

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI
OLUŞTURULMASI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan KAYA

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Ocak 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI
OLUŞTURULMASI VE UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Serkan KAYA
(504091381)**

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Telekomünikasyon Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selçuk PAKER

Ocak 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504091381 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serkan KAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MİKRODALGA DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI OLUŞTURULMASI VE UYGULAMASI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Selçuk PAKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Serhat ŞEKER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Cevdet IŞIK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **19 Aralık 2011**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2012**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen yüksek lisans tez danışmanım, değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Selçuk PAKER'e teşekkürlerimi sunarım. Bana bugüne kadar her konuda yardımcı olan, beni destekleyen, her zaman yanımda olduklarını bildiğim aileme minnettarım.

Ayrıca yüksek lisans süresi boyunca verdikleri destekten dolayı şirketim TÜBİTAK UEKAE'ye, beni bu tezdeki konu hakkında araştırma yapmaya yöneltten değerli yöneticim İbrahim ÖLÇER'e ve bu çalışmada her türlü yardım sağlayan çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Aralık 2011

Serkan KAYA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Konu	2
1.3 Literatür Araştırması	4
2. MİKRODALGA GÖRÜNTÜLEME.....	11
2.1 Mikrodalga Görüntüleme Yöntemi	12
2.2 Dielektrik Katsayısının Mikrodalga Görüntülemeye Etkisi.....	14
3. MİKRODALGA GÖRÜNTÜLEME BENZETİM ÇALIŞMALARI	19
3.1 Vivaldi Antenler	19
3.2 CST Programı ile Benzetim Çalışmaları.....	21
3.3 Görüntülenecek Alanın Benzetim Programında Modellenmesi.....	24
3.4 Mikrodalga Duvar içi Görüntüleme Yöntemi	26
3.5 Mikrodalga Duvar içi Görüntüleme Kalibrasyon Yöntemi.....	31
3.6 Fourier Görüntüleme Yöntemi	32
3.7 IFFT Görüntüleme Algoritması	32
3.8 Fark Görüntüleme Algoritması Kullanılarak Cisim Tespitinin İyileştirilmesi	38
3.9 Duvar İçi Mikrodalga Görüntüleme Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları	45
4. DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ DONANIM TASARIMI.....	51
4.1 Görüntüleme Sisteminin Donanım Bileşenleri	52
4.1.1 PXIe-1078 taşıyıcı şase.....	52
4.1.2 PXIe-8130 denetleyici.....	53
4.1.3 PXIe-5663 RF frekans düşürücü.....	54
4.1.4 PXIe-5622 IF sayısallaştırıcı.....	55
4.2 Yazılım Geliştirme Ortamı ve Dili.....	55
4.3 S11 Parametresi Ölçüm Sistemi Gerçeklemesi	56
4.4 Donanımsal Sistem Ölçüm Sonuçları	57
5. SONUÇ.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ.....	67

KISALTMALAR

A/D	: Analog/Dijital
API	: Application Programming Interface
CST	: Computer Simulation Technology
CT	: Computed Tomography
CVI	: C For Virtual Instrumentation
DBIM	: Distorted Born Iterative Method
EM	: Electromagnetic
FBP	: Filtered Back Projection
GHz	: Giga Hertz
IF	: Intermediate Frequency
IFFT	: Inverse Fast Fourier Transformation
KHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
MRT	: Magnetic Resonance Tomography
NI	: National Instruments
PCB	: Printed Circuit Board
PCI	: Peripheral Component Interconnect
PXI	: PCI Extensions For Instrumentation
PXIe	: PXI Express
RF	: Radio Frequency
TE	: Transverse Electric
TR	: Transmitter Receiver
VNA	: Vector Network Analyzer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Farklı malzemelerin hava ortamına göre IFFT sonuçları.....	41
Çizelge 3.2 : Fark algoritması ile farklı malzemelerin sonuçları.	41
Çizelge 3.3 : Farklı malzemelerin hava ortamına göre IFFT sonuçları.....	42
Çizelge 3.4 : Fark algoritması ile farklı malzemelerin sonuçları.	42

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Mikrodalga görüntüleme kullanılan örnek bir anten dizisi [1].....	5
Şekil 1.2 : Mikrodalga görüntüleme probleminin gösterimi [3].....	7
Şekil 1.3 : Mikrodalga görüntüleme ve X ışını karşılaştırması [7].....	8
Şekil 2.1 : Yer altı görüntüleme radarı.	11
Şekil 2.2 : Yer altı radarı görüntü örnekleri [9].	12
Şekil 2.3 : Mikrodalga görüntüleme örnekleri [1].	13
Şekil 2.4 : Aktif mikrodalga görüntüleme sistemi [5].	13
Şekil 2.5 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 genlik grafiği.	15
Şekil 2.6 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 faz grafiği.	15
Şekil 2.7 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 genlik grafiği.	16
Şekil 2.8 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 faz grafiği.	16
Şekil 2.9 : Elektromanyetik dalganın farklı cisimler içinde yayılımı.	17
Şekil 3.1 : Vivaldi anten örnekleri [10].	19
Şekil 3.2 : Sistemde kullanılan Vivaldi antenin ön ve arka görüntüsü.	20
Şekil 3.3 : Sistemde kullanılan Vivaldi antenin S11 parametresi ölçüm sonucu.	20
Şekil 3.4 : 4-8 GHz Vivaldi antenin 3 boyutlu benzetim görüntüsü.	22
Şekil 3.5 : Vivaldi antenin ışıma örgüsü.	22
Şekil 3.6 : CST programı ile taranan alanın modellenmesi.	23
Şekil 3.7 : Malzeme özelliklerinin benzetim ortamına eklenmesi.	24
Şekil 3.8 : Farklı ortamlarda elektromanyetik dalganın yayılımı.	25
Şekil 3.9 : VNA S parametresi ölçüm düzeneği.	26
Şekil 3.10 : Taranan alanın bölümlenmiş şekilde üstten görünüşü.	27
Şekil 3.11 : Tarama sisteminin gösterimi.	27
Şekil 3.12 : Anten ile alınan 5-6 GHz arası 32 nokta S11 parametre ölçümü.	28
Şekil 3.13 : 630 nokta ölçümlü görüntü sonucu.	30
Şekil 3.14 : 16 nokta ölçümlü görüntü sonucu.	30
Şekil 3.15 : IFFT sonuç matrisinin gösterimi.	33
Şekil 3.16 : IFFT sonucu ham görüntü gri skala gösterimi.	34
Şekil 3.17 : IFFT sonucu ham görüntü renkli skala gösterimi.	34
Şekil 3.18 : Görüntü algoritması akış diyagramı.	35
Şekil 3.19 : Taranan alanın altındaki cisimlerin resmi.	35
Şekil 3.20 : İlk IFFT sonucu ham görüntü.	36
Şekil 3.21 : Ham görüntünün 16 kez interpolasyon sonucu görüntüsü.	36
Şekil 3.22 : IFFT ikinci sonuç görüntüsü.	37
Şekil 3.23 : Farklı IFFT sonuç görüntüsü.	37
Şekil 3.24 : Fark görüntüleme algoritması akış diyagramı.	39
Şekil 3.25 : Deneysel tarama IFFT birinci sonuç görüntüsü.	44
Şekil 3.26 : Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü sonucu.	44
Şekil 3.27 : Taranan alanın alttan görünüşü.	46
Şekil 3.28 : Taranan alanın perspektif görünüşü.	46
Şekil 3.29 : Benzetim sonucunun IFFT birinci sonuç görüntüsü.	47

Şekil 3.30 :	Benzetim sonucuna fark algoritması uygulandıktan sonraki görüntü.	47
Şekil 3.31 :	Duvar içi görüntüleme benzetimi perspektif görünüşü.	48
Şekil 3.32 :	Duvar içi görüntüleme benzetimi üstten görünüşü.	48
Şekil 3.33 :	Duvar içi benzetimi görüntüleme sonucu.	49
Şekil 4.1 :	S11 parametresi ölçüm sistemi donanım bileşenleri.	51
Şekil 4.2 :	PXİe-1078 Şase ön taraftan görüntüsü.	53
Şekil 4.3 :	PXİe-8130 denetleyici.	53
Şekil 4.4 :	PXİe-5663 RF frekans düşürücü.	54
Şekil 4.5 :	CVI örnek ara yüz.	56
Şekil 4.6 :	İki sinyalin eş zamanlı okunma yöntemi.	57
Şekil 4.7 :	Mikrodalga duvar içi görüntüleme sistemi donanımı.	58
Şekil 4.8 :	Donanımsal tarama görüntü sonucu.	58
Şekil 4.9 :	Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü sonucu.	59
Şekil 4.10 :	Donanımsal tarama görüntü sonucu.	59
Şekil 4.11 :	Tarama ve benzetim sonuçlarının bir arada gösterimi.	60

MİKRODALGA DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME ALGORİTMASI OLUŞTURULMASI ve UYGULAMASI

ÖZET

Bu tezde engel arkasındaki cisimlerin tespit edilmesi ve iki boyutlu olarak görüntülenmesi için yeni bir mikrodalga görüntüleme yöntemi ve görüntüleme algoritması önerilmekte, literatürde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmaktadır. Mikrodalga görüntülemedeki temel amaç engele zarar vermeden ve engeli ortadan kaldırmadan engelin arkasında veya içinde bulunan farklı malzemedeki cisimlerin tespit edilmesidir. Mikrodalga görüntüleme ile cisimlerin tespit edilebilmesi için taranacak alan elektromanyetik dalga ile aydınlatılarak geri yansıyan sinyaller işlenir. Bu yöntem ile duvar içinde bulunan farklı cisimlerin konumlarının ve şekillerinin tespit edilmesi ve iki boyutlu olarak görüntülenmesi hedeflenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalarda daha çok radar prensibi ile çalışan sistemler incelenmekte ve bu konu ile ilgili farklı görüntüleme teknikleri kullanılmaktadır. Mikrodalga görüntüleme sisteminin deneysel ve benzetim çalışmaları yapılarak bu çalışmaların sonuçları karşılaştırılmaktadır. Bu tezde işlenen görüntüleme yöntemi benzetimi için CST Microwave Studio ® elektromanyetik benzetim programı kullanılarak taranacak alanların modelleri hazırlanmıştır. Benzetim programı ile alınan ölçüm sonuçları görüntü işleme algoritmaları ile işlendikten sonra taranan modellerin görüntüleri elde edilmiştir. Görüntüleme algoritmaları ve gerekli olan yazılımlar MATLAB ® yazılımında hazırlanarak sonuçlar gösterilmiştir.

Duvar içindeki farklı cisimlerin görüntülenebilmesindeki temel prensip farklı malzemelerin farklı dielektrik katsayısına sahip olmasıdır. Bu tezde anlatılan yöntem ile taranan alanda S11 parametre ölçümleri alınarak duvar içindeki taranan noktadaki değişimler ölçülmektedir. Görüntülemedeki temel yöntem, ölçülen alandaki dielektrik katsayısındaki değişimlerin görüntü işleme algoritmaları ile görüntüye dönüştürülmesi ve cisimlerin tespit edilmesidir. Farklı malzemelerden yapılmış cisimler engel arkasına yerleştirilerek tarama düzeneği hazırlanmıştır. Deneysel sistem ile tarama yapılarak farklı malzemedeki cisimler başarılı şekilde tespit edilmiştir. Ayrıca dielektrik katsayısı farklı malzemelerin görüntülemeye etkisi yapılan benzetim sonuçları ile de gösterilmiştir. Duvar içindeki cisimlerin daha başarılı şekilde tespit edilebilmesi için yeni bir görüntü algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma ile duvar içindeki cisimlerin arka plan görüntüsünden ayırt edilerek tespit edilme olasılığı artırılmıştır. Ayrıca modüler sistemler ile duvar içi görüntüleme sisteminin donanım tasarımı yapılmıştır. Hazırlanan donanım sistemi ile deneysel çalışmalar yapılarak cisimlerin konumlarının ve şekillerinin başarılı olarak tespit edildiği sonuçlarda gösterilmiştir.

MICROWAVE WALL IMAGING ALGORITHM DEVELOPMENT AND APPLICATION

SUMMARY

In this thesis, a new 2D microwave imaging method and imaging algorithm for detection buried object in the wall, is suggested and compared with other microwave imaging methods. Ultra wide band microwave imaging is non-destructive imaging technique to detect objects behind or in the obstacle. Transverse electromagnetic waves are used to illuminate the buried objects. RF waves are transmitted by ultra wide band antennas and then the reflected waves are received. The transmitted and received RF waves are analyzed and then the signal processing algorithms are used to reconstruct the 2D image. It is aimed to determine the location and shape of the object with 2D imaging method. Microwave imaging method uses microwave scattering measurements in the frequency range of a few hundred megahertz up to a few gigahertz to quantitatively reconstruct the bulk electrical properties, the permittivity and effective conductivity of the object being imaged.

Inverse scattering from buried objects is of interest in many applications related to ground penetrating radar prospecting, such as police inquiries, civil engineering, demining, military applications and biological tumor detections. There are different theoretical solutions and experimental researches for microwave imaging in the literature.

Suggested microwave imaging method is simulated with CST Microwave Studio ® simulation program and the experimental study is performed to compare the results. At first, the antenna type is selected for the microwave wall imaging system. Generally, the Vivaldi antennas are used for microwave imaging systems. A Vivaldi antenna is a co-planar broadband antenna, which is made from a on both sides metalized dielectric plate. Vivaldi antennas are linear polarized antennas and their advantage is their broadband characteristic. Also Vivaldi antennas are down looking antennas and they can illuminate the buried objects effectively. The microwave wall imaging system is designed to work at 4-8 GHz band. Therefore appropriate Vivaldi antenna is designed and then produced. The 4-8 GHz Vivaldi antenna's S11 parameter measurement and the radiation diagram are simulated. The produced antenna measurements are achieved and the results are enough to use this antenna for microwave wall imaging system.

The experimental studies are modeled and the material properties of the objects are added with CST Microwave Studio ® simulation program. Microwave imaging system test setups are modeled with simulation program. The environment and the buried objects are modeled as their real materials features. The Vivaldi antennas simulation model is used for microwave wall imaging system simulations. The antenna is placed at starting position and then the S11 parameter measurements are saved. The simulation program saved the all scanning points information and S11 parameter measurements data.

The S11 parameter measurements data are used to image the buried objects and the environment, which are simulated. In this study the experimental test setups are modeled to compare the simulation and experimental microwave imaging results. A wood table and hidden iron and gold objects are used as experimental test setup. Also the simulation of this setup is achieved and the results are shown with simulation program. There is another wall imaging simulation to reconstruct the buried iron objects in the cement wall.

The experimental and the simulation results are processed with signal and image processing algorithms. The image and signal processing algorithms are written and simulated with MATLAB ® and the image results are shown. The basic principle of the image processing is to reconstruct the hidden objects by using the contrast information in the measured data. The S11 parameter measurements are given in frequency domain. The inverse transformation method from the frequency domain to spatial domain is inverse Fourier transform. Therefore, the S11 measurement data can be transformed to spatial domain by using inverse fast Fourier transform. The inverse fast Fourier transform is a fast algorithm for computers. The main imaging algorithm for microwave wall imaging system is inverse fast Fourier transformation. The S11 parameter measurements are saved as amplitude and phase for every measured frequency. Therefore these data are used as complex numbers and then converted with inverse fast Fourier transformation.

The hidden objects and the general information about the scanning area can be achieved by using the inverse fast Fourier transformation results. The scanning area is measured with antenna, the position of the antenna and the S11 parameter measurements are saved in computer memory. The scanning result data is the three dimensional data. The first dimension is x coordinate and the second dimension is the y coordinate of the scanning area. The third dimension is the measured result data. By using inverse fast Fourier transformation method the three dimensional measured data is converted to the three dimensional image result data. In this study the hidden and buried objects are shown in 2D image. So the three dimensional data is imaged as two dimensional with layers. The results are scaled to 0-255 range to image the scanned area. The hidden objects' positions and shape can be defined with raw image. But the results are not so visually. So bicubic interpolation method is used for image processing. The interpolated results are visual then raw image. By using this image processing method, the hidden object can be imaged as darker color than background. The first ten layers of the three dimensional inverse fast Fourier transformation results generally shows the hidden objects shape and position. The scanning S11 parameters are converted to 2D image and these images can show the hidden objects position and shape correctly.

The most important problem for the microwave imaging is removing the background layer and detecting the objects with high probability. A calibration method is used for microwave wall imaging system to remove the background layer. There are different algorithms in the literature for background removing. In this system, the antenna is located at the point, which is known there is no object hidden. The S11 parameter measurement is saved and this measurement is used to define the background layer. The background information is scanned by the microwave wall imaging system and it is used for calibration formulation. The other S11 parameter measurements are normalized with background S11 parameter measurement. On the other hand, there are different noisy effects for experimental studies. By using the background calibration method, the environmental noise effects can be filtered.

Different experimental studies are done to image the hidden objects positions and shapes. The inverse fast Fourier algorithm is used as inversion algorithm. But using only one inverse fast Fourier transformation result is not successful. A new image processing algorithm is developed to detect the hidden objects successfully. In this study the scanned image can be shown by using only the first inverse fast Fourier transformation result. But in some experiments there are so many destructive effects to detect objects by using first inversion results. The other inverse fast Fourier transformation results are analyzed and it is shown that there are contrast information with background and the hidden objects. Five different metal objects placed under the antenna simulation are achieved and the results are analyzed for taking information about inversion algorithm. The first thirty results are having information about hidden objects position and shape. So these results are summed with new imaging algorithm method. The background S11 parameter measurement is added as calibration method again. Then this measurement is defined as background and normalized to hundred for percentage calculation. The background data is subtracted from all S11 parameter measurement data. The percentage of variation to background is acquired. Finally, these results absolute values are added together for every point. The result image is scaled to 0-255 and then bicubic interpolation method is applied. This method is named as difference imaging algorithm. The hidden objects' position and shape can be detected more accurately with difference imaging algorithm. This new imaging method is also successful at experimental microwave wall imaging studies.

In this study, the microwave wall imaging hardware system is designed. The S11 parameter is measured by using Vector Network Analyzer. However, these systems are not portable and they are expensive for using only imaging systems. The Vector Network Analyzer S parameter measurement system is analyzed and it is designed with modular instruments. National Instruments modular radio frequency analyzer system is used to model S parameter measurements. The imaging algorithm is added and portable microwave wall imaging system is constructed. The experimental test setup is scanned with microwave wall imaging hardware system. The hidden objects' position and shapes can be detected successfully with microwave wall imaging hardware system.

Microwave imaging aims on the reconstruction of the material properties of an object by measuring the scattering of an electromagnetic signal it is illuminated with. The main reason of imaging the different materials is their own characteristic permittivity parameter. Microwave scattering parameters are measured with S11 parameter measurement methods. The microwave scattering measurements data saved and then processed with signal and image processing algorithms to reconstruct the hidden objects. The microwave scattering data are converted to images via inversion algorithms. A new image processing method is applied to increase the probability of detection and enhance the hidden objects. This new method reconstructs the hidden objects by removing the background image and enhancing objects according to background image. In addition, the hardware system for the microwave imaging is set up with modular products. The hardware system's imaging results and the simulation imaging results are shown and compared. The hidden objects' location and shape are detected successfully with hardware microwave imaging system and the simulation results.

1. GİRİŞ

Bu tezde mikrodalga görüntüleme yöntemi ile duvar içindeki cisimlerin konumlarının ve şekillerinin görüntülenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde birçok farklı alanda kullanılan ve alternatif bir görüntüleme sistemi olan mikrodalga yöntemi ile engel arkasındaki cisimler tespit edilebilmektedir. Engel arkasındaki cisimlerin tespit edilmesinde farklı yöntemler ve teoriler kullanılmaktadır [1]. Bu tezde yüksek frekanstaki elektromanyetik dalgaların cisimlere çarpıp geri saçılımının ölçülmesine dayanan mikrodalga görüntüleme yöntemi kullanılmıştır[1-5]. Yüksek frekanstaki elektromanyetik dalga ile aydınlatılan cisimlerden geri saçılan dalgalar ölçülerek bu cisimlerin iki boyutlu görüntüleri çıkartılabilmektedir. Deneysel çalışmalar ve benzetim çalışmaları yapılarak görüntülemenin daha başarılı olabilmesi için yeni algoritmalar geliştirilmiş ve bunların sonuçları karşılaştırılarak sunulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Bir engelin arkasındaki cismin veya bir malzemenin içinde bulunan bir cismin engeli bozmadan ve yok etmeden tespit edilebilmesi için literatürde farklı teoriler ve yöntemler kullanılmaktadır [6]. Biyomedikal alanda kullanılan ultrason görüntüleme ve X ışını ile röntgen çekerek görüntüleme yöntemi bunlardan bazılarıdır. Her bir görüntüleme sisteminin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır [7]. Bu tezde duvar içindeki cisimlerin engele zarar vermeden konumunun ve şeklinin iki boyutlu olarak görüntülenmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan görüntüleme sistemi ile 30 cm derinliğe kadar cisimlerin iki boyutlu olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Sistem 5-6 GHz frekans bandına çalışmaktadır. Ayrıca yapılacak olan donanım ile bu sistemin taşınabilir ve hızlı çalışması amaçlanmıştır. Bu gereksinimlere uygun çalışabilecek bir görüntüleme sistemi tasarlanmıştır. Bu tezde duvar içi görüntüleme sisteminin benzetim ve deneysel çalışmaları yapılarak sonuçlar karşılaştırılmış ve cisimlerin yüksek başarımda tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Konu

Mikrodalga görüntüleme ile cisimlerin tespit edilmesi, elektromanyetik sinyal ile aydınlatılmış cisimlerden geri saçılan sinyallerin ölçümü prensibine dayanmaktadır. Bu şekilde engel arkasındaki cisimler engeli bozmadan ve ortadan kaldırmadan belirlenebilmektedir. Görüntülemelerde mikrodalga kullanılmasının amacı elektromanyetik dalgaların nesnelerin içine nüfuz edebilmesidir. Gönderilen ve nesnelerin içine nüfuz edip geri dönen sinyalin incelenmesi ile o nesneye ait dielektrik sabiti, iletkenliği ve elektromanyetik geçirgenliği gibi temel ve ayırt edici özellikler hakkında bilgi edinilebilmektedir. Ayrıca bu sistemde mikrodalga kullanılmasının bir diğer sebebi de tahribatsız olarak ve biyolojik dokulara zarar vermeden görüntülemenin yapılabilmesidir [1].

Mikrodalga görüntüleme farklı kullanım alanlarında engel arkasındaki cisimlerin tespitinde kullanılan popüler bir görüntüleme yöntemidir. Biyomedikal alanda özellikle göğüs kanseri teşhisinde ve farklı tümörleri tespit edilmesinde kullanılmaktadır. Göğüs kanserinin tanı ve tedavisinde son zamanlarda yoğun olarak araştırılan bir yöntemdir. Kanser tedavilerinde bazı görüntüleme yöntemlerinin hastalığa yan etkisi olduğundan mikrodalga görüntüleme alternatif bir görüntüleme yöntemidir.

Güvenlik birimleri için duvar arkası görüntüleme yapılarak tehditlerin tespit edilmesinde ve saklanmış patlayıcı cisimlerin tespitinde kullanılmaktadır. Duvar arkası görüntüleme ile binaların içindeki hareketli ve hareketsiz cisimler algılanarak içeriye girmeden bina içindeki durum hakkında bilgi alınabilmektedir. Askeri uygulamalar ile özellikle mayın ve patlayıcı tespitinde bu görüntüleme yöntemi kullanılmaktadır. Yeraltı radarları ile yer yüzeyi ve katmanları ile ilgili bilgi edinmek için geniş bantlı mikrodalga görüntüleme sistemi kullanılmaktadır. Yer altının farklı katmanları ve oluşumları ile ilgili geniş bilgiler elde edinilebilmektedir. Sivil uygulamalar için de doğal afet durumlarında canlıların bulunmasında ve tespit edilmesinde mikrodalga görüntüleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem ile ilgili araştırmalar ve çalışmalar devam etmekte ve yeni teoriler ile yeni uygulama yöntemi çalışmaları devam etmektedir.

Mikrodalga görüntüleme sistemi ile sinyal üretilip gönderilerek ve geri dönen sinyal ölçüldüğünden aktif sistem olarak isimlendirilmektedir. Pasif sistemler ise

nesnelerden gönderilen sinyallerin ölçülmesiyle görüntüleme yapar, fakat bu sistemlerde nesnelerden gönderilen sinyaller genelde zayıf olduğu için nesnelerin görüntülenmesi daha zordur. Mikrodalga spektrumu kızılötesi spektrumun komşusu olduğundan mikrodalga görüntüleme sistemi kızılötesi kameraların çalışma prensibine benzemektedir. Elektromanyetik dalgaların saçılımlarının ölçülmesi temeline dayanan bu yöntemim çalışma frekansı kullanım alanına göre birkaç yüz MHz'den 100 GHz'e kadar değişmektedir. Mikrodalga görüntülemedeki çalışmalar daha çok 2 GHz ile 8 GHz frekans aralığında yoğunlaşmıştır. Sistem tasarımında istenen gereksinimlere yüksek çözünürlük ve derinliğe göre çalışma frekans bandı belirlenmektedir. Mikrodalga görüntüleme sisteminin en büyük amaçlarından biri malzemelerin içindeki cisimlerin görüntülenmesi olduğu için derinlik veya istenen çözünürlüğün önceliği belirlenmelidir. Frekans yükseldikçe görüntülemenin çözünürlüğü artar fakat malzeme içindeki zayıflaması da arttığı için derinlik ölçümü azalır.

Görüntülemenin yapılabilmesi elektromanyetik dalgaların anten ile cismi aydınlatması gerekir. Sinyal kaynağı tarafından üretilen sinyal antenden ışıyarak görüntülenmek istenen cismin içine nüfuz eder. Cisme çarpan sinyal geri yansiyabilir veya farklı açılarda saçılabilir. Saçılan sinyaller alıcı tarafından ölçülür. Alıcı-verici olarak çoklu alıcı-verici veya tekli alıcı-verici yapılandırması da kullanılabilir. Bu tezde alıcı-verici olarak tek anten kullanılmıştır.

Sinyal kaynağı olarak darbe modülasyonu veya devamlı dalga da kullanılmaktadır. Kullanılan sinyalin bant genişliği de görüntülemenin çözünürlüğünü belirlemektedir. Frekans domeninde alınan ölçümler zaman domeninde alınan ölçümlere göre daha hassas sonuçlar vermektedir. Frekans domeninde ölçümler almak için Vektör Network Analizör (VNA) kullanılabilir. Frekans domenindeki ölçümlerde görüntünün kalitesini ölçüm sisteminin hassasiyeti belirlemektedir. Alınan ölçüm verilerinin görüntüye çevrilebilmesi için taranan her noktadan alınan elektromanyetik malzemelerinin parametrelerinin ve ölçüm sonuçlarının işlenmesi gerekmektedir.

Yüksek iletkenliğe sahip cisimlerin içinin görüntüsü mikrodalga görüntüleme yöntemi ile görüntülenememektedir. Bunun sebebi ise mikrodalga sinyallerinin yüksek iletkenlikteki malzemelerinin yüksek oranda zayıflamaya maruz kalmasıdır. Eğer bu şekilde cisimler varsa mikrodalga sinyal cismin içine nüfuz etmediği için

cismin iinin görüntüsü elde edilemez. Fakat bu cisimlerin Şekilleri ve bulundukları pozisyon belirlenebilmektedir.

Mikrodalga görüntüleme sistemi ile cisimlerin iki boyutlu veya üç boyutlu görüntüleri çıkartıldığı için mikrodalga tomografik görüntüleme olarak da isimlendirilir. Bunun bir diğerk sebebi de günümüzde çok fazla kullanılan X ışını tomografisi (CT) ve manyetik rezonans tomografisi (MRT) ile üç boyutlu görüntüleme yapılmasıdır [7]. Bu yöntemler ile nesnelerin içi görüntülenebilmektedir ve mikrodalga görüntüleme yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Tomografi Yunanca kökenli bir kelimedir ve ‘cisimlerin dilimlerinin sunulması’ olarak ifade edilmektedir. Mikrodalga görüntülemede diğerk tomografi görüntüleme teknikleri gibi çok ince ayrıntıların görüntülenmesinde başarılı değıldir. Mikrodalga görüntüleme ile malzemelerin elektromanyetik özelliklerindeki değışimlerinin görüntü biçimine dönüştürülmesi sağlanır.

Mikrodalga görüntülemenin diğerk görüntüleme yöntemlerine göre avantajları [1]:

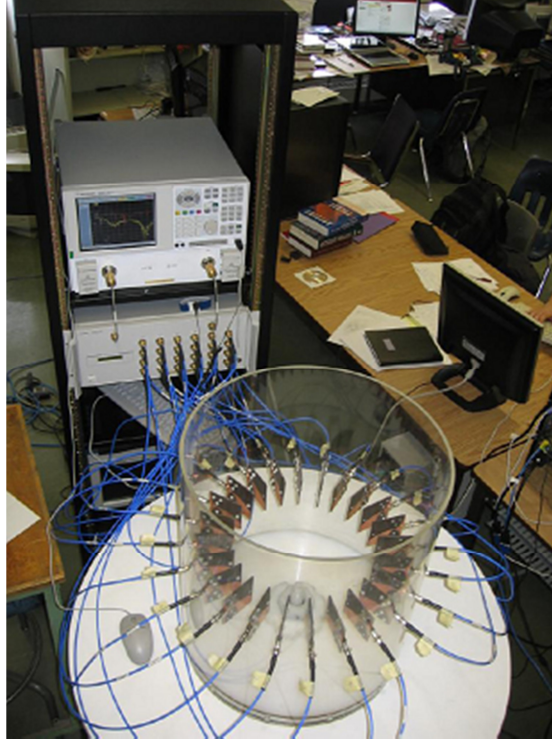
- X ışını taraması ve MRT görüntüleme sistemine göre daha ucuz ve taşınabilirdir.
- İyonize etmeyen ışına kullandığı için kullanımı güvenlidir.
- Cisimlerin elektriksel özelliğini kullanarak görüntüleme yaptığı için bazı malzemelerin tespit edilmesinde daha başarılıdır.
- Derinlik bilgisi diğerk metotlara göre daha hassas ölçülebilmektedir.

1.3 Literatür Araştırması

Duvar içi mikrodalga görüntüleme sisteminde temel olarak incelenen problem bir engelin arkasındaki cisimlerin tespit edilmeye çalışılmasıdır. Literatürde engel arkası görüntüleme ile ilgili çalışmalar daha çok geniş bantlı mikro dalga görüntüleme üzerine yoğunlaşmıştır.

Geniş bantlı tomografik mikrodalga görüntüleme yöntemi ile biyomedikal görüntüleme yapılabilir [1]. Yapılan araştırmada 2 boyutlu biyomedikal görüntüleme için geniş bantlı mikrodalga görüntüleme tekniğı kullanılmıştır. Geniş bantlı mikrodalga görüntüleme yöntemi biyomedikal alanda alternatif bir sistem olarak gösterilmektedir. Görüntüleme sistemi 3-6 GHz bandında çalışmaktadır ve 24

adet dizi anten kullanılmıştır. Bu araştırmada [1], mikrodalga görüntülemede anten dizisi kullanılmasınn dezavantajlarından bahsedilmiştir ve anten dizisi kullanıldığı zaman antenlerin kuplaj etkisini azaltmak için antenler dairesel şekilde dizilmiştir.



şekil 1.1 : Mikrodalga görüntülemede kullanılan örnek bir anten dizisi [1].

Ayrıca bu araştırmada mikrodalga görüntüleme sisteminde kullanılan antenlerin öneminden bahsedilmektedir. Eğer dizi anten kullanılacak ise bütün antenlerin S11  l  mlerinin birbirine çok yakın ve benzer olması gerektiği belirtilmiştir. Dizi anten kullanımının dezavantajları olduğu bu tezde de deneysel olarak test edilmiştir ve bu sebeple mikrodalga görüntüleme için tek anten kullanılmıştır. Makalede ters saçılım teorisi kullanılmıştır ve bu teoriye göre görüntüleme yapılmıştır. DBIM yöntemi ile gönderilen ve geri saçılan elektrik alan ölçülerek ortamın dielektrik sabiti ölçülmektedir. Farklı malzemelerin farklı dielektrik katsayıları olduğundan dolayı bu farklılık görüntüye çevrilerek cisimlerin tespit edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca bu makalede görüntülemenin daha başarılı olması için gerekli olan ölçümlerle metodundan bahsedilmiştir. Bu ölçümlerle metodunun bir benzeri de bu tezdeki çalışmada kullanılmıştır. Ölçümlerle metode ile görüntülemedeki iyileştirmeler ve cisimlerin tespitindeki başarılı sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sonuç

olarak farklı malzemeden yapılmış cisimlerin iki boyutlu görüntülenmesi başarılı olarak yapılmıştır [1].

Yer altı arama radarlarında kullanılan geniş bantlı anten tasarımı görüntüleme için önemlidir [2]. Yer altı radarları da toprağın alt katmanları ve içindeki cisimlerin tespit edilmesi için kullanılmaktadır. Görüntülemenin daha iyi sonuçlar vermesi ve cisimlerin daha iyi tespit edilebilmesi için anten tasarımı büyük önem taşımaktadır. Bu makalede görüntülemeye kullanılan antenlerin her bir ölçüm aralığı için nasıl ölçümleme yapılması gerektiği formüle edilmiştir. Burada anlatılan metot duvar içi görüntüleme sisteminde de kullanılmıştır. Bu ölçümleme yöntemi ile zor tespit edilen cisimlerin bulunma olasılığı artırılmış. Ayrıca bu araştırmada bahsedilen cisim tespit metodu tezde görüntü işleme algoritmasının temel mantığını oluşturmaktadır. Bu metot ile arka plan görüntüsü cisimlerden daha başarılı şekilde ayırt edilmektedir. Daha derinde olan ve tespit edilmesi zor olan cisimlerin arka plan görüntüsüne göre baskınlığı artırılmış ve bu şekilde cisimlerin doğru şekilde tespit edilme olasılığı da artırılmıştır [2].

Geri saçılım algoritması geliştirilerek çok katmanlı yapı içindeki cisimlerin iki boyutlu dielektrik sabiti profili çıkartılabilmektedir [3]. Kırılım tomografisi yöntemi kullanılarak çok katmanlı yapının görüntüsünün çıkartılması hedeflenmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar daha çok tek katmanlı ve homojen bir ortam içindeki cisimlerin tespit edilmesi ve görüntülenmesi üzerinedir. Bu makaledeki çalışmada görüntülenen ortamın birden fazla katman içerdiği durum incelenmiş ve buna uygun çözümler üretilmiştir. Bu tezde de görüntülenen ortam genelde çok homojen olmadığından ve bazı durumlarda birden fazla katman içermesinden dolayı makaledeki incelemeler ve çözümler referans olarak kullanılmıştır [3].

İncelenen problemdeki ortam gösterilmiştir (Şekil 1.2). Elektromanyetik dalga ilk olarak hava ortamında bulunan antenden çıkarak birinci ortama belirli bir derece kırılarak giriş yapar. Aynı şekilde ikinci ortama geçiş yaparken de kırılmaya uğrar. Cisme çarpan dalga saçılarak ve kırılmalara uğrayarak alıcı anten geri döner.

Antende oluşan akımı (1.5) ifade etmektedir.

$$E(r, \omega) = j\omega\mu_0 I(\omega) G(r, r'_T, \omega) \quad (1.6)$$

İkinci ortamdaki gelen elektrik alanı (1.6) ifade etmektedir.

$$E_s(r'_R, \omega) = j\omega\mu_0 I(\omega) k_z^2 A \quad (1.7)$$

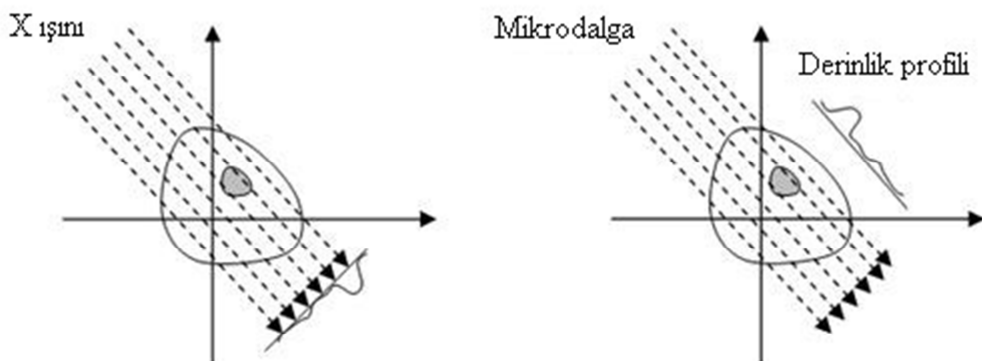
Saçılan elektrik alan ifadesidir (1.7).

$$A = \int_{-D/2}^{D/2} G(\vec{r}'_R, \vec{r}, \omega) \cdot G(\vec{r}, \vec{r}'_T, \omega) \cdot O(\vec{r}) dV \quad (1.8)$$

Green fonksiyonunun çözümü sonucu vermektedir (1.8) [3].

Bazı çalışmalarda gömülü cisimlerin iki boyutlu profil görüntüsü mikrodalga görüntüleme ile çıkarılabilmektedir [7]. Saçılan elektrik alanı ölçülerek ve Fourier dönüşüm metodu kullanılarak gömülü cisimlerin iki boyutlu görüntüsü elde edilebilmektedir. Filtrelenmiş geri yansıma (Filtered Back Projection) algoritması ile derinlik bilgisi iki boyutlu görüntüye dönüştürülebilmektedir.

Son senelerde geleneksel görüntüleme metodu olan X ışını ile röntgen çekimi ve teşhis tekniklerine alternatif olarak mikrodalga görüntüleme metodu kullanılmaktadır. Mikrodalga görüntüleme metotlarından biri olan tomografik görüntüleme cisimlerin dielektrik özelliklerinin farklılıklarının görüntüye çevrilmesi metodunu kullanmaktadır. Tomografik metotta en çok Born yaklaşımı ile çözüm oluşturulmaktadır. Radar yaklaşımı ile de gömülü cisimlerden geri yansıyan sinyallerin radar tekniği ile işlenip görüntüye çevrilme metodu kullanılmaktadır.



Şekil 1.3 : Mikrodalga görüntüleme ve X ışını karşılaştırması [7].

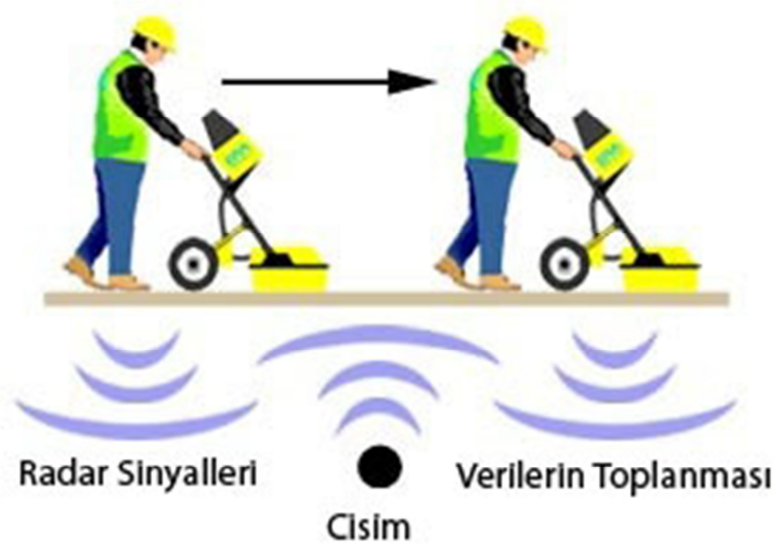
Şekilde X ışını ve mikrodalga görüntüleme tekniğindeki farklılık gösterilmektedir. X ışını ile görüntülemelerde cismin iki boyutlu yansımasının sonucu görüntü olarak verilmektedir. Mikrodalga görüntüleme metodu ile gömülü cisimlerin mesafe profili bilgisi elde edilip gerekli teoriler ve algoritmalar ile daha detaylı görüntüleme yapılabilmektedir [7].

Mikrodalga görüntüleme ile ilgili yapılan bazı çalışmalarda elektromanyetik dalganın saçılımının ölçülmesi yerine antenin ışıma parametresi olan S11 parametre ölçümü kullanılmaktadır [8]. VNA ile S11 parametresinin ölçülme metodu incelendiğinde bu metodun elektromanyetik dalga ile aydınlatılan cisimden saçılan dalgaların ölçülme metoduna benzediği görülebilmektedir. Gömülü cisimlerin mikrodalga görüntüleme yöntemi ile görüntülenmesi elektromanyetik ters saçılım probleminin bir parçasıdır. Bu problemin çözümünde yapay genetik algoritmalar, kırılımsal tomografi, Born yaklaşımlı çözüm ve bunların geliştirilmiş çözümleri kullanılmaktadır.

Görüntülenmek istenen alandan çok noktada tarama yapılarak saçılan elektromanyetik dalgalar ölçülerek veriler toplanır. Bu verilerin görüntüye dönüştürülmesi için bir birinden ayırt edici özelliklerinin çıkartılması gerekmektedir. Görüntülerin deneysel olarak uygulanmasında bazı hatalar ve problemler oluşmaktadır. Bunlardan birincisi deneysel olarak yapılan ölçümlerde ölçüm hassasiyeti çok yüksek değildir ve çevreden bozucu etkenlere maruz kalmaktadır. İkinci olarak alınan ölçüm noktalarından antenin noktasal ölçüm aldığı kabul edilir fakat deneysel ölçümlerde antenin ışıma alanı daha geniştir. Bu problemleri azaltmak için elektromanyetik geri saçılım ölçümü yerine S11 parametresi (giriş geri dönüş kaybı) ölçümünün görüntülemadaki fizibilitesi incelenmiştir. Saçılan alan ölçümü yerine S11 parametresi ölçümü VNA ile daha hızlı yapılabilmektedir. S11 parametre ölçümünü mikrodalga görüntüleme yöntemi ile ve bazı görüntü işleme algoritmaları kullanarak duvar içindeki cisimlerin iki boyutlu şekilleri ve konumları görüntülenebilmektedir [8]. Bu tezde de engel arkasındaki cisimlerin tespit edilmesinde S11 parametresi ölçümü kullanılmıştır. Bu yöntem ile sistemin daha hızlı çalışması sağlanmış ve tezin amacı olan duvar içindeki cisimlerin mikrodalga görüntüleme metodu ile görüntülenmesi daha hızlı bir şekilde başarılmış olmaktadır.

2. MİKRODALGA GÖRÜNTÜLEME

Mikrodalga görüntülemenin fiziksel temeli görüntülenen alandaki malzemelerin dielektrik farklılıklarının görüntüye çevrilmesi prensibine dayanır. Yüksek frekanstaki RF dalga ile aydınlatılan cisimden geri yansıyan dalgalar geniş bantlı anten ile alınarak taranan yüzeydeki cisimler bulunmaya ve ayırt edilmeye çalışılır. Görüntüleme, gönderilen sinyalin taranan alandaki diğer objelerden geri saçılması sonucu oluşturulur.

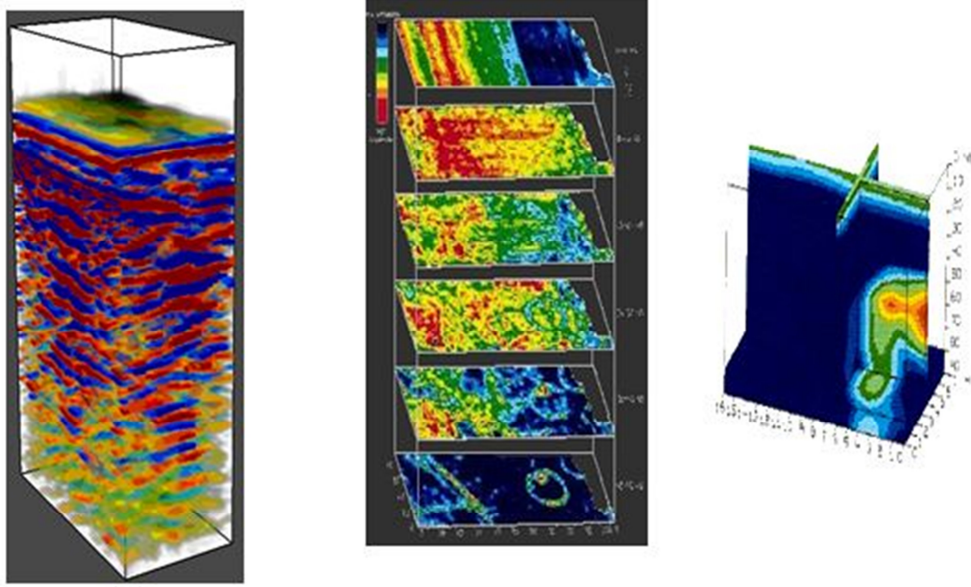


Şekil 2.1 : Yer altı görüntüleme radarı.

Mikrodalga görüntüleme için literatürde farklı yöntemler ve teknikler uygulanmıştır. En çok kullanılan yöntem yer altı radarlarında kullanılan mikrodalga görüntüleme yöntemidir. Yer altı radarları yeraltının sığ tabakalarının (0-40m) görüntülenmesinde kullanılan bir ölçüm cihazıdır. Yöntem, yatay doğrultuda elektrik alan vektörü olan (Transvers Elektrik) bir verici anten aracılığı ile yer içine gönderilen çok yüksek frekanslı EM dalgalarının (radyo dalgaları) ara yüzeylerden yansımasının gözlemlenmesi ilkesine dayanmaktadır [9].

Yer altı radarları normal radar prensibiyle çalışmaktadır fakat mesafenin çok daha kısa olmasından dolayı yer altı radarlarının sinyal alıcı kısımlarının ve sinyal işleme bölümlerinin çok daha hızlı olması gerekmektedir. Ayrıca yer altı radarları ile

görüntüleme yapılabilmesi için yer altı radarlarının antenleri yerden bir miktar yukarda tutulur ve bu da görüntüde farklı bozulmalara sebep vermektedir.



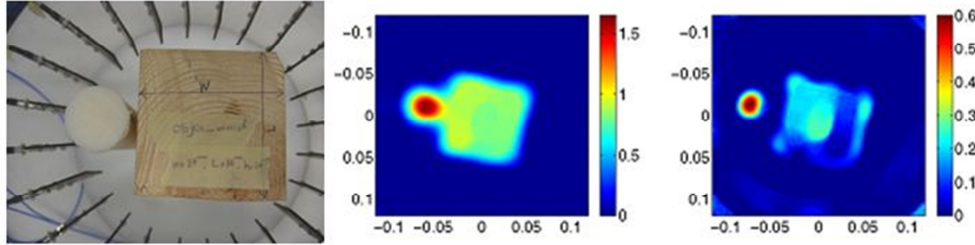
Şekil 2.2 : Yer altı radarı görüntü örnekleri [9].

Bu araştırmada duvar içinde bulunan farklı cisimlerin konumlarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bunun için donanımsal olarak tasarlanan sistem ile ölçümler alınıp görüntü sonuçları gösterilmektedir. Ayrıca görüntüleme sisteminin bilgisayar ortamında benzetimi yapılarak buradan elde edilen sonuçlar aynı görüntüleme algoritması ile işlenerek görüntü elde edilmiş ve bu iki sistem karşılaştırılmıştır. Benzetim ortamı gerçeğe yakın olarak kabul edilse de ölçüm sonuçlarını teorik ölçüm sonuçları olarak düşünülebiliriz. Donanımsal olarak tasarlanan sistemde ise dış bozucu etkenler fazladır ve bunların giderilmesi için farklı yöntemler ve algoritmalar kullanılarak ölçüm sisteminin en az hata ile duvarın içindeki cisimlerin görüntülenmesi anlatılmıştır.

2.1 Mikrodalga Görüntüleme Yöntemi

Mikrodalga görüntüleme yöntemleri günümüzde birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Biyomedikal alanda tarama ve hastalık teşhisi için yoğun olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yer altı görüntüleme radarları ile de yerin içyapısı hakkında bilgi edinilmekte ve yüzeyin altındaki cisimler tespit edilebilmektedir. Bu tezde anlatılan mikrodalga görüntüleme yöntemi daha çok yer altı görüntüleme radarlarındaki görüntüleme yöntemine benzemektedir.

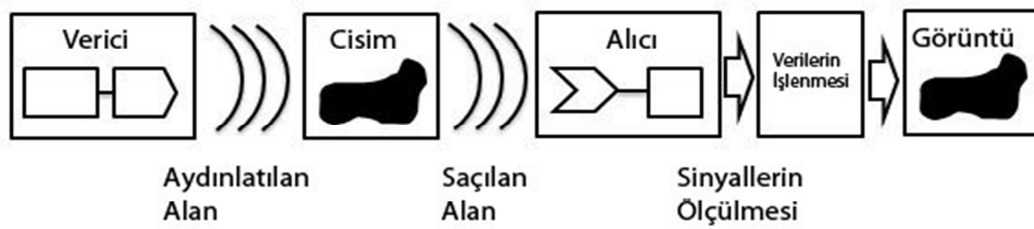
Mikrodalga görüntülemedeki temel amaç yüksek frekanslı sinyaller kullanılarak taranan yüzeyin içindeki cisimlerin tespit edilmesidir. Yer altı radarlarında gömülü cismin yeri, şekli ve özelliklerinin belirlenmesi büyük önem taşır. Bu bilgiler gömülü cisimden yansıyan sinyalin işlenmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 2.3 : Mikrodalga görüntüleme örnekleri [1].

Sivil ve askeri uygulamalarda yeraltında gömülü cismin doğru olarak tespit edilmesi büyük önem taşır. Gömülü cismin tespitini yüksek doğrulukla yapılabilmesi için yeni algoritmalara ve görüntüleme yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Bu araştırmada elektromanyetik dalga kullanılarak duvar içindeki cisimlerin frekans ve uzaysal domende algılanabilmesi ve tespit edilebilmesi için kullanılacak yeni bir yöntemin elde edilebilmesi hedeflenmiştir. Bu yöntemin temel prensibi görüntülenen alandaki cismin ayırt edici özelliği olan dielektrik katsayısının taranan alandan farklı olması ve bu farklılığın da sinyal ve görüntü işleme teknikleri ile görüntüye çevrilmesidir.



Şekil 2.4 : Aktif mikrodalga görüntüleme sistemi [5].

Duvar içindeki cismin tespit edilebilmesi için cisim elektromanyetik dalga ile aydınlatılır. Elektromanyetik dalganın cismi aydınlatması için geniş bantlı anten kullanılmaktadır. Antenden gönderilen ve dönen sinyal sistem tarafından analiz edilerek taranan alandaki değişimler kayıt edilir ve bu değişimler görüntü işleme algoritmaları ile görüntüye dönüştürülür [5]. Görüntülemedeki temel prensip, taranan

yüzeyden elde edilen tarama matrisi sonuçlarının gri veya renkli skalada görüntü olarak gösterilmesidir. Taranan yüzeyin görüntüsünün oluşturulabilmesi için her taranan nokta için bir değer oluşur ve bütün değerlerin oluşturduğu tarama matrisi renkli skalada gösterilerek taranan yüzeyin görüntüsü elde edilmiş olur [5].

2.2 Dielektrik Katsayısının Mikrodalga Görüntülemeye Etkisi

Cisimlerin görüntülenmesi için mikrodalga kullanıldığı zaman cisimlerin elektromanyetik malzeme parametreleri ve bu parametrelerdeki değişimler kullanılmaktadır. Bu parametreler dielektrik sabiti ϵ , mıknatıs geçirgenliği (permeabilite) μ ve iletkenlik σ . Her bir malzemenin kendine özgü dielektrik katsayısı ve manyetik geçirgenlik katsayısı bulunmaktadır. Bir ortamın dielektrik sabiti bu ortama dışarıdan elektrik alan uygulandığı zaman oluşan toplam deplasman akımıdır (2.1).

$$D_0 = \epsilon_0 E \quad (2.1)$$

ϵ_0 vakum ortamının dielektrik sabitidir. ϵ_r vakum dışındaki diğer ortamların oransal dielektrik sabitidir.

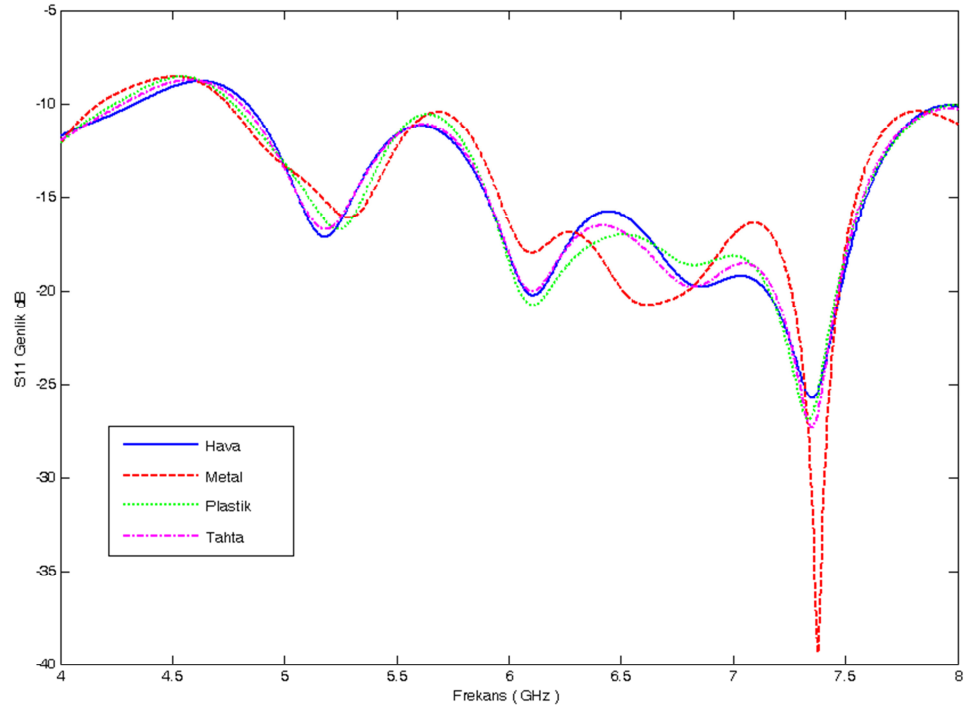
$$D_0 = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (2.2)$$

Elektrik alan ile manyetik alan arasında analogi kurduğumuz zaman toplam manyetik akı yoğunluğu B

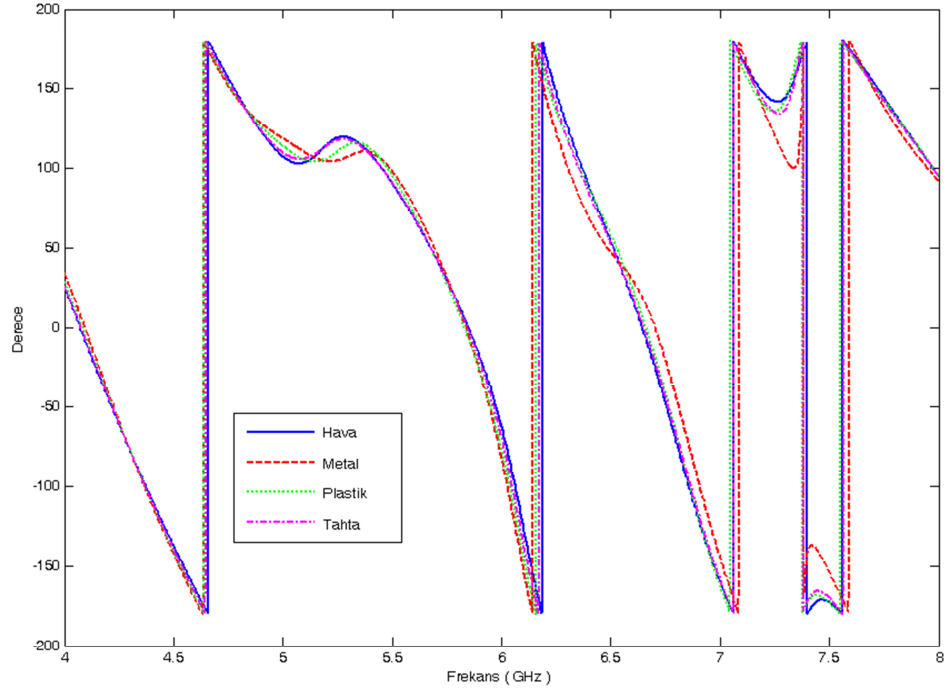
$$B = \mu_0 \mu_r H \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir (2.3). Bu tezde boş ortamın μ_0 olduğu kabul edilmiş ve diğer malzemelerinde buna eşit olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul ile $\mu_r = 1$ olarak kullanılmıştır. Malzemelerin oransal dielektrik sabitinin uygulanan frekansa ve polarizasyona göre değişim gösterdiği bilinmektedir. Fakat bu çalışma ve uygulamalarda malzemelerin dielektrik sabitinin frekansa göre değişken olmadığı kabul edilmiştir.

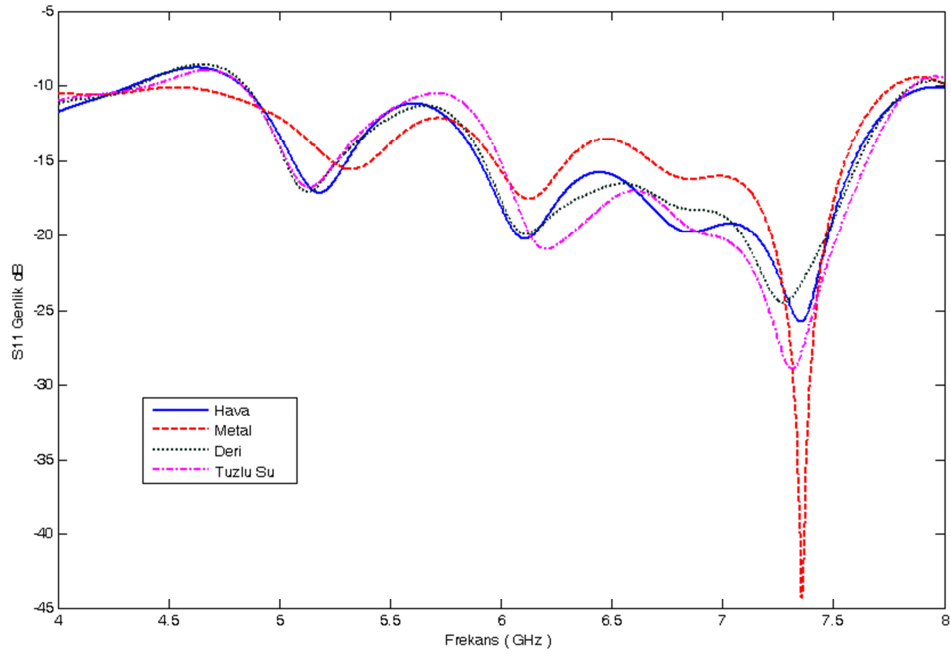
Görüntülemenin temel prensibini oluşturan dielektrik katsayısındaki değişikliklerin nasıl görüntülemeye farklı cisim olarak gösterildiğini belirtmek için benzetim yapılmıştır.



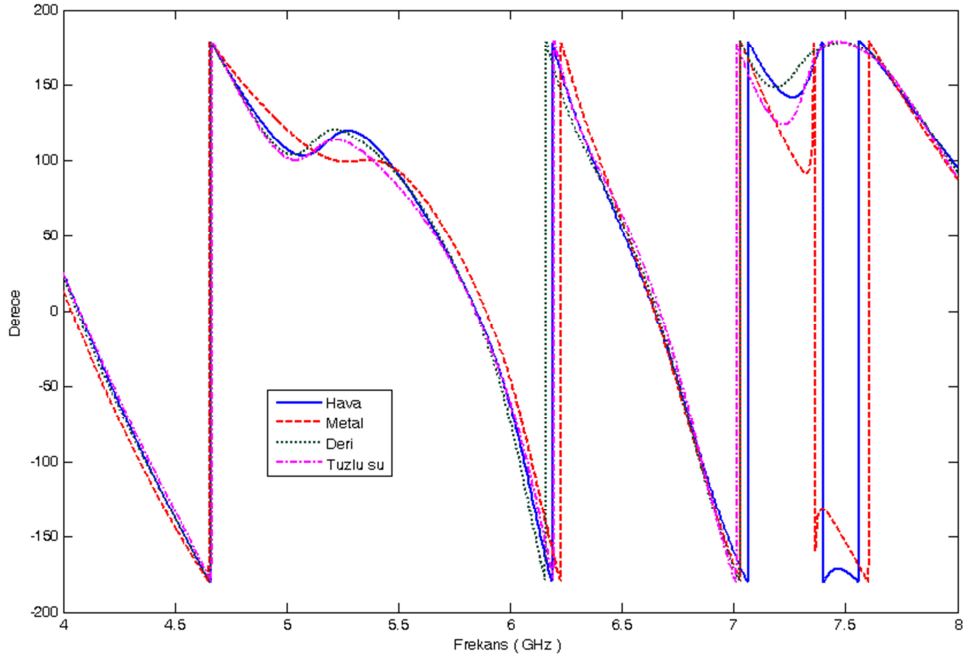
Şekil 2.5 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 genlik grafiği.



Şekil 2.6 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 faz grafiği.



Şekil 2.7 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 genlik grafiği.

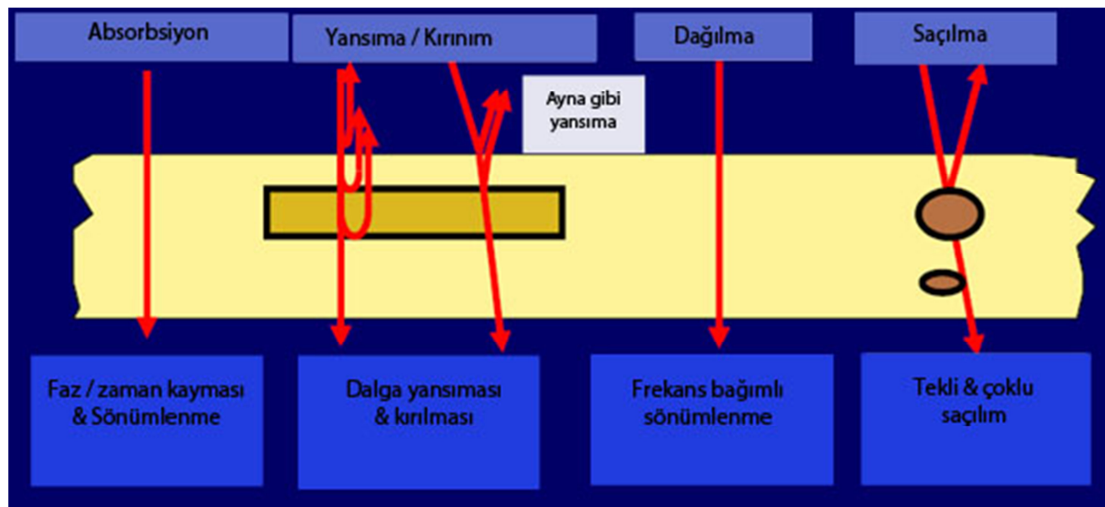


Şekil 2.8 : Farklı malzemelerin benzetim ile alınmış S11 faz grafiği.

Bu tezde kullanılan Vivaldi antenin 20 cm altına 2 x 2 x 1 cm dikdörtgenler prizması şeklinde farklı dielektrik sabitine sahip farklı malzemeler yerleştirilerek antenin S11 parametre ölçümleri kayıt edilmiştir ve sonuçlar gösterilmektedir (Şekil 2.5, 2.6, 2.7, 2.8). Benzetimde ölçümleri alınan farklı malzemelerin dielektrik katsayıları sırasıyla şu şekildedir: plastik 4, tahta 3, deri 32, tuzlu su 74.

Antenin boşluktaki S11 parametre ölçümü hava olarak gösterilmektedir. Farklı malzemelerin sonuçlarını grafikte incelediğimiz zaman dielektrik katsayısı değiştikçe S11 parametresinin de değiştiği gözlemlenmektedir. Metal cisimdeki değişimin diğerlerine oranla daha çok olduğu gözükmemektedir. Bunun sebebi ise antenin o frekansta metal ile eşleşerek daha iyi ışıma yaptığını göstermektedir. Antenin boşluktaki değerlerinde daha az olduğu yerlerde ise metal cisim dalgaları yansıtarak ölçümün daha az olduğunu göstermektedir.

Mikrodalga görüntülemeye derinlik bilgisi sistemin merkez çalışma frekansına ve sistemin çıkış gücüne bağlıdır. Elektromanyetik dalgaların yayılımı malzemelerin iletkenlik ve dielektrik özelliklerine göre değişim gösterir. Malzemenin iletkenlik katsayısı arttıkça elektromanyetik dalganın zayıflaması artar. Yüksek frekanstaki sinyaller düşük frekanstaki sinyallere göre daha çok zayıflamaya maruz kalır. Bu sebeple sistemin tasarımı yapılırken istenen derinlik bilgisine göre çalışma frekans aralığı seçilmelidir. Antenden yayılan elektromanyetik dalga malzemenin içinden geçerken farklı cisimlere çarptığı zaman geri yansiyabilir, saçılabilir veya zayıflayabilir.



Şekil 2.9 : Elektromanyetik dalganın farklı cisimler içinde yayılımı.

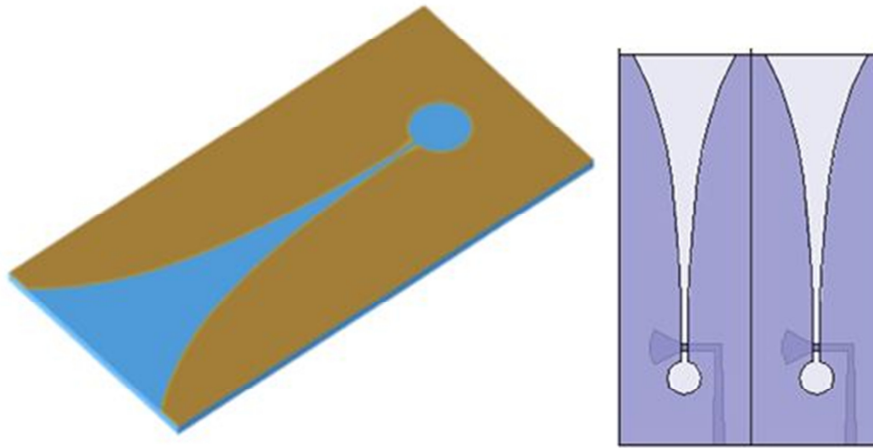
Metal cisimlere elektromanyetik dalga gönderildiği zaman dalgayı geri yansıtır ve elektromanyetik dalga cisimim içinden geçemez. Yalıtkan cisimlere elektromanyetik dalga gönderildiği zaman da elektromanyetik dalganın cismin içine girer ve belirli bir zayıflama katsayısıyla ilerlemeye devam eder. Duvar içi görüntüleme sisteminde de farklı cisimlerin elektromanyetik dalgaya göre farklı sinyaller geri göndermesi prensibi kullanılmıştır.

3. MİKRODALGA GÖRÜNTÜLEME BENZETİM ÇALIŞMALARI

3.1 Vivaldi Antenler

Vivaldi antenler literatürde, geometrisinde görülen açıklık yapısına verilen birçok farklı isimle yer almaktadır. Vivaldi ismi ilk olarak Gibson tarafından 1979 yılında yayınlanan makalesinde kullanılmıştır [10].

Vivaldi antenler, çok geniş empedans uyumluluğuna ve güçlü ışıma karakteristiğine sahip olan doğrusal polarizasyonlu yürüyen dalga antenlerdir. İki boyutlu yapısı ile hacimsel olarak alan kazanımı sağlamaktadır. Mikro şerit yapısının sağladığı en büyük avantaj, bazı uygulamalarda arkasına konulan TR parçalar ile doğrudan bağlanabilmesidir. Anten, geometrik yapısı içerisinde bulunan tümleşik empedans uyumlaştırıcı yapısı sayesinde empedans uyumluluğu için ayrıca bir ara elemana ihtiyaç duymamaktadır.

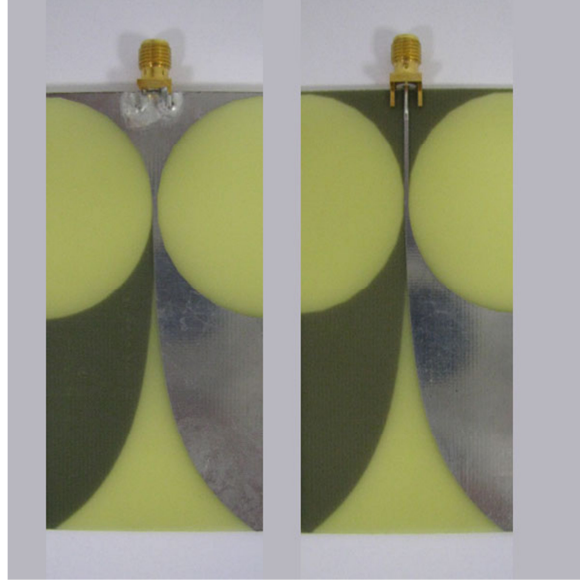


Şekil 3.1 : Vivaldi anten örnekleri [10].

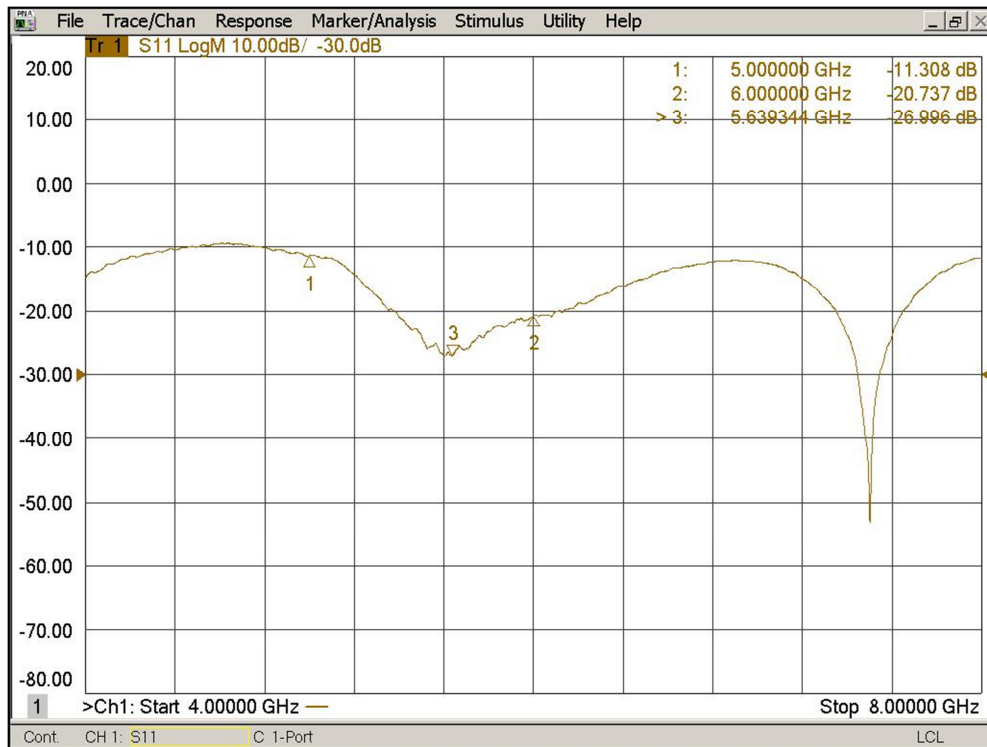
Vivaldi antenler doğrusal polarizasyonludur ve 1 GHz'in üzerindeki antenler için daha çok uygundur. Vivaldi antenler 10:1 bant genişliğinde çalışması için dizayn edilebilir. Ayrıca bu antenler en yüksek çalışma frekansının dalga boyunun 2-3 kat uzunluğunda üretilebilirler. Bu şekilde çok geniş bantlı antenlerin üretilmesini sağlamaktadır [11].

Bu araştırmada Vivaldi anten kullanılması sebebi antenlerin doğrusal polarizasyonlu olması ve antenlerin aşağı şekilde bakarak elektromanyetik dalgaların taranan cismi kolaylıkla aydınlatmasıdır.

Duvar içi görüntüleme sisteminde 4 – 8 GHz bant genişliğinde çalışabilecek bir Vivaldi anten tasarımı yapılmıştır (şekil 3.2).



şekil 3.2 : Sistemde kullanılan Vivaldi antenin n ve arka görüntüsü.



şekil 3.3 : Sistemde kullanılan Vivaldi antenin S11 parametresi ölçüm sonucu.

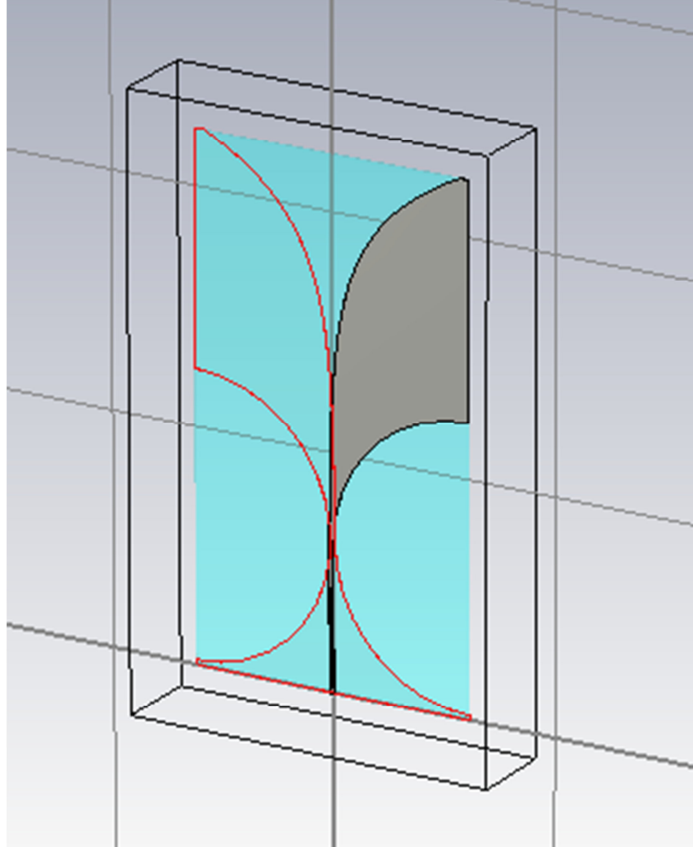
3.2 CST Programı ile Benzetim Çalışmaları

Duvar içi görüntüleme sistemi günümüzde birçok alanda ihtiyaç duyulan bir çalışma alanıdır. Sivil uygulamalarda yer altı görüntüleme ile yerin altındaki kısa mesafedeki gerekli olan bilgiler edinilebilir. Hasarlı su boruları, doğalgaz hatları ve elektrik hatlarının bulunmasında çok büyük avantaj sağlamaktadır [12]. Ayrıca arkeolojik çalışmalarda kazıların daha verimli ve detaylı yapılabilmesini sağlamaktadır. Askeri alanlarda ise mayın aramada ve duvar arkası canlı tespitinde kullanılabilir. Özellikle askeri uygulamalarda yüksek hassasiyet ve doğruluk gerekmektedir. Bu yüzden cisimlerin tespit edilme olasılıklarının yüksek olması gerekmektedir.

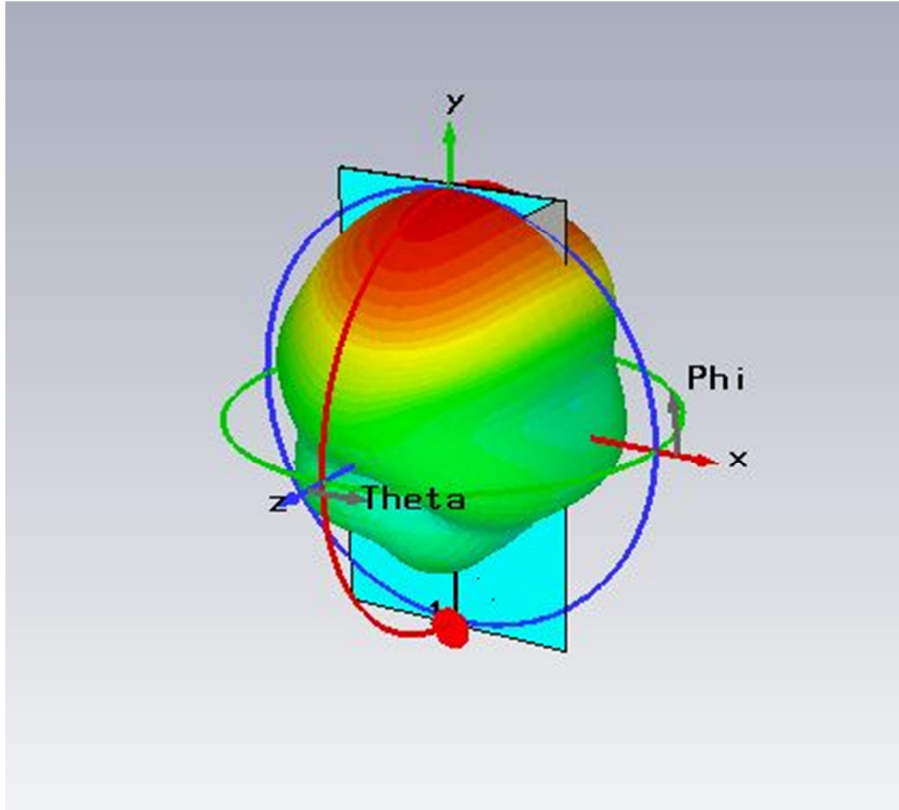
Bu tezde duvar içi görüntüleme sistemi olarak belirtilmiştir fakat aynı yöntem ile farklı alanlarda görüntüleme yapılabilir. Örneğin taranan yer duvar değil de yer zemini olduğu zaman zeminin içinde bulunan cisimler veya arkeolojik çalışmalarda kıymetli tarihi eserler bulunabilir. Çalışmanın tek bir alanda yapılması karşılaştırmalar açısından daha kolay olacağından duvar içine ve engel arkasına yerleştirilmiş cisimlerin tespit edilmesi ve bulunması hedeflenmiştir.

Bu araştırmada kullanılan yöntemlerin bilgisayar ortamında daha kolayca elde edilebilmesi için elektromanyetik alanında en çok kullanılan benzetim programı olan CST Microwave Studio ® programı kullanılmıştır. Benzetim programı ile sistemde kullandığımız antenlerin özellikleri ve ışıma örüntüleri öğrenilerek hangi antenin kullanılan yöntemler için daha uygun olduğuna karar verilmiştir. Benzetim sonuçlarına göre antenlerde iyileştirmeler yapılarak sistemde maksimum performansı sağlayacak anten tasarımı yapılmıştır. Antenlerin benzetim çalışmaları bitirilip antenlerin son hallerine karar verdikten sonra Vivaldi antenlerin üretimleri yapılmıştır (Şekil 3.2). Üretilen antenlerin laboratuvarında ölçümleri alınarak benzetim sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Benzetim çalışmaları ile mikrodalga duvar içi görüntüleme sisteminde kullanılacak 4-8 GHz bandında çalışacak anten tasarımı yapılmış ve daha sonra da antenin üretimi yaptırılmıştır. Duvar içi görüntüleme sisteminde çalışma frekansı olarak görüntüleme metotlarında çokça kullanılan 4-8 GHz bandı seçilmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalar ile sistemin çalışma frekansının 5-6 GHz olmasına karar verilmiştir.

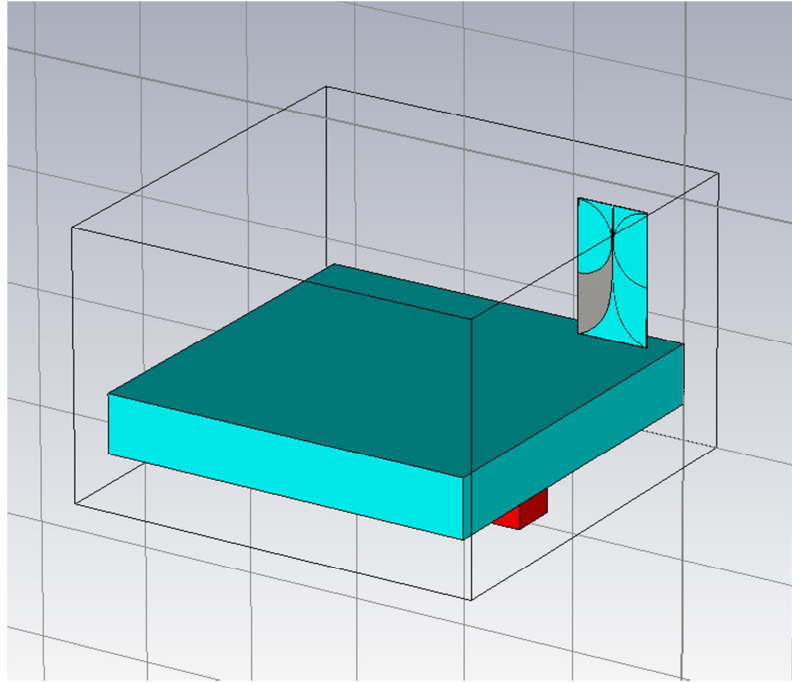


Şekil 3.4 : 4-8 GHz Vivaldi antenin 3 boyutlu benzetim görüntüsü.



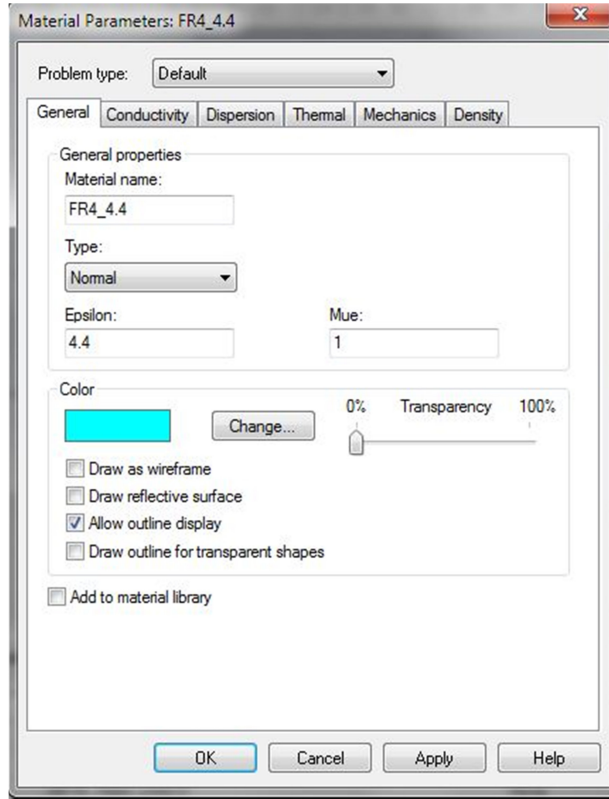
Şekil 3.5 : Vivaldi antenin ışıma örgüsü.

Benzetim programları ile test edilen sistemlerin özellikleri bilgisayar ortamında hızlı ve efektif şekilde elde edilebilmektedir. Sonuçlara bakılarak gerekli görülen düzeltmeler ve tasarım değişiklikleri kolayca yapılabilmektedir. Bu araştırmada da duvar içi görüntüleme sisteminin parçaları CST Microwave Studio ® programı ile benzetimi yapılmıştır. İlk önce sistemde kullanılacak olan antenin fiziksel modeli ve malzemelerini özellikleri sisteme eklenmiştir. Sistemin donanım ile gerçek ortamda alınan sonuçlarının benzetim ortamında alınan sonuçlar ile karşılaştırılabilmesi için gerçek ortamda bulunan cisimler benzetim programında modellenmiştir. Deneysel ortamda bulunan malzemelerin fiziksel ve elektromanyetik özellikleri benzetim programına eklenmiştir. Bu şekilde deneysel ortamın bir benzeri sanal olarak bilgisayar ortamında taşınmıştır. Buradan alınan sonuçlar ile duvar içi görüntüleme sisteminin tamamı hakkında daha iyi teorik sonuçlar elde edilebilmektedir.



Şekil 3.6 : CST programı ile taranan alanın modellenmesi.

Sistemin benzetim programında düzgün şekilde modellenmesi için cisimlerin fiziksel ve elektromanyetik özellikleri doğru bir şekilde eklenmelidir. Benzetim sonuçları ile deneysel ortamda alınan sonuçlar arasında belirli sınırlar içinde değişimler olabilir. Benzetim programı işlemlerini yaparken teorik formülleri ve yaklaşımları kullanır. Bu yaklaşımlar deneysel sonuçlar arasında çok az da olsa hata payı bulunmaktadır. Bu sebeple sonuçlar karşılaştırılırken bu hata payları göz önüne alınmalıdır.



Material	FR4_4.4
Type	Normal
Epsilon	4.4
Mue	1
El. tand	0.025 (Const. fit)

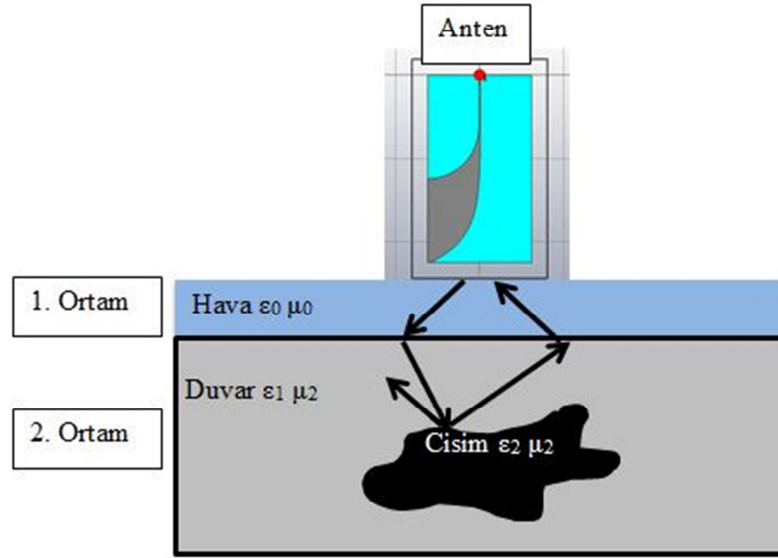
Şekil 3.7 : Malzeme özelliklerinin benzetim ortamına eklenmesi.

3.3 Görüntülenecek Alanın Benzetim Programında Modellenmesi

Bu tezde incelenen problemde uzay en az 3 farklı bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler elektriksel özellik bakımından birbirinden farklılık göstermektedir. Benzetimde ortamlar homojen ve eş yönlü özellikte olduğu kabul edilmiş ve bu şekilde modellenmiştir. Problemde anten ile taranan yüzey arasında boşluk bulunmaktadır, bu boşluk hava veya köpük malzemesi olabilir ve bu ortam 1. bölgeyi oluşturmaktadır. 2. bölge de taranan malzemenin kendisidir ve bu problemde duvar olarak belirtilmiştir. Duvarın içinde bulunan diğer cisimler de 3. bölgeyi oluşturur.

Sisteme genel olarak baktığımızda çok fazla katmanlı bir uzay olarak gözükmemektedir. Elektromanyetik dalganın yayılımı antenden başlar ve ışıyarak hava ortamına geçer. Elektromanyetik dalga bir sonraki aşamada havadan taranacak olan malzemeye girerek zayıflayarak ilerlemeye devam eder. Duvarın içinde bulunan cisimlere çarpan

elektromanyetik dalga geri yansıyabilir veya farklı yönlerde saçılabilir. Saçılan dalgalar anten tarafından ya alınamaz ya da çok düşük seviyelerde tespit edilir.



Şekil 3.8 : Farklı ortamlarda elektromanyetik dalganın yayılımı.

Görüntüleme sisteminde gönderilen elektromanyetik dalga ile dönen dalganın genlik ve faz bilgileri incelendiği için, cisme çarpıp saçılarak dönen dalgalar farklılık oluşturur ve bu farklılık da görüntü işleme algoritması ile görüntüye dönüştürülür. Bir başka durumda da sistemden gönderilen elektromanyetik dalga metalik cisme çarpıp geri yansıyarak antene ulaşır. Geri yansıyarak antenden alınan dalga ortama gönderilip alınan dalgadan genlik olarak daha büyüktür. Görüntü işleme kısmında bu farklılık cismin tespitinde kullanılır ve bu şekilde farklılığın olduğu yerlerde metal cisim olduğu belirlenebilir [13].

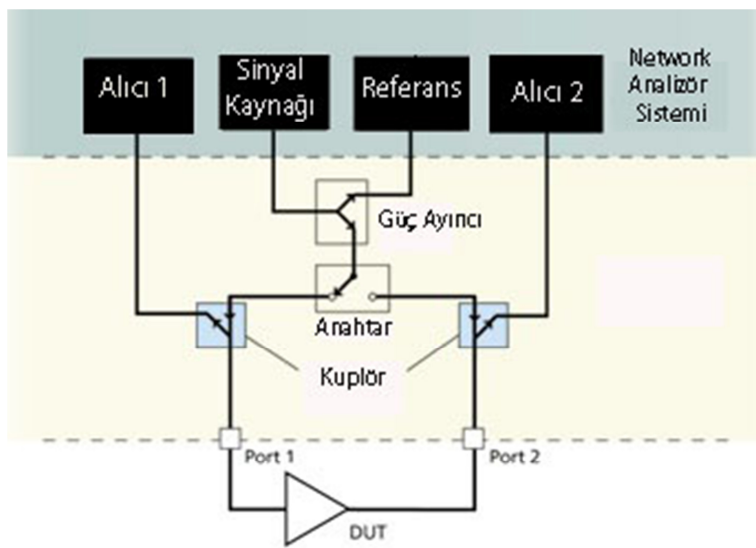
Duvar içi görüntüleme sisteminde incelenen problemde problem uzayının çok katmanlı olması bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Sistemin çok katmanlı olmasından dolayı elektromanyetik dalga katmanlar arasında geçişinde yansıma kırılmalara uğrar ve bu değişimler görüntü işleme kısmında bazı bozulmalara sebep vermektedir. Özellikle deneysel sonuçlarda çok katmanlı yapının görüntüleme daha çok bozucu etkisi görülmektedir. Bu bozulmaları öngörebilmek için benzetim ortamında farklı katmanlı problem uzaylarında incelemeler yapılarak cisimler doğru şekilde tespit edilmeye çalışılmıştır.

3.4 Mikrodalga Duvar içi Görüntüleme Yöntemi

Taranan yüzeylerin içindeki cisimlerin ve malzemelerin konumlarının ve şekillerinin belirlenebilmesi için ara yüz ile kullanıcıya görüntülenmesi gerekmektedir. Sistem tarafından taranan yüzey ile ilgili veriler toplanır ve bunlar sinyal ve görüntü işleme algoritmaları ile işlendikten sonra görüntü olarak gösterilir.

Duvar içindeki cisimlerin gösterilmesindeki en önemli kısım cisimlerin konum ve şekillerinin yüksek doğrulukta gösterilmesidir. Sistemde belirli bir hata payı bulunmaktadır ve bazı deneysel taramalarda azda olsa hatalar görülebilmektedir. Bu hataların en büyük sebebi etraftan sisteme etki eden gürültü sinyalleri ve bazı bozucu sinyallerdir. Hataların en aza indirgenebilmesi için sisteme etki eden bozucu etmenlerin sinyal ve görüntü işleme algoritmaları ile elimine edilmelidir.

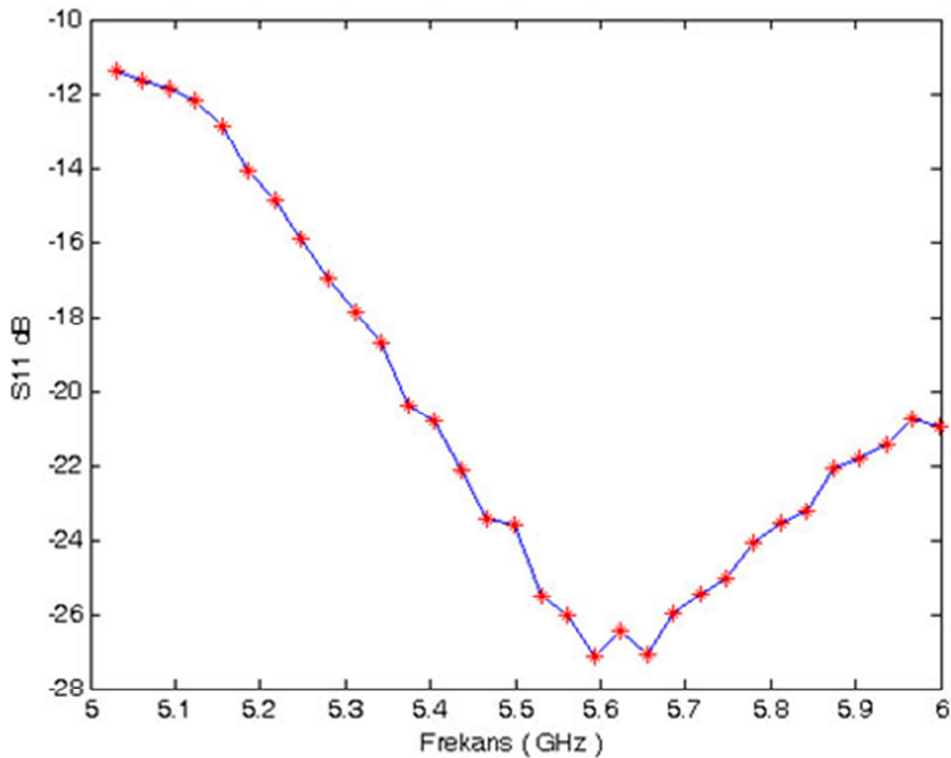
Duvar içi görüntüleme sisteminin temel prensibi taranan yüzeydeki cisimlerin dielektrik farklılıklarını görüntü olarak dönüştürmektir. Duvar içindeki cisimlerin dielektrik özelliklerinin belirlenmesinde en basit yöntem cisme elektromanyetik dalga gönderip dönen dalgada oluşturduğu genlik ve faz değişikliklerini incelemektir. Bu ölçümün yapılabilmesi için S11 parametresi ölçüm sistemi kullanılabilir. Vektör Network Analizör (VNA) ile S11 ölçümü yapılırken birinci porttan istenen frekans bandındaki sinyaller gönderilir ve geri alınır. Gönderilen ve geri alınan sinyallerin genliklerinin oranı ve fazlarının farkı ile porta bağlanan cihazın S11 parametresi ölçülmüş olur.



Şekil 3.9 : VNA S parametresi ölçüm düzeneği.

şekilde antenin konumu sensör tarafından okunarak ve hangi nokta taranıyorsa veriler o nokta için kayıt edilir ve bu veriler ile görüntü oluşmaktadır.

Bu araştırmada 5-6 GHz frekans bandında 32 noktada S11 parametresi ölçümü alınır. Sistemin bant genişliği 1 GHz'dir ve 31.25 MHz aralıklarla ile ölçüm alınmaktadır. Bu frekans bandının seçilme sebebi antenin bu frekans bandında S11 parametresinin -10 dB'nin altında olması ve deneysel olarak yapılan çalışmalarda bu bantta cisimlerin görüntülenmesinin başarılı sonuçlar vermesidir.



Şekil 3.12 : Anten ile alınan 5-6 GHz arası 32 nokta S11 parametre ölçümü.

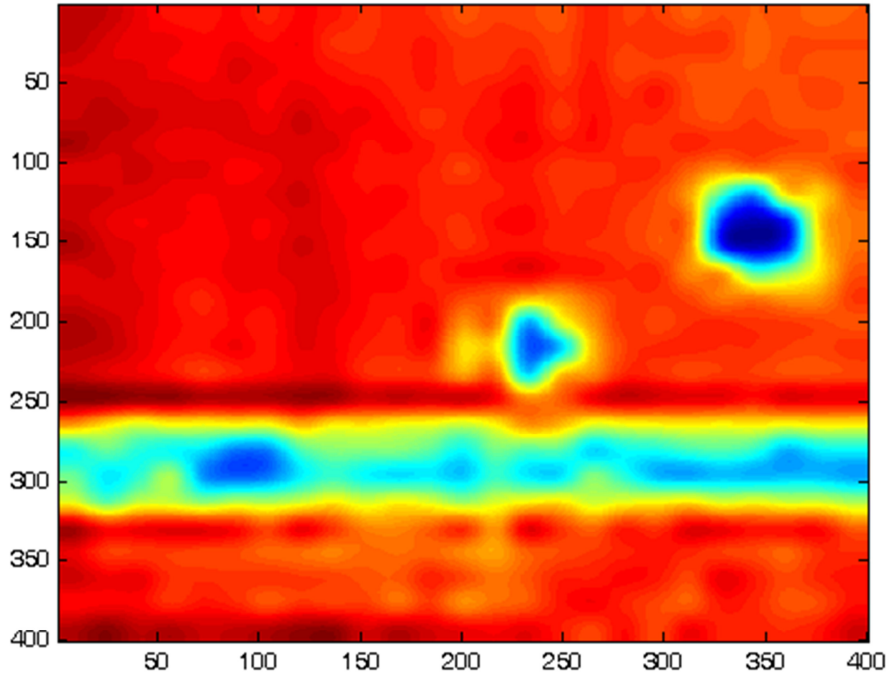
Bu tezde görüntülemenin daha iyi olabilmesi için önemli olan üç parametre bulunmaktadır. Bunlardan birincisi çalışma frekansı, ikincisi bant genişliğidir. Üçüncü önemli olan parametre de ölçüm için alınan nokta sayısıdır. Çalışma frekansı sistemin ne kadar derinlikteki cisimleri tespit edebileceğini belirlemektedir. Çalışma frekansı yükseldikçe elektromanyetik dalganın duvar içinde ve cisim içinde ilerlemesi azalmakta ve zayıflaması artmaktadır. Bu sebeple de frekans yükseldikçe çözünürlük artar fakat daha derindeki cisimlerin tespiti zorlaşır. Çalışma frekansının bant genişliği de görüntüleme çözünürlüğünü belirlemektedir **(3.1)** [17].

$$Sr = \frac{c_0}{2B} \quad (3.1)$$

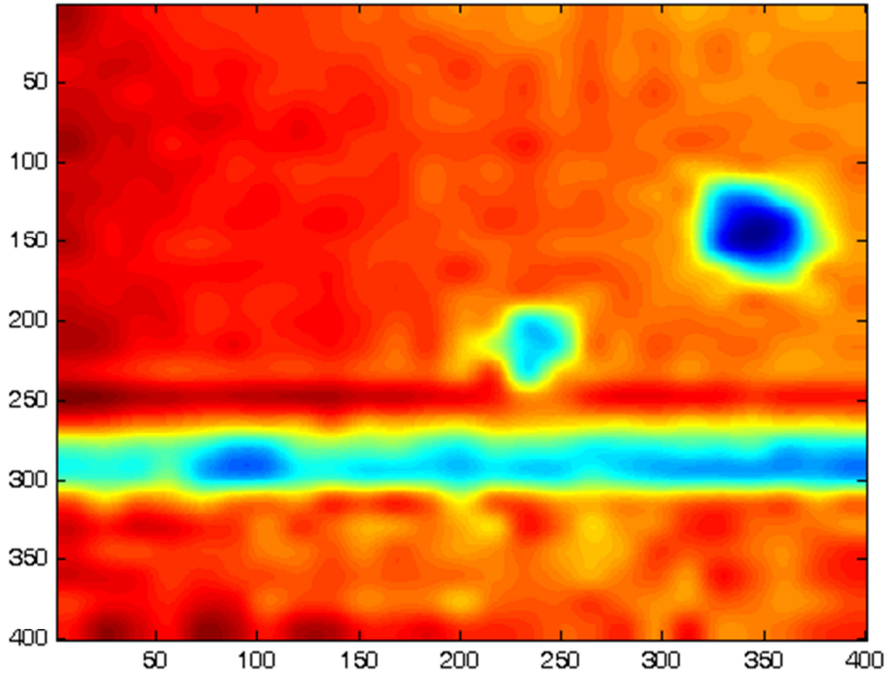
Görüntüleme için istenen özellikler önceden belirlenerek çalışma frekansı ve bant genişliği bu özelliklere göre belirlenmektedir. Ayrıca S11 parametresinin ölçümünün kaç nokta alınarak yapıldığı da cisimlerin tespit edilmesinde önemli bir parametredir. S11 parametresinin ölçümünün kaç nokta ile yapıldığı görüntülemeye bu verilerin ters Fourier dönüşümü alınarak yapıldığı için önemlidir. Eğer görüntüleme için gerekli ölçüm farklılığı yaratacak ölçüm sonuçları olmazsa cisimler tespit edilemez. Bu işlemi analog dijital çeviricilerde gerekli olan Nyquist teoremine benzetebiliriz. Ölçüm nokta sayısı olarak S11 parametre ölçüm sonuçlarının en yüksek frekansının en az iki katı frekansta örnekleme alınması gerekebilir. Bunun yanında ölçüm nokta sayısının en az ne kadar olması gerektiğini deneysel sonuçlar ile de gözlemleyebiliriz. Eğer ölçüm sayısını çok azaltırsak cisimlerin tespiti yapılamaz veya yanlış cisimler tespit edilebilir. S11 parametre ölçüm sayısı ayrıca donanımsal sistemde tarama hızını da belirlemektedir. Eğer fazla nokta ile ölçüm alınacaksa sistem yavaşlar fakat cisimlerin konum ve şekil tespiti daha iyi yapılabilmektedir. Gereğinden daha az nokta ile ölçüm alınırsa da sistem daha hızlı sonuçları gösterebilir fakat cisimler tespit edilemez veya yanlış cisim tespiti yapılabilir. Bu nedenle ölçüm nokta sayısına deneysel ve teorik bilgiler birlikte kullanılarak karar verilmektedir. Farklı ölçüm noktaları ile alınmış deneysel çalışmaların sonuçları gösterilmektedir (Şekil 3.13, 3.14) .

Duvar içi görüntüleme sistemi ile 4 – 8 GHz bandında Vivaldi anten ile 630 ölçüm noktası alınmıştır ve bu sonuçlar görüntü işleme algoritmaları ile görüntüye dönüştürülerek yukarıdaki ilk örnekteki görüntü elde edilmiştir. İlk örnekte 4 – 8 GHz frekans bandında 4 GHz bant genişliğinde 6,35 MHz aralıklarla ölçüm alınmıştır. İkinci örnekte aynı veriler kullanılmış ve 247,6 MHz aralıklarla olan ölçüm verileri alınmış ve görüntü işleme algoritmaları ile görüntüye çevrilmiştir.

Yukarıdaki sonuçları incelediğimiz zaman iki resimde de cisimlerin düzgün olarak tespit edildiğini görebilmekteyiz. İlk örnekte 630 nokta alınarak ölçüm yapılmıştır, ikinci örnekte ise aynı frekans bandındaki verilerin sadece 16 noktası görüntülemeye kullanılmıştır. İki örneği karşılaştırdığımız zaman ikinci örnekte bazı detayların kaybolduğu gözlemlenebilmektedir. İlk resimde ortadaki cismin içinin ikinci resme göre daha koyu olduğu görülmektedir.



Şekil 3.13 : 630 nokta ölçümlü görüntü sonucu.



Şekil 3.14 : 16 nokta ölçümlü görüntü sonucu.

Görüntülenen cismin daha koyu renk ile gösterilmesi o cismin elektromanyetik dalgayı daha çok yansıttığını ve metal olabileceğini göstermektedir. Fakat ikinci resimde ölçüm sayısı daha az olduğu için verinin içindeki bu bilgi kaybolmuştur. Her iki görüntüyü de incelediğimiz zaman cisimlerin her iki görüntüde de tespit edildiği görülmektedir, ölçüm nokta sayısı sistemde istenilen özelliklere göre belirlenmelidir.

3.5 Mikrodalga Duvar içi Görüntüleme Kalibrasyon Yöntemi

Duvar içi görüntüleme sistemi ile her bir nokta için anten ile ayrı ayrı S11 parametre ölçümü alınır ve bu ölçümler bilgisayar belleğinde saklanır. Her noktadan alınan S11 parametre ölçümleri o bölgenin altındaki alanın bilgilerini içermektedir. Sistem ile görüntüleme yapabilmek için sistemi ilk önce başlangıç pozisyonunda hataların düzeltilmesi için kalibre etmek gerekmektedir. Sistemsel hatalar ölçümleme ile giderildikten sonra cisimlerin tespit edilebilmesi için ayrı bir hata düzeltme ve sistem ölçümlemesi yapılması gerekmektedir. Bu şekilde cisimlerin tespiti daha yüksek başarımda yapılmaktadır. Sistem başlangıçta boş bir alanda anten ile tarama yaparak o bölgenin boş olduğu ve sistemin bu bölgeyi boş olarak algılaması için ölçüm alınır. Bu ölçüm ile boş veya farklı bir cisim olmayan yerler sistem tarafından tanınmış ve belirlenmiş olur.

$$\Delta S(f) = \frac{|(S_{11,Cisim}(f))^2 - (S_{11,Boşluk}(f))^2|}{(S_{11,Boşluk}(f))^2} \quad (3.2)$$

Bu fonksiyon (3.2) ile sistem taramaya başlamadan önce kalibre edilmektedir [2]. Bu şekilde sistemsel hataların azaltılması sağlanmış olur. Ayrıca bu çalışmanın amacı olan duvar içindeki cisimlerin tespit edilmesi için taranan ortamın ve metal cisimlerin sisteme tanıtılması gerekmektedir. Bu ölçümleme ile sistem aldığı verileri en baştaki hata düzeltme verilerinden çıkararak ölçümlerin gerçek değerlerini bulmuş olur.

Bir diğer ölçümleme de taranacak olan duvarın veya malzemenin ölçüm sonuçlarının sisteme aktarılmasıdır. Bu ölçümleme için taramaya başlamadan önce taranacak olan yüzeyin boş olduğu bilinen bir yerinin ölçümleri alınarak sisteme eklenmesidir. Alınan bu ölçüm görüntüleme algoritmasında arka plan olarak kullanılmaktadır [14].

Yer altı radarlarında da kullanılan arka plan yok etme metodu duvar içi görüntüleme sisteminde de kullanılmıştır. Bu metot ile görüntüde arka plan olan yerler boş olarak

belirtilmektedir. Eğer alınan ölçüm sonuçları arka plan ölçümlerinden büyük farklılıklar göstermekte ise cisim olarak belirtilmektedir.

3.6 Fourier Görüntüleme Yöntemi

Duvar içi görüntüleme sistemi ile ölçüm sonuçlarının görüntüye dönüştürülebilmesi için alınan ölçümlerin görüntü işleme algoritmaları ile işlenmesi gerekmektedir. Bu araştırmadaki ölçüm verileri S11 parametre bilgileridir. Sistem ile her noktada anten ile S11 parametre ölçümleri alınır ve bunlar bilgisayar belleğinde saklanır. Bu veriler her noktanın altındaki bölge hakkında bilgiler taşımaktadır. S11 parametresi ölçümleri frekans domeninde alınan ölçümlerdir. Bu verilerin içinden cisimlerin tespit edilmesi için gerekli olan bilgileri çıkarmak için uzay domenine dönüştürmek gerekmektedir. Alınan ölçüm sonuçlarının frekans domeninden uzay domenine dönüştürmek için ters Fourier dönüşümünü kullanmak gerekmektedir. Sistem ile alınan S11 parametre ölçümleri her frekans için genlik ve faz bilgisi içermektedir. Bu veriler karmaşık sayılara dönüştürülerek IFFT fonksiyonuna girdi olarak kullanılır.

$$S_{11}(f) = |S_{11}(f)| \cdot e^{j\theta} = |S_{11}(f)| \cdot \cos \theta + i \cdot |S_{11}(f)| \cdot \sin \theta \quad (3.3)$$

$$z = x + i \cdot y \quad (3.4)$$

$$F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha) e^{-j2\pi f\alpha} d\alpha \quad (3.5)$$

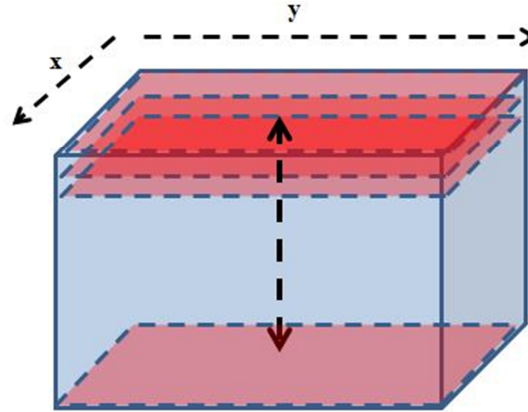
$$f(\alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) e^{-j2\pi f\alpha} df \quad (3.6)$$

S11 parametre ölçüm sonuçları ile elde edilen genlik ve faz bilgileri (3.4) şeklinde karmaşık sayıya dönüştürülür. Her noktadan alınan S11 parametresi ölçümleri bu şekilde karmaşık sayıya dönüştürülerek IFFT (3.6) ile frekans domeninden uzay domenine geçilmiş olur [15-19].

3.7 IFFT Görüntüleme Algoritması

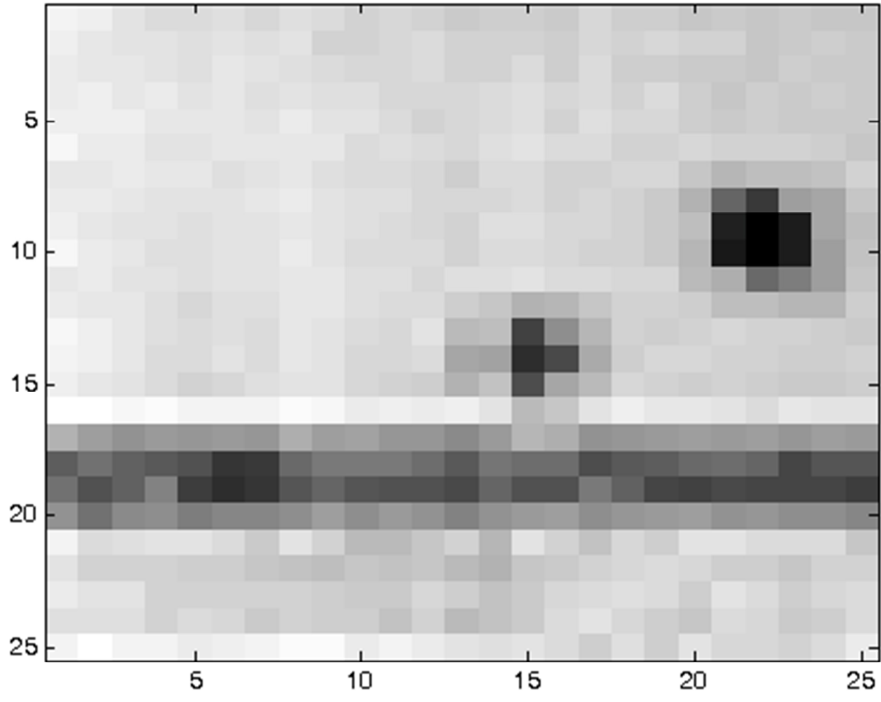
Duvar içi görüntüleme sisteminde duvar içindeki cisimlerin konumunun ve şeklinin bulunup görüntülenebilmesi için IFFT sonuçları kullanılmaktadır. Sistem ile S11

parametre ölçümleri alınarak her noktanın verileri kayıt edilir. Her bir noktanın S11 genlik ve faz bilgileri karmaşık sayıya çevrilerek IFFT fonksiyonu ile frekans domeninden uzay domenine çevrilmiş olur. Bu işlemin sonucunda üç boyutlu bir matris elde edilmiştir (Şekil 3.15). Matrisin ilk iki boyutu her bir noktanın pozisyon bilgisi olan x ve y bilgilerini göstermektedir. Üçüncü boyutta da her bir noktanın IFFT sonuçları bulunmaktadır. Frekans domeninden uzay domenine geçildiği zaman sonuçlar IFFT bölümlerinin sonucunu göstermektedir. Görüntünün elde edilebilmesi için ilk IFFT sonucu kullanılabilir. Üç boyutlu matristen iki boyutlu görüntüyü elde edebilmek için ilk x-y düzlemini kullanarak gri veya renkli skalada görüntüleyebiliriz. Sonuçları incelediğimiz zaman cisimlerin bulunduğu yerler boş olan alandan daha koyu olarak gözükmemektedir. Cisimler metal olduğu zaman elektromanyetik dalgayı geri yansıttığı için geri dönen sinyalin genliği boş alandan dönen sinyalin genliğine göre daha büyüktür. Bu farklılıkta görüntüde daha koyu olarak gösterilmektedir ve cisimlerin tespiti başarılı şekilde gösterilmektedir.

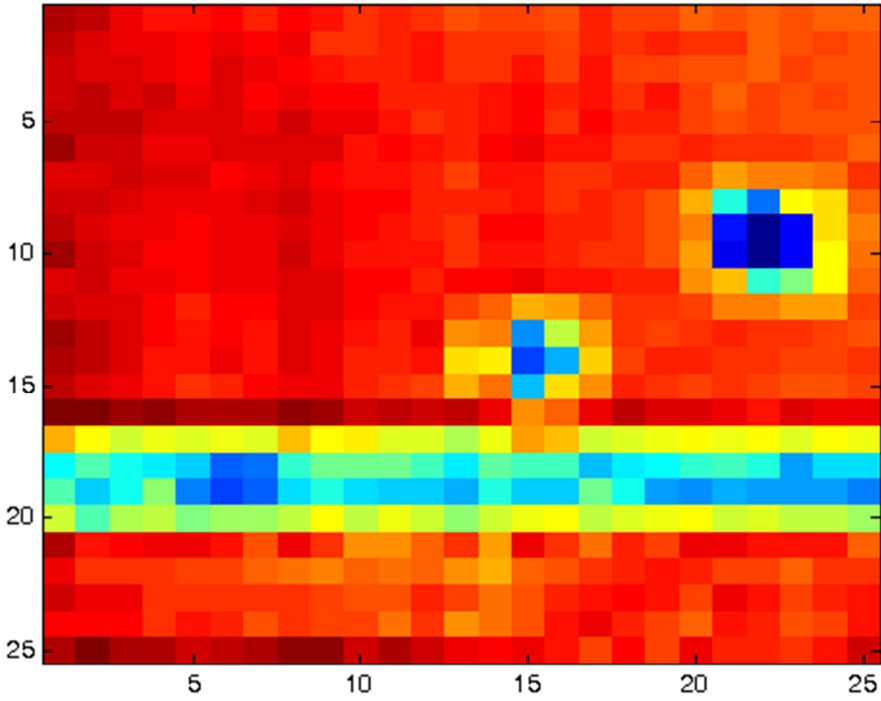


Şekil 3.15 : IFFT sonuç matrisinin gösterimi.

Örneklerde ilk IFFT sonucu gri ve renkli skalada gösterilmektedir (Şekil 3.16, 3.17). Örnekte gösterilen görüntüler duvar içi görüntüleme sistemi ile elde edilen ham verilerin renklendirilerek gösterilmesidir. Boş olan yerler daha açık renkle gösterilmektedir. Dielektrik özellikleri taranan yerden farklı olan cisimler görüntülerde daha koyu olarak gösterilmektedir. Boş olan yerlerin daha açık olarak gösterilmesinin sebebi sistemde taramaya başlamadan önce yapılan arka plan yok etme metodundan dolayıdır. Arka plan yok etme metodu ile boş olan yerlerin IFFT sonuçları en az seviyede olmaktadır. Sonuçların görüntüye dönüştürülmesi için en düşük ve yüksek değerler 0 ile 255 arasına tekrardan dönüştürülür. Bu dönüşümden sonra arka planlar daha açık, metalik cisimler de daha koyu renkte gösterilmektedir.

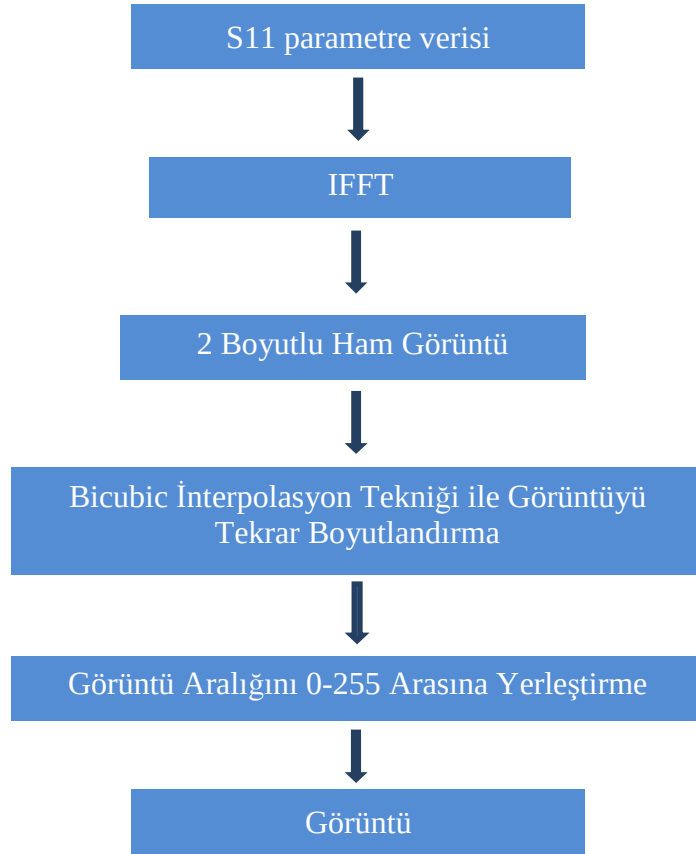


Şekil 3.16 : IFFT sonucu ham görüntü gri skala gösterimi.

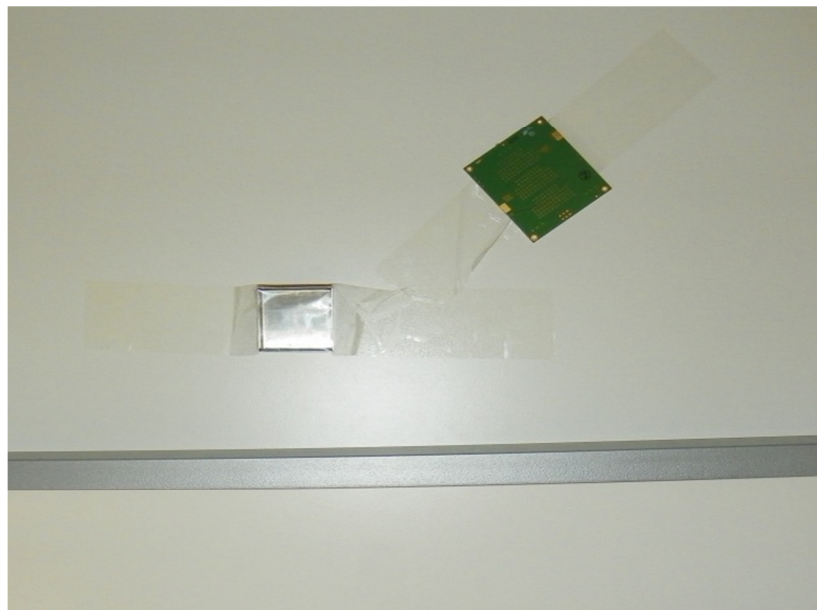


Şekil 3.17 : IFFT sonucu ham görüntü renkli skala gösterimi.

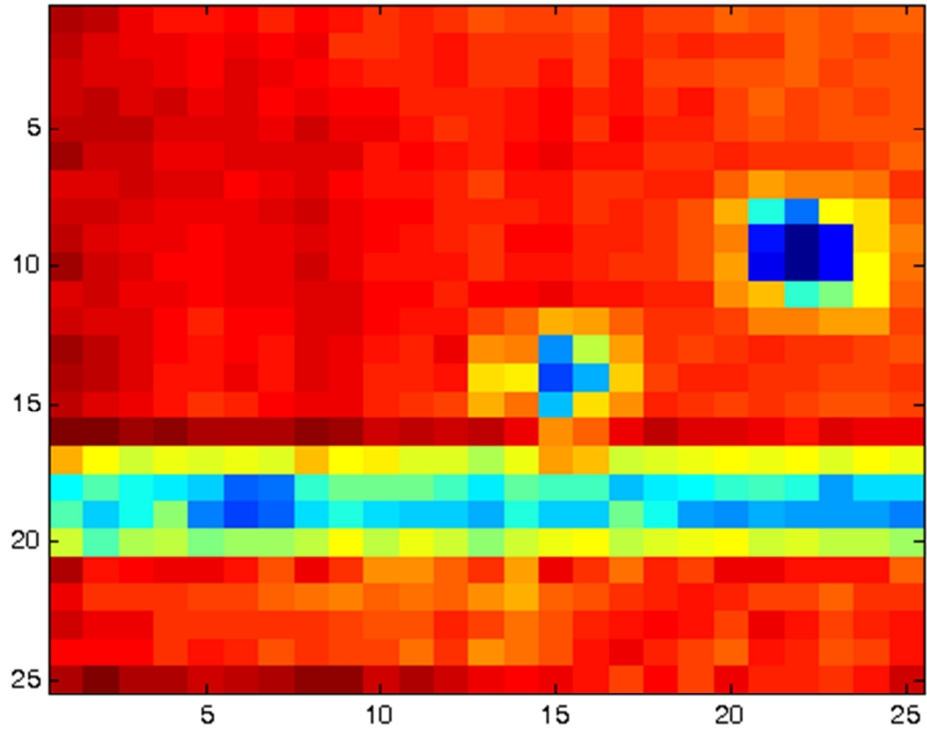
Duvar içi görüntüleme sistemi ile elde edilen sonuçların daha anlaşılır gösterilmesi için bazı görüntü işleme işlemlerinden geçirilmesi gerekmektedir. İlk işlem olarak sonuçların daha yumuşak gösterilebilmesi için görüntü tekrardan boyutlandırılmaktadır.



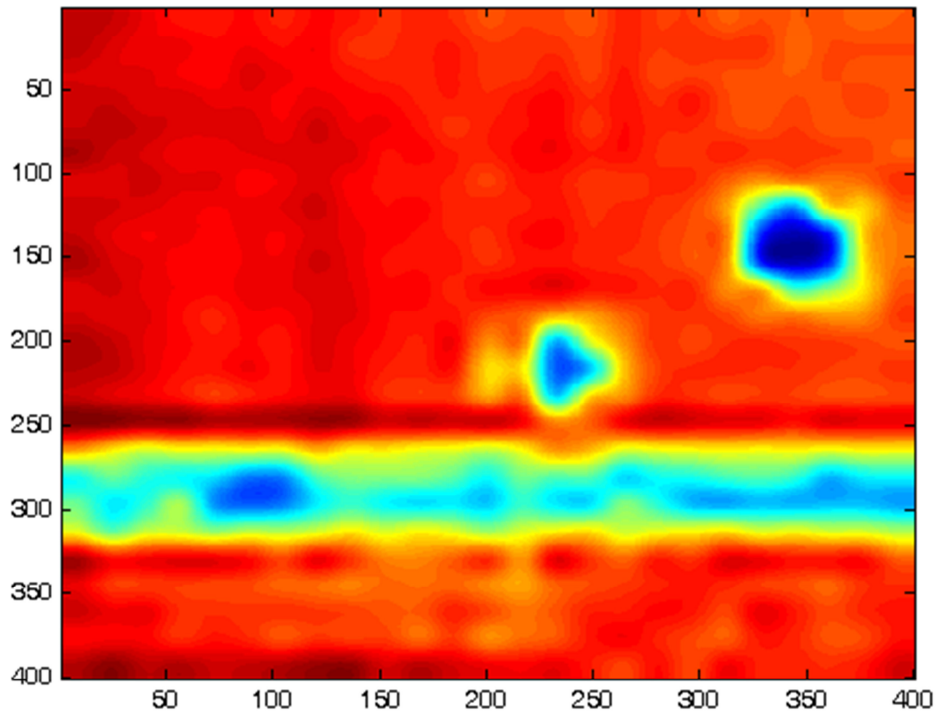
Şekil 3.18 : Görüntü algoritması akış diyagramı.



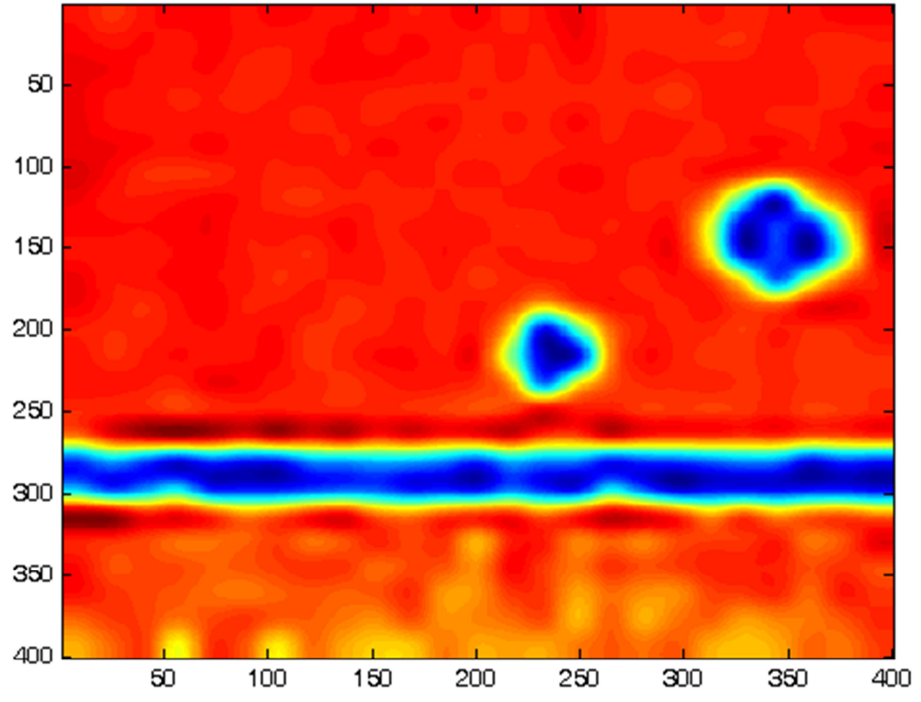
Şekil 3.19 : Taranan alanın altındaki cisimlerin resmi.



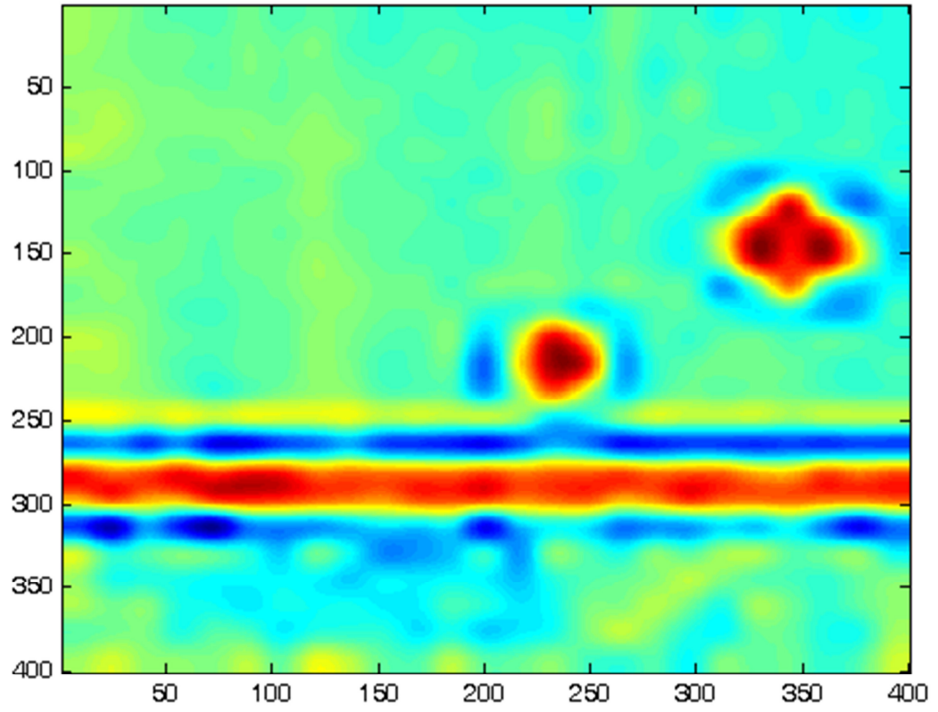
Şekil 3.20 : İlk IFFT sonucu ham görüntü.



Şekil 3.21 : Ham görüntünün 16 kez interpolasyon sonucu görüntüsü.



Şekil 3.22 : IFFT ikinci sonuç görüntüsü.



Şekil 3.23 : Farklı IFFT sonuç görüntüsü.

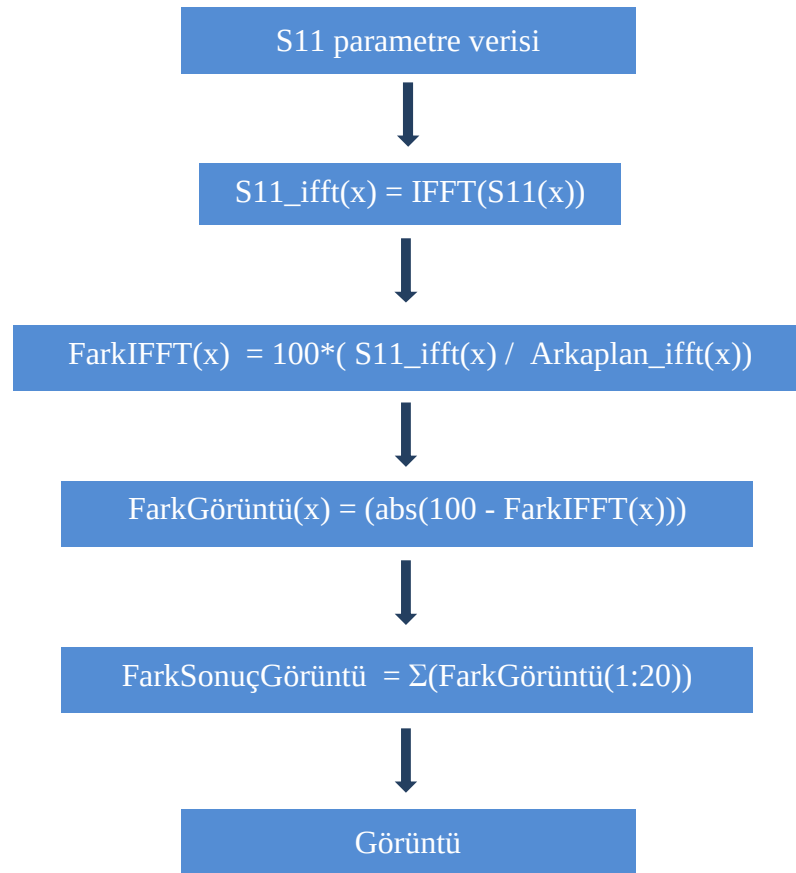
3.8 Fark Görüntüleme Algoritması Kullanılarak Cisim Tespitinin İyileştirilmesi

Duvar içindeki cisimlerin daha iyi tespit edilebilmesi için IFFT sonuçlarının sinyal ve görüntü işleme algoritmaları ile işlenmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmalarda elde edilen veriler ve IFFT sonuçları kullanılarak elde edilen görüntüler önceki örneklerde gösterilmiştir. IFFT sonuçlarını kullandığımız zaman sadece IFFT verisinin kullanılan sonuçtaki farklılıklar görüntüye çevrilmektedir. Bu şekilde her bir IFFT sonucundaki görüntüler ayrı ayrı gösterilmektedir. Yapılan araştırma ve incelemelerde sadece tek bir IFFT sonucunu kullanmak ile cisimler tespit edilebilmektedir. Fakat bu sonuçlar ile boş olan yerleri ve cisimlerin bulunduğu yerleri ayırt etmek her zaman mümkün olmamaktadır. Her IFFT sonucu her bir mesafe çözünürlüğündeki göstermektedir. Bu sebeple farklı derinliklerdeki farklı cisimleri tek bir IFFT sonucu ile oluşturulan görüntüde tespit edilememektedir. Bu araştırmada cisimlerin sadece iki boyutlu görüntüleri sonuç olarak gösterilmektedir, üç boyutlu gösterim yapılmamaktadır. Bu nedenden dolayı farklı derinliklerdeki cisimlerin görüntüleri farklı IFFT sonuçlarında bulunmaktadır. İki boyutlu görüntüleme yapılırken sadece tek bir IFFT sonucu kullanıldığından dolayı bazı cisimlerin tespit edilmesinde hatalar olduğu görülmüştür. Cisimlerin daha yüksek doğrulukta tespit edilebilmesi için farklı IFFT verilerinin belirli bir algoritma ile birleştirilerek tek bir görüntüde sonuç olarak gösterilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca bu algoritma ile cisimlerin arka plan görüntüsüne göre daha baskın hale getirilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda anten ile ölçülen S11 parametre sonuçları antenin önüne konulan malzemenin dielektrik parametresine göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca bu farklılık IFFT sonuçlarında da gözlemlenmektedir. Fakat sadece tek bir IFFT sonucunu görüntüye çevirmek bazı cisimlerin tespitini zorlaştırmaktadır. Cisimlerin tespit edilmesinde S11 parametrelerindeki farklılıklar yüzde olarak hesaplanıp ve boşluktaki ölçümden yüzde 15 daha farklı olan yerlerde cismin olduğu tespit edilebilmektedir [2]. Bu uygulama duvar içi görüntüleme sistemine IFFT sonuçlarındaki yüzde farklılıklar olarak uygulanmıştır. Bu araştırmada tespit edilmek istenen cisimler antene çok yakın olduğu için cisimlerin çoğu ilk IFFT sonucunda görüntülenebilmektedir. Daha derindeki cisimlerin tespit edilmesinde ise diğer IFFT verileri incelenmektedir. Her bir noktada alınan S11 parametre ölçümleri IFFT fonksiyonu ile frekans domeninden uzay domenine geçilir. Uzay domeninde uzakta

olan cisimlerin sinyalleri daha geç geldiği için diğer IFFT sonuçlarındaki verilerde görüntüye belirli katsayı ile eklenmektedir. Farklı IFFT sonuçlarındaki derinlik bilgileri bu şekilde tek bir görüntüye eklenerek cisimlerin tespiti daha yüksek doğrulukta yapılmaktadır.

Bu tezde kullanılan anten ile farklı metallerin ve malzemelerin değişik derinliklerdeki benzetim çalışmaları yapılarak sonuçları kayıt edilmiştir. Benzetim sonuçları görüntüye çevirmek için MATLAB’da IFFT fonksiyonu ile işlenir. Buradan çıkan ham verilerin fark görüntüleme algoritması ile işlenmesi için aşağıdaki işlemlerden geçirilerek sonuç iki boyutlu görüntüye çevrilir.



Şekil 3.24 : Fark görüntüleme algoritması akış diyagramı.

Fark görüntüleme algoritması ile S11 parametre ölçümlerine ilk önce IFFT işlemi uygulanır. Bu algoritmadaki temel prensip farklı malzemeler ile alınan ölçüm sonuçlarında oluşan farklılığı arka plana göre daha baskın hale getirmek olduğu için sistemde ilk önce boş olan bir yerde arka plan ölçümü alınır. Alınan bu ölçüm arka plan ölçümü olarak kayıt edilir ve bütün diğer sonuçlar bu ölçüme göre normalleştirilir ve 100 ile çarpılarak yüzde fark olarak hesaplanmış olur. Bu işlem ile

her bir IFFT sonucu ölçümün arka plana göre yüzde kaç farklılık gösterdiği hesaplanmış olur. IFFT sonuçlarındaki bu farklılığın görüntüye aktarılması için görüntüye etki edecek fark hesaplanması işlemi yapılır. Sonuçlar yüzde olarak farklılığı gösterdiği için her sonuç 100'den çıkartılır ve mutlak değerleri alınır. Görüntülemeye asıl farklılığı oluşturacak olan işlem alınan ölçümler ile arka plan ölçümü arasındaki farkın mutlak değeriyle işleme sokulmasıdır. Farkın mutlak değerinin alınmasının sebebi ise sonuçlar incelendiğinde daha açık olarak gözükmektedir. Çizelge 3.1 ve 3.3 sonuçlarını incelediğimiz zaman farklı IFFT sonuçlarının bazılarının 100'den küçük bazılarının da 100'den büyük olduğu görülmüştür. Sadece farkları alınıp toplanırsa pozitif ve negatif farklar birbirini azaltabilmekte ve oluşan bu farklılığın arka plana göre olan baskınlığını azaltmaktadır. Bu algoritma ile asıl yapılmak istenen cisimlerden alınan ölçümlerin arka plana göre daha baskın farklılıklar yaratması olduğu için bu algoritmada ölçüm sonuçları arasındaki farkların mutlak değerleri kullanılmıştır.

Yapılan işlemlerden sonra hangi IFFT sonuçlarının oluşan farklılıkların görüntüye etki edeceğini bulmak için yapılan benzetim sonuçları incelenmiştir. Farklı malzemeler ile yapılan benzetim sonuçları fark görüntüleme algoritmasındaki işlemler ile hesaplanıp sonuçları Çizelge 3.1 ve 3.3'de gösterilmiştir. Bu verilerde arka plan sonucu 100 iken diğer malzemeler ile yapılan benzetim sonuçlarının değerleri gösterilmektedir. Bu değişimleri yüzde değişim olarak göz önüne aldığımız zaman 20. sonuçtan sonra sonuçlar çok az değişmektedir. Burada kaç adet sonucun görüntüye etki edeceğini belirleyebilmek için değişimlerin en çok olduğu yeri almak gerekmektedir. Çizelge 3.1 ve 3.3'ü incelediğimiz zaman ilk 10 sonuçta değişimin çok olduğu görülmekte ve gittikçe fark azalmakta ve 20. sonuçtan sonra çok az değişim olduğu görülmektedir. Bu algoritmada ilk 20 sonucun arka plan sonucundan farklarının mutlak değeri toplanarak o noktanın görüntü sonucu elde edilmiş olur.

Deneyisel tarama ile alınan ölçümlerin görüntüleme algoritması ile işlendikten sonra elde edilen görüntüleri Şekil 3.25 ve 3.26'da gösterilmektedir. Deneyisel tarama yapılan alanın modellenerek benzetimi yapılmıştır. Bu benzetimin ölçüm sonuçları ile oluşturulan görüntüler Şekil 3.29 ve 3.30'da gösterilmektedir. Fark görüntüleme algoritmasının görüntüleme ve cisimlerin tespiti üzerinde yaptığı etkiyi gözlemlemek için sonuçları kendi aralarında karşılaştıralım.

Çizelge 3.1 : Farklı malzemelerin hava ortamına göre IFFT sonuçları.

IFFT Sonuç Sırası	Tahta 15cm	Demir 15cm	Alüminyum 15cm	Süper İletken 15cm	Süper İletken 10cm	Süper İletken 5cm
1	100,47	100,36	100,36	97,06	101,91	101,61
2	100,51	99,49	99,49	97,40	100,58	102,06
3	99,35	100,92	100,92	92,77	99,34	98,69
4	99,93	100,08	100,08	105,94	99,18	97,66
5	99,99	101,28	101,28	73,91	97,42	91,81
6	100,29	100,62	100,62	105,00	100,89	97,41
7	90,06	104,76	104,76	368,31	71,59	691,39
8	99,86	111,75	111,76	133,33	146,82	109,03
9	103,99	146,08	146,09	99,40	137,93	105,31
10	106,01	159,70	159,71	153,84	114,58	95,83
11	70,85	72,22	72,21	70,98	97,15	126,06
12	94,12	93,33	93,33	120,23	96,62	122,06
13	99,41	96,16	96,15	117,36	98,18	121,35
14	100,86	96,62	96,62	114,67	98,83	119,66
15	101,35	96,71	96,71	85,50	99,69	119,00
16	101,60	96,86	96,86	117,57	100,18	118,29
17	101,62	96,83	96,82	113,17	100,58	117,88
18	101,66	96,84	96,83	104,33	100,85	117,52
19	101,69	96,91	96,91	113,32	101,06	117,23
20	101,71	96,95	96,95	107,77	101,22	116,98
21	101,71	96,98	96,98	101,79	101,36	116,76
22	101,71	97,01	97,01	97,40	101,47	116,57
23	101,71	97,04	97,04	113,01	101,56	116,41
24	101,71	97,07	97,07	108,60	101,64	116,26
25	101,71	97,09	97,09	111,38	101,70	116,13
26	101,71	97,12	97,12	104,07	101,76	116,02
27	101,71	97,14	97,14	104,62	101,81	115,91
28	101,71	97,16	97,16	98,83	101,85	115,82
29	101,71	97,18	97,17	106,73	101,89	115,73
30	101,70	97,19	97,19	109,52	101,92	115,65

Çizelge 3.2 : Fark algoritması ile farklı malzemelerin sonuçları.

Toplam IFFT Sayısı	Tahta 15cm	Demir 15cm	Alüminyum 15cm	Süper İletken 15cm	Süper İletken 10cm	Süper İletken 5cm
5	1,71	3,16	3,16	44,80	6,54	15,50
10	22,07	126,10	126,07	405,89	135,17	628,00
20	68,19	186,69	186,65	557,82	148,59	824,03
30	85,30	215,73	215,67	621,30	165,54	985,29

Çizelge 3.3 : Farklı malzemelerin hava ortamına göre IFFT sonuçları.

IFFT Sonuç Sırası	Tahta 15cm	Deri 15cm	Tuzlu Su 15cm	Plastik 15cm	Süper İletken 15cm
1	100,47	100,54	83,96	100,60	97,06
2	100,51	100,64	96,60	100,55	97,40
3	99,35	99,92	108,71	99,78	92,77
4	99,93	99,76	99,36	99,40	105,94
5	99,99	100,02	103,82	99,73	73,91
6	100,29	100,78	100,35	100,61	105,00
7	90,06	84,18	96,44	84,26	368,31
8	99,86	94,40	82,61	92,84	133,33
9	103,99	88,85	88,52	84,36	99,40
10	106,01	285,58	299,83	361,10	153,84
11	70,85	59,85	67,11	66,69	70,98
12	94,12	97,90	109,36	97,12	120,23
13	99,41	109,87	98,83	116,24	117,36
14	100,86	121,55	99,34	128,77	114,67
15	101,35	113,10	99,36	112,23	85,50
16	101,60	110,24	100,17	109,30	117,57
17	101,62	108,36	100,13	107,76	113,17
18	101,66	107,42	100,14	107,11	104,33
19	101,69	106,78	100,08	106,63	113,32
20	101,71	106,45	100,12	106,51	107,77
21	101,71	106,13	100,06	106,26	101,79
22	101,71	105,91	100,05	106,10	97,40
23	101,71	105,72	100,02	105,95	113,01
24	101,71	105,58	100,00	105,84	108,60
25	101,71	105,46	99,97	105,75	111,38
26	101,71	105,36	99,96	105,66	104,07
27	101,71	105,27	99,94	105,59	104,62
28	101,71	105,20	99,92	105,52	98,83
29	101,71	105,13	99,91	105,47	106,73
30	101,70	105,07	99,89	105,41	109,52

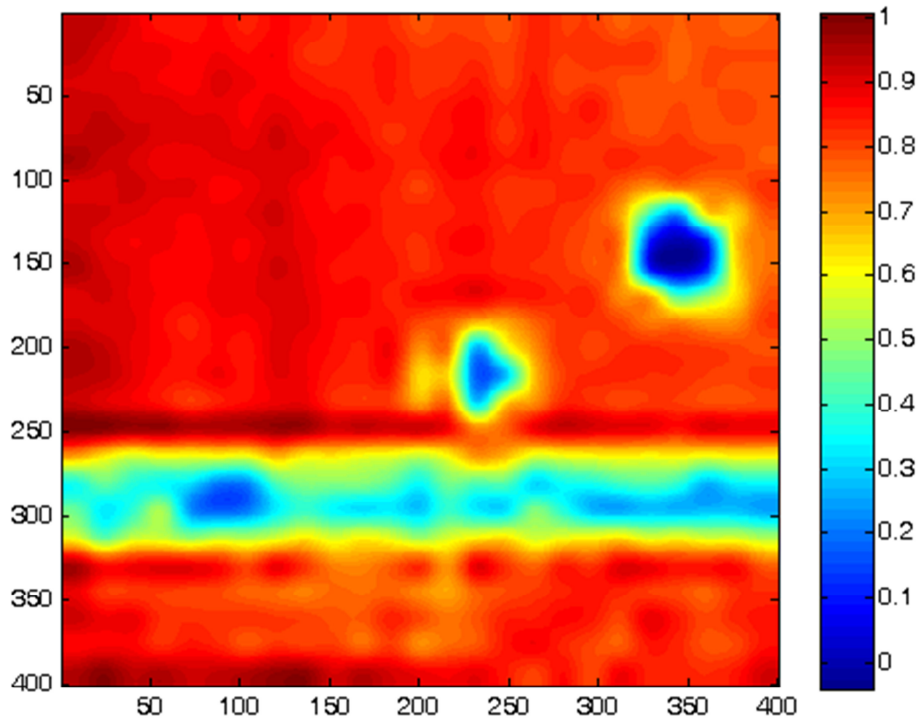
Çizelge 3.4 : Fark algoritması ile farklı malzemelerin sonuçları.

Toplam IFFT Sayısı	Tahta 15cm	Deri 15cm	Tuzlu Su 15cm	Plastik 15cm	Süper İletken 15cm
5	1,71	1,52	32,61	2,25	44,80
10	22,07	220,44	265,22	302,50	405,89
20	68,19	346,46	310,56	433,24	557,82
30	85,30	401,31	311,11	490,79	621,30

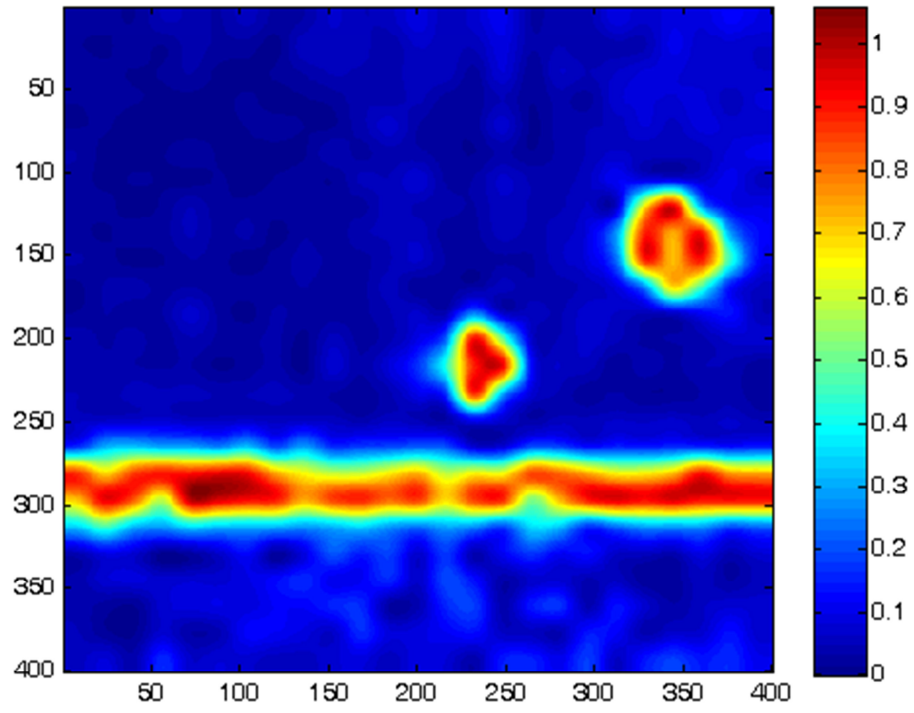
Şekil 3.25 ve 3.26'daki sonuçların maksimum değeri 1 olacak şekilde tekrardan normalleştirilerek kıyaslama yapılmasında kolaylık sağlanmıştır. Her iki görüntüyü incelediğimiz zaman cisimlerin düzgün olarak tespit edilebildiğini görmekteyiz. Şekil 3.25'de metallerin görüntü değerlerinin arka plan değerlerinden daha düşük olduğu gösterilmektedir. Bu sonuca göre arka plan görüntüsü 1 ve 1'e yakın değerlerdir. Görüntü değeri 1'den azaldıkça arka plandan farklı bir cisim olduğu görülmektedir. Eğer değer 0,2 seviyesinin altına indiği zaman bu cismin metal veya yansıtıcı bir malzeme olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca sağ üst köşedeki cismin ortası en koyu mavi renkle gösterilmekte ve değeri de en düşük seviye olarak gözükmemektedir. Metal borunun ise sadece çok az bir alanı koyu mavi olarak gözükmemekte diğer yerleri açık mavi olarak görülmektedir. Şekil 3.25'deki renk skalası 0 ile 1 aralığındadır. Arka planın değeri yüksek, diğer cisimlerin ise daha düşüktür. Sadece IFFT sonucu görüntülemesinde cisimlerin tespiti yapılabilmektedir fakat cisimlerin görüntü değerlerinin arka plan değerine çok baskın olmadığı görülmektedir. Ayrıca bu görüntüleme ile maksimum ve minimum değerleri belirlemek ve cisimlerin tespit edilmesinde eşik değeri belirlemek daha zordur.

Fark görüntüleme algoritması uygulanmış Şekil 3.26'daki görüntüyü incelediğimiz zaman cisimlerin doğru olarak tespit edildiği görülmektedir. Bu görüntüdeki renk ölçeğinde arka plan değerleri 0-0,2 arasında değişmektedir. Metaller kırmızı ile gösterilmektedir ve görüntü değerleri renk ölçeğinde 0,8 – 1 arasında değişmektedir. Bu görüntülemelerde renk ölçeğinin 0 ve 1 arasında eşit yayıldığı görülmektedir. Fark görüntüleme algoritması ile cisimlerin görüntü değerlerinin arka plan görüntü değerine göre daha baskın olduğu görülmekte ve bu şekilde cisimlerin ayırt edilmesi ve tespit edilmesi daha kolay yapılmaktadır.

Benzetim sonucu elde edilen ölçümlerin görüntü işleme algoritmaları ile görüntüye çevrilmesi ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.29 ve 3.30'da gösterilmektedir. Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü ile IFFT sonuç görüntüsünü karşılaştırdığımız zaman fark görüntüleme algoritmasının baskın olmayan cisimleri daha başarılı şekilde tespit ettiği gözlemlenmektedir. Taranan ortamdaki ortadaki (Şekil 3.27) sarı alüminyum cisim sadece Fourier görüntüleme algoritması uygulanmış sonuç ile tespit edilememektedir. Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü ile bütün cisimler başarılı şekilde tespit edilmektedir (Şekil 3.30).



Şekil 3.25 : Deneysel tarama IFFT birinci sonuç görüntüsü.

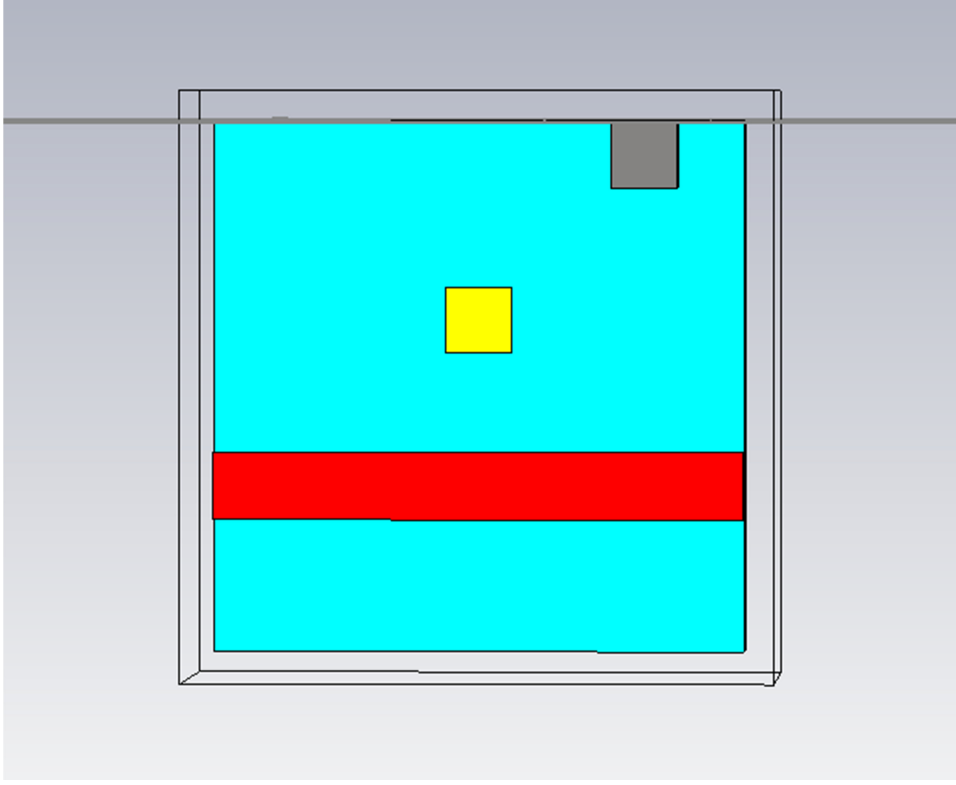


Şekil 3.26 : Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü sonucu.

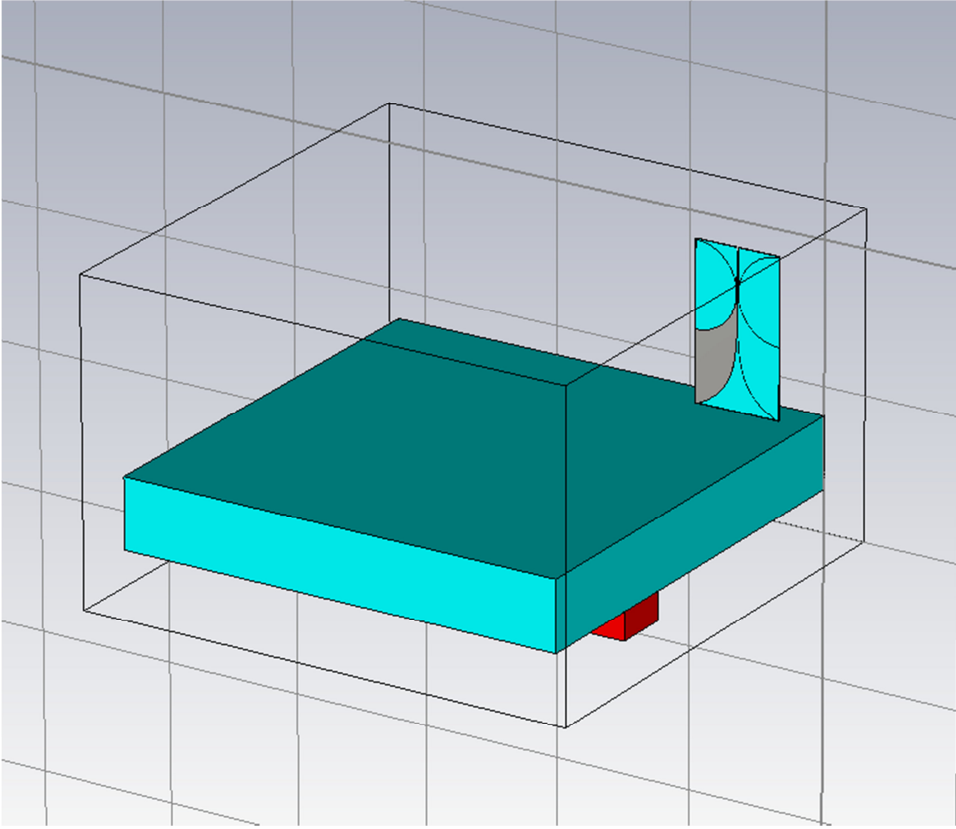
3.9 Duvar İçi Mikrodalga Görüntüleme Benzetim Çalışmaları ve Sonuçları

Bu tezde incelenen araştırmada mikrodalga görüntüleme ile duvar içindeki cisimlerin tespit edilmesi ve iki boyutlu olarak gösterilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca duvar içindeki cisimlerin tespit edilip görüntülenebilmesi için sistemin benzetimi bilgisayar ortamında hazırlanmıştır. Benzetim programı olarak elektromanyetik modelleme ve benzetim alanında en çok kullanılan CST Microwave Studio programı kullanılmıştır. Görüntüleme sistemi için donanımsal sistem ile de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Benzetim sonuçları ile görüntülemenin bilgisayar ortamında yapılması daha kolaydır. Benzetim sonuçları dışardan bozucu ortamlar olmadığı sadece girilen verilere göre teorik işlemler ile sonuçlar üretilmektedir. Benzetim çalışmalarının sonuçlarına göre sinyal ve görüntü algoritmaları test edilebilmektedir. Deneysel çalışmalarda ise etraftan gelen bozucu etmenler bulunmakta ve hatalar görülmektedir.

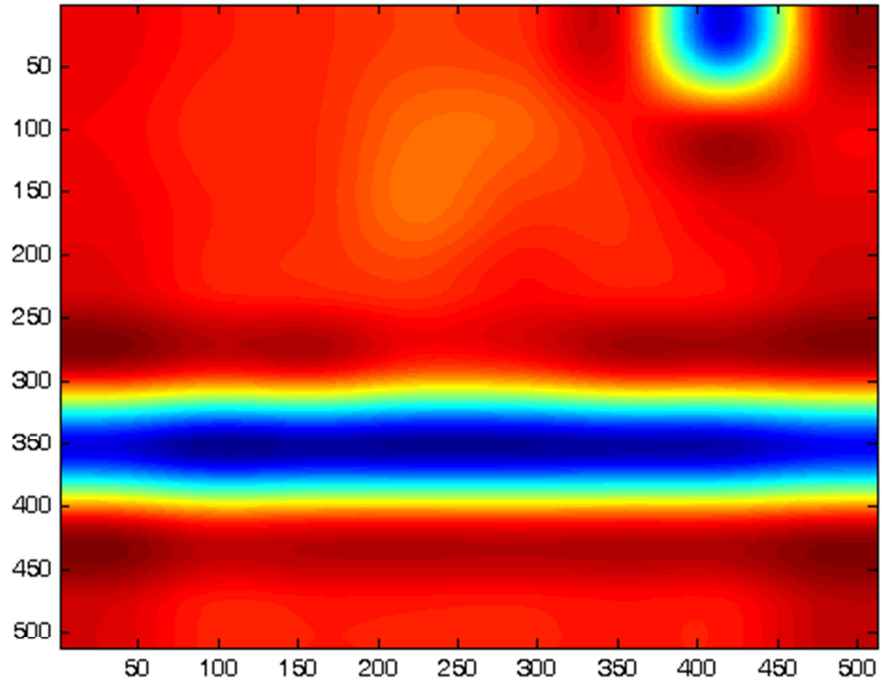
Görüntülenmek istenen ortamın özellikleri ve cisimler çizilerek benzetim hazırlanır. Benzetimin iyi sonuçlar verebilmesi için ortamın özelliklerinin doğru bir şekilde sisteme girilmesi gerekmektedir. Yapılan benzetimlerde deneysel çalışmalarda kullanılan ortamlar modellenerek benzetim ve deneysel sonuçların karşılaştırılması sağlanmıştır. Bu tezde deneysel çalışmalarda kullanılan masanın altına dizilmiş cisimlerin modelini benzetim programında oluşturulmuştur. İlk örnekte 5 cm kalınlığındaki tahta masanın altına yerleştirilmiş demir boru, alüminyum plaka ve kare şeklinde altın kaplamalı PCB benzetim programında modelleniş ve malzemelerin özellikleri girilmiştir (Şekil 3.19). Taranan alanın üstten perspektif görüntüsü ve alt taraftan görüntüsü gösterilmektedir (Şekil 3.27, 3.28). Sistemde kullanılan Vivaldi anten benzetim programı ile modellenmiştir. Antenin modeli de Şekil 3.28’de gözüktüğü gibi duvar tarama benzetimine eklenmiştir. Benzetim programı ile antenin bütün tarama alanını 8 x 8 eş bölgeye bölecek şekilde ölçüm alması hesaplanmıştır. Anten ilk konumundan başlayarak her noktada 5-6 GHz bandında S11 parametresinin genlik ve faz değerlerini ölçerek kayıt etmektedir. Benzetimin sonucunda 8 x 8’lik S11 verileri elde edilmektedir. Benzetim programı ile elde edilen S11 parametre ölçümleri MATLAB’da görüntüleme algoritması ile işlenerek sonuçlar oluşturulmaktadır (Şekil 3.29, 3.30). Görüntüleme algoritması sonucunda oluşan görüntülerin taranan alandaki cisimleri tespit ettiği ve koyu renkle gösterdiği görülmektedir.



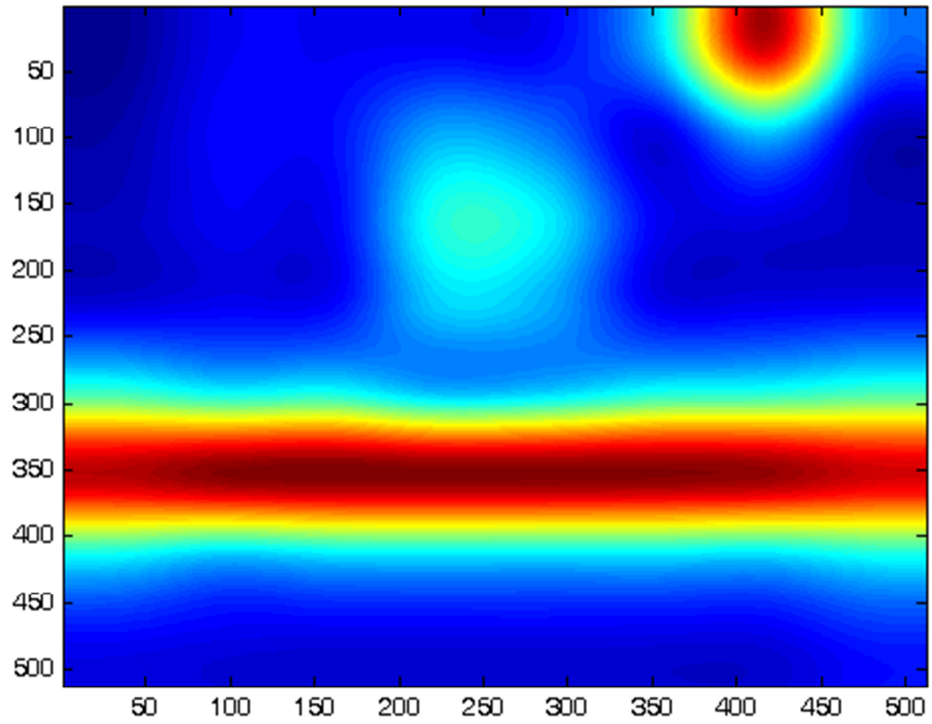
Şekil 3.27 : Taranan alanın alttan görünüşü.



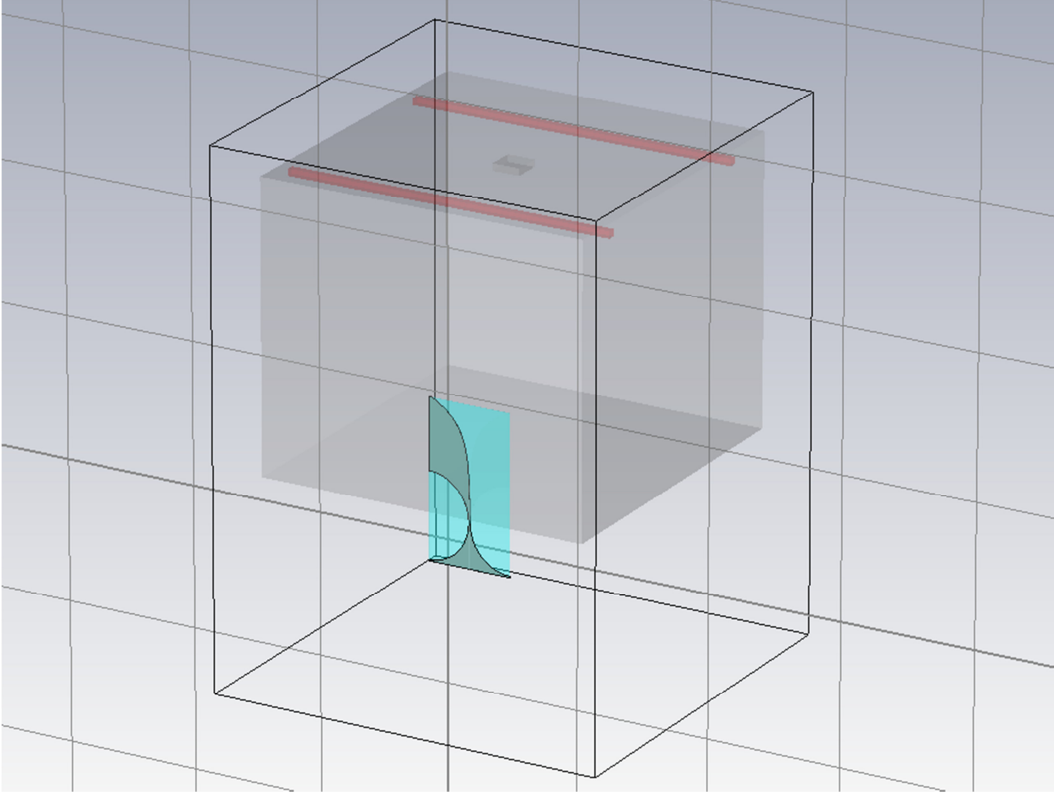
Şekil 3.28 : Taranan alanın perspektif görünüşü.



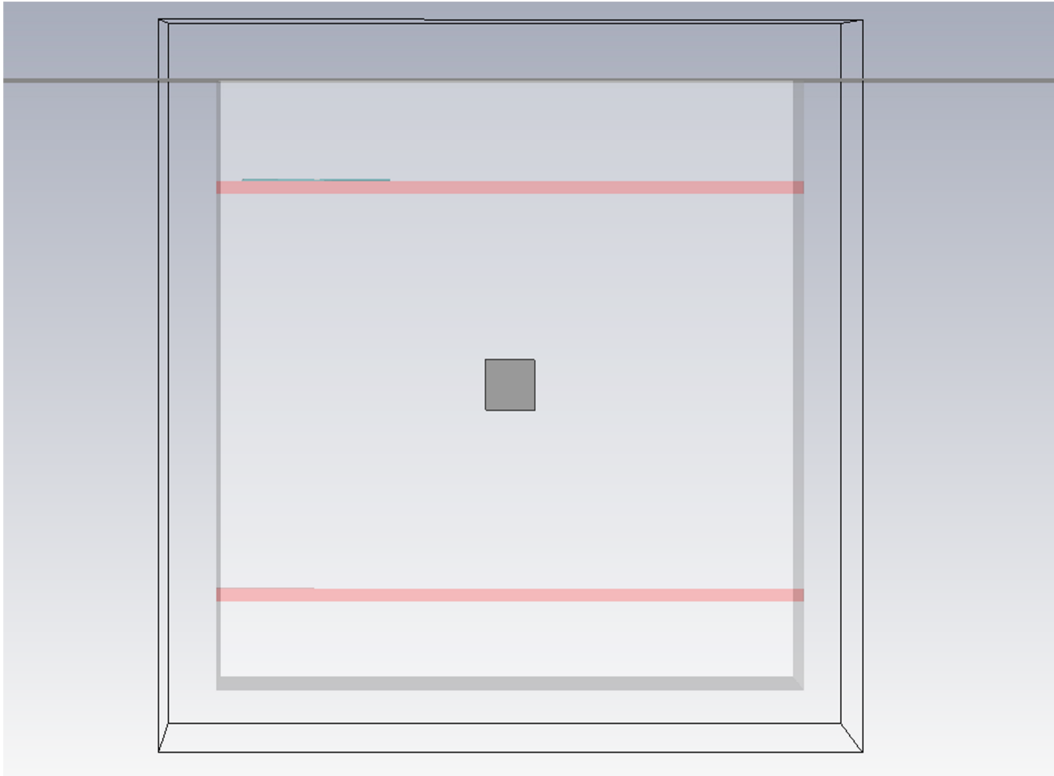
Şekil 3.29 : Benzetim sonucunun IFFT birinci sonuç görüntüsü.



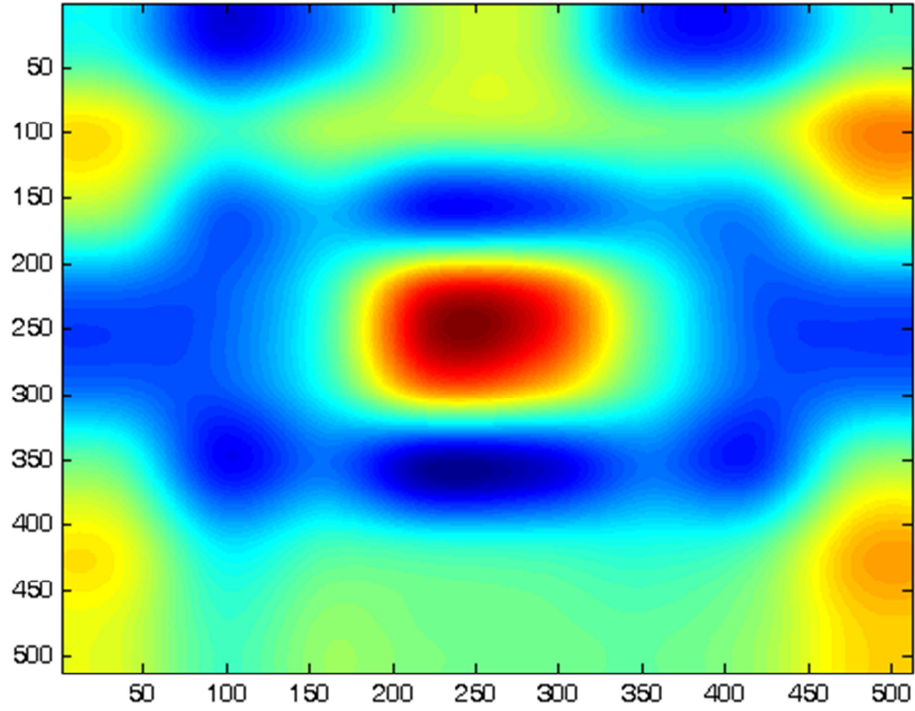
Şekil 3.30 : Benzetim sonucuna fark algoritması uygulandıktan sonraki görüntü.



Şekil 3.31 : Duvar içi görüntüleme benzetimi perspektif görünüşü.



Şekil 3.32 : Duvar içi görüntüleme benzetimi üstten görünüşü.



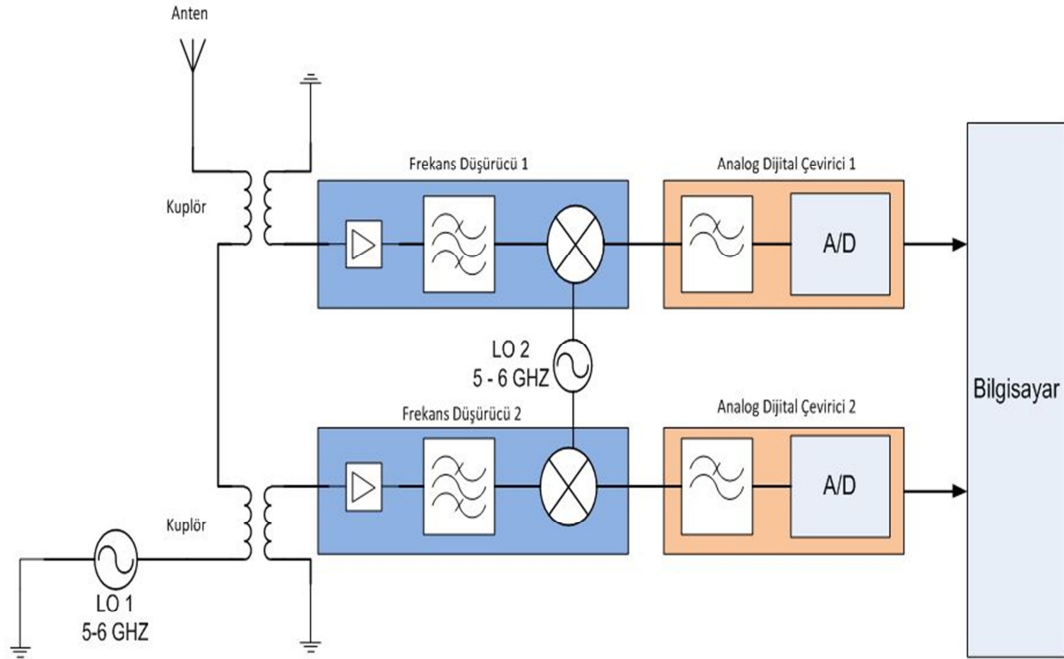
Şekil 3.33 : Duvar içi benzetimi görüntüleme sonucu.

Duvar içindeki cisimler ve taranacak olan ortam benzetim programında modellenmiştir (Şekil 3.31, 3.32). 20 cm kalınlığındaki beton ve içine yerleştirilen 20 cm derinlikte 0.5x0.5 kalınlığında duvar boyunca uzanan demir bulunmaktadır. Ayrıca 0.1 cm kalınlığında 4 x 4 cm metal plaka 20 cm derinliğe yerleştirilmiştir. Modellenmiş Vivaldi anten ile alınan S11 parametre ölçümleri kayıt edilerek MATLAB’da görüntü işleme algoritmalarıyla işlenerek Şekil 3.33’deki görüntü oluşturulmuştur. Benzetim sonucu ile elde edilen görüntüyü incelediğimiz zaman ince borunun ve metal plakanın doğru şekilde tespit edildiği görülmektedir. Metal plakanın yüzeyi demire çubuğa göre geniş olduğu için metal plaka daha belirgin olarak gözükmemektedir.

Deneyisel olarak taranan alanların benzetim modelleri hazırlanarak mikrodalga duvar içi görüntüleme sisteminin benzetimi yapılmıştır. Benzetim sonuçları görüntüleme algoritması ile görüntüye çevrilerek görüntüleme yönteminin sonuçları ve başarımı karşılaştırılmıştır. Sonuçları incelediğimiz zaman benzetim sonuçları ile deneysel sonuçların birbirine benzediği, engel arkasındaki cisimleri doğru olarak tespit ettiği görülmektedir.

4. DUVAR İÇİ GÖRÜNTÜLEME SİSTEMİ DONANIM TASARIMI

Bu tezde duvar içindeki cisimlerin mikrodalga ile görüntülenmesi ve bu sistemin donanımsal olarak da gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Sistemin donanımsal olarak tasarlanmasındaki amaçlardan biri de bu sistemin bir sonraki aşamada endüstriyel ürüne dönüştürülebilmesidir. Bu tezde deneysel çalışmaların donanımsal olarak gerçekleştirilmesi National Instruments'ın modüler PXI sistemleri ile yapılmıştır. Mikrodalga görüntüleme yöntemi bölümünde görüntülemenin farklı metotlarla yapıldığından bahsedilmiştir. Bu tezde ise hızlı olarak tarama yapabilecek ve hassas ölçümler alabilecek bir sistem tasarımı yapılmıştır. Görüntülemenin yapılabilmesi için S11 parametre ölçümleri kullanılmaktadır. S11 parametresi VNA ile ölçülebilmektedir. Fakat sadece ölçüm için VNA'yı kullanmak ve görüntülemenin farklı yerde yapılması biraz sistemi karmaşıktır. Bu sistem ile deneysel tarama yapılabilmesi amacıyla S11 ölçümü yapabilen donanım tasarlanmıştır.



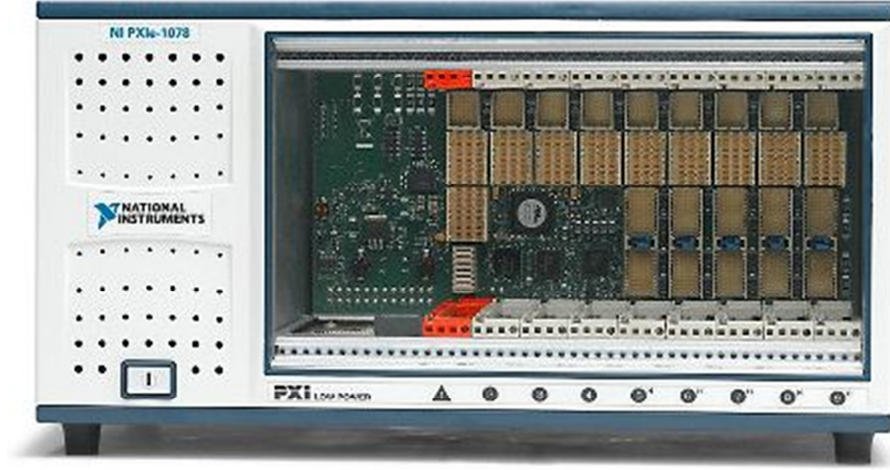
Şekil 4.1 : S11 parametresi ölçüm sistemi donanım bileşenleri.

4.1 Görüntüleme Sisteminin Donanım Bileşenleri

Duvar içi görüntüleme sisteminin temel bileşenlerini National Instruments (NI) firmasının donanım ve yazılım ürünleri oluşturmaktadır. NI, 1979 yılında kurulmuş bir firmadır. Ürün yelpazesinin büyük bölümünü yazılım tabanlı enstrümantasyon çözümleri oluşturmaktadır. Yazılım tabanlı enstrümantasyon ile kullanıcılar, esnek olmayan ve değiştirilemeyen işlevlere sahip cihazlar yerine kullanıcıya özel ve istenildiğinde yeni işlevler kazandırılabilen cihazlara sahip olmaktadır. Bu sebeple tez çalışmasında NI firmasının yazılım tabanlı enstrümantasyon çözümleri kullanılmıştır. NI çözümlerinin kullanılmasının diğer bir nedeni de çok fonksiyonlu, kolay kullanımlı ve pek çok yazılım geliştirme ortamıyla uyumlu bir API (Uygulama Programlama Arayüzü) bulunmasıdır. Bu API ile sistem üzerindeki program değiştirilmeden farklı donanımlar kullanılabilir. Duvar içi mikrodalga görüntüleme sistemi National Instruments firmasının 6 temel donanım bileşeninden oluşmaktadır. Temel donanım bileşenleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde tanıtılmıştır [20].

4.1.1 PXIe-1078 taşıyıcı şase

Duvar içi görüntüleme sisteminin taşıyıcı birimi olan PXIe-1078 9-yuvalı şase, geniş aralıklı test ve ölçüm uygulamaları için üretilmiştir. Taşıyıcı görüntüleme sisteminin bileşenleri arasında bağlantı ara yüzünü sağlamaktadır. Donanım bileşenleri ve bilgisayar üzerinde koştan yazılımlar bu ara yüzü kullanarak birbirleriyle haberleşmektedir. Bu şase ile birlikte NI'nın tümleşik LCD monitör ve klavye aparatı kullanılmaktadır. 3U'luk PXI, PXI Express, Compact PCI Express modülleri ile çalışabilir. Yüksek bant genişliğine sahip ara yüz veri yolu ile yüksek performans ihtiyacını karşılamaktadır. PXIe-1078 şase PXI tanımlamalarının son sürümündeki gereksinimlerin tamamını karşılamaktadır. Bunlar arasında; 10 MHz yerleşik referans saat işareti ile PXI ve PXI Express modüllerini kabul etme, PXI Tetikleme Yolu (PXI Trigger Bus), PXI modülleri için PXI Yıldız Tetikleme (PXI Star Trigger) ve 100 MHz yerleşik referans saat işareti, SYNC 100 ile modüllerin kendi 10 MHz referans saat işaretini üretebilmesi ve ayrıca PXI Express modülleri için PXI Diferansiyel Yıldız Tetikleme (PXI Differential Star Trigger) sayılabilir [21].



Şekil 4.2 : PXIe-1078 Şase ön taraftan görüntüsü.

4.1.2 PXIe-8130 denetleyici

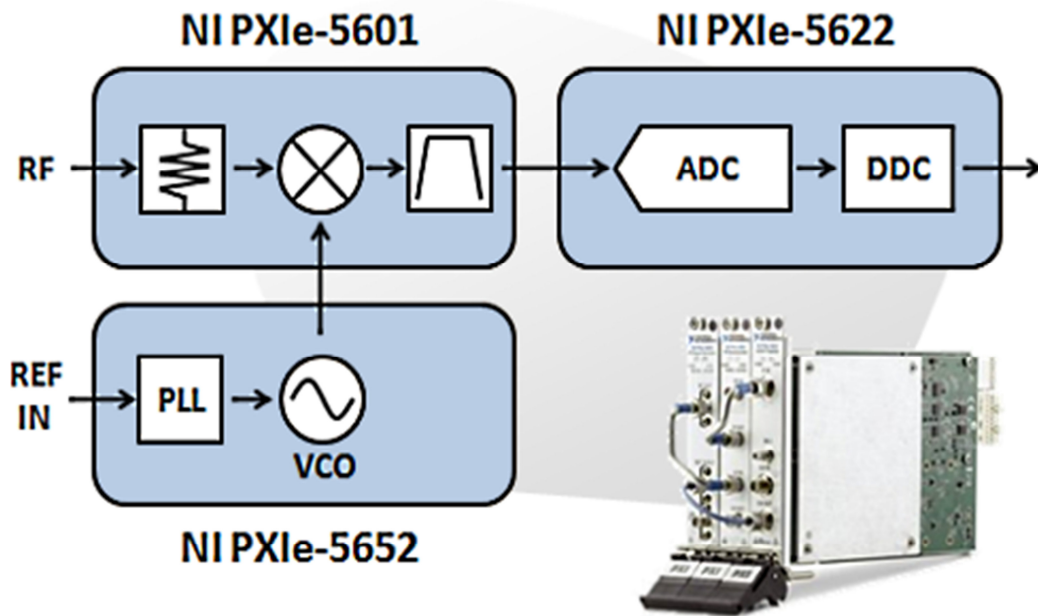
PXIe-8130, PXI Express ve CompactPCI Express sistemlerinde kullanılan yüksek performanslı AMD Turion 64 X2 (çift-çekirdekli işlemci) tabanlı gömülü denetleyicidir. 2.3 GHz çift-çekirdekli işlemcisi ve çift-kanallı 667 MHz DDR2 hafızası ile yazılım tabanlı enstrümantasyon ve veri elde etme uygulamaları için uygun çözüm olan PXIe-8130 gerçekleştirilen duvar içi görüntüleme sisteminin bilgisayar bileşenini oluşturmaktadır. PXIe-8130 denetleyici AMD Turion 64 X2 çift-çekirdekli işlemciye sahiptir. Çift-çekirdekli işlemcilerin tek fiziksel paket içerisine yerleştirilmiş iki adet çekirdeği ya da hesaplama makinesi vardır. Çift-çekirdekli işlemciler eşzamanlı olarak iki hesaplama görevini yerine getirebilir. Bu yetenek çoklu görevli ortamlarda PXIe-8130 için avantaj sağlamaktadır. Örneğin Windows XP işletim sistemi, çoklu uygulamaların eşzamanlı olarak çalıştığı bir ortamdır. İki uygulama aynı anda iki ayrı işlemciye erişebilir ve buda toplam performansı önemli oranda arttırmaktadır [21].



Şekil 4.3 : PXIe-8130 denetleyici.

4.1.3 PXIe-5663 RF frekans düşürücü

PXIe-5663, 9 KHz-6600 MHz frekans bandındaki işaretlerin 50 MHz genişliğinde 175 MHz'lik ara frekans katına indirmek amacı ile kullanılmaktadır. PXIe-5663 frekans düşürücünün göze çarpan en önemli özellikleri; geniş gerçek-zamanlı bant genişliği, yüksek kararlılıkla zamanlama tabanı ve RF analiz uygulamaları için PXI sayısallaştırıcılarla uyum içerisinde çalışmasıdır. PXIe-5663 frekans düşürücü +30 dBm'den -130 dBm'e kadar güçteki geniş sinyal aralığını 50 dBm'lik giriş zayıflatması ve 10 dB'lik ölçeklenebilir adımlarla elde edebilir. -140 dBm/Hz civarında alış hassasiyeti ve 80 dB'den yüksek dinamik ölçüm aralığına sahiptir. 10 kHz dengeleyicide faz gürültüsü -94 dBc/Hz'den küçüktür. PXIe-5663 frekans düşürücü ayrıca yüksek kararlılıkla zamanlama tabanı sağlar. Frekans kararlılığı ± 20 ppb (milyarda birlik değerler, 0,0000001%) ve frekans doğruluğu ± 50 ppb'dır. Bu özelliklerde PXIe-5663 frekans düşürücüyü yüksek doğruluk gerektiren haberleşme sistemleri uygulamaları için ideal çözüm yapmaktadır. PXIe-5663 frekans düşürücü RFSA yazılımını içerir. RFSA, PXIe-5663 için sürücü seviyesinde bir ara yüz sağlar. Bu yazılım LabWindows/CVI gibi yüksek seviyeli programlama araçlarını PXIe-5663 frekans düşürücüyle bütünleştirmek için kullanılır [21].



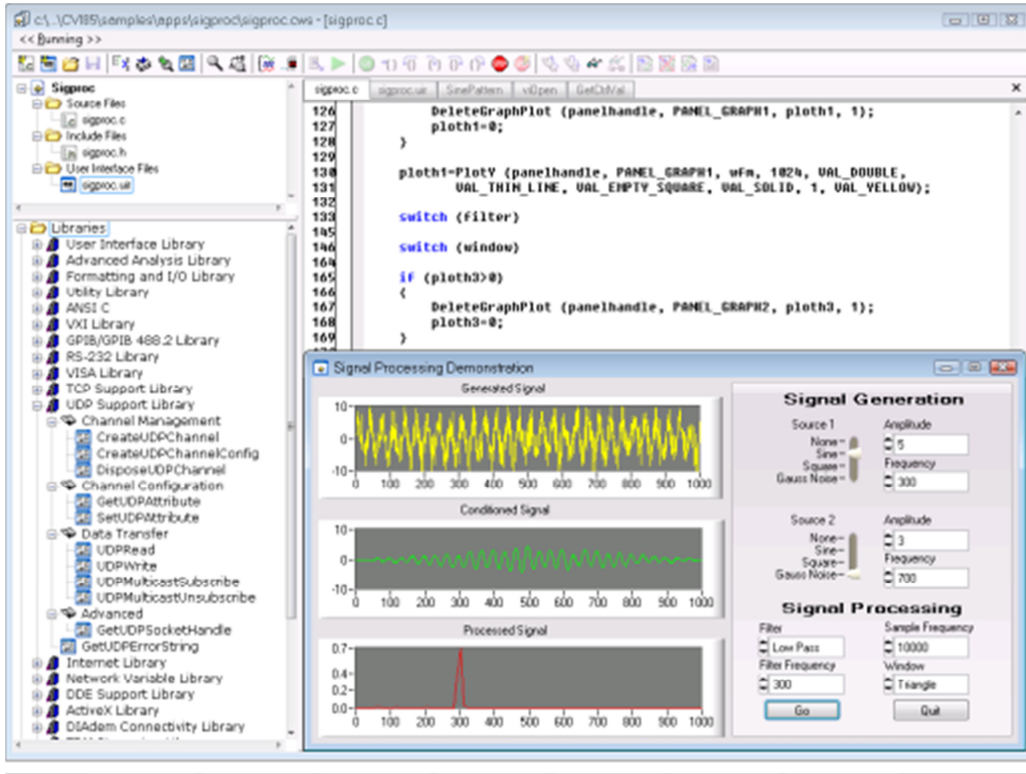
Şekil 4.4 : PXIe-5663 RF frekans düşürücü.

4.1.4 PXIe-5622 IF sayısallaştırıcı

PXIe-5622, IF (Ara Frekans) katına indirilmiş işaretlerin sayısal ortama aktarılması amacı ile kullanılmaktadır. PXIe-5622 tümleşik işaret işleme özelliğine ve 150 MS/s (milyon örnek/saniye) hıza kadar çalışabilen 16-bit'lik genlik çözünürlüğüne sahip bir sayısallaştırıcıdır. Dinamik aralığı ve çözünürlüğü PXIe-5622 sayısallaştırıcıyı haberleşme ve sinyal işleme uygulamaları için uygun bir çözüm yapmaktadır. PXIe-5622'nin frekans aralığı IF ve HF frekanslarında kaplamaktadır (10 kHz - 75 MHz arası). Ayrıca 32 veya 64 MB yüksek hızlı tümleşik hafızası ile 32 milyona kadar reel 16 bit örnek ya da 16 milyona kadar karmaşık 16 bitlik örnek alabilir. Gelişmiş hafıza yönetimiyle de aldığı bu örnekleri geleneksel donanım ara yüzlerine çok daha hızlı iletebilmektedir. Sayısallaştırıcının yazılımı LabWindows/CVI gibi yüksek seviyeli programlama araçlarını PXIe-5622 sayısallaştırıcı ile bütünleştirmek için kullanılır. [21].

4.2 Yazılım Geliştirme Ortamı ve Dili

Duvar içi mikrodalga görüntüleme sistemi geliştirilirken National Instrumens firmasının olay-temelli (event-driven) ve ANSI C programlama ortamı olan LabWindows/CVI (kısaca CVI) programı (10,0 sürümü) yazılım geliştirme ortamı olarak kullanılmıştır. Geliştirme ortamı ile uyumlu olarak da yazılım dili C seçilmiştir. Olay-temelli programlama, sistemin kullanıcıların işlemlerine göre programın yanıt vermesi temelli bir programlama yöntemidir. Bu yöntemde kullanıcının programın koştugu sistem üzerinde yaptığı her işlem (klavyeden bilgi girilmesi veya görsel bir nesnenin seçilmesi gibi) program tarafından birer olay olarak algılanır ve programın akışı bu olaya göre yönlendirilir. CVI (Enstrümentasyon için C) programının ilk sürümü DOS işletim sistemi için 1987 yılında yayınlanmış ve kısa süre sonrada Microsoft Windows platformuna göre yeniden uyarlanmıştır. CVI programı, bütünleşmiş I/O kütüphaneleri, analiz rutinleri, kullanıcı ara yüzü araçları ve NI firmasının donanım ailesinin sürücü kütüphaneleriyle uyumlu çalışması nedeniyle bu tez çalışmasının yazılım bileşenlerinin gerçekleştirilmesinde oldukça verimli olmuştur [21].



Şekil 4.5 : CVI örnek ara yüz.

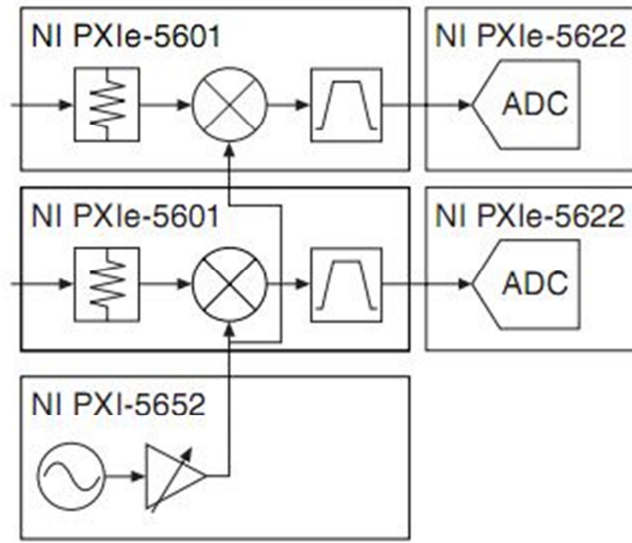
4.3 S11 Parametresi Ölçüm Sistemi Gerçeklemesi

Duvar içi mikrodalga görüntüleme sistemi ile cisimlerin tespit edilebilmesi için donanımsal sistem PXI modüler enstrümantasyon sistemleri kullanılarak yapılmıştır. S11 parametresi ölçüm metodu Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu sistemin PXI modüllerle oluşturulması için sinyal kaynağı olarak PXIe-5652 LO kaynağı kullanılmıştır. Bu LO kaynağı sistemin ölçüm yapacağı frekansta sürekli dalga göndererek ölçüm yapılacak olan DUT’un o frekanstaki etkisinin ölçülmesini sağlamaktadır. Cisimlerin tespit edilmesi için gerekli olan elektromanyetik aydınlatmayı bu LO kaynağı RF sinyal göndererek sağlamaktadır.

S11 parametresi ölçüm sisteminin temel prensibi gönderilen sinyal ile dönen sinyalin genlik ve faz farklılıklarının ölçümüyle yapılmaktadır. Gönderilen sinyal ile dönen sinyalin tek hat üzerinde okunabilmesi için kuplör kullanılır. Kuplörlerle ile 10dB kayıpla hat üzerinde giden ve dönen işaret alınabilmektedir.

S11 parametresinin doğru olarak hesaplanabilmesi için en önemli etken kuplörlerden alınan bu iki sinyalin eşzamanlı şekilde okunmasıdır. Sistemin bu şekilde çalışabilmesi için her iki frekans düşürücü sisteminin de faz uyumlu (eş fazlı)

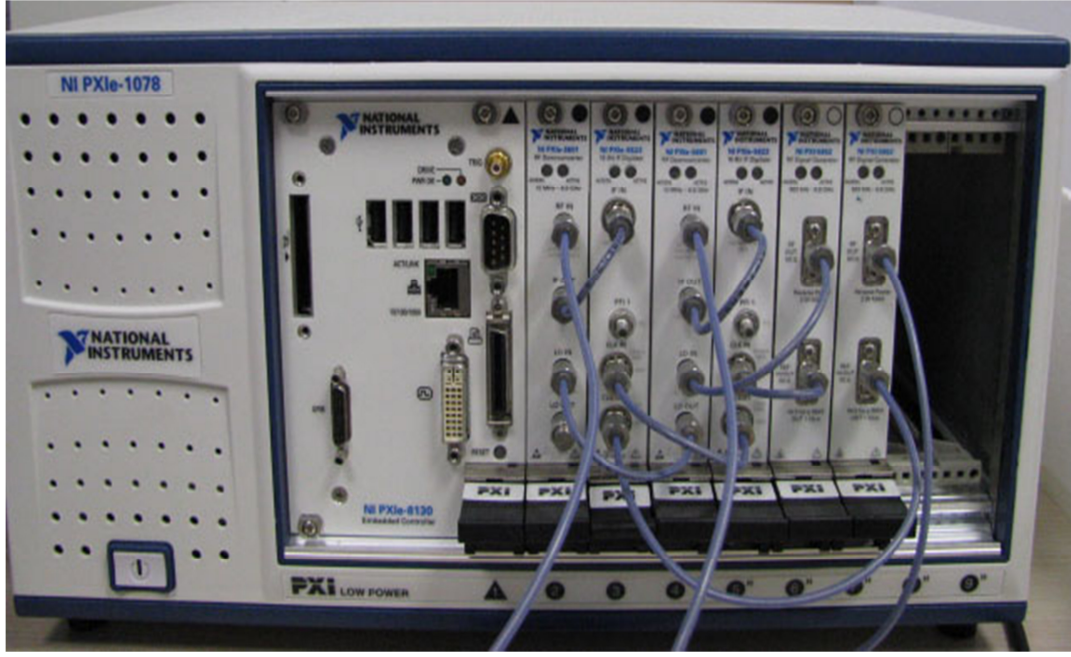
çalışması gerekmektedir. Her iki sistemin faz uyumlu olabilmesi için frekans düşürücüler tek dereceli düşürücü modelindedir. Her iki frekans düşürücü de LO girişi olarak aynı kaynağı kullandıklarından analiz edilen iki sinyalde eş fazlı olarak istenilen frekansa düşürülebilmektedir. İki adet PXIe-5622 birbirine eşzamanlı olarak aynı anda veriyi analogdan dijitale çevirmeye başlamaktadırlar. Bu şekilde her iki sinyal de fazları ve genlikleri eşzamanlı olarak okunmakta ve S11 parametreleri doğru olarak hesaplanabilmektedir.



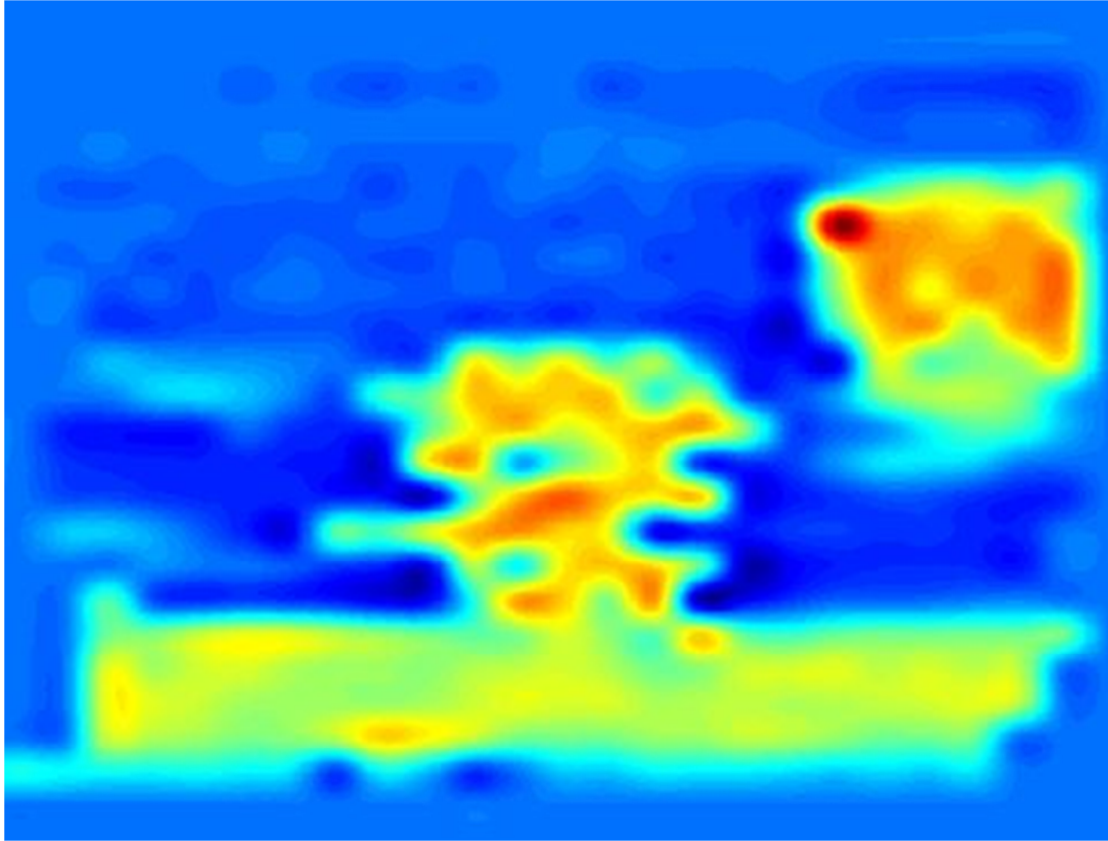
Şekil 4.6 : İki sinyalin eş zamanlı okunma yöntemi.

4.4 Donanımsal Sistem Ölçüm Sonuçları

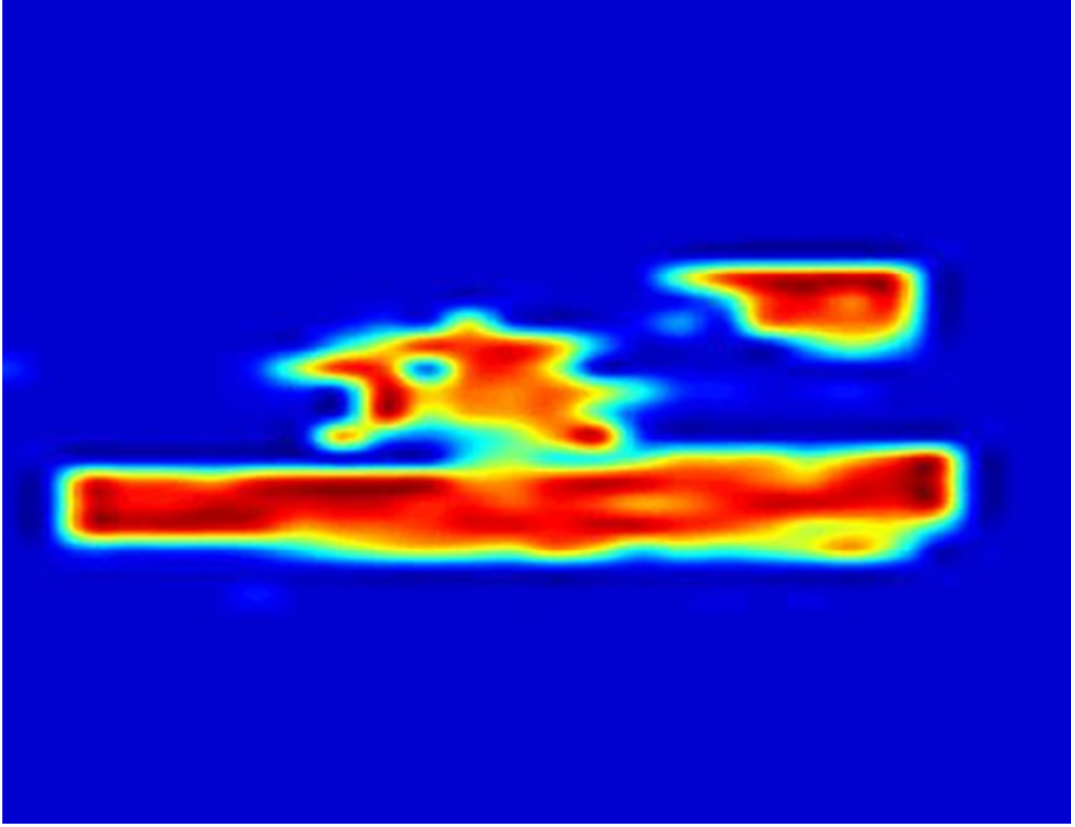
Bu tezde mikrodalga görüntüleme yöntemi ile duvar içindeki cisimlerin 2 boyutlu olarak görüntülenmesi ve bu sistemin donanımsal olarak hazırlanarak deneysel sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Benzetim çalışmaları ile bilgisayar ortamında engel arkasındaki cisimlerin konumlarının ve şekillerinin belirlenmesi başarılı olarak yapılmıştır. Aynı görüntüleme yöntemi ve algoritmalar kullanılarak donanımsal sistem tasarlanmış ve hazırlanmıştır. S11 parametresinin ölçülebilmesi için VNA yapısı donanımsal olarak hazırlanmıştır. Cisimlerin tespit edilebilmesi için 5-6 GHz bant genişliğinde ve 32 frekans adımında S11 parametre ölçümleri alınarak görüntü işleme algoritmaları ile veriler görüntüye çevrilmiştir.



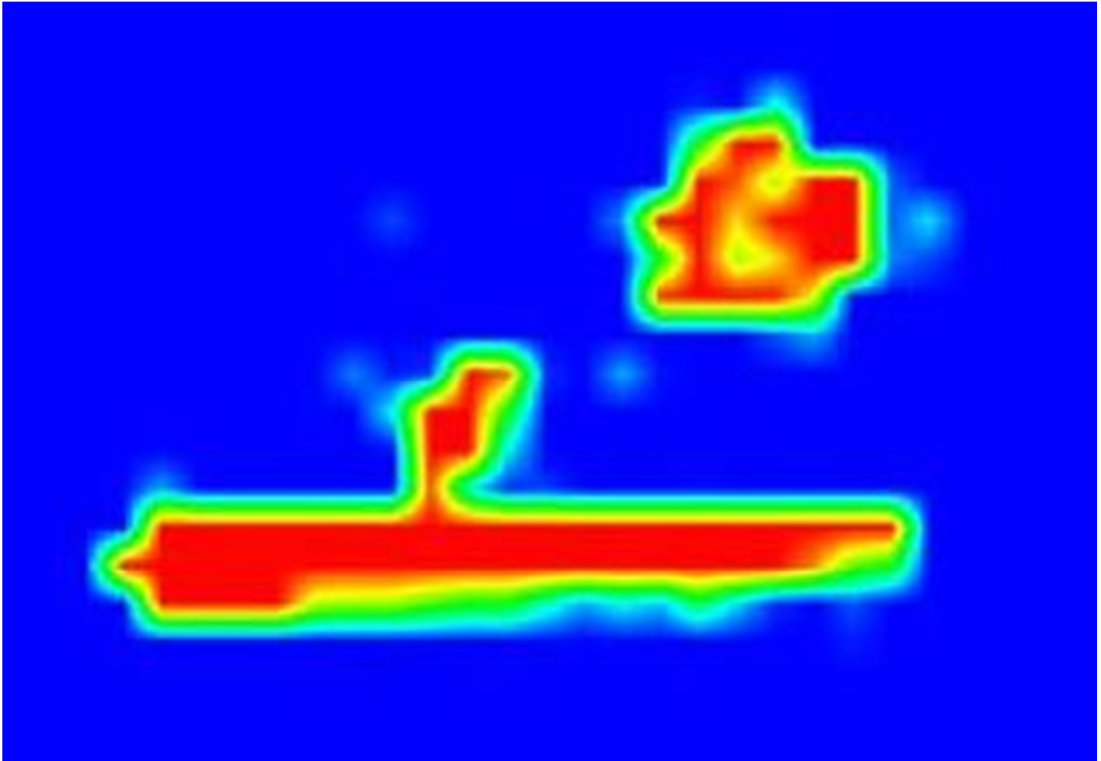
Şekil 4.7 : Mikrodalga duvar içi görüntüleme sistemi donanımı.



Şekil 4.8 : Donanımsal tarama görüntü sonucu.

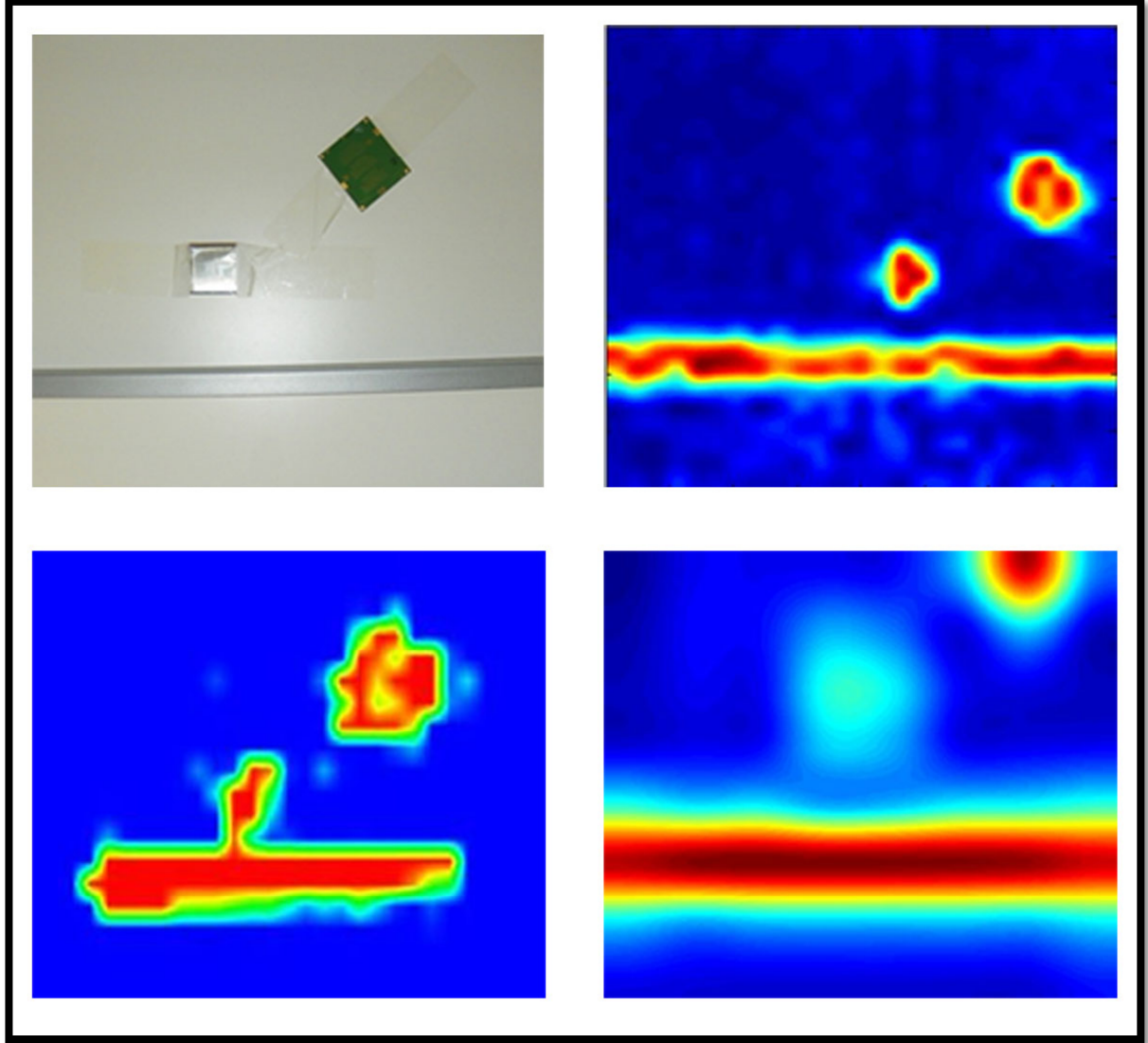


Şekil 4.9 : Fark görüntüleme algoritması uygulanmış görüntü sonucu.



Şekil 4.10 : Donanımsal tarama görüntü sonucu.

Tasarlanan donanımsal sistem ile mikrodalga duvar içi görüntüleme sisteminin deneysel çalışmaları yapılmış ve tahta masanın altındaki cisimlerin başarılı olarak görüntülendiği gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Tarama ve benzetim sonuçlarının bir arada gösterimi.

5. SONUÇ

Engel arkasındaki cisimlerin tespit edilmesinde mikrodalga görüntüleme yöntemi başarılı bir yöntemdir. Yapılan çalışmalarda daha çok radar prensibine dayanan darbe sinyali göndererek cisim algılama ve tespit etme yöntemi kullanılmaktadır. Bu tezde ise farklı bir mikrodalga görüntüleme tekniği ve görüntüleme algoritması oluşturulmuştur. Bu araştırmada uygulanan yöntem, Vivaldi anten ile taranacak alanda belirlenen aralıklardaki noktalarda S11 parametre ölçümü alınarak bu ölçüm sonuçlarının görüntüye dönüştürülmüştür. S11 parametresini ölçmek için taranacak alan anten ile yüksek frekansta aydınlatılır ve geri dönen sinyal ile gönderilen sinyal arasındaki genlik ve faz değişimi ölçülür. Bu yöntem ile taranan yerdeki cisimlerin dielektrik katsayısındaki değişimler ölçülmüş olur. Sistem ile ilk önce boş olduğu bilinen belirli bir alanda ölçüm alınır. Bu ölçüm taranan yerin arka plan bilgisini içermektedir. Farklı cisimleri tespit etmek için ölçülen her noktanın arka plan ölçümünden ne kadar farklı olduğu belirlenerek cisimler tespit edilmeye çalışılır.

Farklı malzemeler farklı dielektrik katsayısına sahip olduğundan taranan alanda dielektrik katsayısı farklı olan bir malzeme var ise bu noktada farklı bir cisim olduğu görüntüleme ile belirlenebilmektedir. Ölçülen S11 parametreleri ters Fourier dönüşümü ile görüntüye çevrilmekte ve farklı malzemedeki cisimlerin başarılı olarak tespit edildiği sonuçlar ile gösterilmektedir. Bu araştırmada kullanılan yöntemin hem deneysel hem de benzetim çalışması yapılmıştır. Deneysel ölçümler ve benzetim sonuçları görüntü işleme algoritması ile işlenerek cisimlerin her iki yöntem ile başarılı olarak tespit edildiği sonuçlarda gösterilmiştir. Görüntüleme algoritmasında “Fark Görüntülemesi” isminde yeni bir yöntem geliştirilerek görüntü verisinin daha başarılı olarak işlenmesi sağlanmıştır. Fark görüntüleme algoritması ile alınan ölçümler ile arka plan ölçümlerindeki değişimler cisim tespit edilmesinde daha verimli olarak kullanılmıştır. Özellikle deneysel çalışmalarda bu yöntemin daha faydalı ve cisimlerin tespit olasılığını arttırdığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak bu tezde, engele zarar vermeden engel arkasındaki farklı malzemeden yapılmış cisimlerin konum ve şekillerinin iki boyutlu olarak deneysel ve benzetim sonuçları ile görüntülenebildiği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **C. Gilmore, P. Mojabi, A. Zakaria, M. Ostadrahimi, C. Kaye, S. Noghanian, L. Shafai, S. Pistorius, J. LoVetri** (2010). A Wideband Microwave Tomography System with a Novel Frequency Selection Procedure. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 57, NO. 4, Nisan 2010
- [2] **M. Soliman ve Z. Wu** (2007), Design, Simulation And Implementation Of UWB Antenna Array And It's Application In GPR Systems. : Antennas and Propagation, 2007. EuCAP 2007
- [3] **Lei Wentai ve Liu Jianxin** (2010). Two-dimensional Diffraction Tomography Algorithm of Underground Objects Located in Planar Multilayer Medium. 2010 2nd International Conference on Signal Processing Systems (ICSPS).
- [4] **X. Zhuge, T.G. Savelyev, A.G. Yarovoy, L.P. Ligthart, B. Levitas** (2009). Comparison of Different Migration Techniques for UWB Short-Range Imaging. International Research Centre for Telecommunications and Radar (IRCTR), Delft University of Technology, Delft, the Netherlands
- [5] **Tobias Meyer** (2005). Microwave Imaging of High-Contrast Objects. Fakultat fur Elektrotechnik und Informationstechnik, (doktora tezi) Otto-von-Guericke Universitat Magdeburg.
- [6] **Michal Aftanas** (2009). Through Wall Imaging With UWB Radar System. Technical University of Kosice, Faculty of Electrical Engineering and Informatics, Department of Electronics and Multimedia Communications, (doktora tezi) Ağustos 2009.
- [7] **Y. Zhou** (2010). Microwave Imaging Based On Wideband Range Profiles. Department of Engineering, the University of Texas at Brownsville, USA
- [8] **F. Li, X. Chen ve K. Huang** (2008). Microwave Imaging a Buried Object By The GA and Using The S11 Parameter. Progress In Electromagnetics Research, PIER 85, 289–302, 2008
- [9] **Url-1** < <http://tr.wikipedia.org/wiki/GPR>>, alındığı tarih: 15.11.2011.
- [10] **Url-2** <<http://en.wikipedia.org/wiki/Vivaldi-antenna>>, alındığı tarih:20.11.2011.
- [11] **L. Tianming, R. Yuping ve N. Zhongxia** (2007). Analysis and Design of UWB Vivaldi Antenna. IEEE 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies for Wireless Communications

- [12] **M. Bimpas, A. Amditis ve N. Uzunoglu** (2010). Design and Implementation of an Integrated High Resolution Imaging Ground Penetrating Radar for Water Pipeline Rehabilitation. Institute of Communication and Computer Systems (ICCS) Athens, Greece
- [13] **Vera Behar, Christo Kabakchiev** (2008). A Simple Algorithm for Simulation of Stepped-Frequency GPR Images of Multi-Layered Media. Radar Symposium, 2008 International
- [14] **Faming LIU** (2008). Calibration of the mono-static stepped-frequency GPR with a Vivaldi UWB antenna. Microwave and Millimeter Wave Technology, 2008
- [15] **Ivor L. Morrow ve Piet van Genderen** (2002). Effective Imaging of Buried Dielectric Objects. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 4, Nisan 2002
- [16] **Ross W Deming ve Anthony J Devaney** (1996) Diffraction tomography for multi-monostatic ground penetrating radar imaging. Inverse Problems 13 (1997)
- [17] **M. Lu, Y. Zhu, Y. Su, C. Huang ve J. Wang** (2010). A kind of MIMO ground penetrating radar plane antenna array and corresponding imaging method. Ground Penetrating Radar (GPR), 2010 13th International Conference
- [18] **S. Ralston, L. Charvat ve E. Peabody** (2010) Real-time Through-wall Imaging Using an Ultrawideband Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Phased Array Radar System. Phased Array Systems and Technology (ARRAY), 2010 IEEE International Symposium
- [19] **C. Gilmore, P. Mojabi ve J. LoVetri** (2009). Comparison of an Enhanced Distorted Born Iterative Method and the Multiplicative-Regularized Contrast Source Inversion method. IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 57, No. 8, Ağustos 2009
- [20] **Url-3** < <http://www.ni.com/company/history.htm>>, alındığı tarih: 10.12.2011.
- [21] **Url-4** < <http://www.ni.com> >, alındığı tarih: 10.12.2011.
- [22] **X. Feng, M. Sato, Y. Zhang, C. Liu, F. Shi ve Y. Zhao** (2009). CMP Antenna Array GPR and Signal-to-Clutter Ratio Improvement. IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 6, No. 1, Ocak 2009
- [23] **C. Hu, J. Xu, N. Li ve J. Cao** (2008). Application of DSP in the Step-Frequency RCS Measurement System. PIERS ONLINE, VOL. 4, NO. 1, 2008
- [24] **Raffaele Persico** (2006). On the Role of Measurement Configuration in Contactless GPR Data Processing by Means of Linear Inverse Scattering. IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 54, No. 7, Temmuz 2006
- [25] **O. Mudanyalı, S. Yıldız, O. Semerci, A. Yapar ve İ. Akduman** (2008). A Microwave Tomographic Approach for Nondestructive Testing of Dielectric Coated Metallic Surfaces. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 5, No. 2, Nisan 2008

- [26] **M. Çayören, İ. Akduman, A. Yapar ve L. Crocco** (2008). Shape Reconstruction of Perfectly Conducting Targets From Single-Frequency Multiview Data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 5, No. 3, Temmuz 2008
- [27] **İ. Akduman, L. Crocco ve F. Soldovieri** (2011). Experimental Validation of a Simple System for Through-the-Wall Inverse Scattering. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, Vol. 8, No. 2, Mart 2011

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serkan Kaya
Doğum Yeri ve Tarihi: Kadıköy 30.03.1987
E-Posta: serkankaya34@gmail.com
Lisans: Dokuz Eylül Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Elektronik Tasarım Mühendisi, (2009-2010)YALTES Elektronik ve Bilgi Sistemleri
Üretim ve Ticaret A.Ş İstanbul

Araştırmacı (2010-) TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü
Kocaeli

Dokuz Eylül Üni. Elektrik-Elektronik Müh. Bölüm Birinciliği ile Mezun