

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALITKAN KÜTÜK İÇİNE GÖMÜLÜ METALLERİN X-BANDI RADAR  
ÖLÇÜMÜ İLE BELİRLENMESİ**

**Osman KURNAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**2012**

**YALITKAN KÜTÜK İÇİNE GÖMÜLÜ METALLERİN X-BANDI RADAR  
ÖLÇÜMÜ İLE BELİRLENMESİ**

**Osman KURNAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Bu tez 2012.02.0121.008 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel  
Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından desteklenmiştir.**

**2012**

**T.C.**  
**AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YALITKAN KÜTÜK İÇİNE GÖMÜLÜ METALLERİN X-BANDI RADAR  
ÖLÇÜMÜ İLE BELİRLENMESİ**

**Osman KURNAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

Bu tez 28/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (.....) not takdir edilerek oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Selçuk HELHEL (Danışman) .....

Doç.Dr.Şükrü ÖZEN .....

Yrd.Doç.Dr. Bektaş ÇOLAK .....

## ÖZET

### YALITKAN KÜTÜK İÇİNE GÖMÜLÜ METALLERİN X-BANDI RADAR ÖLÇÜMÜ İLE BELİRLENMESİ

Osman KURNAZ

Yüksek lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selçuk HELHEL

Haziran 2012, 67 Sayfa

Bir ortamın içinde veya arkasında bulunan nesnelerin tespiti güvenlik, askeri ve medikal uygulamalar ve daha birçok alanda uygulama bulan bir konudur. Bu çalışmada, iki boyutlu tarama yapabilen ve bir network analizörle entegre edilmiş düzlemsel yakın alan anten ölçüm sistemi kontrollü bir radar düzeneği gibi kullanılarak yalıtkan bir kütük içinde gömülü vaziyette bulunan metalin varlığı tespit edilmiş ve elde edilen kesit alanı ve gömülü derinlik arasında matematiksel bir ilişki kurulmuştur. Yalıtkan içinde gömülü 4cm x 5cm boyutlarındaki bir metal X-bandında bistatik saçılım koşulları oluşturularak uzak alan şartı sağlanacak şekilde 100 cm uzaklıktan taranmış ve  $S_{21}$  parametresi kullanılarak ışına örüntüsü çıkartılmıştır. Sadece metali bulduran düzenek değil aynı zamanda bos düzenek de taranmış ve arka-plan çıkarma işlemi yapılarak sadece metale ait yaklaşık örüntü elde edilmiştir. Sonuç olarak, yalıtkan içinde gömülü vaziyette bulunan metalin bulunduğu derinliğin örüntü alanına bakılarak tahmin edilebileceği bulunmuştur.

ANAHTARKELİMELER: Gömülü cisim algılaması, Yakın alan taraması, Düzlemsel  
Anten Ölçüm Sistemi

JÜRİ: Doç.Dr. Selçuk HELHEL (Danışman)

Doç.Dr.Şükrü ÖZEN

Yrd.Doç.Dr. Bektaş ÇOLAK

## **ABSTRACT**

### **DETECTION OF METALS EMBEDDED IN NON-CONDUCTIVE MATERIAL BY RADAR MEASUREMENT AT X-BAND**

**Osman KURNAZ**

**M.Sc. Thesis in Electrical-Electronics Engineering**

**Adviser: Assoc. Prof. Dr. Selcuk HELHEL**

**June, 2012, 67 pages**

Detection of objects embedded in or behind a medium is of great importance regarding especially security and medical applications. In this study, planar near-field antenna measurement system implementing a two dimensional scanning process and being combined with a network analyzer has been used as a controlled radar setup to detect a metallic object embedded in a non-metallic medium at X-band. A mathematical relationship has been formed between pattern cross area and embedded depth of the metal. Bistatic wave scattering conditions have been formed in the experimental setup. A metal ribbon having 4cmx5cm dimensions has been buried in a dielectric medium. By placing the transmitter-receiver system and the target 100 cm away from each other (as compatible with far field requirement), electromagnetic scattering pattern of the target has been obtained by using  $S_{21}$  parameter. Not only scattering pattern of the cylinder containing metal ribbon but also the pattern of cylinder without metal ribbon has been obtained and background subtraction method including image processing techniques has been applied in order to approximate the scattering effect resulting from the metal itself by eliminating other effects. It is found that the proposed method achieves embedded metal detection in a dielectric medium and it is possible that embedded depth can be predicted by using obtained pattern area.

**KEY WORDS:** Buried object detection, Near and far field scanning, Planar Antenna Measurements System

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Selcuk HELHEL (Adviser)

Assoc. Prof. Dr.Şükrü ÖZEN

Assist. Prof. Dr. Bektaş ÇOLAK

## ÖNSÖZ

Bana bu tez konusunda çalışma olanağı veren danışmanım Sayın Doç. Dr. Selçuk HELHEL'e (A.Ü.M.F.), yardımını gördüğüm TÜBİTAK UEKAE çalışanı Sayın Yavuz ÖZTÜRK'e ve eğitim hayatım boyunca desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER.....	3
2.1. Anten Ölçüm Teorisi.....	3
2.1.1. Yakın alan ve uzak alan bölgeleri.....	3
2.1.2. Ölçüm yöntemleri.....	6
2.1.3. Düzlemsel yakın alanda yarım dalga-boyu kriteri.....	11
2.2. Işıma Emici Madde.....	13
3. MATERYAL ve METOT.....	17
3.1. Saçılım Matrisi ve S Parametreleri.....	17
3.2. Vektör Network Analizör.....	20
3.3. İleri İletim Katsayısını Kullanarak Saçılım Örüntüsü Elde Etme.....	21
3.4. Örüntü Üstünde Görüntü İşleme.....	22
3.4.1. Arka-plan çıkarma.....	22
3.4.2. Arka-plan çıkarmada eşikleme yöntemi.....	23
3.4.3. Ortanca filtre.....	25
3.4.4. Örüntü boyutunu artırma.....	27
3.5. Ölçüm Düzenegi ve Ölçüm Yapılan Alan.....	28
4. BULGULAR.....	36
3.1. Elde Edilen Örüntüler.....	36
3.2. Alan ve Gömülü Derinlik Arasındaki İlişki.....	48
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	53
6. KAYNAKLAR.....	55
7. EKLER.....	59
EK-1 Matlab Kodları.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler:

D	Maksimum anten boyutu
dB	Desibel
$E_i$	Gelen elektrik alan
$E_r$	Yansıyan elektrik alan
FFT	Hızlı fourier dönüşümü
GHz	Giga hertz
IF	Anlık frekans
M	Taranan alanın eni
N	Taranan alanın boyu
MHz	Mega hertz
MR	Manyetik Rezonans
r	Anten ile ölçüm noktası arasındaki mesafe
RAM	Işıma emici madde
RF	Radyo frekans
R	Yansıtılabilirlik
$S_{ij}$	i ve j kapılarına ilişkin saçılım parametresi
S	Saçılım matrisi
$S_n$	Eşikleme işleminden sonraki saçılım matrisi
$S_{no}$	Eşikleme ve ortanca filtre işleminden sonraki saçılım matrisi
$S_{no}'$	Boyutu artırılmış $S_{no}$ matrisi
$\lambda$	Dalga-boyu
$\delta r$	Uzak alan ile yakın alan arasındaki sınır



**Kısaltmalar:**

A.Ü.M.F. Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

EMUMAM Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve  
Araştırma Merkezi

UEKAE Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü

UME Ulusal Metroloji Enstitüsü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Reaktif Yakın Alan, Işıyan Yakın Alan ve Uzak Alan.....	4
Şekil 2.2. Uzak Alan Mesafesinin Hesaplanmasının Gösterimi.....	5
Şekil 2.3. Anten Ölçüm Yöntemleri.....	7
Şekil 2.4. Dikdörtgen Düzlem Ölçüm Yöntemi.....	8
Şekil 2.5. Kutupsal Düzlem Ölçüm Yöntemi.....	9
Şekil 2.6. Çift Kutuplu Düzlem Ölçüm Yöntemi.....	9
Şekil 2.7. Düzlemsel Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi.....	10
Şekil 2.8. Silindirik Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi.....	10
Şekil 2.9. Küresel Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi.....	10
Şekil 2.10. Standart Üretan Piramit.....	14
Şekil 2.11. Demir Izgara Şekilli RAM.....	15
Şekil 2.12. Hibrit RAM'e Örnek.....	15
Şekil 3.1. $N$ -Kapılı Mikrodalga Ağı.....	17
Şekil 3.2. 2- Kapılı Bir Mikrodalga Ağı.....	19
Şekil 3.3. Örnek Bir Vektör Network Analizörün Blok Şeması.....	20
Şekil 3.4. Ortanca Filtre İşleminin Pikseller Üzerine Uygulanması.....	26
Şekil 3.5. Bir Noktanın 3x3 Blok İçindeki Komşu Değerleri ve Filtrelemeden Sonraki Değeri .....	26
Şekil 3.6. Yakın Alan Ölçüm Laboratuvarı.....	29
Şekil 3.7. Network Analizör ve Motor Denetleyici.....	30
Şekil 3.8. Üretici Firmaya ait Horn Anten Örüntüsü.....	30
Şekil 3.9. Horn Anten Boyutları.....	31
Şekil 3.10. Deney Düzeneginin Temsili Gösterimi ve Koordinat Düzlemi.....	32
Şekil 3.11. Tarayıcı Sistemin İlk Konumlanmasında Kullanılan Ara-Yüz Görüntüsü.....	33
Şekil 3.12. Tarama Alanının Boyutları, Frekansı vb. Ayarlandığı Ara-Yüz Görüntüsü.....	33
Şekil 3.13. Taranan Ahşap Nesnenin Tepeden Görünüşü ve Alüminyum Metal.....	34
Şekil 3.14. Her Bir Konumda Metalin Ahşap ile Birlikte Görünümü.....	35
Şekil 4.1. 3-Boyutlu Örüntü ve Koordinat Düzlemi.....	36
Şekil 4.2. 3-Boyutlu Örüntüye $x=0$ iken $y-z$ Düzleminden Bakıldığında Görülen Profil.....	37

Şekil 4.3. Logaritmik Olarak Şekil 4.2’de Bulunan Profiller.....	38
Şekil 4.4. 3-Boyutlu Örüntüye $y=0$ İken $x-z$ Düzleminden Görülen Profil.....	41
Şekil 4.5. 3-Boyutlu Örüntüye $z=0$ İken $x-y$ Düzleminden Görülen Örüntü.....	42
Şekil 4.6. Eşikleme İşlemi Uygulanmadan Sadece Matematiksel Çıkarma İşlemi Yapılarak Elde Edilen Örüntüler.....	43
Şekil 4.7. Eşikleme İşlemi Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler.....	43
Şekil 4.8. Eşikleme ve Ortanca Filtre Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler .....	44
Şekil 4.8. Örüntüye $x=0$ İken $y-z$ Düzleminden Bakıldığında Elde Edilen Profil.....	45
Şekil 4.9. $y=0$ İken $x-z$ Düzleminden Bakıldığında Elde Edilen 2-Boyutlu Profil.....	45
Şekil 4.11. Boyut Artırma Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler .....	46
Şekil 4.12. Boyut Artırma Uygulanmadan Yapılan Ve Logaritmik Olmayan Çizimler.....	47
Şekil 4.13. Boyut Artırma 1 Defa Uygulandığı Ve Logaritmik Olmayan Çizimler.....	47
Şekil 4.14. Boyut Artırma 3 Defa Uygulandığı Ve Logaritmik Olmayan Çizimler.....	48
Şekil 4.15. Ahşap Nesne Ve Gösterilen Numaralanmış Yarıklar.....	48
Şekil 4.16. Eşikleme Ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Alanın Metalin Gömülü Olduğu Derinliğe Bağlı Değişimi.....	49
Şekil 4.17. 11 Yarıklı Ahşap Nesne Ve Numaralanmış Yarıklar .....	50
Şekil 4.18. 11 Yarıklı Nesne İçin Eşikleme Ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Örüntüler.....	51
Şekil 4.19. 11 Yarıklı Nesne İçin Eşikleme Ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Alanın Metalin Gömülü Olduğu Derinliğe Bağlı Değişimi.....	52

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Yarık Boşlukları Çıkarıldıktan Sonra Metalin Nesne İçinde Bulunduğu Toplam Kalınlık (Derinlik).....	49
Çizelge 4.2. Yarık Boşlukları Çıkarıldıktan Sonra Metalin Nesne İçinde Bulunduğu Toplam Kalınlık (2. Durum için).....	51

## 1. GİRİŞ

Bir ortam içinde bulunan nesnelere algılama, günümüzde bolca uygulama alanı bulan bir konudur. Algılanacak nesnelere metal ve türevlerinden yapılmış nesnelere olabileceği gibi aynı zamanda içinde bulunduğu ortamdan farklı bir yapıya da malzemeye sahip nesnelere de olabilir. Havaalanları ya da iş merkezleri gibi güvenlik konusunun önemli olduğu mekanlarda kullanılan kesici alet, uyuşturucu vb. algılamaya yarayan cihazlar, hastanelerde röntgen filmi çekmek amacıyla kullanılan X-ray cihazları, Manyetik rezonans (MR) görüntüleme cihazları, mayın tespitinde askeri amaçlı kullanılan mayın detektörleri, duvarların içinde oluşmuş çatlak, kırık vs. problemlerin tespit edilmesi, duvar arkası görüntüleme ve vücutta diğer hücrelerden farklı olan kanserli hücrelerin veya tümörlerin tespiti gibi uygulamalar örnek olarak verilebilecek uygulama alanlarından sadece bazılarıdır. Konu, gerek endüstri gerekse literatürde geniş yer bulmakta ve bilim insanlarının ilgisini çekmektedir.

Elise C. Fear ve arkadaşları, 2003'te göğüs tümörü için aynı odaklı mikrodalga görüntülemenin deneysel olarak doğrulanmasını açıkladılar. İki boyutlu cisim görüntülemesinde gelişmiş resim oluşturma algoritmaları kullandılar ve başarılı oldular. Üç boyutlu cisim algılamasında da başarı sağladılar ancak üç boyutlu küçük cisimlerin algılanmasının zor olduğunu gördüler.

Richard A. Marr ve arkadaşları, 2006'da bir reflektörle hedef üzerine elektromanyetik dalga gönderdiler ve silindirik yakın alan ölçümünü kullanarak bistatik radar kesit alanını hesapladılar. Hedef olarak bir metal küre ve ince bir silindirik çubuk kullandılar. Silindirik yakın alan tarama sisteminin orta noktasına koydukları hedefi taramaları ve elde ettikleri yakın alan verisini uzak alana çevirmeleri sonucunda ölçüm hesaplarından elde ettikleri radar kesit alanı ile teorik radar kesit alanının uyumlu olduğunu gördüler. Diğer taraftan, gelen dalganın arka-plan çıkarma işlemi sonucunda giderilemeyen hataları olduğu sonucuna vardılar.

R. J. Burkholder ve arkadaşları, 2007'de model tabanlı görüntüleme kullanarak odanın içinde yer alan küreleri tespit etmeye çalıştılar. Frekans aralığı olarak 800 ile

1200 MHz arasını kullandılar ve elde ettikleri sonuçlarda küçük bozulmalarla kürelerin yerini tespit ettiler.

Somsak Tantong ve arkadaşları, 2007’de gömülü nesne görüntüleme ve yeniden inşasında yakın-alan frekans sentezli mikrodalga darbesini açıkladılar. Alternatif bir algılama tekniği olarak Tek Prop Algılama ve İnşa tekniğini sundular. Teknikte, nesnenin şeklini yeniden inşa etmede tek bir prop kullanılıyor ve nesne yeri iki boyutlu olarak belirleniyordu.

Chi-Hsien Sun ve arkadaşları, 2009’da kalın bir tabla içine gömülmüş olan dielektrik silindirlerin elektromanyetik görüntülemesini araştırdılar. Basit matris işlemleri kullanarak geliştirdikleri algoritma sonucunda geçirgenlik dağılımının geçirgenlik büyük olduğunda bile yeniden inşa edilebileceğini gösterdiler. Ayrıca, görüntünün yeniden inşa etmedeki etkisini araştırdılar.

Wei-Jun Zhong ve arkadaşları, 2011’de yeni bir duvar arkası görüntüleme algoritması geliştirdiğini ileri sürdüler. Önce uzak alan verisini yakın alana dönüştürdüler daha sonra ise yakın alan verisini geri projeksiyon algoritması ile resim uzayına dönüştürerek duvar arkasındaki hedeflerin yansıma katsayısını ölçtüler. Önerdikleri algoritmanın hedef şekillerini iyi tahmin ettiğini ve görüntü kalitesini artırdığını buldular.

Reza K. Amineh ve arkadaşları, 2011’de yakın-alan görüntüleme için ultra geniş bant aralığında anten tasarımı ve üretimini gösterdiler. Odak noktaları mikrodalga göğüs tümör algılaması idi. Yakın-alan görüntülemesi için kurdukları düzenek düzlemsel aralık taraması idi. Kör ters evrişim algoritması kullanarak elde ettikleri görüntülerde ürettikleri antenin yakın-alan görüntülemesinde başarılı sonuçlara ulaştığını gördüler.

Literatürde kendine önemli miktarda yer bulan konu hakkında yapılmış olan bu tez çalışmasının 2. kısmında konu hakkında bazı kuramsal bilgiler verilmiş, 3. kısımda tez çalışmasının kapsamında kullanılan cihazlar, önerilen yöntemler ve deney düzeneği anlatılmış, 4. kısımda bulunan sonuçlara yer verilmiş ve son olarak 5. kısımda çalışma ile varılan sonuç ve tartışmaya yer verilmiştir.

## **2. KURAMSAL BİLGİLER**

### **2.1. Anten Ölçüm Teorisi**

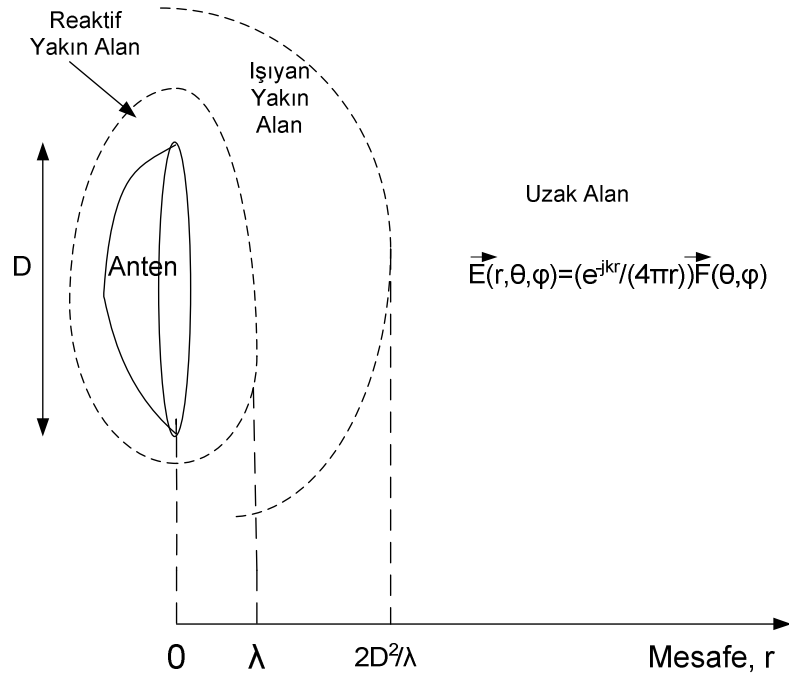
Bir elektronik cihazın tasarlanması ya da üretilmesi kadar o cihazın test edilmesi de önemlidir. Tasarlanma ya da üretim aşamasında ne kadar büyük emek ve paraya mal olursa olsun, herhangi bir testten geçirilmemiş bir cihazın kullanıcı açısından bir önemi yoktur. Çünkü test edilmemiş bir cihazın ne zaman bozulacağı, ne kadar verimli çalıştığı, çalışırken çevreye zarar verip vermediği, en önemlisi de doğru çalışıp çalışmadığı bilinemez. Bu husus, tüm cihazlar için genellenebileceği gibi antenler veya benzer elektromanyetik yapılar için de geçerlidir.

İsminden anlaşıldığı üzere antenlerin test edilmesi ve ölçülmesi amacıyla geliştirilmiş olan anten ölçüm teorisi; radar ölçümleri, radar kesit alanı hesaplama (Vaupel ve Eibert 2006), medikal uygulamalar (Amineh vd 2011) gibi alanlarda da kendine uygulama sahası bulabilmektedir.

Temel olarak anten ölçüm teorisi, ölçüm noktasının karşısında ışına yapan bir nesnenin varlığını esas almaktadır. Bu prensibi esas almamız durumunda, bir mikro dalga kaynağı vasıtasıyla aydınlatılmış ve ölçüm noktasına doğru ışına ya da yansıma yapan bir nesneyi de (anten kadar güçlü ışına yapmasa bile) bir ışına kaynağı olarak düşünebiliriz. Bu durumda, gömülü nesnelerin araştırılmasında da anten teorisinin kullanılması uygun düşmektedir.

#### **2.1.1. Yakın alan ve uzak alan bölgeleri**

Bir antenden yayılan alanların yayıldığı bölgeler reaktif yakın-alan, ışılan yakın-alan ve uzak alan olmak üzere üç bölgeye ayrılabilir. Şekil 2.1'de gösterilen bu bölgeler arasındaki sınırlar test altında bulunan antene olan uzaklığa göre birbirinden ayrılır. (Samii vd 1995).



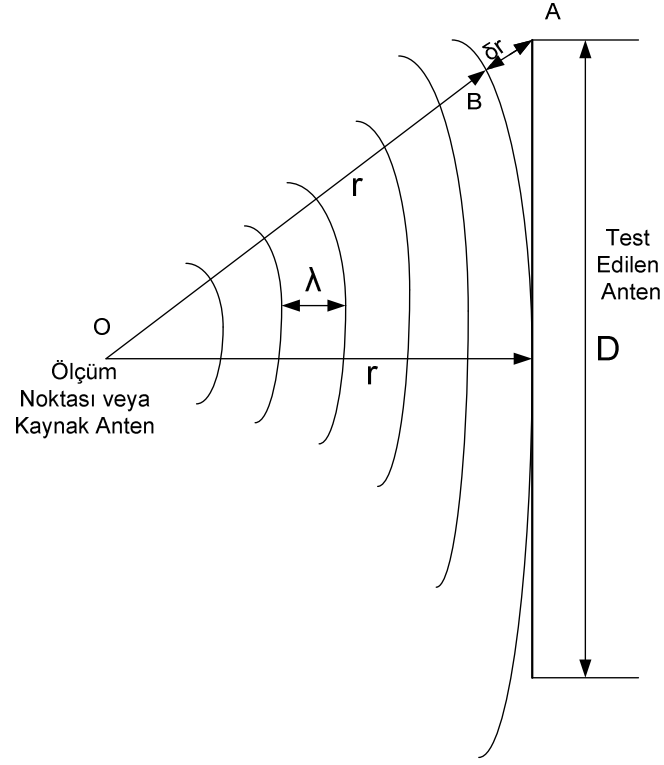
Şekil 2.1 Reaktif Yakın Alan, İşiyarı Yakın Alan ve Uzak Alanın Gösterimi

Test edilen antenin veya saçıcı cismin en büyük boyutunun  $D$  kadar olduğunu farz edersek, reaktif yakın alan sınırı yaklaşık olarak antenden bir dalga-boyu ( $\lambda$ ) kadar uzaklıktadır. Bu bölgede elektrik ve manyetik alanlara ait dalga empedansı yüksek oranda reaktiftir ve antene yakın bölgede yüksek miktarda yayılmayan depolanmış enerji bulunur.

İşiyarı yakın alanın antene olan mesafesi ise  $\lambda$  ile  $(2\frac{D^2}{\lambda} + \lambda)$  arasındadır. (Balanis, 2005). Gerçekleştirilen ölçümlerde, bir dalga-boyu ( $\lambda$ ) GHz seviyesindeki frekanslarda genelde  $\frac{D^2}{\lambda}$  teriminden çok küçük olduğu için bölge sınırı sadece  $2\frac{D^2}{\lambda}$  ile de ifade edilebilir. Bu bölgedeki alanlar faz-baskın olarak yayılırlar. Yakın-alan ölçümleri genel itibariyle bu bölgede yapılmaktadır (Samii vd 1995).

$2\frac{D^2}{\lambda}$  ifadesi aynı zamanda uzak alan ile yakın alan arasındaki sınırı belirler ve Şekil 2.2 yardımıyla kolayca hesaplanabilir. (Mahafza 2005).





Şekil 2.2 Uzak Alan Mesafesinin Hesaplanmasının Gösterimi

Şekil 2.2'den de anlaşılacağı üzere

$$\delta r = \overline{AO} - \overline{OB} \quad (2.1)$$

ifadesi yazılabilir. Bu durumda  $\delta r$  mesafesi;

$$\delta r = \sqrt{r^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} - r \quad (2.2)$$

olur. Uzak alanda  $r$  mesafesinin  $D$  boyutundan çok büyük olduğunu farz edersek ( $r \gg D$ ), binom açılımını kullanarak

$$\delta r = r \left( \sqrt{1 + \left(\frac{D}{2r}\right)^2} - 1 \right) \approx \frac{D^2}{8r} \quad (2.3)$$

ifadesi elde edilebilir. Genel kabul gören görüşe göre  $\delta r$ 'nin bir dalga boyunun 16'da birine eşit veya daha az olması durumunda bölgenin uzak alan olduğu kabul edilir (Mahafza 2005). Bu bilgiyi kullanarak;

$$\delta r = \frac{D^2}{8r} \leq \frac{\lambda}{16} \quad (2.4)$$

eşitsizliğini yazabiliriz. Eşitsizliği  $r$  mesafesi için çözdüğümüzde

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.5)$$

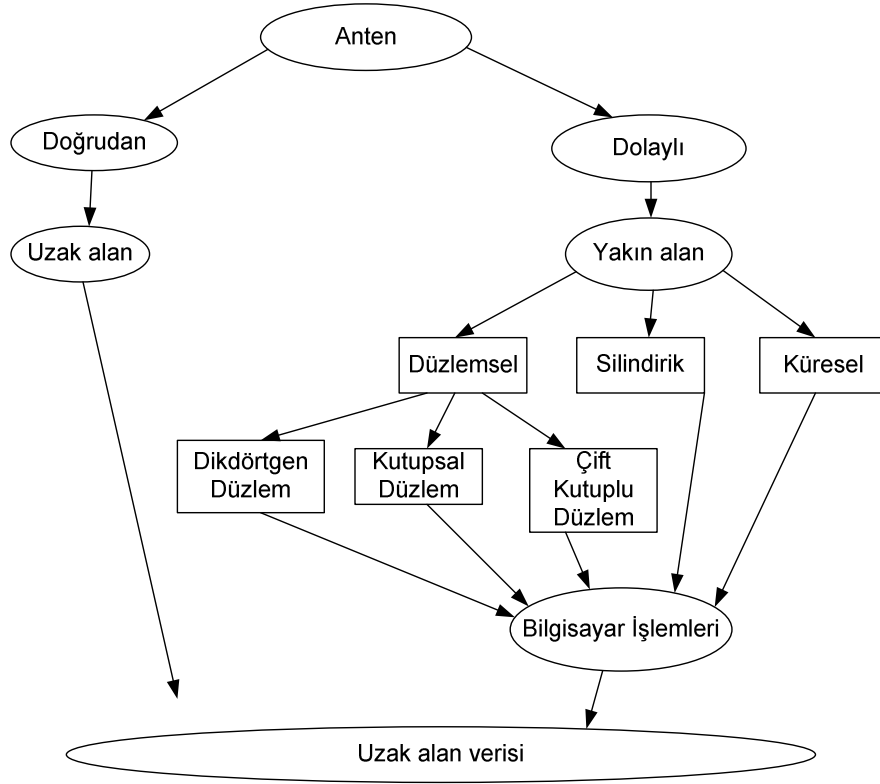
formülünü elde ederiz. Elde edilen ifadeye göre uzak alan sınır mesafesinin hem ölçülen anten (veya hedef cisim) boyutuna hem de çalışılan frekansa (dalga-boyuna) bağlı olduğunu görmekteyiz.

Antene olan uzaklığı  $2\frac{D^2}{\lambda}$  mesafesinden daha fazla olan bölgeye ise uzak alan bölgesi ismi verilmektedir. Bu bölgede yayılan elektrik ve manyetik alanlar radyal mesafe ile değişim gösterirler ve bu da  $\frac{e^{-jkr}}{r}$  ile orantılıdır. Bu bölgede küresel-dalga faktörü bastırılarak uzak alan ışımalarının yalnız açılal koordinatların fonksiyonu olarak yazılması sağlanabilir. (Samii vd 1995).

### 2.1.2. Ölçüm yöntemleri

Anten ölçüm tekniklerini temel olarak *doğrudan* ve *dolaylı* olarak iki gruba ayırabiliriz. Doğrudan yöntemde ölçülen değer uzak alan verisini verir. Dolaylı yöntemle, diğer adıyla yakın-alan ölçümü olarak bilinen yöntemle ölçümde ise ölçümü yapılan antenin yansıyan alanından alınan ölçüm verileri işlenerek uzak alan verisine dönüştürülür. (Samii vd 1995).

Bir antenin uzak alanının yansıtıcı bir sistem kullanılarak doğrudan ölçülmesi durumunda  $2\frac{D^2}{\lambda}$  mesafesinden daha küçük mesafelerde bile test edilen anten üzerinde düzlemsel dalga yüzü oluşabilir. Yakın alan ölçümü ise genelde birkaç çeşide ayrılabilir; düzlemsel yakın-alan, silindirik yakın-alan ve küresel yakın-alan. Bu tekniklerin her birinin test edilen anten ve ölçüm gereksinimlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bahsi geçen yöntemler Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

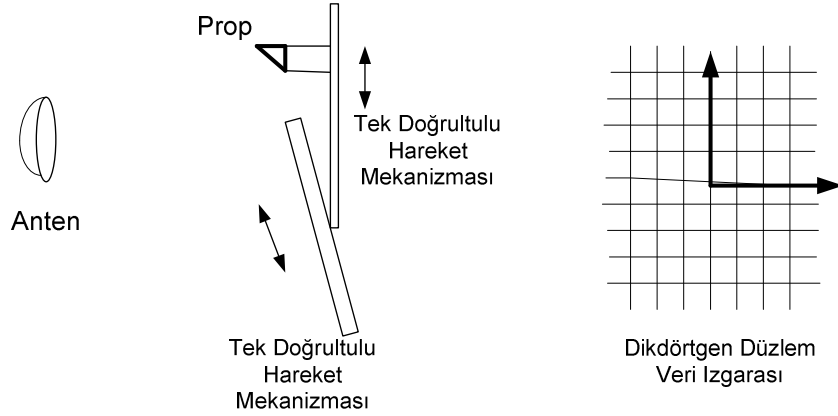


Şekil 2.3 Anten Ölçüm Yöntemleri

Düzlemsel yakın alan ölçümü de kendi içinde birkaç çeşide ayrılır; dikdörtgen düzlem, kutupsal düzlem ve çift kutuplu düzlem yöntemleri. Bu yöntemlerin temsili modelleri sırasıyla Şekil 2.4, 2.5 ve 2.6'da gösterilmiştir.

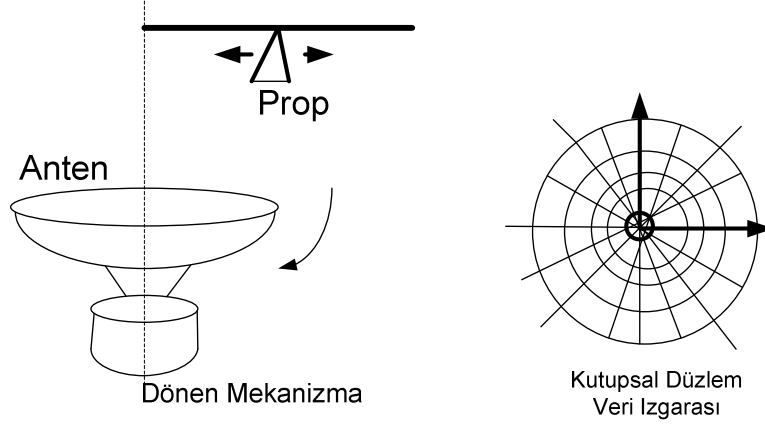
Şekil 2.4'te dikdörtgen düzlem yakın-alan tarama sistemi ve yakın-alan örnekleme ızgara şekli verilmiştir. Bilgisayar kontrollü olan bir ölçüm probu hem yatay ekseninde hem de dikey ekseninde hareket etmekte ve her bir noktada ölçüm değeri bilgisayara

kaydedilmektedir. Probun bu şekilde tarama yöntemiyle ölçüm alması sonucu düzenli ve dikdörtgen ızgara şeklinde ölçüm örnekleri ortaya çıkmaktadır. Bu örnekler Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT) kullanılarak uzak alana dönüştürülebilir. Dikdörtgen düzlem yöntemi kullanım açısından en yaygın olan yöntemlerden birisidir.



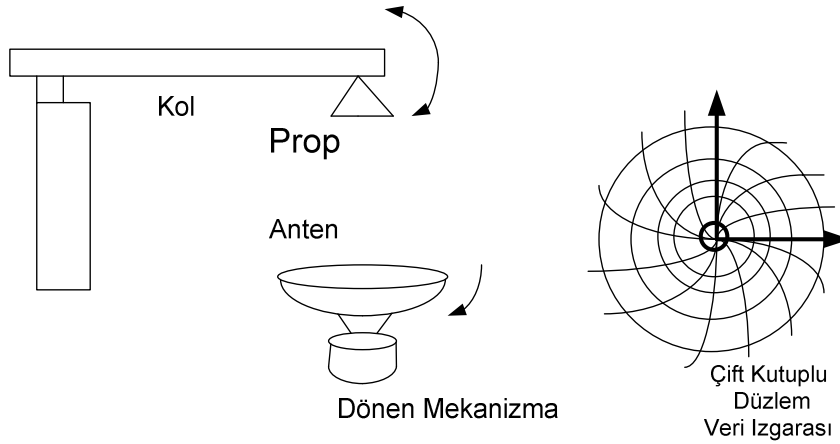
Şekil 2.4 Dikdörtgen Düzlem Ölçüm Yöntemi

Şekil 2.5'te kutupsal düzlem yakın alan tarama sistemi gösterilmektedir. Bu yöntemde ölçüm probu sabit bir çizgi üzerinde hareket ederken anten kendi ekseninde etrafında döndürülür. Ölçüm örnekleri eşmerkezli halkalar üzerinde yerleşmişken veri noktaları dairesel çizgiler üzerinde uzanır. Bu yöntemde anten ve prob düşey ekseninde dengeli durmaktadır ve anten hareket etmeden sadece dönme işlemi yapmaktadır. Yöntemin diğer bir avantajı da antenin her zaman sabit bir yöne bakmasıdır. Yakın-alan verisinin kutupsal yerleşimi FFT uygulamasının doğrudan kullanılmasına engel olmaktadır (Samii vd 1995). Yakın-alandan uzak alana dönüşüm için reflektör antenlerin kırılma analizinde kullanılan Jacobi-Bessel dönüşüm yöntemi uygulanmaktadır.



Şekil 2.5 Kutupsal Düzlem Ölçüm Yöntemi

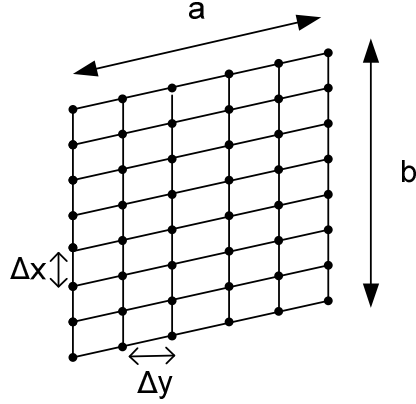
Çift kutuplu düzlem yönteminden grafiksel gösterimi ise Şekil 2.6’da yer almaktadır. Ölçüm probunu tutan kol ve antenin her ikisi birlikte kendi eksenleri etrafında dönüş yapmaktadır. Bu ölçüm sonucu toplanan veri eşmerkezli halkalar içeren veri ızgarası oluşturur ve veri örnekleri dairesel yaylar üzerinde bulunur. Prob tarafından takip edilen dairesel yay düşünüldüğü sürece kutupsal düzlem yöntemine uygulanan tekniklerden herhangi birisi uzak alan dönüşümü için kullanılabilir.



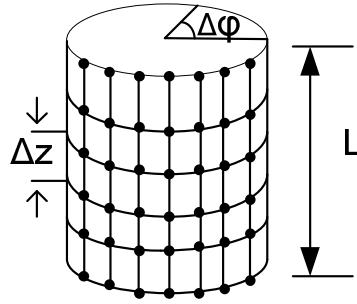
Şekil 2.6 Çift Kutuplu Düzlem Ölçüm Yöntemi

Çift kutuplu düzlemsel yakın-alan tarama sistemi kutupsal düzlem yakın-alan sisteminin avantajlarını taşımakla birlikte probun düz çizgili hareketinin engellenmesi, özgün mekanik yapısı, daha büyük alanı tarayabilmesi gibi başka avantajlara da sahiptir. (Samii vd 1995)

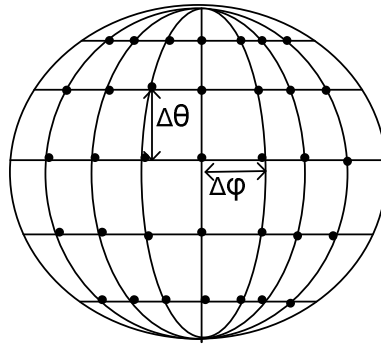
Düzlemsel yakın alan, silindirik yakın alan ve küresel yakına ait veri ızgaraları sırasıyla Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Bu çalışmada, düzlemsel yakın alan kullanıldığı için silindirik ve küresel yakın alan konusunda detaylı bilgi verilmemiştir.



Şekil 2.7 Düzlemsel Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi



Şekil 2.8 Silindirik Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi



Şekil 2.9 Küresel Yakın Alan Örnek Tarama Yüzeyi

Anolitik Dönüşüm hesaplamalarının karmaşıklığı düzlemsel yakın alan için en az küresel yakın alan içinse en fazladır. (Balanis 2005)

### 2.1.3. Düzlemsel yakın alanda yarım dalga-boyu kriteri

Haberleşme kuramında yer alan örnekleme teorisi demektedir ki:  $B$  Hz bant aralığı ile sınırlandırılmış ( $2\pi B$ 'den büyük tüm açısal frekanslar için Fourier dönüşümü sıfır olan) bir sinyal, saniyede  $2B$  örnek oranından az olmamak kaydıyla alınmış örneklerinden tekrar oluşturulabilir. Eğer sinyalin bant aralığı açısal frekans cinsinden  $\omega = 2\pi B$  olarak tanımlanmışsa, bu durumda örnekleme aralığı  $\pi/\omega$  değerine eşit veya bu değerden daha az olmalıdır. (Jerry 1977)

Haberleşme kuramındaki bu teori yakın-alan anten ölçüm yöntemine de uygulanabilir (Samii vd 1995). Ölçülen yakın alan, uzak alan spektrumuyla iki boyutlu Fourier-integral dönüşümü ile ilişkilidir:

$$E(x, y, z = d) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [A(k_x, k_y) e^{-jk_z d}] e^{-j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y, \quad (2.6)$$

Yukarıdaki ifadenin ters dönüşümünü kullanarak da şunu elde edebiliriz:

$$A(k_x, k_y) = \frac{e^{jk_z d}}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z = d) e^{j(k_x x + k_y y)} dx dy. \quad (2.7)$$

Yazılan ifadeler ölçülen yakın-alan ile  $z=d$ 'de bulunan uzak alan spektrumunu ilişkilendiren ifadelerdir.  $A(k_x, k_y)$  spektrumu  $x$  ve  $y$  yönlerinde  $k_{xm}$  ve  $k_{ym}$ 'ye sınırlandırıldığı sürece  $\Delta x = \pi/k_{xm}$  ve  $\Delta y = \pi/k_{ym}$  oranında örnekleme yapılarak yakın alan verisi tekrar oluşturulabilir.

$A(k_x, k_y) e^{-jk_z d}$  terimi örnekleme teoreminin uygulanacağı bant sınırlamasına tabi tutulan sinyaldir. Bu bant sınırlaması,  $k_x^2 + k_y^2 > k^2$  olduğu durumda  $k_z$ 'yi negatif sanal olmaya zorlayan üstel fonksiyonun sağladığı hızlı zayıflamanın bir sonucudur (Samii,

1995). Bu eşitsizlik gerçek uzayın dışındaki bölgeyi tanımlar. *Gerçek uzay*, antenin ışınım yaptığı ön yarımküreye ait uzak alan spektrumunun bölgesidir. Sonuç olarak,  $x$  ve  $y$  yönlerinde bant limitleri

$$k_{xm} \geq k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.8)$$

ve

$$k_{ym} \geq k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.9)$$

olarak seçilebilir ki bu durumda

$$\Delta x \leq \frac{\lambda}{2} \quad (2.10)$$

ve

$$\Delta y \leq \frac{\lambda}{2} \quad (2.11)$$

olarak karşımıza çıkar.

(2.10) ve (2.11) denklemlerinden yola çıkmamız ve bant limitlerini yani tarama yapılan alandaki ölçüm aralıklarını tam olarak yarım dalga-boyuna eşit olarak kabul etmemiz durumunda;  $\Delta x$  ve  $\Delta y$  ölçüm aralıklarına sahip olan bir tarama sisteminde, taranan alanda ölçülmüş olan alan ifadesinin bilgisayar ortamında nasıl veri ızgarası haline getirildiği aşağıdaki Matlab kodları yardımıyla açıklamaları ile birlikte gösterilmiştir.

```

c=3*10^8;           %% ışık hızı (m/s)
f_maks;           %% ölçüm yapılan maksimum frekans
lamda=c/f_maks;   %% dalga-boyu
delX=lamda/2;     %% ölçüm aralığı (yarım dalga-boyu)
delY=lamda/2;
taramaboyu;       %% tarama yapılan alanın metre cinsinden boyu
taramaeni;        %% tarama yapılan alanın metre cinsinden eni
M=round(taramaboyu/delX)+1; %% tarama boyunda ölçüm yapılan nokta
                        %% sayısı
N=round(taramaeni/delY)+1; %% tarama eninde ölçüm yapılan nokta

```



```

%% sayisi

fx;                                %% vektör halinde ölçülen alan
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% vektör halindeki ölçümler boyutları M ve N olan matris
haline getiriliyor
for i=1:M
    for j=1:N
        matris(M-(i-1),j)=fx((i-1)*M+j,sutun);
    end
end
for i=1:M
    for j=1:N
        temp(i,M-(j-1))=matris(i,j);
    end
end
for i=1:M
    for j=1:N
        matris(i,j)=temp(i,j);
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% matrisin sol alt köşesinde yer alan nokta fx vektörünün en
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% üstünde, matrisin sağ üst köşesinde yer alan nokta ise fx
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% vektörünün en altında yer alıyor.

```

Yarım-dalga boyu kriteri göz önüne alındığında veri ızgarası yukarıda verilen kodlardaki gibi oluşturulan bir tarama işleminde; Şekil 2.7’de gösterildiği biçimiyle hem dikey hem yatay ekseninde iki ölçüm noktası arasındaki mesafe dalga-boyunun ( $\lambda$ ) yarısına eşit veya yarısından daha az olmak zorundadır. Aksi takdirde Nyquist kriterine aykırılık durumu oluşacak (Jerry 1977) ve örtüşme meydana gelecektir.

## 2.2. Işıma Emici Madde

Işıma Emici Madde (Radiation Absorbing Material, RAM), mümkün olduğunca fazla yönden gelen RF ışınlarını mümkün olduğunca verimli bir şekilde emmek maksadıyla tasarlanmış ve şekillendirilmiştir. RAM ne kadar verimli olursa yansıyan RF ışın seviyesi de o kadar az olur. Elektromanyetik uyumluluk testleri ve anten ışın örüntüsü elde etme ile ilgili birçok ölçüm, test düzeneğinden kaynaklanan veya çevreden yansıyan parazit sinyallerin minimum düzeyde olmasını gerektirmektedir çünkü anten test alanlarındaki yansımaların en büyük hata kaynağı olduğu sıklıkla görülen bir durumdur (Gregson vd 2011).

Sonsuz bir düzlem olarak düşünüldüğünde bir RAM'in performansı, gelen ve giden düzlemsel dalgaların büyüklüklerinin kıyaslanması ile ölçülür. Bu kıyaslamalardan biri yansıma katsayısıdır ve şu şekilde ifade edilir:

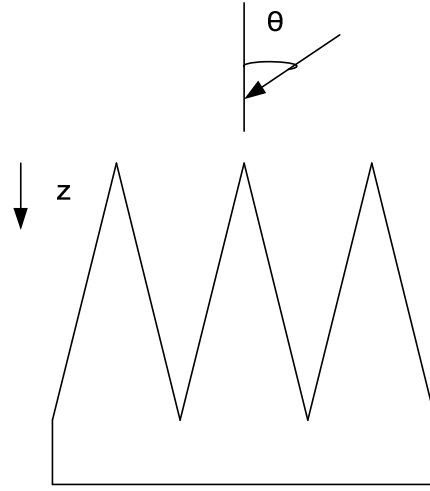
$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \quad (2.12)$$

Burada  $E_r$  yansıyan elektrik alanı ve  $E_i$  gelen elektrik alanı temsil etmektedir. Alternatif olarak, RAM performansı Yansıtılabilirlik (R) olarak şu şekilde de ölçülebilir:

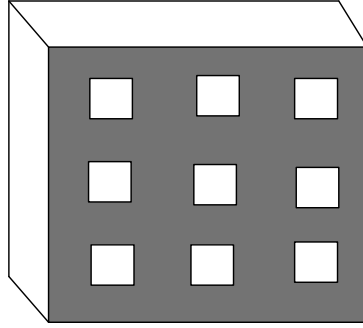
$$R = 20 \log_{10}(|\Gamma|) \quad (\text{dB}) \quad (2.13)$$

Bu durumda elde edilen değer birimi karşımıza dB olarak çıkacaktır. Çıkan değer ne kadar küçük olursa RAM'in performansı o kadar fazladır. (Holloway vd 1997).

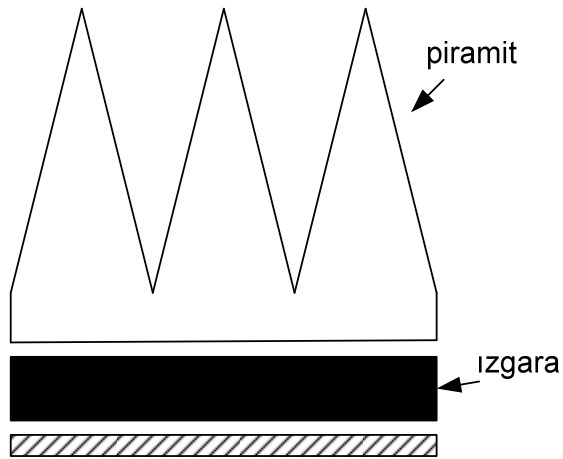
Birkaç çeşit RAM bulunmaktadır. En etkili RAM çeşitlerinden biri, her biri uygun kayıp sağlayan maddeden üretilmiş piramit şekilli parça dizileridir. RAM'in yeteri kadar kayıp sağlaması için ne iyi bir elektriksel iletken, ne de iyi bir elektriksel yalıtkan olması gerekir. Piramitsel RAM genelde karbon ve demir karıştırılmış ve kauçukla kaplanmış köpükten oluşur. Piramidin tabanından ucuna kadar olan uzunluk beklenen en düşük frekans ve gerekli emme miktarına göre seçilir. Düşük frekanslar için bu oran 50 cm olurken yüksek frekanslar için 10 cm kadar kısa olabilmektedir. RAM panelleri yerleştirilirken uç kısımları yerleştirilecek odanın içine bakacak şekilde yerleştirilir. Piramitsel RAM sinyali iki şekilde zayıflatır: saçılım ve emme. Saçılım piramidin hem dışında hem de iç kısmında olabilir. İçerideki saçılım 10 dB kadar zayıflatmaya sebep olabilir. Piramit şekiller dalgaları öyle bir açıda keser ki, yapı içinde bir dalganın yaptığı zıplamaları maksimum yapar. Her zıplamada dalga enerji kaybeder ve daha zayıf bir sinyal olarak dışarı çıkar. Üretan Piramit ve Kıvrımlı Üretan Piramit şeklinde iki çeşit piramitsel RAM vardır.



Şekil 2.10 Standart Üretan Piramit



Şekil 2.11 Demir Izgara Şekilli RAM



Şekil 2.12 Hibrit RAM'e Örnek

Diğer bir RAM çeşidi demir ızgara tabakalarından oluşur. Bu RAM çeşidi piramitsel RAM'den daha küçük bir etkin frekans aralığına sahiptir ve iyi iletken yüzeylere sabitlenmesi amacıyla tasarlanmıştır. Sabitlemek ve tutmak genelde piramitsel RAM'den daha kolaydır fakat yüksek frekanslarda daha az etkindir. Diğer taraftan, eğer testler düşük frekanslarla sınırlandırılırsa performansı yeteri kadar verimli olabilir (demir ızgara tabakalar 30-1000 MHz aralığında RAM'i en etkin yapan bir salınım eğrisine sahiptir).

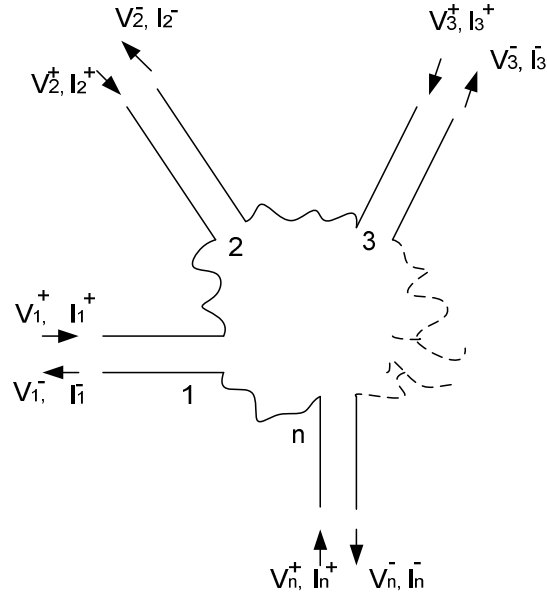
Bir de hibrit RAM vardır ve kendi arasında birkaç çeşide ayrılır; Üretan-Üçgen ve Demir-Izgara RAM, Dielektrik Tabakalı Demir Izgara RAM, Dielektrik Tabakalı Üretan Piramit ve Demir-Izgara RAM. Her iki teknolojinin avantajlarını da içeren bu RAM çeşidinde piramidin boyu 10 cm kadar küçük tutulabilirken frekans aralığı maksimize edilebilir.

Standart ve Kıvrımlı Üretan Piramitte 100 MHz ve 1000 MHz frekans aralığında yansıtılabilirlik düşüktür fakat demir ızgara 30 MHz ve 600 MHz arasında daha iyi performans göstermektedir. Her RAM çeşidinin kendine göre ayrı performansı vardır ve hangi çeşidin kullanılacağı uygulamaya göre değişmektedir. RAM çeşidi seçiminde genelde askeri standartlara uygun olması yeterlidir ki bu da RAM için yansıtılabilirliğin 50 MHz ile 250 MHz arasında -6 dB ve 250 MHz'den yüksek frekanslarda -10 dB olması demektir. (Holloway vd 1997)

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1. Saçılım Matrisi ve S Parametreleri

Doğrusal bir elektriksel sistemde, giriş ve çıkış terminalleri arasındaki bağıntı  $S$ -parametreleri ile ifade edilir.  $S$  parametrelerine aynı zamanda saçılım parametreleri de denilmektedir. (Pozar 2004)



Şekil 3.1  $n$ -kapılı Mikrodalga Ağı

Toplam kapı sayısı  $n$  olan bir doğrusal sistemde toplam olarak  $n^2$  adet  $S$  parametresi bulunur. Şekil 3.1'de gösterilen  $n$  kapılı bir sistem için;  $V_n^+$   $n$  kapısına gelen gerilim dalgasının genliğini,  $V_n^-$   $n$  kapısından yansıyan gerilim dalgasının genliğini göstermek üzere, yansıyan ve gelen dalgalar arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$[V^-] = [S][V^+] \quad (3.1)$$

Daha açık bir şekilde yazıldığında ise, bağıntı

$$\begin{pmatrix} V_1^- \\ \vdots \\ V_n^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1^+ \\ \vdots \\ V_n^+ \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

şeklinde elde edilir. Bu durumda,  $S$  matrisinin belli bir elementi  $S_{ij}$  ise  $k \neq j$  olmak üzere,

$$S_{ij} = \frac{V_i^-}{V_j^+} \Big|_{V_k^+ = 0} \quad (3.3)$$

şeklinde bulunur.  $S_{ij}$  parametresi  $j$  kapısının  $V_j^+$  ile sürülmesi ve  $i$  kapısından yansıyan dalga genliği  $V_i^-$  değerinin ölçülmesi ile bulunur.  $j$  kapısı hariç bütün kapılardaki gelen dalgalar sıfıra ayarlanır, yani yansımaları önlemek için bütün kapılar uyumlandırılmış yüklerle sonlandırılır. Sonuç olarak,  $S_{ii}$  parametresi diğer bütün kapılar uyumlandırılmış yüklerle sonlandırıldığında  $i$  kapısının yansıma katsayısı,  $S_{ij}$  parametresi ise diğer tüm kapılar uyumlandırılmış yüklerle sonlandırıldığında kapı  $j$ 'den kapı  $i$ 'ye iletim katsayısı olarak isimlendirilir.

Yukarıdaki formüller, dalga formları Şekil 3.2a'daki gibi ve temsili gösterimi Şekil 3.2b'deki gibi olan 2 kapılı bir mikrodalga ağı için düzenlenecek olursa,

$$a_1 = \frac{1}{2\sqrt{Z_{01}}} (V_1 + I_1 Z_{01}) \quad (3.4a)$$

$$b_1 = \frac{1}{2\sqrt{Z_{01}}} (V_1 - I_1 Z_{01}) \quad (3.4b)$$

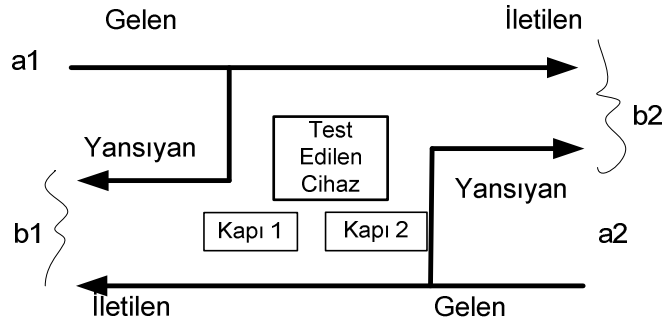
$$a_2 = \frac{1}{2\sqrt{Z_{02}}} (V_2 + I_2 Z_{02}) \quad (3.4c)$$

$$b_2 = \frac{1}{2\sqrt{Z_{02}}} (V_2 - I_2 Z_{02}) \quad (3.4d)$$

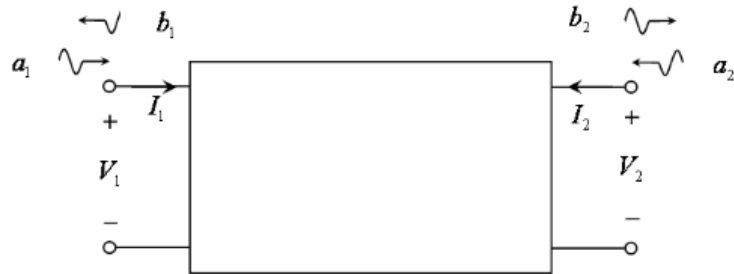
denklemleri elde edilir. Burada,  $a_1$  giriş kapısı olan kapı-1'deki gelen dalgayı,  $b_1$  kapı-1'deki yansıyan dalgayı,  $a_2$  çıkış kapısı olan kapı-2'deki gelen dalgayı,  $b_2$  kapı-2'deki yansıyan dalgayı ifade etmektedir.  $Z_{01}$  ve  $Z_{02}$  ise sırasıyla kapı-1 ve kapı-2'nin karakteristik empedanslarıdır. Eğer kapıların akım ve gerilimlerini kullanmak yerine S-parametrelerini kullanmak istediğimizde ise 2 kapı arasındaki ilişki,

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

denklemleri ile ifade edilebilir. (Riad ve Jing 2010)



Şekil 3.2a



Şekil 3.2b

Şekil 3.2 2- kapılı Bir Mikrodalga Ağı

S-parametreleri ayrı ayrı hesaplanacak olursa (3.6a-d) denklemleri yardımıyla bulunabilir.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad (3.6a)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (3.6b)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad (3.6c)$$

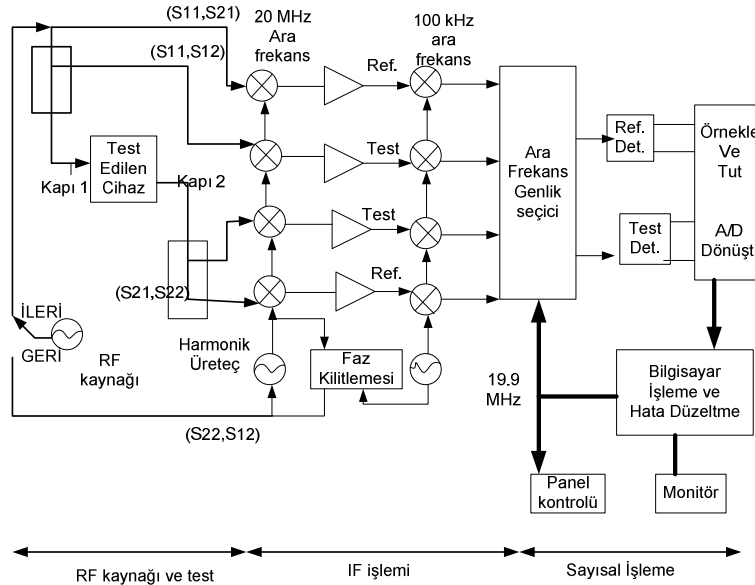
$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (3.6d)$$

$S_{11}$  ileri yansıtma katsayısı,  $S_{21}$  ileri iletim katsayısı,  $S_{12}$  geri iletim katsayısı ve  $S_{22}$  geri yansıtma katsayısı olarak isimlendirilir. (Agilent 2004)

Burada unutulmamalıdır ki, bütün  $S_{ij}$  değerleri karmaşık değerlerdir.

### 3.2. Vektör Network Analizör

Pasif ve aktif ağların S-parametreleri vektör network analizör kullanarak bulunabilir. Vektör network analizör, ağa iletilen veya ağdan alınan dalgaların genlik ve fazını ölçmek için tasarlanan iki ya da dört kanallı bir mikrodalga alıcısıdır. Örnek bir analizörün blok şeması Şekil 3.3'te verilmiştir. (Pozar 2004)



Şekil 3.3 Örnek Bir Vektör Network Analizörün İç Yapısına ait Blok Şeması



RF (radyo frekans) kaynağı genelde belli bir bant aralığında işlem yapmak üzere ayarlanır. Dört kapılı reflektometre gelen, yansıyan ve iletilen RF dalgalarını örnekler. Dört çift dönüşümlü kanallar bu sinyalleri 100kHz'lik IF (anlık frekans) frekanslarına dönüştürür ve daha sonra sayısal hale getirilirler. İçte yer alan bir bilgisayar ise duran dalga oranı, geri dönüş kaybı, grup gecikmesi, empedans gibi nicelikleri saçılım parametrelerini kullanarak hesaplar ve ekranda gösterir.

### 3.3. İleri İletim Katsayısını Kullanarak Saçılım Örüntüsü Elde Etme

Şekil 3.2 ve denklem (3.6c) birlikte düşünüldüğünde, 2-kapılı bir vektör network analizörde  $S_{21}$  parametresi iletilen dalganın gelen dalgaya oranını verecektir. *Gelen* dalga  $a_1$ , *iletilen* dalga  $b_2$  ile temsil edilmek üzere,  $a_1$  ve  $b_2$  şu şekilde yazılabilir:

$$a_1 = |a_1| e^{j\theta_1} \quad (3.7)$$

$$b_2 = |b_2| e^{j\theta_2} \quad (3.8)$$

Denklem (3.6c) yeniden düzenlendiğinde,

$$|S_{21}| = \frac{|b_2|}{|a_1|} \quad (3.9)$$

ve

$$\theta_3 = \theta_2 - \theta_1 \quad (3.10)$$

olmak üzere,  $S_{21}$  parametresi

$$S_{21} = |S_{21}| e^{j\theta_3} \quad (3.11)$$

olarak karşımıza çıkar. Bu durumda,  $|S_{21}|$  değeri kullanılarak *iletilen* ve *gelen* dalga arasında ne kadarlık bir kayıp ya da zayıflama olduğu bilgisine ulaşılabilecektir. Bu

bilgi de bize network analizörün bağlandığı ve test edilmekte olan cihaz ya da sistem hakkında bilgi verecektir.

Şekil 2.7’de yer alan düzlemsel yakın alan veri ızgarasını temel aldığımızda,

$$j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.12)$$

$$N = \left(\frac{a}{\Delta y} + 1\right) \quad (3.13)$$

ve

$$i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (3.14)$$

$$M = \left(\frac{b}{\Delta x} + 1\right) \quad (3.15)$$

olmak üzere, her bir veri ızgara noktası  $(i, j)$ ’de ölçülen  $|S_{21}|$  değerlerini kullanarak saçılım matrisi  $S$ ’yi oluşturabiliriz:

$$S_{ij} = |S_{21}|(i, j) \quad (3.14)$$

Burada,  $M$  ve  $N$  matrisin boyutlarını ifade etmektedir.

### 3.4. Örüntü Üstünde Görüntü İşleme

#### 3.4.1. Arka-plan çıkarma

Saçılım matrisi ya da saçılım örüntüsü çıkarılmak istenen nesne taratıldığında ölçüm sonucunda elde edilen değer iki bileşen içermektedir. Bunlar, arka-plan örüntüsü ve nesnenin saçılım örüntüsüdür. Formüle döktüğümüzde;

$$S = S_b + S_n \quad (3.15)$$

denklem (3.15)'teki gibi bir ifade edebiliriz.  $S_b$  arka-plan saçılım matrisini,  $S_n$  ise nesnenin saçılım matrisini temsil etmektedir. Burada,  $S$ ,  $S_b$  ve  $S_n$  matrislerinin hepsi genlik değerlerinden oluşmaktadır. Arka-plan saçılımı oda duvarlarından veya destek yapılarından kaynaklı oluşan tüm yansımaları içerir. Oda duvarlarını ışıma emici RAM maddeleriyle kaplamamız durumunda bu yansımalar azaltılabilir, fakat bilhassa ölçüm probunun destek yapısına yakın olduğu durumda RAM'lerin varlığında bile arka-plan saçılımı nesne saçılımıyla kıyaslandığında çok büyük olabilmektedir. Bu fazla yansımaları elemenin en temel yöntemi arka-plan çıkarımı yapmaktır. Arka-plan çıkarım işlemi için iki ölçüm gerekir; birisi ölçülmek istenen nesnenin yokluğunda yapılan arka-plan ölçümü diğeri ise ölçülecek nesnenin varlığında yapılan nesne saçılım ölçümüdür. Bu iki ölçümün birbirinden çıkarılması arka-plan çıkarım işlemi için en basit yöntemdir. (Marr vd 2006). Böylelikle, yalnız nesnenin saçılımı yaklaşık olarak elde edilebilir.

### 3.4.2. Arka-plan çıkarmada eşikleme yöntemi

Arka-plan çıkarma işlemi yaparken sadece matematiksel çıkarma işlemi yapmak, elde edilmek istenen nesne saçılım örüntüsünde büyük oranda bozulmaya sebep olabilmektedir. Yapılan ölçümlerde, özellikle ölçüm probunun nesnenin karşısında veya yakınında olmadığı bazı  $(i,j)$  noktalarında arka-plan ölçüm değerinin nesnenin varlığında yapılan ölçümden fazla olabildiği gözlemlenmiştir. Bu durumda, matematiksel çıkarma işlemi yapmak yerine görüntü işlemede kullanılan eşikleme yönteminin kullanılması daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Eşikleme yönteminde, arka-plana ait olan saçılım bilgisi nesneye ait olan saçılım bilgisinden çıkarılmak amacıyla uygulanmaktadır. Arka-plan bilgisine ait olduğu tespit edilen ölçüm verisi sıfırlanarak nesne saçılımına ait veriler baskın hale getirilmekte ve sadece nesneye ait saçılım verisi ortaya çıkarılmaktadır. Ortaya çıkan bilginin yüzde yüz oranında nesnenin saçılım bilgisini yansıtmaması beklenemez (Marr vd 2006) çünkü tarama esnasında tarayıcı mekanizmada oluşacak küçük titreşimler veya iki

ölçüm arasında meydana gelebilecek sistem parametrelerindeki ufak kaymalar ölçüm değerlerinin değişmesine yol açacaktır.

Ancak, belli bir hata tolerans payı düşünüldüğünde önerilen yöntem yaklaşık olarak yalnız nesne saçılım bilgisini vermektedir.

Genel bir uygulamada  $g(i,j)$  fonksiyonu  $f(i,j)$  fonksiyonunun eşiklenmiş hali olarak tanımlandığında;  $T$  belirlenmiş eşik değeri olmak üzere,

$$g(i,j) = \begin{cases} 1 & , f(i,j) \geq T \\ 0 & , \text{değilse} \end{cases} \quad (3.16)$$

ifadesi tanımlanabilir. (Gonzalez vd 2003)

Genel denklemi (3.16)'daki gibi verilen eşiklenmiş fonksiyon ifadesini buradaki probleme uygulayalım: Denklem (3.12) ve (3.14) ile tanımlanan  $i$  ve  $j$  noktaları için;  $S(i,j)$ , nesnenin varlığında yapılmış her bir  $(i,j)$  noktasındaki saçılım verisini,  $S_b(i,j)$  ise arka-plan için her bir  $(i,j)$  noktasında yapılmış ölçümü göstermek üzere, yalnız nesneye ait saçılım verisi  $S_n(i,j)$  denklem (3.17) ile ifade edilebilir.

$$S_n(i,j) = \begin{cases} S(i,j) & , |S(i,j) - S_b(i,j)| \geq T \\ 0 & , \text{değilse} \end{cases} \quad (3.17)$$

$T$  değeri eşik değeridir ve bu çalışmada manüel olarak belirlenmiştir. Eşik değeriyle kıyaslanan değer sadece  $S(i,j)$  ölçümü kullanılarak yapılmamış, bunun yerine  $S(i,j)$  ölçümü ile arka-plan ölçümü  $S_b(i,j)$  'nin farkı kullanılarak yapılmıştır. Bunun sebebi tek bir örüntü içinde gizli olan bir nesne veya nesne örüntüsünü çıkartmak yerine *nesne* ve *arka-plan* şeklinde ayrı ayrı alınan iki farklı saçılım verisinin kullanılmasındandır.

### 3.4.3. Ortanca filtre

Görüntü işlemede sıklıkla kullanılan ortanca filtre, doğrusal olmayan diğer filtrelerle kıyaslandığında hem basit hem verimlidir. (Blanchet ve Charbit 2006) Doğrusal bir alçak geçiren filtre gibi resmi yumuşatır ve resimdeki bozuklukları giderir. Diğer taraftan, resim hatlarında bulanıklık bırakan alçak geçiren filtrenin aksine resmin keskin değişimlerini daha iyi korur.

Ortanca filtre işlemini tarama sonucu elde edilen saçılım verisine uyguladığımız zaman, saçılım verisinden elde edilen örüntüdeki bozuklukların giderildiği görülmüştür.  $S_n$  eşiklenmiş saçılım örüntüsü,  $(i,j)$  noktası merkez nokta olmak kaydıyla  $c_1$  ve  $c_2$  filtre işleminde  $(i,j)$  noktasına uygulanan blokların boyutları ve tek sayılar olmak üzere, her bir  $S_n(i,j)$  değeri için  $(i,j)$  noktasının komşuluklarında ölçülen değerlerin ortancası, denklem (3.18)'de ifade bulduğu gibi küçükten büyüğe doğru sıralamaya tabi tutularak bulunur.

$$\begin{aligned} S_{n_1}(i \pm ((c-k)/2), j \pm ((c-k)/2)) \leq S_{n_2}(i \pm ((c-k)/2), j \pm ((c-k)/2)) \leq \dots \\ \dots \leq S_{n_{c^2}}(i \pm ((c-k)/2), j \pm ((c-k)/2)) \end{aligned} \quad (3.18)$$

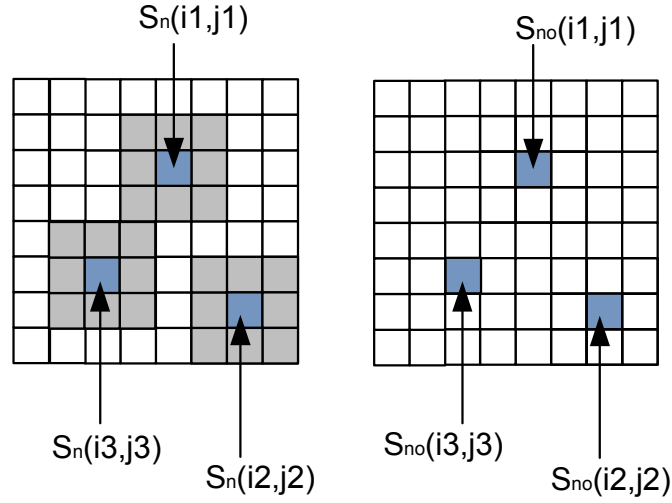
(3.18)'de filtre bloklarının boyutlarının eşit olduğu farz edilerek  $c_1=c_2=c$  olarak alınmıştır.  $k$  değeri ise 1 ile  $c$  arasındaki tek sayılardan oluşmaktadır.

$$k=1,3,\dots,c \quad (3.19)$$

Yapılan sıralama sonucunda ortada bulunan ortanca değer denklem (3.20)'de ifade edildiği gibi  $S_n(i,j)$  noktasının yeni değeri olarak belirlenir.

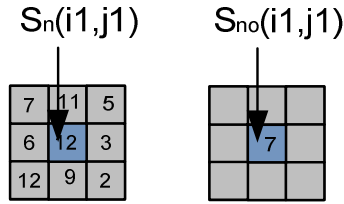
$$S_{no}(i,j) = S_{n_{((c^2+1)/2)}}(i,j) \quad (3.20)$$

Sözü edilen ortanca filtre uygulandıktan sonra eşikleme işlemi uygulandıktan sonra oluşan gürültü niteliğindeki bozukluklar giderilmektedir (Gonzalez vd, 2003) ve taranan nesnenin saçılım örüntüsü daha keskin ve belirgin bir şekilde elde edilebilmektedir.



Şekil 3.4 Ortanca Filtre İşleminin Pikseller Üzerine Uygulanması

$S_n$  ve  $S_{no}$  matrisleri filtre işleme giriş ve çıkış matrisleri olmak üzere, Şekil 3.4'te gösterilen  $(i1,j1)$ ,  $(i2,j2)$  ve  $(i3,j3)$  noktalarını örnek olarak ele alalım. Şekilde görüldüğü gibi, filtre işlemi  $3 \times 3$  bloklar halinde uygulanmış yani (3.18)'de yer alan  $c$  sabiti 3 olarak alınmıştır.  $(i1,j1)$  noktasına ait  $3 \times 3$ 'lük blok içindeki komşu piksel değerleri sözgelimi Şekil 3.5'te gösterildiği gibi olsun.



Şekil 3.5  $(i1,j1)$  Noktasının  $3 \times 3$  Blok İçindeki Komşu Değerleri (sağda) ve Filtrelemeden Sonraki Değeri (solda).

Bu durumda, değerler (3.18)'de gösterildiği gibi sıralanır:

$$2 \leq 3 \leq 5 \leq 6 \leq 7 \leq 9 \leq 11 \leq 12 \leq 12 \quad (3.21)$$

(3.20)'de ifade edilen  $(c^2+1)/2=5$  olarak hesaplanır. 5 nolu terim olan “7” değeri yeni piksel değeri olarak karşımıza çıkar. Sonuç olarak,  $(i1,j1)$  noktasına ait değer olan “12”

değeri “7” ile değiştirilir ve  $S_{no}(i1,j1)=7$  olarak bulunur. Bu işlem her bir  $(i,j)$  noktası için ayrı ayrı uygulanır.

Bu çalışmada, filtre işlemi uygulanırken  $c=3$  olarak alınmıştır.

### 3.4.4. Örüntü Boyutunu Artırma

Anten tarama sistemi ile bölüm 2.2.3’te bahsedilen yarım dalga-boyu kriteri göz önüne alınarak yapılan bir tarama işlemi sonucunda elde edilen saçılım örüntüsünün boyutları  $M \times N$  kadar olmaktadır. Bu boyutlar günümüzün sıradan bir fotoğraf makinesiyle çekilmiş bir fotoğrafı veya resmi düşündüğümüzde çok küçük kalmaktadır. Elde edilen örüntü normal bir resim boyutlarına getirildiğinde ise örüntü resmi bulanıklaşmaktadır. Hem örüntü resminin çözünürlüğünü artırmak hem de saçılım verisini minimum düzeyde değiştirmek maksadıyla  $S_{no}$  matrisine boyut artırma işlemi uygulanmıştır.

Matris boyutu iki kat artırıldığını farz edersek,  $2M \times 2N$  boyutundaki  $S_{no}'$  matrisi (3.22a-d) denklemleri yardımıyla bulunur:

$$S_{no}'(2i,2j) = (S_{no}(i,j) + S_{no}(i,j+1) + S_{no}(i+1,j) + S_{no}(i+1,j+1)) / 4, \quad (3.22a)$$

$$S_{no}'(2i-1,2j) = (S_{no}(i,j) + S_{no}(i,j+1)) / 2, \quad (3.22b)$$

$$S_{no}'(2i,2j-1) = (S_{no}(i,j) + S_{no}(i+1,j)) / 2, \quad (3.22c)$$

$$S_{no}'(2i-1,2j-1) = S_{no}(i,j). \quad (3.22d)$$

(3.22a-d) denklemleri ile uygulanan işlem sonucunda elde edilen  $S_{no}'$  matrisinin çözünürlüğü daha fazla yani boyutu  $S_{no}$  matrisinden daha büyüktür.  $S_{no}$  matrisinin aksine, boyut büyütme sonucunda oluşan yeni matris  $S_{no}'$  matrisinin piksel değerleri arasında yumuşak bir geçiş olduğu görülmektedir.

### 3.5. Ölçüm Düzenegi ve Ölçüm Yapılan Alan

Ölçümler Akdeniz Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bünyesinde bulunan Endüstriyel ve Medikal Uygulamalar Mikrodalga Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EMUMAM) yer alan Yakın Alan Anten Ölçüm Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarında 10MHz ile 9 GHz frekansları arasında çalışabilen bir adet vektör network analizör (Anritsu MS4624B), üç adet adım motoru (Velmex PK264-03A-P1), iki adet adım motoru denetleyicisi (Velmex VXM), TÜBİTAK-UEKAE tarafından kurulan ve TÜBİTAK-UME tarafından vibrasyon testleri yapıлып tescillenen bir adet düzlemsel yakın alan anten ölçüm sistemi ve her biri  $60cm \times 60cm$  boyutlarında olan 8 adet piramit şekilli hibrit RAM ve 1 adet ızgara şekilli RAM bulunmaktadır. Ayrıca, oda duvarlarından ve tarayıcı sistemin metal parçalarından yansımaları önlemek amacıyla ölçüm probunun etrafı da emici süngerlerle kaplanmıştır.

Asıl olarak anten örüntüsü elde etmek amacıyla tasarlanmış olan düzlemsel yakın alan anten tarama sistemi, bu çalışmada kontrollü bir radar düzenegi gibi kullanılmıştır. Kullanılan laboratuvar Şekil 3.6'da, Anritsu vektör network analizör ve Velmex motor denetleyiciler Şekil 3.7'de, koordinat eksenleri ve düzenegin çizimsel gösterimi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

Adım motorlarından biri tarayıcı sistemin  $\pm x$  yönünde hareketini sağlarken, ikincisi de  $\pm y$  yönünde hareket sağlamaktadır, böylelikle kare şeklinde bir alan taranabilmektedir. Üçüncü bir motor ise tarayıcı mekanizmanın kendi ekseninde  $360^\circ$  dönebilmesine imkân vermektedir fakat bu özellik ihtiyaç olmadığı için bu çalışmada kullanılmamıştır ve ölçüm probu dönme hareketi yapmadan sadece tek bir polarizasyonda ölçüm almıştır. Ölçüm probu olarak dikdörtgen dalga kılavuzundan oluşan WR-90 probu kullanılmıştır.





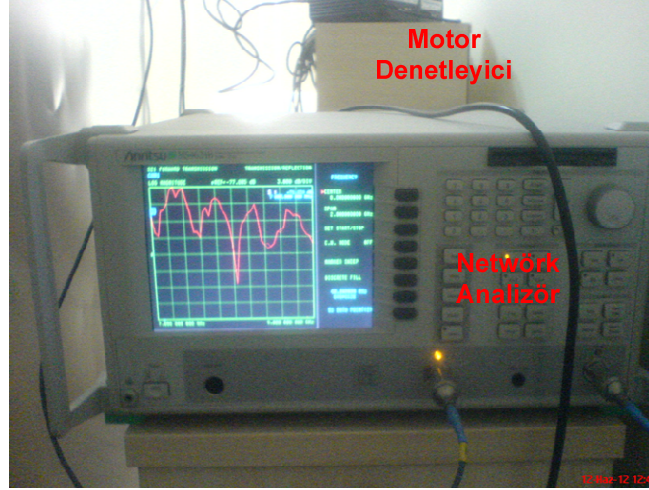
Şekil 3.6 Yakın Alan Ölçüm Laboratuvarı.  
Tarayıcı Sistem (*solda*). Işıma Soğurucu RAM'ler, Taranan Nesne ve Altında Bulunan Köpük Destek (*sağda*).

Ölçüm probu olarak 8.2 GHz ile 12 GHz arasında ölçüm yapabilen açık uçlu ve dikdörtgen şekilli bir dalga kılavuzu kullanılmıştır. Yakın alan ölçümleri için vektör network analizörü kullanılmış ve network analizör ile mekanik tarayıcı sistemin eş zamanlı olması sağlanmıştır. (Öztürk ve Üstüner 2010)

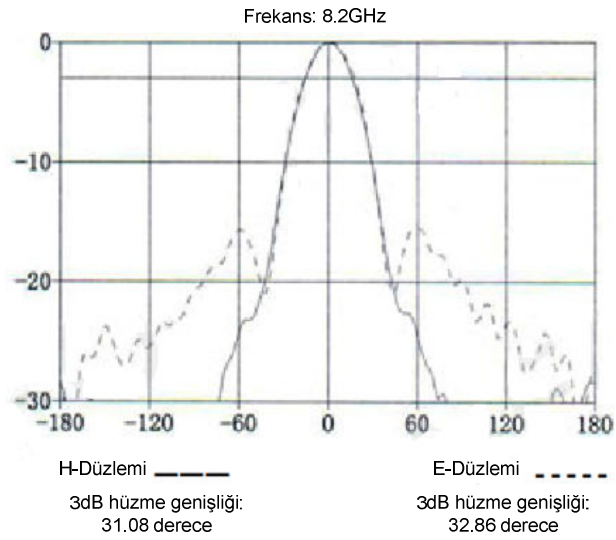
Sistemde verici anten olarak kullanılan ve tipik çalışma frekansında 15 kazanç değerine sahip olan (A-Info 2012) horn anten, tarayıcı sistemin tepe kısmına sabitlenmiş ve network analizörden gelen elektromanyetik dalgayı dağıtma vazifesi görmektedir. Dalga toplama vazifesi yapan ve tarayıcı mekanizmanın orta noktasına yerleştirilmiş olan ölçüm probu ise geri saçılan elektromanyetik dalgayı network analizöre geri göndermektedir. Tepeye yerleştirilen horn anten, düşey ekseninde ölçüm probu ile aynı hizada tarayıcı mekanizmaya sabitlenmiş ve tarayıcı ile birlikte hareket etmektedir. Böylelikle, bistatik dalga saçılım ortamı oluşturulmuştur.

Şekil 3.10'da gösterildiği üzere sistemin tüm kontrolü bilgisayar aracılığı ile

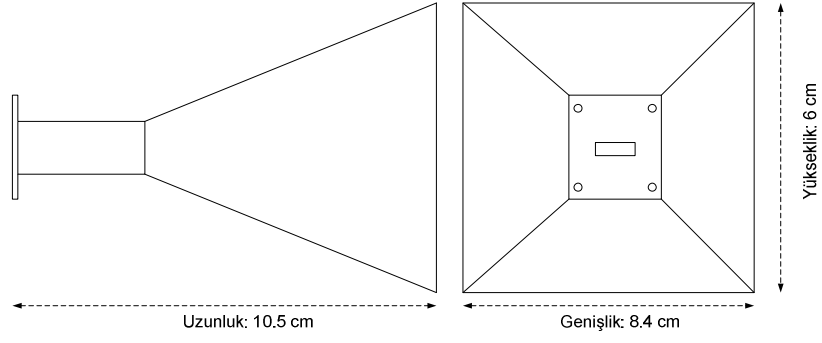
yapılmaktadır. C tabanlı LabCVI programı kullanılarak yazılmış bir grafik ara-yüzü vasıtasıyla sistem taraması kontrol edilebilmektedir.



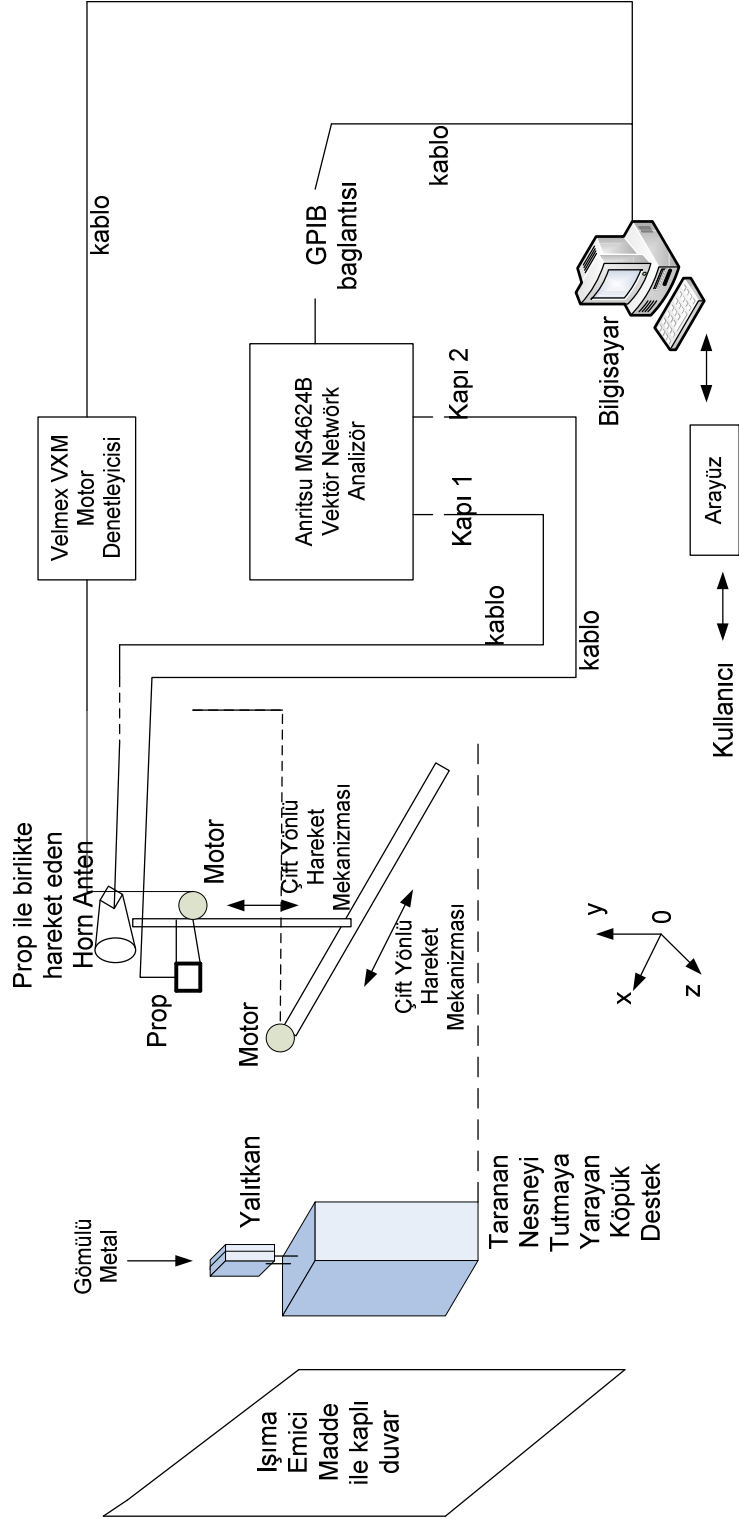
Şekil 3.7 Network Analizör ve Motor Denetleyici



Şekil 3.8 Üretici Firmaya ait LB-975-15 Horn Anten Örüntüsü

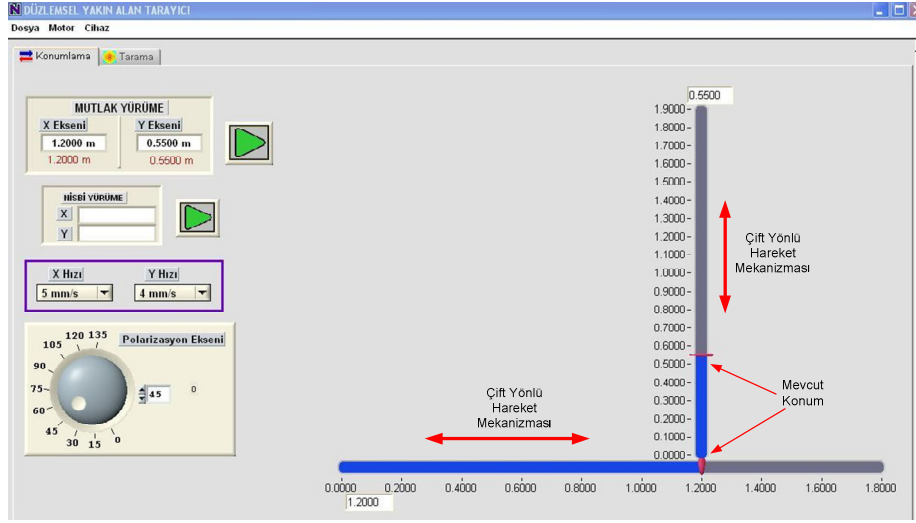


şekil 3.9 LB-975-15 Horn Anten Boyutları

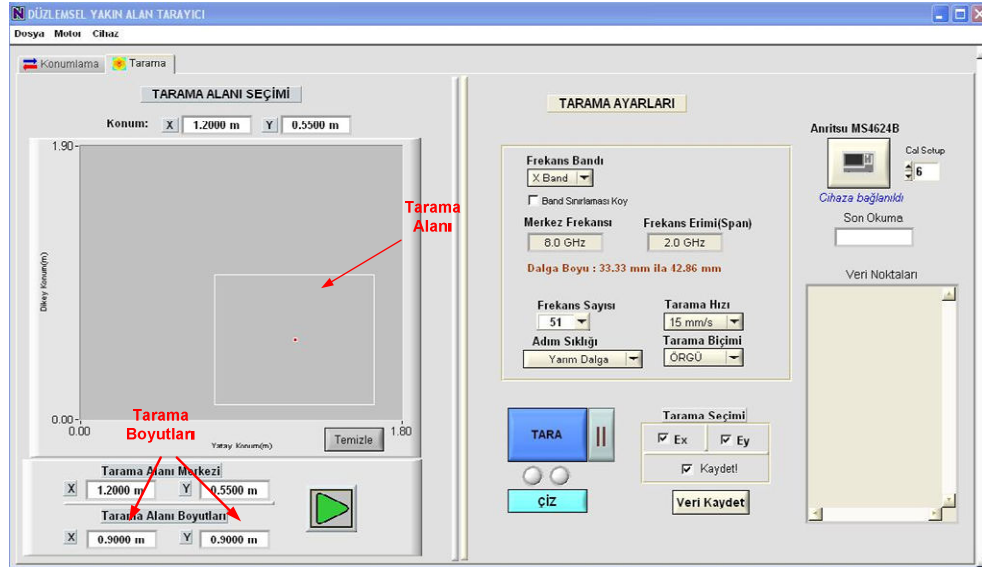


Şekil 3.10 Deney Düzenəğinin Temsili Gösterimi ve Koordinat Düzlemi

Ara-yüz programı ekran görüntüleri şekil 3.11 ve şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Tarayıcı Sistemin ilk Konumlanmasında Kullanılan Ara-yüz Görüntüsü



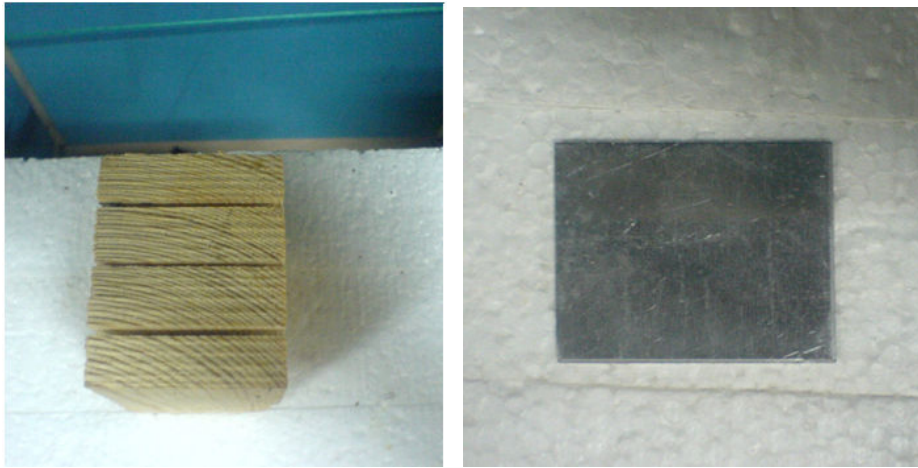
Şekil 3.12 Tarama Alanının Boyutları, Frekansı vb. Ayarlandığı Ara-yüz Görüntüsü

İlk önce, Şekil 3.11’de görülen Konumlama özelliğini kullanarak merkezinde ölçüm probu bulunan tarayıcı mekanizmanın merkez noktasını taranacak nesnenin orta bölgesine getirmek gerekmektedir. Aksi durumda, elde edilen görüntü simetrik olmayacak veya bazı görüntü bilgisi elde edilen boyutların dışına taşacağı için eksik olacaktır. Daha sonra ise tarayıcı mekanizmanın konumlandığı nokta merkez noktası

olacak şekilde Şekil 3.12’de görüldüğü gibi tarama boyutları seçilir ve frekans belirlenir.

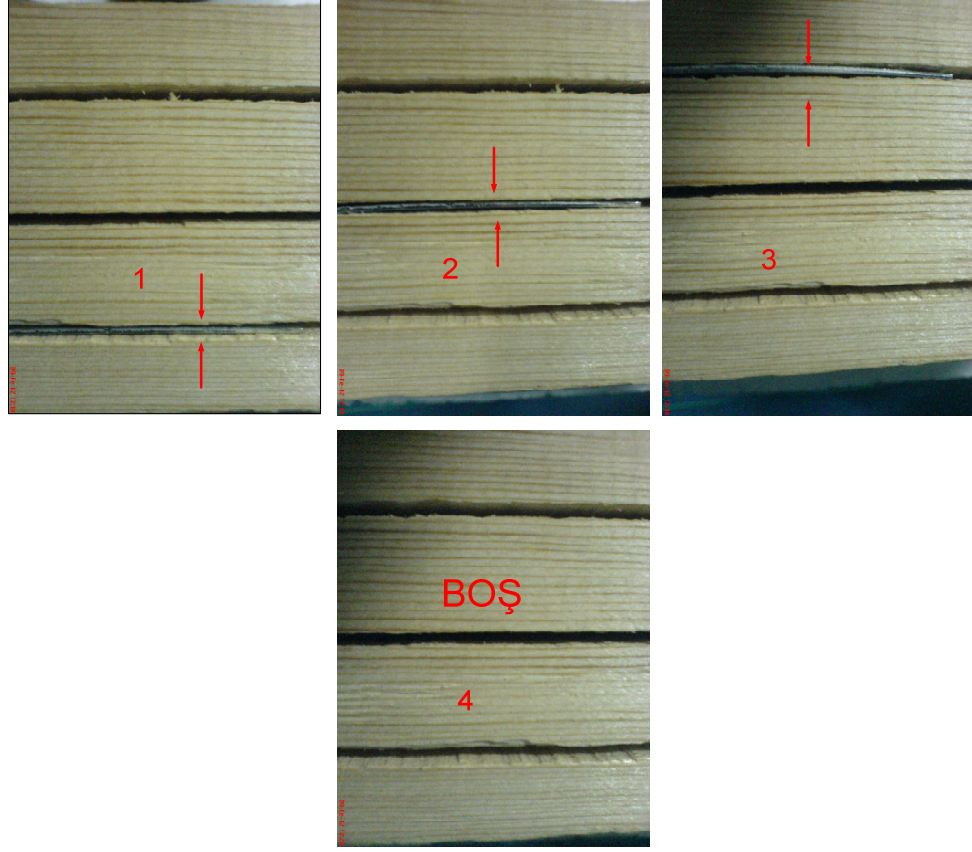
Bu çalışmada, tarama boyutları yani Şekil 2.7’de  $a$  ve  $b$  ile gösterilen boyutlar eşit olarak seçilmiş ve  $a=b=90\text{cm}$  olarak alınmıştır. Yani  $90\text{cm}\times 90\text{cm}=8100\text{cm}^2=0.81\text{m}^2$ ’lik bir alanda tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarama sisteminin kapasitesi  $1.8\text{m}\times 1.8\text{m}=3.24\text{m}^2$ ’lik bir alanın taranmasına izin vermesine rağmen deneysel olarak seçilen alan yeterli görülmüştür. Frekans bandı olarak  $X$  bandı kullanılmış fakat network analizörün kapasitesi en fazla  $9\text{GHz}$  ile sınırlı olduğu için frekans üst sınırı olarak  $9\text{GHz}$  alınmıştır.  $7\text{GHz}$  ile  $9\text{GHz}$  arasında  $40\text{MHz}$ ’lik frekans aralıklarında yani toplam olarak  $51$  farklı frekansta ölçüm yapılmıştır. Ancak, farklı frekanslarda yapılan ölçümler ayrı bir çalışmanın konusu olacağı için burada sadece merkez frekansı yani  $8\text{GHz}$ ’de elde edilen bulgular gösterilmiştir.

Taranan nesne olarak, Şekil 3.13’te görüldüğü gibi boyutları  $+y$  yönünde  $8\text{cm}$ ,  $+x$  yönünde  $5\text{cm}$  ve  $+z$  yönünde  $6\text{cm}$  olan bir yalıtkan ahşap malzemeye  $x-z$  düzlemi boyunca  $1.5\text{cm}$  aralıklarla 3 yarık açılmış ve bu yarıklara eni  $4\text{cm}$ , boyu  $5\text{cm}$  olan ve  $0.4\text{mm}$  kalınlığında bir alüminyum metal konulmuştur. Metalin konumuna göre aradaki ölçümler arasındaki fark incelenmiştir. Ölçüm probu ve taranan nesne arasındaki mesafe denklem (2.5)’e uygun olarak  $100\text{cm}$  seçilmiştir.



Şekil 3.13 Taranan Ahşap Nesnenin  $-y$  Yönünde (Tepeden) Görünüşü (solda). Alüminyum Metal (sağda).



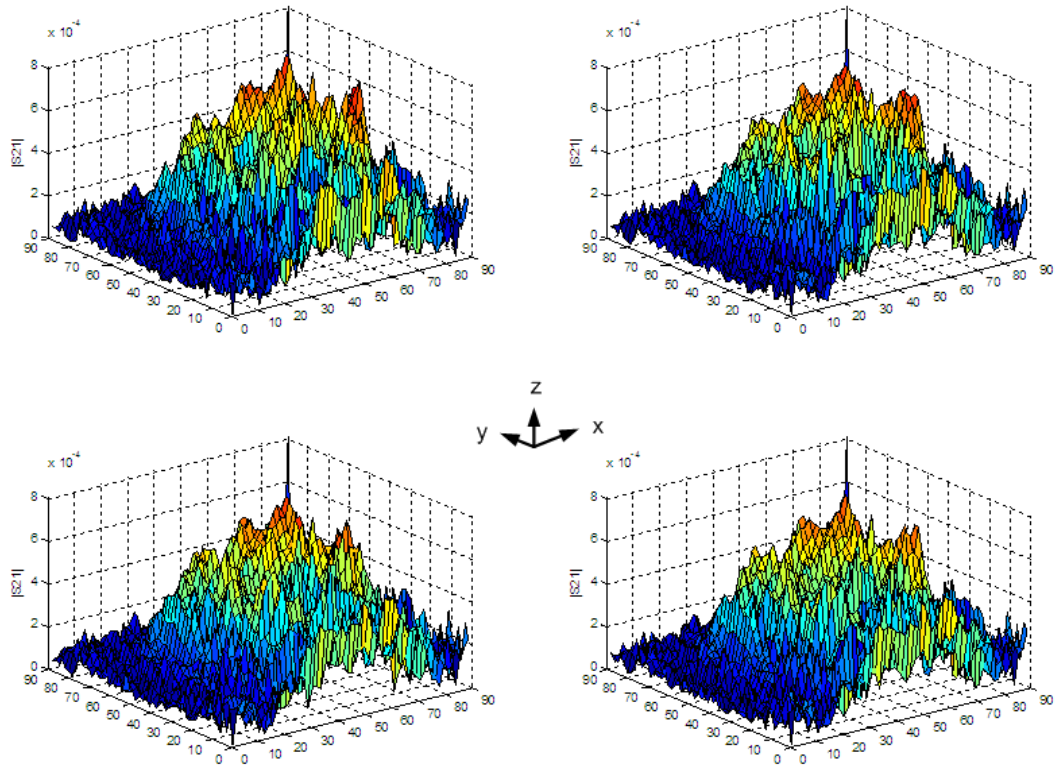


Şekil 3.14 (1 numara) Metal  $z=-101.5$  cm'de ve nesne  $z=-100$ cm'de iken taranan nesne. (2 numara) Metal  $z=-103$  cm'de iken taranan nesne. (3 numara) Metal  $z=-104.5$  cm'de iken taranan nesne. (4 numara) İçinde metal barındırmayan nesne. (Yalıtkan nesne  $z=-100$  cm'de ve ölçüm probu  $z=0$  cm'de bulunuyor.)

## 4. BULGULAR

### 4.1. Elde Edilen Örüntüler

Bölüm 3.5’de açıklandığı gibi kurulan deney düzeneği sonrasında alınan ölçüm değerleri MATLAB programı kullanılarak işlenmiş ve 3-boyutlu örüntü, 2-boyutlu resim ve örüntünün 2-boyutlu yandan görünümü çizilerek metal konumundaki değişimin oluşturduğu farklılık incelenmiştir.



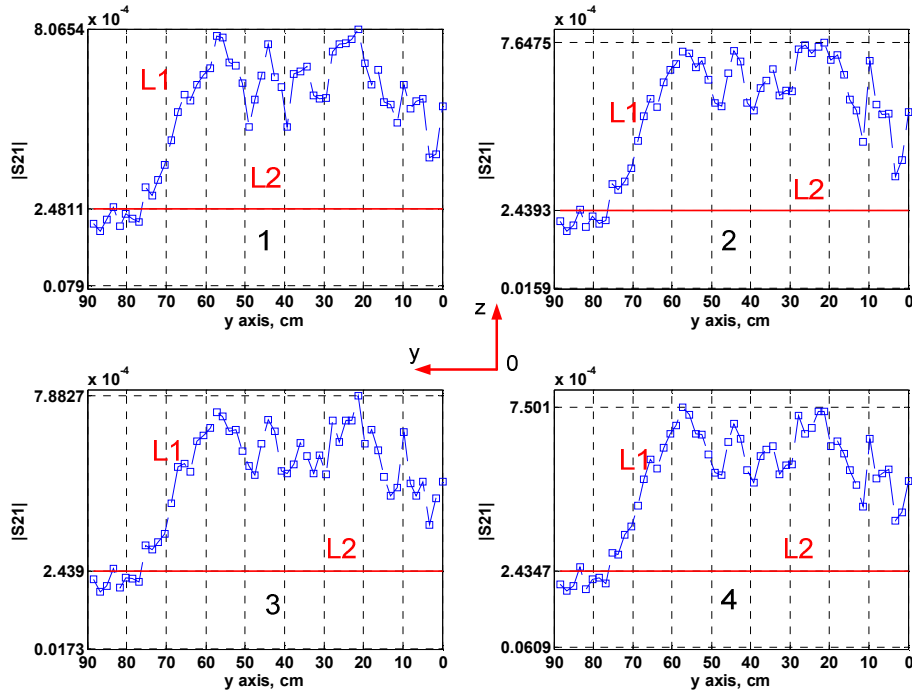
Şekil 4.1 Ölçüm Sonucu Elde Edilen 3-boyutlu Örüntü ve Koordinat Düzlemi  
(Üst sol) Metal  $z=-101.5$  cm’de iken yapılan ölçüm sonucu. (Üst sağ) Metal  $z=-103$  cm’de iken yapılan ölçüm sonucu. (Alt sol) Metal  $z=-104.5$  cm’de iken yapılan ölçüm sonucu. (Alt sağ) Yalıtkan içinde metal yokken yapılan ölçüm sonucu. (Yalıtkan nesne  $z=-100$  cm’de ve ölçüm probu  $z=0$  cm’de bulunuyor.)

Şekil 4.1’de alınan ölçüm sonucunda elde edilen 3-boyutlu örüntüler verilmiştir. Bölüm 3’te bahsedildiği üzere örüntüler  $|S_{21}|$  verisi kullanılarak çizilmiştir. Grafikler; ölçüm probunun olduğu noktadan bakıldığında, metalin ahşap nesnenin sırasıyla en önünde, ortasında ve arkasında bulunması durumu ve metalin yokluğunda alınan



ölçümlere aittir. Koordinat eksenini temel olarak yazmamız durumunda, grafikler sırasıyla sol üstteki grafikten başlayarak metalin  $z = -101.5$ ,  $z = -103$ ,  $z = -104.5$  cm mesafede bulunması durumu ve metalin yokluğunda yapılan ölçüm sonuçlarını yansıtmaktadır.

İlk bakışta birbirinin benzeri gibi görülen 3-boyutlu grafiklerin 2-boyutlu profillerini çizdiğimizde aradaki fark daha net bir şekilde anlaşılacaktır. Şekil 4.2'de  $x=0$  noktasındaki  $y-z$  düzleminde 3-boyutlu örüntüye bakıldığında görülen 2-boyutlu profiller gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 3-Boyutlu Örüntüye  $x=0$  İken  $y-z$  Düzleminde Bakıldığında Görülen Profil  
(Grafiklerin ait olduğu durumlar Şekil 4.1'deki grafikler ile aynıdır.)

Şekil 4.2'de alınan ölçümleri kıyaslamak için ölçülen sinyal değerlerinin maksimum ve ortalama değerleri grafikler üzerinde işaretlenmiştir. Dalgalı mavi çizgi,  $x=0$  noktasında bulunan  $y-z$  düzlemindeki her bir ölçüm noktasından 3-boyutlu örüntüye bakıldığında görülen maksimum sinyal değerlerini, düz kırmızı çizgi ise tüm örüntü

noktalarındaki değerlerin ortalamasını göstermektedir. Mavi çizgiyi  $L_1$ , kırmızı çizgiyi  $L_2$  olarak isimlendirirsek,

$$j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (4.1)$$

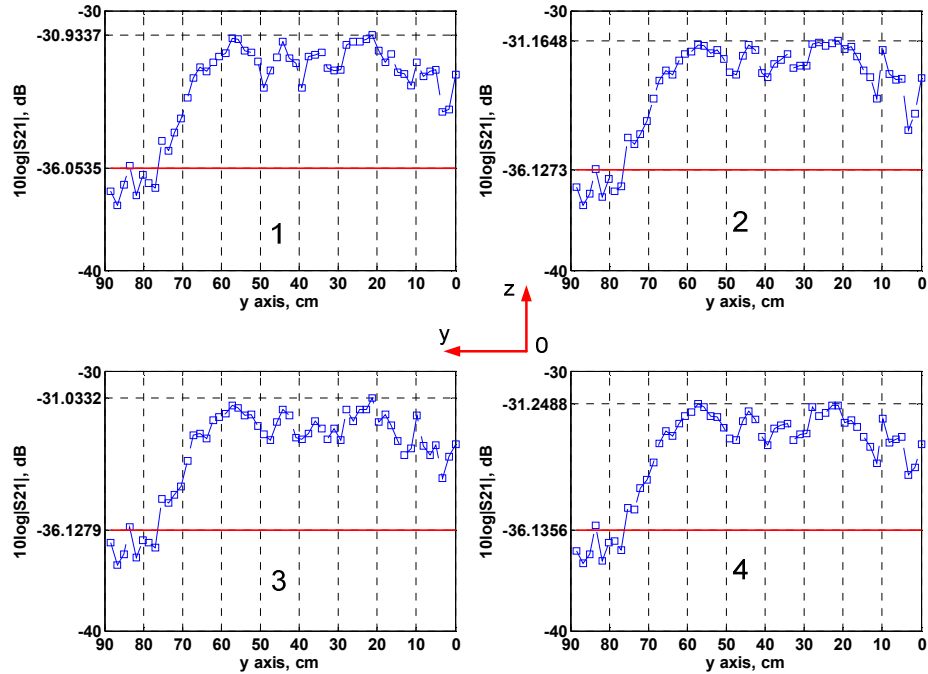
olmak üzere,  $L_1$ 'i

$$L_1(j) = \max[S(1, j), S(2, j), S(3, j), \dots, S(M, j)] \quad (4.2)$$

şeklinde,  $L_2$ 'yi ise

$$L_2(j) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S(i, j) \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edebiliriz.



Şekil 4.3. Logaritmik Olarak Şekil 4.2'de Bulunan Profiller.

Maksimum değerlere bakıldığında, ölçüm probuna göre metalin en öndeki yarıқта bulunduğu ölçüme ait olan 1 numaralı grafikteki tepe değeri en fazla iken metalin ortada bulunan yarıқта olduğu ölçüme ait değer azalmıştır. Bu durum beklenen bir durumdur çünkü ölçüm probuna göre metalin yalıtkan içinde gömülü bulunduğu derinlik artmıştır. Metalin proba göre en arkada ve derinde bulunduğu durumu yansıtan 3. grafikte ise tepe değerinin tekrar azalması beklenirken bu gerçekleşmemiş ve değer biraz artmıştır. Ama bu durumun çok fazla anormal olmadığı ortalama değerlere bakıldığında anlaşılacaktır çünkü 2. ve 3. grafikteki ortalama değerler arasında çok ufak bir farklılık söz konusudur. 4. grafik ise metalin olmadığı durumda yalıtkanın taranması sonucu elde edilen ölçüme aittir ve beklendiği gibi hem ortalama hem de tepe değer açısından en düşük değerlere sahiptir.

Şekil 4.3'te bulunan çizim grafikleri ise Şekil 4.2'de yer alan grafiklerin logaritmik olarak hesaplanmış halidir. Anten ölçümleri ve benzer ölçümlerde logaritmik çizimler yaygın olarak kullanılmakta olduğundan çalışmanın bundan sonraki çizimleri dB cinsinden yani logaritmik ölçekte incelenecektir. Şekil 4.2'deki grafikler için yapılan yorumların aynısı Şekil 4.3'teki çizimler için de geçerlidir.

Şekil 4.4'te ise  $y=0$  noktasındaki  $x-z$  düzleminde 3-boyutlu örüntüye bakıldığında görülen 2-boyutlu profiller gösterilmiştir. Bu durumda,  $L_1$  ve  $L_2$ 'yi ise şu şekilde ifade ederiz:

$$i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (4.4)$$

olmak üzere,

$$L_1(i) = \max[S(i,1), S(i,2), S(i,3), \dots, S(i,N)] \quad (4.5)$$

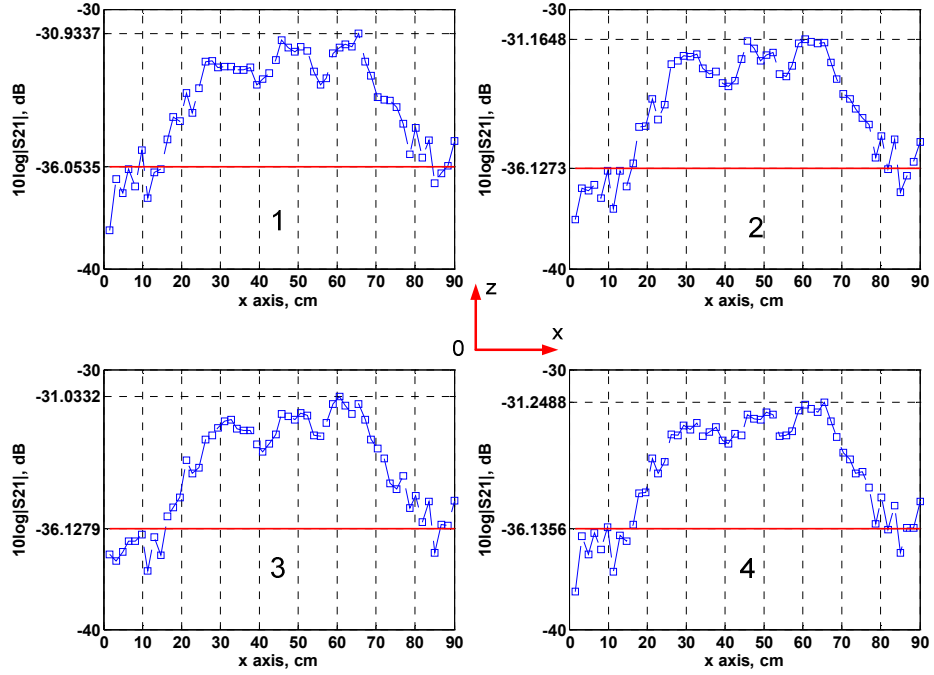
ve

$$L_2(i) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N S(i, j) \quad (4.6)$$

Tepe değerleri ve alınan değerlerin ortalaması açısından değerlendirildiğinde diğer profille aynı değerler bu grafiklerde de görülmektedir ve aynı yorumlar geçerlidir.

Gerek Şekil 4.3'ten gerekse Şekil 4.4'ten çıkarılabilecek diğer bir yorum:  $y-z$  düzleminden görülen profilde maksimum değerler  $y=20$  cm ile  $y=60$  cm arasında,  $x-z$  düzleminden görülen profilde ise maksimum değerler  $x=30$  cm ile  $x=65$  cm arasında yoęunlaŐmaktadır. Buradan çıkartılabilir ki,  $z=0$  noktasındaki  $x-y$  düzlemi üzerinde bulunan söz konusu sınırların orta noktasının karşısında ve  $-z$  ekseninde belli bir mesafede bulunan bir nesne, horn anten tarafından gönderilen elektromanyetik dalgayı diğer bölgelere nazaran daha fazla yansıtılmaktadır.

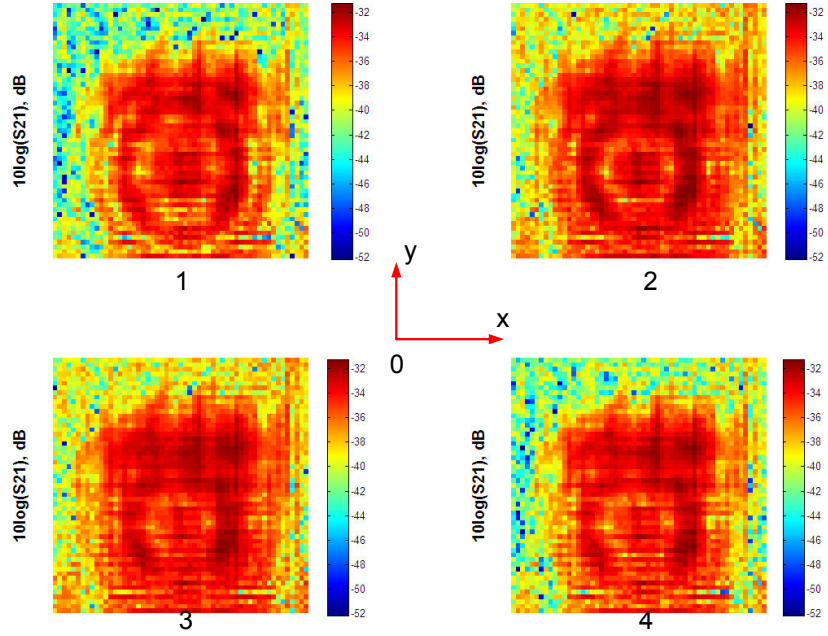
Ayrıca, her iki profilden de anlaşılmaktadır ki 1. ve 2. grafikler yani metalin ölçüm probuna göre en nde ve ortadaki yarıktaki bulunduğu durumlar arasındaki fark daha fazla iken 2. ve 3. grafikler yani metalin ölçüm probuna göre ortada ve en arkadaki yarıktaki bulunduğu ve hatta metalin olmadığı durum olan 4. grafik arasında küçük miktarda fark vardır. Ortalama lm değerlerine baktığımızda, 1. ve 2. grafik arasında 0.0738 dB'lik fark varken 2. ve 3. grafik arasında 0.0006 dB'lik fark vardır. Buradan çıkartılabilir ki, metalin yalıtkan içindeki gömülme derinliği arttıķa tespit edilebilmesi zorlaşmaktadır.



Şekil 4.4. 3-Boyutlu Örüntüye  $y=0$  iken  $x-z$  Düzleminde Bakıldığında Görülen Profil

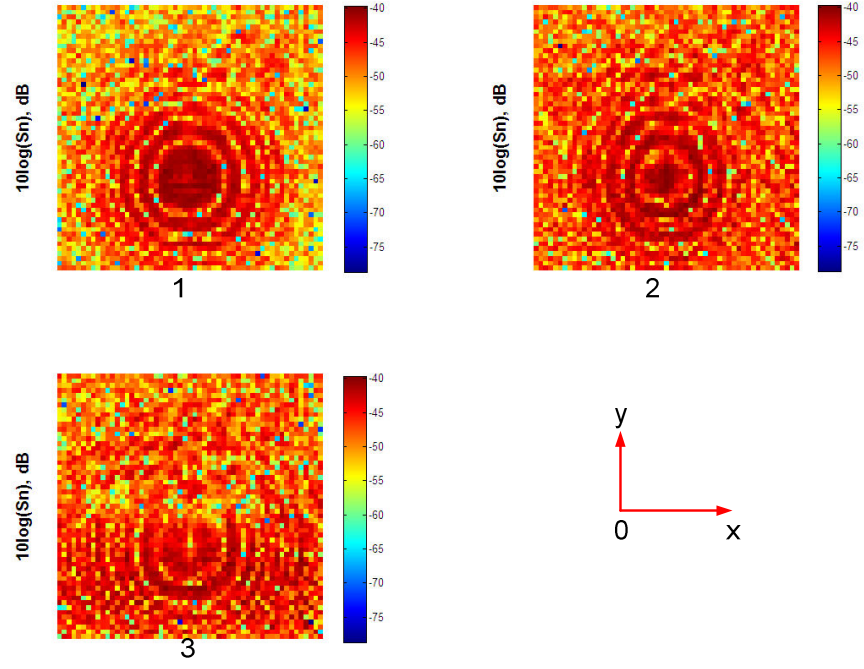
Denklem (3.14)'te ifade edilen  $|S_{21}|$  çizimleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. 1 numaralı çizimden 3 numaralı çizime kadar olanlar sırasıyla metal ölçüm probuna göre en öndeki yarıқта, ortadaki yarıқта ve arkadaki yarıқта olduğu durumu ifade ederken 4 numaralı çizim ise metalin olmadığı yani arka-plan olarak kabul edilen ölçüme aittir.

Şekil 4.6'da ise denklem (3.15)'e göre elde edilen  $S_n=S-S_b$  ifadesinin çizimi gösterilmektedir. Şekil 4.6'da gösterilen çizimler, kısım 3.4.2'de anlatılan eşikleme işlemi kullanılmadan, sadece matematiksel çıkarma işlemi yapılarak elde edilen sonuçlara aittir. Şekilden rahatlıkla görüldüğü gibi, matematiksel çıkarma işlemi çok başarılı sonuçlar vermemekte, çizimler arasındaki fark belirgin olmamaktadır.

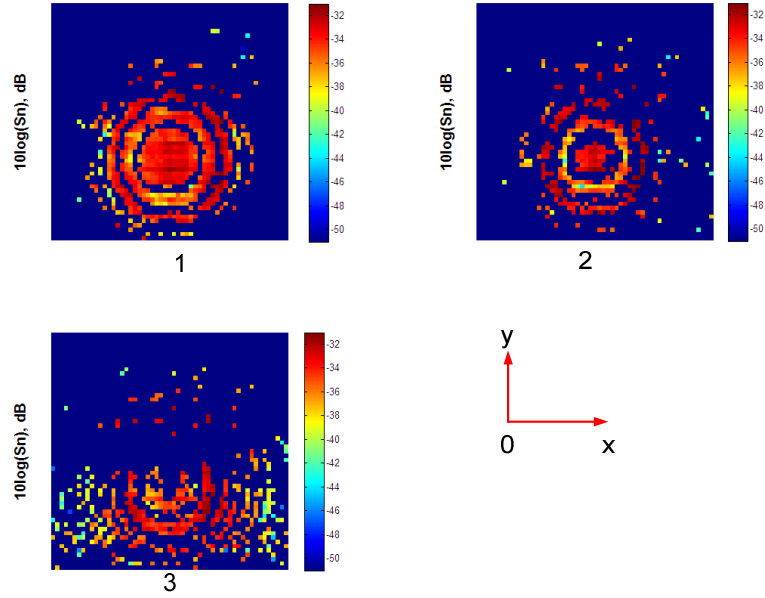


Şekil 4.5. 3-Boyutlu Örüntüye  $z=0$  iken  $x$ - $y$  Düzleminden Bakıldığında Görülen 2-Boyutlu Örüntü. 1'den 4'e sırasıyla metal ölçüm probuna göre en öndeki yarıқта, ortadaki yarıқта, arkadaki yarıқта ve metal yokken alınan ölçümlere ait resimlerdir.

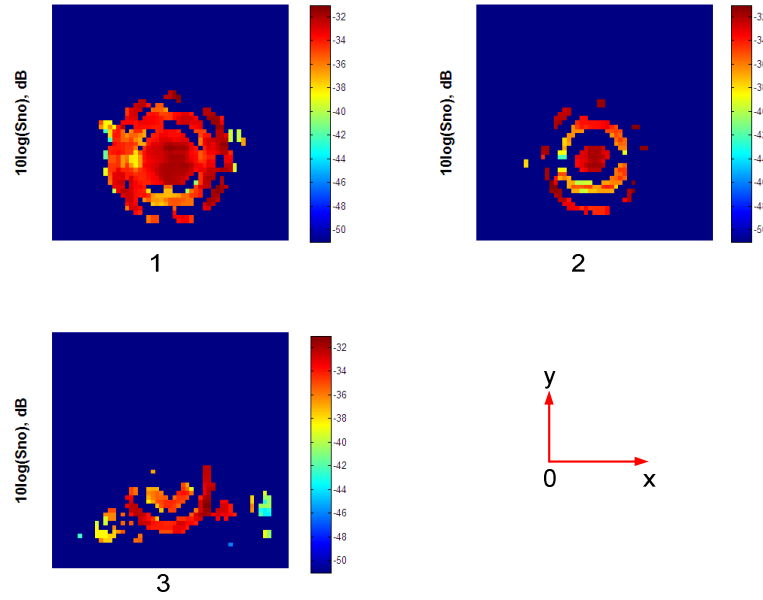
Diğer taraftan, eşikleme yöntemi kullanıldığında yani denklem (3.17) uygulandıktan sonra elde edilen sonuçlar Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, Şekil 4.6'da grafikler arasındaki fark gözlemlenemezken Şekil 4.7'de bulunan grafikler arasındaki fark rahatlıkla gözlemlenmektedir ve daha önce irdelenen 2-boyutlu profiller için yapılan yorumlara benzer yorumların yapılabileceği sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Eşikleme İşlemi Uygulanmadan Sadece Matematiksel Çıkarma İşlemi Yapılarak Elde Edilen Örüntüler. (Metal yokken alınan ölçüm arka-plan ölçümü olarak ele alınmış dolayısıyla geriye kalan 3 resim gösterilmiştir.)



Şekil 4.7. Eşikleme İşlemi Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler.



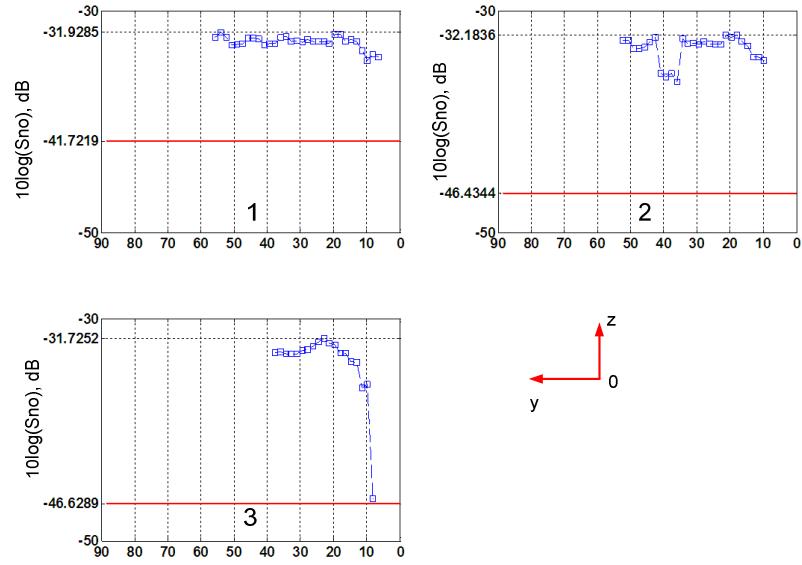
Şekil 4.8. Eşikleme ve Ortanca Filtre Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler.

Eşikleme işleminden sonra elde edilen 2-boyutlu örüntülerin bulunduğu Şekil 4.7’de gürültülü bir resim görülmektedir. Sistem parametrelerindeki ufak kaymaların hedefe ait olmayan elektrik alanların eksik olarak (Marr vd 2006) bertaraf edilmesine yol açtığını düşündüğümüzde, Şekil 4.7’de bulunan gürültü niteliğindeki kısımları bertaraf etmek daha sağlıklı bir sonuç verecektir. Ortanca filtre uygulandıktan sonra ise bu gürültüler bertaraf edilmiş ve daha net bir şekilde görülebilen örüntüler oluşturulmuştur. Ortanca filtreden sonra elde edilen resimler de Şekil 4.8’de görülmektedir.

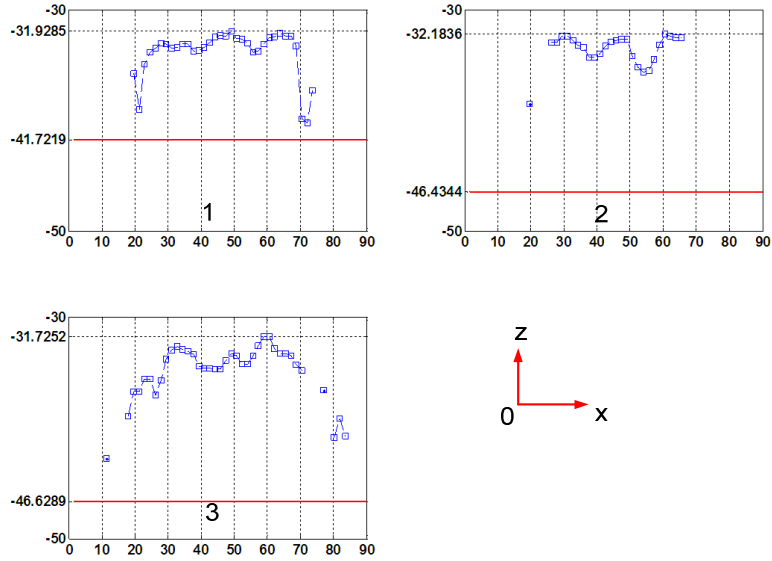
Şekil 4.7 ve 4.8 ile ilgili olarak belirtilmelidir ki; denklem (3.17)’de belirtilen şartı sağlamayan kısımlar “0” olarak alınmıştır. Ancak, “0” değeri desibel (dB) cinsinden hesaplanamaz çünkü matematikte (Adams 2003);  $x$  “0”a sağdan yaklaşırken  $x$ ’in limiti “ $-\infty$ ” olarak bulunur. Bu durumda, küçük bir değer olan  $-6.31 \times 10^{-6}$  değeri “0” olarak kabul edilmiş ve  $-52$  dB değeri spektrumda minimum değer olarak alınmıştır.

Yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra örüntüye ait 2-boyutlu profiller ise Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da görülmektedir. Her iki şekli birlikte düşündüğümüzde Şekil 4.8’de görülen sonuçlar burada da görülmektedir: 1 ve 2 numaralı grafikler beklenen sonuçlara sahipken 3 numaralı grafik beklenen sonuç vermemiştir. Bu da yine nesne kalınlığı arttıkça tespit zorlaştığını göstermektedir.



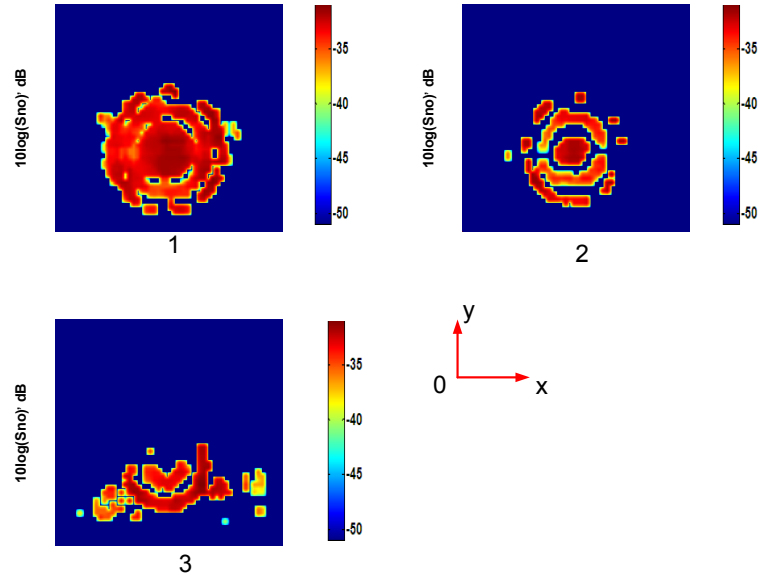


Şekil 4.9. Eşikleme ve Ortanca Filtre Uygulandıktan Sonra Örüntüye  $x=0$  İken  $y-z$  Düzleminde Bakıldığında Elde Edilen 2-Boyutlu Profil.



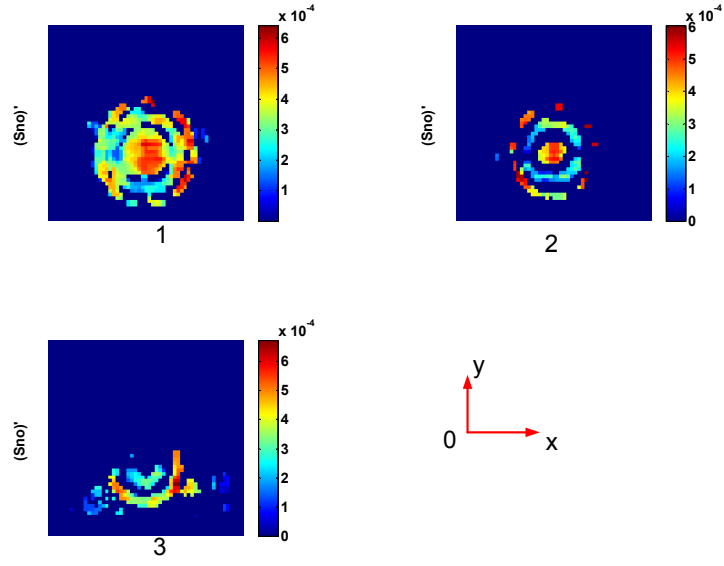
Şekil 4.10. Eşikleme İşlemi Uygulandıktan Sonra Örüntüye  $y=0$  İken  $x-z$  Düzleminde Bakıldığında Elde Edilen 2-Boyutlu Profil.

Pikseller arasında daha yumuşak bir geçiş ve dolayısıyla daha net resimlerin elde edildiği Şekil 4.11’de ise denklem (3.22)’nin uygulanmasından sonra elde edilen sonuçlar görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, 2-boyutlu profillerin yorumunda belirtildiği gibi, 1 ve 2 numaralı örüntüler arasındaki fark belirgin bir şekilde görülebilirken, gömülü cisim kalınlığının iyice arttığı 3 numaralı örüntüdeki farkı ayırt etmek ise biraz daha zorlaşmaktadır.

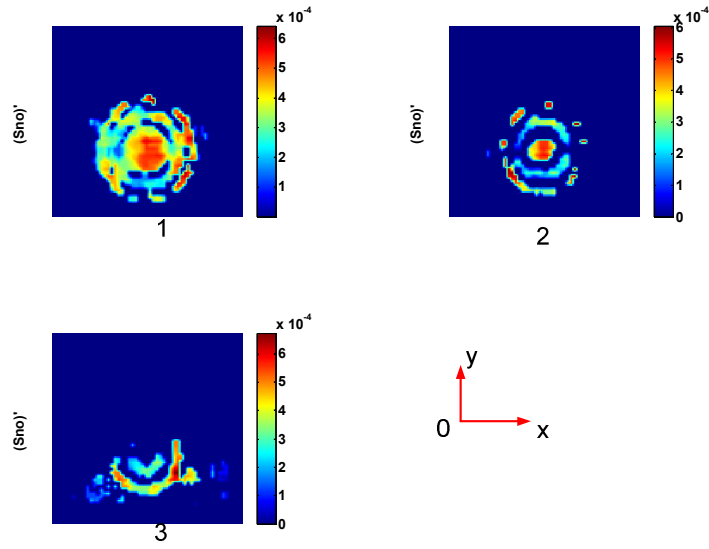


Şekil 4.11. Denklem (3.22a-d) 1 defa Uygulandıktan Sonra Elde Edilen Örüntüler.

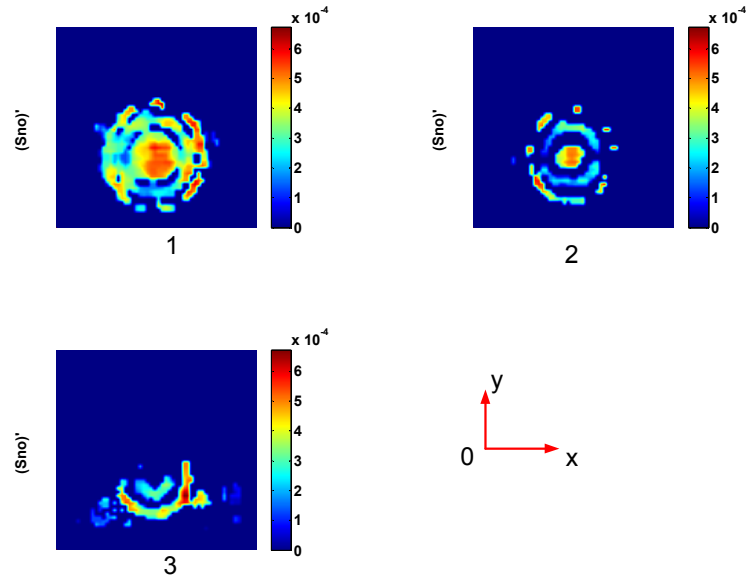
Şekil 4.8 ve Şekil 4.11 arasında çok fazla fark görülmemektedir çünkü söz konusu örüntüler logaritmik olarak çizilmiştir. Dolayısıyla, çok küçük ve çok büyük değerler arasındaki fark kapanmış ve denklem (3.22)’nin etkisi fazla görülmemiştir. Logaritmik çizim kullanılmadığı takdirde, (3.22)’nin etkisi daha belirgin olarak görülmektedir. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14’te logaritma kullanılmadan çizim yapılmıştır. Şekil 4.12’de denklem (4.22) kullanılmadan yapılmış çizim, Şekil 4.13’te denklem (3.22) 1 defa kullanılmış çizim ve Şekil 4.14’te denklem (3.22) 3 defa kullanılmış çizim yer almaktadır.



Şekil 4.12. Denklem (3.22a-d) Uygulanmadan Yapılan ve Logaritmik Olmayan Çizimler.

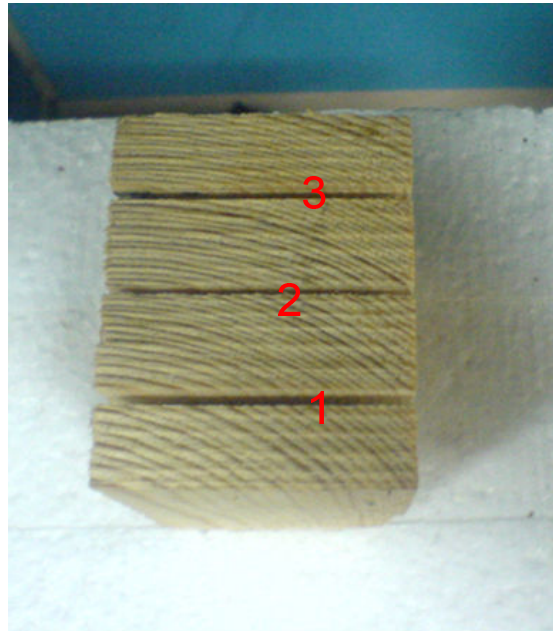


Şekil 4.13. Denklem (3.22a-d)'nin 1 defa Uygulandığı ve Logaritmik Olmayan Çizimler.



Şekil 4.14. Denklem (3.22a-d)'nin 3 defa Uygulandığı ve Logaritmik Olmayan Çizimler.

#### 4.2. Alan ve Gömülü Derinlik Arasındaki İlişki

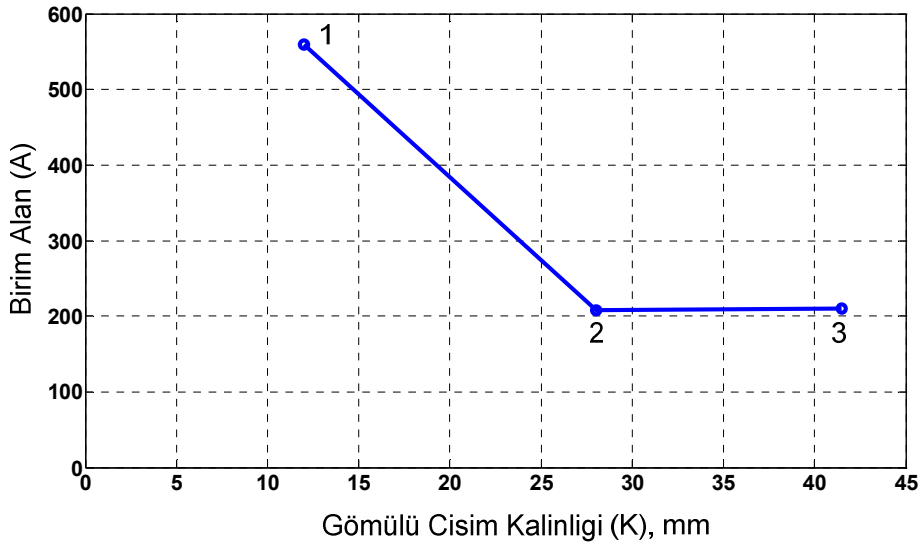


Şekil 4.15. Ahşap Nesne ve Çizelge-1'de Gösterilen Numaralanmış Yarıklar.

Şekil 4.15'te metalin konulduğu yarıklar sırasıyla numaralandırılmış ve metal her bir yarıktaki nesneye karşıdan bakıldığında metalin bulunduğu toplam derinlik Çizelge-1'de gösterilmiştir. Belirtilen derinlikler yarık boşlukları çıkarıldıktan sonraki değerlerdir ve milimetre (mm) cinsindedir.

**Çizelge 4.1. Yarık Boşlukları Çıkarıldıktan Sonra Metalin Nesne İçinde Bulunduğu Toplam Kalınlık (Derinlik)**

Yarık Numarası	Toplam Kalınlık (mm)
1	12
2	28
3	41.5



Şekil 4.16. Eşikleme ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Alanın Metalin Gömülü Olduğu Derinliğe Bağlı Değişimi

Şekil 4.16'da elde edilen grafik, Şekil 4.8'de elde edilen alanın metalin bulunduğu derinliğe bağlı değişimini göstermektedir. Grafikte görülen birim alan hesabı şu şekildedir: Daha önce bahsedildiği üzere  $90cm \times 90cm$ 'lik bir alanda tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.  $M$  ve  $N$  boyutları ise denklem (3.13) ve (3.15) vasıtasıyla  $M=N=55$  br (birim) olarak elde edilmiştir. Bu durumda taranan alan toplam  $55^2=3025$  br<sup>2</sup>

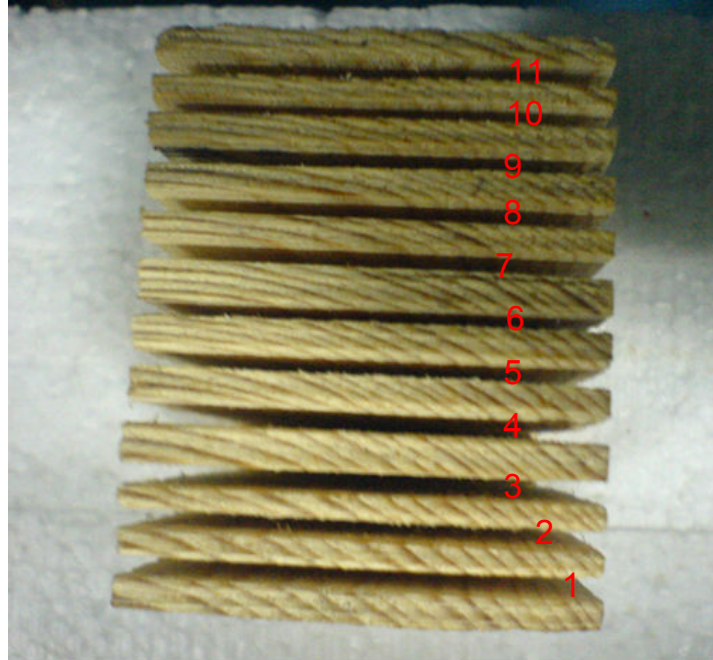
olmaktadır. Şekil 4.16’da ise eşikleme ve filtrelemeden işlemlerinden sonra elde edilen alanın  $br^2$  cinsinden değerleri yer almaktadır.

Sözü edilen derinliğe bağlı değişim MATLAB programında bulunan *eğri uydurma* (*curve fitting*) yardımıyla Denklem (4.7) ve (4.8)’de gösterildiği gibi formüle dökülmüştür.

$$A=c_1K^2+c_2K+c_3 \quad (4.7)$$

$$c_1=0.7487 \frac{br^2}{mm^2}, \quad c_2=-51.88 \frac{br^2}{mm} \text{ ve } c_3=1074 br^2 \quad (4.8)$$

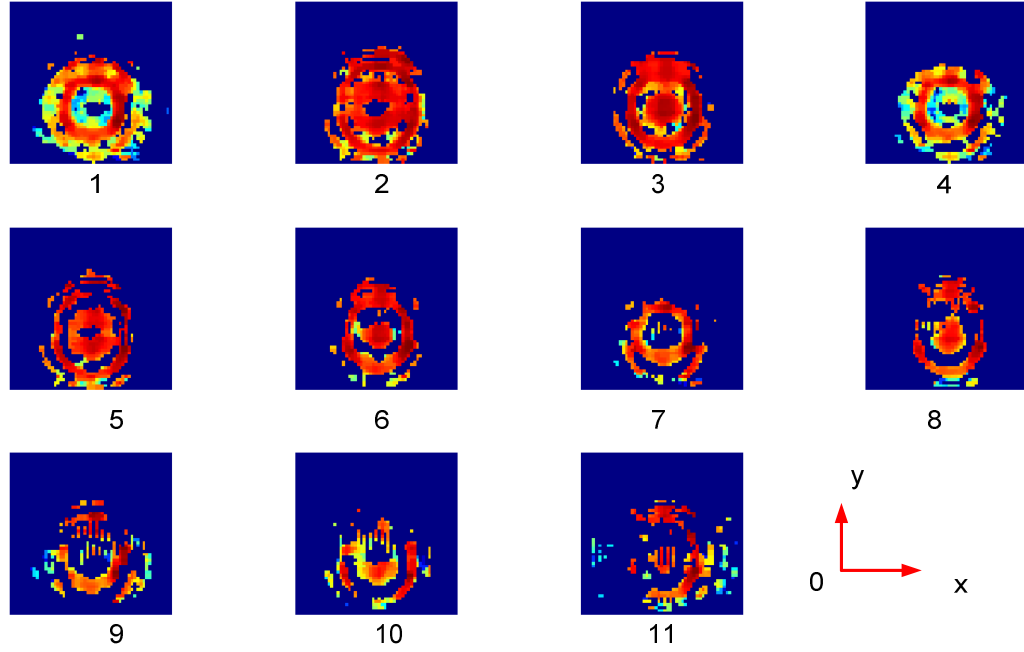
Daha sonra ise aynı ahşap nesneye 11 adet yarık açılmış ve denklem (4.7)’de elde edilen bağıntı test edilmiştir. Tarama işlemi çalışmanın daha önceki kısımlarında bahsedilen aynı prosedür uygulanarak yapılmıştır. Yani 11 adet tarama yapılmış, sonra arka-plan taraması yapılmış ve son olarak eşikleme ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır.



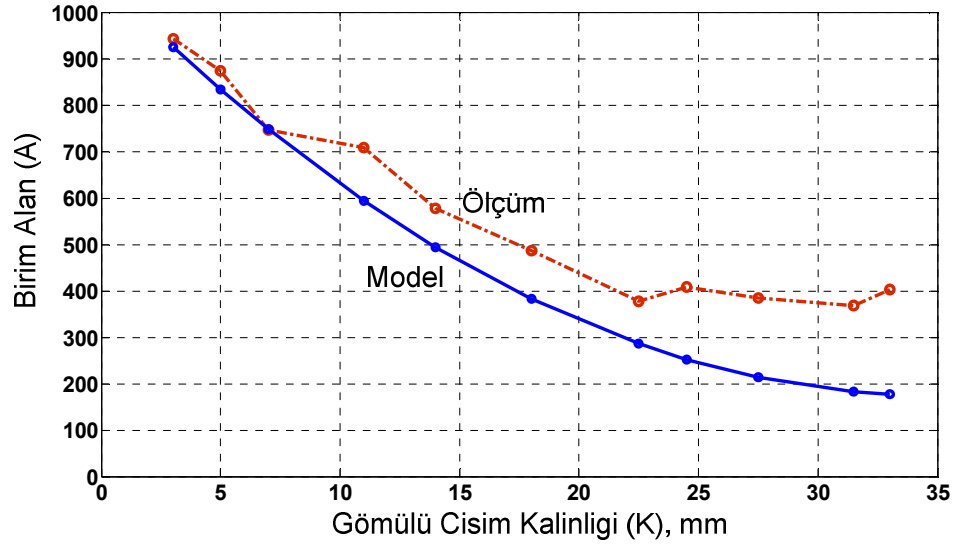
Şekil 4.17. 11 Yarıklı Ahşap Nesne ve Çizelge-2’de Gösterilen Numaralanmış Yarıklar

**Çizelge 4.2. Yarık Boşlukları Çıkarıldıktan Sonra Metalin Nesne İçinde  
Bulunduğu Toplam Kalınlık (2. Durum için)**

Yarık Numarasi	Toplam Kalınlık (mm)
1	3
2	5
3	7
4	11
5	14
6	18
7	22.5
8	24.5
9	27.5
10	31.5
11	33



Şekil 4.18. 11 Yarıklı Nesne için Eşikleme ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Örüntüler



Şekil 4.19. 11 Yarıklı Nesne için Eşikleme ve Filtrelemeden Sonra Elde Edilen Alanın Metalin Gömülü Olduğu Derinliğe Bağlı Değişimi

Şekil 4.17’de 11 yarıklı nesne ve yarıkların numaraları gösterilmiştir. Metalin her bir yarık içindeyken bulunduğu toplam derinlik (yarık boşlukları hariç) Çizelge-2’de verilmiştir. Eşikleme ve filtreleme işlemlerinden sonra elde edilen örüntüler Şekil 4.18’de görülmektedir. Yapılan yeni ölçümler sonrası elde edilen ölçüm sonuçları ve denklem (4.7)’de bulunan teorik formülün karşılaştırması ise Şekil 4.19’da gösterilmiştir. Teorik model ile ölçümlerin büyük oranda uyumlu olduğu şekilde görülmektedir. Derinlik miktarı küçük iken model ile ölçüm birbirine çok yakın olmakta, derinlik arttıkça aradaki farkın arttığı görülmektedir. Dolayısıyla, derinlik az iken model daha doğru sonuç vermektedir.

Diğer taraftan, derinlik 23 mm ve üzerine çıktıkça, alanın azalmaya devam etmesi beklenirken, ölçümlerde bu sonuç görülmemiş ve alanın sabit kaldığı hatta bazen arttığı görülmüştür. Modelin ölçümlerden en fazla saptığı kısım da 23 mm ve üzeridir. Bu durumda, nesne içinde metalin gömülü olduğu derinlik arttıkça metalin tespitinin zorlaştığı ve belli bir kalınlıktan sonra farklı derinlikler arasındaki farkın gözlemlenmesinin zorlaştığı yorumu yapılabilir.



## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bir ortam içinde bulunan ve içinde bulunduğu o ortamın özelliklerinden farklı bir özelliğe sahip bir cismin ya da nesnenin tespit edilmesi ya da ayrılabilmesi günümüzde askeri, medikal, ülke güvenliği ile ilgili alanlar ve daha birçok alanda uygulama sahası bulmaktadır. Yalıtkan bir ortam içinde bulunan metal nesnelerin ya da metalik özellik gösteren cisimlerin ayırt edilebilmesi de bu uygulama alanlarından bir tanesidir. Dolayısıyla, konu ile ilgili geliştirilmiş mevcut teknik ve yöntemlere ek olarak yeni tekniklerin geliştirilmesi elzem bir husus durumundadır.

Bu çalışmada, yalıtkan özellik gösteren ahşap bir kütük içinde gömülü vaziyette bulunan metallerin elektromanyetik dalgalara verdiği tepkiler ölçülerek yalıtkan içindeki metallerin tespitine yönelik yorum yapılmaya çalışılmıştır. Şekil 4.5'te birbirinden neredeyse farksız gibi görünen ve elektromanyetik tarama sonucu elde edilen örüntü resimlerinin, 3. kısımda önerilen metotların uygulanmasından sonra aradaki farkların belirginleştiği ve metalin olmadığı durumu referans olarak almak suretiyle metalin cisim içinde bulunduğu derinlik hakkında yorum yapılabilecek resimler elde edilmiştir. Daha sonra ise elde edilen kesit alanlarından yola çıkılarak alan ve gömülü derinlik arasında matematiksel bir ilişki kurulmuştur.

Elde edilen sonuçlar ele alındığında görülmüştür ki, metalin bulunduğu derinlik az yani metal yalıtkan kütük yüzeyine yakın ise aradaki fark daha kolay anlaşılabilir. Fakat metalin ölçüm probuna göre içinde bulunduğu derinlik arttıkça aradaki farkı gözlemlenmek ve metalin varlığı ya da derinlik mesafesi hakkında yorum yapabilmek zorlaşmaktadır. Metalin sadece varlığını değil aynı zamanda konumunu (Kurnaz vd 2012) ya da şeklini (Tantong 2007) tespit etmeye yönelik çalışmalar da düşünüldüğünde, gömülü cisim derinliğinin çalışmanın başarısında oldukça etkili olacağı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, önerilen yöntem başarılı sonuçlar vermektedir, ancak özellikle cismin gömülme derinliği arttıkça yöntemin başarısı düşmekte ve belli bir mesafeden sonra kaybolma eğilimine girmektedir. Ortamda bulunan nemin artması veya yansıtma oranı

açısından başka kayıp parametrelerinin araya girmesiyle bu durum iyice zorlaşacaktır. Bu sebeple, yöntem üzerinde gelecekte biraz daha çalışılmalı ve daha fazla geliştirilmesi gerekmektedir. Tezin önceki kısımlarında bahsedildiği üzere, ölçümler doğrudan uzak alanda yapılmıştır. Ölçümlerin yakın alanda yapılarak FFT algoritmalarının uygulanması ve uzak alan dönüşümlerinin yapılması sonucunda daha iyi sonuçların elde edilebileceği tahmin edilmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmanın, önerilen yöntemlerin ve derinlik tahmin formülünün gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutacağı ve gömülü cisim tespiti hususunda geliştirilecek olan yeni teknik ve yöntemlere ön ayak olacağı umulmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- ADAMS R.A.. 2003. Calculus: A Complete Course. Pearson Education Canada Inc., Toronto, ch.3.
- AMINEH R.K., RAVAN M., TREHAN A. and NIKOLOVA N.K. 2011. Near-Field Microwave Imaging Based on Aperture Raster Scanning With TEM Horn Antennas. Ieee Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 59, No. 3, March 2011. pp.928-940.
- ANONİM. AGILENT. 2004. Agilent Network Analyzer Basics [online].  
Web: [cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf](http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf)
- ANONİM. A-INFO. 2012. lb-90-15 8.2-12.4GHz Standard Gain Horn Antenna [online]. Web: [www.ainfoinc.com/en/pro\\_pdf/new\\_products/antenna/Standard%20Gain%20HoHo%20Antenna/tr\\_LB-90-15.pdf](http://www.ainfoinc.com/en/pro_pdf/new_products/antenna/Standard%20Gain%20HoHo%20Antenna/tr_LB-90-15.pdf)
- BALANIS C.A. 2005. Antenna Theory: Analysis and Design. John-Wiley Press, ch.17
- BLANCHET G. and CHARBIT M. 2006. Digital Signal and Image Processing Using MATLAB. Hermes Science Europe Ltd. 2006.
- BURKHOLDER R.J., CHANG P., BAYRAM Y., MARHEFKA R.J. and VOLAKIS J.L. 2007. Model-Based Near Field Imaging of Objects inside a Room. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. June 9-15 2007, pp. 1469-1472.
- FEAR E.C., SILL J. and STUCHLY M.A. 2003. Experimental Feasibility Study of Confocal Microwave Imaging for Breast Tumor Detection. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.51, No.3, Mar. 2011.

- GONZALEZ R.C., WOODS R.E. and EDDINS, S.L. 2003. Digital Image Processing Using MATLAB. John Wiley & Sons. 2003.
- GREGSON S.F., DUPUY J., PARİNİ C.G., NEWELL A.C. and HİNDMAN G.E. 2011. Application of Mathematical Absorber Reflection Suppression to Far-Field Antenna Measurements. 2011 Loughborough Antennas & Propagation Conference. pp.1-4.
- HOLLOWAY C.L., DELYSER R.R., GERMAN R.F., MCKENNA P. and KANDA M. 1997. Comparison of Electromagnetic Absorber Used in Anechoic and Semi-Anechoic Chambers for Emissions and Immunity Testing of Digital Devices, IEEE Transactions On Electromagnetic Compatibility, Vol. 39, No. 1, Feb. 1997
- JERRY A.J. 1977. The Shannon Sampling Theorem: Its various Extensions and Applications: A tutorial review. Proceedings of IEEE. Vol.65 iss.11, pp.1565-1596.
- KURNAZ O., HELHEL S. and OZEN S. 2012. Embedded Object Detection by Using Planar Antenna Measurement System, PIERS Progress in Electromagnetic Research Symposium, Moscow, Russia, 19-23 August 2012.
- MAHAFZA B.R., 2005. Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB. Taylor and Francis Group, ch.10
- MARR R.A., LAMMERS U.H.W., HANSEN T.B., TANIGAWA T.J. and MCGAHAN R.V. 2006. Bistatic RCS Calculations from Cylindrical Near-Field Measurements-Part II: Experiments. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol.54, No.12, Dec. 2006, pp.3857-3864
- OZTURK Y. and USTUNER F. 2010. Düşük Maliyetli Bir Düzlemsel Yakın Alan

Anten Ölçüm Sisteminin Tasarlanması ve Gerçeklenmesi, V. URSI Türkiye Bilimsel Kongresi, Güzelyurt, KKTC, 2010, pp. 223-226.

POZAR D.M. 2004. Microwave Engineering. John Wiley & Sons, 2004.

RIAD T. and JING Q. 2010. A Nonlinear S-parameters Behavioral Model for RF LNAs. 2nd Asia Symposium on Quality Electronic Design. pp.106-111.

SAMIİ Y.M., WILLIAMS L.I., and YACCARINO R.G. 1995. The UCLA Bi-polar Planar-Near-Field-Antenna-Measurment and Diagnostic Range. IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol.37,No.6, Dec.1995.

SUN C.H. LI C.L., CHIU C.C., LIN C.J., 2009. Electromagnetic Imaging for Inhomogeneous Dielectric Cylinder Buried in a Slab Medium. Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 12, No. 1, pp. 67-72.

TANTONG S. 2007. "Near Field Microwave Imaging Techniques for Embedded Object Detection and Shape Reconstruction". M. Sc. Thesis, Faculty of the Graduate School, University of Missouri-Columbia, August 2007.

TANTONG S., CAMPS-RAGA B. KIRAWANICH P. and ISLAM N.E.. 2007. Improved Method for Embedded Object Detection and Reconstruction Through Near-Field Pulse Imaging Techniques. IEEE 34th International Conference on Plasma Science, 2007. ICOPS 2007. June 17-22, pp.452

VAUPEL T. and EIBERT T.F. 2006. Comparison and Application of Near-Field ISAR Imaging Techniques for Far-Field Radar Cross Section Determination. IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol.54,No.1, Jan.2006.

ZHONG W.J., CHUANG-MING T., LEI X and YAN G.. 2011. A Novel Near Field

Imaging Approach for Through-wall Imaging. 2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference, 26-30 July 2011, pp.164-167.

## 7. EKLER

### EK1- MATLAB KODLARI

```
clear all; clc; files=dir('*.dat'); %%%%% dosya
isimlerini listeliyor
liste=[files(1).name files(2).name files(3).name files(4).name
files(5).name];
string=num2str(liste);
filenumber=4;
farklifrek=0;
largestfreq=8.9;
esikdegeri=5;
%[sutunmaks, sutunmin, toplam, Ndata]=mainfunction(string, filenumber, fark
li_frek);
[boyut
sifir]=mainfunction(string, filenumber, farklifrek, largestfreq, esikdeger
i);
```

```
function [M
sifir]=mainfunction(string, filenumber, farklifrek, largestfreq, esikdeger
i)
```

```
%%%%%%%%% her text dosyasini oku ve magnitude matriksinin içine yaz.
MAGNITUDE (m x filenumber) olan bir matriks ve "magnitude" ifade
ediyor.
%%%%%%%%% ardından her dosyanin maks, min ve toplam sinyal değerlerini
bul.
imejiner=sqrt(-1);
[temp1 temp2]=textread(string(1:11), '%f %f', 'headerlines', 6);
[m, n]=size(temp1); M=sqrt(m);
maksimum=zeros(1, filenumber); minimum=zeros(1, filenumber);
toplam=zeros(1, filenumber); ortalama=zeros(1, filenumber);
maksimumref=zeros(1, filenumber); minimumref=zeros(1, filenumber);
toplamref=zeros(1, filenumber); ortalamaref=zeros(1, filenumber);
maksimum2=zeros(1, filenumber); minimum2=zeros(1, filenumber);
toplam2=zeros(1, filenumber); ortalama2=zeros(1, filenumber);
real1=zeros(m, filenumber); imaginer1=zeros(m, filenumber);
real2=zeros(m, filenumber); imaginer2=zeros(m, filenumber);
magnitude=zeros(m, filenumber); refmagnitude=zeros(m, filenumber);
fore=zeros(M, M, filenumber); back=zeros(M, M, filenumber);
fark=zeros(M, M, filenumber);
for fileno=1:filenumber
    [real1 imaginer1]=textread(string(1+11*(fileno-1):11*fileno), '%f
%f', 'headerlines', 6);
    if farklifrek==1
        [real2 imaginer2]=textread(string(1+11*(filenumber+fileno-
1):11*(filenumber+fileno)), '%f %f', 'headerlines', 6);
    else
        [real2
imaginer2]=textread(string(1+11*(filenumber):11*(filenumber+1)), '%f
%f', 'headerlines', 6);
    end
    magnitude(1:m, fileno)=abs(real1(1:m)+imejiner*(imaginer1(1:m)));
```

```

refmagnitudo(1:m,fileno)=abs(real2(1:m)+imejiner*(imaginer2(1:m)));
    fore(:, :, fileno)=matriksyap(magnitudo, fileno);
%%%%%% fore, magnitudo'un matriks haline getirilmip hali
    back(:, :, fileno)=matriksyap(refmagnitudo, fileno);
%%%%%% back, refmagnitudo'un matriks haline getirilmip hali

[maksimum(fileno), minimum(fileno), toplam(fileno), ortalama(fileno)]=maksminbul(fore(:, :, fileno));

[maksimumref(fileno), minimumref(fileno), toplamref(fileno), ortalamarref(
fileno)]=maksminbul(back(:, :, fileno));
end
for fileno=1:filenumber

fark(:, :, fileno)=subtraction(fore(:, :, fileno), back(:, :, fileno), ortalama
a(fileno));

[maksimum2(fileno), minimum2(fileno), toplam2(fileno), ortalama2(fileno)]
=maksminbul(fark(:, :, fileno));
end

belgeyeyaz(filenumber, string, maksimum, minimum, toplam, ortalama, maksimum
2, minimum2, toplam2, ortalama2);
maksdeger=max(maksimum);    mindeger=min(minimum);    %%%%%%%%% bütun
dosyalardaki FORE değerlerin maks ve min değerleri
maksdegerref=max(maksimumref);    mindegerref=min(minimumref);
%%%%%%%% bütun dosyalardaki BACK değerlerin maks ve min değerleri
maksdeger2=max(maksimum2);    mindeger2=min(minimum2);    %%%%%%%%% bütun
FARK verilerinin maks ve min değerleri

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 3d çizimleri
figure('Name', '3d signal level', 'NumberTitle', 'on');
for fileno=1:filenumber

surf3d(string, fileno, filenumber, maksdeger, mindeger, fore(:, :, fileno));
%title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    xlabel('|S21|');
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 2d yandan profili, %%%% below=0 ise
yandan çizim, 1 ise alttan çizim
figure('Name', '2d left profile', 'NumberTitle', 'on');
for fileno=1:filenumber
    below=0;

plot2d(fileno, filenumber, fore(:, :, fileno), below, maksdeger, mindeger, ort
alama(fileno));    % title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    ylabel('10log|S21|, dB');
    xlabel('y axis, cm')
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 2d yandan profili, %%%% below=0 ise
yandan çizim, 1 ise alttan çizim
figure('Name', '2d left ALL profiles', 'NumberTitle', 'on');
for fileno=1:filenumber
    below=0;

```



```

plot2dd(fileno,filenumber,fore(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger,or
talama(fileno)); % title('mavi onde, kıymızı ortada, yeşil
arkada');
    ylabel('10log|S21|, dB');
    xlabel('y axis, cm')
end
%
%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 2d alttan profili
below=1; figure('Name','2d bottom
profile','NumberTitle','on');
for fileno=1:filenumber

plot2d(fileno,filenumber,fore(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger,ort
alama(fileno)); %title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    ylabel('10log|S21|, dB');
    xlabel('x axis, cm')
end

figure('Name','2d bottom ALL profiles','NumberTitle','on');
for fileno=1:filenumber
    below=1;

plot2dd(fileno,filenumber,fore(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger,or
talama(fileno)); % title('mavi onde, kıymızı ortada, yeşil
arkada');
    ylabel('10log|S21|');
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin resim olarak çizimi
figure('Name','foreground image','NumberTitle','on');
for fileno=1:filenumber
    resimciz(fileno,maksdeger,mindeger,filenumber,fore(:, :, fileno));
% title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    ylabel('10log(S21), dB','fontsize',15,'fontweight','b')
end
%
%%%%%%%%%%%%%% background çıkarıldıktan sonra sinyal seviyelerinin resim
olarak çizimi
figure('Name','foreground-background','NumberTitle','on');
for fileno=1:(filenumber-1)
    resimciz(fileno,maksdeger2,mindeger2,filenumber-
1,fark(:, :, fileno));
    ylabel('10log(Sno)^, dB','fontsize',15,'fontweight','b')
    if farklifrek==1 title((string(1+11*(fileno-1):11*fileno-
4)), 'fontsize',15,'fontweight','b');
    else title((string(1+11*(fileno-1):11*fileno-
4)), 'fontsize',15,'fontweight','b');
    end
    %%%xlabel({'esikdegeri=',esikdegeri});
    xlabel({'\rightarrow','x
direction'}, 'fontsize',15,'fontweight','b');
    ylabel({'y
direction','\rightarrow'}, 'fontsize',15,'fontweight','b');
end

for fileno=1:filenumber
    sifir(fileno)=0;

```

```

    for p=1:M    for q=1:M
        if fark(p,q,fileno)==0    sifir(fileno)=sifir(fileno)+1;
        end
    end
end
end
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 3d çizimleri
figure('Name','foreground-background','NumberTitle','on');
for fileno=1:(filenumber-1)
    surf3d(string,fileno,filenumber-
1,maksdeger2,mindeger2,fark(:, :, fileno));    %
title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    %%%%%%%%%%%%%%%xlabel({'esikdegeri=',esikdegeri});
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 2d yandan profili, %%%% below=0 ise
yandan çizim, 1 ise alttan çizim
figure('Name','2d left profile [FOREGROUND-
BACKGROUND]','NumberTitle','on');
for fileno=1:(filenumber-1)
    below=0;
    plot2d(fileno,filenumber-
1,fark(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger2,ortalama2(fileno));
%title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    ylabel('10log(Sn), dB')
    %%%%%%%%%%%%%%%xlabel({'esikdegeri=',esikdegeri});
end

figure('Name','2d left ALL profiles [FOREGROUND-
BACKGROUND]','NumberTitle','on');
for fileno=1:filenumber
    below=0;

plot2dd(fileno,filenumber,fore(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger,or
talama(fileno));    % title('mavi onde, kırmızı ortada, yeşil
arkada');
end

%%%%%%%%%%%%%% sinyal seviyelerinin 2d alttan profili
below=1;    figure('Name','2d bottom profile [FOREGROUND-
BACKGROUND]','NumberTitle','on');
for fileno=1:(filenumber-1)
    plot2d(fileno,filenumber-
1,fark(:, :, fileno),below,maksdeger,mindeger2,ortalama2(fileno));    %
title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-4));
    ylabel('10log(Sn), dB')
    %%%%%%%%%%%%%%%xlabel({'esikdegeri=',esikdegeri});
end

figure('Name','2d bottom ALL profiles [FOREGROUND-
BACKGROUND]','NumberTitle','on');
for fileno=1:filenumber
    below=1;

[ort]=plot2dd(fileno,filenumber,fore(:, :, fileno),below,maksdeger,minde
ger,ortalama(fileno));    % title('mavi onde, kırmızı ortada, yeşil
arkada');

```

```

end
    set(gca,'YTick',[10*log10(ort(1)) 10*log10(ort(2))
10*log10(ort(3))],'fontsize',15,'fontweight','b');    grid;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

function subtract=subtraction(foreground,background,ortalama)
thresh=ortalama/esikdegeri;
[m,n]=size(foreground);
farkk=abs(double(foreground)-double(background));
subtract(1:m,1:n)=0;
for i=1:m        for j=1:n        %if ((fark(i,j) > 0.5*back(i,j)))
%if ((fore(i,j) > 0.5*back(i,j)) && ((fore(i,j) < 1.1*back(i,j)))
        if ((farkk(i,j) > thresh)
            subtract(i,j)=foreground(i,j);
        else
            subtract(i,j)=0;
        end
    end
end
    medyan=medfilt2(subtract);
    subtract=medyan;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function r3=resimciz(sutun,maksdeger,mindeger,filenumber,resim)
    B=M;
r1=resimbuyut(resim,B);        [b1,b2]=size(r1);    B=b1;
r2=resimbuyut(r1,B);        [b1,b2]=size(r2);    B=b1;
r3=resimbuyut(r2,B);        %%%% resim
4x4x4=64 defa minimum bilgi kaybıyla büyütülüyor
r3(1,2*B)=mindeger;        r3(2*B,1)=maksdeger;        %%%%
ölçeklendirme amacıyla maksimum ve minimum nokta ekleniyor
subcizim(sutun,filenumber);
[boyut MOA]=cizimverileri(M,largestfreq);
GA=10;
PSF = fspecial('motion', 21, 11);
r4= imfilter(r3, PSF, 'conv', 'circular');
r5=deconvwnr(r4, PSF, 0);
imshow(10*log10(r1),[]); colormap(jet);
%colorbar('fontsize',15,'fontweight','b');
colorbar('YTick',[-80 -10]);

xlim([0 boyut]);    set(gca,'XTick',0:GA:boyut);    grid;
ylim([0 boyut]);    set(gca,'XTick',0:GA:boyut);    grid;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function datano=surf3d(string,fileno,filenumber,maksdeger,mindeger,fx)
temp=zeros(M);
for i=1:M        for j=1:M        %%%%%%%%% 3d görünüm ve resim
görünümleri uyupmadıöy için

```

```

        temp(i,j)=fx(i,j); %%%%%%%%% surf'un çizdiği
resmin satırlarını yer değiştiriyoruz.
    end %%%%%%%%% ( fx(1,j)=fx(M,j)
..... gibi )
end
for i=1:M      for j=1:M
    fx(i,j)=temp(M-(i-1),j);
end
end
fx(M,M)=maksdeger;    fx(1,1)=mindeger; %%%%%%%%% renklendirme
amacıyla maksimum ve minimum nokta ekleniyor
subcizim(fileno,filenumber);
[boyut MOA]=cizimverileri(M,largestfreq);
cizimaraligi=boyut/10;
X=MOA*(1:M);    Y=MOA*(1:M);
surf(X,Y,10*log10(fx)); % title(string(1+11*(fileno-1):11*fileno-
4)); %%%%%%%%% surf komutu ile sinyal genliği üç boyutlu çiziliyor
xlim([0 boyut]);    set(gca,'XTick',0:(boyut/cizimaraligi):boyut);
grid;
ylim([0 boyut]);    set(gca,'YTick',0:(boyut/cizimaraligi):boyut);
grid;
zlim([10*log10(mindeger) 10*log10(maksdeger)]);
[a,b]=find(fx);    plot3(a,b,absolute);
datano=M;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function [taramaboyutu MOA]=cizimverileri(M,largestfreq)
taramaboyutu=round((15/largestfreq)*(M-1));
    for i=1:2
        if mod(taramaboyutu,5)~=0
            taramaboyutu=taramaboyutu+1;
        end
    end
    for i=1:4
        if mod(taramaboyutu,5)~=0
            taramaboyutu=taramaboyutu-1;
        end
    end
    MOA=taramaboyutu/(M); %%%%%%%%% MOA=Modified Olcum
Aralıgı, grafik üstünde sınırları belirlemek için tanımlandı.
    %%%%%%%%% eksende M kadar "data
point" var fakat TARANAN ALAN BOYUTU = M*MOA
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
function
[]=plot2d(sutun,filenumber,matriks,below,maksdeger,mindeger,ortalama)
    sutmaks=zeros(1,M);    sutmin=zeros(1,M);
for i=1:M
    if below==1    sutmaks(i)=max(matriks(:,i));
    sutmin(i)=min(matriks(:,i));
    else    sutmaks(i)=max(matriks(i,:));
    sutmin(i)=min(matriks(i,:));
    end
end
end

```

```

[boyut MOA]=cizimverileri(M,largestfreq);
GA=10; %%%%%%%%%%%%%%%%% GA=gosterim araliği
CA=boyut/GA; %%%%%%%%%%%%%%%%% CA=cizimde gosterilen nokta
sayýsý

horizontal=MOA*(1:M); % subcizim(sutun,filenumber);
ort(1:M)=ortalama;
plot(horizontal,10*log10(sutmaks),'--bs','LineWidth',1); % hold
on;
plot(horizontal,sutmin,'b','LineWidth',1.5);
plot(horizontal,10*log10(ort),'r','LineWidth',1.5);
ylim([-40 10*log10(maksdeger)]); % mindeger;
ylim([-50 -30]);

if below==1 xlim([0 boyut]); % set(gca,'XTick',0:GA:boyut); % grid;
else xlim([0 boyut]); % set(gca,'XTick',0:GA:boyut); % grid;

set(gca,'XTickLabel',{GA*CA,GA*(CA-1),GA*(CA-2),GA*(CA-3),GA*(CA-
4),GA*(CA-5),GA*(CA-6),GA*(CA-7),GA*(CA-8),GA*(CA-9),GA*(CA-
10),GA*(CA-11),GA*(CA-12)},'fontsize',12,'fontweight','b');
end
[min(sutmin) ortalama max(sutmaks)];
set(gca,'YTick',[-50 10*log10(ortalama) 10*log10(max(sutmaks)) -
30],'fontsize',15,'fontweight','b');
end

function
[ort]=plot2dd(sutun,filenumber,matriks,below,maksdeger,mindeger,ortala
ma)
sutmaks=zeros(1,M); % sutmin=zeros(1,M);
for i=1:M
if below==1 % sutmaks(i)=max(matriks(:,i));
sutmaks(i)=max(matriks(:,i));
else % sutmaks(i)=max(matriks(i,:));
sutmaks(i)=max(matriks(i,:));
end
end

[boyut MOA]=cizimverileri(M,largestfreq);
GA=10; %%%%%%%%%%%%%%%%% GA=gosterim araliği
CA=boyut/GA; %%%%%%%%%%%%%%%%% CA=cizimde gosterilen nokta
sayýsý

horizontal=MOA*(1:M); % subcizim(sutun,filenumber);
ort_maks(1:M)=mean(sutmaks);
% if fileno==1 plot(horizontal,sutmaks,'b','LineWidth',1.5); % hold
on; % end
% if fileno==2 plot(horizontal,sutmaks,'r','LineWidth',1.5); end
% if fileno==3 plot(horizontal,sutmaks,'g','LineWidth',1.5); end
plot(horizontal,sutmin,'b','LineWidth',1.5);
if sutun==1 plot(horizontal,10*log10(ort_maks),'b','LineWidth',1.5);
hold on; % ort(fileno)=ort_maks; % end
if sutun==2 plot(horizontal,10*log10(ort_maks),'r','LineWidth',1.5);
ort(fileno)=ort_maks; % end
if sutun==3 plot(horizontal,10*log10(ort_maks),'g','LineWidth',1.5);
ort(fileno)=ort_maks; % end

```

```

ylim([-34 -33]);      mindeger;

if below==1  xlim([0 boyut]);      set(gca,'XTick',0:GA:boyut);      grid;
else        xlim([0 boyut]);      set(gca,'XTick',0:GA:boyut);      grid;

set(gca,'XTickLabel',{GA*CA,GA*(CA-1),GA*(CA-2),GA*(CA-3),GA*(CA-4),GA*(CA-5),GA*(CA-6),GA*(CA-7),GA*(CA-8),GA*(CA-9),GA*(CA-10),GA*(CA-11),GA*(CA-12)},'fontsize',12,'fontweight','b');
end
[min(sutmin) ortalama max(sutmaks)];

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% IMAGE ENHANCEMENT: resmin piksel boyutlarýný 2'per
kat artýrýr ve yeni piksellerin
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% deđerlerini kompu deđerlerin ortalamasý olarak
alýr
function b=resimbuyut(a,m)
n=m;      b=zeros(2*m);
for i=1:(m-1)      for j=1:(n-1)
b(2*i-1,2*j)=(a(i,j)+a(i,j+1))/2;
b(2*i,2*j)=(a(i,j)+a(i,j+1)+a(i+1,j)+a(i+1,j+1))/4;
b(2*i-1,2*j-1)=a(i,j);      b(2*i,2*j-1)=(a(i+1,j)+a(i,j))/2;
end
end
for sat=1:m      b(2*sat-1,2*m-1)=a(sat,m);
b(2*m-1,2*sat-1)=a(m,sat);      end
for sat=1:(m-1) b(2*sat,2*m-1)=(b(2*sat-1,2*m-1)+b(2*sat+1,2*m-1))/2;
b(2*m-1,2*sat)=(b(2*m-1,2*sat-1)+b(2*m-1,2*sat+1))/2;      end
b(2*m,:) = b(2*m-1,:);      b(:,2*m) = b(:,2*m-1);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% maks, min ve toplam bulma fonksiyonu
function [maks,mini,toplam,ortalama]=maksminbul(degerler)
toplam=0;
for i=1:M      for j=1:M
toplam=toplam+degerler(i,j);
end
ortalama=mean(mean(degerler));      maks=max(max(degerler));
mini=min(min(degerler));
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% vektör halindeki veriyi matris haline getirir, SAG (???)
alt köpeden baýlayarak satýr satýr yazar
function fx=matriksyap(matriks,sutun)
format long;      [m,n]=size(matriks);      M=sqrt(m);      N=M;
fx=zeros(M);
for i=1:M      for j=1:N
fx(M-(i-1),j)=matriks((i-1)*M+j,sutun);
end
end
for i=1:M      for j=1:N

```

```

        temp(i,M-(j-1))=fx(i,j);
    end
end
for i=1:M      for j=1:N
    fx(i,j)=temp(i,j);
end
end
end
end

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%% grafikleri SUBPLOT ile aynı figure içinde çizdirme programı

```

```

function plot=subcizim(sutun,filenumber)
if filenumber<2      subplot(1,1,sutun);      end
if 1<filenumber && filenumber<3      subplot(1,2,sutun);      end
if 2<filenumber && filenumber<5      subplot(2,2,sutun);      end
if 4<filenumber && filenumber<7      subplot(2,3,sutun);      end
if 6<filenumber && filenumber<10     subplot(3,3,sutun);      end
if 9<filenumber && filenumber<13     subplot(3,4,sutun);      end
if 12<filenumber && filenumber<16    subplot(3,5,sutun);      end
end

```

```

end

```

## ÖZGEÇMİŞ

Osman KURNAZ 1985 yılında Isparta'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Isparta'da tamamladı. 2003 yılında girdiği Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2008 yılında mezun oldu. Selçuk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde başladığı yüksek lisans çalışmasına 2010 yılından itibaren Akdeniz Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir. Ayrıca, aynı tarihten itibaren Akdeniz Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.