

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞRUSAL ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE GEOMETRİK
ŞEKİLLERİN GÖRÜNTÜLENMESİ**

Aslıhan Zeynep ARIKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı
Matematik Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞRUSAL ÖRNEKLEME YÖNTEMİ İLE GEOMETRİK ŞEKİLLERİN
GÖRÜNTÜLENMESİ**

Aslıhan Zeynep ARIKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı, Matematik Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Birol ASLANYÜREK

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim AKDUMAN

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Doğrusal Örneklem Yöntemi ile Geometrik Şekillerin Görüntülenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Aslıhan Zeynep ARIKAN

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Çalışmam süresince yardımlarıyla destek olan Prof.Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK hocama ve aileme teşekkür ederim.

Aslıhan Zeynep ARIKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 Saçılma Problemi	5
2.1 Düz Saçılma Problemi.....	5
2.2 Hankel Fonksiyonunun Yüzey İntegrali	8
2.3 Saçılan Alanın Formülasyonu	9
3 Ters Saçılma Problemi	10
3.1 Ters Saçılma Problemi	10
3.2 TM Polarizasyon	10
3.3 Doğrusal Örneklem Yöntemi	14
4 Nümerik Sonuçlar	18
4.1 Fresnel Veri Tabanı Sonuçları	18
5 Sonuç ve Öneriler	30
5.1 Sonuç ve Öneriler	30
Kaynakça	31
Tezden Üretilmiş Yayınlar	32

SİMGE LİSTESİ

E	Elektrik Alan
μ	Manyetik Geçirgenlik Sabiti
ϵ	Dielektrik Geçirgenlik Sabiti
ω	Açısal Frekans
J	Eşdeğer Elektrik Akımı
H	Hankel Fonksiyonu
σ	Dielektrik İletkenlik Değeri

KISALTMA LİSTESİ

LSM	Linear Sampling Method
-----	------------------------

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir Dielektrik Silindire Ait Ara Kesitin Koordinat Sisteminde Gösterimi...	5
Şekil 2.2 Dielektrik Silindirin Enine Kesitinin Küçük Hücelere Bölünmesi.....	7
Şekil 3.1 Problemin Gösterimi.....	14
Şekil 4.1 Marsilya'daki Centre Commun de Ressources Micro-ondes'teki (CCRM) Yankısız Oda.....	18
Şekil 4.2 EM alanını ölçmek için kullanılan sistem.....	18
Şekil 4.3 Hedef Gösterimleri.....	19
Şekil 4.4 a) Tek dairesel dielektrik silindir, b) İki dielektrik dairesel silindir.....	20
Şekil 4.5 Metal hedeflerin kesit boyutları a) Dikdörtgen kesitli metalik hedef, b) "U-şekilli" kesitli metalik hedef.....	20
Şekil 4.6 Tek Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz.....	21
Şekil 4.7 Tek Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 1 GHz, b) 2 GHz, c) 3 GHz, d) 4 GHz, e) 5 GHz, f) 6 GHz, g) 7 GHz, h) 8 GHz	22
Şekil 4.8 İki Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz.....	23
Şekil 4.9 İki Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 1 GHz, b) 2 GHz, c) 3 GHz, d) 4 GHz, e) 5 GHz, f) 6 GHz, g) 7 GHz, h) 8 GHz	24
Şekil 4.10 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz.....	25
Şekil 4.11 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz	26
Şekil 4.12 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz.....	27
Şekil 4.13 U Şeklindeki Bir İletken Nesnede Tekli Frekans Değerleri için Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz.....	28

Doğrusal Örnekleme Yöntemi İle Geometrik Şekillerin Görüntülenmesi

Aslıhan Zeynep ARIKAN

Matematik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK

Bu çalışmada elektromanyetik ters saçılma problemlerinin çözümünde kullanılan nitel görüntüleme yöntemlerinden doğrusal örnekleme yöntemi (Linear Sampling Method) ele alınmıştır. Nitel görüntüleme yöntemleri ile integral denklemlerden saçıcının konumunun ve şeklinin tespiti yapılmaktadır. Elektromanyetik ters saçılma, özellikle mikrodalga görüntülemeye yüksek kontrastlı görüntülemeyi elde etmede önemlidir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte karmaşık ters problemlerin çözümü birçok alanda ön plana çıkmıştır. Ters saçılma problemlerinin en yoğun kullanıldığı alanlardan biri radar sistemleridir. Jeoloji ve jeofizik ile ilgili alanlarda örneğin yeraltı kaynaklarının tespiti için yapılan çalışmalarda tercih edilmektedir. Sağlık alanında, biyolojik dokuların zararsız bir şekilde görüntülenmesi açısından önem taşımaktadır. Ters saçılma problemlerinin çözümü için saçıcının fiziksel ve geometrik özellikleri ile ilgili bir ön bilgi olmadan hızlı ve güvenilir çözümler elde etmek amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda çalışan doğrusal örnekleme yönteminin matematiksel ve teorik alt yapısı araştırılmıştır.

Doğrusal örnekleme yöntemi ile saçılımı içeren bölge küçük hücrelere bölünüp, tüm noktaları için uzak alan denkleminin yaklaşık bir çözümünün normu çizilerek homojen olmayan şekil elde edilir. LSM yönteminin temel amacı uzak alan denklemini çözmektir. Bu yöntemin algoritması kurularak bir Matlab uygulaması hazırlanmıştır. Marseille Fresnel Enstitüsü tarafından dielektrik ve iletken cisimler için elde edilen deneysel veriler kullanılarak yapılan uygulamada tekli frekans değerleri için elde edilen görüntülere yer verilmiştir. Yüksek ve düşük frekansta elde edilen görüntüler karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ters saçılma, TM polarizasyon, doğrusal örnekleme yöntemi, integral denklem

Linear Sampling Method for Reconstructing of Geometric Shapes

Aslıhan Zeynep ARIKAN

Department of Mathematical Engineering

Master Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hülya ŞAHİNTÜRK

In this study, linear sampling method is used for the solution of electromagnetic inverse scattering problems. Qualitative imaging methods are used to determine the position and shape of the scatter from integral equations. Electromagnetic inverse scattering is particularly important in achieving high-contrast imaging in microwave imaging. In recent years, the solution of complex inverse problems has come to the fore in many areas with the developing technology. One of the most frequently used areas of inverse scattering problems is radar systems. In geological and geophysics-related areas, for example, it is preferred in studies for the determination of underground resources. In the field of health, it is important for the harmless visualization of biological tissues. In order to solve inverse scattering problems, it is aimed to obtain fast and reliable solutions without any prior knowledge about the physical and geometrical properties of the scattering. The mathematical and theoretical infrastructure of the linear sampling method was investigated. The region containing the scattering by the linear sampling method is divided into small cells and the non-homogeneous shape is obtained by

drawing the norm of an approximate solution of the remote field equation for all points. The main objective of the LSM method is to solve the remote field equation. A Matlab application was prepared by establishing the algorithm of this method. The results obtained from the Fresnel Institute of Marseille using the experimental data obtained for dielectric and conductive objects are obtained for single frequency values. High and low frequency images were compared.

Keywords: Inverse scattering, TM polarization, linear sampling method, integral equation

Elektromanyetik saçılma, uzayda herhangi bir noktada toplam alanın, gelen alan ve saçılan alanın toplamı olarak yazılabileceği ve homojen olmama durumunda elektromanyetik dalganın saçıldığı fiziksel bir olgudur [1]. Düz saçılma problemi, geometrik ve fiziksel özellikleri bilinen saçıcının saçılan alanının hesaplanması problemidir. Bu problemlerin çözümünde kullanılan en bilinen yöntemlerden Moment Yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntemde integral denklem ayrıştırılarak her hücre için toplam alan bulunur. Bu sayede herhangi bir noktaya ait saçılan alan hesaplanabilir. Ters saçılma problemi ise uzak alan modeli ile saçıcıdan uzak mesafelerde saçılan dalganın homojen olmama bilgisinin elde edildiği problemlerdir. Uzak alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin düzlem dalga yaklaşımı yapabildiği bölgedir. Gelen alan ve saçılan alan bilgisinden cisimlerin konumu, geometrik ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Bu problemlerin çözümü için ilk engel saçılımın meydana geldiği yerin fiziksel şartlarının bilinmemesidir. İkinci engel kötü konumlanmış (ill-posed), Hadamard[2] ters problemlerin varlığıdır. Ters problemler radar sistemleri, jeoloji, jeofizik, arkeoloji ve tıp alanında uzaktan algılama ile ilgili yapılan çalışmalar için önemlidir. Özellikle tıp alanında mikrodalga görüntüleme ile biyolojik dokuların zararsız bir şekilde görüntülenmesi ve bazı hastalıkların teşhisinde yarar sağlamaktadır. Söz konusu ters saçılma problemlerinin çözümü için saçıcının fiziksel ve geometrik özellikleri ile ilgili bir ön bilgi olmadan hızlı ve güvenilir çözümler elde etmek amaçlanmaktadır. Bu problemlerin çözümünde kullanılan nitel görüntüleme yöntemlerinden biri doğrusal örnekleme yöntemidir. Bu sayede saçıcının şeklinin ve konumunun tespiti yapılmaktadır. Yöntem lineer birinci dereceden Fredholm denkleminin çözümünü içerir. Buradaki doğrusallık fiziksel koşullara dayanan bir yaklaşımdan değil doğrusal olmayan ters saçılma problemi ile lineer integral denklem arasındaki denklikten gelmektedir [1]. Saçılımcının içindeki her bir z örneklem noktası için uzak alan denklemi yazılır. Bu denklemin

integral çekirdeği bilinen bir analitik fonksiyondur. Saçılımı içeren bölge küçük hücrelere bölünüp, tüm noktaları için uzak alan denkleminin yaklaşık bir çözümünün normu çizilerek homojen olmayan şekil elde edilir. Bu matematiksel alt yapı algoritmaya aktararak farklı frekansta görüntülemelerle nesnenin konumu ve şekli hakkında bilgi edinilir. Bu çalışmada ters saçılma problemlerinin çözümünde kullanılan doğrusal örnekleme yöntemi ele alınmıştır. Yöntemin amaçları, matematiksel formülasyonu ve çalışma mantığı üzerinde durulmuştur. Marseille Fresnel Enstitüsü tarafından dielektrik ve iletken cisimler için elde edilen deneysel veriler kullanılarak bir Matlab uygulaması hazırlanmış ve sonuçlarına yer verilmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Doğrusal örnekleme yöntemi üzerine ilk çalışma 1996 yılında Colton ve Kirsch [3] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Dirichlet, Neumann empedans koşulları altında iki boyutlu nesneler ve iki boyutlu homojen olmayan ortam için formüller ifade edilmiştir. Colton ve arkadaşlarının 1997 yılındaki makalesinde, etkin yapılandırmalar elde edebilmek için regülarizasyon şemalarının kullanılması ele alınmıştır [4]. 2002 yılında seçilen örneklem noktasının saçılan bölgenin dışında olduğu durum, [5]'de incelenmiştir. Doğrusal örnekleme ile ilgili diğer çalışmalarda çeşitli saçılma koşulları altında yöntemin uygulanması araştırılmıştır. Yapılan uygulamalarda TM polarizasyon, TE polarizasyon ve karma sınır değer problemleri için formüllere yer verilmiştir. Yöntem, Maxwell denklemleri için farklı koşullarda incelenmiştir [1]. LSM ile gömülü cisimlerin tespiti için yapılan birçok çalışma mevcuttur. Mikrodalga tomografi ile kemik iliğinden lösemi saptanması örnek verilebilir [6]. Sınırlı ön bilgiye sahip olunan tıp alanındaki uygulamalarda LSM üzerine çalışılmıştır. [7]'de yöntemin meme kanseri teşhisine uygulanması ele alınmıştır. Nitel görüntüleme yöntemlerinin analizi ve gerçek dünyadaki gömülü hedef görüntüleme senaryoları için yöntemin uygulaması [8]'de belirtilmiştir. Bu tezde LSM'nin temel formülasyonu ve çözüm adımları üzerinde durulmuştur. Deneysel verilerle yöntemin pratik bir uygulaması verilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin genel amacı, doğrusal örnekleme yönteminin çalışma mantığının ele alınması ve deneysel verilerle uygulamasının hazırlanmasıdır.

Tezin ilk bölümünde, düz saçılma problemlerinin çözülme tekniği incelenmiştir. İncelenen teknik, keyfi enine kesitli bir dielektrik silindirde saçılma probleminin çözümü için kullanılmaktadır. Bu çözüm harmonik kaynak alanında keyfi enine kesitli silindir için bulunan integral denklemin çözümünü içermektedir. Silindir, elektrik alan yoğunluğu aynı olan kare şeklinde küçük hücrelere ayrılmıştır. İlk durumda her hücre için toplam elektrik alan bilinmemektedir. Buradaki amaç her hücre için toplam elektrik alanın olay alanı ve saçılan alanın toplamı şeklinde yazılarak bir doğrusal denklem sistemi oluşturulmasıdır [9].

Tezin ikinci bölümünde, ters saçılma problemlerinin çözümünde kullanılan doğrusal örnekleme yönteminin matematiksel alt yapısı analiz edilmiştir. Son yıllarda ters saçılma problemlerinin çözümü önemli bir hal almıştır. Özellikle askeri çalışmalarda, uzaktan algılama amaçlı kullanılan radar sistemlerinde etkilidir. Tıp alanında yapılan çalışmalarda istenen zararlı veya hastalıklı hücreleri tespit edebilmektir [1]. Bu doğrultuda mikrodalga görüntüleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklere Manyetik Rezonans Görüntüleme(MRI), Bilgisayarlı Tomografi(CT), Positron Emisyon Tomografisi(PET) örnek verilebilir. Mikrodalga görüntüleme tekniklerinin çözümünde kullanılan nitel görüntüleme yöntemlerinden doğrusal örnekleme yönteminin matematiksel adımları ve çalışma mantığı analiz edilmiştir.

Tezin son bölümünde doğrusal örnekleme yönteminin uygulaması üzerine çalışılmıştır. Fresnel veri tabanının deneysel verileriyle bir Matlab uygulaması hazırlanmıştır. Farklı frekanslarda elde edilen şekil görüntüleri karşılaştırılmıştır.

1.3 Hipotez

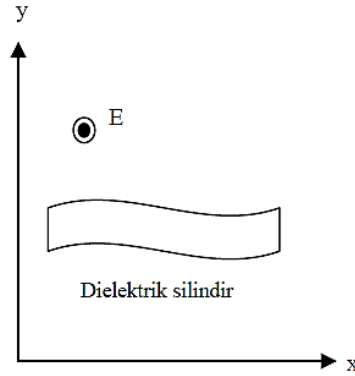
Bu tezde onaylanan hipotezler ve katkılar aşağıdaki gibi verilebilir:

Saklı cismi görüntülemenin önemli olduğu jeoloji, askeri ve tıp gibi birçok alanda yapılan çalışmalarda ters saçılma problemleri ile karşılaşılmaktadır. Bu

problemlerin çözümünde kullanılan nitel görüntüleme yöntemlerinden biri doğrusal örnekleme yöntemidir. Bu yöntem ile saçının ve ortamın elektriksel özellikleri bulunmadan daha basit algoritmalar kurularak görüntüleme yapılabilir. Bu öneriler ölçüm değerleri ile doğrulanmıştır. İleriki çalışmalarda üç boyutlu şekiller kullanılabilir.

2.1 Düz Saçılma Problemi

Düz saçılma probleminin amacı bilinen gelen alan, saçıcı ve ortam parametreleri ile saçılan alanları hesaplamaktır. Bu bölümde, problemin çözümünde kullanılan en bilinen yöntemlerden biri olan Moment Yöntemi ile nasıl çözüldüğü anlatılmaktadır. Şekil 2.1’de enine kesitli bir dielektrik silindir üzerindeki boş uzayda harmonik bir dalga olayı ele alalım.



Şekil 2.1 Bir Dielektrik Silindire Ait Ara Kesitin Koordinat Sisteminde Gösterimi[9]

Zaman faktörü, $e^{j\omega t}$ ile gösterilmektedir. Silindirin eksenine z eksenine paralel alındığında, gelen elektrik alan E^i , yalnızca bir z bileşenine sahiptir ve z’e bağlı bir fonksiyon değildir.

$$E^i = \hat{z}E^i(x, y) \quad (2.1)$$

Dielektrik silindirin boş uzayla aynı geçirgenliğe sahip olduğu varsayılmaktadır. ($\mu = \mu_0$) Dielektrik malzemenin doğrusal ve izotropik olduğu varsayılır, ancak enine koordinatlara göre homojen olmayabilir.

$$\epsilon = \epsilon(x, y) \quad (2.2)$$

ϵ , kompleks dielektrik sabitini göstermektedir.

E , dielektrik silindirin varlığında kaynak tarafından oluşturulan alanı temsil etmektedir. Saçılan alan, toplam ve gelen alan arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

$$E = E^i + E^s \quad (2.3)$$

Varsayılan koşullar altında, toplam ve saçılan elektrik alan yoğunlukları sadece z bileşenlerine sahip olacaktır.

Saçılan alan E^s , sınırsız boş uzayda yayılan eş değer elektrik akımı tarafından üretilebilir.

$$J = j\omega(\epsilon - \epsilon_0)E \quad (2.4)$$

ω , açısal frekansı $2\pi f$ ile gösterilir.

Bu eşdeğer akım yoğunluğu “polarizasyon akımı” olarak tanımlanmaktadır.

Boş uzayda z eksenine elektrik akımı filamentleri dI , paralel alanı aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$dE^s = -\hat{z} \left(\frac{w\mu}{4} \right) H_0^{(2)}(k\rho) dI \quad (2.5)$$

$H_0^{(2)}(k\rho)$, sıfırıncı dereceden ikinci tip Hankel fonksiyonudur. ρ , mevcut filamentten gözlem noktasına kadar olan mesafedir.

Dalga sayısı, $k = w\sqrt{\mu_0\epsilon_0} = 2\pi/\lambda$ ile hesaplanmaktadır. Boş uzay dalga boyu, λ ile gösterilir. Saçılan alanı üreten elektrik akımının artışı,

$$dI = JdS = j\omega(\epsilon - \epsilon_0)EdS \quad (2.6)$$

dS , dielektrik silindirin enine kesitinde yüzey alanının artmasıdır. Denklem (2.5) ve (2.6) ile saçılan alan aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$E^s(x, y) = -(jk^2/4) \iint (\epsilon_r - 1) E(x', y') H_0^{(2)}(k\rho) dx' dy' \quad (2.7)$$

(x, y) ve (x', y') sırasıyla gözlem ve kaynak noktasının koordinatlarıdır.

ϵ_r , kompleks bağıl dielektrik sabitidir. ($\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$)

$$\rho = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (2.8)$$

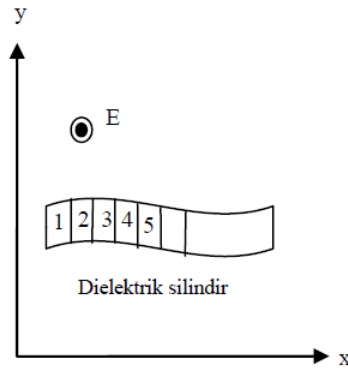
Denklem (2.7)'deki integrasyon, dielektrik silindirin enine kesiti üzerinde gerçekleştirilecektir. Homojen olmayan durumda bağıl dielektrik sabiti kaynak noktası koordinatlarının bir fonksiyonu olarak kabul edilir.

$$\epsilon_r = \epsilon_r(x', y') \quad (2.9)$$

Denklem (2.7), dielektrik bölgenin içinde veya dışında herhangi bir noktada saçılan alan için geçerlidir. Denklem (2.3) ve (2.7) ile toplam elektrik alan aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$E(x, y) + (jk^2/4) \iint (\epsilon_r - 1) E(x', y') H_0^{(2)}(k\rho) dx' dy' = E^i(x, y) \quad (2.10)$$

Dielektrik silindirin enine kesitini yeterince küçük hücelere bölelim. Bu durum Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Dielektrik sabitinin ve elektrik alan yoğunluğunun her hücre üzerinde esasen sabit olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 2.2 Dielektrik Silindirin Enine Kesitinin Küçük Hücelere Bölünmesi [9]

Denklem (2.10), m hücrenin merkezine uygulanırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$E_m + (jk^2/4) \sum_{n=1}^N (\epsilon_n - 1) E_n \iint H_0^{(2)}(k\rho) dx' dy' = E_m^i \quad (2.11)$$

Bu denklemde, ϵ_n ve E_n sırasıyla n. hücrenin merkezindeki kompleks dielektrik sabitini ve elektrik alanı temsil etmektedir.

$$\rho = \sqrt{(x' - x_m)^2 + (y' - y_m)^2} \quad (2.12)$$

$m = 1, 2, \dots, N$ olmak üzere N 'nin hücre sayısını temsil ettiği N adet lineer denklemden oluşan bir sistem ele alınır. Bu sistemin çözülmesiyle N adet hücrenin merkezlerindeki toplam elektrik alan değerleri $(E_1, E_2, E_3, \dots, E_N)$ hesaplanmış olur.

Bütün bunların toplamından oluşan $E(x,y)$ sayesinde, herhangi bir noktaya ait saçılan alan hesaplanabilir [9].

2.2 Hankel Fonksiyonunun Yüzey İntegrali

Yüzey integralleri, Trapezoid(yamuk) kuralı ve Simpson kuralı gibi sayısal integrasyon formülleriyle hesaplanabilir. Bu yöntemler başarıyla uygulanmıştır. Ancak hesaplamaların oldukça uzun olduğu ve gözlem noktası n. hücresinin merkezindeyken mevcut olan tekillik ile bütünleşmesi gerektiği tespit edilmiştir. İntegrasyon bölgesi en temel durumda kare veya dikdörtgendir. Bu integral için kapalı formülü bir çözüm bulunmamaktadır. Bununla birlikte, sıfır dereceli Hankel fonksiyonunun dairesel bir bölgeye integrasyonu için basit bir çözüm mevcuttur [9].

$$\begin{aligned}
 & (jk^2/4) \int_{0}^{2\pi} \int_{0}^a H_0^{(2)}(k\rho) \rho' d\rho' d\phi' \\
 & \quad \text{cell } n \\
 & = (j/2) \left[\pi ka H_1^{(2)}(ka) - 2j \right], m = n \\
 & = (j\pi ka/2) J_1(ka) H_0^{(2)}(k\rho_{mn}), \quad m \neq n
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ρ değeri denklem (2.12)'de verilmiştir. ρ' ve ϕ' n. hücrenin merkezini temel alan kutupsal koordinatlardır. Gözlem noktası dairesel bölgenin merkezinde olduğunda denklem (2.13)'de verilen $m = n$ durumu uygulanır. Gözlem noktasının, dairesel bölgenin merkezinden ρ_{mn} mesafesinden uzakta olması durumunda ikinci çözüm geçerlidir. Kare hücreler yerine ele alınan aynı kesit alanlı dairesel hücreler sayısal hesaplamalarda çok küçük hatalara yol açmaktadır.

$$\rho_{mn} = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2} \tag{2.14}$$

Denklem (2.14)'te m. ve n. hücrelerin merkezleri arasındaki mesafe belirtilmiştir. Denklem (2.11)'deki lineer denklem sistemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\sum_{n=1}^N C_{mn} E_n = E_m^i, \quad m = 1, 2, \dots, N \tag{2.15}$$

a_n , n. hücre ile aynı kesit alanına sahip eşdeğer dairesel hücrenin yarıçapını göstermektedir. Bu durumda C_{mn} katsayıları aşağıdaki şekilde bulunmaktadır [9].

$$C_{mn} = 1 + (\epsilon_m - 1)(j/2) \left[\pi k a_m H_1^{(2)}(k a_m) - 2j \right], \quad n = m \quad (2.16)$$

$$C_{mn} = \left(\frac{j\pi k a_n}{2} \right) (\epsilon_n - 1) J_1(k a_n) H_0^{(2)}(k \rho_{mn}), \quad n \neq m \quad (2.17)$$

2.3 Saçılan Alanın Formülasyonu

Denklem (2.15)'deki lineer denklem sistemi çözüldüğünde dielektrik silindirin herhangi bir noktasındaki saçılan alan denklem (2.7) ile bulunmaktadır. Yüzey integralini kolaylaştırmak için silindir enine kesiti yaklaşık kare olan daha küçük hücrelere ayrılır. Dielektrik bölgenin dışında kalan bir noktadaki saçılan alanı bulmak için denklem (2.7) ve (2.13) kullanılır.

$$E^s(x, y) = -j(\pi k/2) \sum_{n=1}^N (\epsilon_n - 1) E_n a_n J_1(k a_n) H_0^{(2)}(k \rho_n) \quad (2.18)$$

ϵ_n , n. hücre üzerindeki ortalama dielektrik sabitini göstermektedir. a_n , n.hücre ile aynı alana sahip dairenin yarıçapı ve ρ_n , gözlem noktasından n.hücrenin merkezine olan uzaklık olmak üzere,

$$\rho_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \quad (2.19)$$

Dielektrik silindirin uzak alan saçılma paterni geniş argümanlı Hankel fonksiyonunda asimptotik form kullanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\rho_n = \rho_0 - x_n \cos \phi - y_n \sin \phi \quad (2.20)$$

ρ_0 ve ϕ gözlem noktasının kutupsal koordinatlarıdır.

$$\begin{aligned} E^s(\rho_0, \phi) = & -j(\pi k/2) \sqrt{2j/\pi k \rho_0} \\ & \cdot e^{-jk\rho_0} \sum_{n=1}^N (\epsilon_n - 1) E_n a_n J_1(k a_n) \\ & \cdot e^{jk(x_n \cos \phi + y_n \sin \phi)} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Saçılan alan, kutupsal koordinatlar ile denklem (2.21)'deki gibi bulunabilir [9].

3.1 Ters Saçılma Problemi

Ters saçılma probleminin amacı saçıcıdan uzak mesafelerde saçılan dalganın homojen olmama bilgisinin elde edilmesidir. Gelen alan ve saçılan alan bilgisinden cisimlerin konumu, geometrik ve fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinilmeye çalışılmaktadır. Bu problemlerin çözümü zorlu matematiksel bir alt yapıya sahiptir. Bunun nedenlerinden biri saçılmanın gerçekleştiği yerin fiziksel şartlarının bilinmemesidir. İkincisi, ters problemlerin kötü konumlanmış (ill-posed) problem sınıfına girmesidir. Kötü konumlanmış problem çözümünün varlığı, tekliği ve kararlılığı özelliklerinden birini sağlamamaktadır [1].

3.2 TM Polarizasyon

Sonsuz silindirde saçılan elektromanyetik bir dalga ele alıyoruz. Dalga zaman harmonik ise saçılma zaman harmonik Maxwell denklemleriyle,

$$\nabla \times E - ikH = 0 \quad \nabla \times H - ikE = 0 \quad x \in \mathbb{R}^3 \setminus \bar{D} \quad (3.1)$$

$$v \times E = 0 \quad x \in \Gamma \quad (3.2)$$

(3.2)'deki sınır koşulu ile tanımlanır. Elektrik ve manyetik alan sırasıyla E ve H vektörel olarak ele alınır. Elektrik alanı, silindir eksenine paralel titreşiyorsa olay alanının polarizasyonunun TM olduğu varsayılır. Skaler alan u ile tanımlanır şöyle ki $E = (0, 0, u)$. Maxwell denklemi, (3.1) ve sınır koşulu (3.2) ile bulunan u dış problemini sağlar.

$$\Delta_2 u(x) + k^2 u(x) = 0 \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus \bar{D} \quad (3.3)$$

$$u(x) = 0 \quad x \in \Gamma \quad (3.4)$$

Sınırı Γ ile gösterilen D bölgesi silindirin kesitidir. u aşağıdaki formda yazılabilir.

$$u(x) = e^{ikxd} + u^s(x) \quad (3.5)$$

k pozitif dalga sayısı, $d \in \Omega = \{x \in \mathbb{R}^2, |x| = 1\}$ ve saçılan alan $u^s(x)$ Sommerfeld radyasyon koşulunu sağlar.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial u^s}{\partial r} - iku^s \right) = 0 \quad (3.6)$$

Green formülü, $r = |x|$ sonsuza giderken saçılan alan $u^s(x)$ asimptotik davranışa sahipken sağlanır.

$$u^s(x) = u_\infty(\hat{x}, d) \frac{e^{ikr}}{\sqrt{r}} + O(r^{-3/2}) \quad (3.7)$$

Açısal değişkenlerin fonksiyonu $u_\infty(\hat{x}, d)$, saçılan alanın uzak alan modeli olarak bilinir ve ters problem durumunda saçılan verileri temsil eder. Ele alacağımız ters saçılma problemi, uzak alan modelinin tam bilgisinden Γ sınırını belirleyen bir problemdir. Uzak alan modelinin bilgisi, uzak alan operatörünü tanımlamamızı sağlar.

$$F: L^2(\Omega) \rightarrow L^2(\Omega):$$

$$(Fg)(\hat{x}) = \int u_\infty(\hat{x}, d) g(d) ds(d) \quad (3.8)$$

$u_\infty(\hat{x}, d)$ fonksiyonu, bağımsız değişkenlerine göre türevlenebilir olduğundan bu operatör lineer ve kompakttır. Uzak alan denklemi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$(Fg_z)(\hat{x}) = \Phi_\infty(\hat{x}, z) \quad (3.9)$$

$\Phi_\infty(\hat{x}, z)$, Helmholtz denkleminin $\Phi(x, z)$ temel çözümünün uzak alan modelidir.

$$\Phi(x, z) = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(k|x - z|) \quad (3.10)$$

$H_0^{(1)}$, sıfırıncı dereceden Hankel fonksiyonu ve

$$\Phi_\infty(\hat{x}, z) = \gamma e^{ik\hat{x} \cdot z} \quad (3.11)$$

$$\gamma = \frac{e^{i\pi/4}}{\sqrt{8\pi k}} \quad (3.12)$$

Denklem (3.9), parametresi $\mathbb{R}^2$ 'deki z noktası ile belirtilen bir parametrelili denklem ailesidir. Bu denklem kümesinin analizi ve özellikle z 'nin tüm olası konumları için g_z çözümlerinin davranışlarının incelenmesi doğrusal örnekleme yönteminin temelidir.

(3.9)'daki uzak alan denkleminin analiz edilmesi, uzak alan operatörü F 'in uygun bir faktörizasyonu ile gerçekleştirilir. Bu doğrultuda uzak alan modeline göre Herglotz dalga fonksiyonunu ve operatörün sınır verileri tanımlanmalıdır. Herglotz dalga fonksiyonu, $L^2(\Omega)$ 'de çekirdek g ile tanımlanır.

$$v_g(x) = \int e^{ikx \cdot d} g(d) ds(d) \quad (3.13)$$

Genel dış Dirichlet problemi ile sınır operatörü ifade edilir.

$$\Delta_2 w(x) + k^2 w(x) = 0 \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus \bar{D} \quad (3.14)$$

$$w = f \quad x \in \Gamma \quad (3.15)$$

Sınır operatörü $B: H^{1/2}(\Gamma) \rightarrow L^2(\Omega)$, f sınır verilerini radyasyonun uzak alan modeli w_∞ ile eşleyen doğrusal operatör olarak tanımlanır.

Doğrusal örnekleme yöntemi, ters saçılma problemini çözmek için D bölgesini belirlemede uzak alan modeli bilgisinden aşağıdaki adımlara göre ilerler:

- D 'yi içeren muhtemel bölgede örnekleme noktaları seçilir.
- Uzak alan denkleminin yaklaşık bir çözümünü bulmak için regülarizasyon yöntemi kullanılır.
- Bir kesit değeri C seçilir ve $\|g(\cdot; z)\|$ C 'den küçükse z 'nin D 'de olduğu ileri sürülür.

Tipik gerçek uygulamalarda ortaya çıkan iki özel saçılma durumu vardır. İlk durum, saçılma engelini homojen bir arka plan yerine parçalı sabit bir arka plan ortamına yerleştirilmesidir. İkinci durum, sınırlı aralıktaki saçılma verisi kullanılmasıdır. Bu özel durumlar doğrusal örnekleme yöntemine ilave edilebilir.

İlk olarak parçalı sabit bir arka plan ortamını ele alalım. Denklem (3.3) ve (3.6) aşağıdaki problemle değiştirilir.

$$\Delta_2 u + k_0^2 u = 0 \quad x \in D_0 \setminus D \quad (3.16)$$

$$\Delta_2 u + k^2 u = 0 \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus \bar{D}_0 \quad (3.17)$$

$$u(x) = e^{ikx \cdot d} + u^s(x) \quad (3.18)$$

$$u = 0 \quad x \in \partial D \quad (3.19)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial u^s}{\partial r} - iku^s \right) \quad (3.20)$$

Düzgün ∂D_0 sınırı içinde u türevlenebilir. (3.18) denklemini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$u(x) = \left(e^{ikx.d} + u_b^s(x) \right) + (u^s(x) - u_b^s(x)) \quad (3.21)$$

$D = \emptyset$ olduğunda yani sadece arka plan ortamı ile saçılma u_b^s 'dir. Green fonksiyonu $G(., z)$ 'in arka plan ortamı için uzak alan modeli olarak $G_\infty(., z)$ 'i ele alalım.

$$\int_\Omega [u_\infty(\hat{x}, d) - u_{b,\infty}^s(\hat{x}, d)] g(d) ds(d) = G_\infty(\hat{x}, z) \quad (3.22)$$

Yukarıdaki integral operatörünün çekirdeğinin, $u_b(x, d) = e^{ikx.d} + u_b^s(x)$ olay alanına karşılık gelen uzak alan modelidir. Rellich'in teoremi ve Holmgren'in benzersizlik teoreminden görüyoruz ki, g değiştirilmiş uzak alan denkleminin bir çözümü ise

$$V_g := \int_\Omega u_b(x, d) g(d) ds(d) \quad (3.23)$$

$$V_g(.) = -G(., z) \quad x \in \partial D \quad (3.24)$$

Aksine, k_0^2 'nin D ve $f \in H^{1/2}(\partial D)$ için bir özdeğer olmadığı ve $v \in H^1(D)$ 'nin tek çözüm olduğu varsayılır.

$$\Delta_2 v + k_0^2 v = 0 \quad x \in D \quad (3.25)$$

$$v = f \quad x \in \partial D \quad (3.26)$$

Green formülü ile v 'yi aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$v(x) = v_k(x) - \int_D \Phi(x, y) [k^2 - k_0^2] v(y) dy \quad (3.27)$$

$v_k \in H^1(D)$, D 'deki $\Delta_2 v + k^2 v = 0$ denkleminin çözümüdür. $H^1(D)$ 'deki bir Herglotz dalga fonksiyonu ile v_k 'ya yaklaşır ve Lippmann-Schwinger integral denkleminin tersini kullanarak v 'nin $H^1(D)$ 'de (3.23) denkleminin $\Delta_2 v + k_0^2 v = 0$ çözümü ile yaklaştığı gösterilir. Eğer $Bf := w_\infty$ uzak alan modeli ise,

$$\Delta_2 w + k_0^2 w = 0 \quad x \in D_0 \setminus D \quad (3.28)$$

$$\Delta_2 w + k^2 w = 0 \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus \overline{D_0} \quad (3.29)$$

$$w = f \quad x \in \partial D \quad (3.30)$$

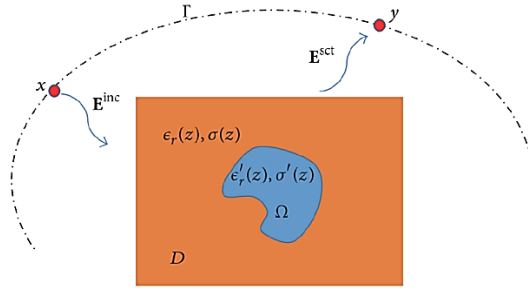
$$\lim_{r \rightarrow \infty} \sqrt{r} \left(\frac{\partial w}{\partial r} - i k w \right) = 0 \quad (3.31)$$

$$(Hg)(x) := \int_{\Omega} u_b(x, d) g(d) ds(d) \quad (3.32)$$

Eğer değiştirilmiş uzak alan denklemi kullanılırsa, doğrusal örnekleme yönteminin parçalı sabit bir arka plan ortamı için geçerli olduğu sonucuna ulaşılır [1].

3.3 Doğrusal Örnekleme Yöntemi

Doğrusal örnekleme yöntemi için problemin tanımı ve çalışma mantığı aşağıdaki adımlara göre ilerlemektedir.



Şekil 3.1 LSM Probleminin Gösterimi [8]

D : Arka plan ortamı

Ω : Saçıcılar

Γ : Uyarım ölçüm sınırı

x : Verici antenin konumu

y : Alıcı antenin konumu

z : Örnekleme alanının içindeki noktalar

Şekil 3.1'deki görelî dielektrik geçirgenliği ve iletkenliği $\epsilon_r'(z), \sigma'(z)$ olan Ω nesnesinin $\epsilon_r(z), \sigma(z)$ elektriksel parametrelî D bölgesine gömülü olduğu durum verilmiştir. Ortamın geri kalanı boş uzay olarak ifade edilen hava ile doldurulur.

Dalga boyu $k = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon + i \omega \sigma \mu}$ ile ifade edilmektedir. ω , açısal frekanstır. ϵ, μ sırasıyla ilgili ortamın elektriksel ve manyetik geçirgenliğidir. Verici ve ölçme antenleri Γ eğrisi üzerine yerleştirilmiştir. $\Gamma \cap D = \emptyset$ yani ölçümler çevrelenen bölgenin dışından yapılmaktadır. Ölçüm yayı Γ 'nın D bölgesini içermesi gerekli değildir. Bu sistemdeki ileri saçılma mekanizması aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.

$$E^s(y) = \int_D G(y, z) O(z) E(z) dz; \quad y \in \Gamma, \quad z \in D \quad (3.33)$$

$$E(z) = E^i(z) + \int_D G(z, z') O(z') E(z') dz'; \quad z', z \in D \quad (3.34)$$

$O(z) = k(z)^2 - k_0^2$, nesne fonksiyonudur ve E^i, E, E^s sırasıyla olay, toplam ve saçılan elektrik alanlardır.

(3.33) ve (3.34)'deki integrallerdeki $G(\dots)$ boş uzaydaki Green fonksiyonudur.

$$G(z, z') = (I + \frac{1}{k_0^2} \nabla \nabla) \frac{\exp(ik_0 |z - z'|)}{4\pi |z - z'|} \quad (3.35)$$

Şekil görüntüleme yöntemlerinin genel amacı, D arka plan ortamının elektriksel özellikleri göz önüne alındığında Ω 'u içirme durumunun tahmin edilmesidir. Arka plan ortamı D 'nin elektriksel özellikleri kullanılarak ortamda herhangi bir nesne yokken de saçılan alan E_r^s hesaplanabilir. Saçılan alan, saçıcı Ω 'nun olduğu referans ortamında E_a^s ölçülür. Γ 'nın bir daire olduğunu ve tüm antenlerin dikey olarak kutuplandığını varsayalım. Saçılan elektrik alan $E_a^{v,s}$ 'nin sadece dikey bileşeni ölçülebilir. D bölgesinde gömülü konumu belirlemede, her bir örneklem noktası için indikatör fonksiyonu belirleyen ortak bir mekanizma kullanılır. Bu fonksiyon örneklem noktası Ω 'a ait olduğunda özel bir yapı gösterir. D bölgesindeki tüm örneklem noktaları için indikatör fonksiyonun yapısı incelenerek Ω şekli yeniden inşa edilebilir. LSM yöntemi, tanımlama yöntemlerinin genel bir örneğidir. LSM probleminin temel amacı uzak alan denklemini çözmektir.

Yukarıdaki dairesel ölçüm yapısında belirtilen, R yarıçaplı daire üzerinde eşit olarak dağıtılmış dikey polarize N antenin, ayrıklaştırılmış uzak alan denklemi aşağıdaki forma indirgenir:

$$Fg = \tilde{G} \quad (3.36)$$

$$g = [g(x_n, z_q)]; 1 \leq n \leq N, 1 \leq q \leq Q \quad (3.37)$$

g çözülmesi gereken katsayılar matrisidir.

$$F = [E^{v,s}(y_m, x_n)] = [E_a^{v,s}(y_m, x_n)] - [E_r^{v,s}(y_m - x_n)]; 1 \leq m, n \leq N \quad (3.38)$$

F, n. anten kaynak olarak davrandığında m. anten ile ölçülen saçılan elektrik alanının dikey bileşeni olan ayrıklaştırılmış uzak alan denklemidir. (3.36) denklemindeki,

$$\tilde{G} = [\tilde{G}^{vv}(y_m, z_q)]; 1 \leq m \leq N, 1 \leq q \leq Q \quad (3.39)$$

Dikey olarak polarize olmuş sonsuz küçük dipol m. alıcı antende konumlandığında, $z_q \in D, 1 \leq q \leq Q$ noktalarında ölçülen elektrik alanının dikey bileşeninin referans ortamını aydınlatmasıdır. LSM, denklem (3.36)'nın çözümlerinin yalnızca örneklem noktaları $z_q \in D, 1 \leq q \leq Q$ 'nın saçıcı ile denk gelmesi durumunda sonlu olduğunu belirtir. Denklem (3.36)'nın kötü tanımlanmış olmasından ve dengeli bir çözüm elde etmek için regülerizasyondan yararlanılmalıdır. Tikhonov regülerizasyonu:

$$g = (\alpha I + F * F)^{-1} F * \tilde{G} \quad (3.40)$$

$(.)^*$, eşlenik transpoze operatörüdür. Regülerizasyon parametresi α , aşağıdaki koşullar uygulanarak tanımlanır.

$$\frac{\sigma_N}{\alpha^2 + \sigma_N^2} \frac{\sum_{q=1}^Q |\langle \tilde{G}^{vv}(\cdot, z_q), u_N(\cdot) \rangle|}{Q} = \frac{1}{\sigma_1} \max_{1 \leq q \leq Q} |\langle \tilde{G}^{vv}(\cdot, z_q), u_1(\cdot) \rangle| \quad (3.41)$$

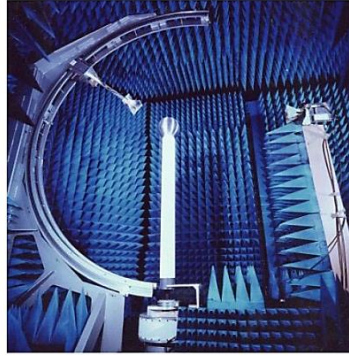
$\langle \cdot, \cdot \rangle$, alıcı noktalarda iç çarpımı göstermektedir. $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N\}$; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_N\}$ F 'in tekil ve sol tekil vektörlerini belirtir. Bu sayede LSM'nin indikatör fonksiyonu, (3.36) denkleminin normu ile ifade edilir.

$$I(z_q) := (\sum_{n=1}^N |g(x_n, z_q)|^2)^{-1}; 1 \leq q \leq Q \quad (3.42)$$

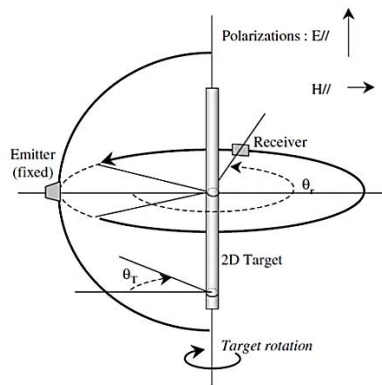
Tüm örneklem bölgesinde I çizilerek gömülü Ω 'nun şeklinin gösterimi elde edilir [8].

4.1 Fresnel Veri Tabanı Sonuçları

Bu bölümde doğrusal örnekleme yöntemi uygulaması ile elde edilen sonuçlar incelenecektir. Marseille Fresnel Enstitüsü tarafından dielektrik ve iletken cisimler için yankısız odada elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Deney düzeneği, antenler veya hedef konumlarını ayarlamak için 14.50 m uzunluğunda, 6.50 m genişliğinde ve 6.50 m yüksekliğinde üç konumlandırıcıdan oluşan büyük bir yankısız odada yapılmıştır [10].

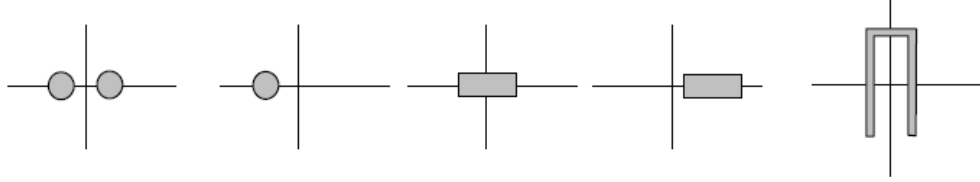


Şekil 4.1 Marsilya'daki Centre Commun de Ressources Micro-ondes'teki (CCRM) Yankısız Oda [10]



Şekil 4.2 EM Alanı Ölçmek İçin Kullanılan Sistem [10]

Alıcı ve verici olmak üzere iki anten hedefin kesit düzlemine yerleştirilir. Hedef kesitleri dikdörtgen, dairesel veya U şeklindedir.

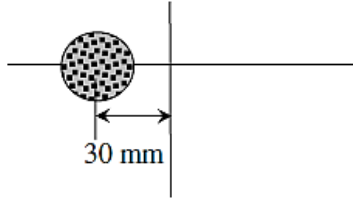


Şekil 4.3 Hedef Gösterimleri [10]

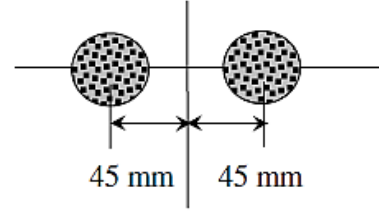
[10]'da ölçümde kullanılan parametreler:

- Mesafeler:
Verici antenin merkezi: $720\text{mm} \pm 3\text{mm}$, Alıcı antenin merkezi: $760\text{mm} \pm 3\text{mm}$
- Açısal değişimler:
Alıcı antenin 5° 'lik adımlarla 60° ile 300° arasında dönmesi
Verici antenin 10° 'lik adımlarla 0° 'den 350° 'ye döndürülmesi
- Frekans aralıkları:
1 GHz adımlarla 1'den 8 GHz'e, 4 GHz adımlarla 4'den 16 GHz'e, 2 GHz adımlarla 2'den 16 GHz.

Dielektrik hedefler bir ya da iki dairesel dielektrik silindirden oluşmaktadır. Dairesel kesitin yarıçapı $a = 15\text{mm}$ alınmıştır. Bu silindirlerin deney düzeneğine göre konumları Şekil 4.4'te verilmiştir.



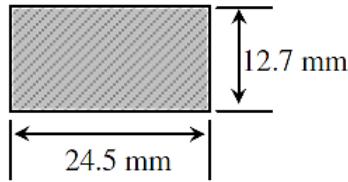
a)



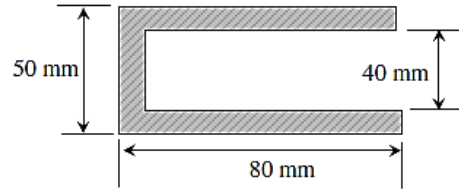
b)

Şekil 4.4 a) Tek dairesel dielektrik silindir, b) İki dielektrik dairesel silindir [10]

Şekil 4.5’de dikdörtgen ve U kesitli iki metalik hedef verilmiştir. Dikdörtgen silindirin boyutları $(25.4 \times 12.7)mm^2$ ve U şeklindeki silindirin boyutları $(80 \times 50)mm^2$ ’dir.



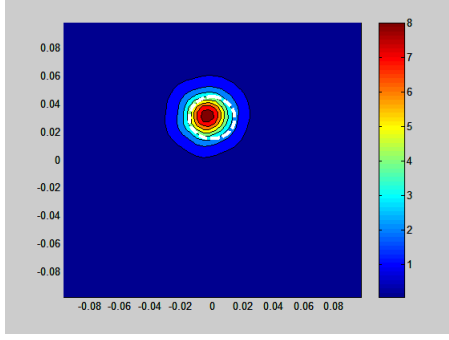
a)



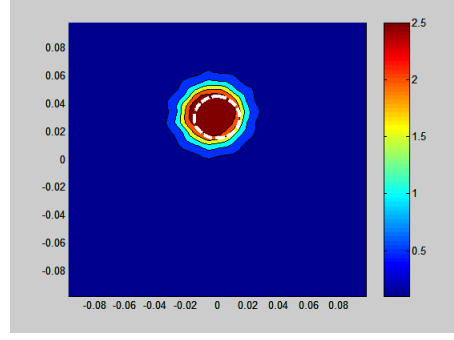
b)

Şekil 4.5 Metal hedeflerin kesit boyutları a) Dikdörtgen kesitli metalik hedef, b) "U-şekli" kesitli metalik hedef [10]

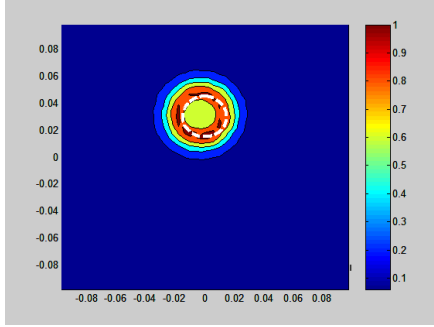
İlk olarak tek dairesel dielektrik silindirik nesne deney düzeneğinin yaklaşık 30 mm uzağına yerleştirilir. Nesnenin orijinal konumu kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Ölçümler 4 GHz, 8 GHz, 12 GHz ve 16 GHz frekansları için yapılmıştır. Şekil 4.6’da kurulumun tekli frekans sonuçları verilmiştir. Tüm frekanslar nesnenin konumunu ve şeklini başarılı bir şekilde göstermiştir.



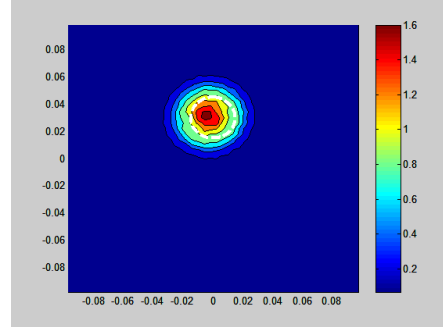
a)



b)



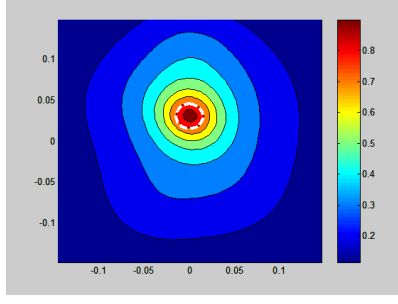
c)



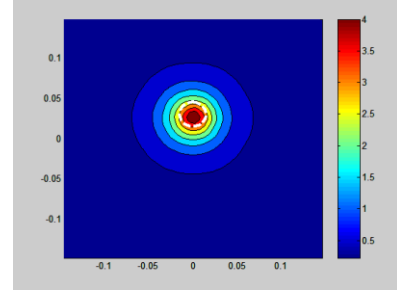
d)

Şekil 4.6 Tek Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz

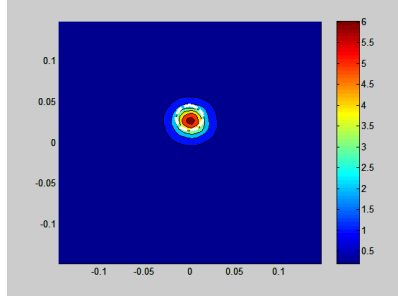
İkinci durum sadece frekanslar farklı olduğundan ilk kurulumla benzerdir. TM polarize olay alanının 30 mm uzağında konumlanan, dielektrik tek daireSEL silindirik bir nesnenin konumunu ve görselini belirlemek için 1 GHz aralıklarla 1'den 8 GHz'e frekans değerleri için görüntüler bulunmuştur. Nesnelerin orijinal konumu kesikli çizgilerle verilmiştir. Şekil 4.7'deki görüntüleme, 1 GHz frekanstaki görüntü haricinde başarılıdır. Bu frekansta elde edilen görüntünün orijinal nesneden oldukça büyük olduğu görülmektedir.



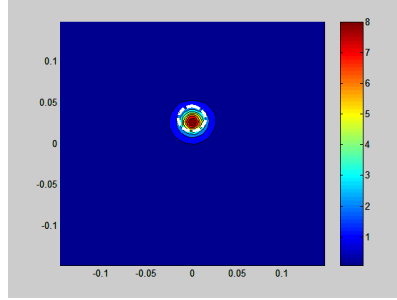
a)



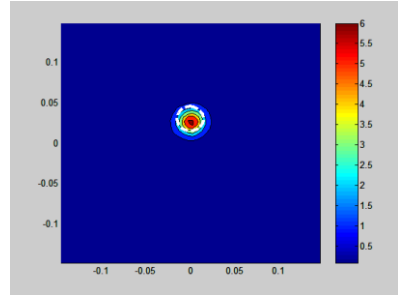
b)



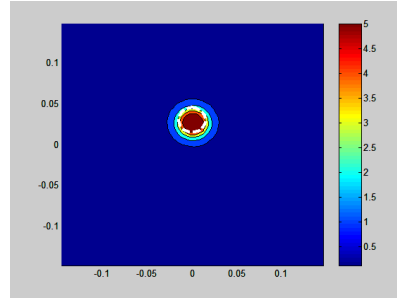
c)



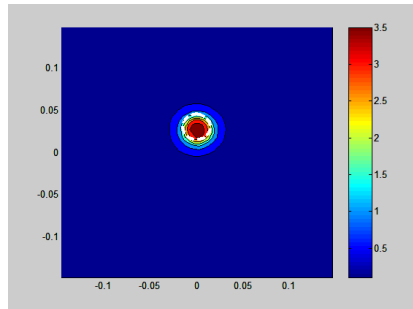
d)



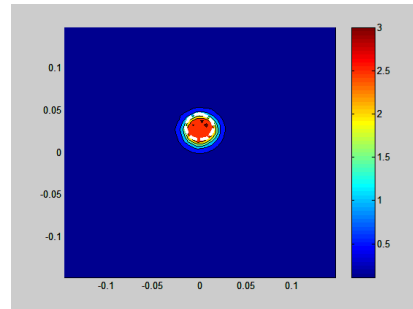
e)



f)



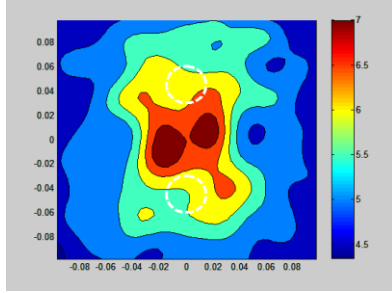
g)



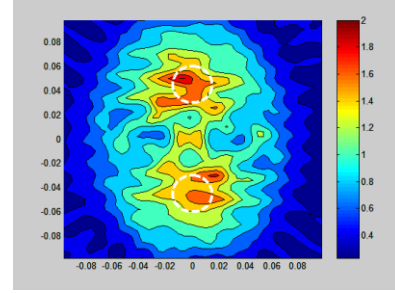
h)

Şekil 4.7 Tek Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – : orijinal şekil a) 1 GHz, b) 2 GHz, c) 3 GHz, d) 4 GHz, e) 5 GHz, f) 6 GHz, g) 7 GHz, h) 8 GHz

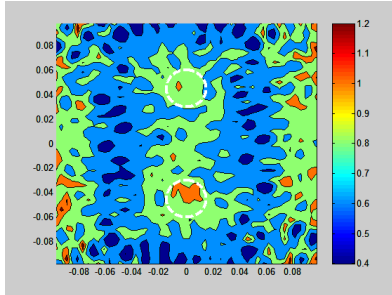
TM olay alanının 45 mm uzağında konumlanan iki dielektrik dairesel silindir için 4 GHz aralıklarla 4'ten 16 GHz'e frekans değerleri için elde edilen görüntüler bulunmuştur. Nesnelerin orijinal konumu kesikli çizgilerle verilmiştir.



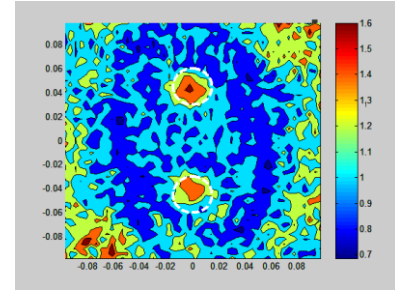
a)



b)



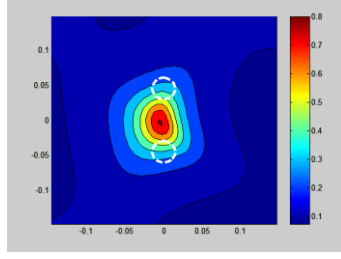
c)



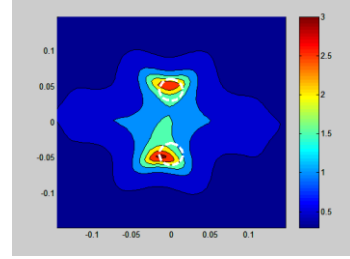
d)

Şekil 4.8 İki Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – : orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz

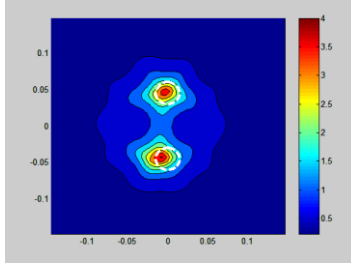
TM olay alanından 45 mm uzağa konumlanan iki dielektrik dairesel silindir için 1 GHz aralıklarla 1'den 8 GHz'e frekans değerleri için görüntüler bulunmuştur. Nesnenin orijinal konumu kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 4.9'da frekans değeri arttıkça daha ayrıntılı görüntü elde edilmiştir.



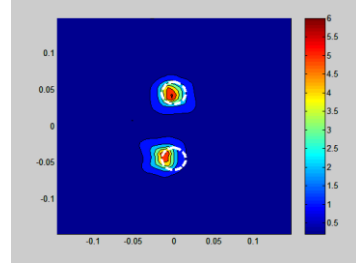
a)



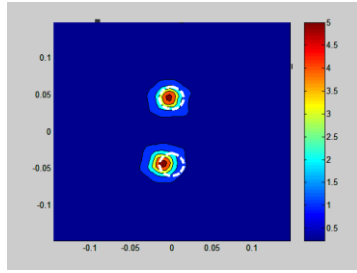
b)



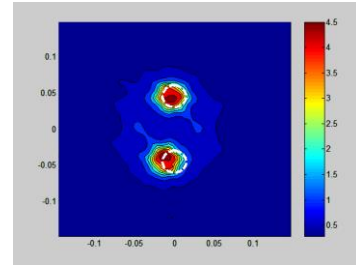
c)



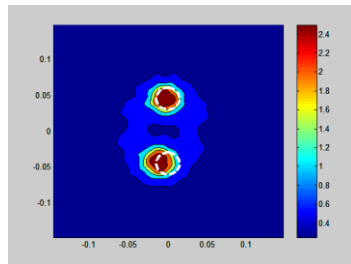
d)



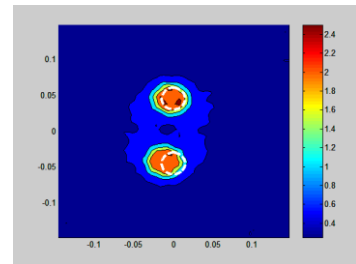
e)



f)



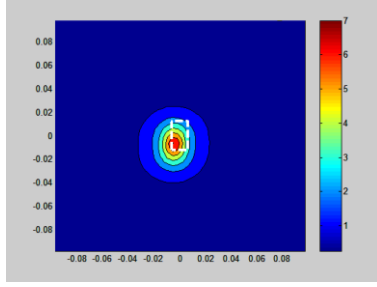
g)



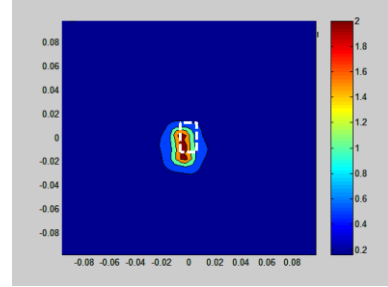
h)

Şekil 4.9 İki Dairesel Dielektrik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 1 GHz, b) 2 GHz, c) 3 GHz, d) 4 GHz, e) 5 GHz, f) 6 GHz, g) 7 GHz, h) 8 GHz

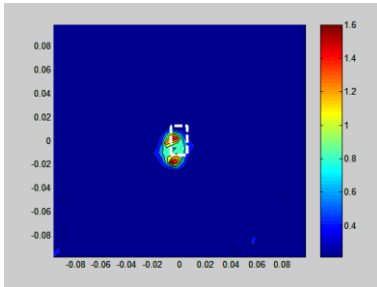
Sonraki kurulum, araştırma alanına merkezlenmiş $(25.4 \times 12.7) \text{ mm}^2$ boyutundaki dikdörtgen metal bir nesne ile yapılmıştır. Nesnenin orijinal konumu kesikli çizgilerle verilmiştir. 4-16 GHz arasında 4 GHz aralıklı frekanslar kullanılmıştır. Şeklin görüntüsü ile orijinal konumu arasındaki fark şeklin pozisyonundaki veya deneysel verideki hatadan kaynaklanabilir.



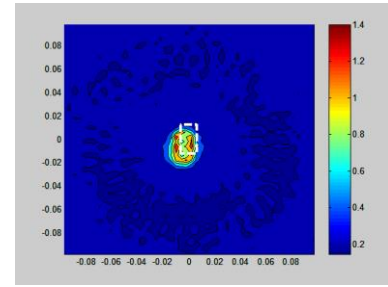
a)



b)



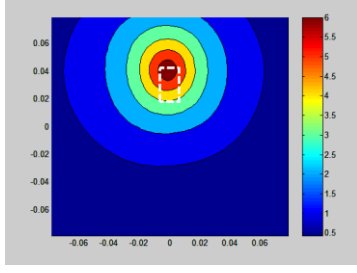
c)



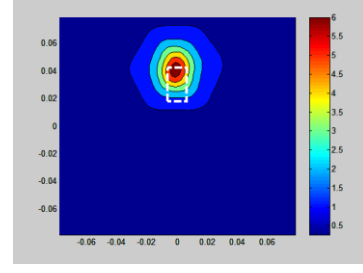
d)

Şekil 4.10 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – -: orijinal şekil a) 4 GHz, b) 8 GHz, c) 12 GHz, d) 16 GHz

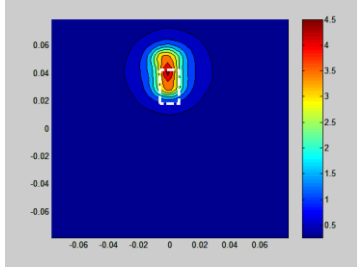
Düşük frekanslı sonuçlar saçılma nesnesinin keskinliğini yumuşatma eğilimindedir ancak bu etki Şekil 4.10'da çok düşüktür. TM olay alanında, dikdörtgen metal nesne merkezden 30 mm uzağa konumlanmıştır. Nesnenin orijinal konumu kesikli çizgilerle verilmiştir. Bu ölçümde 2-16 GHz arasında 2 GHz aralıklı tekli frekans değerleri kullanılmıştır. Bu kurulumda düşük frekansların yumuşatma eğilimi görülmektedir. Şeklin görüntüsü ile orijinal konumu arasındaki fark şeklin pozisyonundaki veya deneysel verideki hatadan kaynaklanabilir.



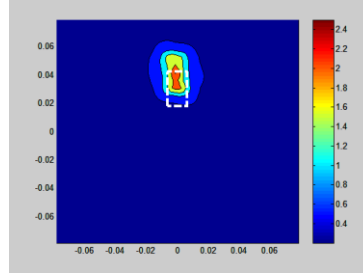
a)



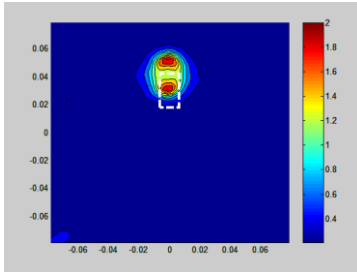
b)



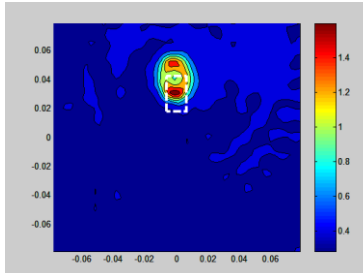
c)



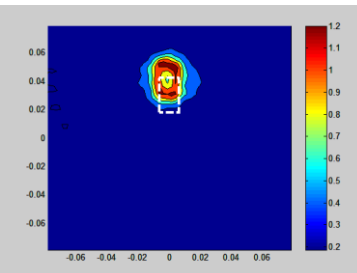
d)



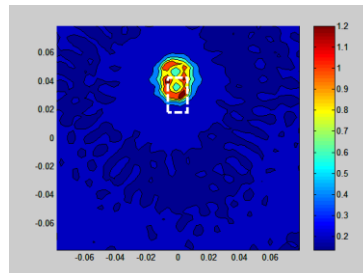
e)



f)

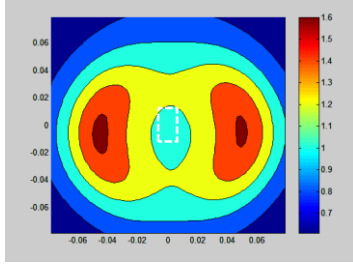


g)

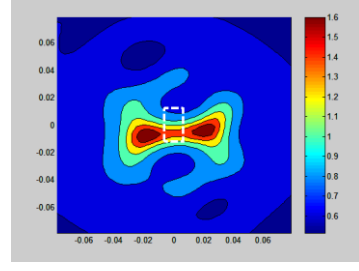


h)

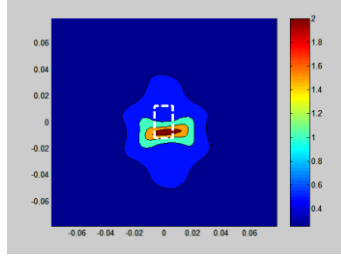
Şekil 4.11 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz



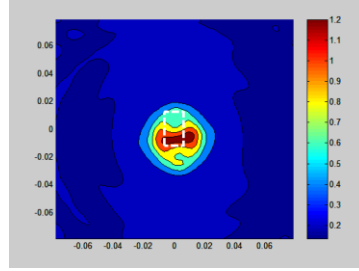
a)



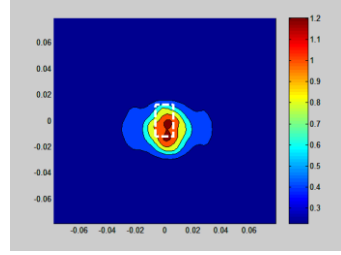
b)



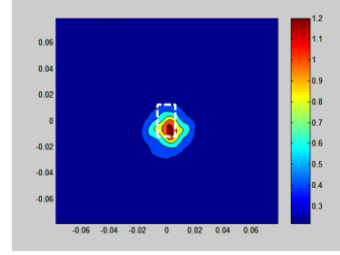
c)



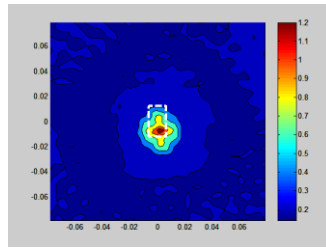
d)



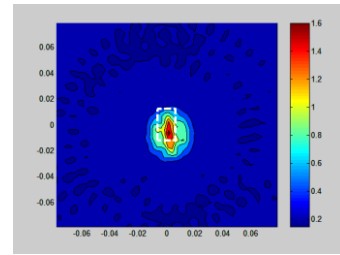
e)



f)



g)

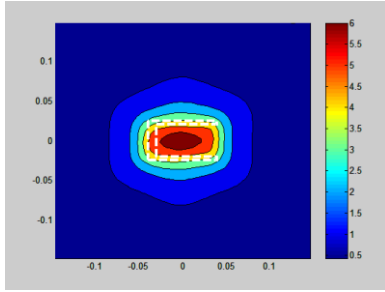


h)

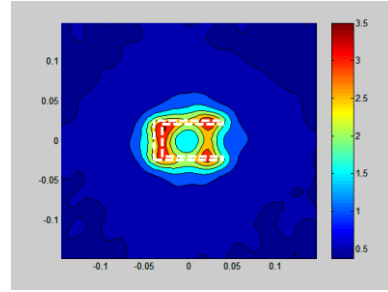
Şekil 4.12 Dikdörtgen Metalik Silindirde Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz

TE polarize olay alanında konumlanan dikdörtgen metalik silindir için 2-16 GHz arasında 2 GHz aralıklı tekli frekans değerleri kullanılmıştır. Şekil 4.12’de elde edilen görüntüler verilmiştir. Frekans arttıkça şeklin konumu ve görseli hakkında daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

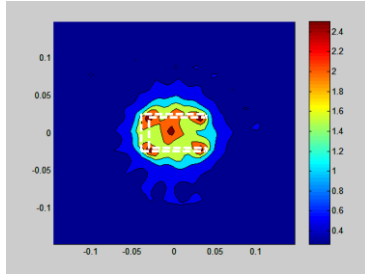
Sonraki kurulum metalik U şeklindeki nesne ile yapılmıştır. Nesne TM polarize olay alanına ortalanır. Boyutları (80,50) mm’dir. Şekil 4.13’de deneyin tekli frekans görüntüleri 2 GHz, 4 GHz, 6 GHz, 8 GHz, 10 GHz, 12 GHz, 14 GHz ve 16 GHz için verilmiştir. Nesnenin orijinal konumu kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



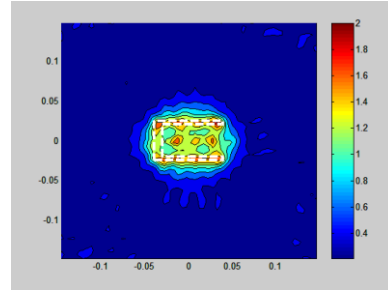
a)



b)

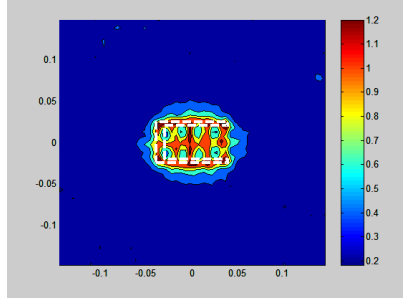


c)

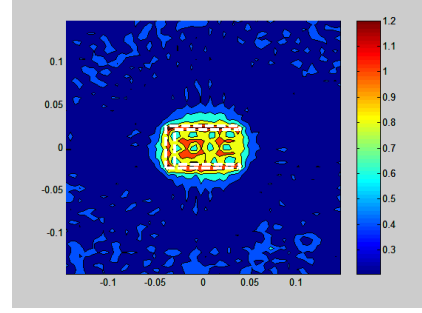


d)

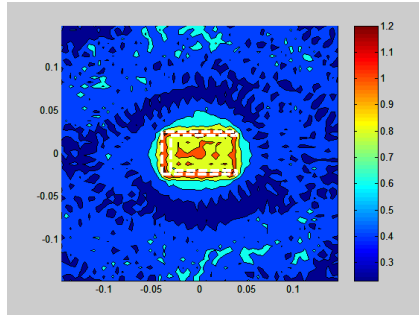
Şekil 4.13 U Şeklindeki Bir İletken Nesnede Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz



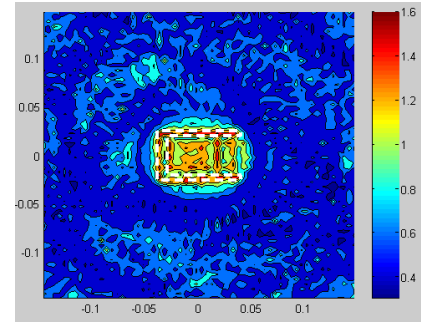
e)



f)



g)



h)

Şekil 4.13 (devamı) U Şeklindeki Bir İletken Nesnede Tekli Frekans Değerleri İçin Elde Edilen Görüntüler – – : orijinal şekil a) 2 GHz, b) 4 GHz, c) 6 GHz, d) 8 GHz, e) 10 GHz, f) 12 GHz, g) 14 GHz, h) 16 GHz

Şekil 4.13’de düşük frekans değerlerinde nesnenin gerçek şekli hakkında ayrıntılı bir bilgi elde edemiyoruz. Frekans arttıkça görüntüdeki ayrıntılar artmakta ve daha net bir görsel oluşmaktadır. Yüksek frekanslarda yeniden yapılandırmanın daha başarılı olduğu görülmektedir.

5.1 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada nitel görüntüleme yöntemlerinden doğrusal örnekleme yöntemi ile görüntüleme ele alınmıştır. LSM'nin matematiksel alt yapısı incelenmiştir. Yöntemin çalışma mantığı doğrultusunda bir Matlab uygulaması hazırlanmıştır. Saçıcının ve ortamın elektriksel özellikleri bulunmadan daha basit algoritmalar ile görüntüleme yapılmıştır. Bu uygulamada Marseille Fresnel Enstitüsü tarafından dielektrik ve iletken cisimler için yankısız odada elde edilen deneysel veriler kullanılmıştır. Alıcı ve verici olmak üzere iki anten hedefin kesit düzlemine yerleştirilmiştir. Hedef için beş yapılandırma göz önüne alınmıştır. Kesitleri dikdörtgen, dairesel veya U şeklindedir. Dielektrik dairesel kesitlerin yarıçapı $a = 15$ mm'dir. Dikdörtgen kesitin boyutları $(25.4 \times 12.7) \text{ mm}^2$ ve U şeklindeki kesitin boyutları $(80 \times 50) \text{ mm}^2$ alınmıştır. Uygulama otuz altı verici ve yetmiş iki alıcı noktası ile yapılmıştır. Alıcı anten 5° 'lik adımlarla 60° ile 300° arasında dönmektedir. Verici anten 10° 'lik adımlarla 0° ile 350° arasında dönmektedir. 1 GHz adımlarla 1'den 8 GHz'e, 2 GHz adımlarla 2'den 16 GHz'e ve 4 GHz adımlarla 4'den 16 GHz'e frekans değerleri kullanılmıştır. TM polarize olay alanında dairesel dielektrik silindir, iki dairesel dielektrik silindir, metalik dikdörtgen silindir ve U şeklindeki iletken nesne için tekli frekans değerlerindeki görüntüleri ve orijinal konumları çizdirilmiştir. Yapılan uygulama ile frekans değerleri arttıkça ayrıntıların arttığı ve daha keskin görüntüler elde edildiği sonucuna varılmıştır. Bu yöntem ile ilgili ileriki çalışmalarda üç boyutlu şekiller kullanılabilir.

- [1] D. Colton, H. Haddar ve M. Piana, "The linear sampling method in inverse electromagnetic scattering theory," *Inverse Problems*, vol. 19, no. 6, s:105-137, 2012.
- [2] J. Hadamard, "Lectures on Cauchy's Problem in Linear Partial Differential Equation," New Haven, CT: Yale University Press, 1923.
- [3] D. Colton ve A. Kirsch, "A simple method for solving scattering problems in the resonance regions," *Inverse Problems* 13, 383-393, 1996.
- [4] D. Colton, M. Piana ve R. Potthast, "A simple method using Morozov's discrepancy principle for solving inverse scattering problems," *Inverse Problems* 13, 1477-1493, 1997.
- [5] F. Cakoni, D. Colton ve H. Haddar, "The linear sampling method for anisotropic media," *J. Comput. Appl. Math* 146, 285-289, 2002.
- [6] D. Colton ve P. Monk, "A linear sampling method for the detection of leukemia using microwaves," *SIAM J. Appl. Math.* 58, 926-941, 1998.
- [7] G. Bozza, M. Brignone ve M. Pastorino, "Application of the no-sampling linear sampling method to breast cancer detection, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 57(10), 2525-2534, 2010.
- [8] M. N. Akıncı, "Qualitative Methods in Microwave Imaging", Doktora Tezi, 2016.
- [9] J. H. Richmond, "Scattering by a Dielectric Cyclinder of Arbitrary Cross Section Shape", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 334-341, 1965.
- [10] K. Belkebir ve M.Saillard, "Special section: Testing algorithms against experimantel data", *Inverse Problems*, vol. 17, s:1565-1571, 2001.

İletişim Bilgisi: asliarikan93@gmail.com

Konferans Bildirisi

[1] ARIKAN, A. Z., ŞAHİNTÜRK, H. (2019). “Doğrusal Örneklem Yöntemi Ve Fresnel Verileri İle Uygulanması”, 2.Uluslararası İstatistik Matematik ve Analitik Yöntemler Kongresi, 28 Mart 2019, Sayfa:148-155.