

**ENGEL ARKASI GÖRÜNTÜLEME RADAR PROTOTİPİ
GELİŞTİRİLMESİ**

ARIF ATAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2012

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Ünver KAYNAK

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Doç. Dr. Hamza KURT

Anabilim Dalı Başkanı

Arif ATAMAN tarafından hazırlanan ENGEL ARKASI GÖRÜNTÜLEME RADAR PROTOTİPİ GELİŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. İsrail BAHÇECİ

Üye : Yard. Doç. Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih BÜYÜKSERİN

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Arif ATAMAN

Üniversitesi	: TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü	: Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Tez Danışmanı	: Yard. Doç. Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ
Tez Türü ve Tarihi	: Yüksek Lisans – Aralık 2012

Arif ATAMAN

ENGEL ARKASI GÖRÜNTÜLEME RADARI PROTOTİPİ GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Herhangi bir nesneyi veya hedefi uzaktan algılamak, tespit etmek ve görüntülemek insanoğlunu cezp etmekte ve onlarca yıldır meşgul etmektedir. Bugüne kadar çok değişik yöntem ve teknik kullanılmış olmakla beraber hiçbirinin tek başına kapsayıcı bir çözüm olamadığı ortadadır. Sismik, elektromanyetik indükleme, kızılötesi ve elektromanyetik yayılım bu alanda öne çıkan kullanışlı tekniklerdendir. Bu tekniklerden elektromanyetik engel arkası görüntüleme radar teknolojisi büyük ilgi görmekte ve geniş bir çözüm sunacağı umudu vermektedir. Engel arkası görüntüleme radarı yüksek bant genişlikli elektromanyetik dalga gönderip geri yansımaları toplayan ve toplanan verinin işlenmesi sonucu hedef tespiti ve görüntülemesi yapabilen radar tekniğidir.

Bu çalışmada radar literatür araştırması yapılmış ve amaç doğrultusunda diğer üniversiteler ve şirketler tarafından yapılan sistemler incelenmiştir. Sistem tasarımı yapıldıktan sonra 750MHz ile 6GHz arası ultra geniş bant basamak frekanslı sürekli dalga üreterek SAR tarama ile yer altı ve engel arkası görüntüleme yapabilme kabiliyetine sahip prototip bir engel arkası görüntüleme radarı oluşturularak sistemin kalibrasyonu yapılmış, MATLAB ile geliştirilmiş ara yüzü ile kullanıcı uyumlu, kolay yapılandırılabilir ve kullanılabilir, ortamdaki gerçek zamanlı veri alabilen ve üzerinde yeni geliştirilen algoritmaların deneysel testlerinin yapılabileceği bütün bir mobil sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem ile engel arkası görüntüleme deneyleri yapılmış olup hedefleri başarı ile tespit ettiği sonuçlarda sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Engel arkası görüntüleme, GPR, yere işleyen radar, duvar arkası görüntüleme, radar, yer altı görüntüleme, ultra geniş bant, SAR.

University : **TOBB University of Economics and Technology**
Institute : **Institute of Natural and Applied Sciences**
Science Programme : **Electrical and Electronics Engineering**
Supervisor : **Assistant Professor Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ**
Degree Awarded and Date : **MSc. – December 2012**

Arif ATAMAN

**DEVELOPMENT OF A THROUGH THE WALL IMAGING RADAR
PROTOTYPE**

ABSTRACT

Detection and imaging of an object or a target by remote sensing has always attracted and occupied people for decades. It is clear that no method or technique puts into a comprehensive solution, although several methods and techniques have been developed until now. Seismic, electromagnetic induction, infrared and electromagnetic propagation are the techniques that are the most prominent and useful for now. Through-wall imaging radar technology draws considerable interest and for comprehensive solution among these techniques. Through-wall imaging is a radar technique that detects and images a target behind an obstacle by processing the received reflections of propagated high frequency electromagnetic signals.

In this research, the radar literature was reviewed, and the systems developed by other universities and companies were examined. In the end, a calibrated ultra wide band step frequency continuous wave radar prototype was developed after the design of the system, and the results of the experimental tests were presented. The system operates between 750MHz and 6GHz and can image through wall and ground by SAR scanning. The system provides an easy configuration and real time monitoring by user-friendly interface developed in MATLAB, and enables the testing of new developed algorithms on it.

Keywords: Though-wall imaging (TWI), ground penetrating radar (GPR), radar, ultra wide band, remote sensing, SAR.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali Cafer GÜRBÜZ'e, özverili yardımları için arkadaşım Bürkan TEKELİ'ye ve kıymetli tecrübelerinden yararlandığım TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü öğretim üyelerine,

ve bana her zaman güvenen, destekleriyle beni bugünlere getiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Teknogiriőim programı tarafından desteklenmiőtir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
KISALTMALAR	xii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
BÖLÜM 1	1
1. GİRİŞ	1
1.1. Motivasyon	1
1.2. Problem Tanımı ve Amaçlar	2
1.3. Tez Organizasyonu	2
BÖLÜM 2	4
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Radar Sistemleri	4
2.2. EAGR Çeşitleri ve Tasarımı	5
2.2.1. Basamak Frekans Sistemler	6
2.2.2. Darbeli Sistemler	10
2.3. Utra Geniş Bant Radarlar	11
2.4. EAGR Terimleri Ve Tasarım Parametreleri	12
2.5. SAR Tarama	15
2.6. EAGR Uygulamaları	18
2.6.1. Üniversite Kaynaklı Deneysel Sistemler	19
2.6.2. Şirket Kaynaklı Ticari Sistemler	24
BÖLÜM 3	27
3. EAGR SİSTEM TASARIMI	27
3.1. Vektör Network Analizör	27
3.2. Yapılandırma	32
3.3. Bilgisayar Kontrolü	34
3.4. Antenler	39
3.5. Mekanik sistem	43

BÖLÜM 4	45
4. EAGR GÖRÜNTÜLEME	45
4.1. İki Yönlü Seyahat Süresi Kestirimi	45
4.2. Düzensiz hareket Kompanzasyonu	47
4.3. Önışleme ve Kalibrasyon	48
4.4. Deneysel Sonuçlar	51
BÖLÜM 5	57
5. ÖZET VE GELECEK ÇALIŞMALAR	57
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1: Cape Town Üniversitesinde geliştirilen sistemin parametreleri	19
Çizelge 2.2: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde geliştirilen sistemin parametreleri	22
Çizelge 2.3: 3D Radar firmasının GeoScope Mk IV ürünün teknik özellikleri	24
Çizelge 3.1: Network analizör düzeltilmiş performansları	29
Çizelge 3.2: Yapılandırılmış sistem bilgileri	34
Çizelge 3.3: Bilgisayar teknik özellikleri	34
Çizelge 3.4: İki mahya kılavuzlu horn anten elektriksel özellikleri	40

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1: Basit bir radar sistem blok çizelgesi	6
Şekil 2.2: Basamak frekans sistemler için gönderilen sinyalin yapısı	7
Şekil 2.3: Darbe sistemli radar blok şeması	10
Şekil 2.5: SAR görüntüleme eksenleri	16
Şekil 2.6: Durağan hedefin SAR tarama sonrasında zaman uzayındaki görünümü	18
Şekil 2.7: 10 adet Vivaldi antenli multi-statik dizilim	20
Şekil 2.8: Tohoku Üniversitesinde geliştirilmiş yere işleyen radar sistemi	21
Şekil 2.9: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde geliştirilmiş yere işleyen radar sistemi	22
Şekil 2.10: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde yapılan deney düzeneği (a) hedef hava ortamında ve engelsiz (b) hedef kum ve taş altına gömülmüş	23
Şekil 2.11: Indian Institute of Technology Ünivesitesinin geliştirdiği duvar arkası görüntüleme radarı	23
Şekil 2.12: 3D radar firmasının GeoScope Mk IV ürünün çalışma şekli	25
Şekil 2.13: Akela Inc. firmasının geliştirdiği duvar arkası görüntüleme radarı	26
Şekil 3.1: Basit VNA blok diyagramı	28
Şekil 3.2: Agilent N9923A vektör network analizör	29
Şekil 3.3: Vektör Network Analizör iletim genlik belirsizliği grafiği	30
Şekil 3.4: Vektör Network Analizör iletim faz belirsizliği grafiği	30
Şekil 3.5: Vektör Network Analizör yansıma genlik belirsizliği grafiği	31
Şekil 3.6: Vektör Network Analizör yansıma faz belirsizliği grafiği	31
Şekil 3.7: Grafiksel kullanıcı ara yüzü	35
Şekil 3.8: Bilgisayar ile NA yapılandırma programı akış diyagramı.	38
Şekil 3.9: Bilgisayar ile NA'dan veri okuma akış diyagramı	39
Şekil 3.10: SAS-571 model iki mahya kılavuzlu horn anten	40

Şekil 3.11: Horn anten anten faktörü ve kazanç grafiği	41
Şekil 3.12: Horn anten çapraz kutuplanma zayıflaması	42
Şekil 3.13: Horn anten ön ve arka sinyal oranı	42
Şekil 3.14: Horn anten duran dalga gerilim oranı (VSWR)	43
Şekil 3.15: EAGR görüntüsü	43
Şekil 4.1: Yer altı görüntüleme modeli.	45
Şekil 4.2: a) 2D SAR tarama modeli, b) noktasal hedefin SAR tarama sonucu zaman uzayındaki cevabı	46
Şekil 4.3: Duvar arkası görüntüleme modeli	47
Şekil 4.4: Sıfır zaman kestirimi	49
Şekil 4.5: Çapraz-karışma ölçüm sonucu	50
Şekil 4.6: Önişleme ve kalibrasyon işlemleri sonuçları	51
Şekil 4.7: İçi boş metal silindirin EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.	52
Şekil 4.8: İçi su dolu plastik damacananın EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) Yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.	54
Şekil 4.9: 25 cm aralıkla yerleştirilen içi boş metal silindir ve içi su dolu plastik damacananın in EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.	56

KISALTMALAR

Kısaltmalar	Açıklamaları
ADC	Analog Digital Converter
DAGR	Duvar Arkası Görüntüleme Radarı
DSP	Digital Signal Processing
EAGR	Engel Arkası Görüntüleme Radarı
GPR	Ground Penetrating Radar
IF	Intermediate Frequency
NA	Network Analyzer
R	Receiver
RCS	Radar-cross Section
RF	Radio Frequency
SAR	Synthetic Aperture Radar
SNA	Scalar Network Analyzer
T	Transmitter
TOA	Time of Arrival
UWB	Ultra-Wide Band
UHF	Ultra High Frequency
VNA	Vector Network Analyzer
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

SEMBOL LİSTESİ

Simgeler	Açıklamaları
w	Açısal frekans
\exp	Exponansiyel
$s(t)$	Gönderilen sinyal
S_{yan}	Yansıyan sinyal
Re	Karmaşık sayının gerçek kısmı
R	Karmaşık sayının gerçek kısmı
$p(t)$	Gönderilen sinyal
p_{rec}	Alınan sinyal
ϕ	Faz
ΔR	Menzil çözünürlüğü
c	Işık hızı
B	Bant genişliği
P_r	Alınan sinyalin gücü
P_t	Gönderilen sinyalin gücü
G	Anten kazancı
σ	RCS değeri
λ	Dalgaboyu
π	Pi sayısı
W	Watt
R	Uzaklık
L_s	Sistem kaybı
L_a	Ortam kaybı
ϵ	Dielektrik sabiti
ΔCR	Enine menzil çözünürlüğü
θ_{az}	Azimut açısı
v	Tarama hızı
f	Frekans
D_{sar}	SAR etkin anten çapı
T_a	Tarama süresi
R_u	Kesin menzil
Δf	Basamak frekansı genişliği
B_{IF}	Ara frekans bant genişliği
m	Metre
ns	Nanosaniye
dBm	Milidesibel
MHz	Megahertz
dB	Desibel
GHz	Gigahertz
KHz	Kilohertz
mm	Milimetre
mW	Miliwatt
km	Kilometre
h	Yükseklik
Hz	Hertz

cm	Santimerte
dB<i>i</i>	Decibel izotrop
t_i	İki yönlü seyahat süresi

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Engel arkası görüntüleme polis, itfaiye, kurtarma, askeri uygulamalar başta olmak üzere birçok alanda artarak talep görmektedir. Bu tür sistemlerin asıl tasarlanma amaçları görünmeyen alanlarda ki bilgilere konvansiyonel ölçümler ile ulaşmaktır. Bu tür sistem ile bina yapısını, içindeki cisimlerin pozisyon ve sayılarını, insanların pozisyon ve hareketlerini en uygun bir şekilde algılayarak 2 ve 3 boyutlu olarak görüntüleme yapılması temel amaçtır. Engel arkası görüntüleme sistemleri kendisine hem sivil hem de askeri kullanım alanları bulabilmektedir. Bu kullanım alanları arasında askeri kullanım alanları olarak

- Yeraltındaki mayın veya patlayıcıların tespit edilmesi,
- Duvar arkasındaki hedeflerin algılanması ve görüntülenmesi,
- Yeraltı tünellerinin bulunması
- Ormanlık veya çalılık alanlardaki insanların bulunması

sivil kullanım alanları olarak;

- Yeraltında bulunan boru, kanalizasyon vb. gömülü yapıların toprak yapısının bozulmadan görüntülenmesi ve doğru derinlik ve pozisyon bilgilerinin çıkarılması
- Arkeolojik çalışmalarda kalıntıların bulunması
- Betonların sağlamlığının analizi ve kırık veya içindekilerin bulunması
- Karayolları için yol ve köprülerin sağlamlığının incelenmesi
- Deprem vb. nedenlerle enkaz altında kalan kişilerin yerlerinin tespiti
- Gömü aramacılığı

- Yeraltındaki su seviyesi ve su yollarının bulunması
- Tarım uygulamalarında toprak nemliliği, iletkenliği gibi bilgilerin elde edilmesi
- Demiryollarının sağamlık analizi
- İsimsiz veya belirsiz mezarların bulunması vb.

sıralanabilir. Bu kullanım alanlarının yanında yangın içinde, çığ veya enkaz altında insan tespiti ayrıca önem arz eden olup ve ihtiyaç duyulmaktadır.

1.2. Problem Tanımı ve Amaçlar

Engel arkası görüntüleme radarları üzerlerinde ciddi çalışmalar yapılan ve dünyada son zamanlarda arkeoloji, yer altı kaynakları tespiti, altyapı görüntüleme, askeri uygulamalar ve enkaz altında canlı tespiti gibi uygulamalarda ihtiyaç duyulan teknolojilerdir. Bu alanda elektronik teknolojisi hızla gelişmekle birlikte sinyal işleme alanında akademik olarak yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Ancak yapılan sinyal işleme ve algoritma geliştirmeleri genellikle benzetimler üzerinde oldukları için gerçek uygulamalarında aynı performansı gösterememektedir. Dolayısıyla sinyal işleme tekniklerinin ve algoritmalarının gerçek ortam ve verilerle geliştirilip test edilmesine ihtiyacı duyulmaktadır.

Bu nedenle enkaz altında canlı insan tespiti ve yer belirlemesi yapabilen engel arkası görüntüleme radarı geliştirilmesi hedefinin ilk adımı olarak bu tez çalışmasında basamak frekans sürekli dalga engel arkası görüntüleme radar prototipi oluşturup sistemin kalibrasyonu yapılarak kullanıcı uyumlu, kolay yapılandırılabilir, ortamdaki gerçek zamanlı veri alabilen, gerçek zamanlı çalışan ve üzerinde yeni geliştirilen algoritmaların deneysel testlerinin yapılabileceği bütün bir mobil sistem geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Tez Organizasyonu

Tezin ikinci bölümünde ilk olarak radar sistemleri hakkında temel literatür bilgisi sunulmaktadır. Radar sistemlerinin çeşitleri ve çalışma teorileri anlatılmaktadır.

Takiben engel arkası görüntüleme radarları ve çeşitleri hakkında bilgi sunulduktan sonra çalışmamızı ilgilendiren ultra geniş bant radarların katkıları ortaya konulmuştur. Sistem tasarımı için gerekli olan terimler ve tasarım parametreleri açıklandıktan sonra SAR tarama anlatılmaktadır. Üniversiteler ve ticari şirketler tarafından yapılmış, geliştirilecek olan prototipe benzer veya dünyadaki muadil uygulamalar ve çalışmalardan bahsedilerek bölüm tamamlanmıştır.

Üçüncü bölümde, engel arkası görüntüleme radarı sisteminin bileşenleri detaylarıyla anlatılmaktadır. Kullanılan cihazlar ve sistemlerin teknik özellikleri tüm ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Cihazların yapılandırılmasının nasıl yapıldığı, kabiliyetleri ve cihazların kullanımı için geliştirilen mekanik ve yazılımsal sistemler hakkında etraflıca bilgilendirilmektedir.

Sondan bir önceki bölüm olan dördüncü bölümde engel arkası görüntüme uygulaması gerekli temel teori bilgisiyle desteklenerek anlatılmaktadır. Yapılan modellemeler ve deneysel çalışma öncesinde yapılması gereken ön işleme ve kalibrasyon süreçleri uygulama görüntüleriyle desteklenerek açıklanmaktadır. Bu bölüm yapılan deneysel çalışma sonuçlarının sunulmasıyla sonlandırılmaktadır.

Tezin son bölümü olan beşinci bölümde bu çalışmayla yapılan katkılar ve özeti anlatılıp gelecekteki yapılabilecek çalışmalar için hem öneri hem de bu çalışmadan öğrenilen dersler sunulmaktadır.

BÖLÜM 2

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tezimizin bu bölümündeki amaç engel arkası görüntüleme radarı alanında yapılan çalışmalarını inceleyerek engel arkası görüntüleme radarının çalışma prensiplerini ve terminolojisini bu araştırmanın gerektirdiği kadar detaya inilerek açıklamaktır. Radar teorisi birçok kitap ve makalelerde tüm detaylarıyla anlatılmaktadır. Okuyucu teorik detayları için bu kaynakları inceleyebileceğinden yapılan araştırmayı anlatacak detayda engel arkası görüntüleme radarlarının temellerine teorik detaya girilmeden genel bir bakış yapılacaktır.

2.1. Radar Sistemleri

Radarlar temelde nesnelere tespit etme ve yerlerini belirlemek amacıyla geliştirilmiş olsalar da 70 yılı aşkın sürede gelişerek görüntüleme gibi birçok karmaşık uygulamada da kullanılmaktadırlar. Radar teknolojisi (1) yüksek güçte mikrodalga enerjisini iletebilme, (2) mikrodalga enerjisini algılama ve (3) alınan sinyali iletip yorumlayarak bilgi çıkarabilme olmak üzere 3 temel konuda gelişme göstermektedir[1]. İlk iki konu uygun donanım geliştirilmesine dayanmakla beraber bu alanlarda ki problemler önemli ölçüde çözülmüş ve artık şimdilerde daha küçük, hafif ve ucuz donanım geliştirme çalışmaları yürütülmektedir. Üçüncü problem olan sinyalden bilgi çıkarabilme ise matematiksel zorluklar içeren ve en çok çalışılan alandır.

Radarlar uzaktan algılama alanında diğer yöntemlere göre birçok avantaj sağlamaktadırlar. Uzun radar dalga boyları bulut, duman, toprak, gibi birçok ortama girişim yapabilirken aynı zamanda bitki, taş, beton gibi malzemelere de girişim yapabilmektedirler. Bu nedenle radarlar optik sistemlerin aksine gece ve gündüz ışığın varlığına bağlı olmaksızın her zaman görüntüleme yapabilme kabiliyetine sahiptir.

Radarlarda değişik uygulama alanları ve amaçları için çok farklı metotlar kullanılmasına rağmen hiçbir metot tek başına kapsayıcı bir çözüm sunamamaktadır. Kullanılan metotlar içinde sismik, elektromanyetik indükleme, kızılötesi ve

elektromanyetik metotların kullanışlı oldukları yaygın kullanımlarından anlaşılmaktadır. Engel arkası görüntüleme radarı, duvar arkası görüntüleme radarı ve yere işleyen radar gibi terminolojiyle de belirtilen yöntem yeraltında veya gözle görülemeyecek şekilde bir engelin arkasında bulunan nesnelerin konumlarının elektromanyetik teknikler kullanılarak bulunması veya onlar hakkında istenilen bilgilerin uzaktan elde edilmesini kapsar. Bunlardan elektromanyetik engel arkası görüntüleme yöntemi olan ‘Ground Penetrating Radar (GPR)’ yani yere işleyen radar teknolojisi özellikle büyük ilgi gören ve araştırma yapılan bir seçenek halini almıştır [2, 3].

Yere İşleyen Radarlar (GPR¹) yer altına gömülmüş boru, kablo, kara mayını ve gizli tüneller gibi yeraltında gizlenmiş hedeflerin tespitinde [4-8], arkeolojik araştırmalar, yol ve köprülerin sağlamlık incelemesinde kullanılan, her uygulama alanı için özel yapı ve sinyal işleme yöntemlerine sahip özel radar sistemleridir. Engel arkası görüntüleme radarı (EAGR²) ise rehine kurtarma, insan tespiti gibi askeri alanlarda ve enkaz altında canlı arama veya canlılık belirtisi tespiti gibi sivil uygulamalarda kullanılan özel yapı ve yöntemlere sahip temelde GPR sistemleri gibi elektromanyetik teknikler kullanan özel radar sistemleridir.

Bu çalışmada Yere İşleyen Radar (GPR), Duvar Arkası Görüntüleme Radarı (DAGR) ve Engel Arkası Görüntüleme Radarı (EAGR) için engel arkası görüntüleme radarı(EAGR) terminolojisi kullanılacak olup, özel durumlar için ayrıca GPR veya DAGR terminolojisi kullanılacaktır.

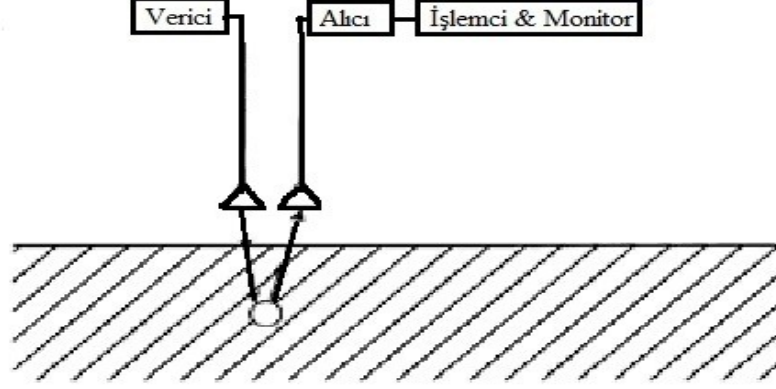
2.2. EAGR Çeşitleri ve Tasarımı

EAGR sistemlerin temeli de diğer radarlar gibi gönderilen elektromanyetik dalganın yansımalarının toplanıp işlenmesine dayanmaktadır. EAGR sistemler alıcı-verici antenler, sinyal üretici ve sinyal işleyen ve gösteren birim olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Antenlerin türü ve sayısı, üretilen sinyalin

¹ İng: Ground Penetrating Radar

² İng: Through Wall Imaging

karakteristiği ve sinyal işleme metodu EAGR sisteminin uygulama amacı ve çeşidine göre değişmektedir [9].

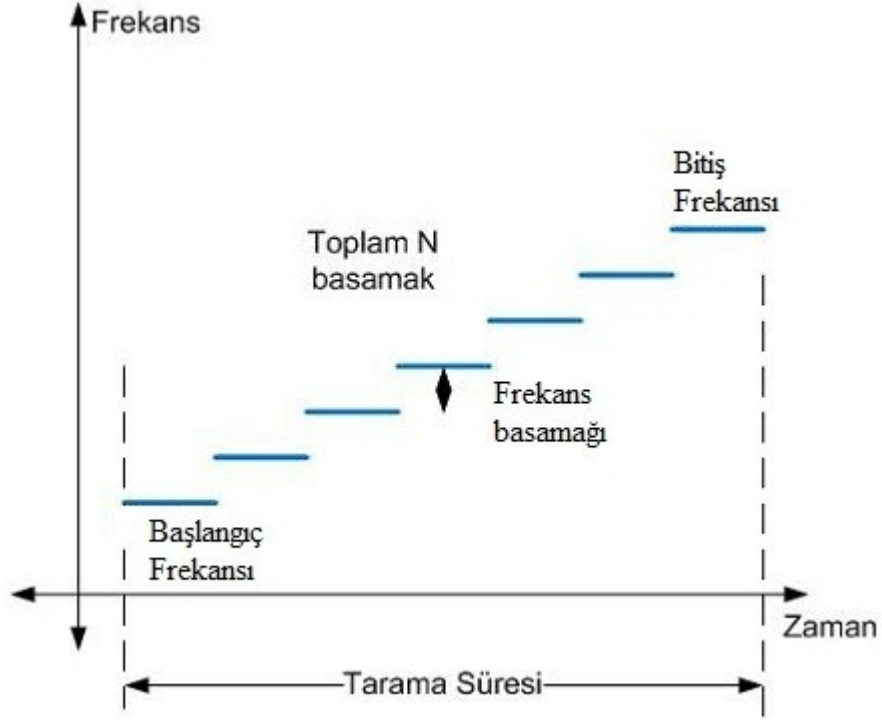


şekil 2.1: Basit bir radar sistem blok çizelgesi [2]

EAGR verinin toplandığı alana bağlı olarak zaman ve frekans alanında çalışanlar olmak üzere iki ayrılmaktadırlar. Frekans tabanlı sistemler temelde basamak frekans sürekli dalga ve darbeli sistemler olmak üzere kullanılan sinyal çeşidi olarak iki başlıkta incelenebilir.

2.2.1. Basamak Frekans Sistemler

Basamak frekans sistemler frekans kiplmeli sürekli dalga radarların son yıllarda gelişen ve ucuzlayan teknoloji ile yer altı ve engel arkası görüntüleme uygulamalarında sıklıkla kullanılan tekniğidir[10]. Basamak frekans sistemler bir veya daha fazla anten ve network analizör(NA) olarak adlandırılan çıkış portundan sinyal üretebilen ve giriş portundan da gönderilen sinyale karşılık gelen yansıyan sinyali ölçen elektronik aygıttan oluşmaktadır. Network analizörler $\cos(\omega_1 t)$ formunda çıkış portunda gerilim olarak görünen sinyal üretirler. Gönderilen sinyalin frekansı bir başlangıç frekansından bitiş frekansına kadar sabit bir bant genişliği miktarınca adım adım artar (şekil 2.2) [3, 10-12].



Şekil 2.2: Basamak frekans sistemler için gönderilen sinyalin yapısı

Üretilen bu sinyal, çıkış portuna bağlanan bir anten ile elektromanyetik yayılım yaparak hedeften geri yansır. Yansıyan bu elektromanyetik dalga network analizörün giriş portuna bağlı antende zaman-değişkenli³ gerilim olarak indüklenir. Ortamın durağan olması durumunda; giriş portundaki bu gerilimler $A_1 \cos(w_1 t) + B_1 \sin(w_1 t)$ formunda olurlar ve sistem A_1 ve B_1 katsayılarını kaydeder. Ardından network analizör üretilen sinyalin açısai frekansını bir basamak arttırarak $\cos(w_2 t)$ sinyalini üretir ve bu sinyalin yansıması ile ilgili olan A_2 ve B_2 katsayılarını kaydeder. Bu süreç bir açısai frekans dizisi $(w_1, w_2, w_3, \dots, w_N)$ olarak devam eder.

Üretilen $\cos(w_j t)$ sinyali $\text{Re}(\exp(-iw_j t))$ olarak ifade edilebilir. Re karmaşık sayıların gerçek kısmını ifade etmektedir. Karmaşık bir sayıyı $R = R_r + iR_i$ olarak ifade ettiğimizi varsayarsak

³ İng: Time-varying

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}[R(w) \exp(-iwt)] &= \operatorname{Re}[(R_R(w) + iR_I(w))(\cos(wt) - i\sin(wt))] \\ &R_R(w) \cos(wt) + R_I(w) \sin(wt) \end{aligned} \quad (2.1)$$

ifadesini elde ederiz. Dolayısıyla, kaydedilen gerçek değerli A_j ve B_j katsayılarının yansıyan karmaşık katsayıya $R(w_j)$ eşitliği ortaya çıkmaktadır.

Gönderilen sinyali bildiğimizden yansıyan sinyali Fourier dönüşümü yardımıyla yaklaşık olarak ifade edebiliriz. Bunun için ilk önce gönderilen sinyali Fourier dönüşümü ile karmaşık üstellere ayırmalıyız:

$$s(t) = \sum a_n e^{-i w_n t} \approx \int_{w_1}^{w_N} a(w) e^{-i w t} dw \quad (2.2)$$

$a_n \approx a(w_n)$ olarak varsayılmıştır. Yansıyan sinyal ise a_n katsayısını ve ölçülen $R(w_n)$ kullanarak :

$$s_{yan}(t) = \sum a_n R(w_n) e^{-i w_n t} \approx \int_{w_1}^{w_N} a(w) R(w) e^{-i w t} dw \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada gelen dalga⁴ ve saçılan dalganın⁵ doğrusallığı kullanılmıştır.

Basamak frekanslı olarak geliştirilen deneysel sistemler genel olarak bilgisayar ile kontrol edilen NA kullanılarak gerçekleştirilmişlerdir[13-16]. Bunlara göre daha yeni sayılabilecek Queensland üniversitesinin sistemi [17], CORISTA sistemi [18], ve Georgia Institute of Technology'de geliştirilen sistemler de [12] taşınması zor ve network analizör tabanlı araştırma sistemleridir. RF ve DSP teknolojisindeki gelişmelerle 1993 yılında prototip taşınabilir basamak frekanslı radar sistemleri US Department of Energy [19] ve Coleman Research Corporation [20] tarafından geliştirilmiştir. Bundan sonra şirket veya araştırma grubu olarak birçok sistem

⁴ İng: Incident wave

⁵ İng: Scattered wave

geliştirilmiştir. Geliştirilmiş bu sistemlerden bazı örnekler alınarak sistemlerin özellikleri ileriki bölümde incelenecektir.

Basamak frekanslı radarın avantajları temel olarak gönderilen frekansın aralığını ortama, hedef çeşidine ve uygulama alanına bağlı olarak istenildiği gibi kontrol edilebilirliği, verimli güç kullanımı, geniş bant sinyallerin düşük hızlı analog-sayısal dönüştürücülerle etkin şekilde örneklenebilmesi olarak sıralanabilir [3]. Örneğin parazit yansıma oluşturabilecek frekans aralıkları vb. rahatlıkla çıkartılabilir. Bu ortama adaptasyon kabiliyeti basamak frekanslı radarlar için çok önemli bir özelliktir. Bunun yanında her bir frekans basamağında ortalama yayılan güç yüksek olabilmekte ve her basamakta alınan sinyal biriktirilerek sistem hassasiyeti ve SNR yükseltilebilmektedir. Ayrıca yüksek bant genişlikleri IF frekansına indirgenerek düşük hızlardaki analog-sayısal dönüştürücüler kullanılarak örneklenebilmektedir. Bu tür radarlar sistem mimarilerden dolayı kompleks sinyal işlemeye ve SAR algoritmalarının uygulanmasına imkan tanıyan koherent(gerçek ve sanal) verinin toplanmasını mümkün kılmaktadır[19]. Frekans kiplmeli radarlar geniş bant kullandıklarından yüksek menzil çözünürlüğüne ulaşabilmektedirler [21].

Diğer yandan basamak frekanslı radarlar karmaşık elektronik devrelere sahip olmaları ve sayısal sinyal işleyicilere ihtiyaç duymaları nedeniyle dezavantajlı olsalar da bugünkü teknolojiyle bu dezavantajları çok azaltılmıştır[3]. Ayrıca zaman-değişkenli kazancın gelen sinyale direkt uygulanamaması bir dezavantaj olsa da yazılım ile uygulanabilmektedir. Bunun dışında bir dezavantaj olarak; sinyalin frekanstan zamana dönüşümünün olumsuz etkileri olan güçlü sinyallerin yan kulaklarının⁶ oluşumu zayıf yansılardan gelen düşük sinyalleri maskeleyebilmektedir [3].

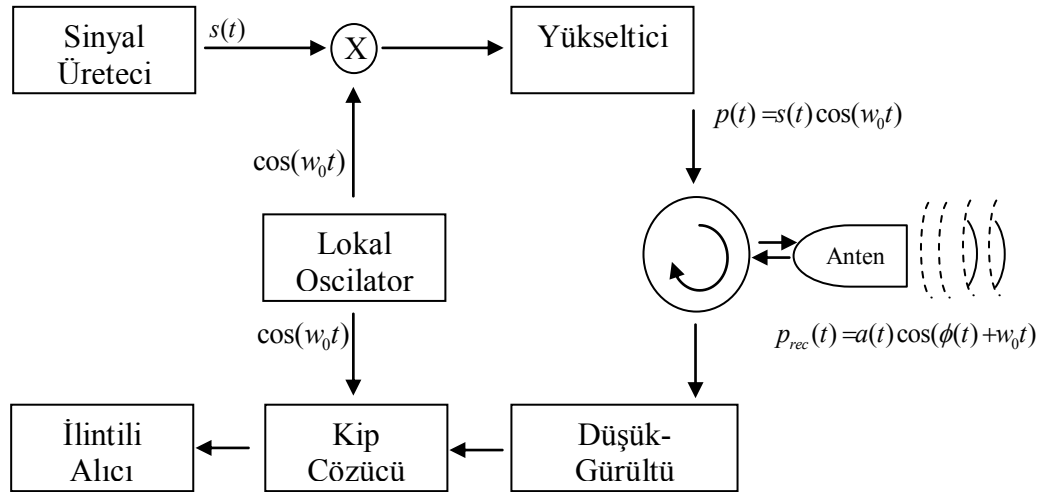
⁶ İng: Sidelobe

2.2.2. Darbeli Sistemler

Radarlardaki diğer bir sistemlerde darbeli⁷ sistemlerdir. Darbeli sistemler temelinde bir sinyal üreticinin sinyal üretmesiyle başlar. Darbe formunda üretilen bu sinyal açısız frekansı w_0 olan bir taşıyıcı sinyal $\cos(w_0t)$ ile kiplenerek⁸ $p(t) = s(t) \cos(w_0t) = \text{Re}(s(t)e^{-iw_0t})$ dönüştürülür. Daha sonra güçlendirilen bu sinyal alıcı-verici tarafından antene aktararak elektromanyetik dalga olarak çevreye yayılır. Bir nesneye çarpıp yansıyan dalga geri dönerek tekrar anten üzerinde gerilim oluşturur. Oluşan bu gerilim:

$$p_{rec}(t) = a(t) \cos(\phi(t) + w_0t) \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Bu gerilimler oldukça düşük ve genellikle radar sisteminin termal gürültüsünden de küçük olurlar. Bu nedenle antende indüklenen bu gerilim alıcı-verici tarafından düşük-gürültü yükselticisinde güçlendirildikten sonra kipi çözülür. Basit bir darbe sistemli radarın blok şeması Şekil 2.3'de yer gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Darbe sistemli radar blok şeması

⁷ İng: Pulsed

⁸ İng: Modulate

Darbe sinyalli radarlar dar⁹ darbeler kullandığından duvar ve yerden kaynaklanan pasif girişimlerin etkilerini ve gerçek, karmaşık uygulamalarda ki çok yollu girişimlerin radar etkilerini azaltarak basamak-frekanslı radarlara göre avantaj sağlamaktadırlar. Dezavantaj olarak tek frekans kullanımı derinlik(menzil) yönünde yüksek çözünürlük sağlayamamaktadır [21]. Ayrıca değişik ortamlara göre frekansının adapte edilmesi pek mümkün değildir.

2.3. Ultra Geniş Bant Radarlar

Ultra Geniş Bant (UWB¹⁰) radarlar insanların bina enkazı altında kalma, çığ altında kalma gibi durumlarda hareketli olmasalar bile kalp atışları ve göğüs kafesi hareketlerinin teşhisi ile tespit edilmesinin yanında güvenlik güçleri tarafından kapalı ortamlardaki kişi veya suçluların engel arkasından tespit edilmesinde ve yer altı, duvar içi gibi ortamların içlerinde saklı olan kablo, boru ve benzerlerinin bulunmasında UWB radarlar kullanılabilir [22].

UWB radarlar yüksek çözünürlüklü görüntüleme ve algılama imkânı sunabildiklerinden yer altı, duvar, bitki yapraklarına girişim yapabilme hedef tespitinde ticari başarı sağlamaktadır. Ayrıca UWB radarlar konvansiyonel alıcılarda daha az girişime neden olmaktadır[23].

UWB radar sinyalleri metal olmayan duvarlara nüfuz ederek menzil¹¹ yönünde, enine menzil¹² (menzile dik) doğrultusunda değişik hareket durumlarının ve hareketsiz durumların tespit edilmesine imkân sağlamaktadır[24]. Ayrıca değişik sinyal işleme algoritmaları uygulanarak farklı ortamlara da uygulanabilmektedir [24]. Darbe dalga formuna sahip UWB radarlar metal olmayan engellere nüfuz ederek engel arkasında ki hareketli ve hareketsiz hedefleri tespit edebilmenin yanında hedefler arasında ki ve

⁹ İng: Narrow

¹⁰ İng: Ultra Wide Band

¹¹ İng: Range

¹² İng: Cross-range

hedeflerin radara olan mesafelerinin tespitini de mümkün kılmaktadır [24]. Menzil çözünürlüğü, ΔR ;

$$\Delta R = c / 2B \quad (2.5)$$

olarak hesaplanır. ‘B’ bant genişliğini ve ‘c’ ışık hızını ifade etmektedir. UWB radarlar radar enkesiti (RCS) düşük olan hedeflerde menzil çözünürlüğünü artırarak(denklem (2.5)) daha doğru tespit etme imkânını arttırmaktadır.

Engel arkası görüntüleme uygulamalarında genel olarak darbe ve basamak frekanslı olmak üzere iki dalga şekli kullanılmaktadır. Geniş huzme açıklığına¹³ sahip antenler radarın tarama alanını artırırken yüksek yan kulaklara sahip oldukları durumda parazit ve çok yollu¹⁴ girişimlere neden olmaktadır [24].

UWB radarlar geleneksel dar bant radarlar gibi elektromanyetik dalgaların farklı parametrelere sahip iki ortam sınırında oluşan yansıması özelliğini kullanmaktadırlar. UWB radarların sinyalleri[22];

- ✓ Kalp parametreleri ve göğüs kafesi hareketinin ölçülmesinde radarın çözünürlük kabiliyetini arttırmaktadır.
- ✓ Ölçüm yapılan minimum mesafeyi azaltmaktadır.
- ✓ Cihazın boyutu küçülmektedir.
- ✓ Dış kaynaklardan gelen girişimlere karşı bağışıklığı ve ölçümlerin güvenilirliğini arttırmaktadır.

2.4. EAGR Terimleri Ve Tasarım Parametreleri

Engel arkası görüntüleme radarlarını daha iyi anlayabilmek için bazı terim ve parametreleri açıklamak yararlı olacaktır. Bu terim ve parametreler;

¹³ İng: Beamwidth

¹⁴ İng: Multi-path

-Erişim Menzili: Sistemin kesin (unambiguous) olarak tespit edebilen/görüntüleyebilen en düşük RCS değerli bir hedefin karıştırılmadan tespit edilebildiği azami hedef menzildir. Bir radarın erişim menzili alınan sinyalin gücüne bağlıdır. Noktasal bir hedeften yansıyıp alınan sinyalin gücü,

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 L_s L_a (R)} \quad W \quad (2.6)$$

ifadesiyle hesaplanır. P_t gönderilen sinyalin gücünü, G anten kazancını, λ dalga boyunu, σ sinyali yansıtan hedefin RCS değerini, R hedefin uzaklığını, L_s sistemin kaybını ve L_a ortamın kaybını ifade etmektedir. Denklem (2.6)'da görüldüğü üzere erişim menzili birden çok parametreye bağlıdır. P_t , G , λ , L_s gibi bazı parametreler sistemin tasarımcısı tarafından ayarlanabildiği gibi, σ , L_a gibi bazıları tasarımcının elinde olmayan parametrelerdir. L_a kaybı sadece dalganın ortamda aldığı yola değil aynı zamanda ortamın nem, basınç, sıcaklık gibi bazı karakteristik özelliklerine de bağlıdır. Sistem tasarımında istenilen erişim menziline ulaşılabilmesi için menzilin son noktasında ki bir hedeften yansıyan sinyalin gücünün radarın duyarlılığından büyük olması gerekmektedir.

-Menzil Çözünürlüğü (ΔR): EAGR sisteminin menzil yönündeki iki ayrı hedefi ayırt edebilmesi için iki hedefin arasındaki gerekli olan minimum mesafedir. EAGR sistemlerde menzil çözünürlüğü

$$\Delta R = \frac{c}{2B\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

olarak hesaplanabilir. İstenilen menzil çözünürlüğü belirlendikten sonra ihtiyaç duyulan toplam bant genişliğine sahip bir sistem geliştirilebilirken, önceden geliştirilmiş ve kullanılan hazır sistemin toplam bant genişliğinden sistemin menzil çözünürlüğünü tespit etmek mümkündür. Burada, sistemi tasarlayanların kontrolünde olmayan ancak çözünürlüğünü etkileyici bir parametre olan bağıl dielektrik sabitinden dolayı bir sistemin menzil çözünürlüğü uygulandığı ortama göre değişebilmektedir.

-Enine Menzil Çözünürlüğü (ΔCR): EAGR sisteminin enine menzil yönündeki iki ayrı hedefi ayırt edebilmesi için iki hedefin arasındaki gerekli olan minimum mesafedir. Bu mesafe hedefin menziline (R) ve antenin açıklık genişliğine (θ_{az}) bağlı olarak ve hedef menzilin antenin uzak alan durumunda olduğu durumda

$$\Delta CR = R\theta_{az} \quad (2.8)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Denklem (2.8) radarın sabit olarak durup hareket etmediği ve sabit açıklık olması durumunda kullanılan hesaplama yöntemidir. Daha geniş alanları taramak için kullanılan yapay açıklıklı radar(SAR) teknikleri uygulanmaktadır. Bu durumda antenin etkin çapı değiştiğinden, SAR durumunda etkin anten çapı

$$D_{SAR} = vT_a \quad (2.9)$$

olarak hesaplanır. v tarama hızını, T_a ise tarama süresini göstermektedir. SAR tekniği uygulandığı durumda elde edilen enine menzil çözünürlüğü

$$\theta_{az} = \frac{\lambda}{D}; \quad \Delta CR = \frac{\lambda R}{2vT_a} \quad (2.10)$$

ifadesiyle elde edilmektedir.

-Kesin(unambiguous) Menzil (R_u): EAGR sisteminin kesin/örtüşme olmadan tespit edebileceği azami mesafedir. Kesin menzil

$$R_u = \frac{c}{2\Delta f \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.11)$$

olarak hesaplanabilir. EAGR sistemin erişim menzilin kesin menzil olarak alınabilmesi için gerekli koşulun

$$B_{IF} \approx \frac{1}{PRI} \quad \text{ve} \quad PRI > \frac{1}{\Delta f} \quad \Rightarrow \quad B_{IF} < \Delta f \quad (2.12)$$

olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Dinamik Aralık¹⁵: Dinamik aralık sistemin alıcısındaki analog sayısal çeviricisinin sistemin örnekleyebileceği maksimum sinyal ile minimum sinyalin aralığını ifade eder. Burada sistemin karşılaşacağı tüm kayıplar ve gürültü seviyesi düşünülerek alınabilecek en düşük sinyal seviyesini kapsayan bir aralığın olması istenir.

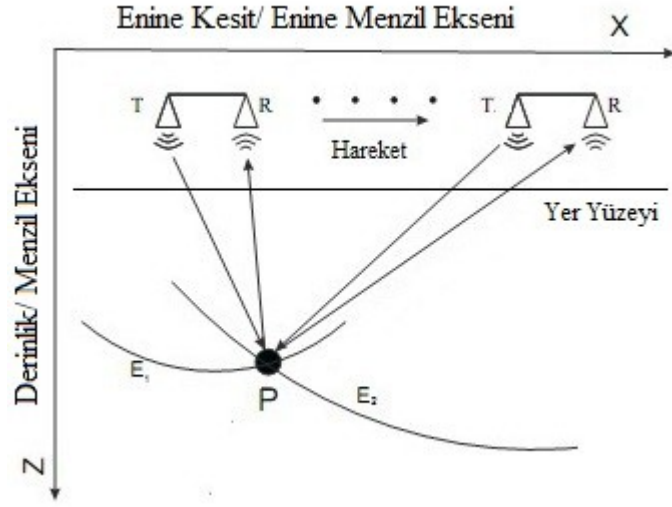
2.5. SAR Tarama

Uygulama da GPR ölçümleri yer üzerinde antenlerin kaydırılmasıyla yapılmaktadır. Bu antenler insan gücü ile veya bir araca takılı olarak hareket ettirilebilirler. Hareket ettirilen bu antenler yer yüzeyi boyunca sabit mesafe yol aldıklarında bir radar sinyali gönderir ve alırlar. Bu sabit mesafeye iz sürme¹⁶(izleme,örnekleme) mesafesi olarak adlandırılır ve genellikle 30cm den kısadır [25]. Anten her iz sürme mesafesi kadar kaydırıldığında sırasıyla; a) verici bir radar sinyali gönderir, b) alıcı yansıyan sinyalleri almak için dinlemeye geçer, c) alıcı belirli bir süre dinledikten sonra dinlemeye kapanır. Bu süreç sonunda alınan bu sinyaller işlenecek veri olarak kaydedilir. Tek bir iz sürme noktasından elde edilen bir veri yer yüzeyi üzerinde bir noktanın yer altındaki hedefi ve derinliğini tespit etmek için kullanılır. Antenlerin yer yüzeyinde sabit aralıklarla kaydırılmasıyla birden çok noktadan elde edilen çok sayıda veri ile yeraltının enine kesit¹⁷ alan verisi oluşturulabilmektedir. Bu şekilde tarama yapılarak; enine kesit ile yer altının yatay eksenini, elektromanyetik dalganın hedefe gidiş-dönüş süresi ile de dikey eksenini oluşturulmaktadır (Şekil 2.4).

¹⁵ İng: Dynamic Range

¹⁶ İng: Trace spacing

¹⁷ İng: Cross section



Şekil 2.4: SAR görüntüleme eksenleri

Toplanan bu veri matrisi enine kesit olarak gösterildiğinde hedefin boyutu, şekli ve derinliği belirlenebilmektedir. Hedefin üst yüzeyinin derinliği elektromanyetik dalganın gidiş-geliş süresinin dalganın ortamda ki hareket hızına bölünmesiyle elde edilen sonucun yarısı olarak hesaplanabilir.

$$Derinlik = \frac{Toplam\ geçen\ süre}{2 \times dalga\ hızı} \quad (2.13)$$

Elektromanyetik dalganın hızı hareket ortamının bağıl geçirgenliğine¹⁸(dielektrik sabiti veya dielektrik geçirgenlik olarak da bilinir) bağlıdır. Bağıl geçirgenlik ortama göre değişmekle birlikte 1 (hava) ile 81 (su) arasında bir değer olmaktadır [25]. Elektromanyetik dalganın ortamda ki hızı

$$Hız = \frac{Dalga\ın\ havadaki\ hızı}{\sqrt{Ortam\ın\ bağıl\ geçirgenliği}} \quad (2.14)$$

ifadesiyle hesaplanabilmektedir. Elektromanyetik dalganın havadaki hızı yaklaşık olarak 0.305 m/ns dir. Suyun bağıl geçirgenliğinin 81 olduğu göz önünde bulundurulursa dalganın suda ki ilerleme hızı yaklaşık olarak 0.0339m/ns dir. Aynı

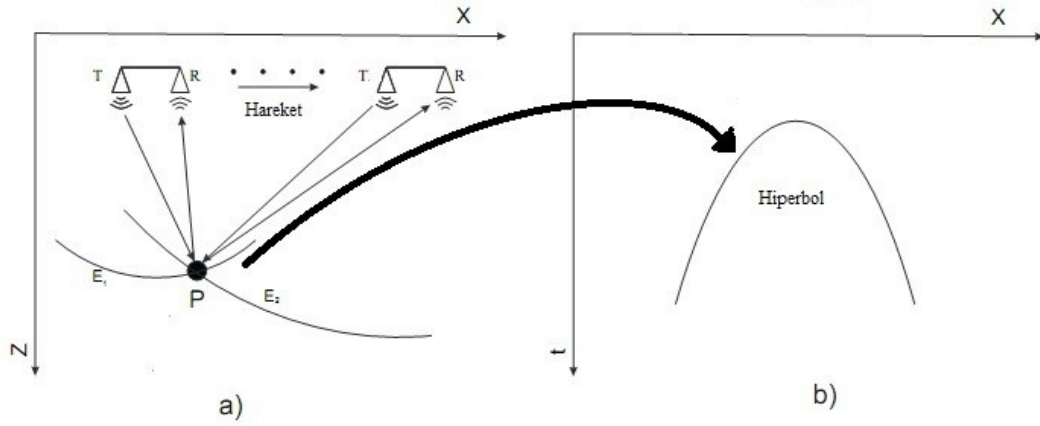
¹⁸ İng: Reletive Permittivity

şekilde temiz kum veya homojen granitte (bağıl geçirgenlik:5) elektromanyetik dalga yaklaşık olarak 0.13625 m/ns hızla ilerlemektedir. Örneklerden de anlaşıldığı üzere elektromanyetik dalga her ortamda farklı hızlarda hareket etmektedir. Elektromanyetik dalganın ortamdaki ilerleme hızını daha doğru şekilde hesaplayabilmek için ortamın homojenliği ve elektriksel özelliği hakkında daha detaylı bilgiye ve hassas ölçümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ortamların ve maddelerin bağıl geçirgenliklerini ve elektriksel karakterlerini değişik ölçüm yöntemleriyle tespit edebilmek de mümkündür.

Hedefin derinliğinin tespit edilmesinde kullanılan elektromanyetik dalganın hızı ne kadar doğru tespit edilirse, hesaplanan hedef derinliği de o kadar az hatalı ve kesin olacaktır. O nedenledir ki; dalga ilerleme hızının hesaplanmasında kullanılan ortamın bağıl geçirgenliği ve dolayısıyla ortamın karakteristiği hakkında ki varsayım veya kestirimler GPR radarların en hassas noktasından biri olup başarılı sonuç vermesinde ana etkindir.

GPR radarlar yer altında saklı olan boru, mayın gibi özel hedefleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Bazı durumlarda yüzeyin altında yer alan rezonans yansıtıcılar(örn: metal tank), tek boyutlu yansıtıcılar (örn: stratigrafik tabakalar ve su tabakaları), veya rezonans olmayan yansıtıcılar (örn: yerkürenin homojen olmaması) bulunmaktadır. Genellikle, GPR radar taramasının amaçları da bu üç tip hedefi de bir tek tarama da tespit etmektir ancak yorumlayan bunları ayırt edip farklı hedef olarak sınıflandırmada problem yaşamaktadır.

Sabit hedefin üzerinden radarın önce hedefe doğru ve daha sonra hedeften uzaklaşır şekilde hareket ettiğinden hedefin radara olan uzaklığı hiperbolik bir anormalite olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 2.5). Bu durum hareketli EAGR radarlarda gözlenen normal bir durumdur ve hiperbolik olarak görünen hedefin görüntü kalitesini artırmak için SAR/migration işleme kullanılabilir. Ancak, çok sayıda yansıtıcının olması ve yüzeyde heterojen bir hız dağılımı olduğundan EAGR verisinin SAR/migration işleminde zorluklar yaşanmaktadır.



Şekil 2.5: Durağan hedefin SAR tarama sonrasında zaman uzayındaki görünümü

Radar sinyalinin beton, taş, kum gibi malzemelerde yayılması UHF ve mikrodalga da bile oldukça randımanlı olmaktadır. Bu durum sinyal işlemede de iyi sonuçlar verdiği için, GPR radarlar köprü v.b. beton yapıların boşluklarının ve yapısal kusurların tespit edilmesine kadar iyi çözünürlük sunabilmektedirler. Sadece, beton yapının içinde örgülü olan güçlendirme demirlerinin örgü sıklığı $\frac{1}{2}$ dalga boyundan küçük olması durumunda yapı kusurlarının görüntülenmesinde zaman zaman problemler yaşanabilmektedir.

2.6. EAGR Uygulamaları

Bu kısımda dünyada yapılmış EAGR örnekleri ele alınarak kurulan sistemlerin teknik özellikleri, yöntemleri ve başarıları detaya inilmeyerek genel hatlarıyla incelenecektir. Yapılan uygulamalar ana başlık olarak üniversitelerde yapılan akademik çalışmalar için kurulmuş deneysel EAGR sistemler ve tüzel kişilikler tarafından ticari amaçla geliştirilmiş sistemler olarak iki sınıfta ele alınmıştır. Aşağıda bahsedilen sistemler dünyada yapılmış uygulamalardan sadece bir kaçıdır. Hem üniversiteler hem şirketler tarafından bu alanda yürütülmüş ve hala yürütülmekte olan onlarca çalışma vardır. Hepsini teker teker detaylarıyla incelememiz mümkün olmayacağı için yapılan çalışmamızla ilgili olanlardan birkaç uygun örnek alınarak incelenmiştir. Daha fazla örnek ve detaya hem verilen kaynaklardan hem de literatürden ulaşılabilir.

2.6.1. Üniversite Kaynaklı Deneysel Sistemler

Cape Town Üniversitesi

Cape Town Üniversitesinde A.Langman'ın doktora tezi[11] olarak sunmuş olduğu çalışma kapsamında özellikleri Çizelge 2.1”de özetlenmiş basamak frekans sürekli dalga yere işleyen radarı geliştirilmiştir.

Çizelge 2.1: Cape Town Üniversitesinde geliştirilen sistemin parametreleri [11]

Verici Gücü	-15dBm ile 10dBm arası
Anten Türü	Bow-tie
Başlangıç Frekansı	200 MHz
Bitiş Frekansı	1600 MHz
Toplam Bant Genişliği	1400 MHz
Frekans Basamağı	2 MHz
Frekans Basamak Sayısı	700
IF Bant Genişliği	100KHz
Tarama Hızı	5 Hz
Dinamik Menzil	> 70 dB

Sistem 200 MHz ile 1600Mhz arasında 700 frekans adımı ile 2MHzlik basamaklar halinde sinyal üretmekte ve çift heterodyne alıcı yapısına sahiptir. Heterodyne yapıya ve sistemin detayları için A. Langman'ın [11] çalışması incelenebilir. Yazarın çalışmasında sunmuş olduğu ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde gömülmüş borular, mayınlar ve kola kutusu gibi hedeflerin tespitinde hedeflerden gelen yansımalar görülmekte ancak deneysel sistemlerde elde edilen sistemlere göre çok daha zayıf olduğu gözlemlenmektedir. Yazar yayınında çalışmasının sonuçlarını basamak frekanslı sürekli dalga sistemlerinin dürtü sistemler kadar iyi performans gösterdiği ancak hem donanımsal hem yazılımsal geliştirilmesi gereken noktalar olduğu şeklinde özetlemiştir [10, 11, 26].

Tohoku Üniversitesi

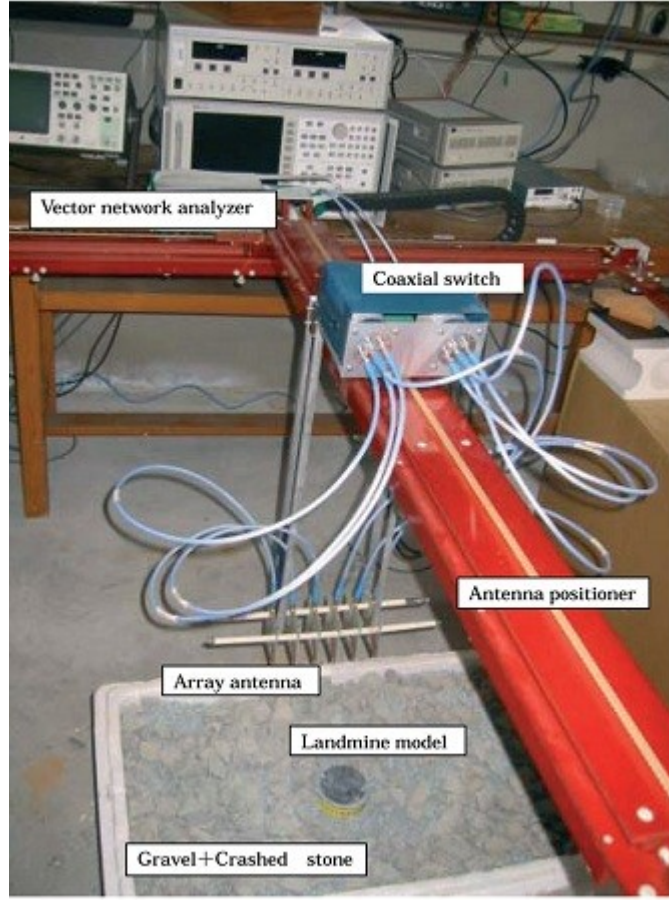
Japonya Bilim ve Teknoloji Kurumu desteğiyle Tohoku Üniversitesinden M.Sato ve grubu tarafından hem deneysel hem de prototip ürün geliştirme çalışması yürütülmüştür [7, 27-29].

Deneysel bir basamak frekans sürekli dalga yere işleyen radar sistemi oluşturma çalışmasında grup beş alıcı ve beş verici olmak üzere on adet 2-6GHz arasına çalışan geniş bantlı Vivaldi anten kullanarak multi-statik bir yapı kurmuşlardır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: 10 adet Vivaldi antenli multi-statik dizilim[28]

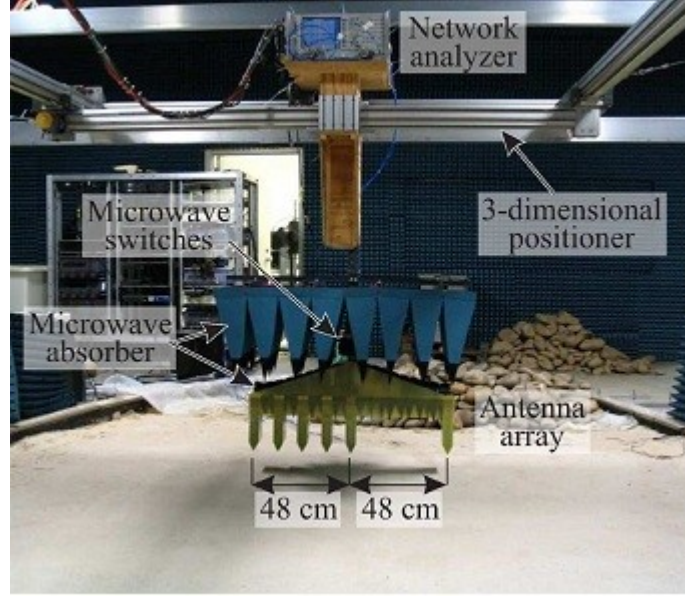
Bu anten dizilimi iki ekseninde hareket edebilen bir konumlandırıcı ile ve koaksiyel anahtarlarla çalıştırılarak ölçümler alınmıştır (Şekil 2.7). HP8785E model vektör network analizör kullanılarak basamak frekans sürekli dalga üreten bu sistem 30 MHz ile 6 GHz arasında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Böyle geniş bant aralığı sunabilen bu sistem ile ortam koşulları değişse bile uygun frekans aralığı seçilebilmektedir. Sistemin parametre detayları çok paylaşılmamış olmasına rağmen M. Sato'nun ve grubunun yayınlamış olduğu çalışmalarındaki[27-29] deneysel sonuçlar sistemin çok başarılı olduğu kanaati uyandırmaktadır.



Şekil 2.7: Tohoku Üniversitesinde geliştirilmiş yere işleyen radar sistemi[28]

Georgia Institute of Technology Üniversitesi

W. Scott ve ekibi deneysel olarak kullanılmak amacıyla basamak frekanslı sürekli dalga yere işleyen radar geliştirme çalışması yapmışlardır.



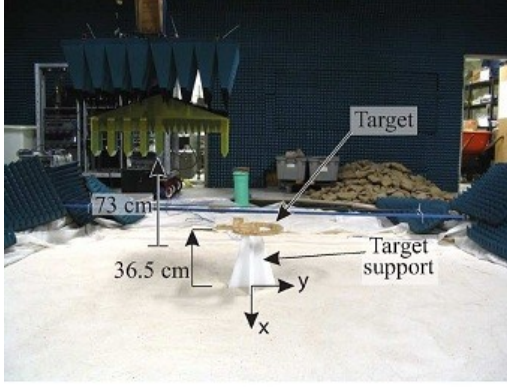
Şekil 2.8: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde geliştirilmiş yere işleyen radar sistemi[12]

Grup Şekil 2.8’de görüldüğü üzere üç eksenle hareket edebilen iki verici ve dört alıcı rezistif vee antenlerden oluşturulmuş multistatik yapılı, bilgisayar ile kontrol edilebilen Agilent 8720D model vektör network analizör kullanarak deneysel sistem oluşturmuştur [12, 30].

Çizelge 2.2’de teknik özellikleri özetlenen sistem ile Şekil 2.9’de gösterildiği ortam ve düzeneklerle yapılmış deney sonuçları oldukça başarılıdır [12, 30].

Çizelge 2.2: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde geliştirilen sistemin parametreleri[12]

Anten Türü	Vee
Başlangıç Frekansı	60 MHz
Bitiş Frekansı	8060 MHz
Toplam Bant Genişliği	8000 MHz
Frekans Basamağı	20 MHz
Frekans Basamak Sayısı	401



(a)

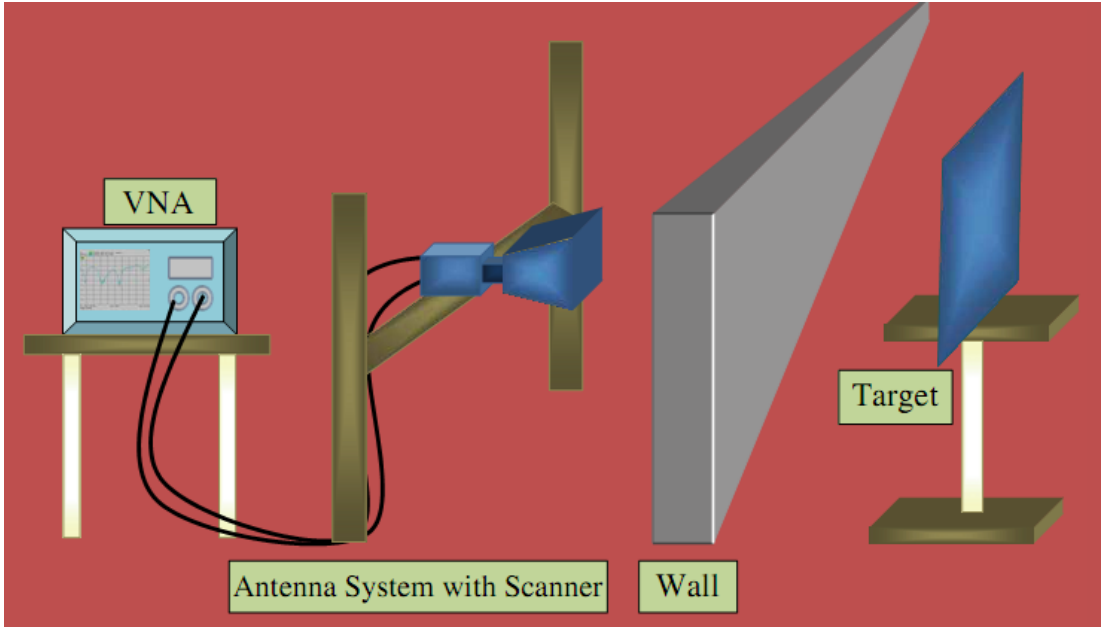


(b)

Şekil 2.9: Georgia Institute of Technology Üniversitesinde yapılan deney düzeneği (a) hedef hava ortamında ve engelsiz (b) hedef kum ve taş altına gömülmüş[12]

Indian Institute of Technology Üniversitesi

Duvar arkası görüntüleme algoritmaları geliştirmek ve analiz etmek üzere tasarlanmış olan basamak frekans sürekli dalga duvar arkası görüntüleme radarı Şekil 2.10'de görülmektedir.



Şekil 2.10: Indian Institute of Technology Ünivesitesinin geliştirdiği duvar arkası görüntüleme radarı [31]

Rohde&Schwarz ZVB8 modeli vektör network analizörü kullanılan bu sistem 3950MHz ile 5850MHz arasında 475KHz aralıklarla 4001 farklı frekansta sürekli dalga üreterek yansıyan sinyallerin katsayılarını ölçmüştür. Monostatik bir anten dizaynı ile 1.9GHz bant genişliğine sahip tek bir horn anten kullanılmıştır. 12mm kalınlığında kontrplak bir duvar üzerinde deney gerçekleştiren P.K. Verma ve grubu Bağımsız Bileşen Analizi tekniğinin daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır[31].

2.6.2. Şirket Kaynaklı Ticari Sistemler

L3 Communication CyTerra

Güvenlik şirketi olan L3 Cyterra [32] EAGR teknolojisi ile askeri uygulama alanlarında elle ve araçla mayın bulma ve duvar ötesi algılama sistemleri geliştirmiştir. Şirketin geliştirmiş olduğu elde taşınabilir AN/PSS-14 modeli geniş bant basamak frekans sürekli dalga yere işleyen radar tekniği ve metal detektör kombinasyonu ile anti-personel ve anti-tank mayınlarını yüksek başarımları ile tespit edebilmektedir. Ayrıca RANGE-R adlı ürün yüksek hassasiyetli elde taşınabilir sıradan bina duvarlarının arkasını görüntüleyerek hareketli veya durağana yakın kişileri tespit edip uzaklığını ölçebilmektedir. Ürün şirket tarafından geliştirilmiş patentli basamak frekans sürekli dalga teknolojisini ve uygun hedef tespit algoritmaları kullanmaktadır.

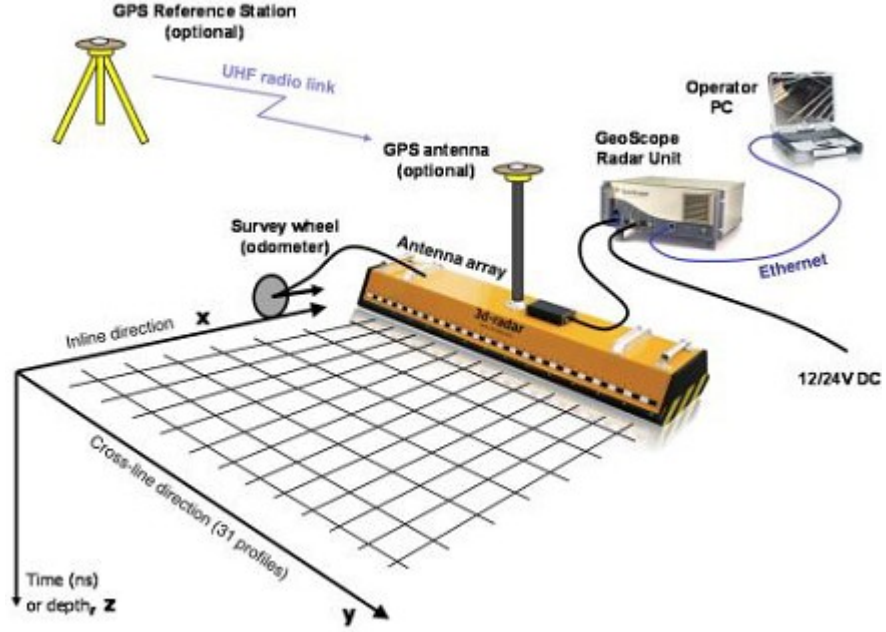
3D Radar

Basamak frekans sürekli dalga tabanlı yere işleyen radar geliştiren 3D Radar firması teknik özellikleri Çizelge 2.3 de özetlenen Şekil 2.11'da kullanımı verilen GeoScope Mk IV ürünü ile yüksek hız ve çözünürlüğe sahip 3 boyutta görüntü sunabilmektedir[33].

Çizelge 2.3: 3D Radar firmasının GeoScope Mk IV ürününün teknik özellikleri [33]

Anten Türü	Bow-tie
Başlangıç Frekansı	200 MHz
Bitiş Frekansı	3000 MHz
Toplam Bant Genişliği	2800 MHz
Frekans Basamağı	2 MHz
Verici gücü	1mW

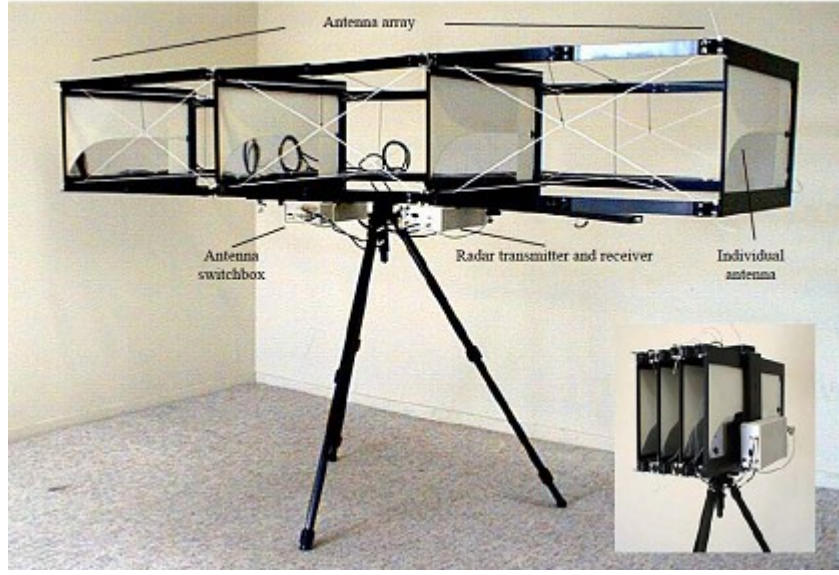
Sistem araçlara takılan anten sistemleriyle de kullanabilmektedir. Anten diziliminin kontrol edilerek kullanılmasına bağlı olarak sistem değişik veri toplama modlarında çalışmaktadır. Sistem yüksek çözünürlük için 3km/h gibi bir hız gerektirirken orta detaylar için 25km/h hızla ilerleyerek tarama yapabilmektedir.



Şekil 2.11: 3D radar firmasının GeoScope Mk IV ürünün çalışma şekli [33]

AKELA Inc

AKELA Inc. Tarafından geliştirilen(Şekil 2.12) basamak frekans sürekli dalga duvar arkası görüntüleme radarı üç iç duvar içerisinde 12m uzaklıktaki bir insanın veya 40m uzaklıkta yoğun çalılıklar içerisinde bulunan kişileri deneysel çalışmalar sonucunda algılayabilmektedir[34].



Şekil 2.12: Akela Inc. firmasının geliştirdiği duvar arkası görüntüleme radarı [35]

500MHz ile 2GHz arasında toplam 1500MHz bant genişliğine sahip olan bu radar 250m açık alan menziline sahip ve saniyede 10 kare görüntü alabilmektedir. 8 ve 12inç kalınlıklarında demirle güçlendirilmiş beton duvarlar ile yapılan deneylerde başarılı sonuçlar alınan bu sistem basamak frekans sürekli dalga üretici, sistem kontrol, sinyal işleme ve görüntüleme bilgisayarı ve anten dizisi olmak üzere 3 ana bölümden oluşmaktadır.

BÖLÜM 3

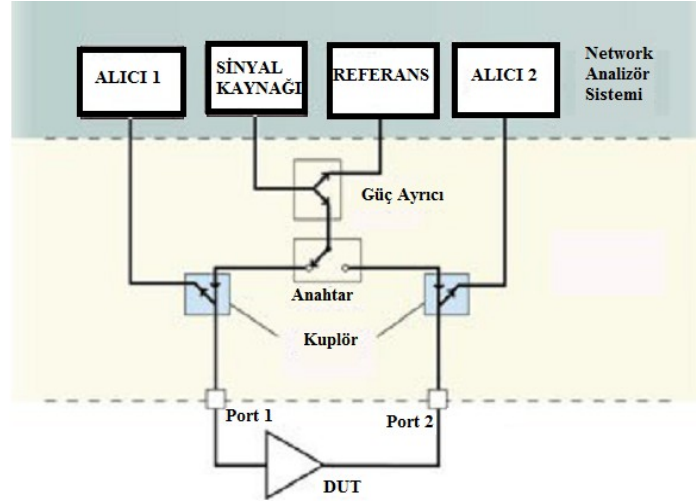
3. EAGR SİSTEM TASARIMI

EAGR sistemler temelde sinyal üretici ve alıcısı, alıcı-verici antenler ve sinyal işleme ünitesi olmak üzere üç ana bileşenlerden oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı engel arkası görüntüleme radarının prototipi yapılarak sinyal işleme algoritmalarının gerçek verilerle test edilmesine imkân tanıyan bir sistemin altyapısını hazırlamaktır. Bu nedenle yapılan sistem sinyal üretici olarak bir tane vektör network analizör (VNA), sinyal işleme birimi için dizüstü bilgisayar, alıcı-verici antenler olarak iki eş horn anten ve hareketli mekanik sistem olmak üzere dört ana donanımdan oluşmaktadır.

3.1. Vektör Network Analizör

EAGR sistemlerin çalışma prensiplerinin en temelinde elektromanyetik dalga üretilip ortamda yayılmasından sonra geri yansıyan sinyallerin toplanarak işlenmesi yer aldığından sinyal üreteçleri EAGR sistemlerinin temel bileşeni olmaktadır. Sinyal üretici olarak değişik birçok cihaz veya farklı çeşit sinyal üretici kullanılabilirken en yaygın olarak network analizörler kullanılmaktadır.

Network analizörler radyo frekans ve mikrodalga uygulamalarında kullanılan hem kaynak hem de alıcısını üzerinde barındırarak elektromanyetik sinyal ölçümü yapabilen cihazlardır. Temelde Skaler Network Analizör(SNA) ve Vektör Network Analizör(VNA) olmak üzere ikiye ayrılırlar. SNA cihazlar sadece sinyalin genliğini ölçebilen VNA'ya göre daha basit bir cihazdır. VNA ise daha karmaşık elektroniğe sahip ve kullanışlı bir cihaz olup saçılma parametrelerini(S parametreleri) sadece genlik olarak değil aynı zamanda faz olarak da ölçebilmektedirler. Özetle VNA S parametrelerini faz ve genlik olarak ölçebilen üzerinde hem sinyal üretici hem de alıcısı bulunan gelişmiş ve pahalı cihazdır. Sistemin blok diyagramı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Basit VNA blok diyagramı

Yapılan EAGR da Agilent marka N9923A model VNA kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu cihaz 2MHz ile 6GHz arasında sürekli veya tek dalga üretebilmektedir. Aynı zamanda 3-10001 arasında tarama noktası girilerek istenilen frekans adım genişliği ayarlanabilmektedir. Frekans çözünürlüğü 3.2GHz den küçük frekans için 1Hz'e, büyük frekanslar için 1.2Hz'e kadar sağlanabilmektedir. 2 portu olup portlarından +5dBm ile -40dBm güçte sinyal üretebilen VNA, 100dB sistem dinamik aralığa ve 104dB alıcı dinamik aralığına sahiptir. S11, S21, S22 ve S12 parametrelerini genlik ve fazlarını ölçüp ölçümü logaritmik ve doğrusal genlik, durağan dalga oranı (VSWR)¹⁹, faz, Smith chart, kutupsal ve çözülmüş faz²⁰ formatlarında kayıt edip gösterebilmektedir. 10.8V, 4.8Ah lityum-ion bataryaya sahip cihaz ortalama 3,5 saat çalışabilmektedir.

¹⁹ İng: Voltage Standing Wave Ratio

²⁰ İng: Unwrapped phase



Şekil 3.2: Agilent N9923A vektör network analizör

Cihazın N9910X-800 Type-N model kalibrasyon kiti ile IF bant genişliği 300Hz ve çıkış gücü 0dBm olarak ayarlanmış şekliyle yapılmış olan 2-port düzeltilmiş ölçüm belirsizlikleri olarak; iletim belirsizlikleri Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de, yansıma belirsizlikleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmiştir. Ayrıca network analizörün düzeltilmiş performansları da Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1: Network analizör düzeltilmiş performansları

	Düzeltilmiş Performans 2MHz – 4GHz arası	Düzeltilmiş Performans >4GHz – 6GHz arası
Yönlülük ²¹	42dB	42 dB
Kaynak uyumu ²²	36 dB	36 dB
Yük uyumu	40 dB	38 dB
İletim izleme ²³	±0.02 dB	±0.06 dB
Yansıma izleme	±0.06 dB	±0.06 dB

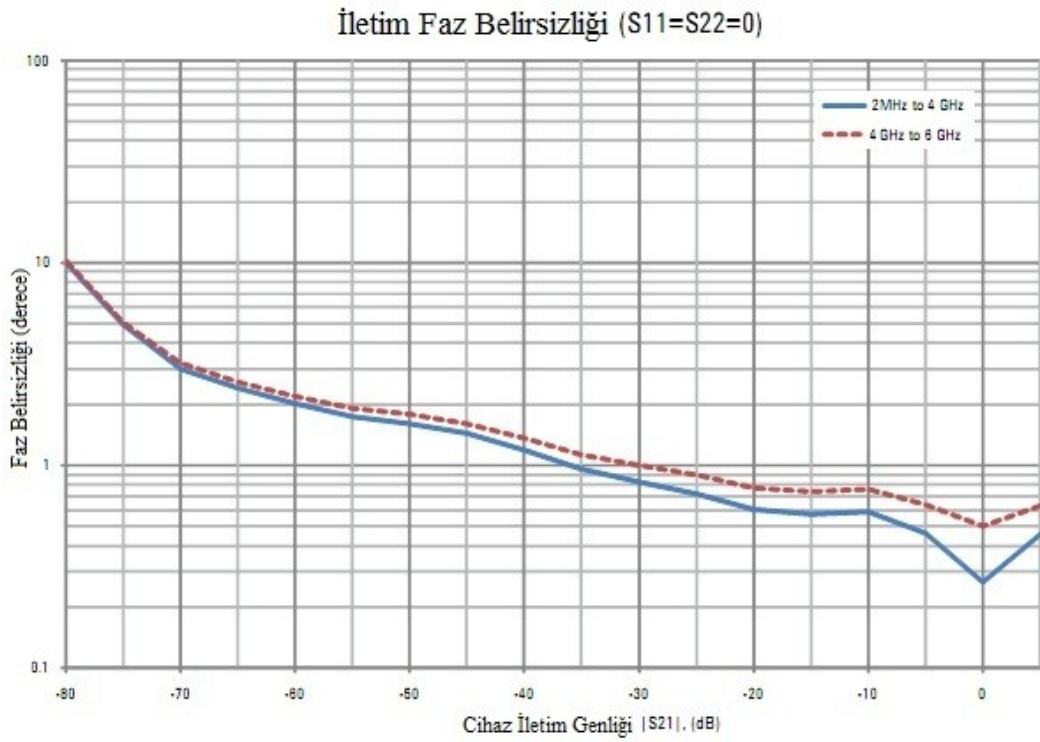
²¹ İng: Directivity

²² İng: Match

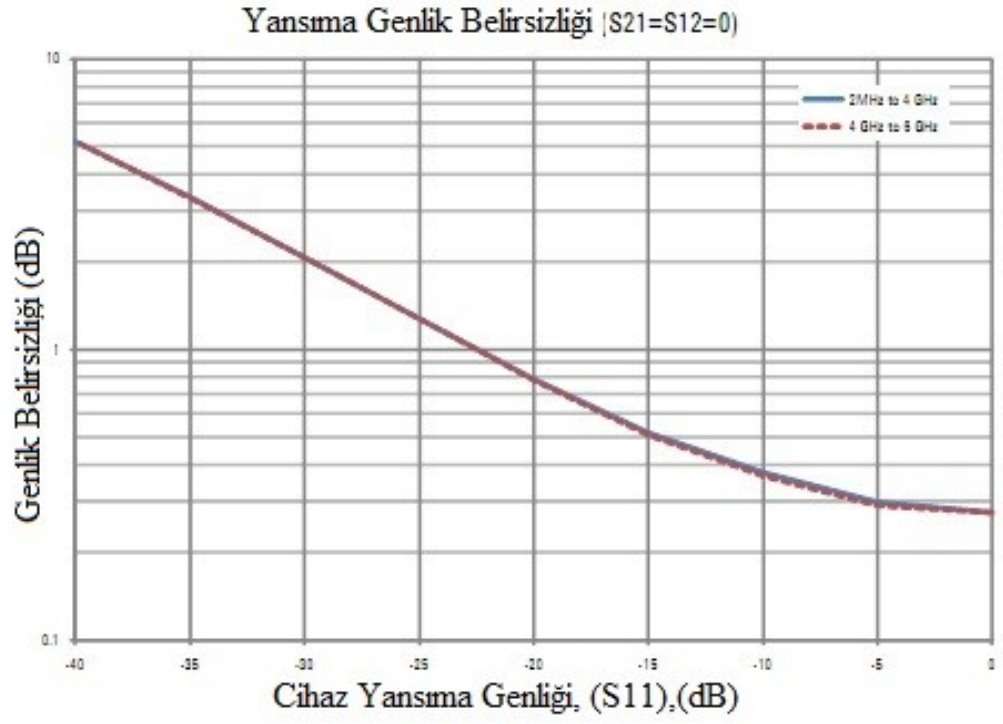
²³ İng: Tracking



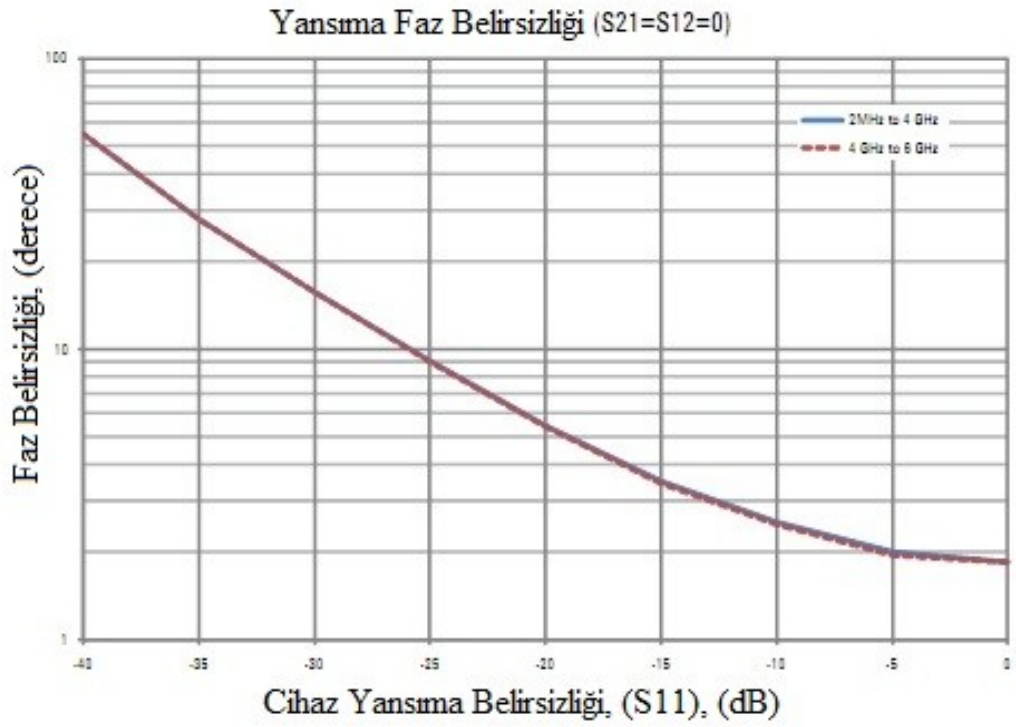
Şekil 3.3: Vektör Network Analizör iletim genlik belirsizliği grafiği



Şekil 3.4: Vektör Network Analizör iletim faz belirsizliği grafiği



Şekil 3.5: Vektör Network Analizör yansma genlik belirsizliği grafiği



Şekil 3.6: Vektör Network Analizör yansma faz belirsizliği grafiği

Bu özelliklerde bir cihazın seçilmesinde ki temel amaç EAGR radarın görüntüleme yapabilme derinliği (erişim menzili), menzil çözünürlüğü ve enine menzil çözünürlüğü istenilen seviyede olabilmesidir. Sistemimizin sahip olduğu kısıtları şunlardır;

-Menzil Çözünürlüğü (ΔR): Deneysel olarak kullandığımız sistemin azami bant genişliği 5.998GHz olabilirken, asgari bant genişliği 1Hz olabilmektedir. Dolayısıyla sistemimiz hava ortamında (duvar arkası görüntüleme) yaklaşık 2,5cm, kuru kum ortamında(dielektrik sabiti değiştiğinden), 1.02cm ile 1,76cm arasında olabilmektedir..

-Kesin(unambiguous) Menzil (R_u): Sistemimizin kesin menzili hava ortamı için frekans çözünürlüğü 1Hz olarak düşünüldüğünde teorik olarak 15×10^5 km olabilir. Ancak, uygulamada erişim menzili ve basamak adım süresi²⁴ kısıtları nedeniyle kesin menzil daha düşük mesafe olmaktadır. Kesin menzilin erişim menziline daha büyük olması gerektiği göz önünde bulundurulduğunda sistemimiz oldukça geniş bir erişim menziline ulaşma imkânı tanımaktadır. Kullanılan NA için tarama frekansı 2MHz-6GHz arası, IF bant genişliği 30KHz ve 1001 tarama noktası olarak ayarlandığı durumda basamak adım süresi 0.695ms/nokta olarak ifade edilmektedir. . EAGR sistemin erişim menziline kesin menzil olarak alınabilmesi için gerekli koşulun denklem (2.12) deki koşulun olduğu göz önünde bulundurulduğunda sistemimizin parametrelerinin seçiminde $B_{IF} < \Delta f$ koşulunun sağlandığına emin olunmalıdır

3.2. Yapılandırma

EAGR sistemlerde sistem parametreleri radarın yukarıda bahsedilen özelliklerinin nasıl olması gerektiğine göre ayarlanırlar. Kurduğumuz EAGR radar sisteminin ayarları aşağıdaki şekilde yapılmıştır(Çizelge 3.2).

Sinyal Çıkış Gücü: Kullanılan network analizörün kaynak çıkış gücü kullanıcı tarafından -47dBm ile 0dBm arasında 0.5dBm aralıklarla ayarlanabilmektedir.

²⁴ İng: Pulse Repetition Interval(PRI)

Tasarladığımız sistemin erişim menzilinın azami olabilmesi için sinyal kaynağının üretebildiği azami güçte sinyal üretebileceği şekilde çıkış gücü 0dB olarak ayarlanmıştır.

Başlangıç ve Bitiş Frekansı: VNA 2MHz ile 6GHz arasında sinyal üretebilmektedir. Menzil çözünürlüğünün artırılabilmesi için üretilen sinyalin frekans bandının yüksek olması gerekmektedir. EAGR radarının daha yüksek menzil çözünürlüğünün olabilmesi için normal olarak 2MHz başlangıç frekansına, 6GHz bitiş frekansına sahip olmalıdır. Ancak kullanılan antenlerin çalışma frekansı 700MHz-18GHz olduğundan üretilen sinyalin başlangıç frekansı 750MHz ve bitiş frekansı 6GHz olarak ayarlanıp sistemin 5.25GHz bant genişliğine sahip olması sağlanmıştır.

Dolayısıyla, denklem (2.7)'ye göre kurulan sistemin menzil çözünürlüğü hava ortamı için

$$\Delta R = \frac{3e10}{2 \times 5.25e9 \times \sqrt{1}} = 2.85cm \quad (3.1)$$

olmaktadır.

Basamak Frekansı: Basamak frekansı radarın kesin menzilinini belirleyen ana parametredir. NA tarama noktası sayısının 201 olarak ayarlanıp 5.25GHz bant genişliğine sahip bir sistemin basamak frekansı (Δf) 26.25MHz olması sağlanmıştır. Bu basamak frekansı ile EAGR radarın denklem (2.11)'de örtüşme olmadan hedef tespiti yapabileceği kesin menzilinın 2.85m(hava ortamında) olmaktadır. Bu menzil yeraltında daha düşük olacaktır.

IF Bant Genişliği: B_{IF} parametresi seçilirken denklem (2.12)'ye göre $B_{IF} < \Delta f$ koşulunun sağlanmasına özen gösterilmesi gerektiğinden 10KHz IF bant genişliği olarak seçilmiştir. Seçilen bu parametrelere göre PRI süresi 265ms olmaktadır.

Çizelge 3.2: Yapılandırılmış sistem bilgileri

Azami Verici Gücü	0dBm (1mW)
Anten Kazançları (Alıcı ve Verici)	1.4-12dBi
Başlangıç Frekansı	750 MHz
Bitiş Frekansı	6 GHz
Toplam Bant Genişliği	5250 MHz
Frekans Basamağı	26.25 MHz
Frekans Basamak Sayısı	200
IF Bant Genişliği	10 KHz
Erişim Menzili	2.85 m(hava ortamında)
Menzil Çözünürlüğü	2.85 cm(hava ortamında)
Dinamik Menzil	100 dB

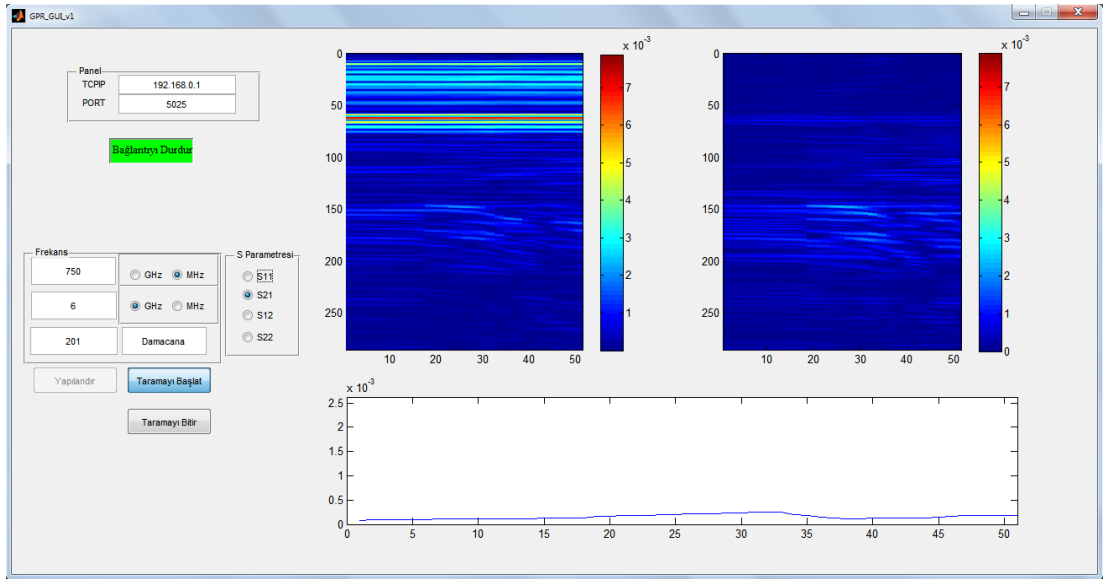
3.3. Bilgisayar Kontrolü

Sistemimizde kullanılan Agilent N9923A network analizörün tüm ayarları bilgisayar üzerinden kullanıcı tarafından kontrol edilebilmektedir. Bilgisayar tarafından hem yapılandırma yapılabilmesi hem de network analizörün topladığı verinin bilgisayara aktarılarak işlenmesi radarımızın görüntü oluşturabilmesi için sistemimizin önemli bir basamağıdır. Bilgisayara aktarılan bu veriler bazı algoritmalar uygulanarak anlamlı hale getirilip tespit edilen hedefler kullanıcıya bilgisayar ekranında grafiksel ara yüz ile gösterilmektedir. Sistemimizin önemli bir bileşeni olan dizüstü bilgisayarın teknik özellikleri Çizelge 3.3’de yer almaktadır.

Çizelge 3.3: Bilgisayar teknik özellikleri

İşlemci	İntel® Core™ i/ CPU Q720 @1.60 GHz
Fiziksel Bellek	4.00 GB
Ekran Kartı	1GB NVIDIA GeForce GT 240M
Depolama Alanı	500 GB
İletişim Ara yüzleri	1000Mbps Ethernet, 802.11a/b/g, Bluetooth
İşletim Sistemi	64-bit Windows7

Network analizör TCP/IP protokolü ile LAN üzerinden bilgisayar ile bağlantı kurabilmektedir. Ayrıca network analizör SCPI komutlarıyla kontrol edilip yapılandırılabilirken SCPI komutlarına her zaman ASCII formatında yanıt vermektedir ve verilen tüm yanıtlar LF karakteri ile sonlandırılmaktadır. Bu nedenle bilgisayar ile NA arasında bir yerel ağ kurularak bilgisayardan telnet ile ilk iletişim kurulmuştur. Ancak, sistemin yapılandırılması, toplanan verilerin bilgisayara aktarılması, aktarılan verilerin işlenmesi ve kullanıcıya anlamlı görüntü olarak sunulması işlemlerinin tamamı MATLAB yazılımı ile yapılacağından VNA MATLAB ile iletişim kurup, MATLAB'dan komut alıp gönderebilir hale getirilmelidir. Tüm bu işlemlerin tek bir ara yüz ile yapılması amacıyla MATLAB GUI (Grafiksel Kullanıcı Ara yüzü) ile bir grafiksel ara yüz hazırlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Grafiksel kullanıcı ara yüzü

Şekil 3.7'da görüldüğü üzere sistemin parametreleri sabit olmayıp kullanıcı tarafından değiştirilip istenildiği gibi yapılandırma yapılabilmektedir. Böylece, sistem parametrelerini değiştirmenin sistem performansı üzerine etkileri gözlenebilmektedir. Grafiksel ara yüz kodları ek-1'de yer almaktadır. Grafiksel ara yüzde bulunan sekmelerin fonksiyonları aşağıda tanımlanmaktadır.

- Tcpip: Bağlantı yapılacak olan network analizörün IPv4 adresi girilmektedir. Varsayılan olarak 192.168.0.1 olarak ayarlanmıştır.
- Port: Bilgisayarın hangi tcp-ip portu üzerinden bağlanacağı girilmelidir. Bu port numarası MATLAB ile bağlanırken 5025 olup Telnet ile bağlanırken 5024 olmalıdır. Varsayılan olarak 5025 olarak ayarlanmıştır.
- Bağlantı Kur: Bağlantı yapılacak ip adresi ve port bilgileri girildikten sonra bağlantını kurulmasını sağlar. Bağlantı başarılı olarak kurulur ise yeşil renk olup bağlantıyı durdurma tuşuna(Bağlantıyı Durdur) dönüşür.
- Başlangıç ve Bitiş Frekansı: Bu blok radarın tarama yapacağı başlangıç frekansını ve bitiş frekansını MHZ veya GHZ olarak girmeye imkan tanımaktadır.
- Frekans Basamağı: Buraya basamak frekanslı sürekli dalga radarın başlangıç ve bitiş frekansları da dâhil olmak üzere kaç farklı frekans adımı olacağı yazılmaktadır.
- Yapılandır: Girilen değerlere göre network analizörü yapılandırmaktadır. Eğer hiçbir veri girilmez ise taramaya başla tuşuna basılmasıyla birlikte network analizöre yapılandırma ayarları sorulup mevcut ayarlar ara yüzde gösterilmektedir. Tarama yapılırken yapılandırma yapılamaz.
- Taramaya Başla ve Bitir: Yapılandırma yapıldıktan sonra veya mevcut ayarlar ile tarama yapılmak istendiğinde taramaya başla tuşuna basılmalıdır. Taramayı sonlandırmak ve verileri adı girilen dosya olarak kaydetmek için taramayı bitir tuşuna basılmalıdır.
- Veri Adı: Bu kısım tarama bittiğinde sistemin almış olduğu verileri bir matris olarak kayıt edeceği “.mat” uzantılı dosyanın adının kullanıcı tarafından belirlenmesine imkân tanımaktadır.
- S Parametresi: Bu kısımdan network analizörün hangi parametreyi ölçeceği seçilmektedir.

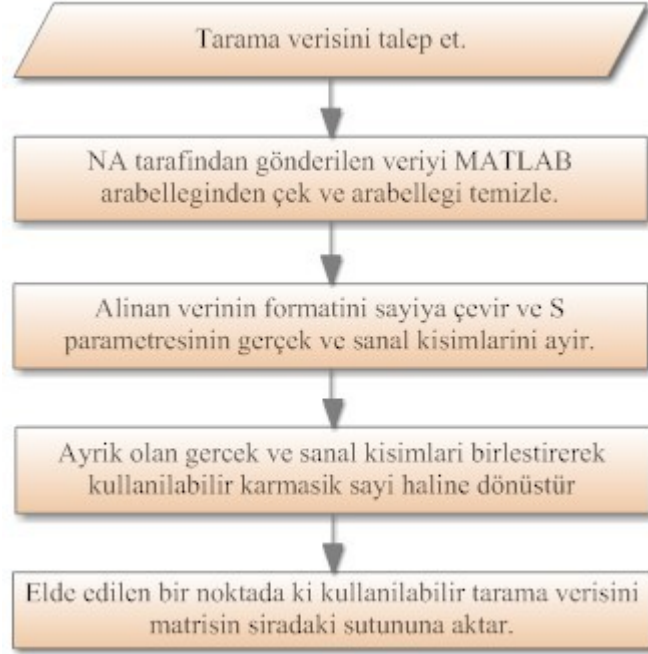
- Sol Üst Grafik: Tarama sırasında alınan her SAR ölçüm noktasındaki ölçümü dikey eksende hedefin uzaklığı, yatay eksende ölçüm noktası sayısı olmak üzere her yeni ölçümü arka arkaya ekleyerek ölçümün zaman uzayındaki gösterimidir.
- Sağ Üst Grafik: Soldaki grafikte gösterilen görüntünün engel kaldırma işleminden geçirildikten sonra ki görüntüsüdür.
- Alt Grafik: Alınan verinin azami genliğinin normalize edilerek tek boyutta çizdirilmiş görüntüsüdür.

Bilgisayar NA ile statik IP ile TCP/IP protokolü ile 5025 portundan haberleşebilmektedir. Normalde telnet ile 5024 portundan iletişim kuran cihaz MATLAB üzerinden 5025 portuna destek vermektedir. Bilgisayarın NA yapılandırması için MATLAB da yazılan programın akış diyagramı Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8: Bilgisayar ile NA yapılandırma programı akış diyagramı.

Bu yapılandırma işlemi tamamlandıktan sonra sistem tarama yapmaya hazır hale gelmektedir. Sistem tarama yaparken tarama yaptığı alandaki hedef bilgisinin gerçek zamanlı olarak kullanıcıya gösterilebilmesi amacıyla NA tarafında toplanan veriler frekans ve ölçülen S parametresi karmaşık sayı olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Bu işlem için yazılan kod ek-3'de olmakla beraber program akış diyagramı Şekil 3.9'deki gibidir.



Şekil 3.9: Bilgisayar ile NA'dan veri okuma akış diyagramı

3.4. Antenler

Antenler radarların en önemli bileşenlerinden olup sistemde ne tür bir antenin kullanılacağı radara ve tespit edilecek hedeflerin karakteristiğine göre değişiklik göstermektedir. Örneğin düzlemsel yüzeyli hedefler doğrusal kutuplanma göstereceğinden dik açılı yerleştirilmiş alıcı ve verici antenler doğru bir seçimken, boru, kablo gibi hedeflerde yansıyan sinyal gönderilen sinyalden bağımsız şekilde kutuplanma karakteristiği gösterdiğinden farklı türde antenler kullanılmalıdır [36].

Antene dürtü gönderen zaman tabanlı radarlar doğrusal frekans cevaplı antenlere gereksinim duymaktadırlar. Ancak antenin frekansa bağlı yayılım etkilerini bertaraf etmek için alıcı tarafında uyumlu²⁵ filtre kullanılmaz ise kullanılacak anten sayısı çok sınırlı olmaktadır. Oysa frekans ile kiplenmiş veya sentezlenmiş radarlarda doğrusal faz cevaplı antenler yerine horn veya spiral antenler kullanılabilir. Bu tür antenlerin karmaşık frekans cevapları ihtiyaç durumunda sistem kalibrasyonu ile düzeltilebilir [36].

²⁵ İng: Matched

Horn antenler frekans kiplmeli sürekli dalga, yüksek frekansta ve çok geniş bant aralığında çalışan engel arkası görüntüleme radarlarında sıklıkla kullanılmaktadır[36, 37]. Horn antenler yüksek frekanslarda yüksek kazanç ve düşük VSWR değeri sağlayabilmektedir. Horn anten çeşitlerinden olan mahyalı²⁶ horn antenlerin yüksek açıklık verimine sahip olmaları en önemli avantajlarıdır. Buna rağmen horn yeterince uzun olmaz ise yüksek frekanslarda açıklık boyunca büyük faz hataları oluşmaktadır [21, 36].

Kurulan sistemde yüksek frekans ve ultra geniş bant aralığı kullanılacağı göz önünde bulundurulduğunda mahyalı horn antenler prototip için uygun olmaktadır. Sistemde SAS-571 iki mahya kılavuzlu horn anten kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: SAS-571 model iki mahya kılavuzlu horn anten

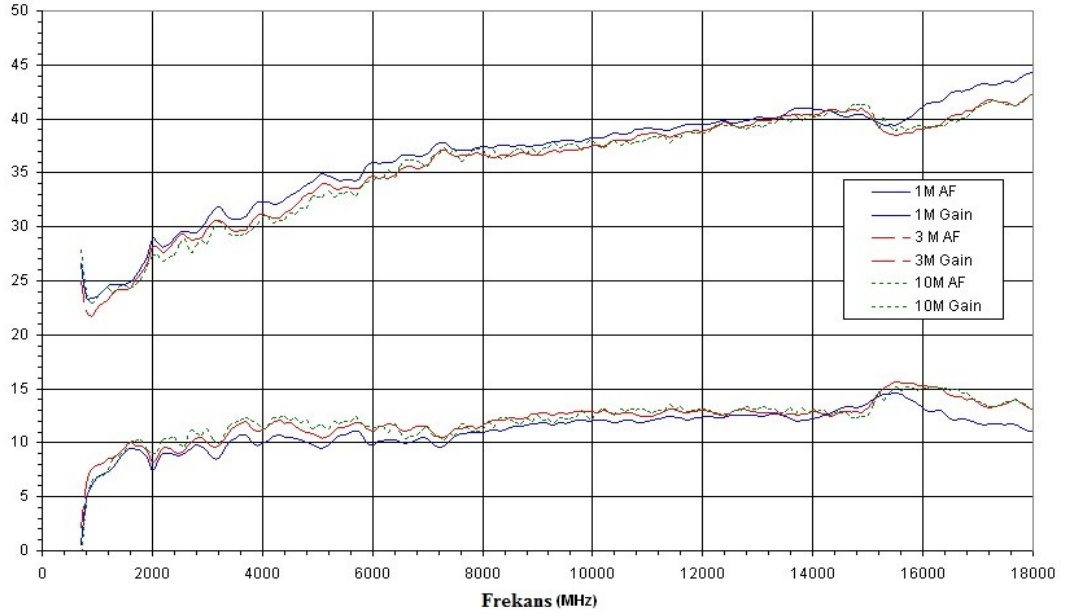
Alıcı ve verici olarak Çizelge 3.4’de gösterilen özelliklere sahip iki eş horn anten kullanılmıştır.

Çizelge 3.4: İki mahya kılavuzlu horn anten elektriksel özellikleri

Çalışma Frekans Aralığı	700MHz – 18GHz
Anten Faktörü	22 – 44 dB/m
Anten Kazancı	12dBi
3dB Bant Genişliği (E-Alanı)	48°
3dB Bant Genişliği (H-Alanı)	30°
Nominal Empedans	50 Ohm
Ortalama VSWR	1,5:1
Örüntü Tipi	Yönlü

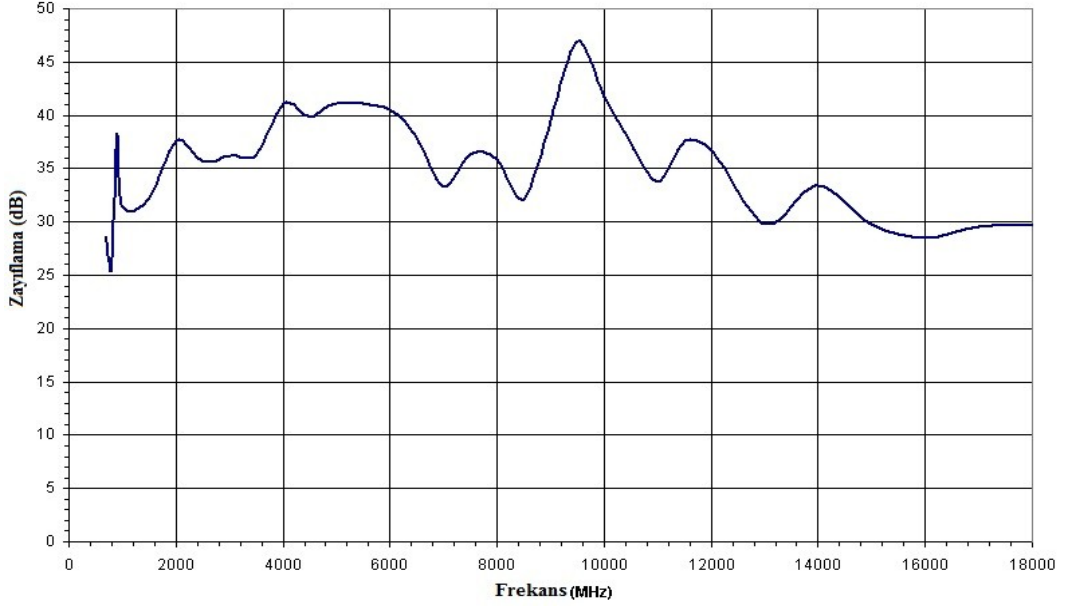
²⁶ İng: Ridged

Kullanılan antenlerin 1m, 2m ve 10m uzaklıklarda ölçülen anten faktörü ve kazanç grafiği Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



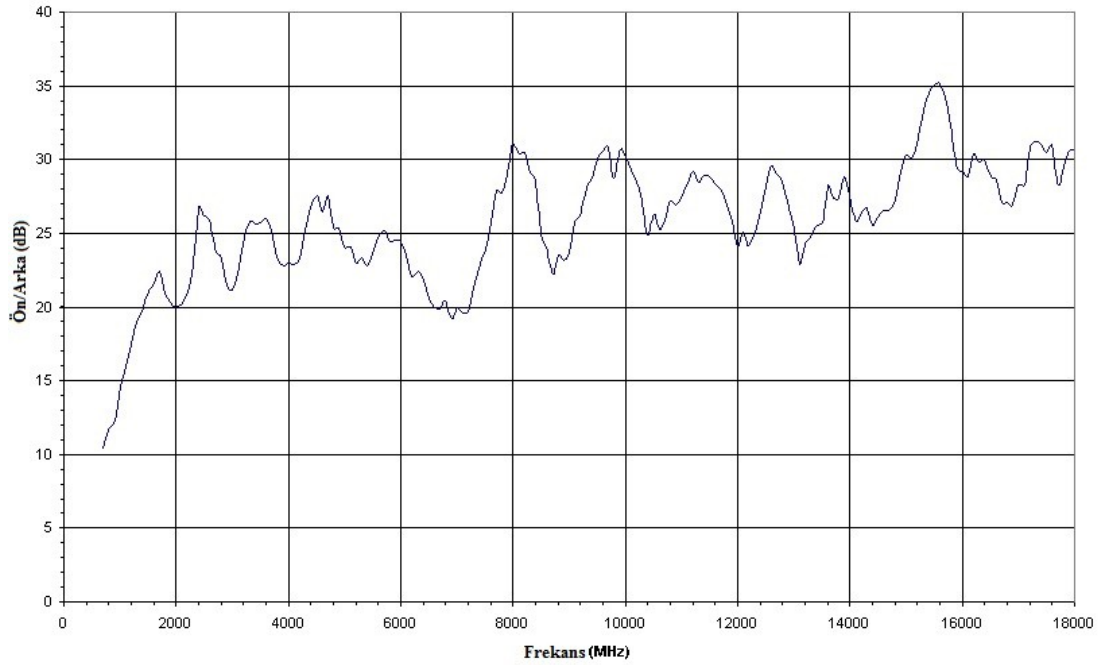
Şekil 3.11: Horn anten anten faktörü ve kazanç grafiği

SAS-571 model mahyalı horn antenin çapraz kutuplanma durumunda gösterdiği zayıflama Şekil 3.12’de yer almaktadır.

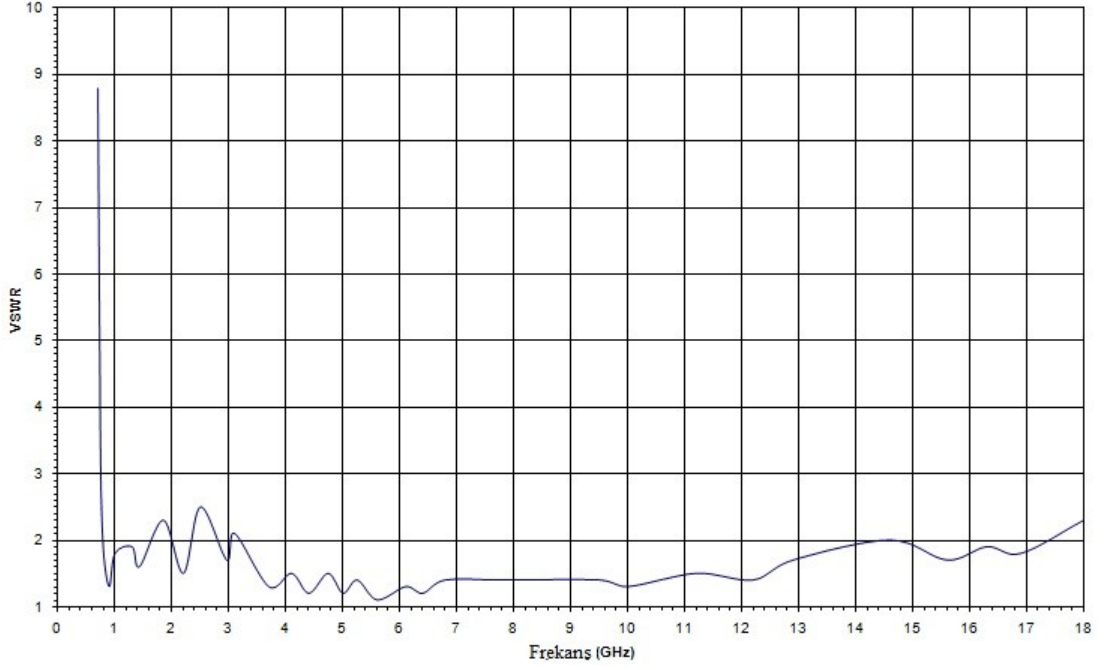


Şekil 3.12: Horn anten çapraz kutuplanma zayıflaması

Prototipte kullanılan horn antenlerin ön/arka sinyal oranı ve duran dalga gerilim oranı sırasıyla Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’de yer almaktadır.



Şekil 3.13: Horn anten ön ve arka sinyal oranı



Şekil 3.14: Horn anten duran dalga gerilim oranı (VSWR)

3.5. Mekanik sistem

Sistemimizin diğerk önemli bir bileşeni radarı mobil ve tarama yapabilir hale getiren mekanik sistemdir. Bu mekanik sistem Şekil 3.15’de görüldüğü alıcı-verici antenleri, network analizörü ve bilgisayarı üzerinde bulunduran kullanıcı tarafından hareket ettirilebilen tekerlekli bir arabadır.



Şekil 3.15: EAGR görüntüsü

Bu araba farklı yapılandırılarak birden çok şekilde deney yapma imkânı tanımaktadır. Bu imkânı tanıyan mekanizma ise antenlerin üzerine monte edildiği paneldir. Bu panel antenlerin polarizasyonunu arabanın hareket yönüne ve yere dik veya paralel olarak ayarlamamıza izin vermektedir. Ayarlanabilir kızıklar sayesinde hem antenlerin merkezleri arasındaki uzaklığı hem de antenlerin yere olan uzaklığı değiştirilebilmektedir. Alıcı-verici antenlerin merkezleri arası uzaklık 8 cm ile 51 cm arasında, aynı zamanda antenlerin uç noktalarının yere olan uzaklığı da 5 cm ile 65 cm arasında istenilen mesafede ayarlanabilir. Bununla beraber her iki antende birbirinden bağımsız şekilde değişik kutuplanma ve açılarda yerleştirilebilir. Ayrıca kendi merkezinde 360° dönebilen panel sayesinde antenler duvara veya bir engele bakacak şekilde yönlenebilmekte ve engel arkası görüntüleme deneylerinin yapılmasını da mümkün kılmaktadır.

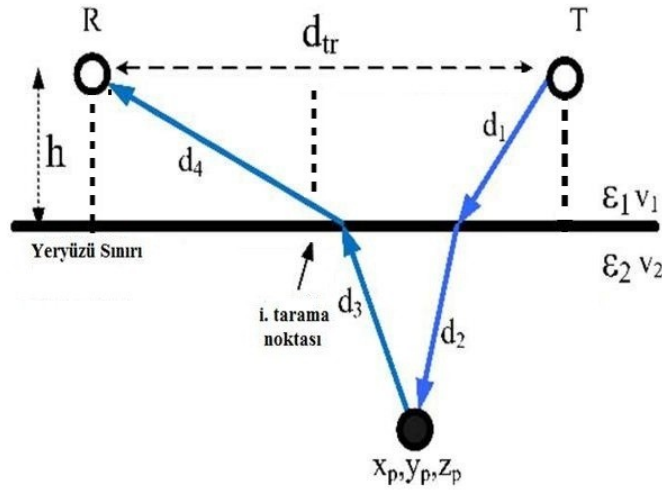
BÖLÜM 4

4. EAGR İÇİN SİNYAL İŞLEME

Bu bölümde hedefin hangi noktada olduğunun nasıl tespit edildiği, yer altı görüntüleme ve duvar arkası görüntüleme radarlarında iki yönlü seyahat süresinin kestiriminin yapılması, yapılan ön işleme ve kalibrasyon işlemleri ve deney sonuçları sunulmaktadır.

4.1. İki Yönlü Seyahat Süresi Kestirimi

EAGR radarlar temelde gönderilen sinyalin hedeften yansıdıktan sonra alıcaya kadar ki geçen süre üzerinden hesaplama yaparak hedefin nerde olduğunu tespit etmektedirler. Bu nedenle, gönderilen sinyalin dolaştığı süre bilgisi ile yapılan hesaplama için sinyalin güzergâhının modellenmesi gerekmektedir. Yer altı görüntüleme için çok karmaşık modellemeler yapılabilirken en temel olarak Şekil 4.1'deki gibi modellenebilir.



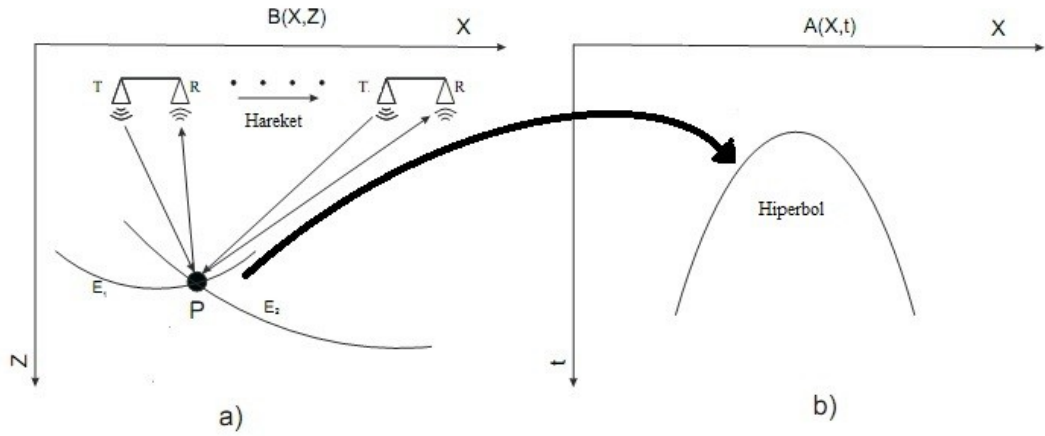
Şekil 4.1: Yer altı görüntüleme modeli.

Modelde d_{tr} alıcı-verici arasındaki mesafeyi, d_1 ve d_4 sinyalin havada aldığı yolu, d_2 ve d_3 de yeraltında alından alınan yolu, h antenlerin yer yüzeyine olan uzaklığını, ortamların dielektrik sabitini ϵ_1 ve ϵ_2 , ortamlarda ki sinyalin ilerleme hızını v_1 ve v_2 göstermektedir. Elektromanyetik dalgalar ortam değiştirdiklerinde Snell yasasına göre ortamların sınır yüzeylerinde kırılarak doğrultularını değiştirirler.

Mayın, boru v.b gibi yüzeye yakın hedeflerin tespitlerinde anten ile hedef arasındaki mesafe az olduğundan ortam değiştirirken ki dalganın kırılması dikkate alınmalıdır. Kırılma noktasının tam bulunabilmesi için 4. dereceden bir polinom çözümlenmelidir ve bu kırılma noktasını hesaplayabilmek için bazı yöntemler kullanılmaktadır[38, 39]. Kırılma noktası bulunduktan sonra Şekil 4.1deki modele göre sinyalin seyahat süresi

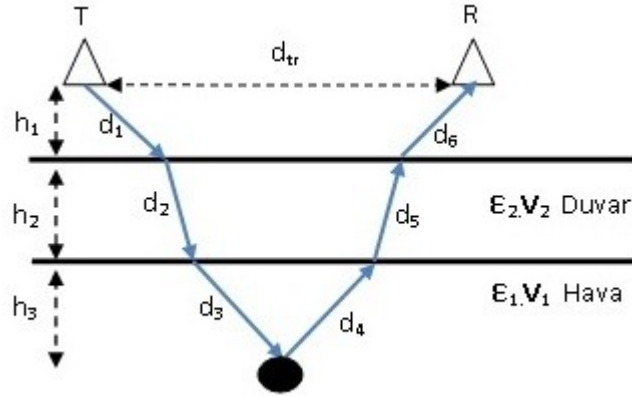
$$t_i = \frac{d_1 + d_4}{v_1} + \frac{d_2 + d_3}{v_2} \quad (4.1)$$

olarak hesaplanabilir. Denklem (2.14)'de belirtildiği gibi sinyalin ortamlardaki hızı ortamın bağıl geçirgenliğine (ε) bağlıdır. EAGR radar tarama yaparken N noktadan ölçüm alacağından hedef öncesinden ve hedefin arkasından alınan ölçümlerde hedefin faz merkezine olan uzaklığı zaman uzayında parabolik olarak değişecektir(Şekil 4.2).



Şekil 4.2: a) 2D SAR tarama modeli, b) noktasal hedefin SAR tarama sonucu zaman uzayındaki cevabı[40].

Duvar arkası görüntüleme radarları da aynı algılama prensibine dayanmaktadır. GPR radarlardan tek farkı algılama yaptıkları ortam farklı olduğundan elektromanyetik sinyalin gidiş-dönüş süresinin hesaplanma modeli farklılık göstermektedir. Duvar arkası görüntülemeye Şekil 4.3'de gösterildiği üzere yer altı görüntülemenin aksine en az üç ortam olduğundan ortam değişimlerindeki kırılmalar farklılık göstermektedir.



Şekil 4.3: Duvar arkası görüntüleme modeli

Üç ortamlı engel arkası görüntüleme modeli için sinyalin seyahat süresi

$$t_i = \frac{d_1 + d_3 + d_4 + d_6}{v_1} + \frac{d_2 + d_5}{v_2} \quad (4.2)$$

olmaktadır.

4.2. Düzensiz hareket Kompanzasyonu

Yer altı veya engel arkası görüntüleme radarlarında sadece antenler veya tüm sistem hareket ederek SAR tarama yapmaktadırlar. Özel hazırlanmış laboratuvar koşullarında bu hareketin doğrusal olması mümkün olabilirken gerçek saha uygulamalarında bu doğrusal hareketi sağlamak pek mümkün olmamaktadır.

Tarama Yönünde: Hareketli sistem veya antenler tarama yönünde hareket ederken örnekleme mesafelerinin eş olmasına özen göstermelidir. Eğer bu örnekleme mesafeleri eş olmaz ise görüntüleme algoritmaları eş örnekleme mesafelerine ihtiyaç duyduğundan görüntünün bozulmasına neden olacaktır.

Anten Bakış Yönünde: Kurulan sistemin hareketli olması nedeniyle ve hareket esnasında antenler ile hedef, yer yüzeyi veya engel ile arasındaki mesafe değişmektedir. Bu durumda SAR tarama sonucu duran bir hedefin görüntüsünde ortaya çıkacak hiperbol bozulacağından görüntüleme algoritmalarının hedef odaklama performansı düşecek veya hedef yanlış noktada tespit edilecektir.

Bu nedenle EAGR sistemiyle deneysel tarama yapılırken engele paralel doğrultuda ve sabit hızla ilerleterek sabit aralıklarla örnek alınıp tarama yapmaya özen gösterilmiştir.

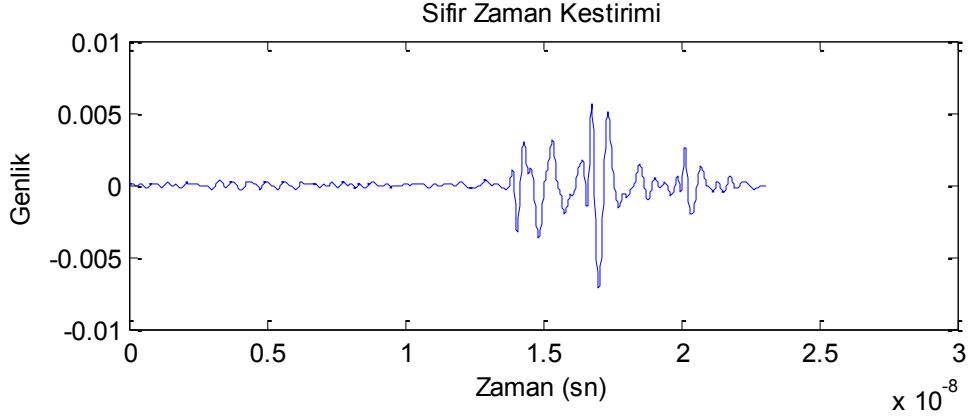
4.3. Önışleme ve Kalibrasyon

Radar sistemlerinde ölçüm sorunlarındaki istenmeyen etkileri ortadan kaldırmak için bir çok kalibrasyon ve önışleme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerden sıfır zaman kestirimi, çapraz-karışma²⁷ kaldırma kritik önem arz etmektedir. Bu tür sinyal işleme yöntemleri görüntüleme sonuçlarının kalitesine önemli katkılar sağlarlar. Örnek olarak sıfır zaman kestirimi hedefin yerini tam doğru tespit etmede ve hedefin net gösterilmesi için kritik önem taşımaktadır. Bu nedenle bu kalibrasyon yöntemleri ölçümlere ayrı ayrı uygulanmalıdır.

Sıfır Zaman Kestirimi: Sıfır zaman kestirimi gönderilen sinyalin anteni terk ettiği zamanın sifira kaydırılıp sıfır referans noktası olarak alınmasıdır. Network analizör ürettiği sinyalin terk ettiği ve aldığı noktayı kendi portlarının ucu olarak kabul etmektedir ve buna binaen sinyalin gidiş-geliş süresini(fazda kaymayı) buna göre hesaplanmaktadır. Oysaki uygulamada antenin bağlandığı bağlantı kabloları ve antenden kaynaklanan gecikmeler olmaktadır. Bu aradaki gecikmeler aslında radar görüntüleme için yararsız hatta yanıltıcı bir bilgidir. Hedefin antenin faz merkezinden ne kadar uzakta olduğunu tespit edilip ona göre görüntüleme yapıldığından sıfır referans noktası sinyalin anten faz merkezinden ayrıldığı an olmalı ve sistemin kendinden kaynaklanan gecikmeler kaydırma yapılarak kompanze edilmelidir. Bu sıfır zaman kestirimi diğer bir deyişle sistem gecikme kompanzasyonu karşılıklı antenler birbirine baktırılarak alınan ölçüm veya gerçekte antene olan uzaklığı bilinen bir hedeften yansıma ölçümü olmak üzere temelde iki şekilde yapılabilir.

Kurulan radar sisteminde sıfır zaman kestirimleri gerçekte antene olan uzaklığı bilinen bir hedeften yansıma ölçümleri alınarak tespit edilmiştir (Şekil 4.4).

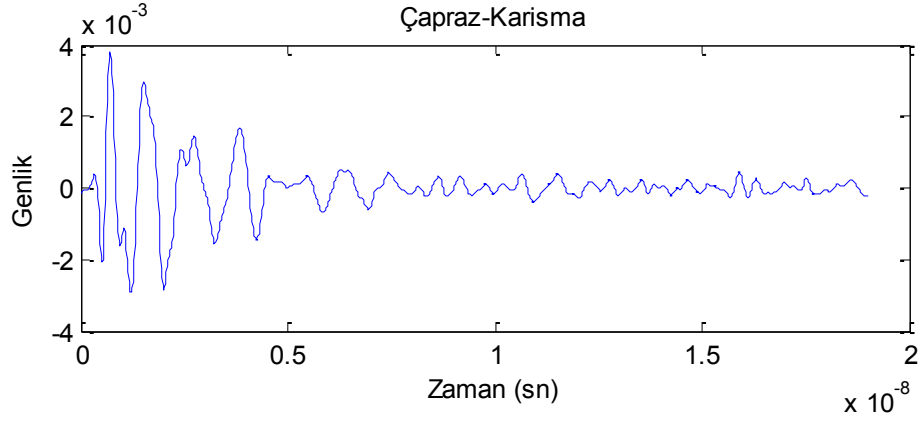
²⁷ İng: Cross-talk



Şekil 4.4: Sıfır zaman kestirimi

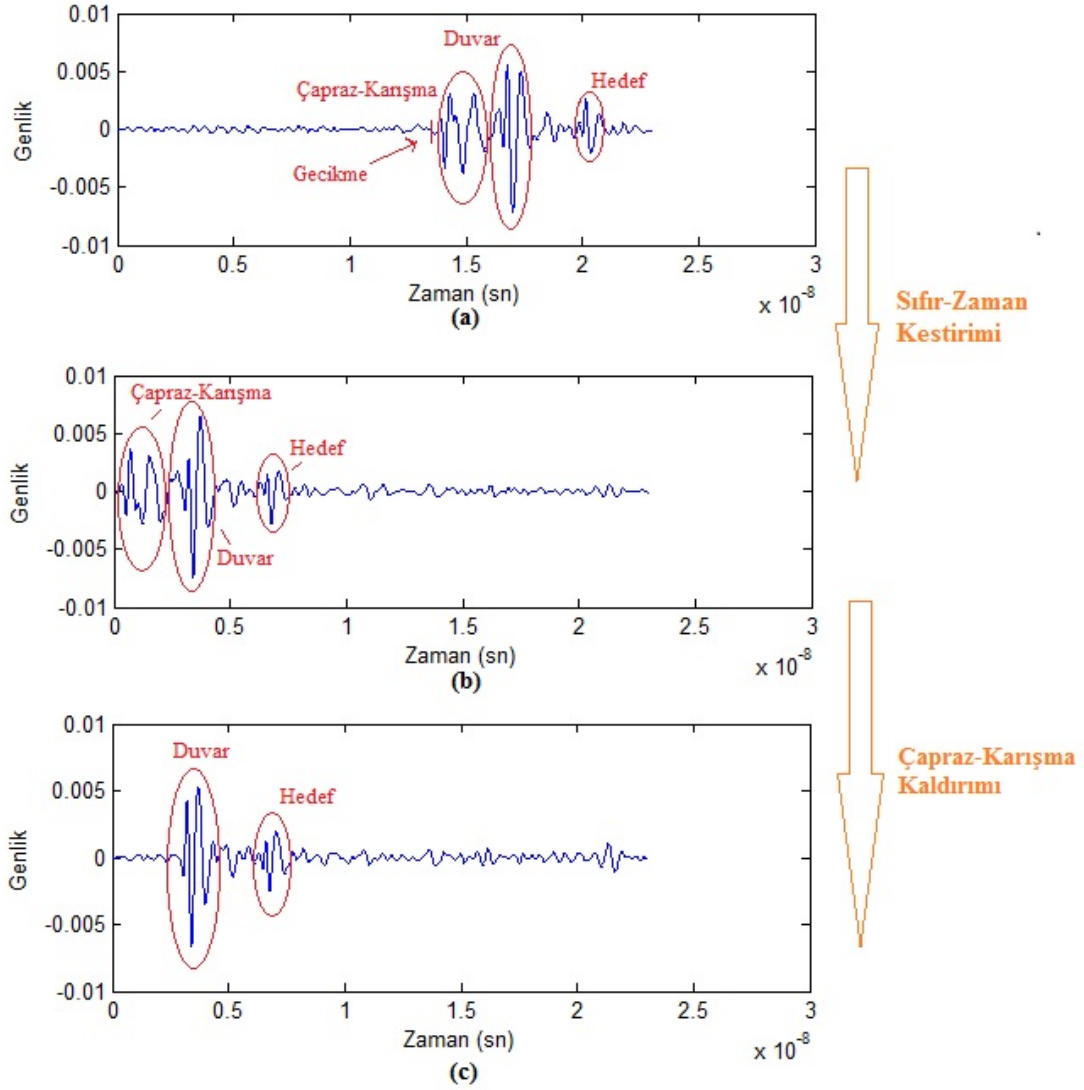
Çapraz-Karışma Kaldırma: Çapraz-karışma vericiden gönderilen sinyalin hiçbir şeyden yansımadan doğrudan alıcı antene ulaşması olarak tanımlanır. Çapraz-karışma sinyali genellikle taramada ilk algılanan ve genliği en yüksek sinyaldir. Bu nedenle, hedeflerden yanıysan genliği daha düşük sinyallerin görüntülenebilmesi için çapraz-karışma sinyallerinin kaldırılması önem arz etmektedir. Ayrıca yalancı hedef olarak yanıtabilir. Çapraz-karışma sinyalleri açık alanda veya yankı yapmayan sinyalleri emen odalarda ölçümler alınarak tespit edilebilir. En uygun olanı yankı yapmayan odalarda bu ölçümlerin alınması olsa da uygulamada bu tür ortamları sağlamak pek mümkün olmadığından açık alanlarda çapraz-karışma ölçümleri alınmaktadır. Yankı yapmayan odalardaki ölçümler ideale yakın çapraz-karışma sonuçlar verse de gerçek uygulama ortamlarındaki farklılıklar nedeniyle uygulamada ki performans açısından çok iyi bir kalibrasyon olmayacaktır. Bu nedenle gerçek uygulamadaki kurulum ve ortamlarda yapılacak ölçümler daha gerçekçi ve performans artırıcı olacaktır.

Bu nedenle, kurulan sistem için çapraz-karışma ölçümü açık alanda yapılarak Şekil 4.5'deki sonuç elde edilmiştir.



Şekil 4.5: Çapraz-karışma ölçüm sonucu

Bu elde edilen çapraz-karışma sinyali taraması yapılan alan ve hedef hakkında herhangi bir bilgi içermediği hatta yalancı hedef olarak yanıltılabileceğinden tarama cevabından çıkartılması gerekmektedir. Bu çıkarma işleminden sonra daha temiz bir veri olacağından daha iyi bir algılama ve görüntüleme yapılabilecektir. Önışleme ve kalibrasyon sonrasında ki sonuç Şekil 4.6'de gösterilmiştir.



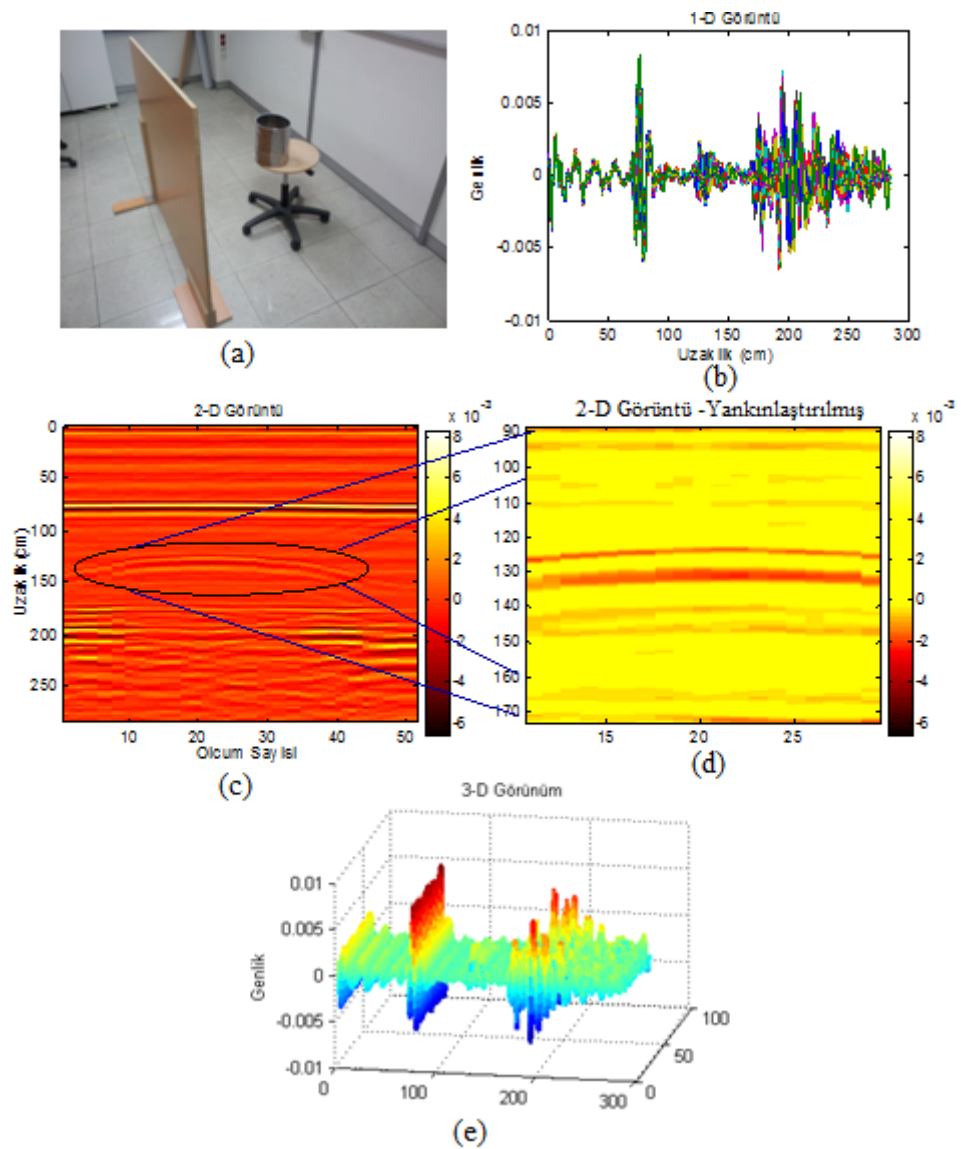
Şekil 4.6: Önileme ve kalibrasyon işlemleri sonuçları

4.4. Deneysel Sonuçlar

Geliştirilen prototip gerçek ortamda değişik senaryo altında deneysel olarak test edilerek aşağıdaki ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

Senaryo 1: Deney hava ortamında antenler ile hedef arasında antenlere 75 cm uzaklığa 2 cm kalınlığında sunta bir tahta engel koyulmuştur. 20 cm çapında ve 23 cm yüksekliğinde metal bir silindir hedef olarak engelden 50cm, antenlerden 127 cm uzaklıkta tabure üzerine konularak görüntülenmiştir. Hedefin arkasında ayrıca laboratuvarın duvarı bulunmakta olup karakteri bilinmemektedir. Sistemin frekans

aralığı 750MHz-6GHz olup 26,5MHz aralıklarla 201 farklı frekansta basamak frekans sürekli dalga göndermiştir. Antenlerin merkezleri arası uzaklık 20 cm olup en yakın noktaları 6 cm'dir. Antenler yere yatay polarizasyonda ölçüm almıştır. Her iki antende aynı kutuplanmada olup birbirinden farklı kutuplanmada ölçüm alınmamaktadır. Antenler çok yavaş bir şekilde hareket ettirilerek yatayda 1 saniye periyot ile SAR tarama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.7'da gösterilmektedir.

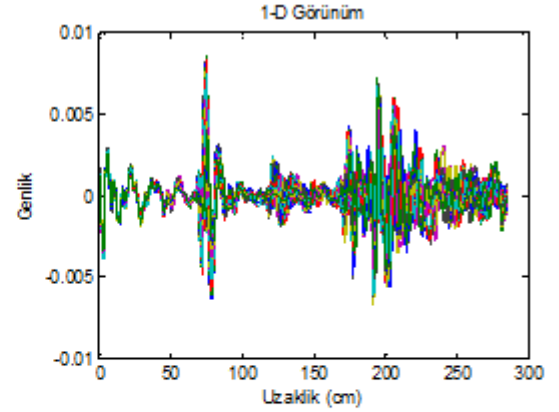


Şekil 4.7: İçi boş metal silindirin EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.

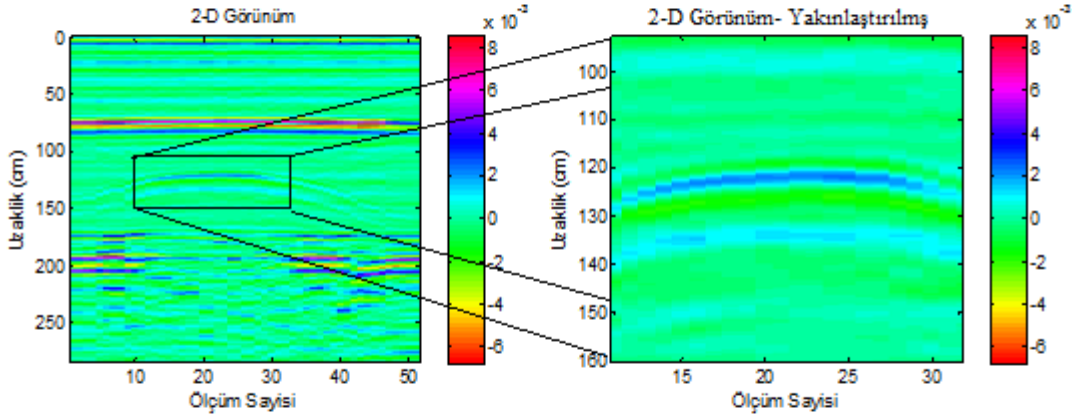
Senaryo 2: Deney hava ortamında antenler ile hedef arasında antenlere 75 cm uzaklığa 2 cm kalınlığında sunta bir tahta engel koyulmuştur. 26cm çapında ve 40 cm yüksekliğinde içi su dolu plastik damacana bir silindir hedef olarak engelden 50cm, antenlerden 127 cm uzaklıkta tabure üzerine konularak görüntülenmiştir. Hedefin arkasında ayrıca laboratuvarın duvarı bulunmakta olup karakteri bilinmemektedir. Sistemin frekans aralığı 750MHz-6GHz olup 26,5MHz aralıklarla 201 farklı frekansta basamak frekans sürekli dalga göndermiştir. Antenlerin merkezleri arası uzaklık 20 cm olup en yakın noktaları 6 cm'dir. Antenler yere yatay polarizasyonda ölçüm almıştır. Her iki antende aynı kutuplanmada olup birbirinden farklı kutuplanmada ölçüm alınmamaktadır. Antenler çok yavaş bir şekilde hareket ettirilerek yatayda 1 saniye periyot ile SAR tarama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.8'da gösterilmektedir.



(a)

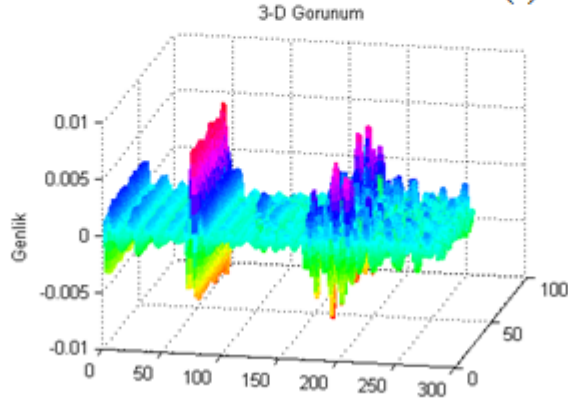


(b)



(c)

(d)



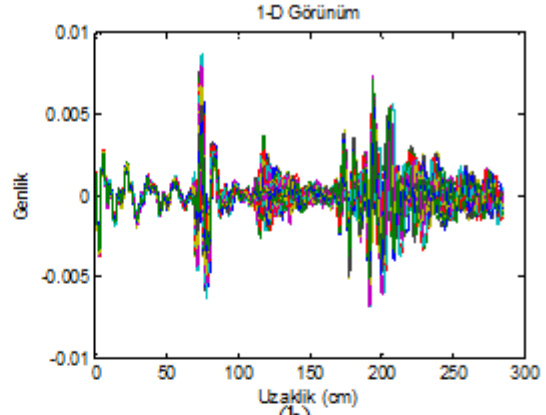
(e)

Şekil 4.8: İçi su dolu plastik damacananın EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) Yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.

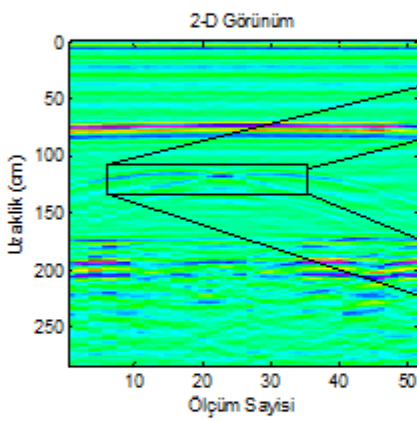
Senaryo 3: Deney hava ortamında antenler ile hedef arasında antenlere 75 cm uzaklığa 2 cm kalınlığında sunta bir tahta engel koyulmuştur. 26cm çapında bir silindir ve 40 cm yüksekliğinde içi su dolu plastik damacana aralarında 25 cm olacak şekilde ve antenlerden 127 cm uzaklıkta 50 cm yükseklikte bir tabure üzerine konularak engel arkasından görüntülenmiştir. Hedefin arkasında ayrıca laboratuvarın duvarı bulunmakta olup karakteri bilinmemektedir. Sistemin frekans aralığı 750MHz-6GHz olup 26,5MHz aralıklarla 201 farklı frekansta basamak frekans sürekli dalga göndermiştir. Antenlerin merkezleri arası uzaklık 20 cm olup en yakın noktaları 6 cm'dir. Antenler yere yatay polarizasyonda ölçüm almıştır. Her iki antende aynı kutuplanmada olup birbirinden farklı kutuplanmada ölçüm alınamamaktadır. Antenler çok yavaş bir şekilde hareket ettirilerek yatayda 1 saniye periyot ile SAR tarama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.9'de gösterilmektedir.



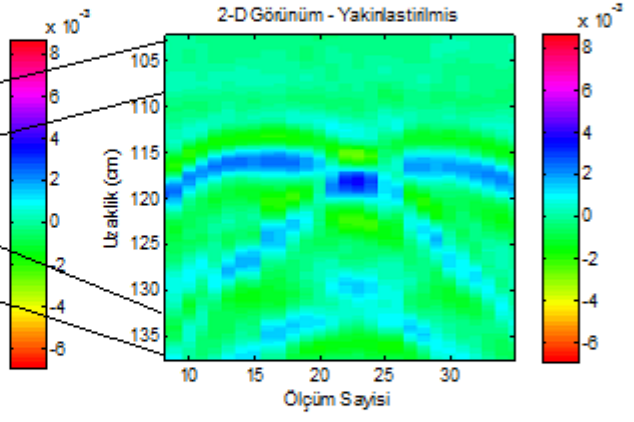
(a)



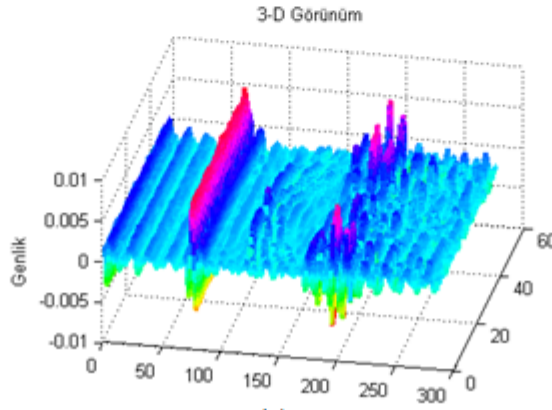
(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.9: 25 cm aralıklarla yerleştirilen içi boş metal silindir ve içi su dolu plastik damacananın in EAGR ile SAR tarama görüntüsü. a) Deney düzeneği, b) 1-D görünüm, enine menzil 180 cm, c) 2-D görünüm, d) yakınlaştırılmış 2-D görünüm, e) 3-D görünüm.

BÖLÜM 5

5. ÖZET VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Enkaz altında ilk adımı olan ve üzerinde radar görüntüleme tekniklerinin geliştirilebileceği mobil engel arkası görüntüleme radarı prototipi yapılmıştır. Sistemin modüler yapıda ve değişik yapılandırmalara adapte edilebilir olması nedeniyle birçok farklı senaryo, ortam ve koşullarda çalışma yapabilme kabiliyetine sahiptir. Yapılan deneyler sonucunda sistemin yüksek RCS değerli hedefleri net bir şekilde tespit edebildiği, tespit ettiği hedefin yerini doğru bulduğu gözlemlenmiştir. İlk aşaması tamamlanan bu çalışmanın geliştirilmesi için;

- Yeni sinyal işleme algoritmaları geliştirilip gerçek verilerle denenerek hedefin tam yerini noktasal olarak belirleyebilmeli ve tarama yapılan alanda eşleştirerek odaklama çalışmaları
- Sistem başka standart veya özel geliştirilen antenlerle denenerek performans karşılaştırması ve artırılması çalışmaları
- Engelin dielektrik katsayısının hesaplanarak sinyalin engel içindeki hızının daha doğru tespit edebilme çalışmaları
- Sistem SAR tarama yönünde hareket ederken aldığı mesafeyi ölçebilip bu sonucu görüntüye işleme çalışmaları
- Sistem engel veya ortamın homojen olmaması durumundan etkilenmeme çalışmaları
- Hareket, hız ve hareket yönünü tespit edebilme çalışmaları
- Hedefin şekli, boyutu, hareketi gibi özelliklerinden hedefin ne olduğunun tespiti çalışmaları

yapılması gelecek çalışma olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Cheney and B. Borden, *Fundamentals of radar imaging*, Society for Industrial Mathematics, Philadelphia, PA, 2009.
- [2] D.J. Daniels, *Ground penetrating radar*, MPG Books Ltd, Cornwall, 2004.
- [3] H.M. Jol, *Ground penetrating radar: theory and applications*, Elsevier Science Ltd, Oxford, 2009.
- [4] D.J. Daniels, Surface-penetrating radar. *Electronics & Communication Engineering Journal*, 1996. **8**(4): p. 165-182.
- [5] G. Grandjean, J.C. Gourry, and A. Bitri, Evaluation of GPR techniques for civil-engineering applications: study on a test site. *Journal of Applied Geophysics*, 2000. **45**(3): p. 141-156.
- [6] P.D. Gader, M. Mystkowski, and Y. Zhao, Landmine detection with ground penetrating radar using hidden Markov models. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2001. **39**(6): p. 1231-1244.
- [7] X. Feng and M. Sato, Pre-stack migration applied to GPR for landmine detection. *Inverse Problems*, 2004. **20**(6): p. 99-115.
- [8] J. Groenenboom and A. Yarovoy, Data processing and imaging in GPR system dedicated for landmine detection. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 2002. **3**(4): p. 387-402.
- [9] J.M. Bourgeois and G.S. Smith, A fully three-dimensional simulation of a ground-penetrating radar: FDTD theory compared with experiment. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 1996. **34**(1): p. 36-44.
- [10] A. Langman, et al. Development of a low cost SFCW ground penetrating radar, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, Lincoln, 1996.

- [11] A. Langman, *The design of hardware and signal processing for a stepped frequency continuous wave ground penetrating radar*, PhD thesis, University of Cape Town, Cape Town, 2002.
- [12] T. Counts, et al., Multistatic Ground-Penetrating Radar Experiments. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 2007. **45**(8): p. 2544-2553.
- [13] L.A. Robinson, W.B. Weir, and L. Young, Location and recognition of discontinuities in dielectric media using synthetic RF pulses. *Proceedings of the IEEE*, 1974. **62**(1): p. 36-44.
- [14] K. Iizuka, et al., Step-frequency radar. *Journal of Applied Physics*, 1984. **56**(9): p. 2572-2583.
- [15] F.N. Kong and T.L. By, Performance of a GPR system which uses step frequency signals. *Journal of Applied Geophysics*, 1995. **33**(1): p. 15-26.
- [16] S.E. Hamran and E. Aarholt, Glacier study using wavenumber domain synthetic aperture radar. *Radio Science*, 1993. **28**(4): p. 559-570.
- [17] G. Stickley, et al., Gated stepped-frequency ground penetrating radar. *Journal of Applied Geophysics*, 2000. **43**(2): p. 259-269.
- [18] G. Alberti, et al. Advanced stepped frequency GPR development, *Proc. of SPIE's 45th Annual Meeting, International Conference on Subsurface Sensing Technologies and Applications II*, SPIE, San Diego, 2000.
- [19] S.K. Koppenjan, et al., Multi-frequency synthetic-aperture imaging with a lightweight ground penetrating radar system. *Journal of Applied Geophysics*, 2000. **43**(2): p. 251-258.
- [20] W.J. Steinway and C.R. Barrett, Development status of a stepped-frequency ground penetrating radar. *Underground and Obscured Object Imaging and Detection, SPIE Proceedings*, 1993. **1942**: p. 34-43.

- [21] N. Osumi and K. Ueno, Detection of buried plant. *Radar and Signal Processing, IEE Proceedings F*, 1988. **135**(4): p. 330-342.
- [22] I.Y. Immoreev, S. Samkov, and T.H. Tao, Short-distance ultra wideband radars. *Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE*, 2005. **20**(6): p. 9-14.
- [23] T.W. Barrett and V. Vienna, Technical Features History of Ultra Wideband Communications and Radar: Part I, UWB Communications. *Microwave Journal*, 2001: p. 22-54.
- [24] H. Feng, et al. Preliminary results of ultra-wideband through-the-wall life-detecting radar, *Radar Conference IEEE*, Atlanta, 2010.
- [25] L. Peters Jr, J.J. Daniels, and J.D. Young, Ground penetrating radar as a subsurface environmental sensing tool. *Proceedings of the IEEE*, 1994. **82**(12): p. 1802-1822.
- [26] A. Langman and M. Inggs. Pulse versus stepped frequency continuous wave modulation for ground penetrating radar, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, Sydney, 2001.
- [27] M. Sato, J. Fujiwara, and K. Takahashi. The development of hand held dual sensor ALIS, *Defense and Security Symposium*, SPIE, Orlando, 2007.
- [28] M. Sato, et al., GPR using an array antenna for landmine detection. *Near Surface Geophysics*, 2004. **2**(1): p. 7-13.
- [29] M. Sato, et al. Antenna development and a stepped-frequency GPR system for landmine detection, *Proceedings of the 2nd International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar*, IEEE, Delft, 2003.
- [30] K. Kim and W.R. Scott Jr. Investigation of resistive vee antennas for a multi-static ground-penetrating radar, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, IEEE, Washington DC, 2005.

- [31] P.K. Verma, et al., Analysis of Clutter Reduction Techniques for Through Wall Imaging in UWB Range. *Progress In Electromagnetics Research*, 2009. **17**: p. 29-48.
- [32] "L3 Communications CyTerra", erişim adresi: <http://www.cyterracorp.com/index.htm>, erişim tarihi: 1 Eylül 2012.
- [33] "3D Radar", erişim adresi: <http://www.3d-radar.com/geoscope-mkiv>, erişim tarihi: 10 Eylül 2012.
- [34] A.R. Hunt, Image formation through walls using a distributed radar sensor network. *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Security and Homeland Defense IV 2005*. **5778**: p. 169-174.
- [35] A.R. Hunt, A wideband imaging radar for through-the-wall surveillance. *Proceedings of the SPIE*, 2004. **5403**: p. 590-596.
- [36] D.J. Daniels, ed. *Ground penetrating radar*. 2nd ed. IET Radar, Sonar, Navigation and Avionics Series 15, ed. N. Stewart and H. Griffiths, Lightning Source UK Ltd: Milton Keynes, 2007.
- [37] P. Lacko, et al. Studies of ground penetrating radar antennas, *2nd International Workshop on Advanced GPR*, IEEE, Delft, 2003.
- [38] M. Aftanas, et al. Throughwall imaging of the objects scanned by M-sequence UWB radar system, *Radioelektronika, 18th International Conference*, IEEE, Prague, 2008.
- [39] E.M. Johansson and J.E. Mast, Three-dimensional ground-penetrating radar imaging using synthetic aperture time-domain focusing. *Advanced Microwave and Millimeter Wave Detectors, Proceedings of SPIE*, 1994. **2275**: p. 205-214.

- [40] M. Aftanas. Signal Processing Steps for Objects Imaging Through the Wall with UWB Radar, *9th Scientific Conference of Young Researchers*, Citeseer, 2009.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATAMAN, Arif
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.06.1986 Borçka
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (536) 355 16 86
e-mail : atamanarif@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2009
Yüksek Lisans	University of Warwick / Program ve Proje Yönetimi	2011

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-.....	BOTAŞ Petrol İşletmeleri Bölge Müdürlüğü	Mühendis
2009-2012	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce