

**DİSK VE DİELEKTRİK YÜKLEMELİ MONOPOL
ANTENLERİN MOMENT METODUYLA
ANALİZLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

DİDEM KARACAN TOL

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
EYLÜL-2006**

**DİSK VE DİELEKTRİK YÜKLEMELİ MONOPOL ANTENLERİN
MOMENT METODUYLA ANALİZLERİNİN
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

DİDEM KARACAN TOL

**Mersin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği
Ana Bilim Dalı**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR**

**MERSİN
EYLÜL-2006**

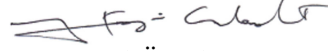
Bu tezin gerek bilimsel içerik, gerekse elde edilen sonuçlar açısından tüm gerekleri sağladığı kanaatine ulaşan ve aşağıda imzaları bulunan biz jüri üyeleri, sunulan tezi oy birliği ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul ediyoruz.



Tez Danışmanı
Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin MUTLU



Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Hüseyin CANBOLAT

Bu tezin Fen Bilimleri Enstitüsü yazım kurallarına uygun olarak yazıldığı Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../.....tarih ve/..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr.Mahir TURHAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI	2
2.1 DİSK VE DİLEKTRİK YÜKLÜ MA ANALİZİ	2
2.1.1 Disk Yüklü Monopol Antenlerin Analizi	2
2.1.2 Dielektrik Yüklü Monopol Antenlerin Analizi	5
2.2.MoM MOMENT METODU	8
2.2.1. MoM Yönteminin İnce Tel Antenlere Uygulanması	12
2.2.2. Ağırlıklı Artıklar Teknikleri	19
3.MATERYAL VE METOD	23
3.1 DİSK VE DİLEKTRİK YÜKLÜ MONOPOL ANTENLERİN “ ÖZGÜN MODLAR” ANALİZİ İLE ÇÖZÜMÜ	23
3.2 MOM YARDIMI İLE PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ	24
3.3.KULLANILAN YAZILIMLAR	26
3.3.1.Matlab	26
3.4 Matlab ile MOM’un uygulanması	28
4.BULGULAR VE TARTISMA	30
4.1. DİLEKTRİKSİZ ORTAMDA MA BENZETİMİ	30
4.2. DİLEKTRİKLİ ORTAMDA MA BENZETİMİ	32
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR	38
EKLER	
MATLAB Kodları	41

ÖZ

Disk ve Dielektrik Yüklemeli Monopol Antenler (DDYMA) elektromanyetik literatürde kısa boylarından dolayı bilinmektedir. Disk ve dielektrik yüklemeli monopol antenlerde enerjinin taşınabilmesi için değişik modlar oluşmaktadır. Bu modların fiziksel özelliklerinin incelenebilmesi için; disk yüklemeli anten düzeneğinde Moment Metodu tekniği ile elde edilen denklemlerden yararlanarak, modların bilinmeyen katsayılarının bulunması gerekmektedir. Bu nümerik hesaplamaların yapılabilmesi için Matlab programı kullanılmıştır. Değişik boyutlardaki DDYMA'lar için değişik frekanslardaki tüm akım dağılımları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anten, Monopol Anten, Moment Metot,

ABSTRACT

Disc and dielectric-loaded monopole antennas have been known via their short length in electromagnetic literature. In disc and dielectric loaded monopole antennas various modes are formed for energy transport. In order to study the physical properties of those modes, in this study it was aimed to determine the unknown coefficients of the corresponding modes using the equations derived by moment method technique in a disc- loaded antenna set up. Matlab was utilized in numerical calculations. Current distributions at various frequencies and distances were also examined.

Key words: antenna, monopole antenna, and method of moments.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öncelikle yardımlarından dolayı danışmanım Doç. Dr. Caner ÖZDEMİR'e, maddi manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan anne ve babama ve bu yoğun çalışmada gösterdiği anlayıő ve destekten dolayı bilhassa eőime teşekkür ediyorum.

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 2.1. İki yer düzlemi arasındaki dielektrik yüklemeli top-hat monopul anten konfigürasyonu	2
Şekil 2.2. 1GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektriksiz)	3
Şekil 2.3. 2.35GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektriksiz).....	4
Şekil 2.4. 4GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektriksiz).....	4
Şekil 2.5. İki yer düzlemi arasındaki top-hat monopul anten konfigürasyonu.....	5
Şekil 2.6. 1GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektrikli).....	6
Şekil 2.7. 2.35GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektrikli).....	7
Şekil 2.8. 4GHz için Akim-Mesafe grafiği (Dielektrikli).....	8
Şekil 2.9.(a). J akım yoğunluğuna sahip iletken tel.....	13
Şekil 2.9.(b). Boşlukta J_s eşdeğer yoğunluğuna sahip yüzey akım modeli.....	13
Şekil 2.10. EFIE, elektrik alan integral denklemi çıkarılımı.....	15
Şekil 3.1. Matris formatı.....	25
Şekil 4.1. 1GHz için dielektriksiz MA benzetim grafiği.....	30
Şekil 4.2. 2.35GHz için dielektriksiz MA benzetim grafiği.....	31
Şekil 4.3. 4GHz için dielektriksiz MA benzetim grafiği.....	32
Şekil 4.4. 1GHz için dielektrikli MA benzetim grafiği.....	33
Şekil 4.5. 2.35GHz için dielektrikli MA benzetim grafiği.....	34
Şekil 4.6. 4GHz için dielektrikli MA benzetim grafiği.....	35

SEMBOLLER DİZİNİ

\bar{E}	: Gelen elektrik alan
E_s	: Saçılan elektrik Alan
f	: Frekans
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
μ_0	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
\bar{k}	: Dalga yayılım doğrultusu vektörü
\bar{H}	: Manyetik alan vektörü
λ	: Dalga boyu
k	: Dalga sayısı
V	: Gerilim
I	: Akım
c	: Işık Hızı
J	: Akım yoğunluğu
R	: Radar hedef arası mesafe
t	: Zaman
H_x	: Manyetik alan x-bileşeni
H_y	: Manyetik alan y-bileşeni
H_z	: Manyetik alan z-bileşeni
H_ϕ	: Manyetik alan ϕ -bileşeni
h	: Yükseklik
J_p	: Bessel fonksiyonu
H_p	: Henkel fonksiyonu
w_m	: Ağırlaştırma katsayısı

KISALTMALAR DİZİNİ

EFIE	: Electrical Field Integral Equation
MA	: Monopol Anten
MFIE	: Magnetic Field Integral Equation
MoM	: Method of Moments
PEC	: Perfectly Electrical Conductor
NEC	: Numerical Electromagnetic Code
GUI	: Graphics User Interface
DDYMA	: Disk ve Dielektrik Yükleme Monopol Antenler
ŞMA	: Şapka Monopol Anten

1.GİRİŞ

Elektromanyetik dalgaları bir sistemden alıp çevresine yayan ve benzer olarak, çevresindeki elektromanyetik dalgalardan aldığı işaretle bir sistemi besleyen cihazlara genel olarak “anten” adı verilir. Hertz’in kullandığı ilk anten yapısı, böceklerin etrafı izlemek için kullandıkları duyargaların yapısına benziyordu [1]. Gerçekte, böceklerin duyargaları da doğal antenlerden başka bir şey değildir. Latince de böcek duyargası anlamına gelen anten kelimesi, böylece fizik diline sokulmuştur. Bugün kullanılan anten tipleri arasında ise, Hertz’in anteninden çok farklı yapıda olanları bulunmaktadır.

Bir sistemden güç alarak çevresine elektromanyetik dalga yayan bir antene, “verici anten” denir. Çevresindeki elektromanyetik dalgalar tarafından uyarılarak, bir sisteme güç aktaran antene ise “alıcı anten” denir. Verici antenler de, alıcı antenler de, ilgili oldukları sistemlere ya iletim hattı ile ya da dalga kılavuzu ile bağlıdır. Yapı bakımından, verici ve alıcı antenler birbirlerine benzerler. Hatta bir anten hem alıcı hem verici anten olarak da kullanılabilir. Örneğin, radarların çoğunun verici anteni de alıcı anteni de aynı elemandır. Dolayısıyla; anten konusu, göz önüne alınan antenlerin hem verici hem de alıcı olarak çalışmalarını inceler [2-8].

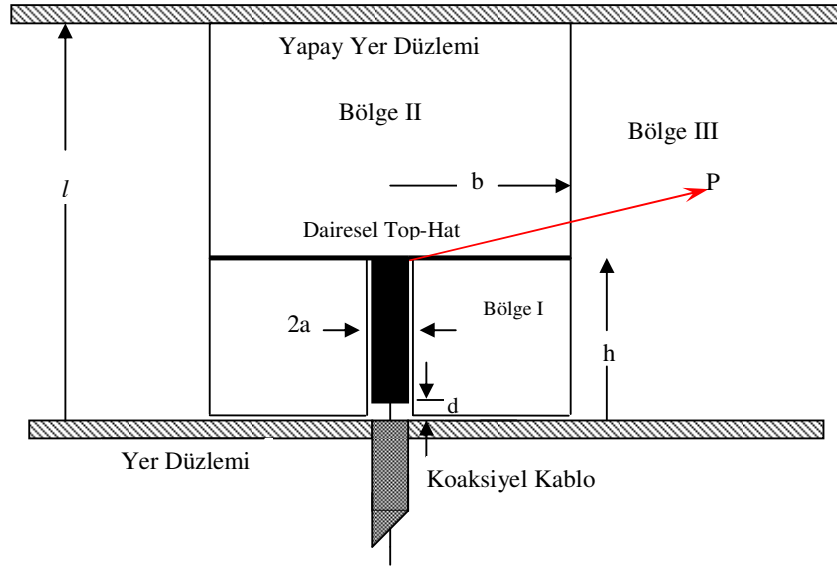
Disk ve dielektrik yüklemeli monopol antenler, elektromanyetik literatürde kısa boylarından dolayı bilinmektedirler. DDYMA’larda, enerjinin taşınabilmesi için değişik yayılım modları oluşmaktadır [9-17]. Bu modların fiziksel özelliklerinin incelenebilmesi için; disk yüklemeli monopol anten düzeneğinde Moment Metodu (MoM) tekniği ile elde edilen denklemlerden yararlanarak modların bilinmeyen katsayılarının bulunması gerekmektedir. Bu katsayıların nümerik olarak belirlenmesi için Matlab programı kullanılarak hesaplama yapılmış ve oluşan akım dağılımları incelenmiştir.

2.KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1 DİSK VE DİELEKTRİK YÜKLÜ MONOPOL ANTENLERİN ANALİZİ

2.1.1 Disk Yüklü Monopol Antenlerin Analizi

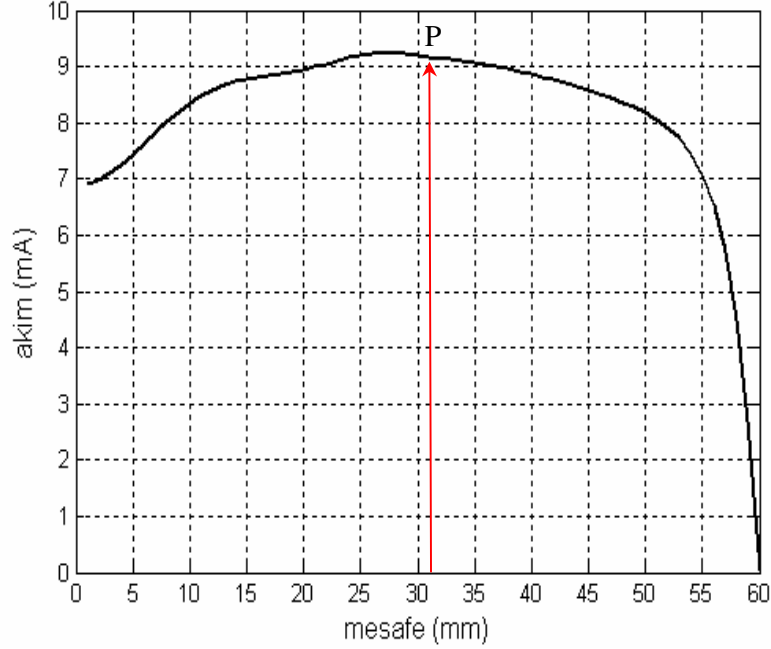
Michael A. Morgan ve Felix K. Schwering, ‘Eigenmode Analysis of Dielectric Loaded Top-Hat Monopole Antennas’ [18] adlı makalelerinde, şekil 2.1’deki iki yer düzlemi arasındaki disk yüklü monopol anten düzenine ele almışlardır.



Şekil 2.1 İki yer düzlemi arasındaki dielektrik yüklemeli top-hat monopol anten konfigürasyonu.

Bu çalışmada, Özgün mod analiz tekniği kullanılarak disk yüklemeli monopol anten üzerindeki saçılmanın fiziksel özellikleri incelenmiştir. Şekil 2.1 de I, II ve III no'lu bölgeler için Bessel ve Hankel fonksiyonları yardımıyla farklı frekans değerleri için (1GHz, 2.35GHz ve 4GHz) anten üzerindeki akımın mesafeye göre

değişimi, $a=0.00119\text{m}$, $b=0.0387\text{m}$, $d=0.001\text{m}$, $h=0.03175\text{m}$, $f_1=1\text{GHz}$ için; $\lambda_1=0.3\text{m}$, $L_1=0.153\text{m}$, $f_2=2.35\text{GHz}$ için; $\lambda_2=0.1277\text{m}$, $L_2=0.0651\text{m}$, $f_3=4\text{GHz}$ için; $\lambda_3=0.075\text{m}$, $L_3=0.0383\text{m}$ değerleri için hesaplatılmış ve şekil 2.3, 2.4, 2.5 teki grafikler elde edilmiştir.

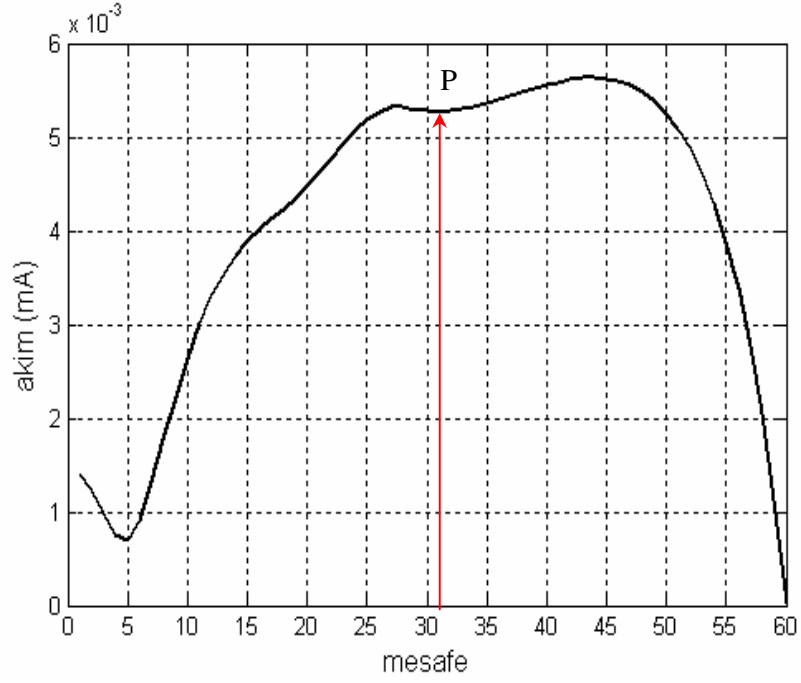


Şekil 2.2: 1GHz için I-d grafiği dielektriksiz

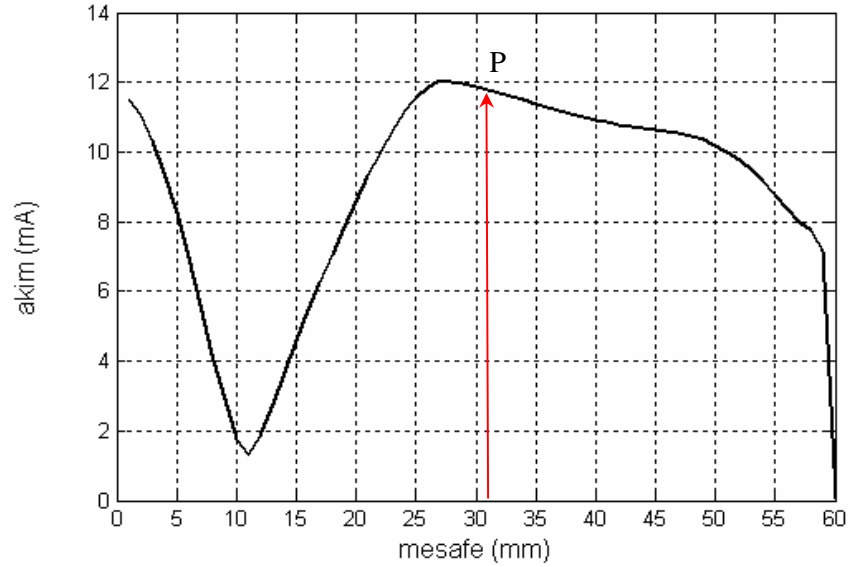
Şekil 2.2’de, yer düzleminde ‘h’ kadar yüksekte olan monopol antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan Şapka Monopol Anten’in (ŞMA) üzerinden geçen akımın değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopol antenin başlangıcında akım, 7mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen ‘P’ noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerleyerek antenin bittiği yerde ‘0’ değerini gösteriyor.

Yine şekil 2.3’de de, yer düzleminde ‘h’ kadar yüksekte olan monopol antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan ŞMA’nın üzerinden geçen akımın değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopol antenin başlangıcında akım, 1.5mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen

'P' noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerleyerek antenin bittiği yerde '0' değerini gösteriyor.



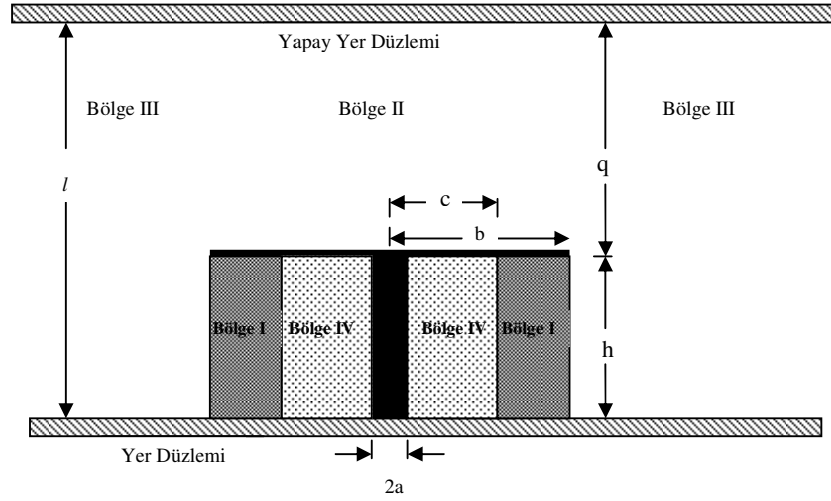
Şekil 2.3: 2350 MHz için I-d grafiği dielektriksiz



Şekil 2.4: 4GHz için I-d grafiği dielektriksiz

Şekil 2.4’de yine, yer düzleminden ‘h’ kadar yüksekte olan monopol antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopol antenin üzerinden geçen akımın değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopol antenin başlangıcında akım, 12mA civarında bir değerden başlıyor, monopol anten boyunca akım düşerek ilerliyor ve yaklaşık 10mm’de akım 2mA civarını gösteriyor. Tekrar akım değeri ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen ‘P’ noktasına kadar yükseliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerleyerek, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım ‘0’ değerini gösteriyor.

Laura A. Francavilla , ‘Mode – Matching Analysis of Top-Hat Monopole Antennas’ adlı makalesinde [19] şekil 2.5 deki iki yer düzlemi arasındaki dielektrik yüklü monopol anten düzeninde anten üzerinde oluşan saçılmanın fiziksel özelliklerini incelemiştir.



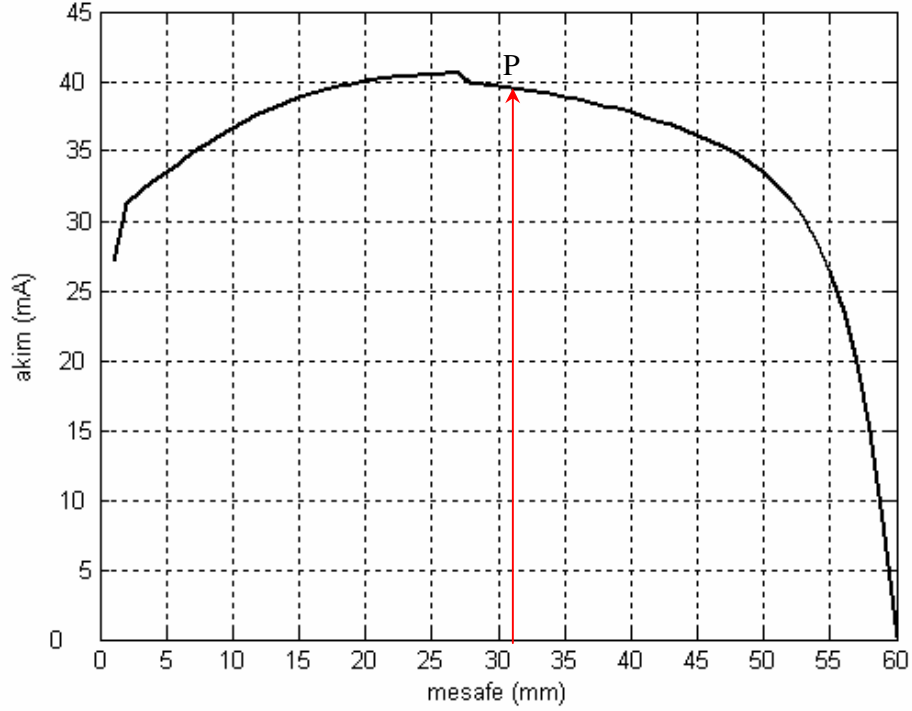
Şekil 2.5 : İki yer düzlemi arasındaki top-hat monopol anten konfigürasyonu.

Şekil 2.5 de I., II., III. ve IV. bölgelerde oluşan akımları hesaplamak için farklı frekanslarda mod eşleştirme tekniğini kullanmışlardır.

2.1.2 Dielektrik Yüklü Monopol Antenlerin Analizi

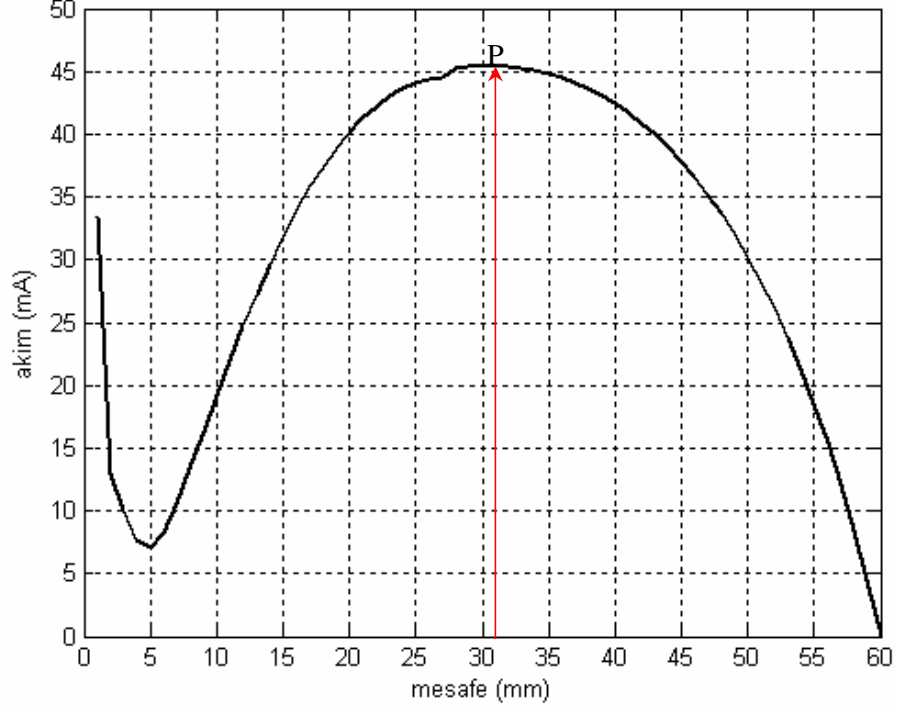
Şekil 2.1’de görülen iki yer düzlemi arasında ki ‘Şapka Monopol Anten’ (ŞMA) konfigürasyonunda gösterilen I,II ve III no’lu bölgeler için dielektrikli

ortamda farklı frekanslar (1GHz,2.35GHz ve 4GHz) için anten üzerindeki akımın mesafeye göre değişim grafikleri; $a= 0.00119\text{m}$, $b=0.0387\text{m}$, $d=0.001\text{m}$, $h=0.03175\text{m}$, $f_1=1\text{GHz}$ için; $\lambda_1=0.3$, $L_1=0.153\text{m}$, $f_2=2.35\text{GHz}$ için; $\lambda_2=0.1277\text{m}$, $L_2=0.0651\text{m}$, $f_3=4\text{GHz}$ için; $\lambda_3=0.075\text{m}$, $L_3=0.0383\text{m}$, $\epsilon_r=2.68$, $\sigma=0.01\text{S/m}$ değerleri kullanılarak hesaplatıldığında Şekil 2.6, 2.7, 2.8 deki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 2.6: Dielektrikli ortamda 1GHz için I-d grafiği

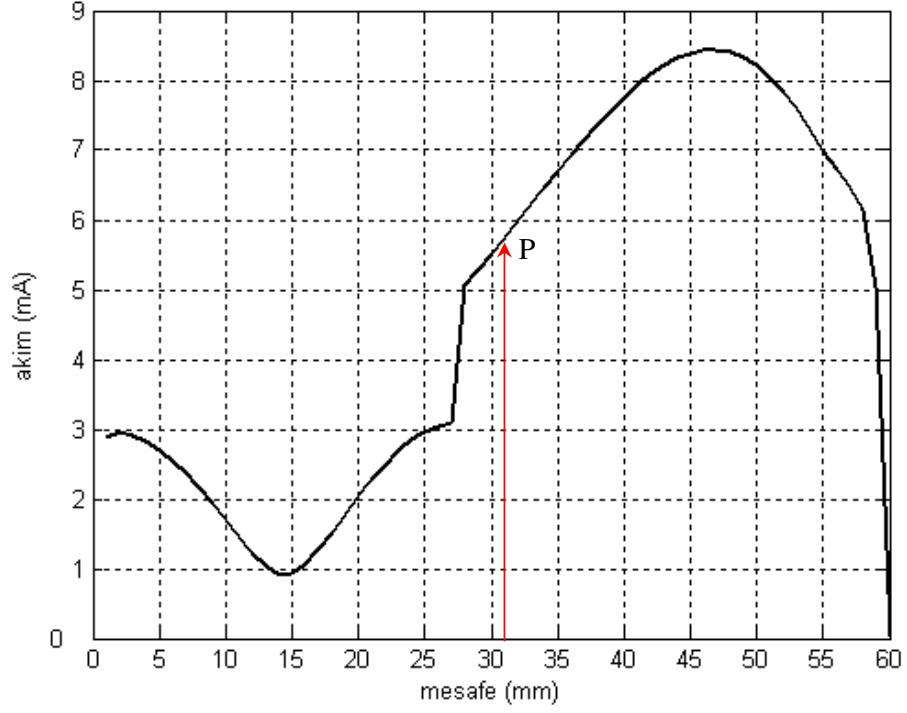
Şekil 2.6'da, yer düzleminde 'h' kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan ŞMA üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 7mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA'nın başlangıç yeri olarak belirlenen 'P' noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerleyerek antenin bittiği yerde '0' değerini gösteriyor.



Şekil 2.7: Dielektrikli ortamda 2350 MHz için I-d grafiği

Şekil 2.7'de, yer düzleminden 'h' kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan ŞMA üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 7mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA'nın başlangıç yeri olarak belirlenen 'P' noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım '0' değerini gösteriyor.

Şekil 2.8'de, yer düzleminden 'h' kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopul antenin üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 7mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA'nın başlangıç yeri olarak belirlenen 'P' noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren ŞMA boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım '0' değerini gösteriyor.



Şekil 2.8: Dielektrikli ortamda 4000 MHz için I-d grafiği

2.2 MOMENT METODU (MoM)

Moment Metodu (MoM, İngilizce **M**ethod **o**f **M**oments kelimelerinin kısaltılmışı) 1968 yılında Harrington [20] tarafından geliştirilmiş ve günümüzde de elektromanyetik problemin çözülmesinde başarıyla kullanılan frekans bölgesindeki bir nümerik çözüm yöntemidir. MoM, frekans bölgesinde integral denklemlerini temel alan bir sayısal yöntemdir. Yöntemin ana formülasyonu, Green fonksiyonlarını kullanarak elde edilen integral denklemdir. Yöntemin genel özellikleri şu şekilde sıralanabilir [1];

1. MoM, bir uyarma problemdir. Sağ tarafında dürtü fonksiyonu şeklinde bir terim bulunan Green fonksiyonu problemdir.

2. Öncelikle ele alınan yapıya ait Green fonksiyonunun analitik olarak bulunması gerekir.
3. İkinci olarak ele alınan yapı üzerinde oluşan yüzey akımlarının sayısal olarak hesaplanmasına bağlıdır.
4. Ele alınan yapının küçük parçalara (segment) ayrılması ve yüzey akımlarının matris sistemi şeklinde yazılıp çözülmesine dayanır.
5. Matris sisteminin boyutu segment sayısına bağlıdır. Segment sayısı arttıkça empedans matrisinin tersinin alınmasındaki, sayısal zorluklar nedeniyle hesap hacmi ve süresi üstsel olarak artmaktadır.

Moment metodu aşağıdaki denklemden yola çıkılarak kısaca özetlenebilir [21],

$$L\phi = u \quad (2.1)$$

bu denklemden L bilinen doğrusal bir operatör, u ise bilinen bir kaynak fonksiyonudur. ϕ 'yi ortaya çıkarmak için;

$$\int_a^b K(x, x')\phi(x')dx' = u(x) \quad (2.2)$$

verilir. Bu denklemden $K(x, x')$ ve $u(x)$ bilinmektedir. MoM yönteminde ilk adımda ϕ , seçilen f_n temel fonksiyonları cinsinden gösterilir;

$$\phi = \sum_{n=1}^{\infty} a_n f_n \quad (2.3)$$

a_n genişletme katsayıları bilinmemektedir ancak sonradan belirlenecektir. (2.2) ve (2.3) denklemleri kullanılarak,

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n \int_a^b K(x, x')f_n(x')dx' = u(x) \quad (2.4)$$

elde edilir. Böylece integrasyon analitik veya sayısal olarak uygulanabilir. Tanım olarak;

$$k_n(x) \stackrel{\Delta}{=} \int_a^b K(x, x') f_n(x') dx' = \langle K(x, x') f_n(x') \rangle \quad (2.5)$$

seçilir ve (2.3)' den,

$$\sum_{n=1}^{\infty} a_n k_n(x) \cong u(x) \quad (2.6)$$

elde edilir. (2.4) ile N üst limiti tamamlanmış olur. Denklemin her iki tarafı da seçilmiş uygun yükleme (weighting) veya test (testing) $w_m(x)$ fonksiyonları ile çarpılır ve (a, b) sınırlarında integralleri alındığında,

$$\sum_{n=1}^N a_n \int_a^b k_n(x) w_m(x) dx = \int_a^b u(x) w_m(x) dx \quad (2.7)$$

elde edilir. Tanım olarak;

$$A_{mn} \stackrel{\Delta}{=} \langle k_n, w_m \rangle \quad (2.8)$$

$$u_m \stackrel{\Delta}{=} \langle u, w_m \rangle \quad (2.9)$$

seçilirse,

$$\sum_{n=1}^N A_{mn} a_n = u_m \quad (2.10)$$

elde edilir. ($m=1, 2, 3, \dots, N$) olmak üzere bu işlem tüm w_m serisine uygulanırsa;

$$[A][a] = [u] \Rightarrow [a] = [A]^{-1}[u] \quad (2.11)$$

(2.2) ve (2.11) denklemlerinden de,

$$\phi = [a][f'] = [A]^{-1}[u][f'] \quad (2.12)$$

çözümüne ulaşılır. Bu yöntemde, f ve w fonksiyonlarının hesaplamaları kolaylaştıracak ve $\sum_{n=1}^N a_n f_n$ serisinin yakınsayacak şekilde seçilmesi gerekir. Özel olarak, $f_n = w_n$ $n=1,2,3,\dots, N$ durumuna “Galerkin Metodu” ve $w_i = \delta(x - x_i)$ $i=1,2,\dots, N$ $i \in (a,b)$ durumunda ise “Noktasal Uydurma Metodu”(Point Matching) denir. MoM yöntemi ile çözülen denklemler ya elektrik alan integral denklemleri (EFIE: **E**lectrical **F**ield **I**ntegral **E**quation) ya da manyetik alan integral denklemleridir (MFIE: **M**agnetic **F**ield **I**ntegral **E**quation). Her iki denklem de Maxwell denklemlerinin mükemmel iletken ya da kayıpsız dielektrikten saçılması durumunda çözülmesi ile elde edilirler. Bu denklemler

$$EFIE \Rightarrow E_i = fe(J) \quad (2.13)$$

$$MFIE \Rightarrow H = fm(J) \quad (2.14)$$

şeklinindedir. Burada, sol taraftaki terimler gelen alanlar, J ise indüklenen akım yoğunluğudur. Denklemlerde, gelen alanlar bilinenler olup, akım yoğunluğu bilinmeyen terimdir. Bu denklemlerin çıkarılışları ve ayrıntıları çeşitli kaynaklarda [22] ayrıntılı olarak bulunmakta olup burada ayrıca değinilmemiştir. Ele alınan yapıya uygun olarak bu iki integral denklemden birisi kullanılır. Örneğin, EFIE sistemi tel iletkenlerden oluşan yapılar için uygunken, MFIE iletken düzlem yapılarda daha uygun olmaktadır [1].

Ele alınan integral denkleme bağlı olarak MoM yöntemi,

- Sadece iletken yapılara,

- Homojen kayıpsız dielektriklere, ya da
- Çok özel iletken-kayıpsız dielektrik yapılara

uygulanır. İntegral denklemleri şeklinde uygulanan MoM yöntemi karmaşık ve çok malzemeli yapılarda etkili olarak uygulanamamaktadır. Yine de MoM yöntemi özellikle iletken tellerden oluşmuş üç boyutlu yapıların anten olarak tasarımında ya da bu yapılardan saçılan alanların modellenmesinde son derece başarılıdır [1]. Bu nedenle bu aşamada MoM yönteminin ince tel antenlerde uygulanması incelenecektir.

2.2.1 MoM Yönteminin İnce Tel Antenlere Uygulanması

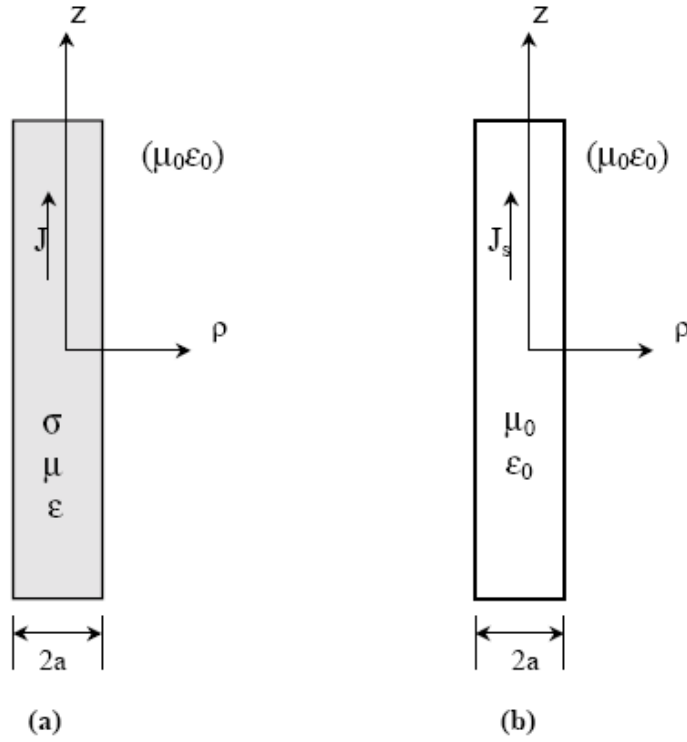
Şekil 2.9. (a)' da z -ekseninde yerleştirilmiş ince bir tel anten gösterilmektedir. Bu tip bir anten en genel halde;

$$-\int I(z')K(z, z')dz' = E^i(z) \quad (2.15)$$

integraliyle gösterilmektedir. $K(z, z')$ çekirdeği, kullanılan integral formülasyonuna göre belirlenmektedir.

Elektromanyetik ışınım problemleri her zaman (2.15) şeklinde ifade edilebilir. Denklemin sağında homojen olmayan bir kaynak ve integral içinde de bilinmeyen bulunmaktadır. Hızlı bilgisayarlar ortaya çıkmadan önce bu tip problemlerin çözülmesi pek mümkün değildi. 1960'ların ortalarından itibaren birçok MoM kodu ve prosedürü ortaya çıktı.

MoM yöntemi, doğrusal denklemlerden oluşan bir sistem ile (2.15) integral denkleminde, bilinmeyen $I(z')$ akımı için çözüm üretmektir. Akım bulunduğundan sonra ışınım diyagramı ve empedans hesaplamaları kolaylıkla yapılabilmektedir.



Şekil 2.9. (a) J akım yoğunluğuna sahip iletken tel (b) Boşlukta J_s eşdeğer yüzey akım yoğunluğuna sahip yüzey modeli

Tel antenlerin davranışlarıyla ilgili en sık kullanılan integral denklemlerden biri Pocklington tarafından 1897 yılında çıkarılmıştır [22]. Bu denklemleri elde etmek için, Şekil 2.9. (a)' da gösterilmiş olan tel antendeki σ iletkenliğinin mükemmel olduğu varsayılır ve akımın yüzeyden aktığı düşünülür. Eşdeğer anten modeli Şekil 2.9.(b)' de gösterilmektedir. Model boşluktaki yüzey akımlarını gösterir (yani antenin malzemesini kaldırır). Böylece boşluktaki Green fonksiyonu ve ilgili vektör potansiyel kullanılabilir.

Telin çapı dalga boyundan çok küçük olduğu sürece sadece z yönündeki akımların var olacağı söylenebilir. Maxwell denklemlerinin açılımındaki basitleştirme sonucu ortaya konan Lorentz durumu;

$$\frac{\partial A_z}{\partial z} = -j\omega\mu_0\epsilon_0\phi \quad (2.16)$$

denklemlerle verilmektedir [22]. Bu denklemde ϕ skaler potansiyel, A_z manyetik vektör potansiyelin z yönündeki bileşenleridir. Aynı şekilde Maxwell denklemlerinden elde edilen vektör elektrik alan denklemlerin z yönündeki skaler hali,

$$\bar{E}_z = -j\omega A_z \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (2.17)$$

denklemlerle gösterilmektedir. (2.16) denkleminden $\frac{\partial \phi}{\partial z}$ bulunup, (2.17)'de yerine konulursa,

$$\bar{E}_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \left(\frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} + \beta^2 A_z \right) \quad (2.18)$$

elde edilir. Bu denklemde, $\beta = \sqrt{\omega^2\mu_0\epsilon_0}$ dalganın yayılım sabitidir. z yönündeki hacim elemanı Jdv' olmak üzere;

$$\nabla \bar{E}_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \left(\frac{\partial^2 \Psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \Psi(z, z') \right) Jdv' \quad (2.19)$$

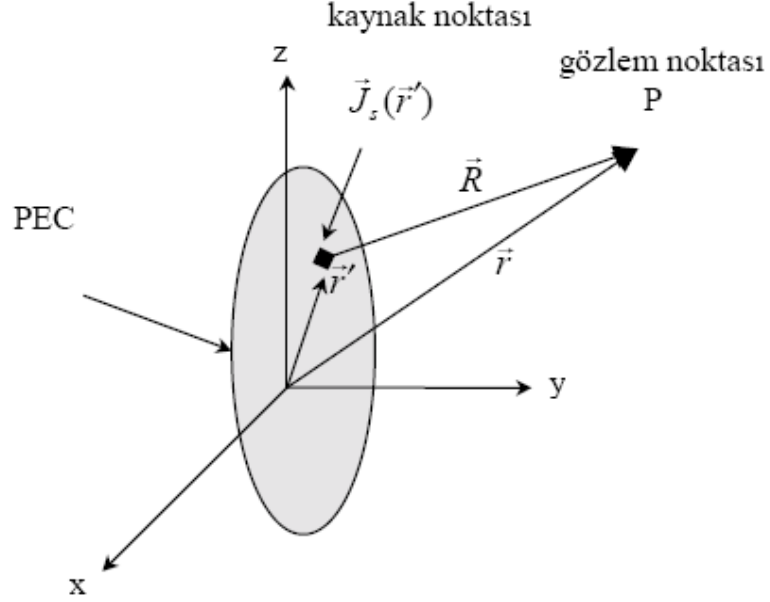
elde edilir. $\Psi(z, z')$ boşluktaki Green fonksiyonudur [22]. Açılımı;

$$\Psi(z, z') = \frac{e^{-j\beta R}}{4\pi R} \quad (2.20)$$

Şekil 2.10 da gösterildiği gibi, $\bar{R}; (x, y, z)$ koordinatlarındaki P gözlem noktası ile (x', y', z') koordinatlarındaki kaynak noktası arasındaki mesafe olup,

$$R = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2} \quad (2.21)$$

ile gösterilir. Elektrik alana gelecek toplam katkı, tel hacminin integrali alınarak bulunabilir.



Şekil 2.10: EFIE, elektrik alan integral denklemi çıkarılması

$$\bar{E}_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \iiint \left(\frac{\partial^2 \Psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \Psi(z, z') \right) J dv' dx dy dz \quad (2.22)$$

Akım, ancak tel yüksek iletkenliğe sahip değilse bir hacim içinde dağılacaktır. İletkenliğin sonsuz olduğu varsayıldığında akım tel yüzeyine toplanmakta ve denklem,

$$\bar{E}_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \oint \int_{-L/2}^{L/2} \left(\frac{\partial^2 \Psi(z, z')}{\partial z^2} + \beta^2 \Psi(z, z') \right) J_s dz' d\phi' \quad (2.23)$$

şeklini almaktadır. Burada, c ; tel yüzey kesitinin eğrisi, L ; tel kesitinin z yönündeki uzunluğudur. Şekil 2.9'da telin yarıçapı " a " olarak verildiğinden ve elimizdeki mevcut yapı göz önüne alındığında,

$$R = \sqrt{(z - z')^2 + a^2} \quad (2.24)$$

denklemlerle ifade edilebilir. $a \ll \lambda$ olduğu sürece c eğrisi üzerinde akım dağılımı düzgün olacaktır. Bu durumda (2.23)' deki çizgisel integral;

$$\bar{E}_z = \frac{1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \int_{-L/2}^{L/2} \bar{I}(z') \left(\frac{\partial^2 \Psi(z, z')}{\partial z'^2} + \beta^2 \Psi(z, z') \right) dz' \quad (2.25)$$

denklemlerle sadeleşir. (2.3) ile elde edilen denklem eşdeğer $I(z')$ akımından dolayı boşlukta yayılan elektrik alanı göstermektedir ve aslında saçılan alan (E_z^s) olarak ve diğer elektrik alan ise, gelen alan (E_z^i) olarak adlandırılır. Mükemmel iletken bir yüzeyde bu iki alanın yüzey bileşenleri toplamı daima sıfır olmak zorundadır. Yani,

$$\bar{E}_z^i + \bar{E}_z^s = 0 \quad (2.26)$$

bu durumda,

$$\bar{E}_z^i = \frac{-1}{j\omega\mu_0\epsilon_0} \int_{-L/2}^{L/2} \bar{I}(z') \left(\frac{\partial^2 \Psi(z, z')}{\partial z'^2} + \beta^2 \Psi(z, z') \right) dz' \quad (2.27)$$

elde edilmektedir.

(2.27) denkleminin MoM yöntemiyle çözülebilmesi için;

$$- \int_{-L/2}^{L/2} \bar{I}(z') \bar{K}(z, z') dz' = \bar{E}_z^i \quad (2.28)$$

denklemin formu kullanılabilir. İlk adım, bilinmeyen akımı F_n temel (base) fonksiyonları ile seriye açmaktır.

$$\bar{I}(z') = \sum_{n=1}^N \bar{I}_n F_n(z') \quad (2.29)$$

Bu denklemdeki I_n değerleri kompleks genişletme katsayılarıdır ve bilinmemektedirler. İşlemleri kolaylaştırmak için, temel fonksiyonlar aşağıdaki ortogonal darbe fonksiyonları olsun,

$$f_n(z') = \begin{cases} 1 & z', \Delta z_m \text{ sınırlarında} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.30)$$

bu darbe fonksiyonları sonucu oluşan değişim, Δz_n uzunluktaki N parçaya bölünmüş tel üzerindeki akım dağılımının basamak halindeki yaklaşıklığıdır. (2.29) ve (2.30) denklemlerinin birlikte kullanılmasıyla;

$$- \int_{-L/2}^{L/2} \sum_{n=1}^N \bar{I}_n F_n(z') \bar{K}(z_m, z') dz' \approx \bar{E}_z^i(z_m) \quad (2.31)$$

yaklaşımı elde edilir. Bu denklemde integral denklemi m parça için zorlanmıştır. Gerçek akım dağılımı yerine sayısal akım dağılımı getirilmesi nedeniyle denklem sağ tarafa yaklaşık olarak eşittir. (2.30)' deki fonksiyon da bu denkleme katılırsa,

$$- \sum_{n=1}^N \bar{I}_n \int_{\Delta z_n} \bar{K}(z_m, z') dz' \approx \bar{E}_z^i(z_m) \quad (2.32)$$

elde edilmektedir. İşlemlerde kolaylık sağlaması açısından,

$$f(z_m, z_n) = - \int_{\Delta z_n} \bar{K}(z_m, z') dz' \quad (2.33)$$

tanımlanırsa (2.31) denklemi,

$$\begin{aligned}
-\int_{-L/2}^{L/2} \bar{I}(z') \bar{K}(z_m, z') dz' \approx \bar{I}_1 f(z_m, z'_1) + \bar{I}_2 f(z_m, z'_2) + \dots + \bar{I}_n f(z_m, z'_n) \\
+ \dots + \bar{I}_N f(z_m, z'_N) \approx \bar{E}_z^i(z_m)
\end{aligned} \tag{2.34}$$

şeklinde ifade edilir.

Bu denklemin fiziksel açıklaması ise şu şekildedir; tel her biri $\Delta z'_n = \Delta z$ uzunluklu N parçaya bölünmüştür. Her bölümde ki bilinmeyen akım sabittir. m . parçanın ortasındaki N bölümden saçılan alanların toplamı, z_m noktasından gelen alan değerine eşittir. Gelen alan, anten üzerindeki veya uzak alandaki bir kaynaktan geliyor olabilir. Daha küçük bölümler kullanmak (yani parça sayısını arttırmak) $\bar{I}(z')$ 'nin daha doğru ifade edilmesini sağlayacağı açıktır. (2.34) denklemini,

$$\sum_n^N Z_{mn} \bar{I}_n = \bar{V}_m \tag{2.35}$$

şeklinde ifade edilirse,

$$Z_{mn} = f(z_m, z'_n) \tag{2.36a}$$

$$\bar{V}_m = \bar{E}_z^i(z_m) \tag{2.36b}$$

olmak üzere, (2.35) denklemini N bilinmeyenli bir denklem olarak karşımıza çıkmış olur. $N-1$ bağımsız denklem ile N bilinmeyenli bu denklemini çözmek mümkündür. Ek denklemleri oluşturabilmek için her denklemde farklı bir m ve z seçilir. Bu işlem MoM yönteminin özel bir halidir ve “Point Matching Metodu” olarak anılır. Denklemler matris formda yazılırsa;

$$\begin{bmatrix} f(z_1, z_1') & f(z_1, z_2') & \cdot & \cdot & f(z_1, z_N') \\ f(z_2, z_1') & f(z_2, z_2') & \cdot & \cdot & f(z_2, z_N') \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f(z_N, z_1') & f(z_N, z_2') & \cdot & \cdot & f(z_N, z_N') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_z^i(z_1) \\ E_z^i(z_2) \\ \cdot \\ \cdot \\ E_z^i(z_N) \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

(2.37) denklemi,

$$[Z_{mn}][\bar{I}_n] = [\bar{V}_m] \quad (2.38)$$

formunda olup, $[Z_{mn}]$ matrisi ele alınan yapı hakkında bilgiyi taşıyan kısmı oluşturur. (2.38) denkleminde verilen m ; gözlem noktası indeksi, n ise kaynak noktası indeksi olarak adlandırılır. (2.38) denkleminin çözümü bilindiği üzere,

$$[\bar{I}_n] = [Z_{mn}]^{-1} [\bar{V}_m] \quad (2.39)$$

şeklinde elde edilir.

(2.28) formunda verilen integral denkleminde (2.39) denklemi ile sayısal sonuç elde edilmiştir. Bu işlemde integral denklemi N farklı noktada çözüme zorlanmıştır. Matematiksel kolaylık için bu N nokta, tel üzerinde ayrılmış olan N eş uzunluklu parçanın ortasında seçilmiştir. Çözümün tam eşitlik sağlaması için teorik olarak, N değerinin sonsuza gitmesi gerekir. Pratikte bu mümkün olmayacağı için, N olduğunca büyük seçilerek akım dağılımı gerçeğe oldukça yakın olması sağlanmaktadır.

2.2.2 Ağırlıklı Artıklar Teknikleri

Moment metodunda daha önce gösterilen ‘Nokta Uydurma’ (point-matching) yönteminin daha genel hali ağırlıklı artıklar teknikleri (method of weighted residuals) olarak bilinmektedir [22]. Şekil 2.9’da gösterilen tel örneği ele alındığında, artık

olarak adlandırılan R değeri, gelen ve saçılan alanların yüzey üzerindeki bileşenlerinin toplamı olarak yazılmaktadır.

$$\bar{R} = \bar{E}_{\tan}^s + \bar{E}_{\tan}^i \quad (2.40)$$

R değerinin sıfır olması ve böylece sınır koşullarının sağlanması istenmektedir. (2.32) ve (2.33) denklemlerinden yola çıkılarak yine temel darbe fonksiyonları kullanıldığında artık fonksiyon;

$$\bar{R} = -\sum_{n=1}^N \bar{I}_n f(z, z'_n) + \bar{E}_z(z) \quad (2.41)$$

denklemlerle gösterilmektedir. Elektrik alan sınır koşullarına göre artık değer saçılan ve gelen alanların tel yüzeyi üzerindeki yüzey bileşenlerinin toplamına eşittir.

$z = z_m$ için hesaplandığında 2.42 deki çözüme göre artık değer sıfır olmaktadır. Ancak diğer noktalarda bu değer genellikle sıfır olmayacaktır.

Ağırlıklı artıklar yönteminde n ve I değerleri, artıklar sıfıra zorlanarak hesaplanmaktadır.

$$\int_{-L/2}^{L/2} w_m(z) R(z) dz = 0 \quad m=1,2,3,\dots,N \quad (2.42)$$

Bu denklemde $w(z)$ ağırlıklı veya test fonksiyonu olarak kullanılmıştır. (2.41) ve (2.42) denklemlerinden;

$$-\int_{-L/2}^{L/2} w_m(z) \sum_{n=1}^N I_n f(z, z'_n) dz + \int_{-L/2}^{L/2} w_m(z) E_z^i dz = 0 \quad m=1,2,3,\dots,N \quad (2.43)$$

elde edilir. Ağırlıklı fonksiyonları Birim Darbe fonksiyonları olarak seçildiğinde;

$$w(z) = \delta(z - z') \quad (2.44a)$$

$$w_m(z) = \begin{cases} 1 & z, \Delta z_m \text{ sınırlarında} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.44b)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda (2.43) denklemini aşağıdaki gibi sadeleşmektedir.

$$-\sum_{n=1}^N I_n \int_{\Delta z_m} f(z, z_n) dz + \int_{\Delta z_m} E_z^i dz = 0 \quad m=1, 2, 3, \dots, N \quad (2.45)$$

$$z_{mn} = \int_{\Delta z_m} f(z, z_n) dz \quad (2.46a)$$

$$V_m = \int_{\Delta z_m} E_z^i dz \quad (2.46b)$$

(2.46) denklemlerinin çözümünden elde edilecek akım tüm tel yüzeyinde her noktada gelen ve saçılan alanların toplamının sıfır olmasını sağlamayacaktır. Ancak tel üzerinde toplam alan değerlerinin ortalaması sıfıra doğru gidecektir.

Şu ana kadar temel fonksiyon olarak darbe fonksiyonu ve ağırlıklı fonksiyonu olarak ise delta fonksiyonundan yararlanılmıştır. Bu fonksiyonlar matematiksel olarak daha basit ifade edilebildikleri için avantajlıdır. Bunların dışında bilgisayar algoritmalarında kullanılan başka fonksiyonlar da vardır. Bu fonksiyonlar aşağıda sıralanmıştır.

- Parçalı doğrusal fonksiyonlar (piecewise linear)

$$J(z) = \begin{cases} \frac{I_n(z_{n+1} - z) + I_{n+1}(z - z_n)}{\Delta z_n} & z, A z_m \text{ sınırlarında} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.47)$$

- Parçalı sünusoidal fonksiyonlar:

$$J(z) = \begin{cases} \frac{I_n \sin \beta(z_{n+1} - z) + I_{n+1} \sin \beta(z - z_n)}{\sin k \Delta z_n} & z, \text{ } \ddot{A} z_m \text{ sınırlarında} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.48)$$

- Sinüzoidal interpolasyon fonksiyonlar:

$$J(z) = \begin{cases} A_n + B_n \sin \beta(z - z_n) + C_n \cos \beta(z - z_n) & z, z_m \text{ sınırlarında} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.49)$$

Tüm fonksiyonlar için $\Delta z = z_{n+1} - z_n$ olarak verilmiştir.

Harlington [20], ilk çalışmalarında hem temel hem de ağırlık fonksiyonu olarak üçgen fonksiyon kullanmıştır (Galerkin metodu). Parçalı sinüzoidal fonksiyonları ise ilk olarak Richmond tarafından yine Galerkin formülasyonunda kullanılmıştır. Bu fonksiyonlarla boşluktaki tel geometrileri için verimli bilgisayar sonuçları elde edebilmiştir. Sinüzoidal interpolasyon fonksiyonu delta ağırlaştırma fonksiyonları ile birlikte NEC (Numerical Electromagnetic Code) bilgisayar benzetmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.MATERYAL VE METOT

3.1 DİSK VE DİELEKTRİK YÜKLÜ MONOPOL ANTENLERİN “ÖZGÜN MODLAR” ANALİZİ İLE ÇÖZÜLMESİ

Şekil 2.1 deki I., II., III., bölgelerdeki yayılmalarındaki katsayılar özgün mod ile sınırlı ve sürekli durumlar için Bessel ve Hankel fonksiyonlarının 1. ve 2. çeşitleri kullanılarak hesaplanmış, aşağıdaki formül gurupları (3.4-3.5-3.6) elde edilmiştir.

ŞMA'nın altında kalan I. Bölge için elektrik ve manyetik alanlar hesaplandığında ($a \leq \rho \leq b$ ve $0 \leq z \leq h$);

$$\mathcal{E}_z^I(\rho, z) = (1/j\omega \epsilon) \sum_{n=0}^{N_1} \gamma_n^2 [a_n H_0^{(1)}(\gamma_n \rho) + b_n H_0^{(2)}(\gamma_n \rho)] \cos(n\pi z / h) \quad (3.1a)$$

$$\mathcal{H}_\phi^I(\rho, z) = \sum_{n=0}^{N_1} \gamma_n [a_n H_1^{(1)}(\gamma_n \rho) + b_n H_1^{(2)}(\gamma_n \rho)] \cos(n\pi z / h) \quad (3.1b)$$

ŞMA'nın üzerinde kalan II. Bölge için elektrik ve manyetik alanlar hesaplandığında ($\rho \leq b$ ve $h \leq z \leq l$);

$$\mathcal{E}_z^{II}(\rho, z) = (1/j\omega \epsilon_0) \sum_{n=0}^{N_2} c_n u_n^2(u_n \rho) \cos[n\pi / q(z - h)] \quad (3.2a)$$

$$\mathcal{H}_\phi^{II}(\rho, z) = \sum_{n=0}^{N_2} [c_n u_n J_1(u_n \rho)] \cos[(n\pi / q)(z - h)] \quad (3.2b)$$

ŞMA'nın merkezden sonsuza giden III. Bölgesi için elektrik ve manyetik alanlar hesaplandığında ($\rho \geq b$ ve $0 \leq z \leq l$);

$$\mathcal{E}_z^{III}(\rho, z) = (1/j\omega \epsilon_0) \sum_{n=0}^{N_3} d_n v_n^2 H_0^{(2)}(v_n \rho) \cos(n\pi z/l) \quad (3.3a)$$

$$\mathcal{H}_z^{III} = \sum_{n=0}^{N_3} d_n v_n H_1^{(2)}(v_n \rho) \cos(n\pi z/l) \quad (3.3b)$$

denklem grupları elde edilir.

3.2 MoM YARDIMI İLE PROBLEMİN ÇÖZÜMÜ

I,II ve III no'lu bölgeler için hesaplanan manyetik ve elektrik alanlar fourier eşleştirme tekniği kullanılarak bilinmeyen yayılım katsayılarını (a_n, b_n, c_n) bulmak için aşağıdaki gibi a_n 'ler $n=0$ 'dan N_1 'e kadar toplam parantezinde, b_n 'ler $n=0$ 'dan yine N_1 'e kadar toplam parantezinde, c_n 'ler ise $n=0$ 'dan N_2 'ye kadar toplam parantezinde, fourier moment integralleriyle çarpılarak, bilinmeyenlerin çözümüne müsaade edecek 3.4, 3.5, 3.6'daki denklem formatına getirilmiştir.

$$H_0^{(1)}(\gamma_n a) a_n + H_0^{(2)}(\gamma_n a) b_n = (-j2\omega \epsilon V_0 / \epsilon_0 \gamma_n^2 h) \sin c(nd/h) \quad (3.4)$$

$$\sum_{n=0}^{N_1} a_n [(\gamma_n^2 / \epsilon) H_0^{(1)}(\gamma_n b) H_1^{(2)}(v_m b) - \gamma_n v_m H_1^{(1)}(\gamma_n b) H_0^{(2)}(v_m b)] S_{m,n} + \quad (3.5)$$

$$\sum_{n=0}^{N_1} b_n [(\gamma_n^2 / \epsilon) H_0^{(2)}(\gamma_n b) H_1^{(2)}(v_m b) - \gamma_n v_m H_1^{(2)}(\gamma_n b) H_0^{(2)}(v_m b)] S_{m,n}$$

$$\sum_{n=0}^{N_1} a_n [(\gamma_n^2 / \epsilon) H_0^{(1)}(\gamma_n b) H_1^{(2)}(v_m b) - \gamma_n v_m H_1^{(1)}(\gamma_n b) H_0^{(2)}(v_m b)] S_{m,n} +$$

$$\sum_{n=0}^{N_1} b_n [(\gamma_n^2 / \epsilon) H_0^{(2)}(\gamma_n b) H_1^{(2)}(v_m b) - \gamma_n v_m H_1^{(2)}(\gamma_n b) H_0^{(2)}(v_m b)] S_{m,n} + \quad (3.6)$$

$$\sum_{n=0}^{N_2} c_n [u_n J_0(u_n b) H_1^{(2)}(v_m b) - u_n v_m J_1(u_n b) H_0^{(2)}(v_m b)] T_{m,n} = 0$$

(3.6) numaralı denklemde kullanılan Fourier moment integralleri;

$$S_{m,n} = \int_0^h \cos(m\pi z / l) \cos(n\pi z / h) dz$$

$$T_{m,n} = \int_h^l \cos(m\pi z / l) \cos(n\pi(z-h) / q) dz$$

olarak tanımlanmaktadır.

3.4, 3.5, 3.6 denklemler kullanılarak a_n, b_n, c_n 'lerin çözümüne müsaade edecek $2N_1 + N_2 + 3$. dereceden kompleks matris,

$$\sum_{k=0}^{N_1} A_{j,k} a_k + \sum_{k=0}^{N_1} B_{j,k} b_k + \sum_{k=0}^{N_1} C_{j,k} c_k = D_j \quad (3.7)$$

denklemler formatına uyarlanır.

$N_1=2$ ve $N_2=2$ seçildiğinde şekil 4.2 deki 9×9 'luk Z matrisi oluşacaktır. Bu matris ise her denklemin a_n, b_n, c_n 'lerini tanımlayacak 9 alt matrisi içerecektir.

Kısaca şu şekilde gösterilebilir:

$$Z = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & K \end{bmatrix} 9 \times 9$$

Şekil 3.1 9×9 luk matris formatı

Z matrisinde I. sütun a_n , II. sütun b_n , III. sütun ise c_n 'in katsayılarından oluşmaktadır. A, D, G matrisleri 3×3 'lük matrisler olup, elemanları 3.4 ve 3.5 'deki denklemlerdeki a_n 'lerin çarpım durumundaki formül gruplarından oluşmaktadır. B, E, H matrisleri de 3×3 'lük matrisler olup, elemanları 3.4 ve 3.5 'deki denklemlerdeki b_n 'lerin çarpım durumundaki formül gruplarından oluşmaktadır.

C, F, K matrisleri 3×3 'lük matrisler olup, elemanları 3.4 ve 3.5 'deki denklemlerdeki c_n 'lerin çarpım durumundaki formül gruplarından oluşmaktadır. Öncelikle Matlab'da alt matris programı oluşturulur. Sonra bu programlar birleştirilerek ana matris tanımlanır.

$$[Z_{mn}][I_n] = [V_m] \quad (3.8)$$

3.2 seklinde matris formundan faydalanılarak 9 bilinmeyenden $(a_{n1}, a_{n2}, a_{n3}, b_{n1}, b_{n2}, b_{n3}, c_{n1}, c_{n2}, c_{n3},)$ oluşan I_n matrisi aşağıdaki denklem çözülerek bulunur. Burada I_n ve V_m 9×1 'lik matrislerdir.

$$[I_n] = [Z_{mn}]^{-1}[V_m] \quad (3.9)$$

Bulunan a_n ve b_n 'ler z yönündeki akım formülünde (3.10) yerine konur. Böylece ŞMA'daki z yönündeki akım dağılımı hesaplanmış olur.

$$I(z) = 2\pi a \sum_{n=0}^{N_1} \gamma_n [a_n H_1^{(1)}(\gamma_n b) + b_n H_1^{(2)}(\gamma_n a)] \cos n\pi z / h \quad (3.10)$$

Oluşan akım değerlerinin farklı boyutlarda ki değişim grafikleri elde edilir.

3.3.KULLANILAN YAZILIMLAR

3.3.1.Matlab

MATLAB, sayısal ve sembolik hesaplamalar, veri çözümlemesi, gerçek ortamda test ve ölçüm yapabilme, çok gelişmiş çizim işlemleri, algoritma geliştirme, ileri seviye programlama, C/C++ ile tümleşik çalışabilmesi, mühendislik ve bilimsel uygulamaları ile tüm dünyada birçok alanda yaygın olarak kullanılan yazılımdır [23]. Matlab kelimesinin açılımı İngilizce "Matrix Laboratory'den gelmektedir.

Matlab'ın temelindeki yapı, boyutlandırma gerektirmeyen matrislerdir. Yapılan tüm girdi ve çıktılar, programlama dilindeki gibi belirteç gerektirmeksizin bir matris tanımlar. Bu özelliği ile Fortran, Basic ve C gibi programlama dillerine kıyasla işlemlere ve programlamaya ayrılacak zamanı minimuma indirgeyerek; programlama dilleri arasında kendine has bir yer edinmiştir.

Matlab yazılımı, kullanıcıya çok kolay ve etkin uygulama geliştirme olanağı verir. Özellikle *Toolbox* adı verilen ve hemen hemen birçok matematiksel ve mühendislik alanını kapsayan alt modülleri ile ilgili her konuda kolayca ve pratik bir şekilde uygulamalar yapılabilir. Tüm bu özelliklere sahip olan Matlab, sayısal analiz, matris ve dizi işlemleri, sinyal işleme, algoritma geliştirme, C, C++, Java ve İnternet ile ilişik programlama ve grafiksel kullanıcı ara yüzü (**Graphics User Interface - GUI**) formlu program yazma gibi sayısal işlemleri, kullanımı kolay bir grafik ara yüzü üzerinden, diğer programlama dillerindeki geleneksel kodlamaya karşın matematiksel denklem yazma kolaylığı sağlamaktadır. Gün geçtikçe gelişen *Simulink* ile gerçek zamanlı uygulamaların (iletişim, işaret ve görüntü işleme, mekanik ve elektriksel sistemler vb) benzetimini gerçekleştirmeyi de olanaklı hale getirmiştir.

Matlab, ülkemizde de başta üniversitelerimiz olmak üzere özel sektörde de kullanılmaya başlanmıştır. Matlab gerek istatistik ve matematik öğrencilerine gerekse finans ve mühendislik alanlarındaki öğrencilere öğretim yaşamlarında ve sonrası iş yaşamlarında bilgisayarı kullanabilme ortamı sunmaktadır. Birçok üniversitede sayısal hesaplamaya dayanan derslerin uygulamaları, lineer cebir, nümerik analiz gibi derslerden, devre analizi, otomatik kontrol gibi bölüm derslerine ve araştırma alanlarına kadar yayılmıştır. Ayrıca Matlab, "Araç Kutusu" (*Toolbox*) olarak nitelendirilen özellikler içerir. Matlab kullanıcılarının çok dikkatini çeken bu özellikler, program yazmaya gerek kalmadan içerdiği hazır fonksiyon dosyalarıyla; dış aygıtlarla gerçek zamanlı çalışma, M-dosya işleme ve derleme, iletişim kurma ve işleme, veri tabanı oluşturma, denetleme ve besleme, arama-ölçme, dijital sinyal işleme, Excel bağlantısı kurma, finansal zaman serilerine açma, görüntü işleme, aygıt

denetleme, rapor oluşturma, güç sistemleri modelleme, dinamik sistem simülasyonu ve daha pek çok durumları inceler ve çözüm üretimi sağlar.

3.4 MATLAB İLE MOM'UN UYGULANMASI

Şekil 2.1 deki disk ve dielektrik yüklü monopol anten düzeneğinde I., II. ve III. Bölgelerde anten üzerinde oluşan akımlar bir nümerik analiz tekniği olan Moment metot ile çözümlenip, Matlab'ta aşağıdaki kullanıcı ara yüzünde istenilen değerler girilerek , farklı frekanslar için anten üzerinde oluşan akımın mesafeye göre değişim grafikleri elde edilmiştir.

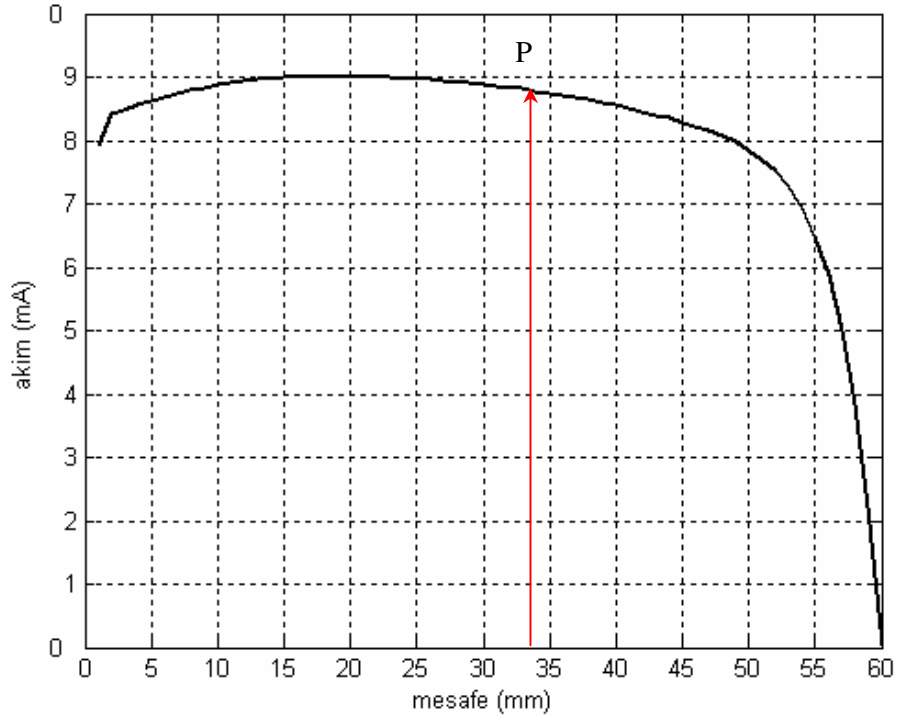
```
Enter Frequency in MHz:
ans =(NO Exact Multiples of Half-Wavelength)
Enter Monopole Height, "h", in meters:
Enter Monopole Radius, "a", in meters:
Enter Top Hat Radius, "b", in meters: (Be Sure That b > a)
Enter Feed Gap, "d", in meters:
ans =NO Exact Multiples of Half-Wavelength
Enter Upper Plane Height, L (meters):
ans =Is Region I Filled With Dielectric Material ??
ans =
Yes =====> "I"
No =====> Any Other Key :
ans =Assuming Free-Space in Region I
Kr = 2.094395160675049e+001
M1 = 1
M2 = 2
ans =
EdNote =
Complex Kr = 20.943952+0.000000i
ans =Now We Input Number of Expansion Coefficients
ans =
NOTE: N1 and N2 are Number of Coeffs
ans =Expansion limits used here are n=0 to n=N-1
EdNote =Suggested Value for N1 ==>1.000000
EdNote =Suggested Value for N2 ==>2.000000
Enter # Region I "a" & "b" Coeffs. ( N1 <= 50):
Enter # Region II "c" Coeffs. ( N2 <= 100):
ans =Loading the Moment Matrix and Driving Vector
MyPI = 3.141592741012573e+000
Rho = 3.870000000000000e-002
```

ans =
ans =Factoring the Matrix ... Please Wait.
ans =
ans =Matrix Factored ... Now Solving
ans =
ans =Solution Complete
ans =Listing the Expansion Coefficients
ans =n and a(n):

4. BULGULAR VE TARTIŞMASI

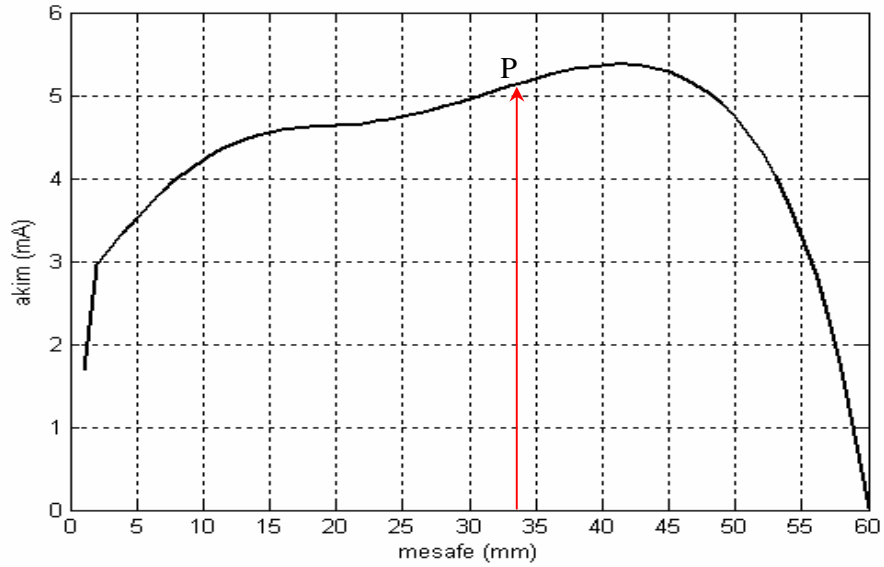
4.1. DİELEKTRİKSİZ ORTAMDA MA BENZETİMİ

Sekil 2.1’de görülen iki yer düzlemi arasındaki ŞMA konfigürasyonunda gösterilen I,II. ve III. bölgeler için dielektriksiz ortamda farklı frekanslar (1GHz,2.35GHz ve 4GHz) için anten üzerindeki akimin mesafeye göre değişim grafikleri $a=0.00142m$, $b=0.0512m$, $d=0.0015m$, $h=0.03512m$, $f_1=1GHz$ için; $\lambda_1=0.3m$, $L_1=0.153m$, $f_2=2.35GHz$ için; $\lambda_2=0.1277m$, $L_2=0.0651m$, $f_3=4GHz$ için; $\lambda_3=0.075m$, $L_3=0.0383m$ değerleri için Matlab kullanılarak, aşağıdaki kullanıcı ara yüzü ve sekil 4.6 daki grafik tarafımızdan elde edilmiştir.



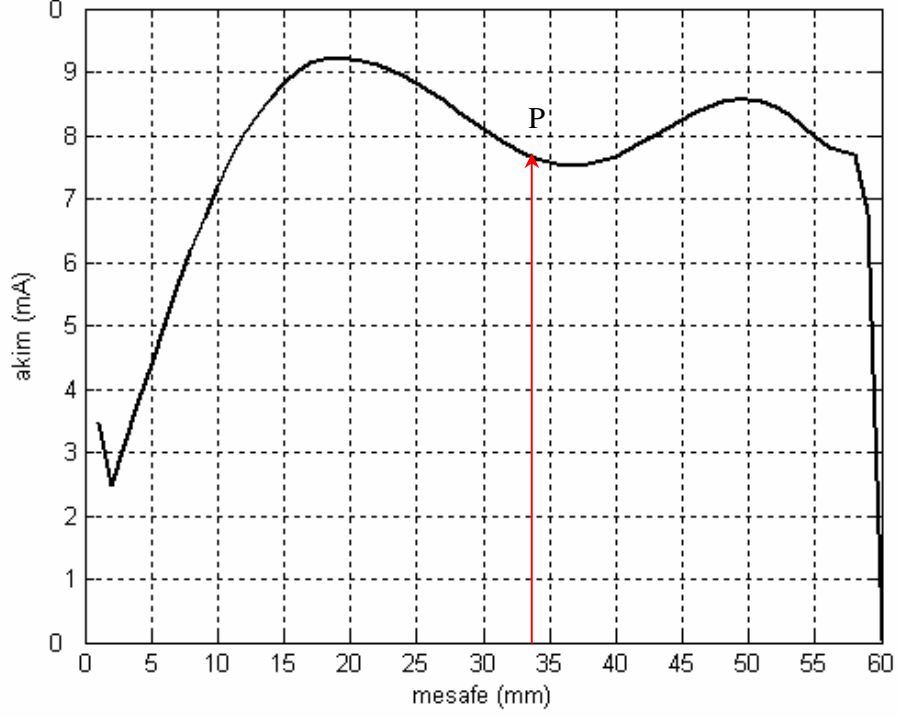
Şekil 4.1: Dielektriksiz ortamda 1GHz için I-d grafiği

Şekil 4.1’de, yer düzleminden ‘h’ kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopul antenin üzerinden geçen akımın dielektriksiz ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 8mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren akım ŞMA boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım ‘0’ değerini gösteriyor.



Şekil 4.2: Dielektriksiz ortamda 2.35GHz için I-d grafiği

Şekil 4.2’de, yer düzleminden ‘h’ kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan ŞMA’nın üzerinden geçen akımın dielektriksiz ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 2mA civarında bir değerden başlıyor ve ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren akım ŞMA boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım ‘0’ değerini gösteriyor.



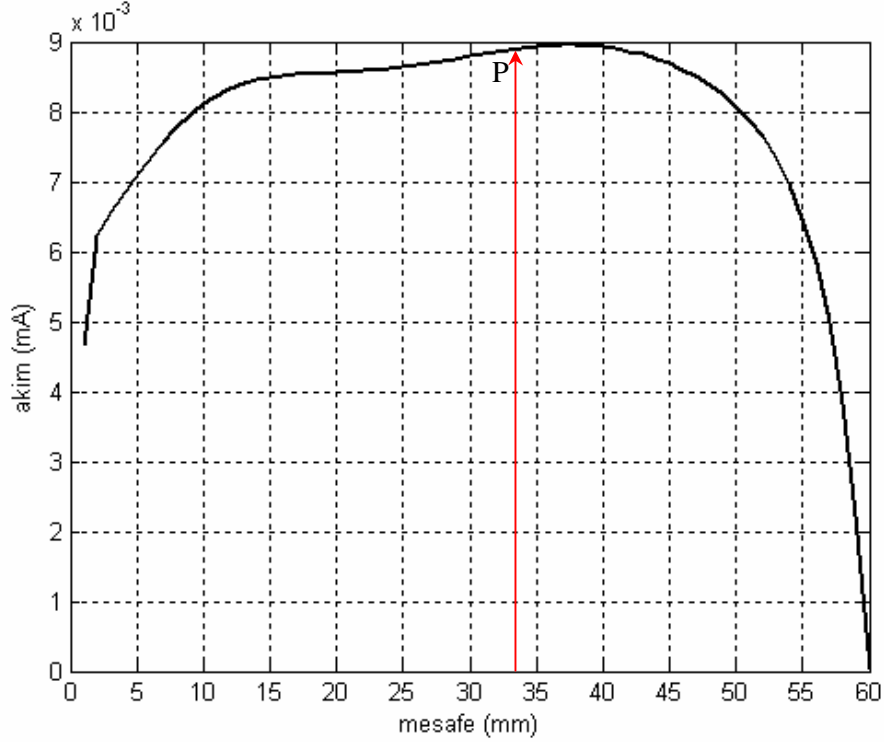
Şekil 4.3: Dielektriksiz ortamda 4GHz için I-d grafiği

Şekil 4.3’de ise, yer düzleminde ‘h’ kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopul antenin üzerinden geçen akımın dielektriksiz ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 3.5mA civarında bir değerden başlıyor ve 20mm ‘ye kadar ilerliyor. Daha sonra akım değerinin düştüğü gözleniyor. ŞMA’nın başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar iniş çıkışlar gösteriyor. P noktasından itibaren akım şapka monopul anten boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım ‘0’ değerini gösteriyor.

4.2 DİELEKTRİKLİ ORTAMDA MA ANALİZİ BENZETİMİ

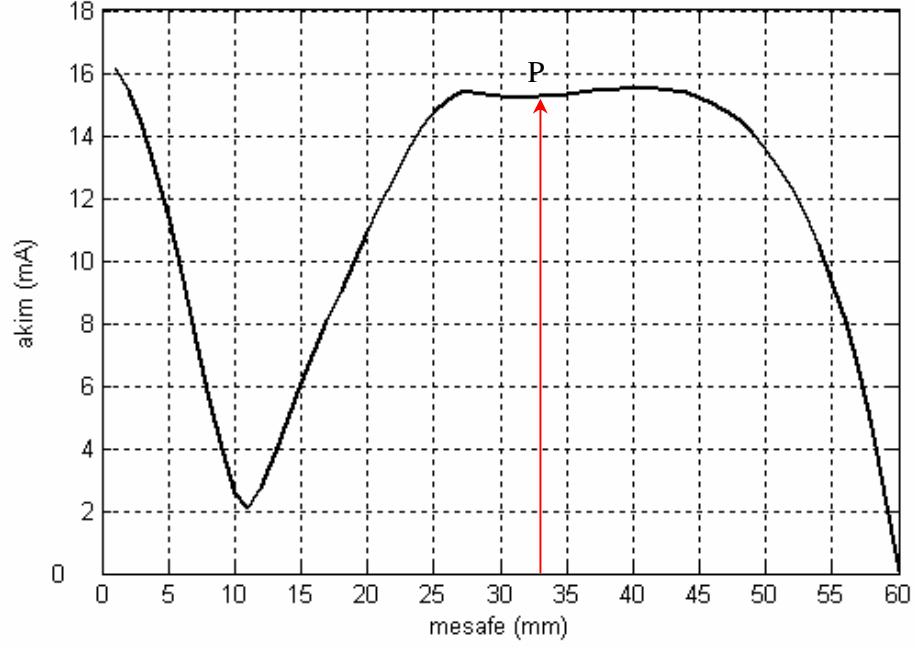
Şekil 2.1’de görülen iki yer düzlemi arasında ki top-hat monopul anten konfigürasyonunda gösterilen I., II. ve III. bölgeler dielektrikli ortamda farklı frekanslar (1GHz,2.35GHz ve 4GHz) için anten üzerindeki akımın mesafeye göre

değişim grafikleri $a=0.00142\text{m}$, $b=0.0512\text{m}$, $d=0.0015\text{m}$, $h=0.03512\text{m}$, $\epsilon_r=2.68$, $\sigma=0.01\text{S/m}$, $f_1=1\text{GHz}$ için; $\lambda_1=0.3\text{m}$, $L_1=0.153\text{m}$, $f_2=2.35\text{GHz}$ için; $\lambda_2=0.1277\text{m}$, $L_2=0.0651\text{m}$, $f_3=4\text{GHz}$ için; $\lambda_3=0.075\text{m}$, $L_3=0.0383\text{m}$, değerleri için Matlab' ta kullanılarak, aşağıdaki kullanıcı ara yüzü ve şekil 4.4, 4.5, 4.6'daki grafikler elde edildi.



Şekil 4.4: Dielektrikli ortamda 1GHz ($\epsilon_r=2.68$ ve $\sigma=0.01$) için I-d grafiği

Şekil 4.4'de, yer düzleminden 'h' kadar yüksekte olan monopul antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopul antenin üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopul antenin başlangıcında akım, 5mA civarında bir değerden başlıyor ve şapka monopul antenin başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar yükselen akım değeriyle ilerliyor. P noktasından itibaren akım şapka monopul anten boyunca ilerliyor, akım değeri gittikçe düşüyor ve antenin bittiği yerde akım '0' değerini gösteriyor.

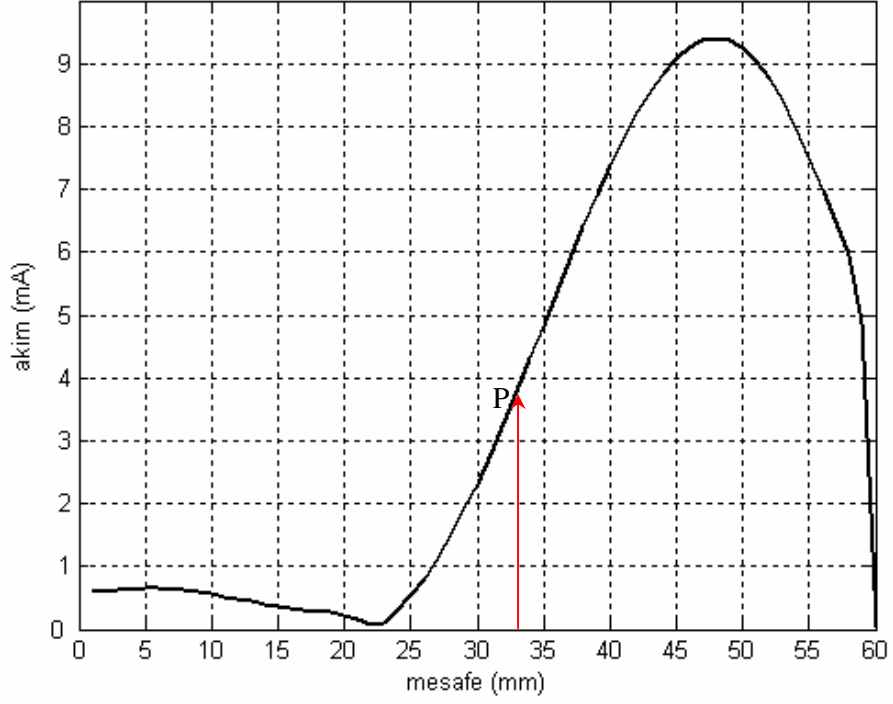


Şekil 4.5: Dielektrikli ortamda 2.35GHz ($\epsilon_r=2.68$ ve $\sigma=0.01$) için I-d grafiği

Şekil 4.5’de, yer düzleminden ‘h’ kadar yüksekte olan monopol antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopol antenin üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopol antenin başlangıcında akım, 16mA civarında bir değerden başlıyor ve 10mm ‘ye kadar akım değeri azalarak ilerliyor. Daha sonra şapka monopol antenin başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar yükselen akım değeriyle devam ediyor. P noktasından itibaren akım şapka monopol anten boyunca ilerliyor ve akım değeri gittikçe düşüyor antenin bittiği yerde akım ‘0’ değerini gösteriyor.

Şekil 4.6’da, yer düzleminden ‘h’ kadar yüksekte olan monopol antenin ve onun üzerine yerleştirilmiş olan şapka monopol antenin üzerinden geçen akımın dielektrikli ortamda değişimini gösteren grafik görülmektedir. Monopol antenin başlangıcında akım, 0.5mA civarında bir değerden başlıyor ve 22mm ‘ye kadar akım değeri azalarak ilerliyor. Daha sonra şapka monopol antenin başlangıç yeri olarak belirlenen P noktasına kadar yükselen akım değeriyle devam ediyor. P noktasından

itibaren akım şapka monopol anten boyunca ilerliyor ve akım değeri gittikçe düşüyor
antenin bittiği yerde akım '0' değerini gösteriyor.



Şekil 4.6: Dielektrikli ortamda 4GHz ($\epsilon_r=2.68$ ve $\sigma=0.01$) için I-d grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, disk ve dielektrik yüklü monopul antenlerin analizi incelenmiştir. Günümüzde güçlü bilgisayar donanımlarının ve akıllı yazılımların gelişmesine paralel olarak karmaşık görünen denklem ve denklem sistemleri çözümlerinde daha kolay çözümlenmelerin yapılabilmesi mümkün olmaktadır. Literatür çalışmalarında Şapka monopul anten (ŞMA) analizi yapan fazla çalışma yoktur. Bu çalışmada A.Morgan [18] ve Francevella'nın [19] makalelerinden yararlanılmıştır. İki yer düzlemi arasına yerleştirilmiş monopul antenin üzerine dairesel şapka anten oturtulmuş ve bu antenin üzerinde oluşan akım dağılımları farklı boyutlarda incelenmiştir. Anten analizini yapmak elektromanyetik literatürde kolay bir çalışma değildir. Ki bu çalışmada hem monopul antenin, hem de farklı bir konfigürasyondan oluşan şapka monopul antenin analizi dielektrikli ve dielektriksiz ortamda ayrı ayrı yapılmıştır. Literatürdeki çalışmalarla birebir uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca farklı değerler için de bizim tarafımızdan DDYMA benzetimi üç farklı frekans değeri (1GHz, 2.35GHz, 4GHz) için yapılmış ve DDYA üzerinde oluşan akım değerleri grafikler üzerinde gösterilmiş, yorumlanmıştır.

Literatürde ki çalışmalarda anten analizi yapabilmek için; özgün mod, mod eşleştirme gibi teknikler kullanılmıştır. Biz bu çalışmada bir nümerik analiz tekniği olan Moment Metod (MoM) tekniğini kullandık. DDYMA'da enerjinin taşınabilmesi için değişik yayılım modları oluşmaktaydı, bu modların katsayıları bilinmemekteydi. Bu katsayılar bu çalışmada a_n , b_n , c_n olarak gösterilmiştir. Bu yayılım modlarının katsayıları Bessel ve Hankel denklemleriyle çarpım durumundadır. DDYMA düzeneğinde, monopul antenin altında kalan I. bölge için ($a \leq \rho \leq b$ ve $0 \leq z \leq h$) manyetik ve elektrik alan hesaplamaları yapılmış ve 1.ve 2. dereceden Hankel'i içeren formül grupları elde edilmiştir. DDYMA düzeneğinde monopul antenin üzerinde kalan II. bölge için ($p \leq b$ ve $h \leq z \leq 1$) elektrik ve manyetik alan hesaplaması yapılmış, 1. dereceden Bessel'i içeren formül grupları elde edilmiştir. DDYMA'da merkezden sonsuza giden III. bölge için ($p \geq b$ ve $0 \leq z \leq 1$) elektrik ve manyetik alan hesaplamaları yapılmış ve I. ve II. dereceden Hankel'i içeren formül grupları yayılım modlarının katsayılarının çözümüne yardımcı olacak Fourier

Eşleştirme Tekniği kullanılarak düzenlenmiştir. Daha sonra 9 ayrı alt matris içeren Z matrisi tanımlanmıştır. Bu matriste I. sütunda ki 3*3'lük matrisler a_n , II. sütundaki 3*3'lük matrisler b_n , III. sütundaki 3*3'lük matrisler de c_n diye adlandırdığımız bilinmeyen yayılım modlarının katsayılarını içeren matrislerdir. Böylelikle Matlab programı kullanılarak Z matrisindeki bilinmeyen yayılım modlarının katsayıları bulundu. Voltaj değeri girilerek, farklı boyutlar için akım hesaplandı. Dielektrikli ve dielektriksiz ortamda MA benzetimi yapılarak bizim tarafımızdan elde edilen akım-mesafe grafikleri yorumlandı.

Antenin analizini yapmak oldukça güç bir çalışmadır. Biz bu çalışmada DDYMA'da oluşan akım değerlerini bulup, yorumlayarak anten analizinin en zor kısmını tamamlayarak başarılı bir çalışma yapmış olduk. Bundan sonra antenin empedans değerleri de kolaylıkla hesaplanabilir. Antende ki Radar Kesit Alan (**R**adar **C**ross **S**ection - RCS) hesaplamaları yapılarak, elde edilen saçılma verisinden birleşik zaman-frekans işleme rutinleri kullanılarak saçılmanın nitelik ve özelliklerini de belirleyebilmek mümkün olabilecektir [24-31].

KAYNAKLAR

- [1] Sevgi, L. "Elektromagnetik Problemler ve Sayısal Yöntemler", Birsen, Yayınevi, İstanbul, 215 s., (1999).
- [2] Pozar, D. M. and Schaubert, D. H., "Microstrip Antennas"..IEEE yayınları, New York, 448 s., (1995).
- [3] Ufimtsev, P. Y., "Diffraction of plane electromagnetic wave by a thin cylindrical conductor, " Radio Eng. Electron. Phys , **7**: 241-249, (1962).
- [4] Hong, S., Borison, S. L., and Ford, D. P., "Short-pulse scattering by a long wire," IEEE Trans. Antennas Propagat., **AP-16**: 338-342, (Mayıs 1968).
- [5] Shamansky, H. T., Dominek, A. K., and Peters Jr. L., "Electromagnetic scattering by a straight thin wire," IEEE Trans. Antennas Propagat., **37**: 10192-1025, (Ağustos 1993).
- [6] Collin, R. E., "Field Theory of Guided Waves". IEEE yayınları, New York, 864 s., (1991).
- [7] Carin, L., Felsen, L. B., "Wave-oriented data processing for frequency and time domain scattering by uniform truncated arrays," IEEE Antennas Propagat. Mag., **36**: 29-43, (Haziran 1994).
- [8] Shen, L. C., "Analysis of a circular-disk printed-circuit antenna," Proc. Inst. Elec Eng., **126**: 1220-1222, (1979).
- [9] Mennie, O., "Communications and microwave, Technology 75," IEEE Spectrum, **pA8**, (Ocak 1975).
- [10] Uslengi, P.L.E, and Graglia, R. D., "Electromagnetic scattering from anisotropic materials, Part i: General Theory," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **32**: 867-869, (Ağustos 1984).
- [11] Graglia, R. D., Uslengi, P.L.E., "Electromagnetic scattering from anisotropic materials, Part II: Computer code and numerical code in two dimensions," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **35**: 225-232, (Şubat 1987).
- [12] Monzon, C., "On a surface integral representation for homogeneous anisotropic regions. Two-dimensional case," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **36**: 1401-1406, (Ekim 1988).
- [13] Monzon, C., "On the application of the Sommerfeld Representation in transform space to two dimensional rotationary invariant anisotropic media problems," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **38**: 1028-1034, (Temmuz 1990).
- [14] Monzon, C., "Two dimensional Green's functions for a rotationary invariant anisotropic medium," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **38**:

616-624, (Mayıs 1990).

- [15] Collin, R. E., "Field Theory of Guided Waves", IEEE yayınları, New York, s:718-720, (1991).
- [16] Stratton, A., "Electromagnetic Theory" McGraw-Hill, New York, 615 s., (1941).
- [17] Goubau, G., "Surface Waves and their applications to transmission lines," Journal of Applied Physics, **21**: 1119-1128, (Kasım 1950).
- [18] Morgan, Michael A., Schwering Felix K., "Eigenmode Analysis of Dielectric Loaded Top-Hat Monopole Antennas" IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **42**(1): 54-61, (Ocak 1994).
- [19] Francavilla L. A., McLean J. S., Foltz H. D. and Crook G. E. "Mode Matching Analysis of Top-Hat Monopole Antennas Loaded with Radially Layered Dielectric" IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **47**(1): 179-185, (Ocak 1999).
- [20] Harrington, R.F., "Field Computation by Moments Methods", The Macmillan Co., New York, 229 s., (1968).
- [21] Ney, M.M., "Method of Moments as Applied to EM Problems", MIT. s: 972-980, (Ekim 1985).
- [22] Stutzman, W.L., Thiele, G.A., "Antenna Theory and Design", John Wiley&Sons Inc. New York, 664 s., (1998).
- [23] Matlab, sürüm 6.5, The MathWorks. Inc.,(Haziran 2002).
- [24] Ling, H., Moore, L., Bouche, D. and Saavdera, V., "Time-Frequency analysis of a backscattered from a coated strip with a gap," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, **41**: 1147-1150, (Ağustos 1993).
- [25] Özdemir, C. and Ling, H., "Joint Time-Frequency Interpretation of Scattering Phenomenology in Dielectric-Coated Wires," IEEE Trans. on Antennas and Propagat., **45**(8): 1259-1264, (Ağustos 1997).
- [26] Özdemir, C. and Ling, H., "Interpretation of Scattering Phenomenology in Dielectric Coated Wire via Joint Time-Frequency Processing," IEEE Antennas and Propagat. Society International Symposium, U: 130-133, Baltimore, Maryland, (Temmuz 1996).
- [27] Moore, L. and Ling, H., "Time-Frequency analysis of a scattering phenomenology in finite dielectric gratings," Microwave Optical Tech. Lett., **6**: 597-600, (Ağustos 1993).
- [28] Moghaddar, A., Walton, E. K., "Time-Frequency distribution analysis of scattering from waveguide cavities," IEEE Transactions on Antennas and

Propagation, **41**(5): 677-680, (Mayıs 1994).

- [29] Cohen, L., "Time-Frequency distributions- A review," Proceedings of the IEEE, **77**(7): 941-981, (Temmuz 1989).
- [30] Qian, S., Chen, D., "Decomposition of the Wigner-Ville Distribution and Time Frequency Distribution Series," IEEE Transactions on Signal Processing, **42**(10): 2836-2842, (Ekim 1994).
- [31] Jenn, D.C., "Radar and Laser Cross Section Engineering", AIAA Education Series, 476 s., (1995).

EK-1

MATLAB KODLARI

Alt programlar;

```
** function resultCSR6= MATLAB_CSR6(z)
zReal = real(z);
zImagery = imag(z);
if( zImagery == 0 && zReal < 0)
resultCSR6 = - sqrt(z);
else
resultCSR6 = sqrt(z);
end
return
.....
return

** function [resultFACTOR_A, resultFACTOR_P] =
MATLAB_FACTOR(A,P,N,NMX)
%PERFORMING LU-DECOMPOSITION WITH PIVOTING ON THE A-MATRIX
for R = 1:N
% A = A;
% P = P;
for K = 1:N
D(K)=A(K,R);
end
RMI=R-1;
if (RMI >= 1)
for J = 1:RMI
PJ=P(J);
A(J,R)=D(PJ);
D(PJ)=D(J);
JPI=J+1;
for l = JPI:N
D(l)=D(l)-A(l,J)*A(J,R);
end
end %end for J = 1:
end %end if RMI

DMAX=abs(D(R));
P(R)=R;
RPI=R+1;
if ( RPI <= N)
```

```

for l=RP1:N
ELMAG=abs(D(l));
if (ELMAG >= DMAX)
DMAX=ELMAG;
end
P(R)=l;
end
end
PR=P(R);
A(R,R)=D(PR);
D(PR)=D(R) ;
if (RP1 <= N)
for l = RP1:N
A(l,R)=D(l)/A(R,R);
end
end
end
resultFACTOR_A = A;
resultFACTOR_P = P;

```

```

** function [ H10, H11, H20, H21, J0, J1 ] =
MATLAB_HJN(N1,N2,K02,KR2,h,L,Rho)
%
%Generating Hankel and Bessel Function Terms as Used in
%MATLOAD and CURRENT7 of MA-DIDEM
%
MyPI = double(3.141592741012573);
Q=L-h;
H2=(MyPI/h)^2;
Q2=(MyPI/Q)^2;
%Computing Hankel Function Terms
for N = 1:N1
N0=N-1;
N02=N0*N0;
GN2=KR2-N02*H2;
GN=MATLAB_CSR6(GN2);
ZN=GN*Rho;
resultHANKEL = MATLAB_HANKEL(ZN);
H10(N)=GN2*resultHANKEL(1);
H11(N)=GN*resultHANKEL(2);
H20(N)=GN2*resultHANKEL(3);
H21(N)=GN*resultHANKEL(4);
end
%Computing Bessel Function Terms
for N = 1:N2
N0=N-1;

```

```

NO2=NO*NO;
RN=KO2-NO2*Q2;
UN=MATLAB_CSR(RN);
ZN=UN*Rho;
resultHANKEL = MATLAB_HANKEL(ZN);
JO(N)=RN*(resultHANKEL(1)+resultHANKEL(3))/2.0;
JI(N)=UN*(resultHANKEL(2)+resultHANKEL(4))/2.0;
end
return

.....

** function [ BIG, COEF ] = MATLAB_MATLOAD(N1,N2,NBIG,KO,a,b,h,d,L,Er,Ur)
MyPI = 3.141592741012573
j=0+i;
Nm=2*N1+N2;
H2=(MyPI/h)^2;
L2=(MyPI/L)^2;
KO2=KO*KO;
KR2=KO2*Er*Ur;
%Defining c, Epsilon-Zero and VO Driving Voltage
VO=1.0;
c=3.0E8;
EO=double(8.854E-12);
yhat=j*KO*c*EO*Er;
>Loading First N1 Rows of BIG and COEF
for M = 1:N1
for N = 1:Nm
BIG(M,N) = 0 + 0i;
end
end

for N = 1:N1
NO=N-1;
NO2=NO*NO;
GN2=double(KR2-NO2*H2);
l4=h/2;
if (NO == 0)
l4 = h;
end
SN = MATLAB_SINC(NO,h,d);
COEF(N) = -yhat*VO*SN;
GN = MATLAB_CSR6(GN2);
ZN = GN*a;
resultHANKEL = MATLAB_HANKEL(ZN);
HI0V = resultHANKEL(1);
HIIV = resultHANKEL(2);

```

```

H2DV = resultHANKEL(3);
H2IV = resultHANKEL(4);
BIG(N,N) = GN2*I4*H1DV;
BIG(N,N+NI) = GN2*I4*H2DV;
% display([N N BIG(N,N)])
% display([N N+NI BIG(N,N+NI)])
end
%Loading Next NI+N2-1 Rows
Rho=b
[ H1D H1I H2D H2I J0 JI ] = MATLAB_HJN(NI,N2,K02,KR2,h,L,Rho);

for M = 1:(NI+N2-1)
    COEF(M+NI) = 0 + 0i;
    MD = M-1;
    MD2 = MD*MD;
    RM = double(K02-MD2*L2);
    VM = double(MATLAB_CSR(RM));
    ZN = double(VM*b);
    resultHANKEL = MATLAB_HANKEL(ZN);
    H1DV = resultHANKEL(1);
    H1IV = resultHANKEL(2);
    H2DV = resultHANKEL(3);
    H2IV = resultHANKEL(4);
    %Loading Columns 1 to 2*NI
    for N = 1:NI
        ND=N-1;
        S = MATLAB_SMN(h,L,MD,ND);
        BIG(M+NI,N) = (H1D(N)*H2IV/Er - VM*H1I(N)*H2DV)*S;
    % display([M+NI N BIG(M+NI,N)])
        BIG(M+NI,N+NI) = (H2D(N)*H2IV/Er - VM*H2I(N)*H2DV)*S;
    % display([M+NI N+NI BIG(M+NI,N+NI)])
    end

    %Loading Remaining Columns to Nm
    COEF(Nm) = 0 + 0i;
    for N = 1:N2
        ND=N-1;
        T = MATLAB_TMN(h,L,MD,ND);
        BIG(M+NI,N+2*NI)=(J0(N)*H2IV-VM*JI(N)*H2DV)*T;
    % display([M+NI N+2*NI BIG(M+NI,N+2*NI)])
    end
end
%Loading Null Rim Current Aux Equation

for N = 1:NI
    ND=N-1;
    RN=(-1.0)^ND;

```

```

BIG(Nm,N)=RN*H1(N);
% display([Nm N BIG(Nm,N)])
BIG(Nm,N+NI)=RN*H2(N);
% display([Nm N+NI BIG(Nm,N+NI)])
end

```

```

for N = 1:N2
BIG(Nm,N+2*NI)=-J(N);
% display([Nm N+2*NI BIG(Nm,N+2*NI)])
end
end

```

.....

```

** function resultSINC = MATLAB_SINC(n,h,d)
if (n == 0)
resultSINC = 1.0;
else
myPi = double(3.141592741012573);
x = n*pi*d/h;
resultSINC = sin(x)/x;
end
return

```

.....

```

** function resultSOLVE = MATLAB_SOLVE(A,B,P,N,NMX)
%BACK SUBSTITUTION TO INVERT THE LINEAR SYSTEM
for I = 1:N
PI = P(I);
Y(I) = B(PI);
B(PI) = B(I);
IPI = I+1;
if (IPI <= N);
for J = IPI:N
B(J) = B(J) - A(J,I) * Y(I);
end
end %endif
end %end for
for K = 1:N
I = N - K + 1;
MYSUM = 0 + 0i;
IPI = I + 1;
if (IPI <= N)
for J = IPI:N
MYSUM = MYSUM + A(I,J) * B(J);
end
end
end

```

```

B(I) = (Y(I) - MYSUM) / A(I,I);
end
resultSOLVE = B;
return

```

.....

```

** function resultCSR= MATLAB_CSR(r)
%Evaluating SQRT(R) with special consideration to neg. reals
if (r >= 0.0)
resultCSR = sqrt(r);
else
resultCSR = (0-i)*sqrt(-r);
end
return

```

.....

```

** function resultCURRENT7 =
MATLAB_CURRENT7(COEF,NBIG,a,b,h,d,L,KD,KR,N1,N2,NI)
%
MyPI = double(3.141592741012573);
Circ = 2.0*MyPI*a;
KD2=KD*KD;
KR2=KR*KR;
DZ=(b-a+h-d)/(NI-1.0);
display('Listing I(z) on the Monopole');
Rho=a;
[ H10 H11 H20 H21 J0 J1 ] = MATLAB_HJN(N1,N2,KD2,KR2,h,L,Rho);
Z=d;
l=1;
while (l)
IZ(l)=0+0i;
for N = 1:NI
N0=N-1 ;
PZ=N0*pi*Z/h;
CZ=cos(PZ);
%Current Averaging for IZ(l)
if ( (l == 1) && (N ~= 1) )
CZ = sin(PZ)/(PZ);
end
IZ(l)=IZ(l)+(COEF(N)*H11(N)+COEF(N+NI)*H21(N))*CZ ;
end
IZ(l)=Circ*IZ(l);
CM=abs(IZ(l));
CR=real(IZ(l));

```



```

Cl=imag(IZ(l));
CP=180.0*atan2(Cl,CR)/MyPI;
display('Printing [l Z CM CP]');
display([l Z CM CP]);
Z=Z+DZ;
l=l+1;
if (Z > h)
break
end
end
Rho=Z-h+a;
display('Listing l(Rho) on the Top-Hat ');
while (l)
[ H10,H11,H20,H21,J0,J1] = MATLAB_HJN(N1,N2,K02,KR2,h,L,Rho);
IZ(l) = 0 + 0i;
for N = 1:N1
N0=N-1;
CN=(-1.0)^N0;
IZ(l)=IZ(l)+CN*(CDEF(N)*H11(N)+CDEF(N+N1)*H21(N));
end
for N = 1:N2
IZ(l)=IZ(l)-CDEF(N+2*N1)*J1(N);
end

IZ(l)=2.0*MyPI*Rho*IZ(l);
CM=abs(IZ(l));
CR=real(IZ(l));
Cl=imag(IZ(l));
CP=180.0*atan2(Cl,CR)/MyPI;
display('printing [l Rho CM CP]');
display([l Rho CM CP]);
l=l+1;
Rho=Rho+DZ;
if (l > Nl)
break
end
end

resultCURRENT7 = IZ;
end

```

```

** function resultHANKEL = MATLAB_HANKEL(Z)
%Computing Hankel Functions of Type 1 and 2 for n=0,l With
%Complex Argument, Z. Direct Power Series Method for
%CABS(Z) .LE. TNPT and Hankel's Asymptotic Formula for
%Using Double Precision Except for l/0.

```

```

%
MSTOP=80;
ESTOP=1e-20;
TNPT=7.0;
myPi=double(3.141592741012573);
P2=2.0/myPi;
Z1=Z;
j=0+i;
if(abs(Z) > TNPT)
%Hankel Asymptotic Formula
Z2=Z1*Z1;
Z3=Z1*Z2;
Z4=Z1*Z3;
P0=1.0 - 0.0703125/Z2 + 0.1121521/Z4;
Q0=-0.125/Z1 + 0.0732422/Z3;
P1=1.0 + 0.1171875/Z2 - 0.1441956/Z4;
Q1=0.375/Z1 - 0.10253906/Z3;
X0=Z1 - 0.25*myPi;
X1=Z1 - 0.75*myPi;
AM=sqrt(P2/Z1);
H10=AM*(P0+j*Q0)*exp(+j*X0);
H11=AM*(P1+j*Q1)*exp(+j*X1);
H20=AM*(P0-j*Q0)*exp(-j*X0);
H21=AM*(P1-j*Q1)*exp(-j*X1);
resultHANKEL = [ H10 H11 H20 H21 ];
else
%Direct Power Series Method
G0= 1.781072;
Z2=Z1/2.0;
CL=log(G0*Z2);
%Computing F(m) = m! and P(m) = 1 + 1/2 + 1/3 + ....+ 1/m
F(1)=1.0;
P(1)=1.0;
M = 2;
while M ~= MSTOP
F(M)=M*F(M-1);
P(M)=P(M-1)+1.0/M;
M = M +1;
end
%Computing Power Series Coefficients
DM=-1.0;
M = 1;
while M ~= MSTOP
C(M)=DM/(F(M)*F(M));
DM=-DM;
M = M+1;
end

```

```

%Computing J0 and J1
J0=1.0;
J1=0.0;
Z22=Z2*Z2;
Z2P=1.0+0i;
M=0;
M=M+1;
Z2P=Z2P*Z22;
AM=C(M)*Z2P;
J0=J0+AM;
J1=J1-M*AM;
while ( (abs(AM) > ESTOP) && (M < MSTOP) )
M=M+1;
Z2P=Z2P*Z22;
AM=C(M)*Z2P;
J0=J0+AM;
J1=J1-M*AM;
end
J1=J1/Z2;
%Computing Y0 and Y1
M=0;
Y0=C1*J0;
Y1=Z2*C1*J1-J0/2.0;
Z22=Z2*Z2;
Z2P=1.0000+0i;
M=M+1;
Z2P=Z2P*Z22;
AM=C(M)*P(M)*Z2P;
Y0=Y0-AM;
Y1=Y1+M*AM;
while ( (abs(AM) > ESTOP) && (M < MSTOP) )
M=M+1;
Z2P=Z2P*Z22;
AM=C(M)*P(M)*Z2P;
Y0=Y0-AM;
Y1=Y1+M*AM;
end
Y0=P2*Y0;
Y1=P2*Y1/Z2;
H10=J0+j*Y0;
H11=J1+j*Y1;
H20=J0-j*Y0;
H21=J1-j*Y1;
resultHANKEL = [ H10 H11 H20 H21 ];
end
return

```

```

.....

** Function MATLAB_PLTFIL(F,A,B,H,D,NI)
Name = input('Enter Name of File (format-> "C:\\\\file.txt"): ');
Title = input('Enter Title (format-> "Title"): ');
NPTS=NI;
fp = fopen(Name,'w');
fprintf(fp,'%s\r',Title);
fprintf(fp,'%d\r',NPTS);
XMIN=0;
fprintf(fp,'%e\r',XMIN);
XMAX=H+B-A;
fprintf(fp,'%e\r',XMAX);
for l = 1:NPTS
fprintf(fp,'%e\r',F(l));
end
fclose(fp)
end

```

```

.....

** function resultS = MATLAB_SMN(h,l,m,n)
%Evaluating Cosine Moment Integration on 0 < z < H.
if (m ~= 0 || n ~= 0)
myPI = double(3.141592741012573);
am = m * myPI/l;
bn = n * myPI/h;
den = am*am-bn*bn;
if (abs(den) > 1e-10)
p = (-1)^n;
resultS = p * am * sin(am*h) / den;
else
%Special Case of Both Cosines Equal
resultS = 0.5*h;
end
else
%M=N=0 Spcial Case
resultS = h;
end
return

```

```

.....

** function resultT = MATLAB_TMN(h,l,m,n)
%Evaluating Cosine Moment Integration on H < z < L.
q = l - h;

```

```

if (m ~= 0 || n ~= 0)
myPI = double(3.141592741012573);
am = m * myPI/l;
bn = n * myPI/q;
den = am*am-bn*bn;
if (abs(den) > 1e-10)
p = (-1)^ m;
resultT = p * am * sin(am*q) / den;
else
%Special Case of Both Cosines Equal
mpn = m + n;
p = (-1)^ mpn;
resultT = 0.5*q*p;
end
else
%M=N=0 Spcial Case
resultT = q;
end
return

```

EK-2

ANA PROGRAM

```
*** function result = MATLAB_MAIN
clear;
format long e
NBIG=150
for nPindex = 1:150
for nBIG_Index = 1:250
BIG(nPindex ,nBIG_Index) = 0+0i;
end
COEF(nPindex)=0+0i;
P(nPindex)=0;
end
myPI=3.141592741012573;
%display(bell)
display('**PROGRAM -MA-DIDEM MATLAB**')
FMHZ = input('Enter Frequency in MHz: ');
K0=myPI*FMHZ/150;
display('(NO Exact Multiples of Half-Wavelength)');
h = input('Enter Monopole Height, "h", in meters: ');
a = input('Enter Monopole Radius, "a", in meters: ');
b = input('Enter Top Hat Radius, "b", in meters: (Be Sure That b > a) ');
d = input('Enter Feed Gap, "d", in meters: ');
display('NO Exact Multiples of Half-Wavelength');
L = input('Enter Upper Plane Height, L (meters): ');
display('Is Region I Filled With Dielectric Material ??');
display('Yes =====> "I"');
YN = input('No =====> Any Other Key : ');
if (YN == I)
ERR = input('Enter Real Part of Relative Permittivity (>=1): ');
SIG = input('Enter Sigma in Mhos/Meter (>=0): ');
ERI=-18000.*SIG/FMHZ;
Er=ERR+ERI*i;
else
display('Assuming Free-Space in Region I');
Er = 1+0i;
Ur=Er;
end
% Assuming Non-Magnetic Material in Region I
Ur=1+0i;
Kr=K0*sqrt(Er*Ur)
% Estimating N1 and N2 Using 5/4/90 Approach
M1=floor(real(Kr)*h/myPI+0.5)+1
```

```

M2=floor(KD*(L-h)/myPI+0.5)+1
display(' ');
EdNote=sprintf('Complex Kr = %f+%fi',real(Kr),imag(Kr));
display(EdNote);
display('Now We Input Number of Expansion Coefficients');
display('NOTE: N1 and N2 are Number of Coeffs');
display('Expansion limits used here are n=0 to n=N-1');
EdNote=sprintf('Suggested Value for N1 ==>%f',M1);
display(EdNote);
EdNote=sprintf('Suggested Value for N2 ==>%f',M2);
display(EdNote);
N1 = input('Enter # Region I "a" & "b" Coeffs. ( N1 <= 50): ');
N2 = input('Enter # Region II "c" Coeffs. ( N2 <= 100): ');
display('Loading the Moment Matrix and Driving Vector');
[BIG COEF] = MATLAB_MATLOAD(N1,N2,NBIG,KD,a,b,h,d,L,Er,Ur);
display(' ');
display('Factoring the Matrix ... Please Wait. ');
Nm=2*N1+N2;
[ BIG P ] = MATLAB_FACTOR(BIG,P,Nm,NBIG);
%display('Printing A')
%display('Printing A')
%display('Printing A')
%for l = 1:Nm
%   for K = 1:Nm
%       display ([ I K BIG(I,K) ])
%   end
%   display('Printing P')
%   display(P(l))
%end
display(' ');
display('Matrix Factored ... Now Solving');
COEF = MATLAB_SOLVE(BIG,COEF,P,Nm,NBIG);
display(' ');
display('Solution Complete');
display('Listing the Expansion Coefficients');
display('n and a(n): ');
for N = 1:N1
display([N COEF(N)]);
end
display('n and b(n): ');
for N = 1:N1
display([N COEF(N+N1)]);
end
display('n and c(n): ');
for N = 1:N1
display([N COEF(N+N1+N1)]);
end
end

```

```

display('Generating the Current on the Structure');
NI = input('Enter Number of I(z) Points (L.E. 200) : ');
IZ = MATLAB_CURRENT7(COEF,NBIG,a,b,h,d,L,KD,Kr,NI,N2,NI);
ZIN = (1+0i)/IZ(1);
RIN = real(ZIN);
XIN = imag(ZIN);
EdNote = sprintf('Input Resistance Rin = %f Input Resistance Xin = %f',RIN,XIN);
display(EdNote);
for N = 1:NI
IZMAG(N)=abs(IZ(N))
end
%display(IZMAG);
MATLAB_PLTFIL(IZMAG,a,b,h,d,NI)
plot(IZMAG);
result =i;

end

```