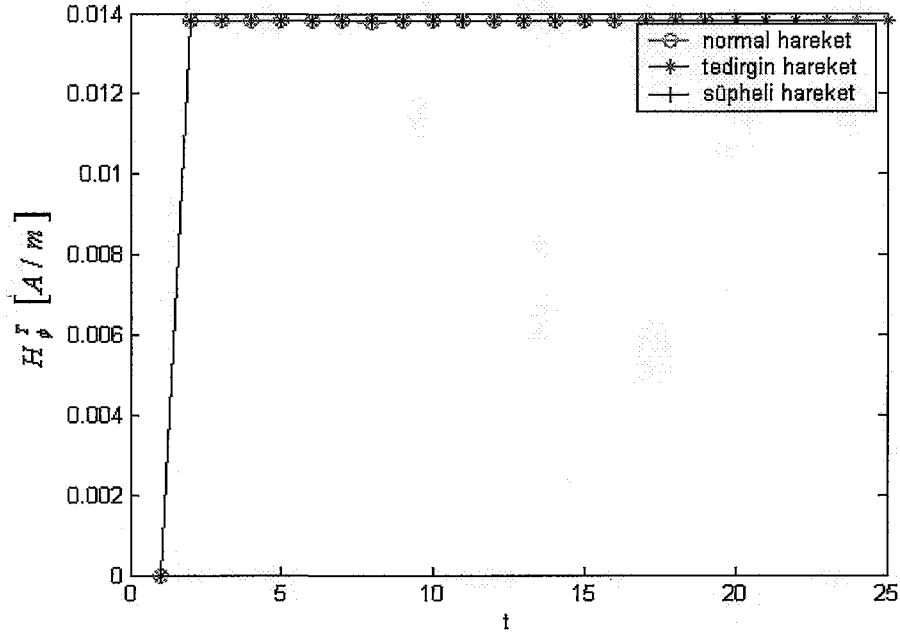
Şekil 7.8 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.



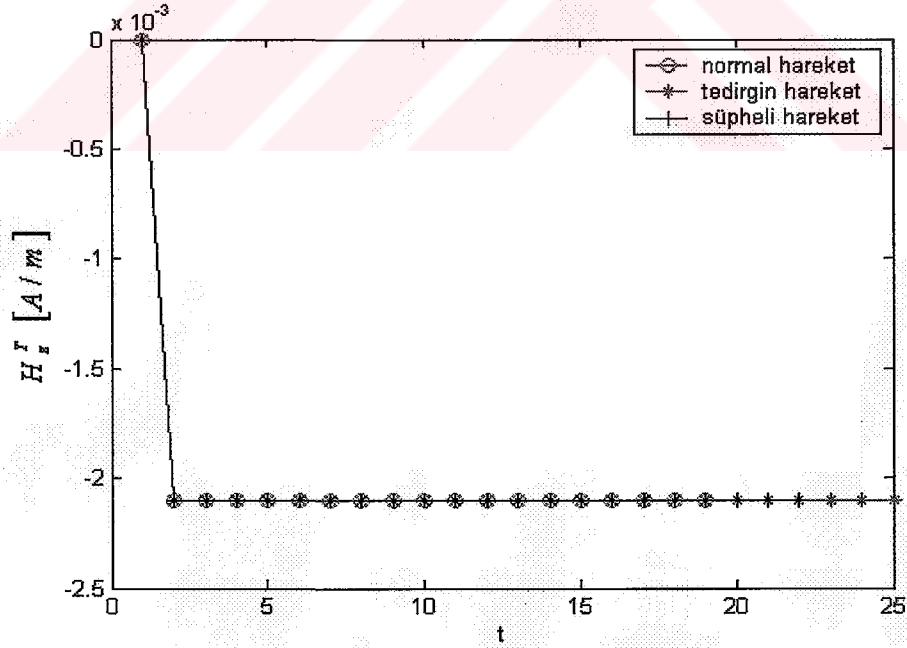
Şekil 7.9 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam elektrik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.



Şekil 7.10 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın ρ bileşeninin zamanla değişimi.



Şekil 7.11 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın ϕ bileşeninin zamanla değişimi.



Şekil 7.12 $P(6, \frac{\pi}{2}, 2)$ gözlem noktasında “normal hareket”, “tedirgin hareket”, “şüpheli hareket” için toplam magnetik alanın z bileşeninin zamanla değişimi.

Bu tezdeki amaç bakımından, simülasyon sonuçlarının hedef bölgesindeki insan hareketliliğini algılayıp bu hareketin karakteristik yapısının şüpheli bir kişinin davranış formuna uyup uymadığına karar verebilecek nitelikte olması gerekir. Şekil 7.1-7.12 arasında yer alan simülasyon sonuçlarına ait grafikler incelendiğinde, “normal hareket” olarak sınıflandırılmış olan hareket, “tedirgin hareket” olarak sınıflandırılmış hareket ve “şüpheli hareket” olarak sınıflandırılmış olan hareket karakteristiklerinin, seçilen gözlem noktalarında farklılıklar oluşturduğu görülmektedir. Bu farklılıklar göz önüne alındığında elde edilen sonuçlar, “normal” , “tedirgin” ve “şüpheli” yapıdaki hareketi ayırt edebilecek bir cihazın yapılabilmesini mümkün kılacak niteliktedir.

Bellek ve işlemci kapasitesi daha yüksek bilgisayarların kullanılması halinde mevcut problem tanımına kıyasla daha geniş zaman aralığına, daha geniş problem uzayına ve daha ayrıntılı hareketlere sahip cisimlerin analizlerini yapmak mümkün olacaktır.



8. SONUÇLAR

Bu tezde, başlangıç olarak silindirik koordinat sisteminde insan yürüyüşüne benzeyen bir formda hareket eden uygun bir cisim modeli oluşturulmuştur. İnsan bacakları, hareket eden cisim olarak seçilmiş ve konumları zamanla değişen iki adet sonlu silindir ile modellenmiştir. Bu cismin hareketine ilişkin denklemler 2. bölümde elde edilmiştir. Sonraki bölümde verici anten tipine karar verilerek seçilen antenin problem uzayında oluşturduğu gelen alana ait magnetik vektör potansiyeli, magnetik alan ifadesi ve elektrik alan ifadesinin bulunması formülasyonlarına yer verilmiştir. 4. bölümde problem uzayı ve problemin çözümüne uygun hücre boyutları belirlenmiştir. Dış radyasyon sınır koşuluna karar verilmiş, hücre boyutları ve zaman adımı hesaplanmıştır. Verici antenin oluşturduğu elektrik alan ve magnetik alanın problem uzayı içerisindeki değişimi ve bu alanların dış radyasyon sınır yüzeyi üzerindeki değerlerine bölümdeki grafiklerde yer verilmiştir.

Hareketli cismin insan olarak seçilmesi ve insan dokularının dispersif yapıya sahip olması nedeniyle dielektrik sabitini frekansa bağlılığı içeren uygun bir formda ifade etmek gerekir. Bu tezde bacağına ait efektif dielektrik sabiti ve iletkenlik değerleri Furse'nin çalışmasında yer alan debye sabiti değerleri kullanılarak (Furse, 1994), (Ermişoğlu, 2004) 5. bölümde 100 MHz için hesaplanmıştır. Dispersif ortam parametrelerinin hesaplanmasının ardından üç boyutlu karışım modeli oluşturulmuştur (Sihvola, 1992), (Sihvola, 1999), (Ermişoğlu, 2004).

Bu tezde problemin çözümü için sayısal bir yaklaşım olan FDTD metodu kullanılmıştır. Dolayısıyla, gelen alan ve saçılan alan formülasyonu, Ek. 2'de verilen saçılan alan ifadeleri kullanılmak suretiyle FDTD metoduna uygun olarak, Maxwell denklemlerinden hareketle 6. bölümde ayrık (discrete) forma dönüştürülmüştür.

7. bölümde ise, problem uzayında saçılan alanı tespit etmek amacıyla hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak üç farklı hareket modeli için saçılan elektrik ve magnetik alanı ifade eden sayısal sonuçlara ve bu sonuçların verildiği grafiklerle ilgili yorumlara yer verilmiştir.

Bellek ve işlemci kapasitesi daha yüksek bilgisayarların kullanılması halinde mevcut problem tanımına kıyasla daha geniş zaman aralığına, daha geniş problem uzayına ve daha ayrıntılı hareketlere sahip cisimlerin analizlerini yapmak mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Balanis, C.A., (1989), Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley&Sons, USA.

Chen, H. Ve Wang, H., (1994), "Current and SAR Induced in a Human Head by the Electromagnetic Fields Irradiated from a Cellular Phone" , IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 42, 2249-2254.

Ermışoğlu, E., (2004), Hareketli Uygun Biyolojik Hedeflerden Saçılan Elektromagnetik Dalgalara İlişkin FDTD Yaklaşımı Yardımıyla Hedefin Davranışının Belirlenmesi, Danışman:Şengör, T., YL Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Furse, C.M., Chen, J. ve Gandhi, O.P., (1994), "The Use of The Frequency-Dependent Time-Domain Method for Induced Current and SAR Calculations for a Heterogeneous Model of the Human Body" , IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 36, 128-133.

Kalaycıoğlu, K., (1997), Silindirik Geometriye Sahip Saçılma Problemlerinde İntegral Gösterilim Yoluyla Kesin Sayısal Çözüm Yaklaşımı, Danışman: Şengör, T., YL Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

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

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

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

Sullivan, D.M., Borup, D.T. ve Gandhi, O.P., (1987), "Use of The Finite-Difference Time-Domain Method in Calculating EM Absorbption in Human Tissues" , IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. BME-34, 148-157.

Şengör, T., Elektromagnetik Dalga Teorisi Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Şengör, T., Partal, H. P., (1996), "The Exact Computational Solution Approach by Integral Representation with an Application to Radiation Characteristics of Aperture Antennas" , IEEE AP-5 International Symposium, Baltimore, Maryland, July 21-26, 1996.

Şengör, T., Partal, H. P., (1997), "Simulating the Radiation Characteristics of Circular Indipendence Discs" , International Conference on Electromagnetics in Advanced Applications, Torino, Sept. 15-18, 1997.

EKLER

- Ek 1 Silindirik Koordinat Sisteminde Koordinat Dönüşümü
Ek 2 Maxwell Denklemlerinden Hareketle Saçılan Alan İfadelerinin Elde Edilmesi
Ek 3 Hazırlanan Bilgisayar Programı



Ek 1 Silindirik Koordinat Sisteminde Koordinat Dönüşümü

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{x}_x & \bar{x}_y & \bar{x}_z \\ \bar{y}_x & \bar{y}_y & \bar{y}_z \\ \bar{z}_x & \bar{z}_y & \bar{z}_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

Eksenler arasında kalan açılarının kosinüslerinin oluşturduğu matris, ortogonal (dik) matristir.

Dik matris: Tersiyile transpozese eşit olan matris.

\bar{x} : dönüştürülmüş koordinatlardaki x eksenini.

\bar{y} : dönüştürülmüş koordinatlardaki y eksenini.

\bar{z} : dönüştürülmüş koordinatlardaki z eksenini.

\bar{x}_x : $o\bar{x}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{x}_y : $o\bar{x}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{x}_z : $o\bar{x}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{y}_x : $o\bar{y}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{y}_y : $o\bar{y}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{y}_z : $o\bar{y}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{z}_x : $o\bar{z}$ ekseninin ox -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{z}_y : $o\bar{z}$ ekseninin oy -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

\bar{z}_z : $o\bar{z}$ ekseninin oz -ekseniyle yaptığı açının kosinüsü.

Hareket eden cisimlerin hareket denklemlerinin yazılabilmesi için koordinat dönüşümü yapmadan önce koordinat ötelemesi yapıldı.

Ek 2 Maxwell Denklemlerinden Hareketle Saçılan Alan İfadelerinin Elde Edilmesi

Lineer bir ortamda Maxwell denklemleri,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.1})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = -\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (\text{Ek 2.2})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (\text{Ek 2.3})$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (\text{Ek 2.4})$$

ifadeleriyle verilmiştir (Kunz). Elektrik ve magnetik akı yoğunlukları,

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (\text{Ek 2.5})$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (\text{Ek 2.6})$$

eşitliklerinde verilmiştir. Magnetik alan ve elektrik alanın zamana göre türevlerini içeren terimler yalnız bırakıldıklarında,

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} (\vec{\nabla} \times \vec{E}) - \frac{\sigma^*}{\mu} \vec{H} \quad (\text{Ek 2.7})$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = -\frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E} + \frac{1}{\epsilon} (\vec{\nabla} \times \vec{H}) \quad (\text{Ek 2.8})$$

eşitlikleri elde edilir. Toplam elektrik ve toplam magnetik alan eşitlikleri aşağıdaki gibidir:

$$\vec{E} = \vec{E}^{total} \equiv \vec{E}^{incident} + \vec{E}^{scattered} \quad (\text{Ek 2.9})$$

$$\vec{H} = \vec{H}^{total} \equiv \vec{H}^{incident} + \vec{H}^{scattered} \quad (\text{Ek 2.10})$$

Saçıcının bulunduğu ortamda toplam alan ifadeleri,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{total} = -\mu \frac{\partial \vec{H}^{total}}{\partial t} - \sigma^* \vec{H}^{total} \quad (\text{Ek 2.11})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{total} = \epsilon \frac{\partial \vec{E}^{total}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{total} \quad (\text{Ek 2.12})$$

eşitliklerini sağlarlar. Gelen alana ait alan ifadeler serbest uzay koşullarında yazılırsa,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{inc} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.13})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{inc} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.14})$$

ifadeleri elde edilir. Toplam alan bileşenini tekrar yazıldığında ise,

$$\vec{\nabla} \times (\vec{E}^{inc} + \vec{E}^{scat}) = -\mu \left(\frac{\partial (\vec{H}^{inc} + \vec{H}^{scat})}{\partial t} \right) - \sigma^* (\vec{H}^{inc} + \vec{H}^{scat}) \quad (\text{Ek 2.15})$$

$$\vec{\nabla} \times (\vec{H}^{inc} + \vec{H}^{scat}) = \varepsilon \left(\frac{\partial (\vec{E}^{inc} + \vec{E}^{scat})}{\partial t} \right) + \sigma (\vec{E}^{inc} + \vec{E}^{scat}) \quad (\text{Ek 2.16})$$

eşitliklerine ulaşılır. Bu ifadeler, yalnızca saçılan alanlar cinsinden yazılırsa,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{scat} = -\mu \frac{\partial \vec{H}^{scat}}{\partial t} - \sigma^* \vec{H}^{scat} - \left[(\mu - \mu_0) \frac{\partial \vec{H}^{inc}}{\partial t} + \sigma^* \vec{H}^{inc} \right] \quad (\text{Ek 2.17})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{scat} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}^{scat}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{scat} + \left[(\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\partial \vec{E}^{inc}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{inc} \right] \quad (\text{Ek 2.18})$$

eşitliklerine dönüşürler. Magnetik iletkenliğin sıfır olduğu düşünülürse genel halde saçılan alan ifadeleri,

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{scat} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}^{scat}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{scat} + (\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\partial \vec{E}^{inc}}{\partial t} + \sigma \vec{E}^{inc} \quad (\text{Ek 2.19})$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}^{scat} = -\mu \frac{\partial \vec{H}^{scat}}{\partial t} - (\mu - \mu_0) \frac{\partial \vec{H}^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.20})$$

şekilde yazılabilir. Silindirik koordinat sisteminde herhangi bir \vec{A} 'nın rotasyonel ifadesi

$$\vec{\nabla} \times \vec{A} = \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z}{\partial \phi} - \frac{\partial A_\phi}{\partial z} \right) \vec{e}_\rho + \left(\frac{\partial A_\rho}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial \rho} \right) \vec{e}_\phi + \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho A_\phi)}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial A_\rho}{\partial \phi} \right) \vec{e}_z \quad (\text{Ek 2.21})$$

gibidir. $\vec{e}_\rho, \vec{e}_\phi, \vec{e}_z$ sırasıyla ρ, ϕ, z doğrultusundaki birim vektörlerdir.

$\vec{\nabla} \times \vec{H}^{scat}$ ifadesini (Ek.19) numaralı eşitlikte yerine koyup aynı doğrultudaki ifadeleri

birbirlerine eşitlersek;

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial H_z^{scat}}{\partial \phi} - \frac{\partial H_\phi^{scat}}{\partial z} = \varepsilon \frac{\partial E_\rho^{scat}}{\partial t} + \sigma E_\rho^{scat} + (\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\partial E_\rho^{inc}}{\partial t} + \sigma E_\rho^{inc} \quad (\text{Ek 2.22})$$

$$\frac{\partial H_\rho^{scat}}{\partial z} - \frac{\partial H_z^{scat}}{\partial \rho} = \varepsilon \frac{\partial E_\phi^{scat}}{\partial t} + \sigma E_\phi^{scat} + (\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\partial E_\phi^{inc}}{\partial t} + \sigma E_\phi^{inc} \quad (\text{Ek 2.23})$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho H_\phi^{scat})}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial H_\rho^{scat}}{\partial \phi} = \varepsilon \frac{\partial E_z^{scat}}{\partial t} + \sigma E_z^{scat} + (\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\partial E_z^{inc}}{\partial t} + \sigma E_z^{inc} \quad (\text{Ek 2.24})$$

eşitlikleri elde edilir. $\nabla \times E^{scat}$ ifadesini (Ek.19) numaralı eşitlikte yerine koyup aynı doğrultudaki ifadeleri birbirlerine eşitlersek;

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial E_z^{scat}}{\partial \phi} - \frac{\partial E_\phi^{scat}}{\partial z} = -\mu \frac{\partial H_\rho^{scat}}{\partial t} - (\mu - \mu_0) \frac{\partial H_\rho^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.25})$$

$$\frac{\partial E_\rho^{scat}}{\partial z} - \frac{\partial E_z^{scat}}{\partial \rho} = -\mu \frac{\partial H_\phi^{scat}}{\partial t} - (\mu - \mu_0) \frac{\partial H_\phi^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.26})$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial(\rho E_\phi^{scat})}{\partial \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial E_\rho^{scat}}{\partial \phi} = -\mu \frac{\partial H_z^{scat}}{\partial t} - (\mu - \mu_0) \frac{\partial H_z^{inc}}{\partial t} \quad (\text{Ek 2.27})$$

eşitlikleri elde edilir. Eşitliklerde türev ifadelerinin yerlerine farklar cinsinden eşitlikleri yazılır ve saçılan alan ifadeleri yalnız bırakılırsa yukarıdaki ifadeler,

$$\varepsilon \frac{\Delta E_\rho^{scat}}{\Delta t} + \sigma E_\rho^{scat} = -(\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\Delta E_\rho^{inc}}{\Delta t} - \sigma E_\rho^{inc} + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta H_z^{scat}}{\Delta \phi} - \frac{\Delta H_\phi^{scat}}{\Delta z} \quad (\text{Ek 2.28})$$

$$\varepsilon \frac{\Delta E_\phi^{scat}}{\Delta t} + \sigma E_\phi^{scat} = -(\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\Delta E_\phi^{inc}}{\Delta t} - \sigma E_\phi^{inc} + \frac{\Delta H_\rho^{scat}}{\Delta z} - \frac{\Delta H_z^{scat}}{\Delta \rho} \quad (\text{Ek 2.29})$$

$$\varepsilon \frac{\Delta E_z^{scat}}{\Delta t} + \sigma E_z^{scat} = -(\varepsilon - \varepsilon_0) \frac{\Delta E_z^{inc}}{\Delta t} - \sigma E_z^{inc} + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta(\rho H_\phi^{scat})}{\Delta \rho} - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta H_\rho^{scat}}{\Delta \phi} \quad (\text{Ek 2.30})$$

$$\mu \frac{\Delta H_\rho^{scat}}{\Delta t} = -(\mu - \mu_0) \frac{\Delta H_\rho^{inc}}{\Delta t} - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta E_z^{scat}}{\Delta \phi} + \frac{\Delta E_\phi^{scat}}{\Delta z} \quad (\text{Ek 2.31})$$

$$\mu \frac{\Delta H_\phi^{scat}}{\Delta t} = -(\mu - \mu_0) \frac{\Delta H_\phi^{inc}}{\Delta t} - \frac{\Delta E_\rho^{scat}}{\Delta z} + \frac{\Delta E_z^{scat}}{\Delta \rho} \quad (\text{Ek 2.32})$$

$$\mu \frac{\Delta H_z^{scat}}{\Delta t} = -(\mu - \mu_0) \frac{\Delta H_z^{inc}}{\Delta t} - \frac{1}{\rho} \frac{\Delta(\rho E_\phi^{scat})}{\Delta \rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\Delta E \rho^{scat}}{\Delta \phi} \quad (\text{Ek 2.33})$$

şeklını alır.



Ek 3 Hazırlanan Bilgisayar Programı

```

clear all
fic=0:(pi/36):(2*pi);
ro=4.4:0.2:9;
fi=-(pi/94):(pi/94):(2*pi);
z=-0.2:0.2:5.6;
t=-0.3*(10^(-9)):0.3*(10^(-9)):6.9*(10^(-9));
dfic=pi/36;
deltaro=0.2;
deltafi=pi/94;
deltazet=0.2;
deltat=0.3*(10^(-9));
a=0.2;
zc=2;
k=2*pi/3;
I=10;
mu0=4*pi*10^(-7);
f=1*(10^8);
fi0=pi/2;
omega=2*pi*f;
epsilon0=(10^(-9))/(36*pi);
sigma=0;
l=1;

t0 =0.000*(10^(-9));t1 =0.330*(10^(-9));t2 =0.422*(10^(-9));t3 =0.519*(10^(-9));
t4 =0.730*(10^(-9));t5 =0.941*(10^(-9));t6 =1.152*(10^(-9));t7 =1.363*(10^(-9));
t8 =1.680*(10^(-9));t9 =2.010*(10^(-9));t10=2.102*(10^(-9));t11=2.199*(10^(-9));
t12=2.410*(10^(-9));t13=2.621*(10^(-9));t14=2.832*(10^(-9));t15=3.043*(10^(-9));
t16=3.360*(10^(-9));t17=3.690*(10^(-9));t18=3.782*(10^(-9));t19=3.879*(10^(-9));
t20=4.090*(10^(-9));t21=4.301*(10^(-9));t22=4.512*(10^(-9));t23=4.723*(10^(-9));
t24=5.040*(10^(-9));
Vro1=0.875*(10^9);Vz1 =0.320*(10^9);Vro2=0.875*(10^9);
Vz2 =0.320*(10^9);Vro3=0.875*(10^9);Vz3 =0.320*(10^9);
ro0 =ro(length(ro));ro1 =ro(length(ro))-0.57;ro2 =ro(length(ro))-0.37;
ro3 =ro(length(ro))-0.74;ro4 =ro(length(ro))-0.17;ro5 =ro(length(ro))-1.31;
ro6 =ro(length(ro))-1.11;ro7 =ro(length(ro))-1.48;ro8 =ro(length(ro))-0.91;
ro9 =ro(length(ro))-2.05;ro10=ro(length(ro))-1.85;ro11=ro(length(ro))-2.22;
ro12=ro(length(ro))-1.65;ro13=ro(length(ro))-2.79;ro14=ro(length(ro))-2.59;
ro15=ro(length(ro))-2.96;ro16=ro(length(ro))-2.39;ro17=ro(length(ro))-3.53;
ro18=ro(length(ro))-3.33;ro19=ro(length(ro))-3.70;ro20=ro(length(ro))-3.13;
ro21=ro(length(ro))-4.27;ro22=ro(length(ro))-4.07;ro23=ro(length(ro))-4.44;
ro24=ro(length(ro))-3.87;
z1=0.16;z2=0.93;

Vro1=1.727*(10^9);Vro2=1.727*(10^9);Vro3=1.727*(10^9);
Vaz1=0.758*(10^9);Vz1=0.331*(10^9);Vaz2=0.758*(10^9);
Vz2=0.331*(10^9);Vaz3=0.758*(10^9);Vz3=0.331*(10^9);
Varo1=0.515*(10^9);Vkro1=1.121*(10^9);Varo2=0.515*(10^9);
Vkro2=1.121*(10^9);Varo3=0.515*(10^9);Vkro3=1.121*(10^9);
AX = zeros(length(ro), length(fi), length(z));
AY = zeros(length(ro), length(fi), length(z));

for jj=1:length(ro);

```

```

for kk=2:length(fi);
  for zz=2:length(z);
    for ii=1:length(fic);

      AX(jj,kk,zz)= AX(jj,kk,zz)+ (mu0/(4*pi))*I*a*exp(j*k*sqrt(((ro(jj)*cos(fi(kk)))-
(a*cos(fic(ii))))^2)+((ro(jj)*sin(fi(kk)))-(a*sin(fic(ii))))^2)+((z(zz)-
zc)^2)))*dfic*cos(fic(ii))/sqrt(((ro(jj)*cos(fi(kk)))-(a*cos(fic(ii))))^2)+((ro(jj)*sin(fi(kk)))-
(a*sin(fic(ii))))^2)+((z(zz)-zc)^2));
      AY(jj,kk,zz)= AY(jj,kk,zz)+ (mu0/(4*pi))*I*a*exp(j*k*sqrt(((ro(jj)*cos(fi(kk)))-
(a*cos(fic(ii))))^2)+((ro(jj)*sin(fi(kk)))-(a*sin(fic(ii))))^2)+((z(zz)-
zc)^2)))*dfic*sin(fic(ii))/sqrt(((ro(jj)*cos(fi(kk)))-(a*cos(fic(ii))))^2)+((ro(jj)*sin(fi(kk)))-
(a*sin(fic(ii))))^2)+((z(zz)-zc)^2));
    end
  end
end
for jj=2:length(ro);
  for kk=2:length(fi);
    for zz=2:length(z);
      AXcosfi(jj,kk,zz)=AX(jj,kk,zz)*cos(fi(kk));
      AYsinfi(jj,kk,zz)=AY(jj,kk,zz)*sin(fi(kk));
      AXsinfi(jj,kk,zz)=AX(jj,kk,zz)*sin(fi(kk));
      AYcosfi(jj,kk,zz)=AY(jj,kk,zz)*cos(fi(kk));
      Aro(jj,kk,zz)= AXcosfi(jj,kk,zz)+AYsinfi(jj,kk,zz);
      Afi(jj,kk,zz)=-AXsinfi(jj,kk,zz)+AYcosfi(jj,kk,zz);

    end
  end
end
for jj=2:length(ro);
  for kk=2:length(fi);
    for zz=2:length(z);

      Afi(jj,kk,1)=0;
      Aro(jj,kk,1)=0;
      Aro(jj,1,zz)=Aro(jj,length(fi)-1,zz);
      HroI (jj,kk,zz)=-(1/(mu0*ro(jj)))*(ro(jj)*(Afi(jj,kk,zz)-Afi(jj,kk,zz-1))/deltazet);
      HfiI (jj,kk,zz)= (1/(mu0*ro(jj)))*(ro(jj)*(Aro(jj,kk,zz)-Aro(jj,kk,zz-1))/deltazet);
      HzetI(jj,kk,zz)= (1/(mu0*ro(jj)))*(Afi(jj,kk,zz)+(ro(jj)*(Afi(jj-1,kk,zz)-Afi(jj,kk,zz))/deltaro)-
((Aro(jj,kk,zz)-Aro(jj,kk-1,zz))/deltafi));

    end
  end
end
for jj=2:length(ro);
  for kk=2:length(fi);
    for zz=2:length(z);
      HfiI (1,kk,zz)=0;
      HzetI(1,kk,zz)=0;
      HroI (jj,1,zz)=HroI (jj,length(fi)-1,zz);
      HzetI(jj,1,zz)=HzetI(jj,length(fi)-1,zz);
      HfiI (jj,kk,1)=0;
      HroI (jj,kk,1)=0;

```

```

    EroI (jj,kk,zz)=1/((sigma-(j*omega*epsilon0))*ro(jj))*(((HzetI(jj,kk,zz)-HzetI(jj,kk-
1,zz))/deltafi)-(ro(jj)*(Hfil(jj,kk,zz)-Hfil(jj,kk,zz-1))/deltazet));
    Efil (jj,kk,zz)=1/((sigma-(j*omega*epsilon0))*ro(jj))*((ro(jj)*(HroI(jj,kk,zz)-HroI(jj,kk,zz-
1))/deltazet)-(ro(jj)*(HzetI(jj,kk,zz)-HzetI(jj-1,kk,zz))/deltaro));
    EzetI(jj,kk,zz)=1/((sigma-
(j*omega*epsilon0))*ro(jj))*(Hfil(jj,kk,zz)+(ro(jj)*(Hfil(jj,kk,zz)-Hfil(jj-1,kk,zz))/deltaro)-
((HroI(jj,kk,zz)-HroI(jj,kk-1,zz))/deltafi));

    end
    end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:length(z);

            ahro (jj,kk,zz)=abs(HroI (jj,kk,zz));
            ahfi (jj,kk,zz)=abs(Hfil (jj,kk,zz));
            ahzet(jj,kk,zz)=abs(HzetI(jj,kk,zz));
            aero (jj,kk,zz)=abs(EroI (jj,kk,zz));
            aefi (jj,kk,zz)=abs(Efil (jj,kk,zz));
            aezet(jj,kk,zz)=abs(EzetI(jj,kk,zz));
            phro (jj,kk,zz)=angle(HroI (jj,kk,zz));
            phfi (jj,kk,zz)=angle(Hfil (jj,kk,zz));
            phzet(jj,kk,zz)=angle(HzetI(jj,kk,zz));
            pero (jj,kk,zz)=angle(EroI (jj,kk,zz));
            pefi (jj,kk,zz)=angle(Efil (jj,kk,zz));
            pezet(jj,kk,zz)=angle(EzetI(jj,kk,zz));

            end
        end
    end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:length(z);
            for tt=2:length(t);

                HroI (jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*ahro (jj,kk,zz)*cos(angle(HroI (jj,kk,zz))-(omega*t(tt)));
                Hfil (jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*ahfi (jj,kk,zz)*cos(angle(Hfil (jj,kk,zz))-(omega*t(tt)));
                HzetI(jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*ahzet(jj,kk,zz)*cos(angle(HzetI(jj,kk,zz))-(omega*t(tt)));

                EroI (jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*aero (jj,kk,zz)*cos(angle(EroI (jj,kk,zz))-(omega*(t(tt)-deltat/2)));
                Efil (jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*aefi (jj,kk,zz)*cos(angle(Efil (jj,kk,zz))-(omega*(t(tt)-deltat/2)));
                EzetI(jj,kk,zz,tt)=sqrt(2)*aezet(jj,kk,zz)*cos(angle(EzetI(jj,kk,zz))-(omega*(t(tt)-deltat/2)));
            end
        end
    end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:length(z);
            for tt=2:length(t);

                Q(jj,kk,zz,tt)=1;
            end
        end
    end
end

```

```

        epsilon(jj,kk,zz,tt)=epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0;
    end
end
end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:7;
            if (0 <= t(tt) & t(tt) <= t1)
                gama1=atan(Vro1*t(tt)/(1-(Vz1*t(tt))));
                rocc1(jj,kk,zz,tt)=0;
                rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama1)^2)+((sin(fi0)*
                (ro(length(ro))-(Vro1*t(tt))))^2)*(cos(gama1)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro(length(ro))-
                (Vro1*t(tt)))*(cos(gama1)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama1)^2)+((Vz1*t(tt))^2)*(sin(gama1)^2)-
                2*z(zz)*(Vz1*t(tt))*(sin(gama1)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-
                2*ro(jj)*(Vz1*t(tt))*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-2*z(zz)*sin(fi0)*(ro(length(ro))-
                (Vro1*t(tt)))*sin(gama1)*cos(gama1)+2*sin(fi0)*(ro(length(ro))-
                (Vro1*t(tt)))*(Vz1*t(tt))*sin(gama1)*cos(gama1));

                if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
                    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
                    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
                    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
                end

                if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
                    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
                    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
                    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
                end

                elseif t1 < t(tt) & t(tt) <= t2
                    gama2=atan((sin(fi0)*ro1+Varo1*(t(tt)-t1)-Vkro1*(t(tt)-t1))/(1-z1+Vaz1*(t(tt)-t1)-
                    Vkz1*(t(tt)-t1)));
                    gama7=atan(Vro1*(t(tt)-t1)/(1-Vz1*(t(tt)-t1)));
                    rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(sin(gama7)^2)+(z(zz)^2)*
                    (sin(gama7)^2)-2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama7)*cos(gama7));
                    rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama2)^2)+((ro1*sin(
                    fi0))-Varo1*((t(tt)-t1)^2))*(cos(gama2)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*((ro1*sin(fi0))-Varo1*(t(tt)-
                    t1))*(cos(gama2)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama2)^2)+(z1-Vaz1*((t(tt)-t1)^2))*(sin(gama2)^2)-2*z(zz)*(z1-
                    Vaz1*(t(tt)-t1))*(sin(gama2)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-2*ro(jj)*(z1-
                    Vaz1*(t(tt)-t1))*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-2*((ro1*sin(fi0))-Varo1*(t(tt)-
                    t1))*z(zz)*sin(gama2)*cos(gama2)+2*((ro1*sin(fi0))-Varo1*(t(tt)-t1))*(z1-Vaz1*(t(tt)-
                    t1))*sin(gama2)*cos(gama2));

                    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
                        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
                        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
                        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end
elseif t2 < t(tt) & t(tt) <= t3
    gama3=atan((sin(fi0)*ro3-sin(fi0)*ro2-(Vro1*(t(tt)-t2)))/(z2+(Vz1*(t(tt)-t2))));
    gama8=atan((sin(fi0)*ro2+Vkro1*(t(tt)-t2)-Varo1*(t(tt)-t2))/(z2+Vz1*(t(tt)-t2)-
Vaz1*(t(tt)-t2)));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama8)^2)+((sin(fi0)*
(ro0-(Varo1*(t(tt)-t2))))^2)*(cos(gama8)^2-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro0-(Varo1*(t(tt)-
t2)))*(cos(gama8)^2)+(sin(gama8)^2)*(z(zz)^2)+(sin(gama8)^2)*((Vaz1*(t(tt)-t2))^2)-
2*z(zz)*Vaz1*(t(tt)-t2)*(sin(gama8)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*ro(jj)*Vaz1*(t(tt)-
t2)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*z(zz)*sin(fi0)*(ro0-(Varo1*(t(tt)-
t2)))*sin(gama8)*cos(gama8)-2*sin(fi0)*(ro0-(Varo1*(t(tt)-t2)))*Vaz1*(t(tt)-
t2)*sin(gama8)*cos(gama8)));

rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama3)^2)+((sin(fi0)*
ro3)^2)*(cos(gama3)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama3)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama3)*cos(gama3
)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro3*sin(gama3)*cos(gama3)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro3*sin(fi(kk))*(cos(gama3)^2));

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end
elseif t3 < t(tt) & t(tt) <= t4
    gama12=atan((sin(fi0)*ro3-sin(fi0)*ro4-(Vro1*(t(tt)-t3)))/(l-z1+Vz1*(t(tt)-t3)));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama12)^2)+(sin(fi0)
*ro4-Vro1*((t(tt)-t3)^2))*(cos(gama12)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro4-Vro1*(t(tt)-
t3))*(cos(gama12)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama12)^2)+(z1-Vz1*((t(tt)-t3)^2))*(sin(gama12)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vz1*(t(tt)-t3))*(sin(gama12)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)+2*ro(jj)*(z1-Vz1*(t(tt)-
t3))*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro4-Vro1*(t(tt)-
t3))*z(zz)*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro4-Vro1*(t(tt)-t3))*(z1-Vz1*(t(tt)-
t3))*sin(gama12)*cos(gama12));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro3*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro3)^2));

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

```

```

end
elseif t4 < t(tt) & t(tt) <= t5
    gama9=atan((sin(fi0)*ro3+Vro1*(t(tt)-t4))/(1-Vz1*(t(tt)-t4)));
    rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama9)^2)+(sin(fi0)*ro3-Vro1*(t(tt)-t4))^2*(cos(gama9)^2)+z(zz)^2*(sin(gama9)^2)+((Vz1*(t(tt)-t4))^2*(sin(gama9)^2)-2*z(zz)*Vz1*(t(tt)-t4)*(sin(gama9)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-2*ro(jj)*Vz1*(t(tt)-t4)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-2*(sin(fi0)*ro3-Vro1*(t(tt)-t4))*z(zz)*sin(gama9)*cos(gama9)+2*(sin(fi0)*ro3-Vro1*(t(tt)-t4))*Vz1*(t(tt)-t4)*sin(gama9)*cos(gama9)));
    rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro3*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro3)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
elseif t5 < t(tt) & t(tt) <= t6
    gama4=atan((sin(fi0)*ro3+Vro1*(t(tt)-t5))/(1-Vz1*(t(tt)-t4)));
    gama10=atan(((sin(fi0)*ro5-ro3+sin(fi0)*Vro1*(t(tt)-t5))-(Vkro1*(t(tt)-t5)))/((1-z1+Vaz1*(t(tt)-t5))-(Vkz1*(t(tt)-t5))));
    rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama10)^2)+(sin(fi0)*ro5-Vro1*(t(tt)-t5))^2*(cos(gama10)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro5-Vro1*(t(tt)-t5)*(cos(gama10)^2)+z(zz)^2*(sin(gama10)^2)+(z1-Vaz1*(t(tt)-t5))^2*(sin(gama10)^2)-2*z(zz)*(z1-Vaz1*(t(tt)-t5))*(sin(gama10)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-2*ro(jj)*(z1-Vaz1*(t(tt)-t5))*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-2*(sin(fi0)*ro5-Vro1*(t(tt)-t5))*z(zz)*sin(gama10)*cos(gama10)+2*(sin(fi0)*ro5-Vro1*(t(tt)-t5))*(z1-Vaz1*(t(tt)-t5))*sin(gama10)*cos(gama10));
    rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama4)^2)+((sin(fi0)*ro3)^2)*(cos(gama4)^2)+z(zz)^2*(sin(gama4)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*z(zz)*sin(gama4)*cos(gama4)+2*z(zz)*sin(fi0)*ro3*sin(gama4)*cos(gama4)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro3*(cos(gama4)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
end
elseif t6 < t(tt) & t(tt) <= t7
    gama5=atan(((sin(fi0)*ro6-sin(fi0)*ro3+Vkro1*(t(tt)-t6))-(Vro1*(t(tt)-t6)))/((z2+Vkz1*(t(tt)-t6))-(Vaz1*(t(tt)-t6))));
    gama11=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro6-Vro1*(t(tt)-t6))/(z2+Vz1*(t(tt)-t6)));

```

```

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama11)^2)+((sin(fi0)
*ro7)^2)*(cos(gama11)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama11)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*cos(gama11)*sin(g
ama11)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro7*cos(gama11)*sin(gama11)-
2*ro(jj)*sin(fi0)*ro7*sin(fi(kk))*(cos(fi(kk))^2));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama5)^2)+(sin(fi0)*r
o3-Varo1*((t(tt)-t6)^2))*(cos(gama5)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro3-Varo1*(t(tt)-
t6))*(cos(gama5)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama5)^2)+((Vaz1*(t(tt)-t6))^2)*(sin(gama5)^2)-
2*z(zz)*(Vaz1*(t(tt)-t6))*(sin(gama5)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*ro(jj)*Vaz1*(t(tt)-
t6)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*(sin(fi0)*ro3-Varo1*(t(tt)-
t6))*z(zz)*sin(gama5)*cos(gama5)-2*(sin(fi0)*ro3-Varo1*(t(tt)-t6))*Vaz1*(t(tt)-
t6)*sin(gama5)*cos(gama5));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
elseif t7 < t(tt) & t(tt) <= t8
    gama6=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-t7))/(z2+Vz1*(t(tt)-t7)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)+((sin(fi0)*ro7)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro7*sin(fi(kk)));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama6)^2)+(sin(fi0)*r
o8-Vro1*((t(tt)-t7)^2))*(cos(gama6)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-
t7))*(cos(gama6)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama6)^2)+(z1-Vz1*((t(tt)-t7)^2))*(sin(gama6)^2)-2*z(zz)*(z1-
Vz1*(t(tt)-t7))*(sin(gama6)^2)-2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*ro(jj)*(z1-
Vz1*(t(tt)-t7))*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*(sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-
t7))*z(zz)*sin(gama6)*cos(gama6)-2*(sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-t7))*(z1-Vz1*(t(tt)-
t7))*sin(gama6)*cos(gama6));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
end
end
end
end
end
end
for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);

```

```

for zz=2:7;
  for tt=6:14;
    if (t8 <= t(tt) & t(tt) <= t9)
      gama1=atan(Vro1*t(tt)/(1-(Vz1*t(tt))));
      rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)+((sin(fi0)*ro7)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro7*sin(fi(kk)));
      rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*cos(fi(kk))^2+(ro(jj)^2)*sin(fi(kk))^2*cos(gama1)^2+((sin(fi0)*
      (ro(length(ro))-(Vro2*(t(tt)-t8))))^2*cos(gama1)^2-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro(length(ro))-
      (Vro2*(t(tt)-t8)))*cos(gama1)^2+(z(zz)^2)*sin(gama1)^2+(Vz2*t(tt))^2*cos(gama1)^2-
      2*z(zz)*Vz2*t(tt)*sin(gama1)^2+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-
      2*ro(jj)*(Vz2*t(tt))*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-2*z(zz)*sin(fi0)*(ro(length(ro))-(Vro2*(t(tt)-
      t8)))*sin(gama1)*cos(gama1)+2*sin(fi0)*(ro(length(ro))-(Vro2*(t(tt)-
      t8)))*Vz2*t(tt)*sin(gama1)*cos(gama1));

      if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
      end

      if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt)<= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
      end
    elseif t9 < t(tt) & t(tt) <= t10
      gama2=atan((sin(fi0)*ro1+Varo1*(t(tt)-t1)-Vkro1*(t(tt)-t1))/(1-z1+Vaz1*(t(tt)-t1)-
      Vkz1*(t(tt)-t1)));
      gama7=atan(Vro1*(t(tt)-t1)/(1-Vz1*(t(tt)-t1)));

      rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*cos(fi(kk))^2+(ro(jj)^2)*sin(fi(kk))^2*(sin(gama7)^2)+(z(zz)^2)*
      (sin(gama7)^2)-2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama7)*cos(gama7));
      rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*cos(fi(kk))^2+(ro(jj)^2)*sin(fi(kk))^2*cos(gama2)^2+((ro9*sin(
      fi0))-Varo2*((t(tt)-t9)^2))*cos(gama2)^2-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*((ro9*sin(fi0))-Varo2*(t(tt)-
      t9))*cos(gama2)^2+(z(zz)^2)*sin(gama2)^2+(z1-Vaz2*((t(tt)-t9)^2))*sin(gama2)^2-2*z(zz)*(z1-
      Vaz2*(t(tt)-t9))*sin(gama2)^2+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-2*ro(jj)*(z1-
      Vaz2*(t(tt)-t9))*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-2*((ro9*sin(fi0))-Varo2*(t(tt)-
      t9))*z(zz)*sin(gama2)*cos(gama2)+2*((ro9*sin(fi0))-Varo2*(t(tt)-t9))*(z1-Vaz2*(t(tt)-
      t9))*sin(gama2)*cos(gama2));

      if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
      end

      if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt)<= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
      end
    elseif t10 < t(tt) & t(tt) <= t11
      gama3=atan((sin(fi0)*ro3-sin(fi0)*ro2-(Vro1*(t(tt)-t2)))/(z2+(Vz1*(t(tt)-t2))));
      gama8=atan((sin(fi0)*ro2+Vkro1*(t(tt)-t2)-Varo1*(t(tt)-t2))/(z2+Vz1*(t(tt)-t2)-
      Vaz1*(t(tt)-t2)));

```

```

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama8)^2)+((sin(fi0)*
(ro8-(Varo2*(t(tt)-t10))))^2)*(cos(gama8)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro8-(Varo2*(t(tt)-
t10)))*(cos(gama8)^2)+(sin(gama8)^2)*(z(zz)^2)+(sin(gama8)^2)*((Vaz2*(t(tt)-t10))^2)-
2*z(zz)*Vaz2*(t(tt)-t10)*(sin(gama8)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*ro(jj)*Vaz2*(t(tt)-
t10)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*z(zz)*sin(fi0)*(ro8-(Varo2*(t(tt)-
t10)))*sin(gama8)*cos(gama8)-2*sin(fi0)*(ro8-(Varo2*(t(tt)-t10)))*Vaz2*(t(tt)-
t10)*sin(gama8)*cos(gama8));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama3)^2)+((sin(fi0)*
ro11)^2)*(cos(gama3)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama3)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama3)*cos(gama
3)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro11*sin(gama3)*cos(gama3)-
2*ro(jj)*sin(fi0)*ro11*sin(fi(kk))*(cos(gama3)^2));

```

```

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
  epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
  mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
  sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

```

```

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
  epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
  mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
  sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

```

```

elseif t11 < t(tt) & t(tt) <= t12
  gama12=atan((sin(fi0)*ro11-sin(fi0)*ro12-(Vro2*(t(tt)-t11)))/(1-z1+Vz2*(t(tt)-t11)));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama12)^2)+(sin(fi0)*
ro12-Vro2*((t(tt)-t11)^2))*(cos(gama12)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro12-Vro2*(t(tt)-
t11))*(cos(gama12)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama12)^2)+(z1-Vz2*((t(tt)-t11)^2))*(sin(gama12)^2)-
2*z(zz)*z1-Vz2*(t(tt)-t11)*(sin(gama12)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)+2*ro(jj)*(z1-Vz2*(t(tt)-
t11))*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro12-Vro2*(t(tt)-
t11))*z(zz)*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro12-Vro2*(t(tt)-t11))*(z1-Vz2*(t(tt)-
t11))*sin(gama12)*cos(gama12));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro11*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro11)^2));

```

```

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
  epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
  mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
  sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

```

```

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
  epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
  mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
  sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

```

```

elseif t12 < t(tt) & t(tt) <= t13
  gama9=atan((sin(fi0)*ro11+Vro2*(t(tt)-t12))/(1-Vz2*(t(tt)-t12)));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama9)^2)+(sin(fi0)*r
o11-Vro2*((t(tt)-t12)^2))*(cos(gama9)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro11-Vro2*(t(tt)-
t12))*(cos(gama9)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama9)^2)+((Vz2*(t(tt)-t12))^2)*(sin(gama9)^2)-
2*z(zz)*Vz2*(t(tt)-t12)*(sin(gama9)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-
2*ro(jj)*Vz2*(t(tt)-t12)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-2*(sin(fi0)*ro11-Vro2*(t(tt)-

```

```

t12))*z(zz)*sin(gama9)*cos(gama9)+2*(sin(fi0)*ro11-Vro2*(t(tt)-t12))*Vz2*(t(tt)-
t12)*sin(gama9)*cos(gama9));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro11*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro11)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

elseif t13 < t(tt) & t(tt) <= t14
    gama4=atan((sin(fi0)*ro3+Vro1*(t(tt)-t5))/(1-Vz1*(t(tt)-t4)));
    gama10=atan(((sin(fi0)*ro5-ro3+sin(fi0)*Varo1*(t(tt)-t5))-(V kro1*(t(tt)-t5)))/((1-
z1+Vaz1*(t(tt)-t5))-(V kz1*(t(tt)-t5))));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama10)^2)+(sin(fi0)
*ro13-Varo2*((t(tt)-t13)^2))*(cos(gama10)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro13-Varo2*(t(tt)-
t13))*(cos(gama10)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama10)^2)+(z1-Vaz2*((t(tt)-t13)^2))*(sin(gama10)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vaz2*(t(tt)-t13))*(sin(gama10)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-
2*ro(jj)*(z1-Vaz2*(t(tt)-t13))*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-2*(sin(fi0)*ro13-Varo2*(t(tt)-
t13))*z(zz)*sin(gama10)*cos(gama10)+2*(sin(fi0)*ro13-Varo2*(t(tt)-t13))*(z1-Vaz2*(t(tt)-
t13))*sin(gama10)*cos(gama10));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama4)^2)+((sin(fi0)*
ro11)^2)*(cos(gama4)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama4)^2)-
2*ro(jj)*sin(fi(kk))*z(zz)*sin(gama4)*cos(gama4)+2*z(zz)*sin(fi0)*ro11*sin(gama4)*cos(gama4)-
2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro11*(cos(gama4)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

elseif t14 < t(tt) & t(tt) <= t15
    gama5=atan((sin(fi0)*ro6-sin(fi0)*ro3+V kro1*(t(tt)-t6))-(Varo1*(t(tt)-
t6)))/((z2+V kz1*(t(tt)-t6))-(V az1*(t(tt)-t6))));
    gama11=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro6-Vro1*(t(tt)-t6))/(z2+Vz1*(t(tt)-t6)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama11)^2)+((sin(fi0)
*ro15)^2)*(cos(gama11)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama11)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*cos(gama11)*sin(
gama11)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro15*cos(gama11)*sin(gama11)-
2*ro(jj)*sin(fi0)*ro15*sin(fi(kk))*(cos(fi(kk))^2));

rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama5)^2)+(sin(fi0)*r
o11-Varo2*(t(tt)-t14)^2)*(cos(gama5)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro11-Varo2*(t(tt)-
t14))*(cos(gama5)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama5)^2)+((Vaz2*(t(tt)-t14))^2)*(sin(gama5)^2)-

```

```

2*z(zz)*(Vaz2*(t(tt)-t14))*(sin(gama5)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*ro(jj)*Vaz2*(t(tt)-
t14)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*(sin(fi0)*ro11-Varo2*(t(tt)-
t14))*z(zz)*sin(gama5)*cos(gama5)-2*(sin(fi0)*ro11-Varo2*(t(tt)-t14))*Vaz2*(t(tt)-
t14)*sin(gama5)*cos(gama5));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
elseif t15 < t(tt) & t(tt) <= t16
    gama6=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-t7))/(z2+Vz1*(t(tt)-t7)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)+((sin(fi0)*ro15)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro15*sin(fi(kk)));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama6)^2)+(sin(fi0)*ro
o16-Vro2*((t(tt)-t15)^2))*(cos(gama6)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro16-Varo2*(t(tt)-
t15))*(cos(gama6)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama6)^2)+(z1-Vz2*((t(tt)-t15)^2))*(sin(gama6)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vz2*(t(tt)-t15))*(sin(gama6)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*ro(jj)*(z1-Vz2*(t(tt)-
t15))*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*(sin(fi0)*ro16-Vro2*(t(tt)-
t15))*z(zz)*sin(gama6)*cos(gama6)-2*(sin(fi0)*ro16-Vro2*(t(tt)-t15))*(z1-Vz2*(t(tt)-
t15))*sin(gama6)*cos(gama6));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
end
end
end
end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:7;
            for tt=12:length(t);
                if (t16 <= t(tt) & t(tt) <= t17)
                    gama1=atan(Vro1*t(tt)/(1-(Vz1*t(tt))));
                    rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)+((sin(fi0)*ro7)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro15*sin(fi(kk)));

```

```

rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama1)^2)+((sin(fi0)*
(ro(length(ro))-(Vro3*t(tt)-t16)))^2)*(cos(gama1)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro(length(ro))-
(Vro3*t(tt)-t16))*(cos(gama1)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama1)^2)+((Vz3*t(tt))^2)*(sin(gama1)^2)-
2*z(zz)*(Vz3*t(tt))*(sin(gama1)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-
2*ro(jj)*(Vz3*t(tt))*sin(fi(kk))*sin(gama1)*cos(gama1)-2*z(zz)*sin(fi0)*(ro(length(ro))-(Vro3*t(tt)-
t16))*sin(gama1)*cos(gama1)+2*sin(fi0)*(ro(length(ro))-(Vro3*t(tt)-
t16))*(Vz3*t(tt))*sin(gama1)*cos(gama1));

```

```

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;

```

```
end
```

```

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt)<= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;

```

```
end
```

```
elseif t17 < t(tt) & t(tt) <= t18
```

```

    gama2=atan((sin(fi0)*ro1+Varo1*(t(tt)-t1)-Vvro1*(t(tt)-t1))/(1-z1+Vaz1*(t(tt)-t1)-
Vvz1*(t(tt)-t1)));
    gama7=atan(Vro1*(t(tt)-t1)/(1-Vz1*(t(tt)-t1)));

```

```

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(sin(gama7)^2)+(z(zz)^2)*
(sin(gama7)^2)-2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama7)*cos(gama7));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama2)^2)+((ro17*sin
(fi0))-Varo3*((t(tt)-t17)^2))*(cos(gama2)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*((ro17*sin(fi0))-Varo3*(t(tt)-
t17))*(cos(gama2)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama2)^2)+(z1-Vaz3*((t(tt)-t17)^2))*(sin(gama2)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vaz3*(t(tt)-t17))*(sin(gama2)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-
2*ro(jj)*(z1-Vaz3*(t(tt)-t17))*sin(fi(kk))*sin(gama2)*cos(gama2)-2*((ro17*sin(fi0))-Varo3*(t(tt)-
t17))*z(zz)*sin(gama2)*cos(gama2)+2*((ro17*sin(fi0))-Varo3*(t(tt)-t17))*(z1-Vaz3*(t(tt)-
t17))*sin(gama2)*cos(gama2));

```

```

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;

```

```
end
```

```

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt)<= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;

```

```
end
```

```
elseif t18 < t(tt) & t(tt) <= t19
```

```

    gama3=atan((sin(fi0)*ro3-sin(fi0)*ro2-(Vro1*(t(tt)-t2)))/(z2+(Vz1*(t(tt)-t2))));
    gama8=atan((sin(fi0)*ro2+Vvro1*(t(tt)-t2)-Varo1*(t(tt)-t2))/(z2+Vvz1*(t(tt)-t2)-
Vaz1*(t(tt)-t2)));

```

```

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama8)^2)+((sin(fi0)*
(ro16-(Varo3*(t(tt)-t18))))^2)*(cos(gama8)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*(ro16-(Varo2*(t(tt)-
t18)))*(cos(gama8)^2)+(sin(gama8)^2)*(z(zz)^2)+(sin(gama8)^2)*((Vaz3*(t(tt)-t18))^2)-
2*z(zz)*Vaz3*(t(tt)-t18)*(sin(gama8)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*ro(jj)*Vaz3*(t(tt)-

```

```

t18)*sin(fi(kk))*sin(gama8)*cos(gama8)+2*z(zz)*sin(fi0)*(ro16-(Varo3*(t(tt)-
t18)))*sin(gama8)*cos(gama8)-2*sin(fi0)*(ro16-(Varo3*(t(tt)-t18)))*Vaz3*(t(tt)-
t18)*sin(gama8)*cos(gama8));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama3)^2)+((sin(fi0)*
ro19)^2)*(cos(gama3)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama3)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama3)*cos(gama
3)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro19*sin(gama3)*cos(gama3)-
2*ro(jj)*sin(fi0)*ro19*sin(fi(kk))*(cos(gama3)^2));
    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
elseif t19 < t(tt) & t(tt) <= t20
    gama12=atan((sin(fi0)*ro11-sin(fi0)*ro12-(Vro2*(t(tt)-t11)))/(1-z1+Vz2*(t(tt)-t11)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama12)^2)+(sin(fi0)*
*ro20-Vro3*(t(tt)-t19)^2)*(cos(gama12)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro20-Vro3*(t(tt)-
t19))*(cos(gama12)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama12)^2)+(z1-Vz3*(t(tt)-t19)^2)*(sin(gama12)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vz3*(t(tt)-t19))*(sin(gama12)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)+2*ro(jj)*(z1-Vz3*(t(tt)-
t19))*sin(fi(kk))*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro20-Vro3*(t(tt)-
t19))*z(zz)*sin(gama12)*cos(gama12)-2*(sin(fi0)*ro20-Vro3*(t(tt)-t19))*(z1-Vz3*(t(tt)-
t19))*sin(gama12)*cos(gama12));
    rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro19*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro19)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
elseif t20 < t(tt) & t(tt) <= t21
    gama9=atan((sin(fi0)*ro11+Vro2*(t(tt)-t12))/(1-Vz2*(t(tt)-t12)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama9)^2)+(sin(fi0)*r
o19-Vro3*(t(tt)-t20)^2)*(cos(gama9)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro19-Vro3*(t(tt)-
t20))*(cos(gama9)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama9)^2)+((Vz3*(t(tt)-t20))^2)*(sin(gama9)^2)-
2*z(zz)*Vz3*(t(tt)-t20)*(sin(gama9)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-
2*ro(jj)*Vz3*(t(tt)-t20)*sin(fi(kk))*sin(gama9)*cos(gama9)-2*(sin(fi0)*ro19-Vro3*(t(tt)-
t20))*z(zz)*sin(gama9)*cos(gama9)+2*(sin(fi0)*ro19-Vro3*(t(tt)-t20))*Vz3*(t(tt)-
t20)*sin(gama9)*cos(gama9));
    rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro19*sin(fi(kk))+((sin(fi0)*ro19)^2));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)

```

```

    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

elseif t21 < t(tt) & t(tt) <= t22
    gama4=atan((sin(fi0)*ro3+Vro1*(t(tt)-t5))/(1-Vz1*(t(tt)-t4)));
    gama10=atan(((sin(fi0)*ro5-ro3+sin(fi0)*Varo1*(t(tt)-t5))-(V kro1*(t(tt)-t5)))/((1-
z1+Vaz1*(t(tt)-t5))-(V kz1*(t(tt)-t5))));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama10)^2)+(sin(fi0)
*ro21-Varo3*((t(tt)-t21)^2))*(cos(gama10)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro21-Varo3*(t(tt)-
t21))*(cos(gama10)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama10)^2)+(z1-Vaz3*((t(tt)-t21)^2))*(sin(gama10)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vaz3*(t(tt)-t21))*(sin(gama10)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-
2*ro(jj)*(z1-Vaz3*(t(tt)-t21))*sin(fi(kk))*sin(gama10)*cos(gama10)-2*(sin(fi0)*ro21-Varo3*(t(tt)-
t21))*z(zz)*sin(gama10)*cos(gama10)+2*(sin(fi0)*ro21-Varo3*(t(tt)-t21))*(z1-Vaz3*(t(tt)-
t21))*sin(gama10)*cos(gama10));

rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama4)^2)+((sin(fi0)*
ro19)^2)*(cos(gama4)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama4)^2)-
2*ro(jj)*sin(fi(kk))*z(zz)*sin(gama4)*cos(gama4)+2*z(zz)*sin(fi0)*ro19*sin(gama4)*cos(gama4)-
2*ro(jj)*sin(fi(kk))*sin(fi0)*ro19*(cos(gama4)^2));

if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
    epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
    mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
    sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
end

elseif t22 < t(tt) & t(tt) <= t23
    gama5=atan(((sin(fi0)*ro6-sin(fi0)*ro3+V kro1*(t(tt)-t6))-(Varo1*(t(tt)-
t6)))/((z2+V kz1*(t(tt)-t6))-(V az1*(t(tt)-t6))));
    gama11=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro6-Vro1*(t(tt)-t6))/(z2+Vz1*(t(tt)-t6)));

rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama11)^2)+((sin(fi0)
*ro23)^2)*(cos(gama11)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama11)^2)+2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*cos(gama11)*sin(
gama11)-2*z(zz)*sin(fi0)*ro23*cos(gama11)*sin(gama11)-
2*ro(jj)*sin(fi0)*ro23*sin(fi(kk))*(cos(fi(kk))^2));

rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama5)^2)+(sin(fi0)*r
o19-Varo3*((t(tt)-t22)^2))*(cos(gama5)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro19-Varo3*(t(tt)-
t22))*(cos(gama5)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama5)^2)+((V az3*(t(tt)-t22))^2)*(sin(gama5)^2)-
2*z(zz)*(V az3*(t(tt)-t22))*(sin(gama5)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*ro(jj)*V az3*(t(tt)-
t22)*sin(fi(kk))*sin(gama5)*cos(gama5)+2*(sin(fi0)*ro19-Varo3*(t(tt)-

```

```

t22))*z(zz)*sin(gama5)*cos(gama5)-2*(sin(fi0)*ro19-Vro3*(t(tt)-t22))*Vaz3*(t(tt)-
t22)*sin(gama5)*cos(gama5));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
    elseif t23 < t(tt) & t(tt) <= t24
        gama6=atan((sin(fi0)*ro7-sin(fi0)*ro8-Vro1*(t(tt)-t7))/(z2+Vz1*(t(tt)-t7)));
rocc1(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)+((sin(fi0)*ro23)^2)-2*ro(jj)*sin(fi0)*ro23*sin(fi(kk)));
rocc2(jj,kk,zz,tt)=sqrt((ro(jj)^2)*(cos(fi(kk))^2)+(ro(jj)^2)*(sin(fi(kk))^2)*(cos(gama6)^2)+(sin(fi0)*r
o24-Vro3*((t(tt)-t23)^2))*(cos(gama6)^2)-2*ro(jj)*sin(fi(kk))*(sin(fi0)*ro24-Vro3*(t(tt)-
t23))*(cos(gama6)^2)+(z(zz)^2)*(sin(gama6)^2)+(z1-Vz3*((t(tt)-t23)^2))*(sin(gama6)^2)-
2*z(zz)*(z1-Vz3*(t(tt)-t23))*(sin(gama6)^2)-
2*ro(jj)*z(zz)*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*ro(jj)*(z1-Vz3*(t(tt)-
t23))*sin(fi(kk))*sin(gama6)*cos(gama6)+2*(sin(fi0)*ro24-Vro3*(t(tt)-
t23))*z(zz)*sin(gama6)*cos(gama6)-2*(sin(fi0)*ro24-Vro3*(t(tt)-t23))*(z1-Vz3*(t(tt)-
t23))*sin(gama6)*cos(gama6));

    if (0 < rocc1(jj,kk,zz,tt) & rocc1(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end

    if (0 < rocc2(jj,kk,zz,tt) & rocc2(jj,kk,zz,tt) <= a)
        epsilon(jj,kk,zz,tt)=29.4446*epsilon0;
        mu(jj,kk,zz,tt)=mu0;
        sigma(jj,kk,zz,tt)=0.4161;
    end
end
end
end
end
end
end

for jj=2:length(ro);
    for kk=2:length(fi);
        for zz=2:length(z);
            for tt=2:length(t);

                EroS (jj,1,zz,tt)=0;
                EzetS(jj,1,zz,tt)=0;
                HroS (jj,1,zz,tt)=0;
                HzetS(jj,1,zz,tt)=0;
                Q(jj,1,zz,tt)=1;
                HroI (jj,kk,zz,1)=0;
                Hfil (jj,kk,zz,1)=0;
            end
        end
    end
end

```

```

HzetI(jj,kk,zz,1)=0;
EroS(jj,kk,1,tt)=0;
EfiS(jj,kk,1,tt)=0;
HroS(jj,kk,1,tt)=0;
HfiS(jj,kk,1,tt)=0;
Q(jj,kk,1,tt)=1;
epsilon(jj,kk,1,tt)=epsilon0;

```

```

EroS (jj,kk,zz,1)=0;
EfiS (jj,kk,zz,1)=0;
EzetS(jj,kk,zz,1)=0;
HroS (jj,kk,zz,1)=0;
HfiS (jj,kk,zz,1)=0;
HzetS(jj,kk,zz,1)=0;

```

```

epsilon(jj,kk,zz,1)=epsilon0;
Q(jj,kk,zz,1)=1;
mu(jj,kk,zz,1)=mu0;

```

if (sigma(jj,kk,zz,tt) == 0)

```

G=[(epsilon(jj,kk,zz,tt)/deltat)+sigma(jj,kk,zz,tt) 0 0 0 1/deltazet -1/(ro(jj)*deltafi); 0
(epsilon(jj,kk,zz,tt)/deltat)+sigma(jj,kk,zz,tt) 0 -1/deltazet 0 1/deltaro ; 0 0
(epsilon(jj,kk,zz,tt)/deltat)+sigma(jj,kk,zz,tt) 1/(ro(jj)*deltafi) -((1/ro(jj))+(1/deltaro)) 0 ; 0 -1/deltazet
1/(ro(jj)*deltafi) mu(jj,kk,zz,tt)/deltat 0 0 ; 1/deltazet 0 -1/deltaro 0 mu(jj,kk,zz,tt)/deltat 0 ; -
1/(ro(jj)*deltafi) ((1/ro(jj))-(1/deltaro)) 0 0 0 mu(jj,kk,zz,tt)/deltat];
B=inv(G);

```

```

C=[((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*EroS (jj,kk,zz,tt-1)-sigma(jj,kk,zz,tt)*Q(jj,kk,zz,tt)*EroI
(jj,kk,zz,tt)-((epsilon(jj,kk,zz,tt)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*EroI (jj,kk,zz,tt)+((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*EroI (jj,kk,zz,tt-1)-(1/(ro(jj)*deltafi))*HzetS(jj,kk-1,zz,tt)+HfiS(jj,kk,zz-1,tt)/deltazet);((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*EfiS (jj,kk,zz,tt-1)-sigma(jj,kk,zz,tt)*Q(jj,kk,zz,tt)*EfiI (jj,kk,zz,tt)-((epsilon(jj,kk,zz,tt)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*EfiI (jj,kk,zz,tt)+((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*EfiI (jj,kk,zz,tt-1)-(1/deltazet)*HroS(jj,kk,zz-1,tt)+HzetS(jj-1,kk,zz,tt)/deltaro);((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*EzetS(jj,kk,zz,tt-1)-sigma(jj,kk,zz,tt)*Q(jj,kk,zz,tt)*EzetI(jj,kk,zz,tt)-((epsilon(jj,kk,zz,tt)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*EzetI(jj,kk,zz,tt)+((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)-epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*EzetI(jj,kk,zz,tt-1)+(1/(ro(jj)*deltafi))*HroS(jj,kk-1,zz,tt)-HfiS(jj-1,kk,zz,tt)/deltaro);((mu(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*HroS (jj,kk,zz,tt-1)-((mu(jj,kk,zz,tt)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*HroI (jj,kk,zz,tt)+((mu(jj,kk,zz,tt-1)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*HroI (jj,kk,zz,tt-1)+(1/(ro(jj)*deltafi))*EzetS(jj,kk-1,zz,tt)-(1/deltazet)*EfiS(jj,kk,zz-1,tt));((mu(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*HfiS (jj,kk,zz,tt-1)-((mu(jj,kk,zz,tt)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*HfiI (jj,kk,zz,tt)+((mu(jj,kk,zz,tt-1)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*HfiI (jj,kk,zz,tt-1)+(1/deltazet)*EroS(jj,kk,zz-1,tt)-(1/deltaro)*EzetS(jj-1,kk,zz,tt));((mu(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*HzetS(jj,kk,zz,tt-1)-((mu(jj,kk,zz,tt)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt)*HzetI(jj,kk,zz,tt)+((mu(jj,kk,zz,tt-1)-mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*HzetI(jj,kk,zz,tt-1)-(1/(ro(jj)*deltafi))*EroS(jj,kk-1,zz,tt)-(1/deltaro)*EfiS(jj-1,kk,zz,tt))];

```

```

EroS (jj,kk,zz,tt)=B(1,:)*C;
EfiS (jj,kk,zz,tt)=B(2,:)*C;
EzetS(jj,kk,zz,tt)=B(3,:)*C;

```

```

HroS (jj,kk,zz,tt)=B(4,:)*C;
HfiS (jj,kk,zz,tt)=B(5,:)*C;
HzetS(jj,kk,zz,tt)=B(6,:)*C;

```

```

elseif (sigma(jj,kk-1,zz,tt)==0)

    EfiS (jj,kk,zz,tt)=EfiS (jj-1,kk,zz,tt)+ EfiS (jj-1,kk,zz,tt);
    EzetS(jj,kk,zz,tt)=EzetS(jj-1,kk,zz,tt)+ EzetS(jj-1,kk,zz,tt);
    EroS (jj,kk,zz,tt)=EroI (jj,kk-1,zz,tt)+ EroS (jj,kk-1,zz,tt);

    HfiS (jj,kk,zz,tt)=HfiS (jj-1,kk,zz,tt)+ HfiS (jj-1,kk,zz,tt);
    HzetS(jj,kk,zz,tt)=HzetS(jj-1,kk,zz,tt)+ HzetS(jj-1,kk,zz,tt);
    HroS (jj,kk,zz,tt)=HroS (jj,kk-1,zz,tt)+ HroS (jj,kk-1,zz,tt);

else

    EfiS (jj,kk,zz,tt)=EfiS (jj-1,kk,zz,tt)+ EfiS (jj-1,kk,zz,tt);
    EzetS(jj,kk,zz,tt)=EzetS(jj-1,kk,zz,tt)+ EzetS(jj-1,kk,zz,tt);
    HfiS (jj,kk,zz,tt)=HfiS (jj-1,kk,zz,tt)+ HfiS (jj-1,kk,zz,tt);
    HzetS(jj,kk,zz,tt)=HzetS(jj-1,kk,zz,tt)+ HzetS(jj-1,kk,zz,tt);

    EroS (jj,kk,zz,tt)====(((HzetS(jj,kk,zz,tt)/(ro(jj)*deltafi))-
(HfiS(jj,kk,zz,tt)/deltazet)+((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*EroS(jj,kk,zz,tt-1))+((epsilon(jj,kk,zz,tt-1)-
epsilon0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*EroI(jj,kk,zz,tt-1)-(HzetS(jj,kk-
1,zz,tt)/(ro(jj)*deltafi)+(HfiS(jj,kk,zz-1,tt)/deltazet)))/((epsilon(jj,kk,zz,tt)/deltat)+sigma(jj,kk,zz,tt)));
    HroS (jj,kk,zz,tt)====(((EzetS(jj,kk,zz,tt)/(ro(jj)*deltafi))-
(EfiS(jj,kk,zz,tt)/deltazet)+((mu(jj,kk,zz,tt-1)/deltat)*HroS(jj,kk,zz,tt-1))+((mu(jj,kk,zz,tt-1)-
mu0)/deltat)*Q(jj,kk,zz,tt-1)*HroI(jj,kk,zz,tt-1))-(EfiS(jj,kk,zz,tt)*deltazet))/(mu(jj,kk,zz,tt)/deltat));
    end
    end
    end
    end
    end

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 25.08.1979

Doğum yeri Kırklareli

Lise 1990-1997 Lüleburgaz Anadolu Lisesi

Lisans 1998-2002 Yıldız Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak.
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik ve Haberleşme Müh. Anabilim Dalı,
Haberleşme Programı

Çalıştığı kurum

2002- YTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektronik ve
Haberleşme Mühendisliği Bölümü Elektromagnetik
Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim Dalı
Araştırma Görevlisi