



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

sonsuz uzun mükemmel iletken dü..

Yüksek Lisans Tezi

senem makal

138

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ
YÜZEYLER ÜZERİNDEKİ SİLİNDİRİK HEDEFLERİN
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK
TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI**

211

Elektronik ve Hab. Müh. Senem MAKAL

FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Ahmet Kızılay

İSTANBUL, 2007

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R-373-138 U S
Kayıt No : 3580 Y
Geldiği Yer : Fen Bilimleri
Enstitüsü
Tarih : 08.12.2007
Fiyat : 4200
Fatura No :
Ayniyat No : 23
Ek :

X-81

**SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ
YÜZEYLER ÜZERİNDEKİ SİLİNDİRİK HEDEFLERİN
YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK
TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI**

Elektronik ve Hab. Müh. Senem MAKAL

FBE Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Ahmet Kızılay

Yrd.Doç.Dr.AHMET KIZILAY

A. Kızılay

Prof. Dr. Tülay YILDIRIM

MEHMET UZUNOĞLU
Yrd. Doç. Dr.
Y.T.Ü. Eik. Müh. Bl.

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN SİLİNDİR BİR HEDEFTEN SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN HESAPLANMASI	3
2.1 Moment Metodu (MoM)	7
2.1.1 Temel Fonksiyonlar ve Test Fonksiyonları.....	9
2.2 Moment Metodunun Saçılma Problemine Uygulanması	10
2.3 Nümerik Sonuçlar.....	13
3. MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN HEDEFLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI.....	15
3.1 Yapay Sinir Ağları.....	15
3.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	15
3.1.1.1 Doğrusal Olmama.....	15
3.1.1.2 Öğrenme	16
3.1.1.3 Genelleme.....	16
3.1.1.4 Uyarlanabilirlik	16
3.1.1.5 Hata Toleransı	16
3.1.1.6 Donanım ve Hız.....	17
3.1.1.7 Analiz ve Tasarım Kolaylığı	17
3.2 Çalışmada Kullanılan Yapay Sinir Ağları.....	17
3.2.1 Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP).....	17
3.2.2 Radyal Temelli Fonksiyon Ağları (RBF).....	18
3.2.3 Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN)	20
3.2.4 Olasılıksal Sinir Ağları (PNN)	20
3.3 Veri Kümesinin Oluşturulması.....	21
3.4 Mükemmel İletken Düz Yüzey Üzerinde Bulunan Hedeflerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tanımlanması	22
3.4.1 RBF Ağı Sonuçları	23

3.4.2	MLP Ağı Sonuçları	24
3.4.3	GRNN Ağı Sonuçları	25
3.5	Ağ Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	26
3.6	Mükemmel İletken Düz Yüzey Üzerinde Bulunan Hedeflerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Sınıflandırılması	26
3.6.1	MLP Ağı Sonuçları	28
3.6.2	İstatistiksel Sinir Ağı Sonuçları.....	29
4.	SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN İKİ SİLİNDİR HEDEFTEN SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN HESAPLANMASI	31
4.1	Moment Metodunun İki Cisimden Saçılma Problemine Uygulanması.....	33
4.2	Nümerik Sonuçlar.....	35
5.	MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN ÇOKLU HEDEFLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TANIMLANMASI.....	38
5.1	Zaman Domeni İfadeleri Kullanılarak Hedeflerin Tanımlanması	38
5.2	Frekans Domeni İfadeleri Kullanılarak Hedeflerin Tanımlanması	41
6.	SONUÇLAR	43
	KAYNAKLAR.....	45
	EKLER	47
Ek 1	İki Silindirik Hedeften Saçılan Elektrik Alan İçin Simulasyon Programı (Visual Fortran).....	48
Ek 2	Kullanılan Yapay Sinir Ağları İçin Simulasyon Programı.....	69
Ek 3	Artan ve Azalan Noktaların Bulunması	71
Ek 4	Hedef Tanıma ve Sınıflamada Kullanılmak Üzere Saçılan Elektrik Alanın Frekans Domeni İfadelerinden Yararlanarak Oluşturulan Veri Seti Örneği.....	73
Ek 5	Hedef Tanımadaki Kullanılmak Üzere Saçılan Elektrik Alanın Zaman Domeni İfadelerinden Yararlanarak Oluşturulan Veri Seti Örneği	77
	ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGE LİSTESİ

r_t	Silindirik hedefin yarıçapı
h_t	Hedefin yerden olan yüksekliği
ϕ_i	Gelen dalganın yatayla yaptığı açı
k_i	Dalga sayısı
k_0	Serbest uzayın dalga sayısı
ω	Açısal frekans
r	Konum vektörü
$\Phi(\vec{r})$	Skaler potansiyel fonksiyonu
K	Yüzey akımı
$\vec{A}_z(\vec{r})$	Vektör potansiyeli
$G(\vec{r}, \vec{r}')$	Green fonksiyonu
H_0	Hankel fonksiyonu
η_0	Serbest uzayın karakteristik empedansı
T_i	Görüntü akımı için integral yolu
E^i	Gelen elektrik alan
E^s	Saçılan elektrik alan
L	Doğrusal bir operatör
u	Çözümü istenen fonksiyon
f	Kaynak fonksiyonu
w_m	Test fonksiyonu
T	Segment sayısı
Δ_T	Segment uzunluğu
ϕ_s	Saçılma açısı
x	YSA'da hücrenin giriş vektörü
y	YSA'da hücrenin çıkışı
w_{ij}	Ağırlık matrisi
N_T	Hedef yüzeydeki nokta sayısı

KISALTMA LİSTESİ

PEC	Perfectly Electrical Conducting
YSA	Yapay Sinir Ağı
TM	Transverse Magnetic
EFIE	Electric Field Integral Equation
MoM	Moment Metodu
VLSI	Very Large Scale Integration
MLP	Multilayer Perceptron
RBF	Radial Basis Function
GRNN	General Regression Neural Network
PNN	Probabilistic Neural Network
PDF	Probability Density Function

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Deniz çevresinde hedef tanıma problemi 1
Şekil 2.1	Sonsuz düz yüzey üzerindeki silindir 3
Şekil 2.2	Sonsuz düz yüzey üzerindeki silindir için görüntü metodu çözümü 5
Şekil 2.3	Darbe kaynak fonksiyonları ve oluşturdukları yaklaşık çözüm 10
Şekil 2.4	Parçalı doğrusal kaynak fonksiyonları ve oluşturdukları yaklaşık çözüm 10
Şekil 2.5	Hedef ve görüntüsünün bölümlere ayrılması 11
Şekil 2.6	$r_f=0.04$, $h/r_f=5$ ve $\phi_s=20^\circ$ olan silindirden saçılan elektrik alanının frekans domeni ifadesi 13
Şekil 2.7	$r_f=0.04$, $h/r_f=5$ ve $\phi_s=20^\circ$ olan silindirden saçılan elektrik alanının zaman domeni ifadesi 14
Şekil 3.1	MLP Ağ Yapısı 18
Şekil 3.2	RBF Ağ Yapısı 19
Şekil 3.3	GRNN Ağ Yapısı 20
Şekil 3.4	PNN Ağ Yapısı 21
Şekil 3.5	Görüntü Metodu ve EFIE-MoM çözümünün giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram 22
Şekil 3.6	MLP ve RBF Ağlarının giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram 23
Şekil 3.7	Elektromagnetik sınıflayıcının genel blok diagramı 27
Şekil 3.8	Elektromagnetik hedef sınıflama 28
Şekil 4.1	Sonsuz düz yüzey üzerindeki iki silindirik hedef 31
Şekil 4.2	Sonsuz düz yüzey üzerindeki iki silindir için görüntü metodu çözümü 32
Şekil 4.3	Yarıçapları $r_{1l}=0.0127$ m, $r_{12}=0.0127$ m; yükseklikleri $h_{1l}=0.1016$ m, $h_{12}=0.1016$ m ve aralarındaki mesafe $x_{12}=0.635$ m olan silindirik hedeflerden saçılan toplam elektrik alanının frekans domenindeki cevabı 36
Şekil 4.4	Yarıçapları $r_{1l}=0.0127$ m, $r_{12}=0.0127$ m; yükseklikleri $h_{1l}=0.1016$ m, $h_{12}=0.1016$ m ve aralarındaki mesafe $x_{12}=0.635$ m olan silindirik hedeflerden saçılan toplam elektrik alanının zaman domenindeki cevabı 37
Şekil 5.1	Saçılan elektrik alanının genliğindeki artan ve azalan noktalar 39
Şekil 5.2	GRNN ağının uygulamadaki giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram 39
Şekil 5.3	GRNN ağının uygulamadaki giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram 41

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Hedef Bilgileri	23
Çizelge 3.2	RBF Ağının Test Başarısı.....	24
Çizelge 3.3	MLP Ağının Test Başarısı	25
Çizelge 3.4	GRNN Ağının Test Başarısı	26
Çizelge 3.5	Üç hedefe ait veriler	27
Çizelge 3.6	MLP ağının test başarıları.....	29
Çizelge 3.7	Ağ yapılarının test başarıları.....	29
Çizelge 5.1	Hedeflere ait yarıçaplar ve aralarındaki mesafeler	37
Çizelge 5.2	Kullanılan bazı giriş değerleri	40
Çizelge 5.3	Ağ çıkışında gözlenen değerler	40
Çizelge 5.4	Eğitme ve test setlerini oluşturmak için kullanılan gruplara ait bilgiler.....	41
Çizelge 5.5	Kullanılan bazı giriş değerleri	42
Çizelge 5.6	Ağ çıkışında gözlenen değerler	42

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana her konuda yardımcı olan başta tez danışmanım Sayın Yrd.Doç.Dr Ahmet KIZILAY'a, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen aileme, yetişmemde emeği geçen tüm hocalarıma, tezin hazırlanması sırasında desteklerini benden esirgemeyen araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve yüksek lisans eğitimim süresince yurt içi yüksek lisans burs programından yararlanmamı sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Radar hedefi tarafından saçılan elektromagnetik dalgalar, o hedefin karakteristik bilgisini içermektedir ve saçılan dalgadan hedefin tanınması oldukça zor bir problemdir. Yapay sinir ağları (YSA), öğrenme ve genelleme yeteneklerinden dolayı, birçok mühendislik uygulamalarında kullanıldığı gibi bu tür problemlerde de kullanılmaktadır ve bu çalışmada hedef tanıma ile ilgili birçok yapay sinir ağı çalışması bulunmaktadır.

Tezin birinci bölümünde konuya giriş yapılmıştır. İkinci bölümünde ise, mükemmel iletken düz yüzey üzerine yerleştirilen silindirik hedeften saçılan toplam elektrik alanı hesaplamak için Görüntü metodu ve Moment metodu kullanılmış, böylece elektrik alanı belirli frekans aralıkları ile hesaplayıp toplayarak saçılan toplam elektrik alana ait veri noktaları elde edilmiştir. Yüzey sonsuz uzun olarak kabul edilmiştir. Saçılan toplam elektrik alanının hesaplanmasıyla, yapay sinir ağı için giriş vektörleri oluşturularak, bir veri seti meydana getirilmiştir. Bu veri setinin bir kısmı eğitime için kullanılırken, geri kalan kısmı ise ağın hedef tanıma ve sınıflama performansını ölçmek için test amaçlı kullanılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde, çok katmanlı algılayıcılar (MLP), radyal temelli fonksiyonlu ağlar (RBF), olasılıksal sinir ağları (PNN) ve genelleştirilmiş regresyonlu ağlar (GRNN) kullanılarak hedef tanıma ve sınıflandırma ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Hedef tanıma açısından hedefin yarıçapını ve yerden yüksekliğini bulma, hedef sınıflama açısından sinyalin hangi hedeften saçıldığını bulma problemi ele alınmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde, yüzey üzerinde çoklu cisimler bulunduğu takdirde yapay sinir ağının hedef tanıma performansını ölçmek için, mükemmel iletken sonsuz düz yüzey üzerine iki tane silindirik hedef yerleştirilmiş ve görüntü metodu ile Moment metodu kullanılarak hedeflerden saçılan toplam elektrik alan hesaplanmıştır. Bu uygulama için beşinci bölümde GRNN tasarlanmış ve aynı yükseklikteki test gruplarına uygulanmıştır. Bu bölümdeki amaç, hedeflerin yarıçapını ve birbirlerine olan uzaklıklarını bulmaktır. Son bölümde ise bu çalışmanın hedef tanıma açısından faydaları yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektromagnetik hedef tanıma, elektromagnetik hedef sınıflama, görüntü metodu, moment metodu, saçılan elektrik alan, yapay sinir ağları.

ABSTRACT

Recognition of radar targets from their scattered signals has been an interesting area in electromagnetics. The electromagnetic field scattered by an object contains the characteristic information about the object. Recognition of an object from its scattered field is a complicated task. Because of their ability to learn and generalize, artificial neural networks are attractive for numerous engineering applications and in this research, there are many applications of neural networks for target recognition.

In the first chapter of the thesis, there is an introduction in to the topic. In the second chapter, the Method of Images and the Moment Method are used to calculate the total scattered E-field from a cylindrical target located above a perfectly conducting flat surface and the surface is chosen to be infinitely long. Frequency data points belonging to the sum of the electric fields are obtained by calculating electric fields in particular frequency steps. Thus, a set of features utilized by the artificial neural network is obtained by the calculation of the scattered electric field. The database contains a finite number of scattered field values. A portion of the database is used to train the network and the rest is used to test the performance of the neural network for target identification and classification. In the third chapter, Multilayer Perceptron (MLP), Radial Basis Functions (RBF), Probabilistic Neural Networks (PNN) and Generalized Regression Neural Network (GRNN) are used for target identification and classification. This part aims to find the heights measured from the surface and radiuses of the targets for identification of targets and determine the right target for classification of targets from the scattered field values.

In chapter four, the Method of Images and the Moment Method are used to calculate the total scattered E-field from two cylindrical target located above a perfectly conducting flat surface for measuring the performance of the neural networks about the identification of multiple cylindrical targets. In chapter five, GRNN is designed and applied to the group of test targets which are at the same height from the infinite flat surface. This part aims to find the radiuses of the targets and the distance between the targets located above perfectly conducting flat surface from the scattered field values in both the frequency domain and the time domain. In the last chapter, there is a result part pointing out the uses of this research for target recognition.

Keywords: Electromagnetic target identification, electromagnetic target classification, Method of Images, Moment Method, scattered field, artificial neural networks.

1.GİRİŞ

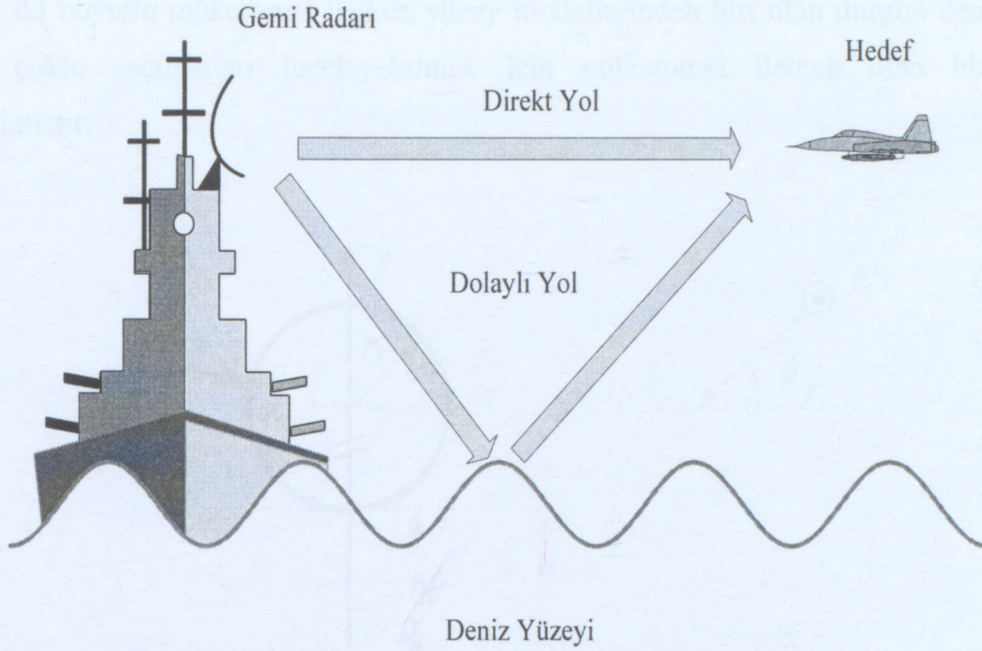
Saçılan sinyallerden radar hedeflerini tanıma elektromagnetiğin önemli konularından biri olmuştur. Cisim tarafından saçılan elektromagnetik dalgalar, o cismin karakteristik bilgisini içermektedir ve saçılan dalgadan cismin tanınması oldukça zor bir problemidir. Bu bakımdan öğrenme ve genelleme yeteneklerinden dolayı yapay sinir ağları, birçok mühendislik uygulamalarında kullanıldığı gibi bu tür problemlerde de kullanılmaktadır (Chen, 1989; Joung vd. 1993; Turhan ve Leblebicioğlu, 1999).

Bu konuyla ilgili özellikle son yıllarda yapılan çalışmalara bakılacak olursa, Wong (2004) frekans domeninde değişik açılarda, farklı uçaklardan elde edilen verilerle bir hedef tanıma uygulaması yapmış ve frekans domeni ifadelerinin bu tür uygulamalar için daha uygun olduğunu göstermiştir. Turhan (2005), küresel dielektrik bir malzemeden saçılan elektromagnetik dalgaın elektrik alan ifadesinden yararlanarak bir veri kümesi oluşturmuş ve Wigner dağılımını ile özellik çıkarımı yaparak bir hedef sınıflayıcı tasarlamıştır. Yuan vd. (2005), sualtı hedeflerinin parmak izinden yararlanarak hedefle ilgili özellikleri elde etmiş ve bunları genetik algoritma yardımıyla sualtı hedeflerini tanımada kullanmıştır. Benzer bir uygulama Zhihe ve Feng (2006) tarafından yapay sinir ağları kullanılarak yapılmıştır. Xiugin vd. (2006), radardan dönen işaretlerden elde ettiği bilgi ile radyal temelli fonksiyon ağlarını kullanarak bir hedef tanıma uygulaması gerçekleştirmiştir. Bizim çalışmamızda ise, hedef tanıma ve sınıflama uygulamalarında kullanılan hedef silindirik hedef olarak seçilmiştir. Bu hedeften saçılan toplam elektrik alan hesaplanmış ve bu ifadeler yapay sinir ağları için giriş vektörlerini oluşturmuştur.

Şekil 1.1’de görüldüğü üzere, küçük açılarda işaretler, radardan hedefe doğrudan ve dolaylı yoldan ulaşmakta ve böyle bir durumda hedeften doğrudan ve dolaylı yoldan geri dönen işaretler toplanmaktadır. Bu durum çoklu yol (multipath) problemini doğurmakta ve bu problem geniş bandlı radar sistemleri kullanılarak çözülebilmektedir. Şekil 1.1’de ele alınan yüzey modeli periyodik bir yapıdır ve yüzeye yakın hedeflerin bulunması için kullanılan basit modellerden biridir (Kizilay, 2000).

Bu çalışmada çoklu yol kavramının ya da çoklu yansımanın ana prensiplerini anlayabilmek için en basit modellerden biri olan sonsuz uzun, düz yüzey üzerindeki silindirik hedeflerden saçılma problemi ele alınmıştır. Deniz yüzeyi ve silindirik hedef hesaplamada kolaylık sağlaması açısından mükemmel iletken (PEC-Perfectly Electrical Conducting) seçilmiştir.

Silindirik hedeften saçılan toplam elektromagnetik dalganın elektrik alan ifadesi hesaplanmış ve elde edilen ifadeler yapay sinir ağı (YSA) için giriş vektörlerini oluşturmuştur. YSA, insan



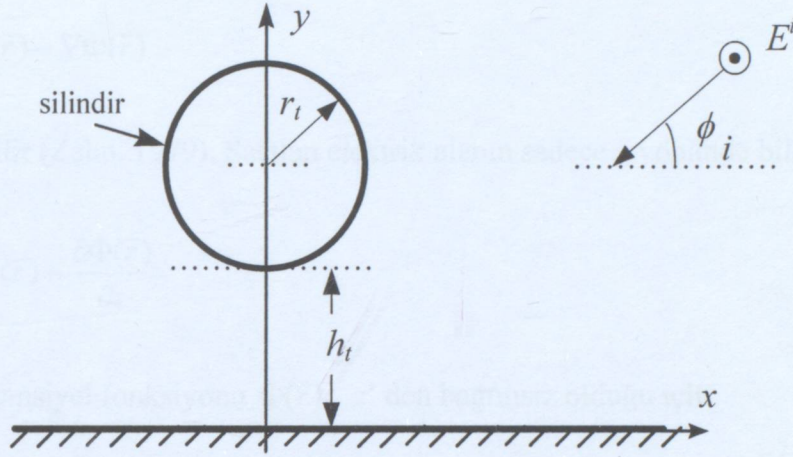
Şekil 1.1 Deniz çevresinde hedef tanıma problemi

vücudundaki sinir sisteminin bazı fonksiyonlarını modelleyen ve bazı yeteneklerini yakalamak isteyen basit hesapsal birimlerin (nöronlar) yoğun bir paralel dizisidir; başka bir deyişle, teorik hale getirilmiş zekâ ve beyin faaliyetlerinin matematiksel modelleridir. Ancak biyolojik sistemler o kadar karmaşıktır ki, yapay sinir ağı için kullanılan biyolojik modellerin fazlaca basite indirgenmiş biçimleri şeklindedir. Öğrenme algoritmalarının üstün uyum yeteneği, basit işlemsel elemanlara sahip olması, donanımına uygulanabilirlik, yüksek hızda hesaplama yapabilme ve hedef ile ilgili önceki verilerden yararlanarak hedef ile ilgili değişikliklere uyum sağlama özelliklerinden dolayı YSA hedef tanıma uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Chen, 1990; Huaitie vd., 1993; Chakrabarti ve Miller, 1994).

Bu çalışmada değişik yapay sinir ağı modelleri kullanılarak hedef tanıma ve sınıflandırmayla ilgili çeşitli uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar daha sonra, yüzey üzerinde birden fazla hedef bulunması halinde yapay sinir ağının hedef tanıma performansını ölçmek için, yüzey üzerine iki silindir yerleştirilip, toplam saçılan elektrik alan hesaplandıktan sonra tekrar gerçekleştirilmiştir.

2. SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN SİLİNDİR BİR HEDEFTEN SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN HESAPLANMASI

Sonlu ve iki boyutlu mükemmel iletken yüzey modellerinden biri olan durgun deniz yüzeyi üzerine, çoklu saçılmaları inceleyebilmek için mükemmel iletken olan bir silindir yerleştirilmiştir.



Şekil 2.1 Sonsuz düz yüzey üzerindeki silindir

Şekil 2.1’de görüldüğü üzere yarıçapı r_t , yerden olan yüksekliği h_t olan silindire gelen dalga yatayla ϕ_i açısı yapan TM (Transverse Magnetic) dalgasıdır, z-yönünde bileşeni bulunup, x ve y yönünde yayılım göstermektedir. En genel halde elektrik alan ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\vec{E}^i = E_z \hat{z} e^{-j\vec{k}_i \cdot \vec{r}} \quad (2.1)$$

Burada dalga sayısı olan k_i en genel halde

$$\vec{k}_i = \vec{a}_{ki} k_0 \quad (2.2)$$

olup k_0 serbest uzayın dalga sayısıdır ve $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ şeklinde ifade edilir. Birim vektör ise

$$\vec{a}_{ki} = -\cos \phi_i \hat{x} - \sin \phi_i \hat{y} \quad (2.3)$$

şeklindedir. Konum vektörü olan r ise

$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda (2.1) ifadesi

$$\vec{E}^i(x, y) = E_z \hat{z} e^{-jk_0(\cos \phi_i x + \sin \phi_i y)} \quad (2.5)$$

olur. Hedefe yani silindire gelen elektrik alan, hedeften saçılan bir elektrik alan oluşturacaktır. Saçılan dalganın elektrik alan ifadesi en genel halde vektör ve skaler potansiyel fonksiyonların toplamı olup

$$\vec{E}^s(\vec{r}) = -j\omega\vec{A}(\vec{r}) - \nabla\Phi(\vec{r}) \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir (Zahn, 1979). Saçılan elektrik alanının sadece z-yönünde bileşeni olduğundan

$$\vec{E}_z^s(\vec{r}) = -j\omega\vec{A}_z(\vec{r}) - \frac{\partial\Phi(\vec{r})}{\partial z} \quad (2.7)$$

olur. Skaler potansiyel fonksiyonu $\Phi(\vec{r})$, z' den bağımsız olduğu için

$$\frac{\partial\Phi(\vec{r})}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$

olur. Bu durumda (2.7) eşitliği

$$\vec{E}_z^s(\vec{r}) = -j\omega\vec{A}_z(\vec{r}) \quad (2.9)$$

haline gelir. Vektör potansiyeli $\vec{A}_z(\vec{r})$ 'yi iki boyutlu Helmholtz eşitliğine uyarlarsak

$$\nabla^2 A_z(\vec{r}) + k_0^2 A_z(\vec{r}) = -\mu_0 K_z(\vec{r}) \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $K_z(\vec{r})$, yüzey üzerinde oluşan bilinmeyen akımı ifade etmektedir. (2.10) eşitliğinin çözümü

$$A_z(\vec{r}) = \mu_0 \int_{\Gamma} K_z(\vec{r}') G(\vec{r}, \vec{r}') dl' \quad (2.11)$$

olup, $\vec{r}'$ kaynak noktasını temsil etmektedir ve

$$\vec{r}' = x'\hat{x} + y'\hat{y} \quad (2.12)$$

şeklindedir (Ulaby, 1999). $G(\vec{r}, \vec{r}')$ iki boyutlu Green fonksiyonudur ve

$$G(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{4j} H_0^{(2)}(k_0 |\vec{r} - \vec{r}'|) \quad (2.13)$$

şeklinde ifade edilir. $H_0^{(2)}$ ikinci dereceden Hankel fonksiyonudur. (2.13) eşitliğini (2.11) eşitliğine ve daha sonra (2.11) eşitliğini (2.9) eşitliğine yerleştirirsek

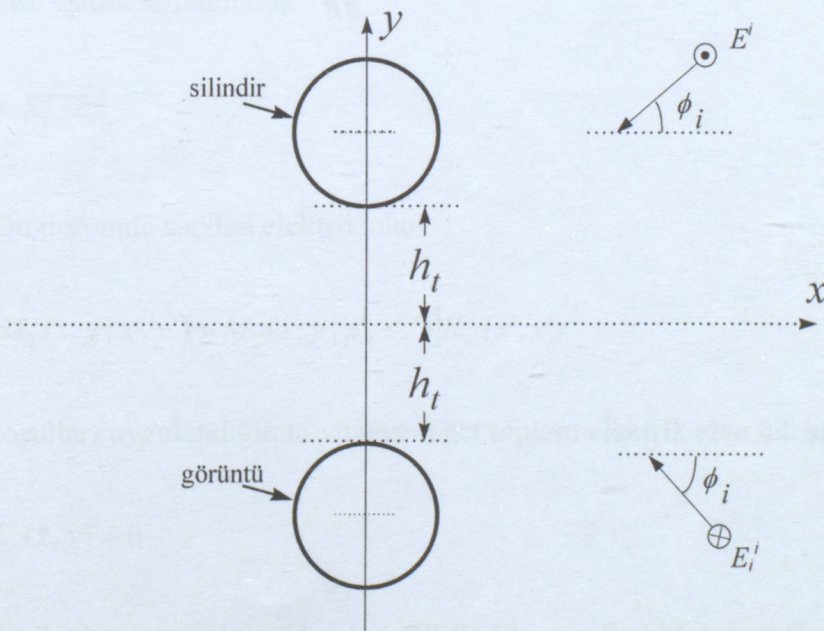
$$E_z^s(\vec{r}) = M_\Gamma(\vec{r}, \vec{r}') K_z(\vec{r}') \quad (2.14)$$

haline gelir. Burada $M_\Gamma(\vec{r}, \vec{r}')$ operatörü

$$M_\Gamma(\vec{r}, \vec{r}') K_z(\vec{r}') = -\frac{k_0 \eta_0}{4} \int_\Gamma K_z(\vec{r}') H_0^{(2)}(k_0 |\vec{r} - \vec{r}'|) dl' \quad (2.15)$$

olarak tanımlanır ve η_0 serbest uzayın karakteristik empedansıdır.

Mükemmel iletken yüzeyimiz deniz yüzeyinin kenarlarından kaynaklanan direkt ve direkt olmayan yansımaları göz ardı edebilmek için sonsuz ve düz olarak kabul edilmiştir. Bu durumda Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ele alınan problemde, Görüntü metodu yardımı ile sonsuz düz yüzey, silindir ve gelen dalganın görüntüsü ile yer değiştirir.



Şekil 2.2 Sonsuz düz yüzey üzerindeki silindir için Görüntü metodu çözümü

Bu durumda gelen dalganın görüntüsünün elektrik alan ifadesi

$$\vec{E}_i = -E_z \hat{z} e^{-jk_0(\cos \phi_i x - \sin \phi_i y)} \quad (2.16)$$

şeklinde olur ve gelen elektrik alan TM dalgasıyla onun görüntüsünün toplamına eşittir.

$$\vec{E}^i(x, y) = E_z \hat{z} e^{-jk_0(\cos \phi_i x + \sin \phi_i y)} - E_z \hat{z} e^{-jk_0(\cos \phi_i x - \sin \phi_i y)} \quad (2.17)$$

(2.17) eşitliği tekrar düzenlenip yazılırsa

$$\vec{E}^i(x, y) = 2jE_z e^{-jk_0(x \cos \phi_i)} \sin(k_0 y \sin \phi_i) \hat{z} \quad (2.18)$$

olur. Saçılan elektrik alan ise silindir üzerinde oluşan akım ile görüntü akımının toplamına eşittir ve

$$E_z^s(\vec{r}) = M_T(\vec{r}, \vec{r}') K_z^T(\vec{r}') + M_{T_i}(\vec{r}, \vec{r}') K_z^{T_i}(\vec{r}') \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada T_i görüntü akımı için integral yoludur ve silindir üzerindeki akım için olan integral yolu ile arasındaki ilişki

$$M_{T_i}(x, y | x', y') = M_T(x, y | x', -y') \quad (2.20)$$

şeklindedir. Bu eşitlik kullanılarak

$$K_z^{T_i}(\vec{r}) \Big|_{T_i} = -K_z^T(\vec{r}) \Big|_T \quad (2.21)$$

yazılabilir. Bu durumda saçılan elektrik alan

$$E_z^s(x, y) = [M_T(x, y | x', y') - M_T(x, y | x', -y')] K_z^T(x', y') \quad (2.22)$$

olur. Sınır koşulları uygulandığında yüzeye teğet toplam elektrik alan bileşeni sıfıra eşit olur.

$$E_z^i(x, y) + E_z^s(x, y) = 0 \quad (2.23)$$

Böylece elektrik alan integral denklemleri (EFIE-Electric Field Integral Equation) elde edilir

$$-E_z'(x, y) = [M_T(x, y | x', y') - M_T(x, y | x', -y')] K_z^T(x', y') \quad (2.24)$$

şeklinde yazılabilir.

2.1 Moment Metodu (MoM)

Birçok elektromagnetik problemin çözülmesinde başarıyla uygulanmış olan Moment metodu, 1968 yılında Harrington tarafından geliştirilmiştir. Moment metodu frekans domeninde integral denklemlerini temel alan sayısal bir yöntemdir. MoM yönteminin temel formülasyonu, Green fonksiyonlarını kullanarak elde edilen integral denklemdir. Genel özellikleri:

- MoM, sağ tarafında dürtü fonksiyonu şeklinde bir terim bulunan Green fonksiyonu problemidir.
- İlk önce yapıya ait Green fonksiyonunun analitik olarak bulunur ve daha sonra o yapı üzerinde oluşan yüzey akımları sayısal olarak hesaplanır.
- Ele alınan yapı küçük parçalara (segment) ayrılır ve yüzey akımları matris şeklinde yazılıp çözülür.
- Matris sisteminin boyutu segment sayısına bağlıdır. Segment sayısı arttıkça matris tersi almadaki sayısal zorluklar nedeniyle hesap hacmi ve süresi üstel olarak artmaktadır.

Bu teknik, karmaşık integral denklemlerinin doğrusal denklem sistemine indirgenip, ağırlaştırılmış artıklar (weighting residuals) kullanarak çözülmesine dayanır.

Moment metoduyla çözülecek denklem

$$Lu = f \quad (2.25)$$

şeklinde bir fonksiyonel denklemdir. L bilinen doğrusal bir operatör, u çözümü istenen fonksiyon, f ise değeri bilinen kaynak fonksiyondur. Matris denklemine ilk geçiş, u ' nun $\{u_1, u_2, u_3, \dots\}$ gibi fonksiyonlar kümesinin doğrusal birleşimi olarak yazılabildiğini kabul etmektir, yani ;

$$u = \sum_n \alpha_n u_n \quad (2.26)$$

burada α değerleri bulunması gereken sabit katsayılarıdır, u_n fonksiyonları ise kaynak fonksiyonlar olarak adlandırılmaktadır. Sayısal çözümlemede (2.26)'daki toplam, sonlu olmaktadır. (2.26) eşitliği (2.25) eşitliğinde kullanarak ve L 'nin doğrusallık özelliğinden yararlanarak şu sonuç elde edilir:

$$\sum_n \alpha_n Lu_n = f \quad (2.27)$$

Matris denklemini elde etmek için gerekli son adım ise f fonksiyonuyla, w_m ile göstereceğimiz test fonksiyonlarının iç çarpımını almaktır. İç çarpım doğrusal olduğundan,

$$\sum_n \alpha_n \langle w_m, Lu_n \rangle = \langle w_m, f \rangle \quad (2.28)$$

olur. Burada $\langle a, b \rangle$ iç çarpımı genelde integrasyon işlemiyle tanımlanmaktadır ve n ile m indislerinin son değerleri aynıdır. Bu denklem setleri artık bir matris denklemi halinde yazılabilir:

$$[L] [\alpha] = [f] \quad (2.29)$$

Eğer L matrisi tekil değilse α katsayıları L 'nin tersi alınarak kolaylıkla belirlenebilir,

$$[\alpha] = [L]^{-1} [f] \quad (2.30)$$

α katsayılarıyla temel işlevleri çarparak istenen sonuç elde edilmiş olur. Fakat bu çarpım sonucu istenen u işlevinin kesin olarak belirlenmesi nadirdir, ama bilgisayar yardımıyla gerekli kaynak fonksiyonların sayısını arttırarak çok iyi yaklaşımlar sağlanabilmektedir. Özellikle kaynak fonksiyonlarının ve test fonksiyonlarının seçimi çözüme yaklaşımda önemli konulardır (Balanis, 1989).

2.1.1 Temel Fonksiyonlar ve Test Fonksiyonları

Çok çeşitli kaynak ve test fonksiyonları seçilebilir. Fakat verimli bir çözüm sağlanması için seçilen az sayıda kaynak fonksiyonun istenen çözüme yaklaşması gerekmektedir. Aynı şekilde test fonksiyonları, istenen çözüm ile yaklaşık çözüm arasındaki hatayı küçük tutmalıdır.

Kaynak ve test fonksiyonları iki sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıf alt bölge fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonların tanımı gereği çözümün tanımlı olduğu bölge daha küçük alt bölgelere ayrılmıştır. Her bir kaynak fonksiyon sadece bir bölgede tanımlıdır (Bu bölge dışında sıfırdır).

İkinci çeşit fonksiyonlar ise çözümü istenen fonksiyonun tanım kümesinin tamamında tanımlıdır.

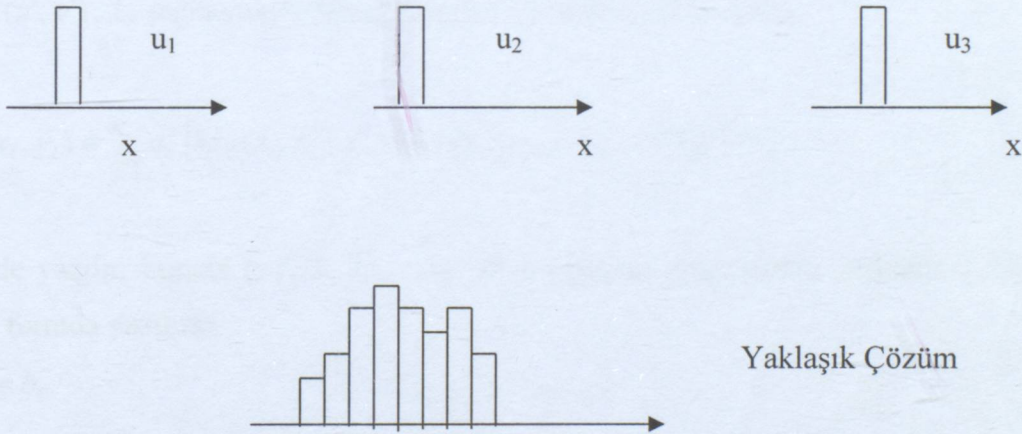
Kaynak fonksiyon basit bir fonksiyon seçilerek empedans matrisinin elemanlarının hesaplanması daha da kolaylaştırılabilir. Fakat kaynak fonksiyonlarının, kendisinin ve türevinin sürekli olup olmadığı, istenen sonucun çok dalgalanmalı olup olmaması, çözümün verimini etkileyebilir (Harrington, 1968).

Kaynak fonksiyonlar için en basit alt bölge yaklaşımı darbe diğer adıyla Dirac Delta işlevi kullanılmaktadır. Fakat darbeler test fonksiyonu olarak da kullanılabilir.

Biraz daha gelişmiş kaynak fonksiyon olarak darbe fonksiyonu vardır ve şöyle tanımlanabilir:

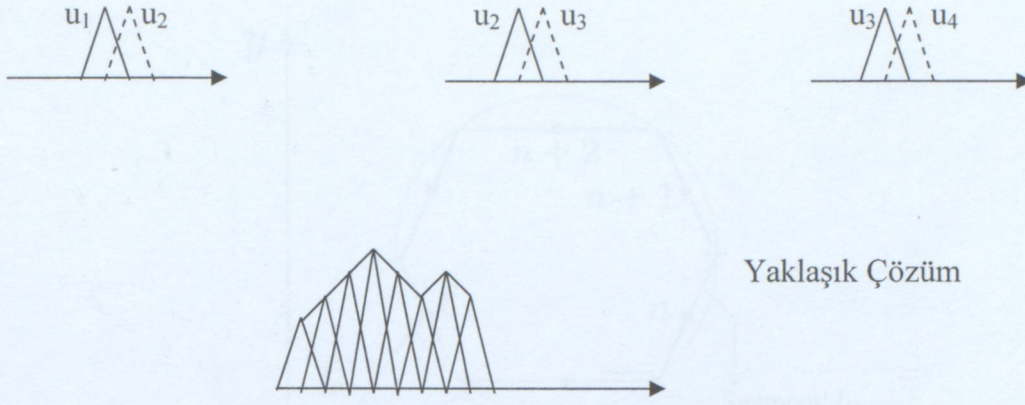
$$u_n = \begin{cases} 1, & n \text{ nolu altbölgede} \\ 0, & \text{faklı altbölgelerde} \end{cases} \quad (2.31)$$

Şekil 2.3'de darbe kaynak fonksiyonlarından oluşan bir küme ve sonucunda oluşan yaklaşık çözümü gösterilmiştir. Darbelerden oluşan bu yaklaşım süreksizdir. Daha iyi bir yaklaşım sürekli olan parçalı-doğrusal yaklaşımdır. Bu fonksiyon sürekli fakat ilk türevi süreksizlik özelliği gösterir.



Şekil 2.3 Darbe kaynak fonksiyonları ve oluşturdukları yaklaşık çözüm

Sağlıklı bir fonksiyon yaklaşımı için Şekil 2.4'de olduğu gibi doğrusal parçalar bir üçgen oluşturacak şekilde birleştirilir ve oluşturulan üçgenler üst üste bindirilir.



Şekil 2.4 Parçalı doğrusal kaynak fonksiyonları ve oluşturdukları yaklaşık çözüm
İstenen çözümün yaklaşımı için daha başka fonksiyonlarda kullanılabilir.

2.2 Moment Metodunun Saçılma Problemine Uygulanması

(2.24) eşitliğini çözebilmek için hedef ve görüntüsü Şekil 2.5'de görüldüğü gibi T adet lineer segmente ayrılır ve $K_z^T(x', y')$ ifadesi

$$K_z^T(x', y') = \sum_{n=1}^{N_T} a_n^T K_n^T(x', y') \quad (2.32)$$

şeklinde darbe fonksiyonları cinsinden yazılır. Hedef yüzeyinde N_T tane nokta bulunmaktadır ve $K_z^T(x', y')$, L_n segmentinde tanımlıdır. Bu durumda (2.24) eşitliği

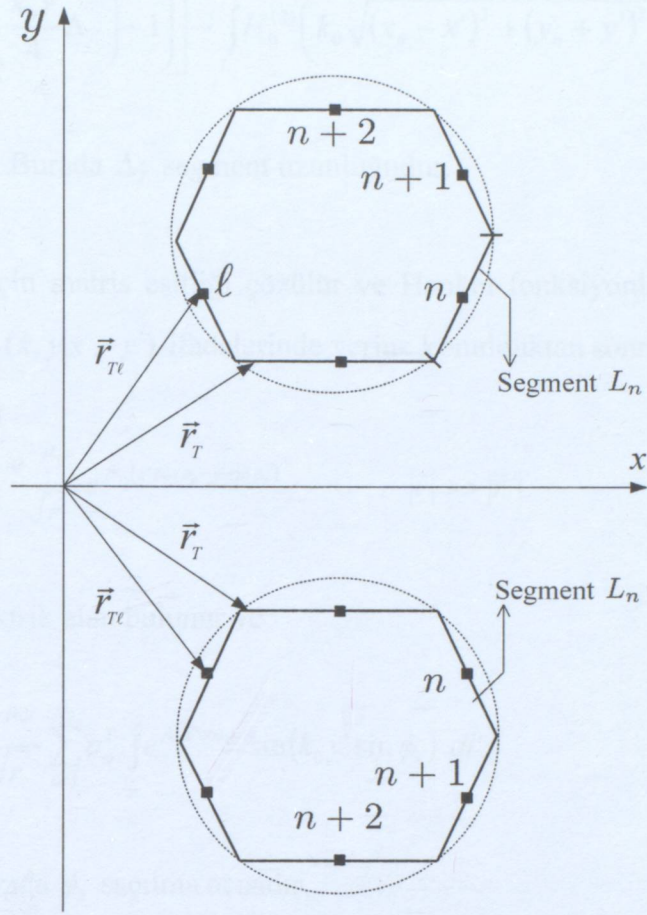
$$-E_z^i(x_l, y_l) = \sum_{n=1}^{N_T} a_n^T [M_T(x_l, y_l | x', y') - M_T(x_l, y_l | x', -y')] K_n^T(x', y') \quad (2.33)$$

şeklinde yazılır, burada $l=1, 2, 3, \dots, N_T$ olan eşleşme noktalarının indisidir. (2.33) eşitliği matris formda yazılırsa

$$D a_T = b_T \quad (2.34)$$

olur ve burada D , $N_T \times N_T$ matrisini, a_T ise bilinmeyen darbe fonsiyonlarının genliğini belirtmektedir. Eşitlikteki b_T ifadesi ise

$$b_{Tl} = \frac{8j}{k_0 \eta_0} E_0 e^{-jk_0(x_l \cos \phi_l)} \sin(k_0 y_l \sin \phi_l) \quad (2.35)$$



Şekil 2.5 Hedef ve görüntüsünün bölümlere ayrılması

şeklinde hesaplanır. Nümerik integrasyon metodu (Trapezium ya da Simpson's Rule) ile

$$D_{l,n} = \int_{L_n} K_n^T(x', y') \left(H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x')^2 + (y_l - y')^2} \right) - H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x')^2 + (y_l + y')^2} \right) \right) dl' \quad (2.36)$$

olarak bulunur. Burada

$$K_n^T(x', y') = \begin{cases} 1 & (x', y') \in L_n \\ 0 & \text{diger yerlerde} \end{cases} \quad (2.37)$$

Ayrıca $l=n$ olduğu durumda $\left(k_0 \sqrt{(x_l - x')^2 + (y_l - y')^2} \right)$ ifadesi çok küçüleceğinden Hankel fonksiyonlarının hesaplanması güçleşmektedir ve bu yüzden yaklaşık değerleri analitik olarak bulunmalıdır. Bu durumda matrisin köşegen terimleri

$$D_{n,n} = \Delta_T \left[1 - j \frac{2}{\pi} \left(\ln \left(\frac{k_0 \gamma}{4} \Delta_T \right) - 1 \right) \right] - \int_{L_n} H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_n - x')^2 + (y_n + y')^2} \right) dl' \quad (2.38)$$

olarak kullanılmalıdır. Burada Δ_T segment uzunluğudur.

Bilinmeyen akımlar için matris eşitliği çözülür ve Hankel fonksiyonlarının yaklaşık değeri $M_T(x, y|x', y')$ ve $M_T(x, y|x', -y')$ ifadelerinde yerine konulduktan sonra

$$H_0^2(k_0|\vec{r} - \vec{r}'|) \cong \sqrt{\frac{2j}{k_0\pi}} \frac{e^{-jk_0r}}{\sqrt{r}} e^{jk_0(x' \cos \phi_s - y' \sin \phi_s)} \quad |\vec{r}| \gg |\vec{r}'| \quad (2.39)$$

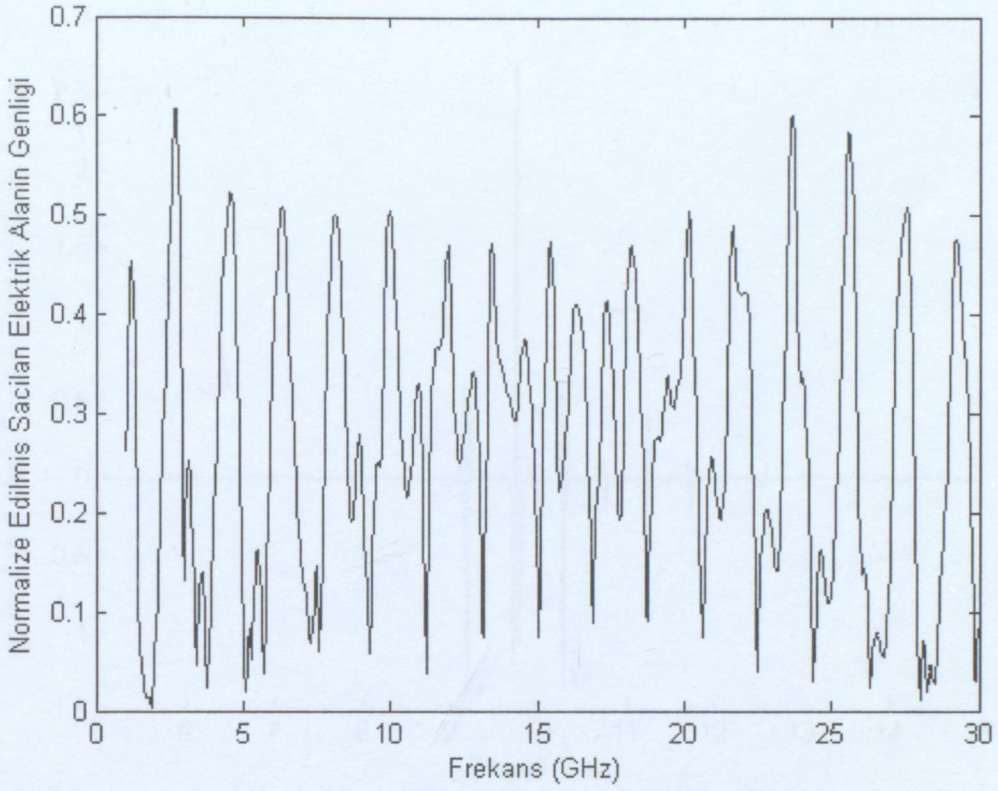
elde edilir, saçılan elektrik alan bulunur ve

$$E_z^s(\vec{r}) = -\eta_0 \sqrt{\frac{-jk_0}{2\pi}} \frac{e^{-jk_0r}}{\sqrt{r}} \sum_{n=1}^{N_T} a_n^T \int_{L_n} e^{jk_0x' \cos \phi_s} \sin(k_0y' \sin \phi_s) dl' \quad (2.40)$$

olarak ifade edilir. Burada ϕ_s saçılma açısıdır.

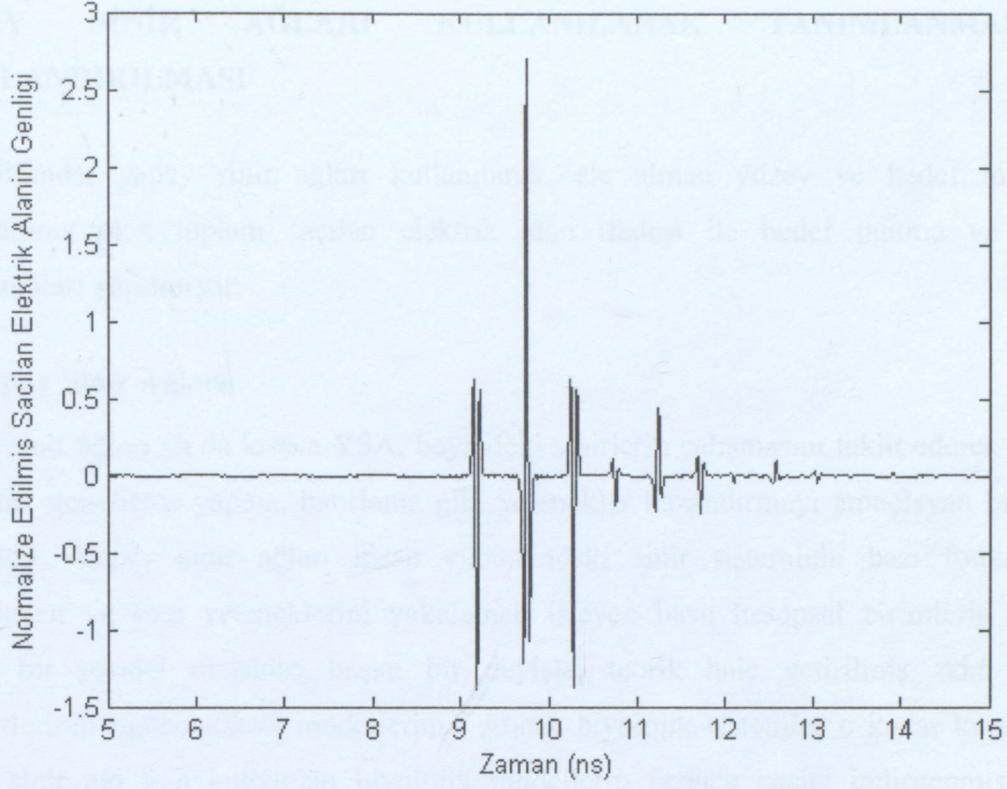
2.3 Nümerik Sonuçlar

Sonsuz uzun düz bir yüzey üzerinde bulunan silindirden saçılan elektrik alanın hesaplanması için Görüntü metodu ve Moment metodu yöntemleri kullanılmıştır. Frekans domeninde 1 GHz'den 30 GHz'e kadar 0.04 GHz aralıklarla değişen 726 tane frekans noktası elde edilmiştir. Saçılan toplam elektrik alanın frekans domenindeki ifadesi Şekil 2.6' da gösterilmiştir (Kizilay, 2000).



Şekil 2.6 $r_t=0.04$, $h/r_t=5$ ve $\phi_s=20^\circ$ olan silindirden saçılan elektrik alanının frekans domeni ifadesi

Ters Fourier Dönüşümü kullanılarak zaman domeni ifadesi elde edilmiştir. Şekil 2.7'den de anlaşılacağı üzere üç ana yansıma bulunmaktadır. Birinci yansıma silindirden, ikinci yansıma silindir-deniz ve deniz-silindirden olan yansımaların toplamı şeklindedir. Üçüncü yansıma ise deniz-silindir-deniz üçlüsünden kaynaklanan yansımadır. Bu temel yansılardan genlikte büyük bir düşüş söz konusudur, yani işaret zayıflamaktadır.



Şekil 2.7 $r_i=0.04$, $h/r_i=5$ ve $\phi_s=20^\circ$ olan silindirden saçılan elektrik alanın zaman domeni ifadesi

3. MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN HEDEFLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TANIMLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

Bu bölümde, yapay sinir ağları kullanılarak, ele alınan yüzey ve hedef modeli için hesaplanmış olan toplam saçılan elektrik alan ifadesi ile hedef tanıma ve sınıflama uygulamaları yapılmıştır.

3.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları ya da kısaca YSA, beyindeki sinirlerin çalışmasını taklit ederek sistemlere öğrenme, genelleme yapma, hatırlama gibi yetenekler kazandırmayı amaçlayan bilgi işleme sistemidir. Yapay sinir ağları insan vücudundaki sinir sisteminin bazı fonksiyonlarını modelleyen ve bazı yeteneklerini yakalamak isteyen basit hesapsal birimlerin (nöronlar) yoğun bir paralel dizisidir; başka bir deyişle, teorik hale getirilmiş zekâ ve beyin faaliyetlerinin matematiksel modelleridir. Ancak biyolojik sistemler o kadar karmaşıktır ki yapay sinir ağı için kullanılan biyolojik modellerin fazlaca basite indirgenmiş biçimleri şeklindedir. Yapay sinir ağları, kesin kurallarla gösterimi zor olan, daha çok algılamaya yönelik bilgileri işlemekte kullanılırlar. Olayları genelleme yetenekleri ve eksik, belirsiz, bozulmuş bilgileri işleyebilme ve esnek olarak çalıştırabilmeleri önemli özelliklerindendir. Bu ağlarda kullanılan basit işleme elemanları insan beyninin işleme elemanı olan nöronların modelidir. İnsan sinir sisteminin problemleri çözebilmek için öğrenme özelliği olduğu gibi yapay sinir ağlarının da bu özelliği mevcut bulunmaktadır (Coşkun, 2003).

3.1.1 Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA' nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA' nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA, bundan sonraki bölümlerde anlatılacak özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

3.1.1.1 Doğrusal Olmama

YSA' nın temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile YSA, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde en önemli araç olmuştur.

3.1.1.2 Öğrenme

YSA' nın arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. Yapay sinir ağları programlama yerine örneklerle eğitilir. Ağ, ağırlık matrisindeki değerleri değiştirerek bunları öğrenir ve ağa bir giriş uygulandığı zaman o girişe uygun çıkış cevabı üretir.

Yapay sinir ağları eğitici ve eğitici olmayan olmak üzere iki şekilde eğitilmektedirler. Eğitici öğrenmede, ağa hem giriş hem de istenen çıkış bilgisi (hedef vektörü) girilir. Her denemeden sonra ağ kendi çıkışını doğru cevaplarla karşılaştırır ve çıkış hatası kabul edilebilecek seviyeye ininceye kadar ağırlıklarını değiştirerek tekrarlama yapar. Eğitici olmayan öğrenmede hiçbir hedef vektörü yoktur. Giriş vektörü sisteme uygulanır ve sistem, girişin benzer veya ayrılan özelliklerinden yararlanarak uyumlu bir çıkış (muhtemelen eğitimden önce tahmin edilemeyen) üretecek şekilde kendisini organize eder (Lippman, 1987; Hinton, 1989).

3.1.1.3 Genelleme

Bir yapay sinir ağının geliştirilmesindeki en kritik parametrelerden biri genelleme, yani ağın gelecekteki performansıdır. Diğer bir deyişle ağın, eğitim kümesinde mevcut olmayan durumlar için ne kadar iyi tahminlerde bulunabildiğinin belirlenmesidir. Öğrenme süresince, eğitici bir sinir ağının çıkışları eğitim kümesindeki girişleri verilen hedef değerlere yaklaştırır. Bu yetenek tek başına yararlı olabilir; fakat bir sinir ağını kullanmanın amaçlarından biri genelleme yapmaktır. Yani, ağın çıkışlarının eğitim kümesinde verilmeyen girişler için de hedef değerlere yaklaştırmaktır. Genelleme her zaman mümkün olmayabilir (Özyılmaz 2000).

3.1.1.4 Uyarlanabilirlik

YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen YSA, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanımlama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır.

3.1.1.5 Hata Toleransı

YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanması ile oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağın sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış

durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

3.1.1.6 Donanım ve Hız

YSA, paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli tümdevre (VLSI) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

3.1.1.7 Analiz ve Tasarım Kolaylığı

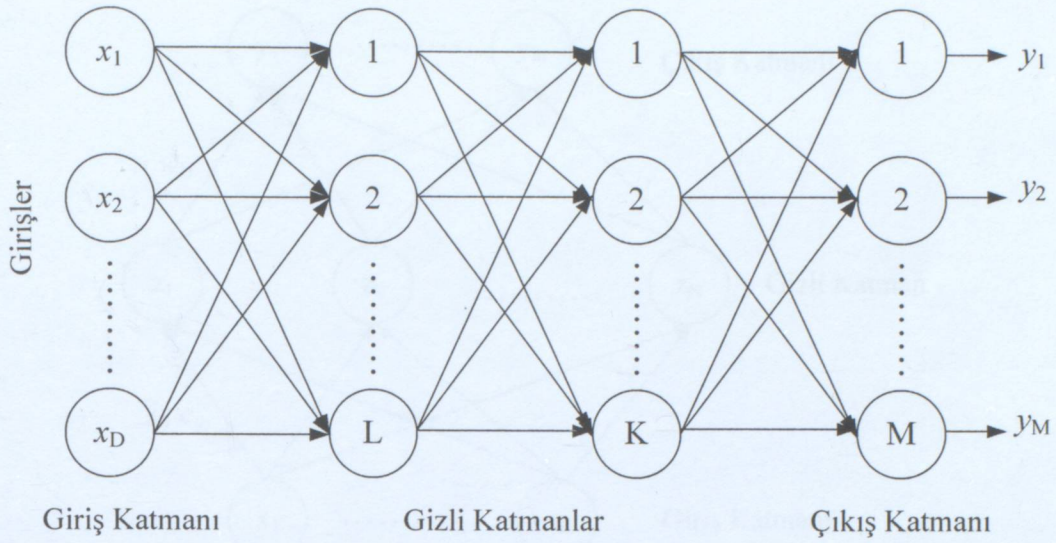
YSA'nın temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, daha önce açıklandığı gibi bütün YSA yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, YSA'nın farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan YSA benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin YSA ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir.

3.2 Çalışmada Kullanılan Yapay Sinir Ağı Yapıları

Bu çalışmada kullanılan temel yapay sinir ağı yapıları; çok katmanlı algılayıcılar, radyal temelli fonksiyon ağıları, genelleştirilmiş regresyon ağıları ve olasılıksal sinir ağıları olup bu bölümde incelenmektedir.

3.2.1 Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP)

Çok katmanlı algılayıcı yapısı birçok birimin (perceptron) oluşturduğu bir kümedir. Bu algılayıcı birimler bir araya gelerek ağıdaki katmanları oluşturur. Bu katmanlar da bir araya gelerek ağı oluşturur. MLP'de Şekil 3.1'de görüldüğü gibi üç temel katman vardır. Bunlar giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanıdır. Giriş ve çıkış katmanı dışındaki tüm katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Genelde ağı eğitimi eğitici yöntemi kullanılmaktadır. En yaygın yöntem hatanın geriye yayılımı algoritmasıdır. Geriye yayılım öğrenmesi sırasında ağı; her giriş örüntüsünü, çıkış nöronlarında sonuç üretmek üzere gizli katmanlardaki nöronlardan geçirir. Daha sonra çıkış katmanındaki hataları bulabilmek için, beklenen sonuçla, elde edilen sonuç karşılaştırılır. Bundan sonra, çıkış hatalarının türevi çıkış katmanından geriye doğru gizli katmanlara iletilir. Hata değerleri bulunduğundan sonra, nöronlar kendi hatalarını azaltmak için ağırlıklarını ayarlar. Ağırlık değiştirme denklemleri, ağıdaki performans fonksiyonunu en küçük yapacak şekilde düzenlenir (Schalkoff, 1997).

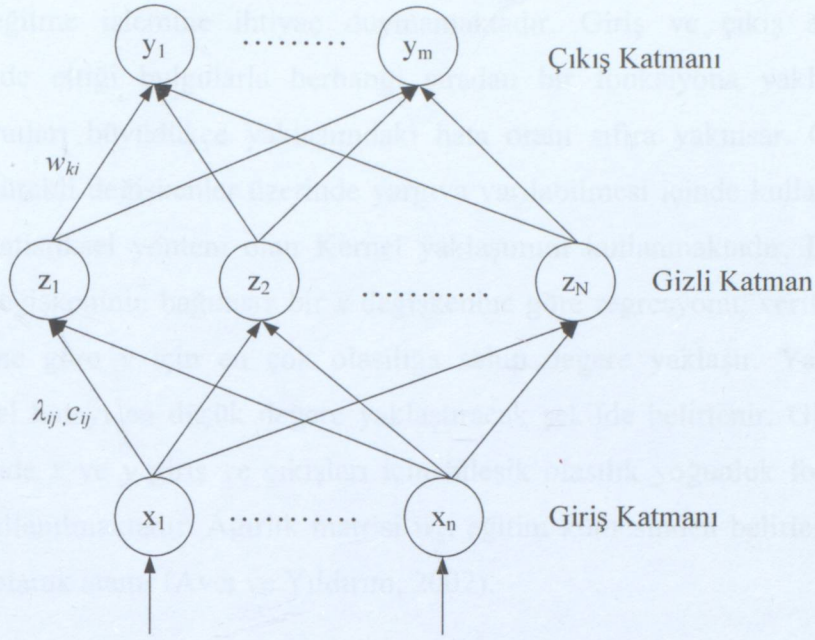


Şekil 3.1 MLP ağ yapısı

3.2.2 Radyal Temelli Fonksiyon Ağları (RBF)

Radyal temelli fonksiyon ağı tasarımı çok boyutlu uzayda eğri uydurma yaklaşımıdır ve bu nedenle RBF'in eğitimi, çok boyutlu uzayda eğitim verilerine en uygun bir yüzeyi bulma problemine dönüşür. RBF'in genellemesi ise eğitim sırasında bulunan çok boyutlu yüzeyin kullanılmasına eşdeğerdir. Radyal temelli fonksiyonlar, sayısal analizde çok değişkenli problemlerin çözümünde kullanılmış ve YSA'nın gelişmesi ile birlikte bu fonksiyonlardan YSA tasarımında yararlanılmıştır. RBF, ileri beslemeli YSA yapılarına benzer şekilde giriş, gizli ve çıkış katmanından oluşur ancak, giriş katmanından gizli katmana dönüşüm, radyal temelli aktivasyon fonksiyonları ile doğrusal olmayan sabit bir dönüşümdür. Gizli katmandan çıkış katmanına ise uyarlamalı ve doğrusal bir dönüşüm gerçekleştirilir.

RBF'de uyarlanabilecek serbest parametreler; merkez vektörleri, radyal fonksiyonların genişliği ve çıkış katman ağırlıklarıdır. Çıkış katmanı doğrusal olduğundan ağırlıklar, eğim düşme ya da doğrusal en iyileme yöntemleri ile kolayca bulunabilir. Merkezler, girişler arasından rastgele ve sabit olarak seçilebilmekle birlikte RBF'in performansını iyileştirmek amacıyla merkez vektörlerinin ve genişliğinin uyarlanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Merkez vektörleri, eğim düşme yöntemine göre eğitici öğrenme algoritması ile uyarlanarak, en küçük dik kareler yöntemi ile ya da kendiliğinden düzenlemeli yöntemle giriş örneklerinden öbekleme yapılarak belirlenebilir. (Haykin, 1994)



Şekil 3.2 RBF ağ yapısı

Bir RBF ağının eğitilmesi, RBF birim merkezlerinin, gizli katmandan çıkış katmanına olan ağırlıkların ve σ uzaklık ölçekleme parametresinin belirlenmesi ile yapılır. Şekil 3.2' de görüldüğü üzere, girişler x_j olmak üzere, i . gizli nörona olan toplam giriş γ_i

$$\gamma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j - c_{ij}}{\lambda_{ij}} \right)^2}, i = 1, 2, \dots, N \quad (3.1)$$

olarak verilmektedir ve N burada gizli nöron sayısıdır. i . gizli katmandan çıkış değeri ise $z_{ij} = \sigma(\gamma_i)$ olmak üzere, RBF ağının çıkışları

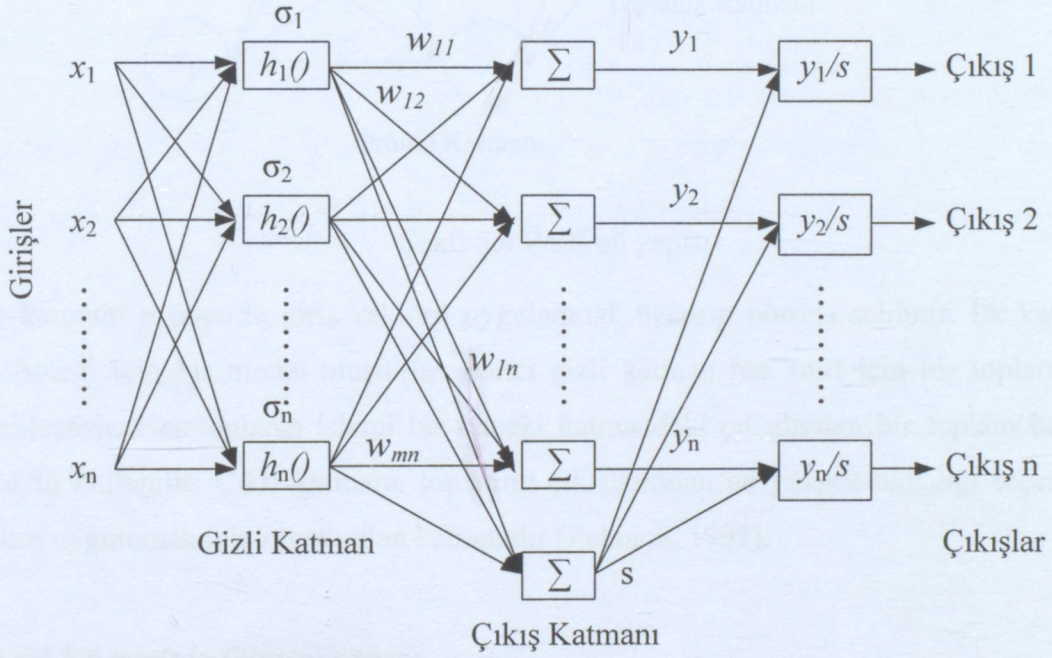
$$y_k = \sum_{i=1}^N w_{ki} z_{ki} \quad (3.2)$$

Burada w_{ki} gizli katmanın i . nöronu ile çıkış katmanının k . nöronu arasında kullanılan ağırlık değeridir. RBF ağının eğitime parametreleri w_{ki} , c_{ij} , λ_{ij} olup, $k = 1, 2, \dots, m$, $i = 1, 2, \dots, N$, and $j = 1, 2, \dots, n$ şeklinde değişmektedir. (Park ve Sandberg, 1991)

3.2.3 Genelleştirilmiş Regresyon Ağları (GRNN)

Genelleştirilmiş regresyon ağları, radyal temelli ağların genellikle fonksiyon yaklaştırma problemleri için kullanılmakta olan özel bir halidir. Bu ağlar belirli sayıda gizli katman nöronu ile önemli ölçüde iyi başarı ile sürekli fonksiyonlara yaklaşımı sağlarlar. MLP' deki

gibi tekrarlı eğitime işlemine ihtiyaç duymamaktadır. Giriş ve çıkış arasında, eğitim kümesinden elde ettiği bulgularla herhangi sıradan bir fonksiyona yaklaşabilir. Eğitim kümesinin boyutları büyüdükçe yaklaşımdaki hata oranı sıfıra yakınsar. GRNN, standart teknikler gibi sürekli değişkenler üzerinde yargıya varılabilmesi içinde kullanılır. Temelinde standart bir istatistiksel yöntem olan Kernel yaklaşımını kullanmaktadır. Bu tanıma göre, bağımlı bir y değişkeninin bağımsız bir x değişkenine göre regresyonu, verilen x girişleri ve eğitim kümesine göre y için en çok olasılığa sahip değere yaklaşır. Yaklaşım yöntemi ortalama karesel hatayı en düşük değere yaklaştıracak şekilde belirlenir. GRNN, belirli bir eğitim kümesinde x ve y giriş ve çıkışları için bileşik olasılık yoğunluk fonksiyonunun da tahmini için kullanılmaktadır. Ağırlık matrisi w_{ij} , eğitim kümesinden belirlenen hedef değer ağırlık matrisi olarak atanır (Avcı ve Yıldırım, 2002).



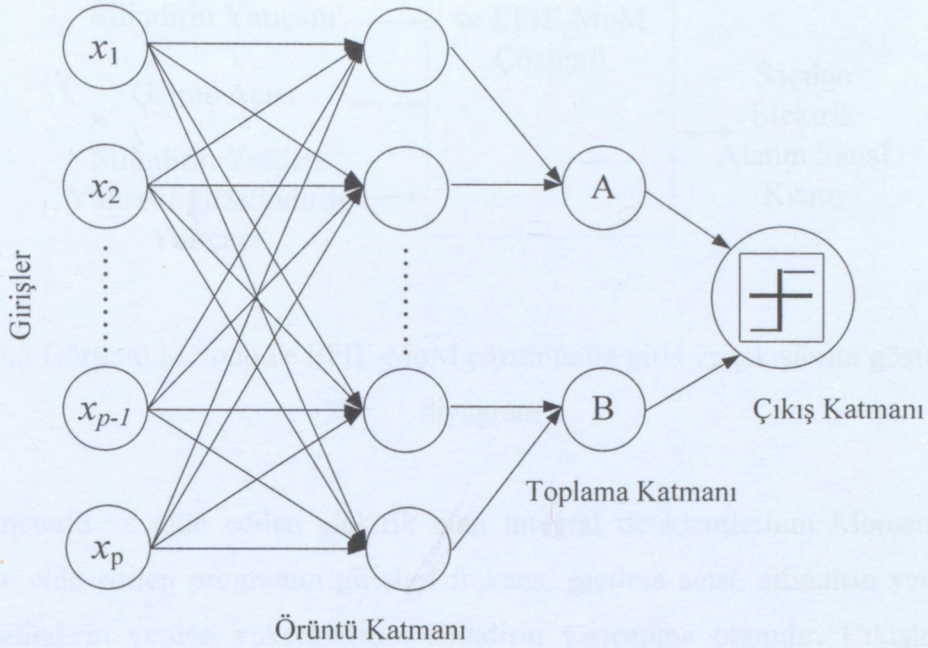
Şekil 3.3 GRNN ağ yapısı

3.2.4 Olasılıksal Sinir Ağları (PNN)

Bir diğer ileri beslemeli ağ yapısı olan olasılıksal sinir ağında, giriş katmanına ek olarak iki gizli katman ve bir çıkış katmanı daha bulunmaktadır. Hatanın geriye yayılımı algoritmasıyla eğitilen ileri beslemeli bir ağdan en temel farkı, PNN'in eğitim kümesini sadece bir eğitime adımında kullanmasıdır.

PNN bir Bayes-Parzen sınıflandırıcıdır. Olasılıksal sinir ağlarında bir nörondaki aktivasyon fonksiyonu, eğitim örneklerine dayanan istatistiksel yoğunluk fonksiyonundan (PDF)

hesaplanarak türetilmiştir. PNN'in topolojisini oluşturan katmanlar Şekil 3.4'deki gibi şekillendirilirler.

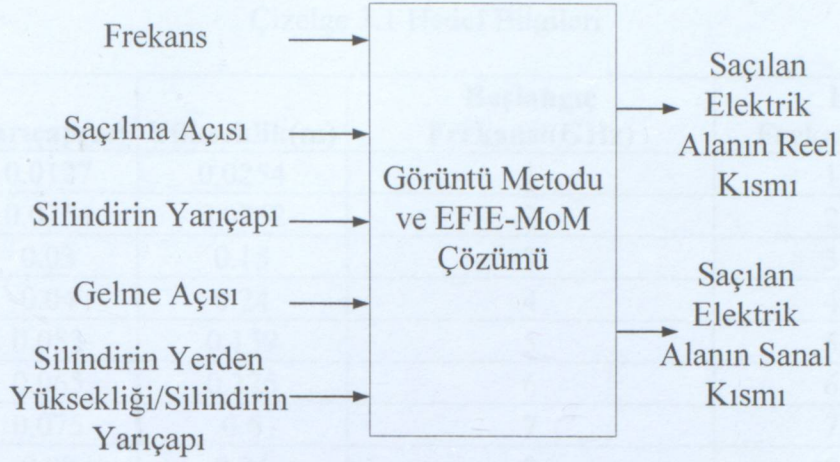


Şekil 3.4 PNN ağ yapısı

Giriş katmanı p boyutlu giriş vektörü uygulanmak üzere p nörona sahiptir. İlk katman her giriş örneği için bir model oluşturur. İkinci gizli katman her sınıf için bir toplama işlemi gerçekleştirir. Her toplama işlemi bir önceki katmandaki çıkışlardan bir toplam belirlemek amacıyla kullanılır. Çıkış katmanı, toplamın çıkışlarından en yüksek olasılığı seçerek karar kuralını uygulamak için oluşturulan katmandır (Zaknich, 1997).

3.3 Veri Kümesinin Oluşturulması

Saçılan elektrik alanın hesaplanmasında kullanılan yöntemin giriş ve çıkışları Şekil 3.5' te gösterilmiştir. Görüntü ve Moment metodu kullanılarak elde edilen çözüm sonucu yani saçılan elektrik alanın reel ve sanal kısımları yapay sinir ağı için giriş vektörlerinden bazılarını oluşturmaktadır.



Şekil 3.5 Görüntü Metodu ve EFIE-MoM çözümünün giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram

Görüntü metodu ve elde edilen elektrik alan integral denklemlerinin Moment metoduyla çözümü ile elde edilen programın girişleri frekans, saçılma açısı, silindirin yarıçapı, gelme açısı ve silindirin yerden yüksekliğinin silindirin yarıçapına oranıdır. Çıkışta ise saçılan toplam elektrik alanın sanal ve reel kısımları elde edilmektedir.

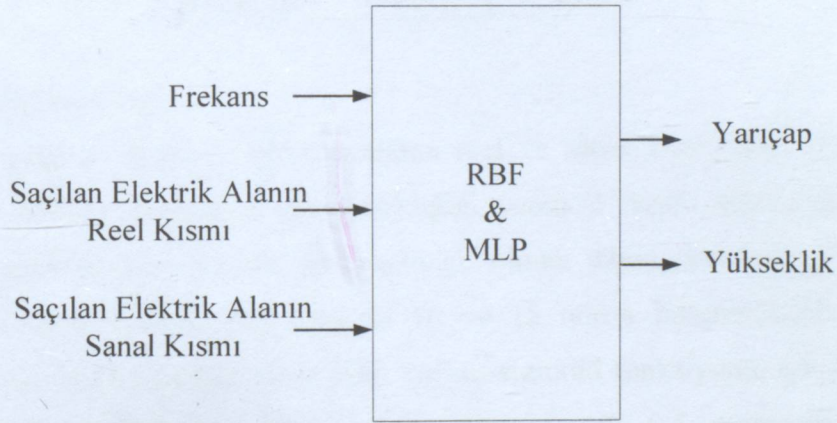
3.4 Mükemmel İletken Düz Yüzey Üzerinde Bulunan Hedeflerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tanımlanması

Bu bölümde yarıçapları ve yükseklikleri birbirinden farklı olan on adet hedef ele alınmıştır. Bu hedeflerin yarıçapları ve yüzeyden olan yükseklikleri ile saçılan elektrik alanın hesaplandığı başlangıç ve bitiş frekansları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Frekans adım büyüklüğü her cisim için 0.004 GHz’dir, böylece her bir hedef için 100’er adet veri toplanmış ve toplamda 1000 adet veri oluşturulmuştur

Çizelge 3.1 Hedef Bilgileri

	Yarıçap(m)	Yükseklik(m)	Başlangıç Frekansı(GHz)	Bitiş Frekansı(GHz)
Hedef 1	0.0127	0.0254	1	1.396
Hedef 2	0.0254	0.0762	2	2.396
Hedef 3	0.03	0.15	3	3.396
Hedef 4	0.04	0.24	4	4.396
Hedef 5	0.053	0.159	5	5.396
Hedef 6	0.065	0.325	6	6.396
Hedef 7	0.075	0.6	7	7.396
Hedef 8	0.08	0.24	8	8.396
Hedef 9	0.0335	0.1005	9	9.396
Hedef 10	0.127	0.508	10	10.396

Bu yapay sinir ağı uygulamasındaki amaç, saçılan elektrik alandan hedeflerin yarıçap ve yüksekliklerinin tespit edilmesidir. Bu amaçla RBF ve MLP kullanılmış, giriş ve çıkışları Şekil 3.6' daki blok diyagram ile gösterilmiştir.



Şekil 3.6 MLP ve RBF Ağlarının giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram

Ağın girişlerine frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısımları girilmiş; çıkışında ise hedefe ait yükseklik ve yarıçap bilgileri elde edilmiştir.

3.4.1 RBF Ağı Sonuçları

RBF ağının girişinde frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısımlarını gösteren 3 nöron, çıkışında ise hedefin yarıçapını ve yüksekliğini veren 2 nöron bulunmaktadır. Yayılm (spread) değeri ise 0.1 olarak seçilmiştir. Test kümesi olarak veri kümesinin yarısı yani 500 adet veri kullanılmış, diğer 500 adet veri de ağı eğitmek için kullanılmıştır. Ağı test başarısı

için her bir çıkış ile asıl çıkış arasındaki fark yüzde olarak bulunmuş ve ortalaması alınarak hata oranı elde edilmiştir. RBF ağının test başarısı %97.91, eğitme başarısı %100 çıkmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından rasgele seçilen 10 frekanstaki girişlere karşılık elde edilen yarıçap ve yükseklik değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelge 3.1’deki değerlerle karşılaştırılabilir.

Çizelge 3.2 RBF Ağının Test Başarısı

	Test Sonuçları	
	Yarıçap(m)	Yükseklik(m)
Hedef 1	0.0127	0.0254
Hedef 2	0.0254	0.0762
Hedef 3	0.03	0.15
Hedef 4	0.04	0.24
Hedef 5	0.053	0.159
Hedef 6	0.065	0.325
Hedef 7	0.075	0.6
Hedef 8	0.08	0.24
Hedef 9	0.0335	0.1005
Hedef 10	0.127	0.508

3.4.2 MLP Ağı Sonuçları

MLP ağının girişinde frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısımlarını gösteren 3 nöron, çıkışında ise hedefin yarıçapını ve yüksekliğini veren 2 nöron bulunmaktadır. Bir giriş katmanı, iki gizli katman, bir de çıkış katmanı olmak üzere dört katmanlı bir MLP ağı kullanılmıştır. Gizli katmanlarda sırasıyla 10 ve 15 nöron bulunmaktadır. Her iki gizli katmanda da aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant-sigmoid fonksiyonu, çıkış katmanında ise saf lineer transfer fonksiyonu kullanılmıştır. Öğrenme oranı 0.5, momentum sabiti ise 0.3 olarak seçilmiştir. Test kümesi olarak veri kümesinin yarısı yani 500 adet veri kullanılmış, diğer 500 adet veri de ağı eğitmek için kullanılmıştır. Ağı test başarısı için her bir çıkış ile asıl çıkış arasındaki fark yüzde olarak bulunmuş ve ortalaması alınarak hata oranı hesaplanmıştır. 100 iterasyondan sonra test başarısı %91.2, eğitme başarısı %99.08 çıkmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından rasgele seçilen 10 frekanstaki girişlere karşılık elde edilen yarıçap ve yükseklik değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Bu değerler Çizelge 3.1’deki değerlerle karşılaştırılabilir.

Çizelge 3.3 MLP Ağının Test Başarısı

	Test Sonuçları	
	Yarıçap(m)	Yükseklik(m)
Hedef 1	0.0129	0.025
Hedef 2	0.0256	0.0749
Hedef 3	0.0285	0.1486
Hedef 4	0.0403	0.2381
Hedef 5	0.0505	0.1589
Hedef 6	0.0663	0.324
Hedef 7	0.0737	0.5901
Hedef 8	0.0771	0.2405
Hedef 9	0.039	0.0916
Hedef 10	0.1279	0.4982

3.4.3 GRNN Ağı Sonuçları

GRNN ağının girişinde frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısımlarını gösteren 3 nöron, çıkışında ise hedefin yarıçapını ve yüksekliğini veren 2 nöron bulunmaktadır. RBF ve MLP ağlarından farklı bir uygulama yapılmıştır. Bu sefer amaç eğitime kümesinde olmayan bir cismin yarıçapını ve yüksekliğini bulmaktır. Bunun için test kümesi olarak Çizelge 3.1'deki hedef 3'ün verileri kullanılmış, diğer hedefin verileri eğitime kümesini oluşturmuştur. Böylece test kümesinde 100 veri bulunurken, eğitime kümesinde 900 veri bulunmaktadır. Yayılım değeri 0.9 olarak alınmış ve test başarısı için her bir çıkış ile asıl çıkış arasındaki fark yüzde olarak bulunmuş ve ortalaması alınarak hata oranı hesaplanmıştır. Test başarısı %80.85, eğitime başarısı %99.46 çıkmıştır. Örnek teşkil etmesi açısından rasgele seçilen 10 frekanstaki girişlere karşılık elde edilen yarıçap ve yükseklik değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. Bu değerler Çizelge 3.1'deki hedef 3'ün değerleriyle karşılaştırılabilir.

Çizelge 3.4 GRNN Ağının Test Başarısı

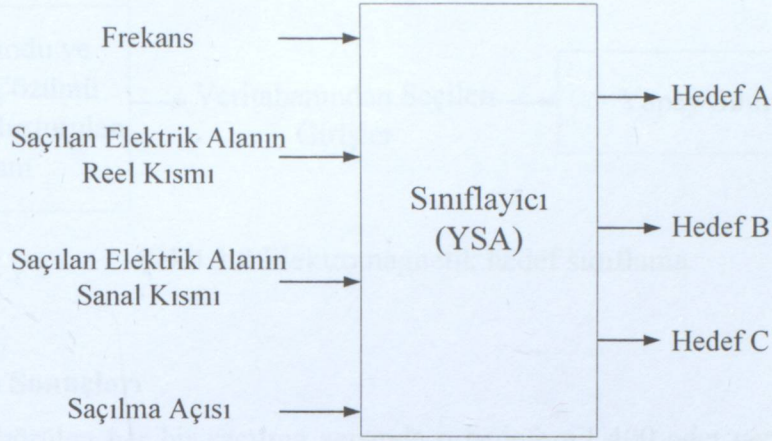
	Test Sonuçları	
	Yarıçap (m)	Yükseklik (m)
Frekans 1	0.032	0.1470
Frekans 2	0.0321	0.1476
Frekans 3	0.0322	0.1481
Frekans 4	0.0322	0.1487
Frekans 5	0.0323	0.1493
Frekans 6	0.0324	0.1498
Frekans 7	0.0324	0.1504
Frekans 8	0.0325	0.151
Frekans 9	0.0326	0.1515
Frekans 10	0.0326	0.1521

3.5 Ağ Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Silindirik hedeften saçılan elektromagnetik dalganın elektrik alan bileşeni hesaplanarak yapay sinir ağı uygulamasında kullanılan bir veri kümesini oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı çıkışında amaç, hedefe ait yarıçapı ve hedefin yerden yüksekliğini tespit etmektir. Bu amaçla MLP ve RBF mevcut olan hedefler ile test edilmiş ve RBF ağına MLP'ye oranla daha yüksek bir başarı elde edilmiştir. GRNN ağına ise RBF ve MLP'den farklı olarak eğitime kümesinde test için kullanılan cisme ait hiçbir veri bulunmadan o cisme ait yüksekliği ve yarıçapı bulmak amaçlanmıştır. Böylece hedef yapısı, anten kazancı ya da kaybı gibi parametrelerden bağımsız olarak elektrik alan özelliklerinden hedefe ait özellikler yüksek doğrulukla tespit edilebilmektedir.

3.6 Mükemmel İletken Düz Yüzey Üzerinde Bulunan Hedeflerin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Sınıflandırılması

Bu bölümde yapay sinir ağları kullanılarak radar hedeflerinin sınıflandırılması amaçlanmaktadır (Daqing ve Zheng, 1996). Görüntü metodu ve Moment metodu kullanılarak silindirik hedeften saçılan dalgalar hesaplanmış ve belirli açılarda üç silindirik hedeften saçılan dalgalara göre veri kümesi oluşturulmuştur.



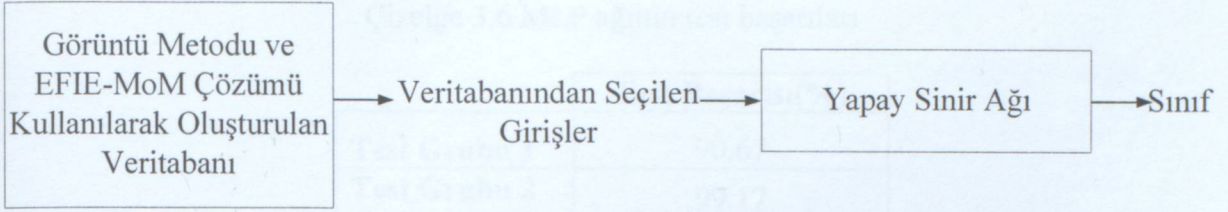
Şekil 3.7 Elektromagnetik sınıflayıcının genel blok diagramı

Şekil 3.7’de de görüldüğü gibi sınıflayıcının girişlerini EFIE-MoM çözümüyle elde ettiğimiz elektrik alanının reel ve sanal kısımları, frekans ve saçılma açısı oluşturmaktadır. Çıkışta ise saçılan elektrik alanının hangi cisimden geldiği bilgisi alınmaktadır.

Çizelge 3.5 Üç hedefe ait veriler

	Yarıçap (m)	Yükseklik (m)	Saçılma Açısı (°)	Başlangıç Frekansı (GHz)	Bitiş Frekansı (GHz)
Hedef A	0.0127	0.127	10	1	1.396
			20	2	2.396
			30	3	3.396
			40	4	4.396
Hedef B	0.0635	0.127	10	1	1.396
			20	2	2.396
			30	3	3.396
			40	4	4.396
Hedef C	0.0254	0.127	10	1	1.396
			20	2	2.396
			30	3	3.396
			40	4	4.396

Şekil 3.8’de elektromagnetik hedef sınıflamanın blok diyagramı gösterilmiştir. Sınıflayıcı MLP ve istatistiksel sinir ağları dediğimiz RBF, GRNN ve PNN ile tasarlanmış ve bu ağların kendi aralarında karşılaştırmaları yapılmıştır.



Şekil 3.8 Elektromagnetik hedef sınıflama

3.6.1 MLP Ağı Sonuçları

Çizelge 3.5’te görülen her bir saçılma açısında o hedefe ait 400 adet veri yani elektrik alan bilgisi elde edilmiştir. Veri kümesi toplamda 1200 adet veriden oluşmaktadır. Bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşan üç katmanlı bir MLP ağı kullanılmıştır. Giriş katmanında Şekil 3.5’de de görüldüğü gibi frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısmı ve saçılma açısını temsil eden 4 nöron kullanılmıştır. Gizli katmanda 8 nöron, çıkış katmanında ise üç cismi temsil eden 2 nöron kullanılmıştır. Kullanılan aktivasyon fonksiyonları ise gizli katmanda logaritmik sigmoid, çıkış katmanında ise saf lineer fonksiyon aktivasyon fonksiyonudur. Öğrenme oranı 0.5, momentum sabiti ise 0.3 olarak seçilmiştir.

Çözümü güçlendirmek ve ağıın genelleme yeteneğini ortaya koymak için k-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılmıştır. Çapraz geçerlilik (cross validation) yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi bir değerlendirme metodudur. Bu yöntemde eğitim sırasında tüm veriyi girmek yerine, eğitimden önce bu verinin bir kısmı ayrılır ve eğitim yapıldıktan sonra test amaçlı kullanılır. Böylece veri kümesi eğitime ve test verisi olmak üzere iki kısma ayrılmış olur. Buna “hold-out method” adı verilmektedir ve çapraz geçerlilik yönteminin en basit şeklidir. K-katlamalı çapraz geçerlilik (k-fold cross validation) yönteminde ise veri kümesi k tane alt veri kümesine ayrılır ve “hold-out method” k kere tekrarlanır. Bu alt kümelerin bir tanesi test için kullanılırken diğerleri eğitim için kullanılır. Bu çalışmada k sayısı 10’dur ve her bir test kümesinde 120 adet veri bulunmaktadır. 100 iterasyondan sonra her bir test kümesi için ağıın test ve eğitime başarısı Çizelge 3.6’ da verilmiştir. Bu başarı oranları girilen verilerden kaç tanesinin doğru hedefe ait olduğunu göstermektedir. Ağıın genel başarısı test için %87.4, eğitime için %100 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.6 MLP ağının test başarıları

	Test Başarısı(%)
Test Grubu 1	90.67
Test Grubu 2	99.17
Test Grubu 3	89.25
Test Grubu 4	98
Test Grubu 5	83.16
Test Grubu 6	80.08
Test Grubu 7	78.75
Test Grubu 8	92.17
Test Grubu 9	78.42
Test Grubu 10	84.34
Ortalama Doğruluk	87.4

3.6.2 İstatistiksel Sinir Ağı Sonuçları

MLP ağında kullanılan veri kümesi 5-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılarak istatistiksel sinir ağları için kullanılmıştır. Yani veri kümesi 5 parçaya ayrılmış ve bu parçalardan her biri ayrı ayrı test kümesi olarak kullanılıp, ağın başarıları olarak bu testlerin ortalaması alınmıştır. Ağın girişlerini frekans, saçılma açısı ve Şekil 3.5'den elde edilen elektrik alanının reel ve sanal kısımları oluşturmaktadır. Hedef sınıflama için istatistiksel sinir ağları olan radyal temelli fonksiyon ağları, genelleştirilmiş regresyon ağları ve olasılıksal sinir ağları kullanılmıştır. Burada kullanılan ağ yapılarının hepsinin giriş katmanında dört özellik kullandığımız için dört nöron bulunmaktadır. Çıkış katmanında ise RBF ve GRNN' de üç cismi temsil eden 2 nöron, PNN de ise tek nöron bulunmaktadır. Her biri için belirlenen yayılım değerleri RBF, PNN ve GRNN için sırasıyla 0.2, 0.02 ve 0.01' dir. Her bir ağ için elde edilen test ve eğitme başarıları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

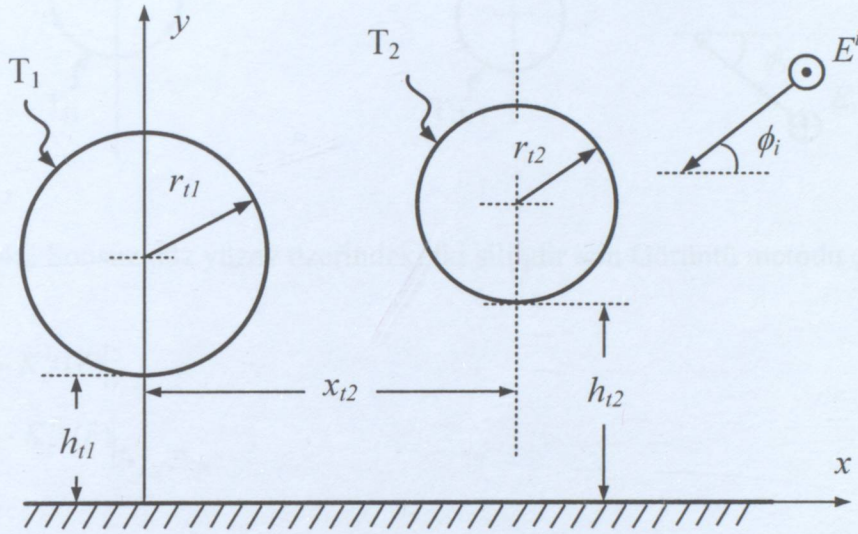
Çizelge 3.7 Ağ yapılarının test başarıları

	RBF (%)	PNN (%)	GRNN (%)
Eğitme Başarısı	100	100	33.33
Test Başarısı	89.3	85.56	33.33

Çizelge 3.7'den de anlaşılacağı gibi bu çalışmada RBF hedef sınıflayıcının oldukça iyi sonuç verdiği gözlenmektedir. GRNN ise eğitime kümesini ezberlemiş ve test kümesini kabul edilebilir seviyede doğru sınıflayacak kadar genelleme yapamamıştır.

4. SONSUZ UZUN MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN İKİ SİLİNDİR HEDEFTEN SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN HESAPLANMASI

Bu bölümde mükemmel iletken sonsuz düz bir yüzey üzerinde bulunan iki cisimden saçılan elektrik alan hesaplanacaktır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi yarıçapı r_{1l} , yüksekliği h_{1l} olan birinci hedef T_1 ile gösterilmiş; yarıçapı r_{12} , yüksekliği h_{12} olan ikinci hedef T_2 ile gösterilmiştir. İki cisim arasındaki mesafe x_{12} 'dir.



Şekil 4.1 Sonsuz düz yüzey üzerindeki iki silindirik hedef

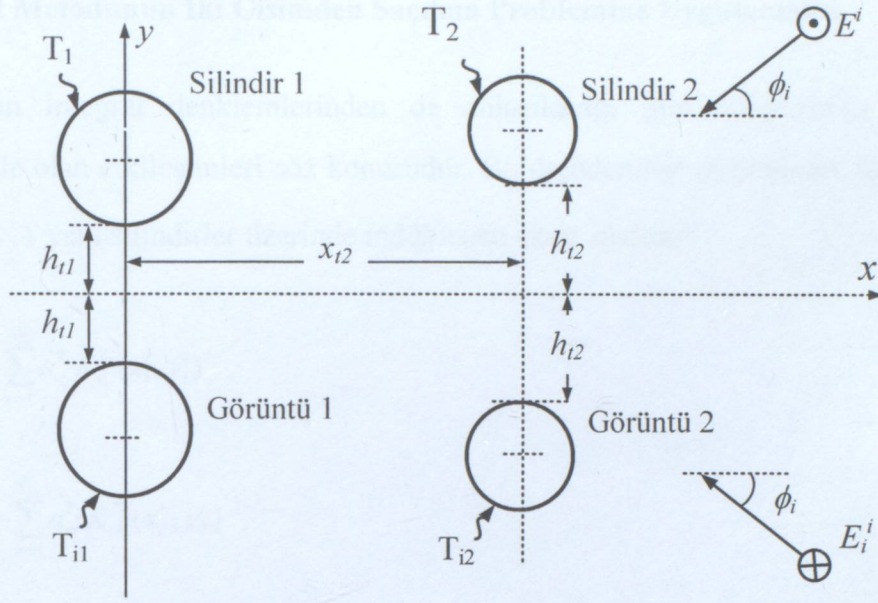
Görüntü metodu yardımı ile sonsuz düz yüzey, silindirler ve gelen dalganın görüntüsü ile yer değiştirir. Saçılan elektrik alan ise silindirlerin üzerinde oluşan akımlar ile görüntülerin akımlarının toplamına eşittir ve

$$E_z^s(\vec{r}) = M_{T_1}(\vec{r}, \vec{r}_1') K_z^{T_1}(\vec{r}_1') + M_{T_{1l}}(\vec{r}, \vec{r}_1') K_z^{T_{1l}}(\vec{r}_1') + M_{T_2}(\vec{r}, \vec{r}_2') K_z^{T_2}(\vec{r}_2') + M_{T_{2l}}(\vec{r}, \vec{r}_2') K_z^{T_{2l}}(\vec{r}_2') \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilir. Silindir akımları ile görüntü akımları arasındaki ilişki

$$\begin{aligned} M_{T_{1l}}(x, y | x_1', y_1') &= M_{T_1}(x, y | x_1', -y_1') \\ M_{T_{2l}}(x, y | x_2', y_2') &= M_{T_2}(x, y | x_2', -y_2') \end{aligned} \quad (4.2)$$

şeklinde dir. Burada x_1, y_1 birinci hedef üzerindeki noktaları, x_2, y_2 ise ikinci hedef üzerindeki noktaları göstermektedir. Bu eşitlik kullanılarak



Şekil 4.2 Sonsuz düz yüzey üzerindeki iki silindir için Görüntü metodu çözümü

$$\begin{aligned} K_z^{T_{i1}}(\vec{r})\big|_{T_{i1}} &= -K_z^{T_1}(\vec{r})\big|_{T_1} \\ K_z^{T_{i2}}(\vec{r})\big|_{T_{i2}} &= -K_z^{T_2}(\vec{r})\big|_{T_2} \end{aligned} \quad (4.3)$$

yazılabilir. Sınır koşulu olan

$$E_z^i(x, y) + E_z^s(x, y) = 0 \quad (4.4)$$

(4.1) eşitliğine uygulanırsa

$$\begin{aligned} & (M_{T_1}(x_1, y_1|x'_1, y'_1) - M_{T_1}(x_1, y_1|x'_1, -y'_1))K_z^{T_1}(x'_1, y'_1) + (M_{T_2}(x_1, y_1|x'_2, y'_2) - M_{T_2}(x_1, y_1|x'_2, -y'_2))K_z^{T_2}(x'_2, y'_2) \\ &= -E_z^i(x_1, y_1) \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} & (M_{T_1}(x_2, y_2|x'_1, y'_1) - M_{T_1}(x_2, y_2|x'_1, -y'_1))K_z^{T_1}(x'_1, y'_1) + (M_{T_2}(x_2, y_2|x'_2, y'_2) - M_{T_2}(x_2, y_2|x'_2, -y'_2))K_z^{T_2}(x'_2, y'_2) \\ &= -E_z^i(x_2, y_2) \end{aligned} \quad (4.6)$$

şeklinde birinci ve ikinci silindirden saçılan elektrik alan integral denklemleri elde edilir.

4.1 Moment Metodunun İki Cisimden Saçılma Problemine Uygulanması

Elektrik alan integral denklemlerinden de anlaşılacağı gibi silindirlerin birbiriyle ve görüntüleriyle olan etkileşimleri söz konusudur. Bu denklemleri çözebilmek için $K_z^{T_1}(x'_1, y'_1)$ ve $K_z^{T_2}(x'_2, y'_2)$ yani silindirler üzerinde indüklenen akım ifadeleri

$$K_z^{T_1}(x'_1, y'_1) = \sum_{n=1}^{N_{T_1}} a_n^{T_1} K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) \quad (4.7)$$

$$K_z^{T_2}(x'_2, y'_2) = \sum_{m=1}^{N_{T_2}} a_m^{T_2} K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) \quad (4.8)$$

şeklinde darbe fonksiyonları cinsinden yazılır. Birinci hedefin yüzeyinde N_{T_1} , ikinci hedefin yüzeyinde N_{T_2} tane nokta bulunmaktadır ve $K_z^{T_1}(x'_1, y'_1)$ L_n segmentinde, $K_z^{T_2}(x'_2, y'_2)$ L_m segmentinde tanımlıdır. Bu durumda (4.5) ve (4.6) eşitlikleri

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{N_{T_1}} a_n^{T_1} [M_{T_1}(x_l, y_l | x'_1, y'_1) - M_{T_1}(x_l, y_l | x'_1, -y'_1)] K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) + \sum_{m=1}^{N_{T_2}} a_m^{T_2} [M_{T_2}(x_l, y_l | x'_2, y'_2) - M_{T_2}(x_l, y_l | x'_2, -y'_2)] K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) \\ & = -E_z^l(x_l, y_l) \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$l = 1, 2, 3 \dots N_{T_1}$$

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{N_{T_1}} a_n^{T_1} [M_{T_1}(x_k, y_k | x'_1, y'_1) - M_{T_1}(x_k, y_k | x'_1, -y'_1)] K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) + \sum_{m=1}^{N_{T_2}} a_m^{T_2} [M_{T_2}(x_k, y_k | x'_2, y'_2) - M_{T_2}(x_k, y_k | x'_2, -y'_2)] K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) \\ & = -E_z^k(x_k, y_k) \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$k = 1, 2, 3 \dots N_{T_2}$$

(4.9) eşitliği matrisel formda yazılacak olursa

$$Aa_{T_1} + Ba_{T_2} = b_{T_1} \quad (4.11)$$

burada A, $N_{T_1} \times N_{T_1}$ matrisini, B ise $N_{T_1} \times N_{T_2}$ matrisini göstermekte ve b_{T_1}

$$b_{T_1} = \frac{8j}{k_0 \eta_0} E_0 e^{jk_0(x_l \cos \phi_l)} \sin(k_0 y_l \sin \phi_l) \quad (4.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

(4.10) eşitliği matrissel formda yazılacak olursa

$$Ca_{T_1} + Da_{T_2} = b_{T_2} \quad (4.13)$$

burada C $N_{T_2} \times N_{T_1}$ matrisini, D ise $N_{T_2} \times N_{T_2}$ matrisini göstermekte ve b_{T_2}

$$b_{T_k} = \frac{8j}{k_0 \eta_0} E_0 e^{jk_0(x_k \cos \phi_l)} \sin(k_0 y_k \sin \phi_l) \quad (4.14)$$

şeklinde dir. En genel halde matrissel formda

$$\begin{bmatrix} A_l & B_l \\ C_k & D_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{T_1} \\ a_{T_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{T_1} \\ b_{T_k} \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

şeklinde ifade edilmektedir. A , B , C ve D numerik integrasyon metodu ile

$$A_{l,n} = \int_{L_n}^{T_1} K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) \left(H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x'_1)^2 + (y_l - y'_1)^2} \right) - H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x'_1)^2 + (y_l + y'_1)^2} \right) \right) dl' \quad (4.16)$$

$$B_{l,m} = \int_{L_m}^{T_2} K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) \left(H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x'_2)^2 + (y_l - y'_2)^2} \right) - H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_l - x'_2)^2 + (y_l + y'_2)^2} \right) \right) dl' \quad (4.17)$$

$$C_{k,n} = \int_{L_n}^{T_1} K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) \left(H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_k - x'_1)^2 + (y_k - y'_1)^2} \right) - H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_k - x'_1)^2 + (y_k + y'_1)^2} \right) \right) dk' \quad (4.18)$$

$$D_{k,m} = \int_{L_m}^{T_2} K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) \left(H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_k - x'_2)^2 + (y_k - y'_2)^2} \right) - H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_k - x'_2)^2 + (y_k + y'_2)^2} \right) \right) dk' \quad (4.19)$$

olarak hesaplanırlar. Yüzey segmentleri boyunca hedefler üzerindeki akımlar

$$K_n^{T_1}(x'_1, y'_1) = \begin{cases} 1 & (x'_1, y'_1) \in L_n \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (4.20)$$

$$K_m^{T_2}(x'_2, y'_2) = \begin{cases} 1 & (x'_2, y'_2) \in L_m \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (4.21)$$

şeklinde sabit değerler alır. $l = n$ durumunda kaynak noktasına gelindiğinden hesap zorlaşır ve Hankel fonksiyonu küçük değerler için yaklaşık olarak

$$H_0^{(2)}(k_0 u_L) \approx 1 - j \frac{2}{\pi} \left(\ln \left(\frac{k_0 u_L}{2} \right) - 1 \right) \quad k_0 u_L \ll 1 \quad (4.22)$$

olur ve köşegen matris

$$A_{n,n} = \Delta_{T_1} \left[1 - j \frac{2}{\pi} \left(\ln \left(\frac{k_0 \gamma}{4} \Delta_{T_1} \right) - 1 \right) \right] - \int_{L_n} H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_n - x'_1)^2 + (y_n + y'_1)^2} \right) dl' \quad (4.23)$$

olarak hesaplanır.

$k = m$ durumunda da

$$D_{m,m} = \Delta_{T_2} \left[1 - j \frac{2}{\pi} \left(\ln \left(\frac{k_0 \gamma}{4} \Delta_{T_2} \right) - 1 \right) \right] - \int_{L_k} H_0^{(2)} \left(k_0 \sqrt{(x_m - x'_2)^2 + (y_m + y'_2)^2} \right) dk' \quad (4.24)$$

olarak hesaplanır. Bu ifadeler ve Hankel fonksiyonları ifadeleri

$$H_0^2(k_0 |\vec{r} - \vec{r}'|) \cong \sqrt{\frac{2j}{k_0 \pi}} \frac{e^{-jk_0 r}}{\sqrt{r}} e^{jk_0 (x' \cos \phi_s - y' \sin \phi_s)} \quad |\vec{r}| \gg |\vec{r}'| \quad (4.25)$$

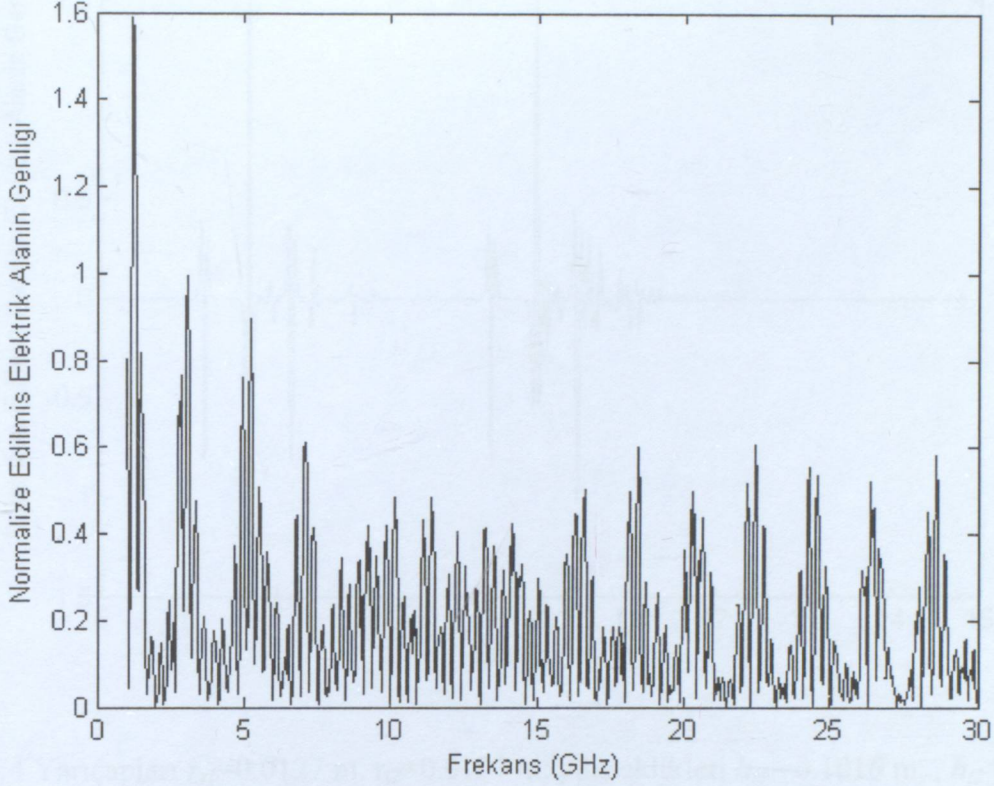
yerine konulduğunda saçılan elektrik alan ifadesi

$$E_z^s(\vec{r}) = -\eta_0 \sqrt{\frac{-jk_0}{8\pi}} \frac{e^{jkr}}{\sqrt{r}} \left[\sum_{n=1}^{N_{T1}} a_n^{T_1} \int_{L_n} e^{jk_0 (x' \cos \phi_s + y' \sin \phi_s)} dl' + \sum_{m=1}^{N_{T2}} a_n^{T_2} \int_{L_n} e^{jk_0 (x' \cos \phi_s + y' \sin \phi_s)} dk' \right] \quad (4.26)$$

4.2 Nümerik Sonuçlar

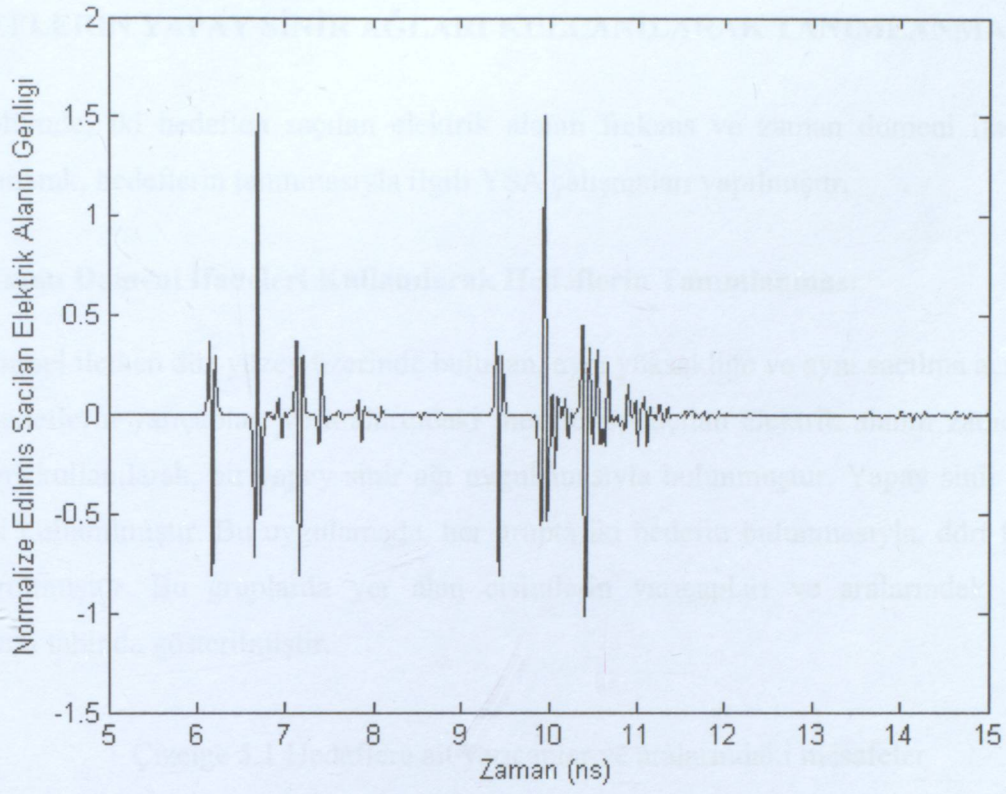
Sonsuz uzun düz bir yüzey üzerinde bulunan iki silindirden saçılan elektrik alanın hesaplanması için Görüntü metodu ve Moment metodu yöntemleri kullanılmıştır. Frekans domeninde 1 GHz'den 30 GHz'e kadar 0.04 GHz aralıklarla değişen 726 tane frekans noktası

elde edilmiştir. Saçılan toplam elektrik alanın frekans domenindeki ifadesi Şekil 4.3' te gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Yarıçapları $r_{11}=0.0127$ m, $r_{12}=0.0127$ m; yükseklikleri $h_{11}=0.1016$ m, $h_{12}=0.1016$ m ve aralarındaki mesafe $x_{12}=0.635$ m olan silindirik hedeflerden saçılan toplam elektrik alanın frekans domenindeki cevabı

Ters Fourier Dönüşümü kullanılarak zaman domeni ifadesi elde edilmiştir. Şekil 4.4'ten de anlaşılacağı üzere birinci grup yansıma ilk cisimden, ikinci grup yansıma ikinci cisimden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.4 Yarıçapları $r_{11}=0.0127$ m, $r_{12}=0.0127$ m; yükseklikleri $h_{11}=0.1016$ m, $h_{12}=0.1016$ m ve aralarındaki mesafe $x_{12}=0.635$ m olan silindirik hedeflerden saçılan toplam elektrik alanının zaman domenindeki cevabı

5. MÜKEMMEL İLETKEN DÜZ YÜZEY ÜZERİNDE BULUNAN ÇOKLU HEDEFLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK TANIMLANMASI

Bu bölümde, iki hedeften saçılan elektrik alanın frekans ve zaman domeni ifadelerinden yararlanarak, hedeflerin tanınmasıyla ilgili YSA çalışmaları yapılmıştır.

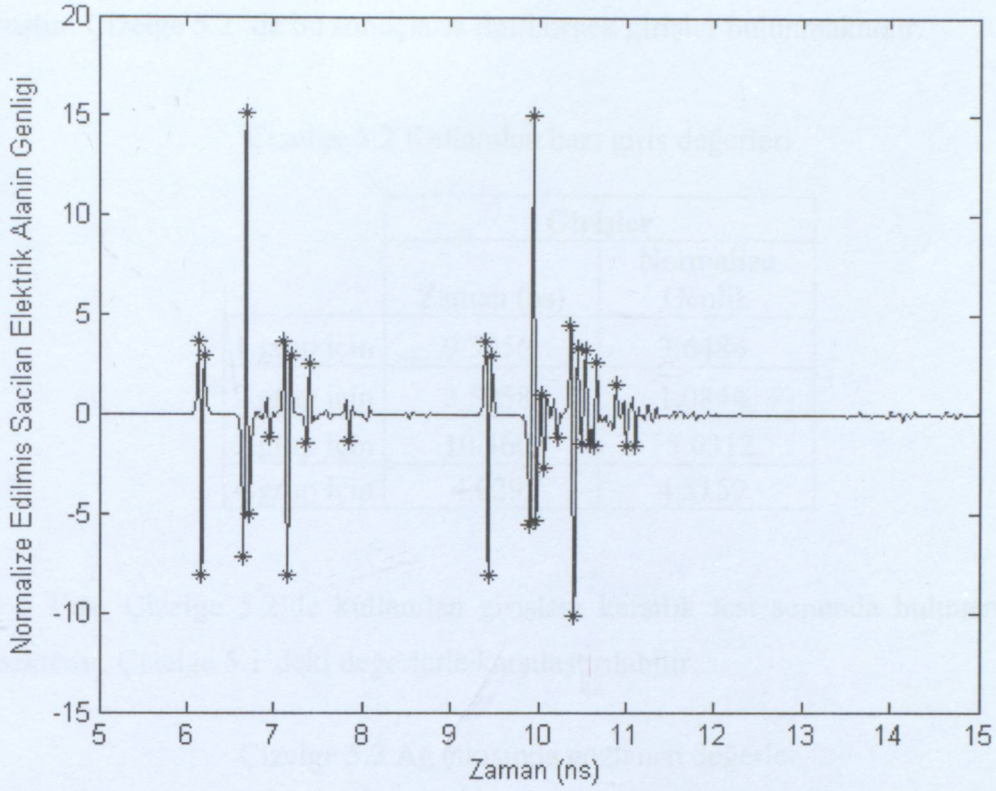
5.1 Zaman Domeni İfadeleri Kullanılarak Hedeflerin Tanımlanması

Mükemmel iletken düz yüzey üzerinde bulunan, aynı yüksekliğe ve aynı saçılma açısına sahip olan hedeflerin yarıçapları ve aralarındaki mesafeler, saçılan elektrik alanın zaman domeni ifadeleri kullanılarak, bir yapay sinir ağı uygulamasıyla bulunmuştur. Yapay sinir ağı olarak GRNN kullanılmıştır. Bu uygulamada, her grupta iki hedefin bulunmasıyla, dört farklı grup oluşturulmuştur. Bu gruplarda yer alan cisimlerin yarıçapları ve aralarındaki mesafeler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Hedeflere ait yarıçaplar ve aralarındaki mesafeler

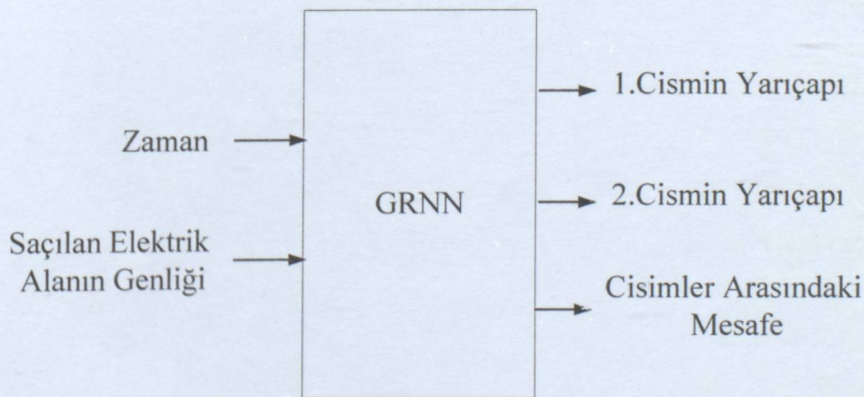
	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup
1.Hedefin Yarıçapı (m)	0.0127	0.0127	0.0254	0.0254
2.Hedefin Yarıçapı (m)	0.0127	0.0254	0.0127	0.0254
Hedefler Arasındaki Mesafe (m)	0.635	1.27	0.635	1.27

Ağın girişi için kullanılacak giriş vektörleri, saçılan toplam elektrik alanın 1 GHz-30 GHz arasındaki frekans cevabının, zaman domeni ifadesindeki karşılığı kullanılarak bulunmuştur. Yalnız zaman domeninde elde edilen ifadede her bir grup için 4096 adet veri elde edildiğinden, bu veri sayısını azaltmak için ifadenin artış ve azalış yaptığı noktalar bulunmuş ve Şekil 5.1’de görüldüğü üzere 1 ile (-1) arasındaki değerler atılmıştır.



Şekil 5.1 Saçılan elektrik alanının genliğindeki artan ve azalan noktalar

Bulunan noktalardaki zaman ifadesiyle, o zamana ait elektrik alan genlik değeri yapay sinir ağının girişlerini oluşturmuştur. Yapay sinir ağı için kullanılan veri kümesinde toplam 105 adet veri bulunmaktadır. Ağın test başarısı için bu verilerin 49 adeti test için kullanılmıştır. Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi çıkışlar, birinci ve ikinci hedeflerin yarıçapları ile aralarındaki mesafedir. Dolayısıyla GRNN ağının girişinde 2 nöron, çıkışında ise 3 nöron bulunmaktadır. Yayılım değeri olarak 0.5 kullanılmıştır.



Şekil 5.2 GRNN ağının uygulamadaki giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram

GRNN ağıının bu uygulama için eğitme başarısı %75.79, test başarısı ise %64.95 olarak bulunmuştur. Çizelge 5.2 'de bu sonuçlarla ilgili örnek girişler bulunmaktadır.

Çizelge 5.2 Kullanılan bazı giriş değerleri

	Girişler	
	Zaman (ns)	Normalize Genlik
1.grup için	9.3956	3.6484
2.grup için	3.5958	1.0844
3.grup için	10.3602	5.0312
4.grup için	4.0293	4.5159

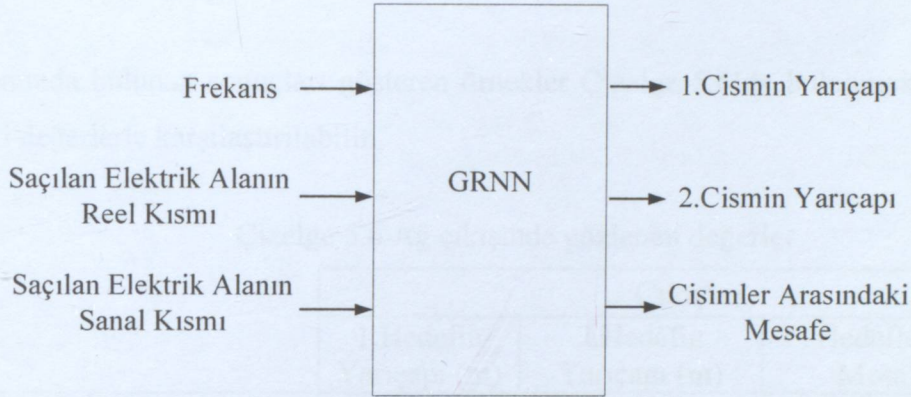
Çizelge 5.3'de, Çizelge 5.2'de kullanılan girişlere karşılık test sonunda bulunan sonuçları göstermektedir. Çizelge 5.1'deki değerlerle karşılaştırılabilir.

Çizelge 5.3 Ağ çıkışında gözlenen değerler

		Çıkışlar		
		1.Hedefin Yarıçapı (m)	2.Hedefin Yarıçapı (m)	Hedefler Arası Mesafe (m)
Test Sonuçları	1.grup için	0.0190	0.0127	0.635
	2.grup için	0.0192	0.0254	1.27
	3.grup için	0.0195	0.0127	0.635
	4.grup için	0.0190	0.0254	1.27

5.2 Frekans Domeni İfadeleri Kullanılarak Hedeflerin Tanımlanması

Bu bölümde mükemmel iletken düz yüzey üzerinde bulunan ve aynı yüksekliğe sahip olan hedeflerin yarıçapları ve aralarındaki mesafeler, frekans domeni ifadeleri kullanılarak bir yapay sinir ağı uygulamasıyla bulunacaktır. Yapay sinir ağı olarak GRNN kullanılmıştır. Çizelge 5.1'deki aynı gruplar kullanılmıştır.



Şekil 5.3 GRNN ağının uygulamadaki giriş ve çıkışlarını gösteren blok diyagram

Uygulamada kullanılan gruplar için veri kümesi oluşturmak için kullanılan frekans aralıkları, toplam örnek sayıları ve test için kullanılan örnek sayıları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.4 Eğitim ve test kümelerini oluşturmak için kullanılan gruplara ait bilgiler

	1.Grup	2.Grup	3.Grup	4.Grup
Başlangıç Frekansı (GHz)	1	4	7	10
Bitiş Frekansı (GHz)	3.96	6.96	9.96	12.96
Toplam Örnek Sayısı	75	75	75	75
Test İçin Kullanılan Örnek Sayısı	25	25	25	25

Veri kümesinde toplam 300 adet örnek bulunmaktadır. Bu örneklerden Çizelge 5.4'den anlaşılacağı üzere 100 adeti test amaçlı kullanılmıştır. GRNN'de yayılım değeri 0.09 olarak alınmış ve bunun sonucunda eğitim ve test başarısında %100 başarı gözlenmiştir. Çizelge 5.5'de bu sonuçlarla ilgili girişler verilmiştir.

Çizelge 5.5 Kullanılan bazı giriş değerleri

	Girişler		
	Frekans (GHz)	Reel Kısım	Sanal Kısım
1.grup için	2	3.3237	0.3926
2.grup için	5.68	-0.5228	0.4184
3.grup için	8.2	0.0168	0.1306
4.grup için	11	-0.2115	0.0069

Test sonunda bulunan sonuçları gösteren örnekler Çizelge 5.6’da bulunmaktadır ve Çizelge 5.1’deki değerlerle karşılaştırılabilir.

Çizelge 5.6 Ağ çıkışında gözlenen değerler

		Çıkışlar		
		1.Hedefin Yarıçapı (m)	2.Hedefin Yarıçapı (m)	Hedefler Arası Mesafe (m)
Test Sonuçları	1.grup için	0.0127	0.0127	0.635
	2.grup için	0.0127	0.0254	1.27
	3.grup için	0.0254	0.0127	0.635
	4.grup için	0.0254	0.0254	1.27

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere, elektrik alanın frekans domenı cevabı, zaman domenı ifadesine göre yapay sinir ağı için daha iyi sonuç veren giriş vektörlerini oluşturmaktadır.

6.SONUÇLAR

Sonsuz uzun, mükemmel iletken düz yüzey üzerinde bulunan, silindirik bir hedeften saçılan toplam elektromagnetik dalganın elektrik alan ifadesi, Görüntü ve Moment metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Öncelikle yüzeyimiz Görüntü metodu kullanılarak, hedefin ve gelen elektrik alanın görüntüsüyle yer değiştirmiş, daha sonrada hedefimiz ve görüntüsü lineer segmentlere ayrılarak, yüzey akımları Moment metoduyla matrissel halde yazılıp, çözülmüştür. Bunun sonucunda elde edilen elektrik alanın reel ve sanal kısımları yapay sinir ağı için giriş vektörlerinden bazılarını oluşturmuştur. Çok katmanlı algılayıcılar (MLP), radyal temelli fonksiyon ağları (RBF), genelleştirilmiş regresyon ağları (GRNN) ve olasılıksal sinir ağları (PNN) kullanılarak, hedef tanıma ve sınıflama çalışmaları yapılmıştır.

Öncelikle hedef tanıma için yarıçapları ve yükseklikleri birbirinden farklı olan on hedef seçilmiş ve bunlardan saçılan toplam elektrik alan ifadelerinden yararlanılarak veri kümesi oluşturulmuştur. YSA'nın girişlerine frekans, elektrik alanın reel ve sanal kısımları uygulanmış, çıkışta ise hedefin yarıçap ve yükseklik bilgileri elde edilmiştir. Bu uygulama için RBF ve MLP kullanılmış ve RBF, MLP'ye göre daha iyi sonuç vermiştir. Aynı veri kümesini kullanarak GRNN ile farklı bir uygulama yapılmıştır. Veri kümesinde olmayan bir hedef-test için kullanılırken diğer hedefler eğitmede kullanılmıştır. Hedef sınıflama uygulaması ise üç hedef için gerçekleştirilmiş ve bu üç hedefe ait veri kümesi oluşturulmuştur. Bu uygulama için 10-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılarak MLP ile bir uygulama, 5-katlamalı çapraz geçerlilik yöntemi kullanılarak istatistiksel sinir ağları ile bir uygulama yapılmıştır. İstatistiksel sinir ağlarında RBF oldukça iyi bir sınıflayıcı iken, GRNN kabul edilebilir seviyede iyi bir sınıflama yapamamıştır.

Ele aldığımız yüzey modeli üzerinde çoklu hedef bulunması durumunda, yapay sinir ağının performansını ölçmek için, sonsuz uzun, mükemmel iletken düz yüzey üzerine iki silindirik hedef yerleştirilmiştir. Görüntü ve Moment metodu kullanılarak, iki cisimden saçılan toplam elektrik alan hesaplanmıştır. İlk önce Ters Fourier Dönüşümü ile saçılan toplam elektrik alanın zaman domeni ifadesi elde edilmiş ve veri kümesini oluşturmak için bu ifadenin artış ve azalış yaptığı noktalar bulunmuştur. Veri kümesinde kullanılan hedefleri, her bir grup iki silindirik hedeften oluşmak üzere dört grup oluşturmuştur. Yapay sinir ağı olarak GRNN kullanılmış, girişine zaman ve elektrik alanın genliği uygulanmış, çıkışında ise hedeflerin yarıçapları ile aralarındaki mesafe bilgisi alınmıştır. Aynı uygulama elektrik alanın frekans domeni ifadesi kullanılarak da yapılmış ve daha yüksek bir sonuç elde edilmiştir. Yani, böyle bir uygulama için, frekans domeni ifadelerinin kullanılması, zaman domeni ifadelerine göre daha uygun olmuştur.

Böylece hedef yapısı, anten kazancı ya da kaybı gibi parametrelerden bağımsız olarak elektrik alan özelliklerinden hedef tespit edilebilmiştir. Bu tür çalışmalar özellikle hedef tanıma için pratik uygulamalardır ve bunlardan farklı olarak, ele alınan yüzey mükemmel iletken olarak değil, iletkenlik değerleri de hesaba katılarak yapılabilir. Geleceğe yönelik bir başka çalışma da, yüzey üstünde değil de yüzey altında olan cisimlerle ilgili hedef tanıma uygulamaları olabilir.

Konuyla ilgili yapılan yayınlar:

Makal, S., Kızılay, A., (2007), "Identification of Targets above Perfectly Conducting Surfaces by Using Artificial Neural Networks", Mediterreanean Microwave Symposium (MMS 2007), 14-16 May 2007, Budapest, Hungary

Makal, S., Kızılay, A., (2007), "Mükemmel İletken Düz Yüzeyler Üzerindeki Silindirik Hedeflerin İstatistiksel Sinir Ağları İle Sınıflandırılması", Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2007), 11-13 Haziran 2007, Eskişehir, Türkiye

Makal, S., Kızılay, A., (2007), "Classification of Cylindrical Targets above Perfectly Conducting Flat Surfaces by Multilayer Perceptrons", International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA 2007), 20-23 June 2007, İstanbul, Turkey

Kızılay, A., Makal, S., (2007), "Identification of Multiple Cylindrical Targets Located above Perfectly Conducting Flat Surface by Artificial Neural Networks", Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS2007), 27-30 August 2007, Prague, Czech Republic

Kızılay, A., Makal, S., (2007), "A Neural Network Model for Target Identification of Cylindrical Targets Located above Perfectly Conducting Flat Surface", Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS2007), 27-30 August 2007, Prague, Czech Republic

KAYNAKLAR

Chen, S., (1989) "Relative Amplitudes and Phase Features For Resonance-Region Radar Target Identification", IEEE Aerospace and Electronics Conference, Vol.1, 1989.

Joung, I., Garber, F.D, Ahalt, S.C., (1993) "Classification of Radar Targets Using Synthetic Neural Network", IEEE Transaction On Aerospace and Electronic Systems, Vol.29, No.2, April 1993.

Turhan, G., Leblebicioğlu, K., İnce, T., (1999), "Electromagnetic Target Classification Using Time-Frequency Analysis and Neural Networks", Microwave and Optical Technology Letters, Vol.21, No.1, April 5 1999.

Wong, S.K., (2004), "Non-cooperative Target Recognition in the Frequency Domain", Radar Sonar Navig., Vol.151, No.2, April 2004.

Turhan, G., (2005), "Real Time Electromagnetic Target Classification Using a Novel Feature Extraction Technique With PCA-Based Fusion", IEEE Transaction On Antennas and Propagation, Vol.53, No.2, February 2005.

Yuan, J., Liu, W., Chen, G., Li, G., (2005), "An Effective Method for Underwater Target Recognition", Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, Guangzhou, August 2005.

Zhihe, S., Feng, L., (2006), "Applying Improved BP Neural Network in Underwater Target Recognition", International Joint Conference on Neural Networks, Canada, July 2006.

Xiugin, P., Yongcun, C., Yong, L., Xiali, L., Yue, Z., (2006), "Research on the Algorithm of Target Recognition Based on Two-leveled RBF Neural Network and D-S Evidence Theory", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Japan, 2006

Kizilay, A., (2000), A Perturbation Method For Transient Multipath Analysis of Electromagnetic Scattering From Targets Above Periodic Surfaces, Doktora Tezi, Michigan State University.

Chen, S., (1990), "Radar Target Identification with Relative Amplitudes and Unknown Target Aspect Angles", IEEE Aerospace and Electronics Conference, Vol.1, 1990.

Huaitie, X., Zhaowen, Z., Guirong, G., (1993), "An Artificial Neural Network Approach to Radar Target Identification in Polarization Domain", TENCON '93. Proceedings. Computer, Communication, Control and Power Engineering., Vol.1, 1993.

Chakrabarti, S., Miller, E.K., (1994), "A Fuzzy Neural Network Model For Aspect Independent Target Identification", Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol.1, 1994.

Ulaby, F., (1999), Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, Massachusetts.

- Zahn, M., (1979), Electromagnetic Field Theory, John Wiley&Sons, New York.
- Balanis, C. A. (1989), Advanced Engineering Electromagnetics, John Wiley & Sons, New York.
- Harrington, R. F. (1968), Field Computation by Moment Methods, Macmillan, New York.
- Coşkun, N., (2003), Elektronik Retina Tasarımına Uygun Yapay Sinir Ağı Yapısının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Lippman, R.P., (1987), "An Introduction to Computing with Neural Nets", IEEE ASSP Magazine, 4-22.
- Hinton, G.E., (1989), "Connectionist Learning Procedures", Artificial Intelligence, 40:185-234.
- Ozyilmaz, L., (2000), "Konik Kesit Fonksiyonlu Yapay Sinir Ağında Öğrenme Algoritmasının Geliştirilmesi ve Ağın Çeşitli Problemler İçin Performansı ile Duyarlılığının İncelenmesi ", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Schalkoff R.J., Artificial Neural Networks, McGraw- Hill Inc., Singapore, 1997.
- Haykin S., (1994), Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing, New York.
- Park, J., Sandberg, W.I.,(1991), "Universal Approximation Using Radial Basis Function Networks, Neural Computation", Vol. 3, pp. 246-257, 1991.
- Avci, M., Yıldırım, T., (2002), "Classification of Escherichia Coli Bacteria by Artificial Neural Networks", IEEE International Symposium on Intelligent Systems, Vol.3, Varna, Bulgaristan, sf.16.20.
- Zaknich A., (1997), "A Vector Quantisation Reduction Method for the Probabilistic Neural Network", Vol.2, pp.1117-1120, 1997.
- Daqing, C., Zheng, B., (1996), "High Range Resolution Radar Target Identification Using Multilayer Feedforward Neural Network", CIE International Conference of Radar, pp.215-218, 1996.

EKLER

- Ek 1** İki Silindirik Hedeften Saçılan Elektrik Alan İçin Simulasyon Programı (Visual Fortran)
Ek 2 Kullanılan Yapay Sinir Ağları İçin Simulasyon Programı
Ek 3 Artan ve Azalan Noktaların Bulunması
Ek 4 Hedef Tanıma ve Sınıflamada Kullanılmak Üzere Saçılan Elektrik Alanın Frekans Domeni İfadelerinden Yararlanarak Oluşturulan Veri Kümesi Örneği
Ek 5 Hedef Tanımadaki Kullanılmak Üzere Saçılan Elektrik Alanın Zaman Domeni İfadelerinden Yararlanarak Oluşturulan Veri Kümesi Örneği

Ek 1 İKİ SİLİNDİRİK HEDEFTEN SAÇILAN ELEKTRİK ALAN İÇİN SİMULASYON PROGRAMI (VISUAL FORTRAN)

Bu program sonsuz uzun mükemmel iletken düz yüzeyler üzerindeki iki silindirik hedeften saçılan toplam elektrik alanı hesaplamaktadır. Hedef üzerinde dalga boyu başına 40 nokta, toplamda ise minimum 100 nokta almaktadır.

```

c   version of April 11,2007
c
c   implicit real*8 (a-h,o-z)
c
c   parameter (nsize=801)
c   parameter (clite=2.99e8)
c
c   common /part / xm(nsize),ym(nsize)
c   common /numbers/ no2,no,ntot
c   common /prinfo/ ra2,hc2,xc2,ra,hc
c   common /freq/ fstart,df,nfreq
c   common /waveno/ rk
c   common /wavelengt/ wlengt
c   common /pie/ pi
c   common /iter/ itmax,acc,tau
c   common /const/ zj
c   common /perfect/ xpm
c   common /imp / eta
c   common /angle/ sph,cph
c   common /aci/ aci(nsize)
c
c   complex*16 a(nsize,nsize),b(nsize),diag(nsize)
c   complex*16 fld,Hsx,Sfld
c   complex*16 alu(nsize,nsize),x(nsize),xprime(nsize)
c   complex*16 chistrt(nsize),ch1(nsize),ch2(nsize)
c   complex*16 zj
c   integer ipvt(nsize)
c   integer ipvts(nsize)
c
c   call info
c   *****
c   * Calculates Scattered Field *
c   *****
5   open (10,file='field.dat',status='unknown')
c   open (15,file='fieldamp.dat',status='unknown')
c   open (20,file='partition.dat',status='unknown')
c   isolve=0
c   do 100 i=0,nfreq-1
c   f=df*i+fstart
c   rk=2.d0*pi*f/clite
c   wi=(int(i/25))*1.d0
c   wj=i*(1.d0/25.d0)
c   if (wi.EQ.wj) then
c   wf=25*df+f

```



```

    wlenght=clite/wf
    call generation
    write (20,*) f*1.d-9,no,no2
    isolve=0
    endif
    call fill (a,b)
c
10  if (isolve.eq.0) then
c    write (*,*) 'Solving matrix Equation directly'
    call dcomp (ntot,a,ipvt,diag)
    call solvec (ntot,a,ipvt,b)
    do m=1,ntot
      do n=1,ntot
        alu(m,n)=a(m,n)
      end do
    end do
    do n=1,ntot
      ipvts(n)=ipvt(n)
      x(n)=b(n)
      ch1(n)=0.d0
    end do
    isolve=1
  else
    call iterate (ntot,x,alu,ipvts,a,b,xprime,
2      chistrt,acc,itmax,tau,nit)
c    write (*,*) 'No. iterations=',nit
    if (nit.ge.itmax) then
      isolve=0
      go to 10
    end if
    do n=1,ntot
      b(n)=xprime(n)
      chistrt(n)=xprime(n)-x(n)
    end do
    end if
    do n=1,ntot
      ch1(n)=ch2(n)
      ch2(n)=b(n)-x(n)
c linearly interpolate to next guess
      chistrt(n)=2*ch2(n)-ch1(n)
    end do
c
    call field (b,fld)
    write (10,*) f*1.d-9,dreal(fld),dimag(fld)
    write (15,*) f*1.d-9,rk*ra,abs(fld)
    write (*,*) f*1.d-9,nit
100  continue
101  stop
    end
c
c

```



```

      subroutine field(b,fld)
c      *****
c      * calculates scattered field as a function of frequency*
c      *****
      parameter (nsize=801)
c
      implicit real*8 (a-h,o-z)
c
      common /pie/pi
      common /const/zj
      common /intpar/ eps,zero
      common /imp/ eta
      common /part/ xm(nsize),ym(nsize)
      common /points/ xt2(nsize),yt2(nsize),xt(nsize),yt(nsize)
      common /numbers/ no2,no,ntot
c      common /del/ delo2,delo
      common /waveno/ rk
c
      complex*16 zj
      complex*16 b(nsize),fint,zsum,S1,fld
c
      external fint
c
      zsum=0.d0
      do 100 m=1,no2-1
         dox=xt2(m)
         upx=xt2(m+1)
         doy=yt2(m)
         upy=yt2(m+1)
         call CQROMB(fint,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
         zsum=zsum+b(m)*S1
100    continue
         do 110 m=1,no-1
            dox=xt(m)
            upx=xt(m+1)
            doy=yt(m)
            upy=yt(m+1)
            mm=m+no2-1
            if (no2.EQ.0) mm=m
            call CQROMB(fint,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
            zsum=zsum+b(mm)*S1
110    continue
         fld=-eta*sqrt((zj*rk)/(8.d0*pi))*zsum
c
      return
      end
c
      complex*16 function fint (xp,yp)
c      *****
c      * Field function to integrate *
c      *****

```



```

implicit real*8 (a-h,o-z)
c
common /const/ zj
common /scat/ sa,ca
common /waveno/ rk
common /intpar/ eps,zero
c
complex*16 zj
c
fint=2*zj*sin(rk*yp*sa)*exp(zj*rk*xp*ca)
c
return
end
c
subroutine Current(b,Hfld)
c *****
c * calculates x component of H-field at y=0,xpm *
c *****
parameter (nsize=801 )
c
implicit real*8 (a-h,o-z)
c
common /pie/pi
common /const/zj
common /intpar/ eps,zero
common /imp/ eta
common /perfect/ xpm
common /part / xm(nsize),ym(nsize)
common /points/ xt2(nsize),yt2(nsize),xt(nsize),yt(nsize)
common /numbers/ no2,no,ntot
c
common /del/ delo2,delo
common /waveno/ rk
c
complex*16 zj
complex*16 b(nsize),funkh,zsum,S1,Hfld
c
external funkh
c
zsum=0.d0
do 100 m=1,no2-1
    dox=xt2(m)
    upx=xt2(m+1)
    doy=yt2(m)
    upy=yt2(m+1)
    call CQROMB(funkh,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
c
    S1=delo2*funkh(xm(m),ym(m))
    zsum=zsum+b(m)*S1
100 continue
do 110 m=1,no-1
    dox=xt(m)
    upx=xt(m+1)

```



```

        doy=yt(m)
        upy=yt(m+1)
        mm=m+no2-1
        if (no2.EQ.0) mm=m
        call CQROMB(funkh,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
c      S1=delo*funkh(xm(m),ym(m))
        zsum=zsum+b(mm)*S1
110 continue
c
        Hfld=(rk/(2.d0*zj))*zsum
c
        return
        end
c
        complex*16 function funkh (xp,yp)
c      *****
c      *function to integrate to find H(x,y=0)      *
c      *****
        parameter (nsize=801)
c
        implicit real*8 (a-h,o-z)
        complex*16 zj
c
        common /pie/ pi
        common /const/ zj
        common /waveno/ rk
        common /perfect/ xpm
        common /part / xm(nsize),ym(nsize)
c
        argx=sqrt((xpm-xp)**2+yp**2)
        arg=rk*argx
        amp=yp/argx
        funkh=amp*(bessj1(arg)-zj*bessyl(arg))
c
        return
        end
c
        subroutine info
c      *****
c      *reads in relevant data*
c      *****
        implicit real*8 (a-h,o-z)
c
        complex*16 zj
c
        common /angle/ sph,cph
        common /pie /pi
        common /const/ zj
        common /waveno / rk
        common /intpar /eps,zero
        common /imp  / eta

```



```

common /freq/ fstart,df,nfreq
common /scat/ sa,ca
common /iter/ itmax,acc,tau
c
common /input/ input(2)
common /prinfo/ ra2,hc2,xc2,ra,hc
c
pi = 4.d0*atan(1.d0)
eps0 = 8.854d-12
rmu0 = 4.d0*pi*1.d-7
clite = 1.d0/sqrt(rmu0*eps0)
zj = cmplx(0.d0,1.d0)
c
write (*,*)
write (*,*) 'Enter Starting Frequency (Hz)'
read (*,*) fstart
write (*,*) 'Enter frequency step (Hz)'
read (*,*) df
if (df.EQ.0) then
  go to 103
end if
write (*,*) 'Enter no. frequencies'
read (*,*) nfreq
write (*,*) 'Enter scattering angle (deg,from horizontal)'
read (*,*) alpha
write (*,*) 'Enter iteration accuracy'
read (*,*) acc
write (*,*) 'Enter maximum allowed number of iterations'
read (*,*) itmax
write (*,*) 'Enter SOR parameter (try 1.0)'
read (*,*) tau
103 write (*,*) 'Enter incidence angle (deg, from horizontal)'
read (*,*) phi0
c
eps=1.d-6
zero=1.d-20
phi0 = pi*phi0/180.d0
alpha=pi*alpha/180.d0
sph = sin(phi0)
cph = cos(phi0)
sa = sin(alpha)
ca = cos(alpha)
eta = sqrt(rmu0/eps0)
c
c collects the info about surface and target
ra=0.d0
hc=0.d0
ra2=0.d0
hc2=0.d0
xc2=0.d0
input(1)=0

```



```
input(2)=0
```

```
c
```

```

write (*,*) 'Enter the Selection for TARGET'
write (*,*) '-----'
write (*,*) 'None---->0..Clinder--->1.....'
write (*,*) '-----'
read (*,*) input(2)
if (input(2).NE.0) then
write (*,*) 'Enter radius of cylinder (m)'
read (*,*) ra
write (*,*) 'Enter height from surface/radius of cylinder (hc/ra)'
read (*,*) hc
hc=hc*ra
endif
write (*,*) 'Enter the Selection for second TARGET'
write (*,*) '-----'
write (*,*) 'None---->0..Clinder--->1.....'
write (*,*) '-----'
read (*,*) input(1)
if (input(1).EQ.1) then
write (*,*) 'Enter radius of cylinder (m)'
read (*,*) ra2
write (*,*) 'Enter height from surface/radius of cylinder (hc/ra)'
read (*,*) hc2
hc2=hc2*ra2
write (*,*) 'Enter distance from x-axis (xc2/ra)'
read (*,*) xc2
xc2=xc2*ra2
endif
open (50,file='srftar.dat',status='unknown')
write (50,*) 'radius of first cylinder=',ra
write (50,*) 'height of first cylinder from surface',hc
write (50,*) 'radius of second cylinder=',ra2
write (50,*) 'height of second cylinder from surface',hc2
write (50,*) 'distance of second cylinder from x-axis=',xc2
close(50)
return
end

```

```
c
```

```
subroutine generation
```

```
c
```

```
*****
```

```
c
```

```
* Generates Surface and Target points *
```

```
c
```

```
*****
```

```
parameter (nsize=801)
```

```
c
```

```

implicit real*8 (a-h,o-z)
common /part / xm(nsize),ym(nsize)
common /numbers/ no2,no,ntot
common /del/ delo2,delo
common /points/ xt2(nsize),yt2(nsize),xt(nsize),yt(nsize)
common /input/ input(2)

```



```

common /prinfo/ ra2,hc2,xc2,ra,hc
common /wavelength/ wlenght
common /pie/ pi
common /aci/ aci(nsize)

c
  ntot=0
  no2=0
  no=0
  if (input(1).EQ.0) goto 10
    if (input(1).EQ.1) then
      nop=IDINT(80*pi*ra/wlenght)
      if (nop.LT.100) nop=100
      dela=2*pi/(nop-1)
      do 20 i=1,nop
        aci(i)=dela*(i-1)
        xt2(i)=ra2*cos(aci(i))+xc2
        yt2(i)=ra2*sin(aci(i))+hc2+ra2
20      continue
        delo2=ra2*dela
        no2=nop
        do 30 i=1,no2-1
          ntot=ntot+1
          xm(ntot)=(xt2(i)+xt2(i+1))/2.d0
          ym(ntot)=(yt2(i)+yt2(i+1))/2.d0
30      continue
        endif
10    if (input(2).EQ.0) then
      goto 900
    endif
    nop=IDINT(80*pi*ra/wlenght)
    if (nop.LT.100) nop=100
    dela=2*pi/(nop-1)
    do 40 i=1,nop
      aci(i)=dela*(i-1)
      xt(i)=ra*cos(aci(i))
      yt(i)=ra*sin(aci(i))+hc+ra
40    continue
      delo=ra*dela
      no=nop
      do 50 i=1,no-1
        ntot=ntot+1
        xm(ntot)=(xt(i)+xt(i+1))/2.d0
        ym(ntot)=(yt(i)+yt(i+1))/2.d0
50    continue
900  if ((input(1).EQ.0).AND.(input(2).EQ.0)) then
      write (*,*) 'No Surface points & No Target Points!'
      stop
    endif
    return
  end
c

```



```

subroutine fill (a,b)
c *****
c *fills Moment method matrix*
c *****
    implicit real*8 (a-h,o-z)
    parameter (nsize=801)
    parameter (gam=1.781d0)
c
    complex*16 a(nsize,nsize),b(nsize)
    complex*16 zj,funk,funkp,S1
    external funk
    external funkp
c
    common /angle/ sph,cph
    common /part / xm(nsize),ym(nsize)
    common /const/ zj
    common /pie/ pi
    common /waveno/ rk
    common /intpar /eps,zero
    common /imp / eta
    common /match/ xxm,ffm
    common /points/ xt2(nsize),yt2(nsize),xt(nsize),yt(nsize)
    common /numbers/ no2,no,ntot
    common /del/ delo2,delo
c
c fill matrix a
c
    do 60 n=1,no2-1
    do 50 m=n,no2-1
        xxm = xm(m)
        ffm = ym(m)
        if (m.eq.n) then
            dox=xt2(m)
            upx=xt2(m+1)
            doy=yt2(m)
            upy=yt2(m+1)
            call CQROMB(funkp,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
            a(m,n) =delo2*(1.d0-zj*(2.d0/pi)*(log(rk*gam*delo2/4.d0)-1.d0))-S1
        endif
        if (m.ne.n) then
            dox=xt2(n)
            upx=xt2(n+1)
            doy=yt2(n)
            upy=yt2(n+1)
            call CQROMB(funk,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
            a(m,n)=S1
        endif
50    continue
60    continue
c
    do 90 m=1,no2-1

```



```

        do 80 n=m,no2-1
            a(m,n) =a(n,m)
80      continue
90      continue
        if (no.NE.0) then
            do 100 nn=1,no2-1
                do 110 mm=1,no-1
                    m=no2-1+mm
                    n=nn
                    xxm = xm(m)
                    ffm = ym(m)
                    dox=xt2(n)
                    upx=xt2(n+1)
                    doy=yt2(n)
                    upy=yt2(n+1)
                    call CQROMB(funk,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
                    a(m,n)=S1
110      continue
100     continue
        endif
c
        nshift=no2-1
        if (no2.EQ.0) nshift=0
        do 120 nn=1,no-1
            do 130 mm=nn,no-1
                n=nn+nshift
                m=mm+nshift
                xxm = xm(m)
                ffm = ym(m)
                if (mm.eq.nn) then
                    dox=xt(mm)
                    upx=xt(mm+1)
                    doy=yt(mm)
                    upy=yt(mm+1)
                    call CQROMB(funkp,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
                    a(m,n) =delo*(1.d0-zj*(2.d0/pi)*(log(rk*gam*delo/4.d0)-1.d0))-S1
                endif
                if (mm.ne.nn) then
                    dox=xt(nn)
                    upx=xt(nn+1)
                    doy=yt(nn)
                    upy=yt(nn+1)
                    call CQROMB(funk,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
                    a(m,n)=S1
                endif
130      continue
120     continue
c
        do 140 mm=1,no-1
            do 150 nn=mm,no-1
                m=mm+nshift

```



```

        n=nn+nshift
        a(m,n)=a(n,m)
150    continue
140    continue
        if (no2.NE.0) then
            do 160 nn=1,no-1
                do 170 mm=1,no2-1
                    n=nn+nshift
                    m=mm
                    xxm = xm(m)
                    ffm = ym(m)
                    dox=xt(nn)
                    upx=xt(nn+1)
                    doy=yt(nn)
                    upy=yt(nn+1)
                    call CQROMB(funk,dox,upx,doy,upy,eps,zero,S1)
                    a(m,n)=S1
170    -continue
160    continue
        endif

c
c    fill rhs vector b
c
        do 700 m=1,ntot
            b(m) = (8.d0*zj/(rk*eta))*
2            exp(zj*rk*xxm(m)*cph)*sin(rk*ym(m)*sph)
c        write (*,*) 'm=',m, ' b=',b(m)
c        write (*,*) ' mag(b)=' ,cabs(b(m))
700    continue
c
        return
        end

c
complex*16 function funk (xp,yp)
c    *****
c    * function to integrate *
c    *****
        parameter (nsize=801)
c
        implicit real*8 (a-h,o-z)
        complex*16 zj
c
        common /pie/ pi
        common /part / xm(nsize),ym(nsize)
        common /const/ zj
        common /waveno/ rk
        common /match/ xxm,ffm
c
        arg = rk*sqrt((xxm-xp)**2+(ffm-yp)**2)
        argp=rk*sqrt((xxm-xp)**2+(ffm+yp)**2)
        funk = ((bessj0(arg)-zj*bessy0(arg))-

```



```

2      (bessj0(argp)-zj*bessy0(argp)))
c
      return
      end
c
      complex*16 function funkp (xp,yp)
c      *****
c      *function due to perfect conductor to integrate*
c      *****
      parameter (nsize=801)
c
      implicit real*8 (a-h,o-z)
      complex*16 zj
c
      common /pie/ pi
      common /part/ xm(nsize),ym(nsize)
      common /const/ zj
      common /waveno/ rk
      common /match/ xxm,ffm
c
      arg1=rk*sqrt((xxm-xp)**2+(ffm+yp)**2)
      funkp=(bessj0(arg1)-zj*bessy0(arg1))
c
      return
      end
c
c-----
c
      SUBROUTINE DCOMPC (N,A,IPVT,DIAG)
C
C   DECOMPOSES MATRIX A TO TRIANGULAR FORM
C
c   **** COMPLEX VERSION ****
C
C   FROM: LINEAR ALGEBRA BY GILBERT STRANG
C
      parameter (nsize=801)
      implicit real*8 (a-h,o-z)
      INTEGER N,IPVT(nsize)
      INTEGER NM1,I,J,K,KP1,M
      COMPLEX*16 A(nsize,nsize),DIAG(nsize)
      COMPLEX*16 P,T
C
      IPVT(N) = 1
      IF (N .EQ. 1) GO TO 70
      NM1  = N-1
C
      DO 60 K=1,NM1
      KP1  = K+1
C
C   FIND PIVOT P

```



```

C      M      = K
      DO 10 I=KP1,N
10  IF (ABS(A(I,K)) .GT. ABS(A(M,K))) M=I
      IPVT(K) = M
      IF (M .NE. K) IPVT(N) = -IPVT(N)
      P      = A(M,K)
      A(M,K) = A(K,K)
      A(K,K) = P
      DIAG(K) = P
      IF (P .EQ. 0.d0) GO TO 60

C
C  COMPUTE MULTIPLIERS
C
20  DO 30 I=KP1,N
30  A(I,K) = -A(I,K)/P
C
C  INTERCHANGE ROWS AND COLUMNS
C
      DO 50 J=KP1,N
      T      = A(M,J)
      A(M,J) = A(K,J)
      A(K,J) = T
      IF (T .EQ. 0.d0) GO TO 50
      DO 40 I=KP1,N
      A(I,J) = A(I,J) + A(I,K)*T
40  CONTINUE
50  CONTINUE
60  CONTINUE
C
70  DIAG(N) = A(N,N)*IPVT(N)
C
      RETURN
      END

c
c
c
      SUBROUTINE SOLVEC (N,A,IPVT,B)
C
C  SOLVES MATRIX EQN AX=B WITH A DECOMPOSED BY DCOMPC
C
      parameter (nsize=801)
      implicit real*8 (a-h,o-z)
      INTEGER N,IPVT(nsize)
      INTEGER NM1,K,KB,KP1,KM1,M,I
      COMPLEX*16 A(nsize,nsize),B(nsize)
      COMPLEX*16 S

C
C  FORWARD ELIMINATION
C
      IF (N .EQ. 1) GO TO 30

```



```

      NM1 = N-1
      DO 10 K=1,NM1
      KP1 = K+1
      M = IPV1(K)
      S = B(M)
      B(M) = B(K)
      B(K) = S
      DO 10 I=KP1,N
10    B(I) = B(I) + A(I,K)*S
C
C BACK SUBSTITUTION
C
      DO 20 KB=1,NM1
      KM1 = N-KB
      K = KM1+1
      B(K) = B(K)/A(K,K)
      S = -B(K)
      DO 20 I=1,KM1
20    B(I) = B(I) + A(I,K)*S
C
30    B(1) = B(1)/A(1,1)
C
      RETURN
      END
c
c-----
c
c
c
      SUBROUTINE CQROMB(FUNC,A1,A2,B1,B2,EPS,ZERO,SS)
      PARAMETER(JMAX=15,JMAXP=JMAX+1,K=5,KM=4)
      IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
      EXTERNAL FUNC
      COMPLEX*16 SS,S(JMAXP),DSS,func
c    DIMENSION H(JMAXP)
      REAL*8 H(JMAXP)
      H(1)=1.D0
      DO 11 J=1,JMAX
      CALL CTRAPZD(FUNC,A1,A2,B1,B2,S(J),J)
      IF (J.GE.K) THEN
        L=J-KM
        CALL CPOLINT(H(L),S(L),K,0.D0,SS,DSS)
        ESS=EPS*ABS(SS)
        IF (ESS.LT.ZERO) RETURN
        IF (ABS(DSS).LT.ESS) RETURN
      ENDIF
      S(J+1)=S(J)
      H(J+1)=0.25D0*H(J)
11    CONTINUE
      WRITE(*,*) 'Too many steps in CQROMB.'
      END
C *****

```



```

SUBROUTINE CTRAPZD(FUNC,A1,A2,B1,B2,S,N)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
SAVE IT
EXTERNAL FUNC
COMPLEX*16 S,FUNC,SUM
DELTA=SQRT((A2-A1)**2+(B2-B1)**2)
IF (N.EQ.1) THEN
S=0.5D0*DELTA*(FUNC(A1,B1)+FUNC(A2,B2))
IT=1
ELSE
TNM=IT
DEL=DELTA/TNM
DELX=(A2-A1)/TNM
DELY=(B2-B1)/TNM
X=A1+0.5D0*DELX
Y=B1+0.5D0*DELY
SUM=CMPLX(0.D0,0.D0)
DO 11 J=1,IT
SUM=SUM+FUNC(X,Y)
X=X+DELX
Y=Y+DELY
11 CONTINUE
S=0.5D0*(S+DELTA*SUM/TNM)
IT=2*IT
ENDIF
RETURN
END
C *****
SUBROUTINE CPOLINT(XA,YA,N,X,Y,DY)
PARAMETER (NMAX=5)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
COMPLEX*16 YA(N),Y,DY,C(NMAX),D(NMAX),W,WOD
c DIMENSION XA(N)
REAL*8 XA(N)
NS=1
DIF=ABS(X-XA(1))
DO 11 I=1,N
DIFT=ABS(X-XA(I))
IF (DIFT.LT.DIF) THEN
NS=I
DIF=DIFT
ENDIF
C(I)=YA(I)
D(I)=YA(I)
11 CONTINUE
Y=YA(NS)
NS=NS-1
DO 13 M=1,N-1
DO 12 I=1,N-M
HO=XA(I)-X
HP=XA(I+M)-X

```



```

      W=C(I+1)-D(I)
      DEN=HO-HP
      IF(DEN.EQ.0.D0) PAUSE
      WOD=W/DEN
      D(I)=HP*WOD
      C(I)=HO*WOD
12  CONTINUE
      IF (2*NS.LT.N-M)THEN
        DY=C(NS+1)
      ELSE
        DY=D(NS)
        NS=NS-1
      ENDIF
      Y=Y+DY
13  CONTINUE
      RETURN
      END

```

c

c-----

c

```

      FUNCTION BESSJ0(X)
      implicit real*8 (a-h,o-z)
      REAL*8 Y,P1,P2,P3,P4,P5,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,R1,R2,R3,R4,R5,R6,
*   S1,S2,S3,S4,S5,S6
      DATA P1,P2,P3,P4,P5/1.D0,-.1098628627D-2,.2734510407D-4,
*   -.2073370639D-5,.2093887211D-6/, Q1,Q2,Q3,Q4,Q5/-.1562499995D-
*   1,
*   .1430488765D-3,-.6911147651D-5,.7621095161D-6,-.934945152D-7/
      DATA R1,R2,R3,R4,R5,R6/57568490574.D0,-13362590354.D0,651619640.7D
*   0,
*   -11214424.18D0,77392.33017D0,-184.9052456D0/,
*   S1,S2,S3,S4,S5,S6/57568490411.D0,1029532985.D0,
*   9494680.718D0,59272.64853D0,267.8532712D0,1.D0/
      IF(ABS(X).LT.8.)THEN
        Y=X**2
        BESSJ0=(R1+Y*(R2+Y*(R3+Y*(R4+Y*(R5+Y*R6))))
*   /(S1+Y*(S2+Y*(S3+Y*(S4+Y*(S5+Y*S6))))
      ELSE
        AX=ABS(X)
        Z=8.d0/AX
        Y=Z**2
        XX=AX-.785398164d0
        BESSJ0=SQRT(.636619772/AX)*(COS(XX)*(P1+Y*(P2+Y*(P3+Y*(P4+Y
*   *P5))))-Z*SIN(XX)*(Q1+Y*(Q2+Y*(Q3+Y*(Q4+Y*Q5))))
      ENDIF
      RETURN
      END

```

c

c

c

```

      FUNCTION BESSY0(X)

```



```

        implicit real*8 (a-h,o-z)
        REAL*8 Y,P1,P2,P3,P4,P5,Q1,Q2,Q3,Q4,Q5,R1,R2,R3,R4,R5,R6,
*   S1,S2,S3,S4,S5,S6
        DATA P1,P2,P3,P4,P5/1.D0,-.1098628627D-2,.2734510407D-4,
*   -.2073370639D-5,.2093887211D-6/, Q1,Q2,Q3,Q4,Q5/-.1562499995D-
*   1,
*   .1430488765D-3,-.6911147651D-5,.7621095161D-6,-.934945152D-7/
        DATA R1,R2,R3,R4,R5,R6/-2957821389.D0,7062834065.D0,-512359803.6D0
*,
*   10879881.29D0,-86327.92757D0,228.4622733D0/,
*   S1,S2,S3,S4,S5,S6/40076544269.D0,745249964.8D0,
*   7189466.438D0,47447.26470D0,226.1030244D0,1.D0/
        IF(X.LT.8.d0)THEN
            Y=X**2
            BESSY0=(R1+Y*(R2+Y*(R3+Y*(R4+Y*(R5+Y*R6))))/(S1+Y*(S2+Y
*   *(S3+Y*(S4+Y*(S5+Y*S6))))+.636619772*BESSJ0(X)*LOG(X)
        ELSE
            Z=8.d0/X
            Y=Z**2
            XX=X-.785398164d0
            BESSY0=SQRT(.636619772/X)*(SIN(XX)*(P1+Y*(P2+Y*(P3+Y*(P4+Y*
*   P5))))+Z*COS(XX)*(Q1+Y*(Q2+Y*(Q3+Y*(Q4+Y*Q5))))
        ENDIF
        RETURN
    END

```

c

c

c

```

FUNCTION bessjl(x)
    implicit real*8 (a-h,o-z)
    REAL*8 bessjl,x
    REAL*8 ax,xx,z
    Real*8 p1,p2,p3,p4,p5,q1,q2,q3,q4,q5,r1,r2,r3,r4,r5,r6,
*   s1,s2,s3,s4,s5,s6,y
    SAVE p1,p2,p3,p4,p5,q1,q2,q3,q4,q5,r1,r2,r3,r4,r5,r6,s1,s2,s3,s4,
*   s5,s6
    DATA r1,r2,r3,r4,r5,r6/72362614232.d0,-7895059235.d0,
*   242396853.1d0,-2972611.439d0,15704.48260d0,-30.16036606d0/,s1,s2,
*   s3,s4,s5,s6/144725228442.d0,2300535178.d0,18583304.74d0,
*   99447.43394d0,376.9991397d0,1.d0/
    DATA p1,p2,p3,p4,p5/1.d0,.183105d-2,-.3516396496d-4,
*   .2457520174d-5,-.240337019d-6/, q1,q2,q3,q4,q5/.04687499995d0,
*   -.2002690873d-3,.8449199096d-5,-.88228987d-6,.105787412d-6/
    if(abs(x).lt.8.d0)then
        y=x**2
        bessjl=x*(r1+y*(r2+y*(r3+y*(r4+y*(r5+y*r6))))/(s1+y*(s2+y*(s3+
*   y*(s4+y*(s5+y*s6))))
    else
        ax=abs(x)
        z=8.d0/ax
        y=z**2

```



```

xx=ax-2.356194491d0
bessj1=sqrt(.636619772/ax)*(cos(xx)*(p1+y*(p2+y*(p3+y*(p4+y*
*p5))))-z*sin(xx)*(q1+y*(q2+y*(q3+y*(q4+y*q5)))))*sign(1.d0,x)
endif
return
END

```

c

```

FUNCTION bessy1(x)
implicit real*8 (a-h,o-z)
REAL*8 bessy1,x

```

CU USES bessj1

```

REAL*8 xx,z,bessj1
Real*8 p1,p2,p3,p4,p5,q1,q2,q3,q4,q5,r1,r2,r3,r4,r5,r6,
*s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,y
SAVE p1,p2,p3,p4,p5,q1,q2,q3,q4,q5,r1,r2,r3,r4,r5,r6,s1,s2,s3,s4,
*s5,s6,s7
DATA p1,p2,p3,p4,p5/1.d0,.183105d-2,-.3516396496d-4,
*.2457520174d-5,-.240337019d-6/, q1,q2,q3,q4,q5/.04687499995d0,
*-.2002690873d-3,.8449199096d-5,-.88228987d-6,.105787412d-6/
DATA r1,r2,r3,r4,r5,r6/-.4900604943d13,.1275274390d13,
*-.5153438139d11,.7349264551d9,-.4237922726d7,.8511937935d4/,s1,s2,
*s3,s4,s5,s6,s7/.2499580570d14,.4244419664d12,.3733650367d10,
*.2245904002d8,.1020426050d6,.3549632885d3,1.d0/
if(x.lt.8.d0)then
  y=x**2
  bessy1=x*(r1+y*(r2+y*(r3+y*(r4+y*(r5+y*r6))))/(s1+y*(s2+y*(s3+
*y*(s4+y*(s5+y*(s6+y*s7)))))+.636619772*(bessj1(x)*log(x)-1.d0/x)
else
  z=8.d0/x
  y=z**2
  xx=x-2.356194491d0
  bessy1=sqrt(.636619772/x)*(sin(xx)*(p1+y*(p2+y*(p3+y*(p4+y*
*p5))))+z*cos(xx)*(q1+y*(q2+y*(q3+y*(q4+y*q5))))
endif
return
END

```

c-----

```

subroutine iterate (nn,x,alu,ipvts,aprime,bprime,xprime,
2          chistrt,acc,itmax,tau,nit)

```

c

```

parameter (nsize=801)

```

c

```

implicit real*8 (a-h,o-z)

```

c

```

complex*16 x(nsize),alu(nsize,nsize)
complex*16 aprime(nsize,nsize),bprime(nsize),xprime(nsize)
complex*16 chiold(nsize),chinew(nsize),chistrt(nsize)
complex*16 sum

```

c

```

integer ipvts(nsize)

```

c


```

c      do n=1,nn
        chiold(n)=chistr(n)
      end do

c      nit=0
10     nit=nit+1
        do m=1,nn
          sum=0.
          do n=1,nn
            sum=sum+aprim(m,n)*(chiold(n)+x(n))
          end do
          chinew(m)=sum-bprim(m)
        end do
        call solvec (nn,alu,ipvts,chinew)
        do m=1,nn
          chinew(m)=chiold(m)-tau*chinew(m)
        end do

c      iflag=0
        do n=1,nn
          test=abs((chinew(n)-chiold(n))/(x(n)+chinew(n)))
          if (test.gt.acc) iflag=1
        end do
        do n=1,nn
          chiold(n)=chinew(n)
        end do

c      if ((iflag.eq.1) .and. (nit.le.itmax)) go to 10

c      do n=1,nn
        xprime(n)=x(n)+chinew(n)
      end do

c      return
      end
cccccccccccccc
SUBROUTINE integral(FUNC,A1,A2,EPS,ZERO,SS)
PARAMETER(JMAX=15,JMAXP=JMAX+1,K=5,KM=4)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
EXTERNAL FUNC
REAL*8 SS,S(JMAXP),DSS,func
c      DIMENSION H(JMAXP)
      REAL*8 H(JMAXP)
      H(1)=1.D0
      DO 11 J=1,JMAX
        CALL CTRAP(FUNC,A1,A2,S(J),J)
        IF (J.GE.K) THEN
          L=J-KM
          CALL CPOL(H(L),S(L),K,0.D0,SS,DSS)
          ESS=EPS*ABS(SS)

```



```

        IF (ESS.LT.ZERO) RETURN
        IF (ABS(DSS).LT.ESS) RETURN
    ENDIF
    S(J+1)=S(J)
    H(J+1)=0.25D0*H(J)
11  CONTINUE
    WRITE(*,*) 'Too many steps in integral.'
    END
C *****
    SUBROUTINE CTRAP(FUNC,A1,A2,S,N)
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    SAVE IT
    EXTERNAL FUNC
    REAL*8 S,FUNC,SUM
    DELTA=A2-A1
    IF (N.EQ.1) THEN
        S=0.5D0*DELTA*(FUNC(A1)+FUNC(A2))
        IT=1
    ELSE
        TNM=IT
        DEL=DELTA/TNM
        X=A1+0.5D0*DEL
        SUM=CMPLX(0.D0,0.D0)
        DO 11 J=1,IT
            SUM=SUM+FUNC(X)
            X=X+DEL
11  CONTINUE
        S=0.5D0*(S+DELTA*SUM/TNM)
        IT=2*IT
    ENDIF
    RETURN
    END
C *****
    SUBROUTINE CPOL(XA,YA,N,X,Y,DY)
    PARAMETER (NMAX=5)
    IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
    REAL*8 YA(N),Y,DY,C(NMAX),D(NMAX),W,WOD
c  DIMENSION XA(N)
    REAL*8 XA(N)
    NS=1
    DIF=ABS(X-XA(1))
    DO 11 I=1,N
        DIFT=ABS(X-XA(I))
        IF (DIFT.LT.DIF) THEN
            NS=I
            DIF=DIFT
        ENDIF
        C(I)=YA(I)
        D(I)=YA(I)
11  CONTINUE
    Y=YA(NS)

```



```
NS=NS-1
DO 13 M=1,N-1
DO 12 I=1,N-M
  HO=XA(I)-X
  HP=XA(I+M)-X
  W=C(I+1)-D(I)
  DEN=HO-HP
  IF(DEN.EQ.0.D0) PAUSE
  WOD=W/DEN
  D(I)=HP*WOD
  C(I)=HO*WOD
12 CONTINUE
  IF (2*NS.LT.N-M)THEN
    DY=C(NS+1)
  ELSE
    DY=D(NS)
    NS=NS-1
  ENDIF
  Y=Y+DY
13 CONTINUE
RETURN
END
```


Ek 2 KULLANILAN YAPAY SİNİR AĞLARI İÇİN SİMÜLASYON PROGRAMI

MLP, RBF, PNN ve GRNN için MATLAB kodları verilmiş ve sınıflama için olan uygulama gösterilmiştir.

```
clc
load train1.txt
load test1.txt
data = train1(:,1:4)';
target = train1(:,5:6)';
%MLP için
net = newff(minmax(data),[8 2],{'logsig' 'purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs=100;
net.trainParam.lr=.5;
net.trainParam.mc=.3;
net.trainParam.goal=0.001;
net = train(net,data,target);

%RBF için
% spread=.1;
% eg=.1;
% net=newrbe(data,target,spread);

%GRNN için
% spread=.01;
% net=newgrnn(data,target,spread);

%PNN için
% target=ind2vec(target);
% spread=.02;
% net=newpnn(data,target,spread);
% Yc=sim(net,data);
% Y=vec2ind(Yc);
% Y = sim(net,data);
% test=test1(:,1:4)';
% Y_testc = sim(net,test);
% Y_test=vec2ind(Y_testc);
```



```

Y = sim(net,data);
test=test1(:,1:4)';
Y_test = sim(net,test);

test_basarisi_1=0;
test_basarisi_2=0;
test_basarisi_3=0;

for i=1:40
    if Y_test(1,i)>0.6 & Y_test(2,i)<0.4
        test_basarisi_1=test_basarisi_1+1; %I.cisim için doğru sınıflama
    end
end

for i=41:80
    if Y_test(1,i)<0.4 & Y_test(2,i)>0.6
        test_basarisi_2=test_basarisi_2+1; %II.cisim için doğru sınıflama
    end
end

for i=81:120
    if Y_test(1,i)<0.4 & Y_test(2,i)<0.4
        test_basarisi_3=test_basarisi_3+1; %III.cisim için doğru sınıflama
    end
end

test_basarisi_1
test_basarisi_2
test_basarisi_3

Basari_yuzdesi=(test_basarisi_1+test_basarisi_2+test_basarisi_3)*100/120    %Ağın genel
başarısı

```


Ek 3 ARTAN VE AZALAN NOKTALARIN BULUNMASI

Saçılan elektrik alanın zaman domeni ifadesini kullanarak yapay sinir ağı için giriş vektörlerinin oluşturulması için oluşturulan MATLAB kodu bulunmaktadır.

```

clc;
B=zeros(4095,2);
load time.dat;
for i=1:4096
    A(i,1)=(time(i,1));
    A(i,2)=(time(i,2))/10^7;
    A(i,3)=0.0127;
    A(i,4)=0.0127;
    A(i,5)=0.635;
end
n=1;
a=1;
for i=1:4095
    n=a;
    for q=n:4095
        if A(q+1,2)<A(q,2)
            k=q;
            m=k+1;
            B(k,2)=A(k,2);
            B(k,1)=A(k,1);
            j=4095;
            for a=m:j
                if A(a,2)<A(a+1,2)
                    B(a,2)=A(a,2);
                    B(a,1)=A(a,1);
                break
            end
        end
    end
    break
end
break
end
end
end
k=1;

```



```

C=zeros(3000,2);
for i=1:4095
    if B(i,1)~=0
        C(k,1)=B(i,1);
        C(k,2)=B(i,2);
        k=k+1;
    end
end
t=1;
D=zeros(100,2);
for i=1:3000
    if C(i,2)>1 | C(i,2)<(-1)
        D(t,1)=C(i,1);
        D(t,2)=C(i,2);
        D(t,3)=0.0127;
        D(t,4)=0.0127;
        D(t,5)=0.635;
        t=t+1;
    end
end

```


Ek 4 HEDEF TANIMA VE SINIFLAMADA KULLANILMAK ÜZERE SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN FREKANS DOMENİ İFADELERİNDEN YARARLANARAK OLUŞTURULAN VERİ KÜMESİ ÖRNEĞİ

Hedef sınıflamada kullanılan, 10°'lik saçılma açısında oluşturulan veri kümesi örneği:

Frekans (GHz)	E-Alanının Reel Kısmı	E-Alanının Sanal Kısmı	S.Açısı	Çıkışlar
1.000	1.025218450503324E-001	3.688235389072427E-002	10	1 0
1.004	1.036640451979964E-001	3.724944376870472E-002	10	1 0
1.008	1.048160536392193E-001	3.760636585142389E-002	10	1 0
1.012	1.059776509244544E-001	3.795260150225325E-002	10	1 0
1.016	1.071485940322278E-001	3.828762917245761E-002	10	1 0
1.020	1.083286153690825E-001	3.861092276890348E-002	10	1 0
1.024	1.095174219068477E-001	3.892195317588099E-002	10	1 0
1.028	1.107146943265534E-001	3.922018935095625E-002	10	1 0
1.032	1.119200861947068E-001	3.950509950435174E-002	10	1 0
1.036	1.131332231789059E-001	3.977615236453482E-002	10	1 0
1.040	1.143537023100299E-001	4.003281853050939E-002	10	1 0
1.044	1.155810912986292E-001	4.027457191096519E-002	10	1 0
1.048	1.168149279134763E-001	4.050089124985192E-002	10	1 0
1.052	1.180547194305430E-001	4.071126173730087E-002	10	1 0
1.056	1.192999421609334E-001	4.090517670411337E-002	10	1 0
1.060	1.205500410665028E-001	4.108213939727539E-002	10	1 0
1.064	1.218044294720536E-001	4.124166483314565E-002	10	1 0
1.068	1.230624888830676E-001	4.138328172409910E-002	10	1 0
1.072	1.243235689179489E-001	4.150653447350022E-002	10	1 0
1.076	1.255869873636626E-001	4.161098523292794E-002	10	1 0
1.080	1.268520303634826E-001	4.169621601459442E-002	10	1 0
1.084	1.281179527452849E-001	4.176183085089018E-002	10	1 0
1.088	1.293839784984330E-001	4.180745799196747E-002	10	1 0
1.092	1.306493014068074E-001	4.183275213124797E-002	10	1 0
1.096	1.319130858448998E-001	4.183739664772469E-002	10	1 0
1.100	1.331741609573965E-001	4.182079378338496E-002	10	1 0
1.104	1.344322039122933E-001	4.178330796220076E-002	10	1 0
1.108	1.356860358697613E-001	4.172441211947477E-002	10	1 0

1.112	1.369347118889507E-001	4.164393878625269E-002	10	1 0
1.116	1.381772685991833E-001	4.154174432412858E-002	10	1 0
1.120	1.394127206257321E-001	4.141773079115074E-002	10	1 0
1.124	1.406400637397172E-001	4.127184396002066E-002	10	1 0
1.128	1.418582770862924E-001	4.110407517861178E-002	10	1 0
1.132	1.430663255950088E-001	4.091446311746061E-002	10	1 0
1.136	1.442631625598631E-001	4.070309537880389E-002	10	1 0
1.140	1.454477323820509E-001	4.047010995100323E-002	10	1 0
1.144	1.466189734658177E-001	4.021569649151021E-002	10	1 0
1.148	1.477758212559541E-001	3.994009742207293E-002	10	1 0
1.152	1.489172114036510E-001	3.964360882064787E-002	10	1 0
1.156	1.500420830456491E-001	3.932658109545884E-002	10	1 0
1.000	-1.135954149484718E-001	9.515198208876753E-002	10	0 1
1.004	-1.156915374019626E-001	9.465175549359119E-002	10	0 1
1.008	-1.177935919910152E-001	9.412411501938589E-002	10	0 1
1.012	-1.199011886291816E-001	9.356888330125479E-002	10	0 1
1.016	-1.220139372535617E-001	9.298588555420286E-002	10	0 1
1.020	-1.241314436987789E-001	9.237495127514514E-002	10	0 1
1.024	-1.262533105359648E-001	9.173591408695478E-002	10	0 1
1.028	-1.283791371065599E-001	9.106861156238397E-002	10	0 1
1.032	-1.305085201077768E-001	9.037288571430333E-002	10	0 1
1.036	-1.326410532026166E-001	8.964858277509838E-002	10	0 1
1.040	-1.347763224002102E-001	8.889550956506838E-002	10	0 1
1.044	-1.369139258763608E-001	8.811360111240670E-002	10	0 1
1.048	-1.390534449329217E-001	8.730268036702324E-002	10	0 1
1.052	-1.411944626641287E-001	8.646261183367089E-002	10	0 1
1.056	-1.433365600700121E-001	8.559326441232132E-002	10	0 1
1.060	-1.454793159610152E-001	8.469451189971107E-002	10	0 1
1.064	-1.476223069038744E-001	8.376623287769548E-002	10	0 1
1.068	-1.497651075896329E-001	8.280831085420962E-002	10	0 1
1.072	-1.519072906362087E-001	8.182063439274073E-002	10	0 1
1.076	-1.540484269169747E-001	8.080309714013388E-002	10	0 1
1.080	-1.561880855557120E-001	7.975559794180856E-002	10	0 1
1.084	-1.583258341363728E-001	7.867804088933644E-002	10	0 1
1.088	-1.604612386308991E-001	7.757033542333838E-002	10	0 1
1.092	-1.625938637178684E-001	7.643239636136737E-002	10	0 1

1.096	-1.647232726528719E-001	7.526414411279479E-002	10	0 1
1.100	-1.682657796916399E-001	7.168377545814761E-002	10	0 1
1.104	-1.703789229367859E-001	7.040803820736391E-002	10	0 1
1.108	-1.724869564614387E-001	6.910145111471983E-002	10	0 1
1.112	-1.745894327520153E-001	6.776396280201785E-002	10	0 1
1.116	-1.766859036729385E-001	6.639552907421062E-002	10	0 1
1.120	-1.787759204074755E-001	6.499611154173135E-002	10	0 1
1.124	-1.808590336170448E-001	6.356567806994781E-002	10	0 1
1.128	-1.829347935408561E-001	6.210420284977643E-002	10	0 1
1.132	-1.850027500053066E-001	6.061166638942780E-002	10	0 1
1.136	-1.870624526104046E-001	5.908805566031211E-002	10	0 1
1.140	-1.891134554638169E-001	5.753332812617175E-002	10	0 1
1.144	-1.911553000661596E-001	5.594755012917015E-002	10	0 1
1.148	-1.931875394935137E-001	5.433069800387322E-002	10	0 1
1.152	-1.952097230721999E-001	5.268278515105022E-002	10	0 1
1.156	-1.972214004675462E-001	5.100383188365165E-002	10	0 1
1.000	7.660714451802095E-002	9.595806340150351E-002	10	0 0
1.004	7.709304071651960E-002	9.718565259361549E-002	10	0 0
1.008	7.758318344613001E-002	9.841751705203067E-002	10	0 0
1.012	7.807768896821657E-002	9.965345424680586E-002	10	0 0
1.016	7.857667195236143E-002	1.008932541629543E-001	10	0 0
1.020	7.908024790711404E-002	1.021366986519198E-001	10	0 0
1.024	7.958853246788154E-002	1.033835612805556E-001	10	0 0
1.028	8.010164118828084E-002	1.046336070913896E-001	10	0 0
1.032	8.061971157644397E-002	1.058866016526188E-001	10	0 0
1.036	8.114282043878227E-002	1.071422753266287E-001	10	0 0
1.040	8.167109832491286E-002	1.084003736082302E-001	10	0 0
1.044	8.220465810240527E-002	1.096606249603736E-001	10	0 0
1.048	8.274361126904295E-002	1.109227480746952E-001	10	0 0
1.052	8.328806763993607E-002	1.121864516617398E-001	10	0 0
1.056	8.383813501504298E-002	1.134514342038528E-001	10	0 0
1.060	8.439392762309224E-002	1.147173883720713E-001	10	0 0
1.064	8.495553372323431E-002	1.159839837930171E-001	10	0 0
1.068	8.552305683868702E-002	1.172508877812183E-001	10	0 0
1.072	8.609659597473873E-002	1.185177586046488E-001	10	0 0
1.076	8.667622248336405E-002	1.197842324312044E-001	10	0 0

1.080	8.726205943241570E-002	1.210499543836155E-001	10	0 0
1.084	8.785417303475375E-002	1.223145389473920E-001	10	0 0
1.088	8.845264025233196E-002	1.235775944156664E-001	10	0 0
1.092	8.905753205550523E-002	1.248387171841149E-001	10	0 0
1.096	8.966891277032382E-002	1.260974912881429E-001	10	0 0
1.100	9.028689767338495E-002	1.273534970898594E-001	10	0 0
1.104	9.091142806661379E-002	1.286062746081028E-001	10	0 0
1.108	9.154259275890656E-002	1.298553809216423E-001	10	0 0
1.112	9.218042497312530E-002	1.311003487193335E-001	10	0 0
1.116	9.282494562961058E-002	1.323406990843334E-001	10	0 0
1.120	9.347616552822605E-002	1.335759399455815E-001	10	0 0
1.124	9.413408398127458E-002	1.348055663848348E-001	10	0 0
1.128	9.479868799849139E-002	1.360290606741819E-001	10	0 0
1.132	9.546995144530404E-002	1.372458923499094E-001	10	0 0
1.136	9.614783417230793E-002	1.384555183262433E-001	10	0 0
1.140	9.683228111709329E-002	1.396573830521159E-001	10	0 0
1.144	9.752322137947549E-002	1.408509187142755E-001	10	0 0
1.148	9.822056727142633E-002	1.420355454901558E-001	10	0 0
1.152	9.892421334327671E-002	1.432106718540170E-001	10	0 0
1.156	9.963403538805923E-002	1.443756949399431E-001	10	0 0

Ek 5 HEDEF TANIMADA KULLANILMAK ÜZERE SAÇILAN ELEKTRİK ALANIN ZAMAN DOMENİ İFADELERİNDEN YARARLANARAK OLUŞTURULAN VERİ KÜMESİ ÖRNEĞİ

Veri kümesinde yer alan değerler sırasıyla zaman(ns), saçılan elektrik alanın genliği ve çıkışlardır. Çıkışlar ise 1.hedefin yarıçapı (m), 2.hedefin yarıçapı (m) ve hedefler arası mesafedir (m).

6.1355	3.6659	0.0127	0.0127	0.6350
6.1722	-8.0885	0.0127	0.0127	0.6350
6.2088	2.9514	0.0127	0.0127	0.6350
6.6484	-7.2168	0.0127	0.0127	0.6350
6.6850	15.1040	0.0127	0.0127	0.6350
6.7216	-4.9895	0.0127	0.0127	0.6350
6.9536	-1.1761	0.0127	0.0127	0.6350
7.1184	3.6508	0.0127	0.0127	0.6350
7.1551	-8.0954	0.0127	0.0127	0.6350
7.1917	2.9671	0.0127	0.0127	0.6350
7.3687	-1.4702	0.0127	0.0127	0.6350
7.4054	2.5680	0.0127	0.0127	0.6350
7.8510	-1.3391	0.0127	0.0127	0.6350
9.3956	3.6484	0.0127	0.0127	0.6350
9.4261	-8.0805	0.0127	0.0127	0.6350
9.4628	2.9871	0.0127	0.0127	0.6350
9.9023	-5.5528	0.0127	0.0127	0.6350
9.9390	15.0014	0.0127	0.0127	0.6350
9.9756	-5.3173	0.0127	0.0127	0.6350
10.0244	1.0222	0.0127	0.0127	0.6350
10.0611	-2.6578	0.0127	0.0127	0.6350
10.2076	-1.1702	0.0127	0.0127	0.6350
10.3663	4.5459	0.0127	0.0127	0.6350
10.4090	-10.1399	0.0127	0.0127	0.6350
10.4457	3.3751	0.0127	0.0127	0.6350
10.4945	-1.4258	0.0127	0.0127	0.6350
10.5372	3.2740	0.0127	0.0127	0.6350
10.5800	-1.4527	0.0127	0.0127	0.6350
10.6227	-1.5397	0.0127	0.0127	0.6350

10.6593	2.6444	0.0127	0.0127	0.6350
10.8852	1.5361	0.0127	0.0127	0.6350
11.0012	-1.5914	0.0127	0.0127	0.6350
11.1050	-1.5839	0.0127	0.0127	0.6350
2.7961	4.9552	0.0127	0.0254	1.2700
2.8327	-11.2641	0.0127	0.0254	1.2700
2.8632	4.2847	0.0127	0.0254	1.2700
3.3272	-9.1771	0.0127	0.0254	1.2700
3.3639	20.4166	0.0127	0.0254	1.2700
3.4005	-7.3255	0.0127	0.0254	1.2700
3.5958	1.0844	0.0127	0.0254	1.2700
3.6264	-1.7932	0.0127	0.0254	1.2700
3.7790	4.8058	0.0127	0.0254	1.2700
3.8156	-11.1876	0.0127	0.0254	1.2700
3.8523	4.3292	0.0127	0.0254	1.2700
4.0049	-2.3117	0.0127	0.0254	1.2700
4.0354	4.4773	0.0127	0.0254	1.2700
4.0720	-1.1279	0.0127	0.0254	1.2700
4.4078	1.2977	0.0127	0.0254	1.2700
4.4444	-2.5754	0.0127	0.0254	1.2700
4.6337	1.0958	0.0127	0.0254	1.2700
6.1355	3.6654	0.0254	0.0127	0.6350
6.1722	-8.0896	0.0254	0.0127	0.6350
6.2088	2.9530	0.0254	0.0127	0.6350
6.6484	-7.2158	0.0254	0.0127	0.6350
6.6850	15.1050	0.0254	0.0127	0.6350
6.7216	-4.9925	0.0254	0.0127	0.6350
6.9536	-1.1740	0.0254	0.0127	0.6350
7.1184	3.6505	0.0254	0.0127	0.6350
7.1551	-8.0958	0.0254	0.0127	0.6350
7.1917	2.9701	0.0254	0.0127	0.6350
7.3687	-1.4723	0.0254	0.0127	0.6350
7.4054	2.5658	0.0254	0.0127	0.6350
7.8510	-1.3364	0.0254	0.0127	0.6350
9.3101	4.9054	0.0254	0.0127	0.6350
9.3407	-11.2490	0.0254	0.0127	0.6350

9.3773	4.3653	0.0254	0.0127	0.6350
9.7924	-1.3773	0.0254	0.0127	0.6350
9.8413	-8.5598	0.0254	0.0127	0.6350
9.8718	19.9818	0.0254	0.0127	0.6350
9.9084	-7.6731	0.0254	0.0127	0.6350
9.9512	1.3368	0.0254	0.0127	0.6350
9.9878	-3.8166	0.0254	0.0127	0.6350
10.0244	1.6200	0.0254	0.0127	0.6350
10.1038	1.0872	0.0254	0.0127	0.6350
10.1404	-1.7596	0.0254	0.0127	0.6350
10.2869	6.8839	0.0254	0.0127	0.6350
10.3236	-15.1999	0.0254	0.0127	0.6350
10.3602	5.0312	0.0254	0.0127	0.6350
10.4151	-2.3669	0.0254	0.0127	0.6350
10.4518	5.4930	0.0254	0.0127	0.6350
10.5006	-3.8151	0.0254	0.0127	0.6350
10.5495	4.6457	0.0254	0.0127	0.6350
10.5861	-1.3069	0.0254	0.0127	0.6350
10.7692	-1.0727	0.0254	0.0127	0.6350
10.8059	2.3257	0.0254	0.0127	0.6350
10.8852	1.0250	0.0254	0.0127	0.6350
10.9524	-2.0538	0.0254	0.0127	0.6350
11.1477	1.3968	0.0254	0.0127	0.6350
2.7900	5.0447	0.0254	0.0254	1.2700
2.8266	-10.9200	0.0254	0.0254	1.2700
2.8571	4.4450	0.0254	0.0254	1.2700
3.3211	-9.4564	0.0254	0.0254	1.2700
3.3578	20.0526	0.0254	0.0254	1.2700
3.3883	-7.3976	0.0254	0.0254	1.2700
3.5836	1.0994	0.0254	0.0254	1.2700
3.6203	-1.8156	0.0254	0.0254	1.2700
3.7729	4.9239	0.0254	0.0254	1.2700
3.8095	-10.8805	0.0254	0.0254	1.2700
3.8400	4.4810	0.0254	0.0254	1.2700
3.9927	-2.3672	0.0254	0.0254	1.2700
4.0293	4.5159	0.0254	0.0254	1.2700

4.0659	-1.1225	0.0254	0.0254	1.2700
4.4017	1.2867	0.0254	0.0254	1.2700
4.4322	-2.5541	0.0254	0.0254	1.2700
4.6276	1.1266	0.0254	0.0254	1.2700

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 01.01.1983

Doğum yeri Tunceli

Lise 1997-2001

Nevvar Salih İşgören Lisesi

Lisans 2001-2005

Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

2005-YTÜ Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve
Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı, Haberleşme
Programı Araştırma Görevlisi

