

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İLERİ BAKAN DARBELİ YNR İÇİN YAPAY AÇIKLIK RADARI
YÖNTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

SİNEM NİMET SOLAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET SERDAR TÜRK**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İLERİ BAKAN DARBELİ YNR İÇİN YAPAY AÇIKLIK RADARI YÖNTEMLERİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Sinem Nimet SOLAK tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

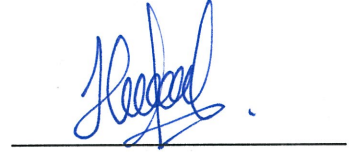
Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

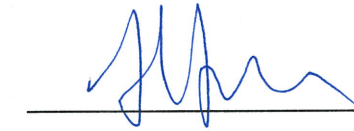
Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK
Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Hamid TORPİ
Yıldız Teknik Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Ali Köksal HOCAOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi



ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında benden katkılarını hiç eksik etmeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK' e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her zaman bana yardımcı ve destek olan, arkadaşım Melek ORHAN' a, Arş. Gör. Mehmet ÜNAL' a, Arş. Gör. Ahmet Kenan KESKİN' e, Arş. Gör Alper ÇALIŞKAN' a ve Arş. Gör. Mustafa Dağcan ŞENTÜRK' e çok teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, beni her an destekleyen babam Sayın Osman SOLAK' a, annem Sayın Bilge SOLAK' a, kardeşlerim Abdullah Korkut SOLAK ve Adnan Nihat SOLAK' a sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez, bana eğitimimde her zaman destek olmuş olan, çok özlediğim dedem Nihat KAYADELEN' e adanmıştır.

Temmuz, 2016

Sinem Nimet SOLAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı1.....	1
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
YERE NÜFUZ EDEN RADAR (YNR).....	3
2.1 Yere Nüfuz Eden Radar Sistemi	3
2.1.1 Darbeli Yere Nüfuz Eden Radar	8
2.1.2 Frekans Adımlı YNR	10
2.2 İleri Bakan Yere Nüfuz Eden Radar	13
BÖLÜM 3	
SENTETİK AÇIKLIK RADARI.....	16
3.1 Sentetik Açıklık Radarı	16
3.2 SAR'ın Temel Prensipleri	16
3.3 SAR Algoritması	18

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD	21
4.1 Benzetim Çalışmaları	21
4.2 Tel Hedef Tespiti Ölçümleri ve Sonuçlar	32
4.3 Test Ortamı ve Ölçümler	33
4.4 SAR Görüntüleme Tekniğinin Darbeli YNR Test Sonuçlarına Uygulanması...36	
4.4.1 Arka Plan Giderme (Background Removal)	36
4.4.2 Ölçümlere Uygulanan SAR Tekniği.....	36

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51

SİMGE LİSTESİ

G_T	Verici anten kazancı
G_R	Alıcı anten kazancı
P_T	Verici anten gücü
P_R	Alıcı anten gücü
ϵ_r	Bağıl dielektrik sabiti
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
μ_0	Boşluğun manyetik geçirgenliği
f	Frekans
c	Işık hızı
L_r	Topraktan yansıyan elektromanyetik dalga
L_s	Hedeften yansıyan elektromanyetik dalga
d	Araştırmada çözünürlüğü istenen derinlik
D	Ölçüm aralığı
σ	İletkenlik
Δ_r	Menzil çözünürlüğü
R_{max}	Maksimum belirsiz olmayan menzil
U	EM dalganın topraktaki yayılım hızı
B	Band genişliği
T_R	Darbe tekrarlama aralığı
P	Hedefin yansıtıcılığı
ϕ	Faz kayması
f_d	Doppler frekansı
f_{DM}	Doppler kayması

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog to Digital Converter
CST	Computer Simulation Technology
DRHA	Double-Ridged Horn Antenna
EM	Electromagnetic
GPR	Ground Penetrating Radar
IBYNR	İleri Bakan Yere Nüfuz Eden Radar
LNA	Low Noise Amplifier
PDVA	Partially Dielectric Loaded Vivaldi Antenna
PRI	Pulse Repetition Interval
RKA	Radar Kesit Alanı
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar
SFCWR	Stepped Frequency Continuous Radar
TGYNR	Tepe Görüşlü Yere Nüfuz Eden Radar
YNR	Yüzeyaltı Görüntüleme Radarları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	YNR senaryosu 5
Şekil 2. 2	YNR sistemi 6
Şekil 2. 3	A tarama yöntemi 7
Şekil 2. 4	40 cm çaplı mayından yansıyan A-tarama sinyali 8
Şekil 2. 5	68 adet A-Tarama verisiyle elde edilmiş B-tarama görüntüsü 8
Şekil 2. 6	Darbeli YNR genel diyagramı..... 10
Şekil 2. 7	SFCWR’da frekans adımlarının temsili 12
Şekil 2. 8	İleri Bakan YNR şematik gösterimi 14
Şekil 3. 1	SAR sistemi 17
Şekil 3. 2	Doppler kaymasının gösterimi 18
Şekil 3. 3	B-tarama SAR algoritması geometrisi 20
Şekil 4. 1	İleri bakan YNR senaryosunda antenin hedefe bakış açısı..... 22
Şekil 4. 2	Mayın hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu 23
Şekil 4. 3	Mayın hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu 23
Şekil 4. 4	Mayın hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu 23
Şekil 4. 5	Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 45 derece iken benzetim sonucu 24
Şekil 4. 6	Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 35 derece iken benzetim sonucu 25
Şekil 4. 7	Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 25 derece iken benzetim sonucu 25
Şekil 4. 8	Plastik hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu..... 26
Şekil 4. 9	Plastik hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu..... 26
Şekil 4. 10	Plastik hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu 26
Şekil 4. 11	Tel hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu 27
Şekil 4. 12	Tel hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu 27
Şekil 4. 13	Tel hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu 28
Şekil 4. 14	Tel hedef- antenin huzmesi içinde 45 derece iken benzetim sonucu 28
Şekil 4. 15	Tel hedef- antenin huzmesi içinde 35 derece iken benzetim sonucu 29
Şekil 4. 16	Tel hedef- antenin huzmesi içinde 25 derece iken benzetim sonucu 29
Şekil 4. 17	Anten düşey(ters) polarizasyundayken benzetim ortamı 30
Şekil 4. 18	Anten düşey (ters) polarizasyundayken benzetim ortamı 30
Şekil 4. 19	Anten yatay (düz) polarizasyodayken benzetim ortamı..... 31
Şekil 4. 20	Anten yatay (düz) polarizasyodayken benzetim ortamı..... 31
Şekil 4. 21	Anten yatay (düz) polarizasyodayken ölçüm sonucu 32
Şekil 4. 22	Anten düşey (tez) polarizasyodayken ölçüm sonucu 32
Şekil 4. 23	Vivaldi TEM horn anten (PDVA) 34
Şekil 4. 24	Double-ridged horn anten (DRHA) 34

Şekil 4. 25	Oluşturan test senaryosu.....	35
Şekil 4. 26	Ölçüm sonuçlarına uygulanan SAR algoritması	37
Şekil 4. 27	Ridged horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi (1)	38
Şekil 4. 28	Ridged horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi (1)	39
Şekil 4. 29	Ridged horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi (2)	39
Şekil 4. 30	Ridged horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi (2)	40
Şekil 4. 31	Ridged horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi (3)	40
Şekil 4. 32	Ridged horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi (3)	41
Şekil 4. 33	Vivaldi TEM horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi.....	42
Şekil 4. 34	Vivaldi TEM horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi	42
Şekil 4. 35	Kullanılan iki metal hedef (a), kafa ve gövde (b), kol ve el.	43
Şekil 4. 36	Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü	43
Şekil 4. 37	Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü(arka plan giderme)	44
Şekil 4. 38	SAR algoritması sonucu görüntüsü	44
Şekil 4. 39	Metal hedeflerin C-tarama görüntüsü dilimleri	45
Şekil 4. 40	Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü	45
Şekil 4. 41	Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü (arka plan giderme).....	46
Şekil 4. 42	SAR algoritması sonucu görüntüsü	46
Şekil 4. 43	Metal hedeflerin C-tarama görüntüsü dilimleri	47

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	Mayın hedef anten eğikliği benzetim sonuçları..... 24
Çizelge 4. 2	Mayın hedef- antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları..... 25
Çizelge 4. 3	Plastik hedef anten eğikliği benzetim sonuçları..... 27
Çizelge 4. 4	Tel hedef anten eğikliği benzetim sonuçları.....28
Çizelge 4. 5	Tel hedef antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları..... 29
Çizelge 4. 6	Tel hedef antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları..... 32
Çizelge 4. 7	Geozondas GZ6E-15 dijital örnekleme osiloskobu parametreleri.....33

İLERİ BAKAN DARBELİ YNR İÇİN YAPAY AÇIKLIK RADARI YÖNTEMLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Sinem Nimet SOLAK

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

Yapay Açıklık Radarı yüksek çözünürlüklü görüntüleme yapabilen bir mikrodalga radardır. Yapay Açıklık Radarı, Sentetik Açıklık Radarı, farklı durumların, farklı ihtiyaçlarına adapte olabilmesi sebebiyle kullanılan bir sistem olmuştur. SAR yüksek hızlı işlem ve yüksek kapasite gerektirmesi sebebiyle, son zamanlarda kapasite ve hızın gelişimi sayesinde önemini arttıran etkili yöntemlerden biridir. Darbeli Yere Nüfuz Eden Radar, kısa süreli darbeler üreterek hedef tespiti yapar. Geniş bantta çalışmaya imkan vererek, yüksek frekans ve alçak frekanslardan, uygulamaya göre yararlanılmasını sağlar ve SAR görüntüleme metodunun uygulanmasına imkan verir. İleri bakan darbeli YNR, uygulama ihtiyaçları doğrultusunda daha hızlı çalışması gereken bir radardır. Bu sebeple zaman domeninde çalışmalara ağırlık verilmelidir. Bu tezde, SAR teknikleri ve bu tekniğin zaman domeninde YNR uygulamalarına adaptasyonu ve geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey altı görüntüleme radarı, sentetik açıklık radarı, radar sinyal işleme teknikleri

**DEVELOPMENT OF SAR TECHNIQUES FOR FORWARD LOOKING
IMPULSE GPR**

Sinem Nimet SOLAK

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Ahmet Serdar TÜRK

Synthetic Aperture Radar is a microwave imaging radar that can achieve high resolution images. SAR is a great technique to take advantage of flexibility to adapt to different needs of different occasion but SAR requires huge storage capacity and high processing speed; therefore, SAR has become an intense remote sensing tool by enhancing the capacity and speed. Impulse GPR systems that transmit short impulse signals are proposed primarily to benefit from both low and high frequencies, which may use SAR methods for high resolution imaging. The reason behind the using impulse GPR is application of GPR needs to process fast and detect the target as soon as possible. Time domain GPR gives us an advantage to process the detection quickly. The thesis describes SAR techniques adaption and development to GPR system.

Keywords: Ground penetrating radar, synthetic aperture radar, radar signal processing

1.1 Literatür Özeti

Harry M. Jol (2009), "Ground Penetrating Radar Theory and Applications" adlı kitabında Yere Nüfuz Eden Radar (YNER) hakkında detaylı bilgiler vermiştir. Bu tez çalışmasında bu kitaptan önemli ölçüde yararlanılmıştır. Darbeli YNER sistemlerinin teorisi, avantajları, uygulaması ile ilgili verdiği bilgiler bu tez çalışmasına yön vermiştir.

John Wiley & Sons (1991), "Synthetic aperture radar, systems and signal processing" kitabında belirttiği gibi yapay açıklık yöntemleri, hedef tespit sistemlerinde çözünürlüğün geliştirilmesi için önemli bir yöntemdir. Wong, D., Tuan Ton, and M. Soumekh. "ALARIC Forward-Looking Ground Penetrating Radar System with Standoff Capability" çalışmasında geniş bantlı ALARIC sistemini geliştirmiş ve İleri Bakan Yere Nüfuz Eden Radar sisteminin, gömülü hedef tespitindeki başarısını kanıtlamıştır. Johannes Fink, Friedrich K. Jondral, Bachle, Oliver Prinz "Ultrawideband Radar Time Domain Simulation for the Analysis of Coherent Signal Processing Techniques" çalışmasında zaman domeninde çalışan sistemlerin davranışlarını incelemiştir.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı, zaman domeninde çalışan darbeli YNER sistemleri kullanılarak, hedef tespitindeki performansın artırılması için yapay açıklık radarı yönteminin geliştirilmesidir. Yapay açıklık radarı yöntemi, radarın çözünürlüğünü geliştirmek için kullanılan bir sinyal işleme tekniğidir. Bu çalışmada, sinyal işleme yöntemleri geliştirilerek, hedef tespit performansının artırılması için çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Bu tez sonucunda, ileri bakan yere nüfuz eden radarlar için geliştirilmiş olan sentetik açıklık radarı yöntemi, radarın tespit performansını geliştirmiş ve çözünürlük performansını arttırmıştır. Geliřtirilen bu yöntem, zaman domeninde çalışan radarların sağladığı avantajlar ile birlikte daha hızlı ve daha iyi bir çözünürlük ile hedef tespitine katkı sağlar.



YERE NÜFUZ EDEN RADAR (YNR)

2.1 Yere Nüfuz Eden Radar Sistemi

Mikrodalga görüntüleme tekniklerinden biri olan ve birçok alanda uygulanabilen yüzey altı tarama günümüzün ilgi çeken konularından biridir. Yere nüfuz eden radar, elektromanyetik saçılma prensibine dayanan ve su, toprak, doku veya insan yapımı yapıların altında bulunan cisimlerin tespitinde kullanılan optik, x-ray, elektromanyetik, elektrik ve ultrasonik metotları içine alan yakın alan radar sistemidir. Bu radar sistemi çeşitli elektromanyetik tekniklerle tasarlanan ve gömülü cisimleri ya da yüzeyleri tespit etmeye, yerini belirlemeye, karakterize etmeye ve görüntülemeye yarayan sistemdir. Geniş bantlı yüzey görüntüleme radarları (YNR), 'ground-probing radar,' 'ground penetrating radar (GPR),' 'sub-surface radar' veya 'surface-penetrating radar (SPR)' şeklinde karşımıza çıkar[1].

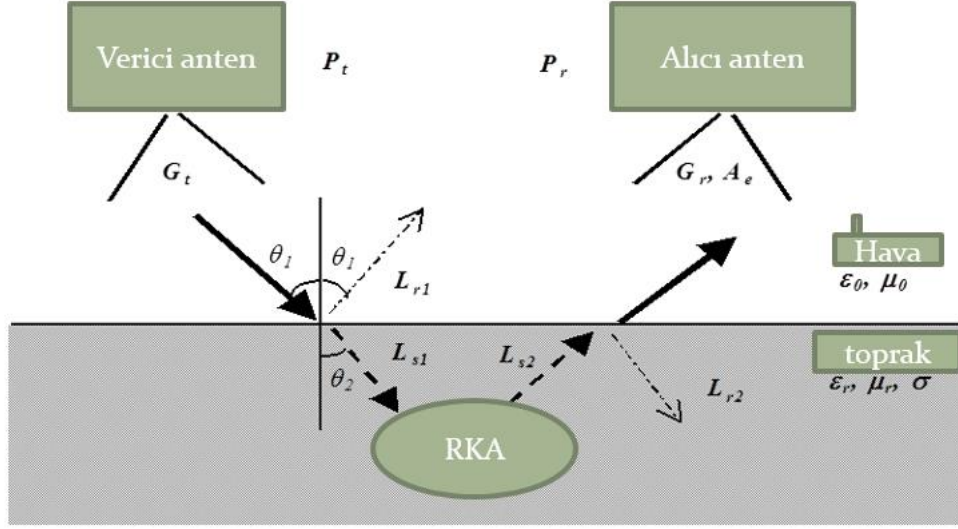
YNR sistemi geniş uygulama alanlarında kullanılır ve donanımsal olarak hedefin cinsi, hedefin yapıldığı madde ve hedefin bulunduğu ortama bağlı olarak farklılık gösterir. Yüzey altı görüntülemenin günümüzde mayın ve gömülü nükleer silah algılama, yeraltı sığınakları ve yeraltı karargâhlarının tespiti, depremlerde çöken binaların altında kalan boşlukların belirlenmesi, duvar arkası görüntüleme, insan vücudunda kanserli hücrelerin tespiti gibi hayati önemi olan uygulama alanları bulunmaktadır.

Duvar arkası hedef algılama ve konumlandırma sistemleri askeri savunma ve arama-kurtarma çalışmalarında kullanılır. S bandında çalışan, duvar arkasındaki hareketli veya hareketsiz hedefleri tespit etmeye yarayan radardır. 20 cm kalınlığında sert beton

duvarın ardındaki cisimleri 20 m uzaklıktan tespit edebilir. Yaklaşık 2.25 m açıklığa sahip radar, bir araç üzerine monte edilerek kullanılabilir. Şehir tipi savaş alanlarında taktiksel avantaj sağlamak için kullanılır. Deprem afetinde göçük altında yapılan arama kurtarma çalışmalarında kullanılabilir. Hem duvarların arkasındaki insanın konumu hem de aradaki duvarların sayıları ve konumları bu tip bir uygulamada hayati önem taşımaktadır. Aynı şekilde yangın durumunda içerideki insan, duvar konumları gibi bilgilerin elde edilmesi çok önemli olacaktır [2-4].

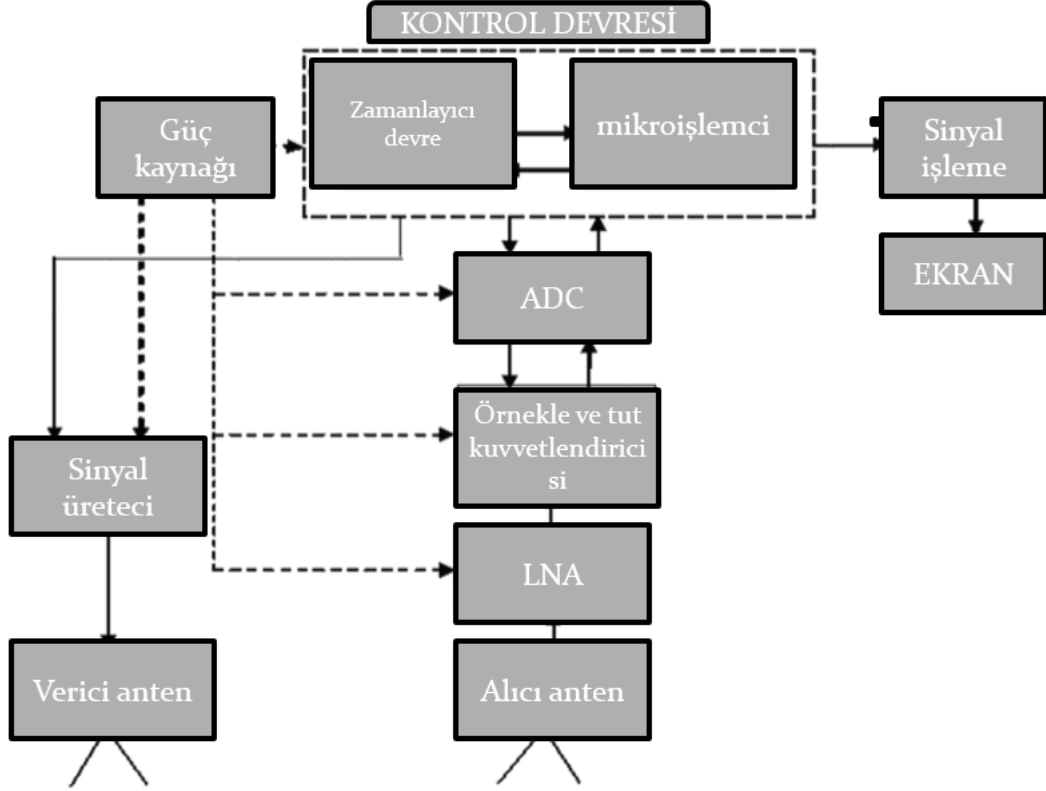
Kara mayını krizi dünyadaki her ulusu kapsayan bir problemdir. Son 10 ile 15 yıl içinde, dikkate değer önlemler alınan mayın problemi, mayınların tespit ve temizlenmesinde, güvenli ve düşük maliyetli teknikleri geliştirmek amacıyla yapılan çalışmalarda kayda değer bir artış sağlamıştır. Ancak, çeşitli mayın tipleri ve kompleks araştırma senaryoları sebebiyle, mayınların etkili ve hassas tespiti hala ucu açık bir problemdir. Günümüzde kullanılan ve devam eden araştırma tekniklerinden bazıları şunlardır; metal detektörler, akustik teknoloji, elektro optik algılayıcı (electro-optical detection,) ileri görüşlü kızılötesi sensör (FLIR (forward-looking infrared,)) kimyasal tespit (chemical detection,) dört kutuplu rezonans tespit (quadrupole resonance detection,) yere nüfuz eden radar (ground-penetrating radar (GPR)). Bu teknikler arasında, yere nüfuz eden radarın (GPR) diğer tekniklere göre pek çok önemli avantajları vardır ve bu teknik kara mayını tespiti için daha uygulanabilir bir gözetim aracıdır [5].

Yere nüfuz eden radar sisteminde, elektromanyetik dalgalar zemine iletilir ve geri saçılmış alanın incelenmesi ile tanımlanmış hedefler elde edilir (Şekil 2.1). Yere nüfuz eden radar (GPR), yayılma aracındaki elektriksel geçirgenliğin süreksizliğini fark edebildiğinden beri, plastik kaplı mayın gibi metal olmayan objeleri dahi tespit edilebilir. Çoğu yere nüfuz eden radar, 0.5 GHz ile 3 GHz aralığında sıklıklarla çalışan geniş bant ötesi sistemlerdir. Anten dizilimi kullanımıyla, gelişme seviyesindeki yere nüfuz eden radarlar, kara mayınlarının tespiti için gömülü objelerin yüksek çözünürlükte iki boyutlu veya üç boyutlu görsellerini üretir.



Şekil 2. 1 YNR senaryosu

Basit bir YNR sistemi, birkaç nano saniye boyunca kısa darbe sinyali üretir. Daha sonra bu darbe sinyali anten aracılığı ile yayımlanır. Hedeften yansıyan sinyal, alıcı anteni tarafından toplanır. Genellikle verici-alıcı antenleri benzer veya aynı olur. Alıcı; gelen bilgiyi örnekler, filtreden geçirir ve kullanıcının anlayacağı şekilde görüntüler. YNR modeli Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Verici-alıcı antenleri sabit hızla hareket ederek alanı tararsa hedeflerin kesitsel görüntüleri elde edilebilir. Eğer antenler hedef uzayındaki bölünmüş ızgaraları hem enine hem boyuna tararsa, taranılan alanın 3 boyutlu görüntüsü çıkartılabilir.



Şekil 2. 2 YNR sistemi

Kullandığı sinyal çeşidine göre iki çeşit YNR sistemi bulunur. Bunlar;

1. Dürtü YNR
2. Frekans adımlı YNR'dir.

Dürtü YNR sistemleri yüksek frekanslı EM dalga dürtüleri kullanır. Jeolojik çalışmalarda, arkeolojik çalışmalarda ve mayın tarama sistemlerinde kullanılır. Yüksek tarama ve örnekleme oranına sahiptir.

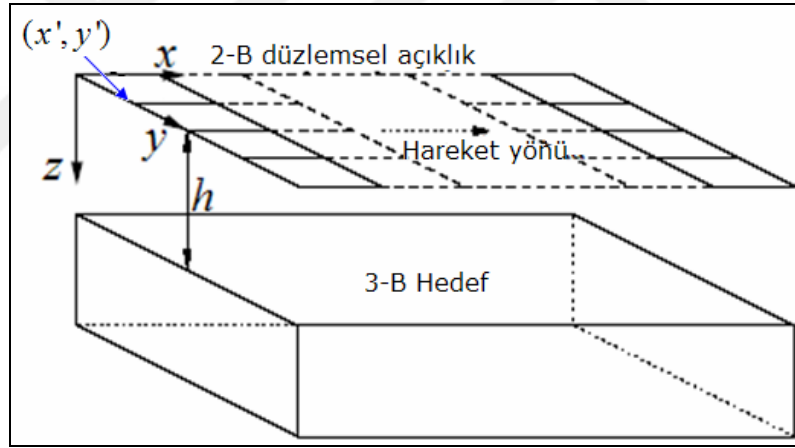
Frekans adımlı YNR sistemleri ise frekans adımlı sürekli dalga kullanırlar. Kullanılacak frekans bandı istenilen derinliğe ve hedefe göre seçilebilir. Daha karmaşık sinyal işleme mevcuttur.

YNR verisi genellikle bir alan boyunca yakın mesafelerde bölünmüş kısımlardan toplanır. Yüzeydeki antenden iletilen EM dalga yüzey altına nüfuz eder ve gönderildiği an ile geri alındığı an arasındaki zaman hesaplanır. Araştırmanın yapıldığı yerin özelliklerine bağlı olarak EM dalganın hızı değişir. Bu hıza bağlı olarak gömülü cismin derinliği tespit edilebilir.

Gömülü olan cisim çeşitli maddelerden yapılmış olabilir. Bu cisimden yansıyan radar darbesinin özellikleri, cismin yapıldığı maddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine ortamın yapısına bağlı olarak değişir. Bu darbenin hızı nano saniyeler (10^{-9} s) mertebesinde. Antenler kaydırılarak ve her aralıktan yansımalar kaydedilerek çalışır. Daha sonra bu kayıtlar gerekli teknikler kullanılarak işlenip cismin yerini, cinsini ve şeklini belirleyebilmeye yarar.

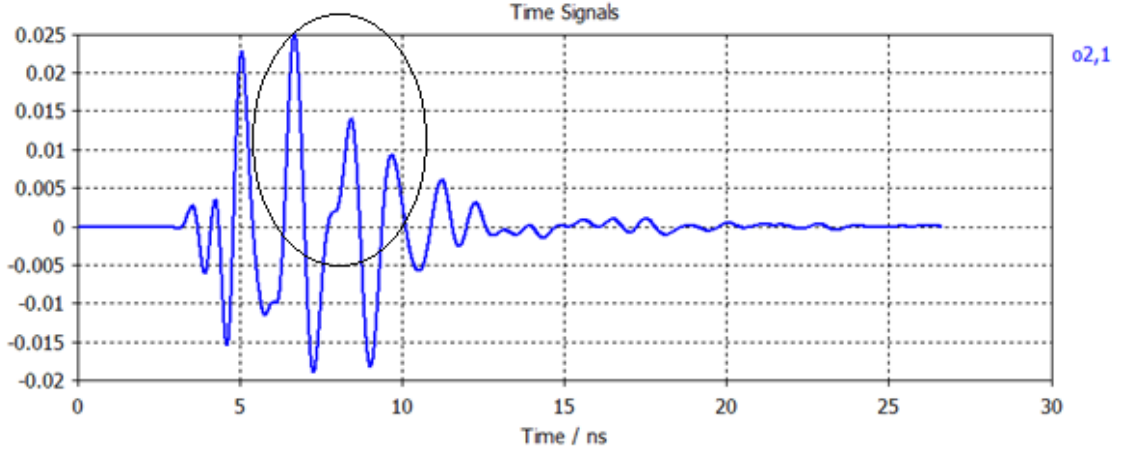
Tarama yöntemine göre yere nüfuz eden radar verileri üçe ayrılır. Aşağıda gösterildiği gibi bu yöntemler, A-tarama, B-tarama ve C-tarama yöntemidir.

A-tarama sinyali, anteni Şekil 2.3'teki (x', y') gibi özellikli bir konum üzerine yerleştirdikten sonra sabit bir ölçüm yapılarak elde edilir. Toplanan 1-B A-tarama sinyali, sinyal genliği ile zaman gecikmesi eksenlerinde gösterilebilir. A-tarama sinyali bir boyutludur. Cisme çarparak yansıyan sinyalin alıcı anten tarafında ölçülmesi prensibine dayanır.



Şekil 2. 3 A tarama yöntemi

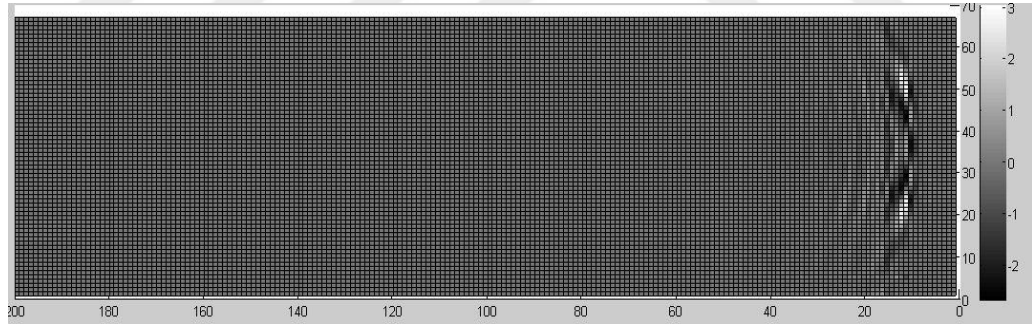
Örnek olarak, daha önce yapılmış olan CST benzetim çalışmalarındaki bir A-tarama sinyali aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 40 cm çaplı mayından yansıyan A-tarama sinyali

B-tarama sinyali, yanal bir açıklık boyunca bir dizi A-tarama ölçümleri sonucu elde edilir. Toplanan sinyal, taranan açıklık ile zaman gecikmesi veya derinlik eksenini (Z) düzleminde, geri saçılım şiddet değerleri olarak gösterilebilir. B-tarama sinyali, iki boyutlu bir sinyaldir.

Örnek olarak daha önceki CST benzetim sonuçlarından elde edilen B-tarama görüntüsü Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2. 5 68 adet A-Tarama verisiyle elde edilmiş B-tarama görüntüsü

C-tarama sinyali ise, elde edilen B-tarama verilerinin yan yana getirilmesiyle oluşturulur. X-Y düzleminde farklı noktalarındaki, x açıklık doğrusu üzerinde bir dizi sıralı B-taramalar sonucu elde edilir. Toplanan C-tarama sinyali üç boyutlu bir sinyaldir.

2.1.1 Darbeli Yere Nüfuz Eden Radar

İlk bölümde bahsedildiği üzere YNR, darbeli YNR ve Frekans adımlama YNR olmak üzere iki bölümde incelenir. Bu çalışmada, sağladığı avantajlar neticesinde darbeli YNR kullanılmıştır. Zaman domeninde veri edinen bu YNR 'impulse GPR' yani darbeli YNR

olarak literatürde yerini alır. Darbeli YNR, nano saniyelik ayırık darbeler iletir ve GHz örnek hızında geri dönen sinyali kaydeder. Bir zaman domeni sinyali gönderilir ve hedeflerden yansıyan enerji zamanın bir fonksiyonudur. Sonuç dalga formu, hedeflerden yansıyan sinyalin genliğinin zamana karşı gösterimi şeklindedir. Darbe üretici, ürettiği darbeyi elektromanyetik dalga üreten antene gönderir. Antenin karakteristiği bu dalganın merkez frekansını beliler ve darbenin genişliği, band genişliğini belirler. 100 MHz ile 15 GHz arasında değişen geniş bandına karşılık olarak, gönderilen darbenin süresi, birkaç nano saniyeden yüz piko saniyeye kadar çeşitlilik gösterir [6].

Darbe tekniğini kullanan YNR sistemi ilk olarak 1970lerin ortalarında ticari amaçlı üretilmiştir ve yararlı bir jeofiziksel araç olarak sunulmuştur.

Darbeli YNR sisteminin sağladığı avantajların başında, mayın ve hedef tespitinin doğası gereği önemli olan yüksek tarama ve örnekleme hızı gelmektedir. Darbe üreten parçaların basitliği ve düşük maliyetli olmaları da bir diğer avantajdır. Bunlara ek olarak, darbeli YNR, frekans adımlı YNR'ye kıyasla çok daha basit sinyal işleme süreci gerektirir. Tespit ve uyarı sistemlerinin, mayın tespiti gibi, hızlı bir şekilde operasyonu sürdürmek zorunda olması sebebiyle bu özellikler büyük avantaj sağlar [7].

Darbeli YNR, zamanlayıcı birimi, darbe üretici, güç elemanı, anten, Analog dijital çevirici, LNA, örnekle ve tut kuvvetlendiricisi gibi birimlerden oluşur. Darbeli YNR diyagramı Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Zamanlayıcı birim, verici elektroniklere sinyal gönderir ve kısa DC darbesi anteni besler. Çıkış sinyali darbenin transfer fonksiyonu $p(t)$ ile çevirici eleman yani antenin transfer fonksiyonunu $a(t)$ 'nin konvolüsyonuna eşittir.

$$\omega(t) = p(t) * a(t) \quad (2.1)$$

Alınan sinyal zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir, dijitalleştirilir ve çeşitli örnekleme teknikleriyle örneklenir. Gösterilen diyagramda gerçek zamanlı örnekleme tekniği temel alınmıştır.

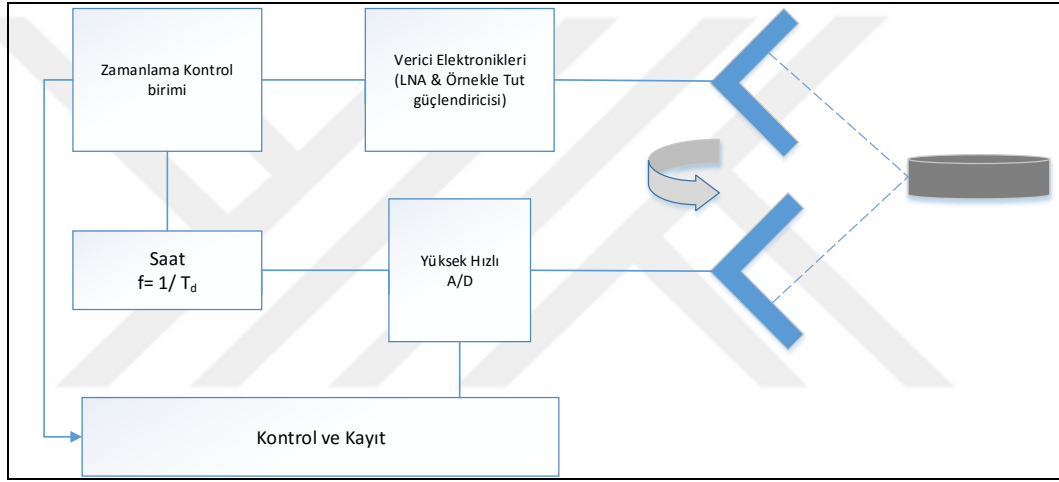
Darbeli YNR sistemini tasarlarken bazı parametrelerin seçilmesi gerekir. Darbenin genişliği ve örnekleme, açısal çözünürlüğe etki eden parametrelerdir. Açısal çözünürlük

radarın arka arkaya iki cismi tespit edebilme kabiliyetini belirtir. C ışık hızı, ϵ_R ortamın dielektrik sabiti, τ darbenin süresi olmak üzere açılal çözünlük aşığıdaki gibidir.

$$\rho_r = \frac{c \tau}{2} \quad (2.2)$$

PRI (pulse repetition interval) yani darbe tekrarlama aralığı T_R ise en uzakta görebileceğimiz hedefin mesafesi olan R_{max} 'a etki eden parametredir. C ışık hızı, ϵ_R ortamın dielektrik sabitidir.

$$R_{max} = \frac{c \cdot T_R}{2 \sqrt{\epsilon_R}} \quad (2.3)$$



Şekil 2. 6 Darbeli YNR genel diyagramı

2.1.2 Frekans Adımlı YNR

Frekans atlamalı YNR'de belirli bir frekans bandı sürekli dalga modunda taranır ve elektromanyetik dalga saçılma problemi frekans uzayında çözümlür. Hedef bilgisi geri saçılan işaretin frekansa bağı genlik ve faz bilgilerini toplamak suretiyle elde edilir. Genelde derine bakan ve hızlı taramalı uygulamalarda işaret işleme daha kolay olan darbeli YNR kullanılırken, yüzeye yakın küçük cisimlerin tomografik görüntülenmesinde dinamik aralığı ve çözünlüğü yüksek, frekans atlamalı YNR sistemleri tercih edilir. Başta frekans bandı ve darbe gücü olmak üzere, ilgili YNR parametreleri uygulamanın niteliğine ve isterlerine bağı olarak belirlenir [8].

SFCWR belirli frekans aralığındaki elektromanyetik dalgaları yeraltına gönderip yansıyan sinyallerden faz farkını ve hedefin yansıtılrlık katsayısını ölçerek görüntüleme

yaparlar. Kullanılan frekans aralığının değişik derinliklerdeki hedefler için ayarlanabilmesi, daha doğru ve hassas ölçümler alınabilmesi, yüksek dinamik aralığına sahip olması, yüksek güç gönderebilmesi ve alıcıda düşük gürültüye sahip olması gibi özelliklerinden dolayı SFCW YNR'ler zaman alanında çalışan YNR'lere göre bazı avantajlı özelliklere sahiptirler.

SFCW YNR'nin iyi özellikleri olmasına rağmen piyasada kullanılan sistemlerde yaygın değildir. Bunun en önemli sebebi, veri toplama zamanının uzun olmasıdır. Her tarama pozisyonunda harcanan zaman; vericinin anahtarlama süresi, gönderilen sinyalin seçilen maksimum uzaklıktaki hedeften yansıyıp geri dönmesi için gereken zaman, alıcının yeterli sinyal ve gürültü oranını oluşturabilmesi için harcanan zaman gibi etkenlere bağlıdır [9].

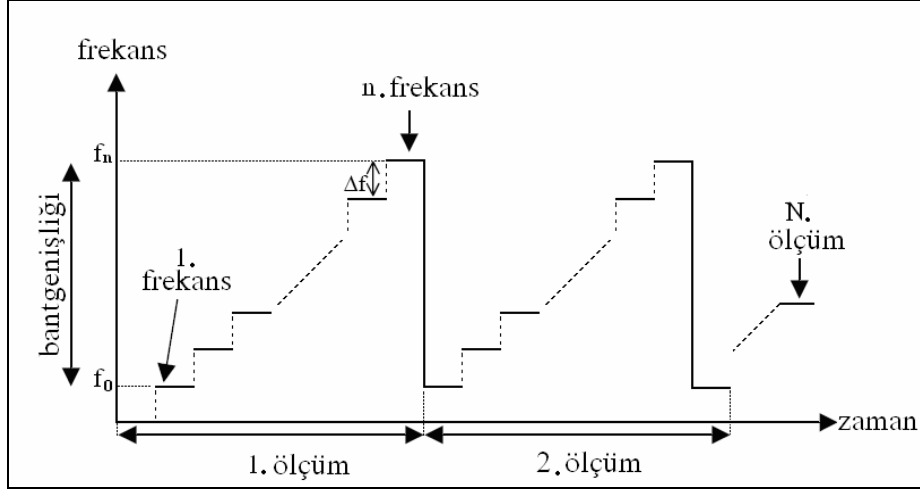
SFCW radar sistemi sürekli değişen taşıyıcı dalgayı gerilim kontrollü osilatör üzerinden seçilen frekansla gönderir. Alınan sinyal, gönderilen dalga şekliyle karıştırılır ve alınan sinyalin fazıyla ilişkili farklı bir frekansla sonuçlanır.

SFCW radarında verici zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. Eğer değişim doğrusal ise ve hedeften T_d zamanında döndüğü kabul edilirse;

$$T_d = \frac{2R}{c} \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Burada, R menzil, c ışık hızıdır [10].

Frekans adımlı sürekli dalga radarda, iletilen sinyal, yükselen adım frekanslarının miktarından oluşmaktadır (Şekil 2.7). SFCWR'de her bir adım frekans sinyaline göre alınan sinyalin faz ve genlik bilgisi ölçülür. Elde edile bu ölçümdeki, karmaşık diziyi içeren faz bilgisi, saçıcının hedef bilgisini vermektedir.



Şekil 2. 7 SFCWR'da frekans adımlarının temsili

SFCWR'de başlangıç frekansına f_0 ve sabit yükselme frekansı da Δf olduğunda alınan dizideki n . örneğin frekansı,

$$f_n = f_0 + n\Delta f \quad n = 0 \dots M - 1 \quad (2.5)$$

şeklinde olacaktır. Serbest bir uzayda, orijinden R mesafe uzaklıktaki bir noktasal saçıcı için, geri yansıyan elektrik alan sinyali, frekans bölgesinde şu şekilde ifade edilir;

$$E_s(n) = \rho e^{-j4\pi \frac{f_n}{v} d} \quad n = 0 \dots M - 1 \quad (2.6)$$

Burada ρ hedefin yansıtıcılığıdır ve v de dalganın ortamdaki hızıdır. Homojen ve kayıpsız bir ortam için bu hız;

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

şeklindedir.

Bu sinyalin aynı zamanda dalga numarası k cinsinden ifadesi,

$$E_s(k) = \rho e^{-jk(2d)} \quad (2.8)$$

şeklindedir. (2.8)'de k vektör dalga numarasıdır ve

$$k = 2\pi \frac{f_n}{v} \quad (2.9)$$

şeklinde verilir. YNR'de bir noktadaki ölçüme A-tarama denir. Ve 2 boyutlu (2-B) B-tarama verileriye, bir yapay açıklığında, bu A-tarama verilerinin toplamasiyla elde edilir. Bir x açıklığındaki N kesikli nokta boyunca, (x_0, z_0) 'da konuşlanmış bir hedef için geri yansıma sinyali toplandığında, radar hedef uzaklığı d aşağıdaki formülle verilebilir.

$$d = \sqrt{z_0^2 + (X - x_0)^2} \quad X = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.10)$$

Böylece 2-B bir uzayda, radar anteni x yapay aralığı boyunca hareket ederken, EM saçılmalar, her bir kesikli nokta için toplanır. (x_i, z_i) 'de konuşlandırılmış ve ρ_i $i=1 \dots S$ yansıtılabilirliğine sahip S adet noktasal hedef için alınan $E_s(x, k)$ sinyali aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E_s(x, k) = \sum_{i=1}^S \rho_i e^{-jk(2\sqrt{z_i^2 + (x-x_i)^2})} \quad (2.11)$$

2.2 İleri Bakan Yere Nüfuz Eden Radar

Yere nüfuz eden radarlar, yüzey altı görüntüleme uygulamalarında tehlikeli maddelerin tespitinde kullanılmaktadır. Patlayıcı maddelerin tespitinde daha iyi bir uygulama olan araca monteli yere nüfuz eden radar sistemleri, ileri bakan yere nüfuz eden radarlardır (IBYNR). Gömülü mayınların tespitinin ve sınıflandırmasının, aracın konumundan güvenli bir uzaklıkta tespit edilmesi gerekmektedir. Bu sistemlerin öncelikli hedefi, saklı objelerin önceden tespit edilmesi ve hızlı bir şekilde uyarı verebilmesidir. IBYNR sistemleri anten dizilerini bünyesinde barındırır. Bu antenler elektromanyetik enerjiyi, belirli bir açıyla aşağıya doğru yatay olarak yönlendirir (Şekil 2.8). Bu teknik ile radar, yüzeyin antenlerden belirli bir menzil uzaktaki alanını aydınlatır. Bu sayede radarın tehlikeli maddelerden güvenli bir uzaklıkta konumlanmasına izin verir.

radarın antenleri aracın ön kısmında yer alır ve uzak emniyet mesafesi ile ilgili zemin yüzeyini inceler. Şekil 2.8’de sistemin diyagramını göstermektedir. İleri bakan yere nüfuz eden radarın, kara mayını radar kesit alanı tepe görüşlü olanından daha küçüktür. Bu durum ileri bakan yere nüfuz eden radarın mayın tespitinde zorlayıcı bir problem yaratır. Ancak, ileri bakan yere nüfuz eden radarın, tepe görüşlü yere nüfuz eden radardan fazla birçok avantajı vardır. IBYNR zeminden gelen güçlü yansımalarından etkilenmez ve TGYNR’ a göre daha geniş alandan daha kısa süre içerisinde bilgi toplayabilir. Dahası, IBYNR sistem ileri hareket ettiği için aynı noktada birden fazla gözlem yapabilme yeteneği sağlar ve tespit kapasitesini geliştirmek için çoklu görüş yapısının avantajını kullanır. Bu değerler sebebiyle, IBYNR kara mayın tespit topluluğu tarafından önemli bir teknoloji olarak düşünülür. IBYNR sistemi sahneden yansıyan görüntünün yeniden oluşturulmasına bağlı olarak gömülü hedefleri tespit edebildiği için yüksek kalite radar görüntü oluşumu zorunludur. Ancak yüksek kalite IBYNR görüntüleme takip eden sebeplerden dolayı zorlayıcı bir görevdir. Elektromanyetik dalgaların pürüzlü zemin yüzeyinden gelişigüzel doğrultuda beklenmeden saçılması, gömülü hedef alanından saçılan alanı bozup, belirsizleştirerek karışıklığa neden olur.

IBYNR sistemleri kapasitesinin yanında, zayıflıkları bulunan sistemlerdir. Bu sebeple, sistemin fiziksel doğasından kaynaklı kısıtlamaları en aza indirmek ve hedef tespitinin iyileştirilmesi için sinyal işleme tekniklerinin geliştirilmesi bu araştırmanın amaçlarından biridir.

SENTETİK AÇIKLIK RADARI

3.1 Sentetik Açıklık Radarı

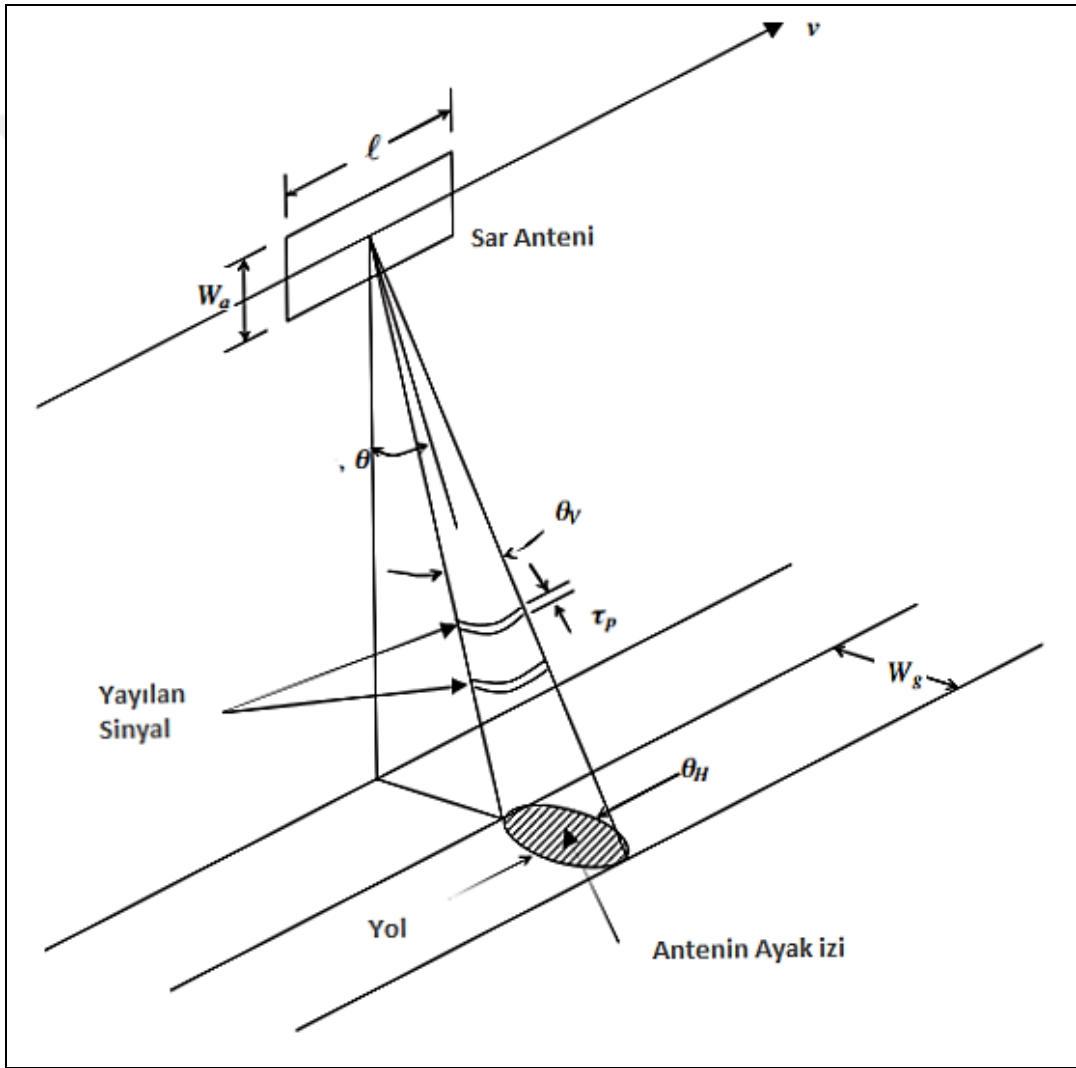
Geleneksel radar sistemlerinde gönderilen ve alınan işaret arasındaki zaman gecikmesinden hedefin uzaklığı tespit edilmektedir. Daha sonraları, Doppler kaymaları hedeflerin hızlarını belirlemede kullanılmıştır. 1951 yılında, Goodyear Aerospace’te çalışan Carl A. Wiley, radar ile hedefin veya yeryüzünün iki boyutlu görüntüsünün oluşturulabileceğini bulmuştur. Carl Wiley’in önerdiği yöntemde, gerçekleştirilebilir bir anten ile alınan işaretler analiz edilerek pratikte gerçekleştirilemeyecek çok uzun bir anten etkisi yaratılmaktadır. Bu nedenle, yöntem, Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar), kısaca SAR olarak adlandırılmaktadır. SAR, 20. yüzyılın en ileri mühendislik buluşlarından birisidir [13-14]. SAR sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasının başlıca sebeplerinden birisi, SAR sistemlerinin gerçek açıklıklı (real aperture) radar sistemlerine göre daha iyi yatay eksen çözünürlüğü sağlamalarıdır.

3.2 SAR’ın Temel Prensipleri

SAR yönteminde, hareketli bir platformla taşınan radar, mümkün olduğunca sabit bir hızla ileri yönde hareket ettirilmektedir. Radar, ileri yönlü hareketi esnasında, belirli bir süre boyunca belirli sayıda darbe göndermektedir. Radar tarafından gönderilen darbelerle ait yansıyan işaretler yine radar tarafından toplanmaktadır. Toplanan işaretler, uygun biçimde kaydedilmekte ve birleştirilmektedir. Bu sayede yapay açıklık oluşturulmaktadır. Platformun hızı ve toplam darbe gönderme süresi yapay açıklığın boyunu belirlemektedir. SAR yönteminde her nokta daha uzun süre gözlenmektedir. Bu

sayede platformun ilerleme yönüne paralel olan yatay eksen doğrultusunda, aynı boydaki gerçek açıklıklı bir antene göre, yüksek çözünürlük elde edilmektedir. Örnek bir SAR sistemi Şekil 3. 1’de gösterilmektedir.

SAR sisteminde çözünürlük (resolution), farklı iki hedefin birbirinden ayırt edilebilmesi için aralarında bulunması gereken en düşük mesafedir. Bu aynı zamanda uzamsal çözünürlük (spatial resolution) olarak da adlandırılmaktadır. Çözünürlük, SAR sisteminin performansını belirleyen en önemli parametrelerdendir ve iki boyutta, menzil ve azimut, ölçülmektedir.



Şekil 3. 1 SAR sistemi

Radarın hedefe göre hareketli olması sebebiyle, hedefe çarparak dönen sinyal frekans düzleminde kaymış olur. Doppler kayması olarak adlandırılan bu kayma, hedef radarın ilerisindeyse pozitif, gerisinde ise negatif bir değişimdir. Doppler kayması aşağıdaki

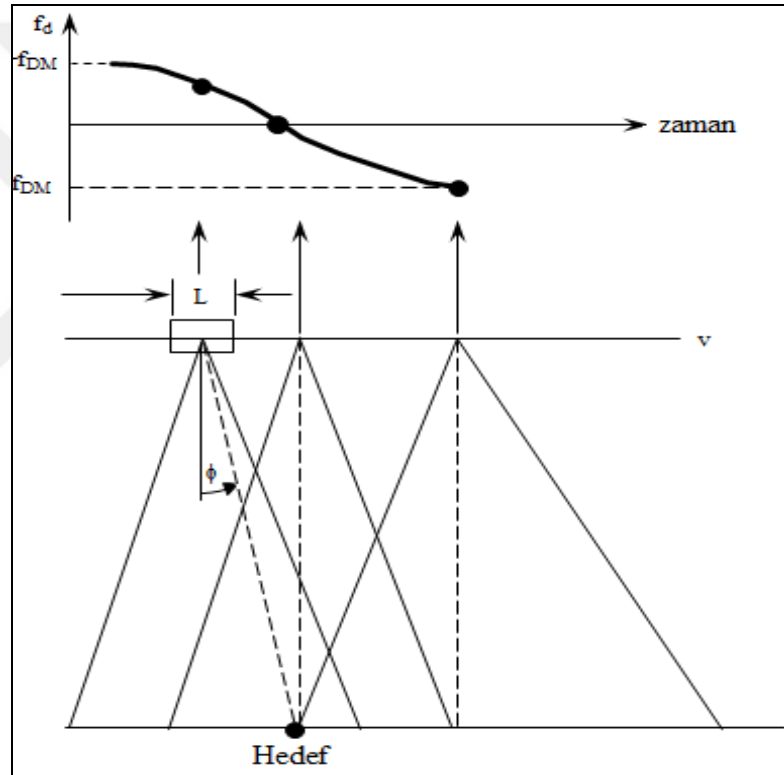
eşitliğe bağlı olarak hesaplanır. Faz kayması (φ) ve doppler frekansı (f_d) birbirine bağlı terimlerdir. Fazın zamana karşı değişimi frekans değerini verir.

$$f_d = \frac{2v}{\lambda} \sin \varphi \quad (3.1)$$

Yatay eksen (azimut) çözünürlüğü (along track resolution), v radarın hareket hızı, f_{DM} doppler kayması olmak üzere, anten boyunun yarısına eşittir.

$$X_a = \frac{v}{2f_{DM}} = \frac{L}{2} \quad (3.2)$$

Şekil 3.2’de doppler kaymasının hedefin konumuna göre değişimini gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Doppler kaymasının gösterimi

3.3 SAR Algoritması

Hedefe ait noktadan gelen yansıma, ölçüm yapılan noktaya belirli bir faz kaymasıyla ulaşır. Frekans domenindeki faz kayması, zaman domeninde iki sinyal arasındaki zaman farkına tekabül eder [15]. Darbeli YNR sisteminde, i . antenin hedefe uzaklığı d_i olarak kabul edilirse, alıcıya dönen sinyaldeki zaman gecikmesi,

$$\tau_i = 2d_i / v \quad (3.3)$$

V , dalganın yayılma hızı olmak üzere yukarıdaki eşitliğe karşılık gelir.

SAR tekniği çözünürlüğü geliştirmek için kullanılan en iyi sinyal işleme tekniklerinden biridir. Bu teknikle, antenin hareketi boyunca elde edilen veriler sentezlenerek, antenin uzunluğu fiziki olmasa da uzatılır. SAR, uzun dalga boylarının kullanımına izin vererek, çözünürlüğün arttırılmasını sağlar [16-17].

SAR algoritması hayali bir dizi oluşturarak, radarın ayak izinde bulunan alanda daha yakın huzme elde edebilmesiyle oluşturulur. Antenin her noktadaki SAR huzmesini elde etmek için, zaman gecikmesi (τ_i) zaman domeninde hedeften (r) yansıyan sinyale hedefin uzaklığına bağlı olarak eklenir. Zaman farkı, hedef ile ilgili noktadaki antenin uzaklığına bağlıdır. Bu uzaklık d_i verilir ve aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$d_i = \sqrt{H_T^2 + (|i - j| * a)^2} \quad (3.4)$$

H_T referans antenin (j . anten) hedefe olan düşey uzaklık, a anten dizisi arasındaki uzaklıktır. Referans antenlerin referans noktasına olan uzaklığı, Δd_i aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta d_i = d_i - H_T \quad (3.5)$$

i . antenden hedefe yansıyan sinyal, τ_i gecikmesiyle hedefe ulaşır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau_i = 2\Delta d_i / v \quad (3.6)$$

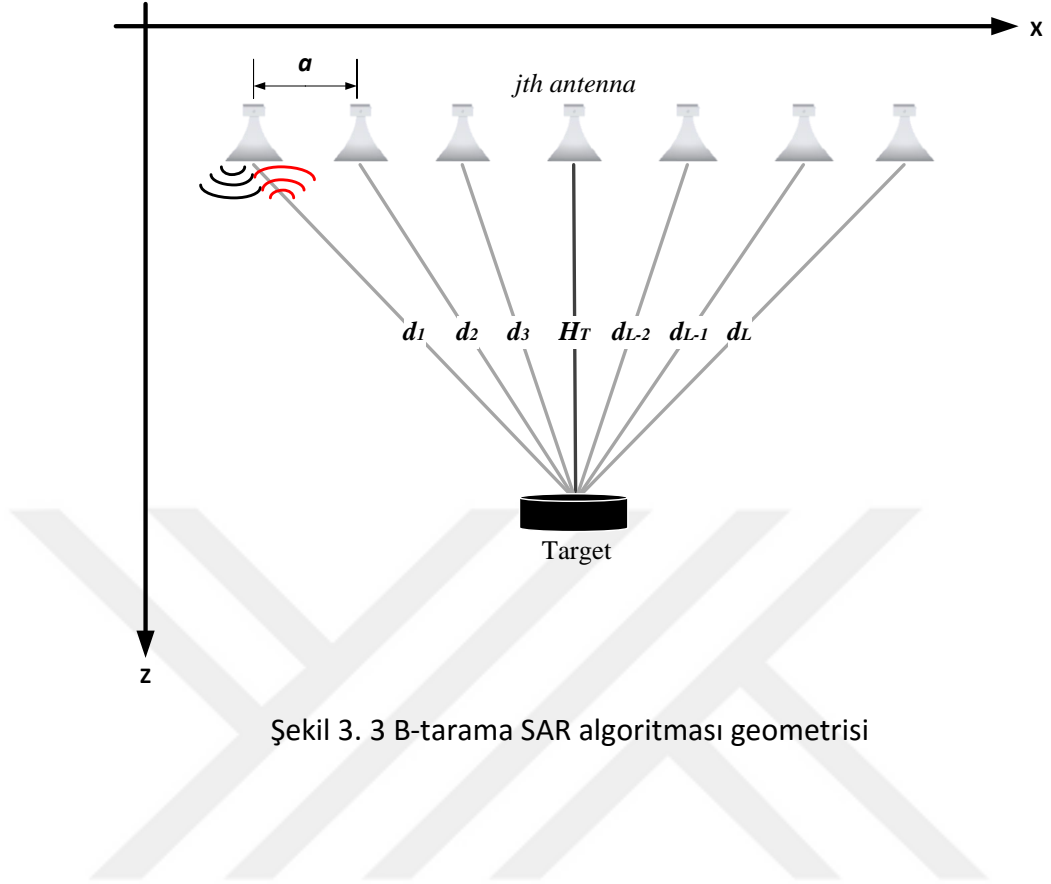
Böylece, SAR etkisi, r_{SAR} , aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$r_{SAR}(t) = \sum_{i=1}^L r_i(t - \tau_i) \quad (3.7)$$

L , hayali dizi elamanlarının sayısı, sentetik açıklığın uzunluğu ise aşağıdaki gibidir.

$$L_{SAR} = L * a \quad (3.8)$$

Sentetik açıklık radarının örnek bir geometrisi şekil 3. 3'te gösterilmiştir.



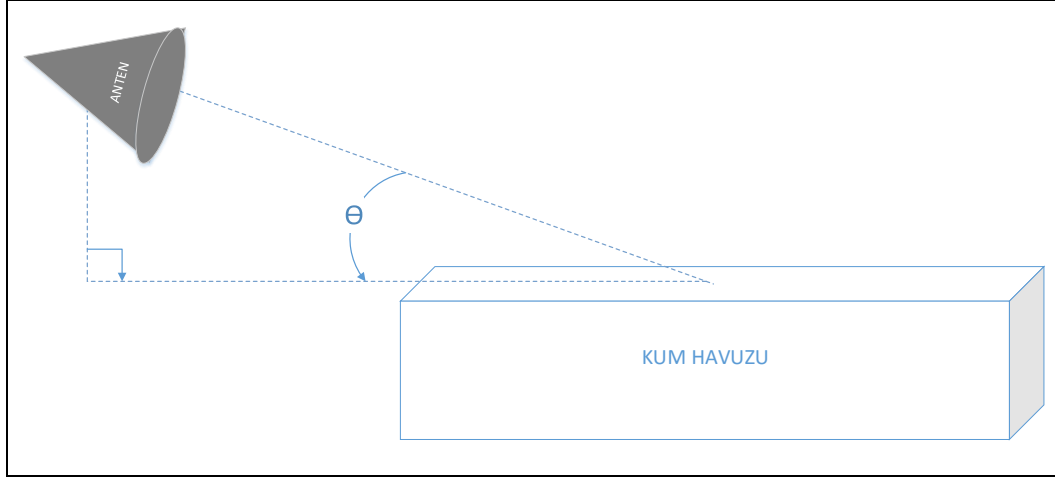
Şekil 3. 3 B-tarama SAR algoritması geometrisi

MATERYAL VE METOD

Çalışmanın ilk bölümünde araştırılan bilgiler ışığında, 'CST Microwave Suite' simülasyon programında çalışmalar yapılmıştır. Bu benzetim çalışmalarının devamında, mikrodalga laboratuvarındaki toprak havuzda ileri bakan YNR sistemi ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler ve benzetim sonuçları kullanılarak, yapay açıklık radarı yöntemleri MATLAB programında oluşturulan algoritmalar ile geliştirilmiştir.

4.1 Benzetim Çalışmaları

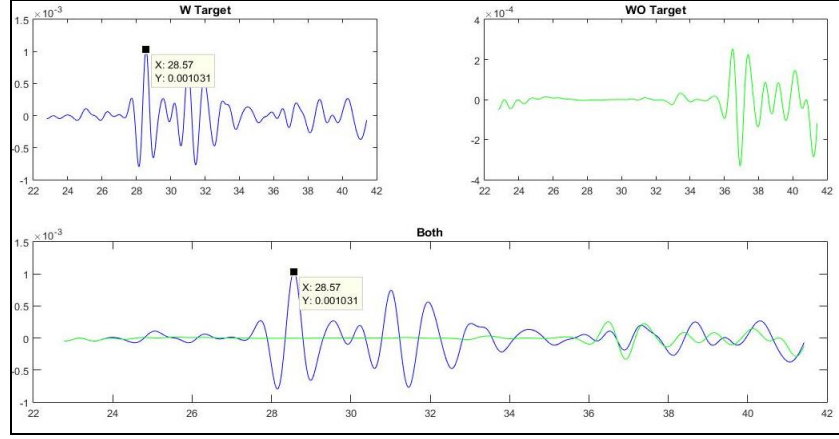
Bu bölümde, oluşturulan test ortamında tespit edilmek istenen hedefler, 'CST Microwave Suite' simülasyon programında toprak havuz içine yerleştirilmiş ve YNR sistemi kullanılarak simüle edilmiştir. Bu benzetimlerin amacı, ileri bakan YNR senaryosunda antenin hedefe göre konumlanma açısının en uygun olarak tespit edilmesidir. Şekil 4.1'de görüleceği gibi bu açı ileri bakan radar senaryolarında 25° ile 45° arasında değişmektedir. Havuzun içinde gömülü olan metal mayın, plastik ve tel için en uygun açı tespit edilmeye çalışılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir.



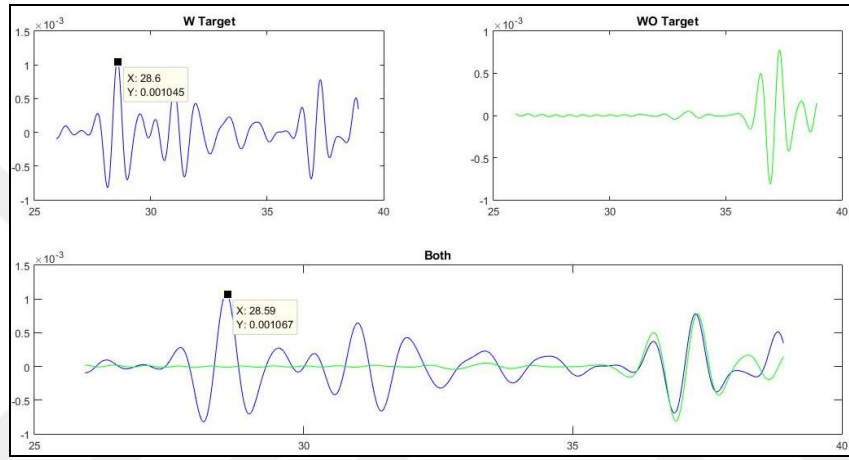
Şekil 4. 1 İleri bakan YNR senaryosunda antenin hedefe bakış açısı

Benzetimler, farklı senaryolar ve farklı amaçlar için tekrarlanmıştır. Senaryolarda üç farklı hedef kullanılmıştır. Bunlar; metal, plastik ve tel hedeflerdir. Metal hedef, kayıplı metal olan mayın şeklindeki bakır (copper), plastik hedef bir plastik çeşidi olan teflon, tel ise metal hedef gibi bakır materyalinden oluşturulmuştur. Farklı maddelerden yapılan bu hedefler, kuru toprak içine yerleştirilerek yüzey altında, ileri bakan radar ile hedef tespiti uygulaması değerlendirilmiştir. Metal hedef topraktan 20 cm derine, plastik hedef 10 cm derine, tel hedef ise 5 cm derine gömülmüştür. Simülasyonda kullanılan toprak, kuru kumlu topraktır (sandy soil dry). Yalıtkanlık sabiti (ϵ_r) 2,53 ve manyetik geçirgenlik sabiti (μ_r) 1 olarak alınmıştır.

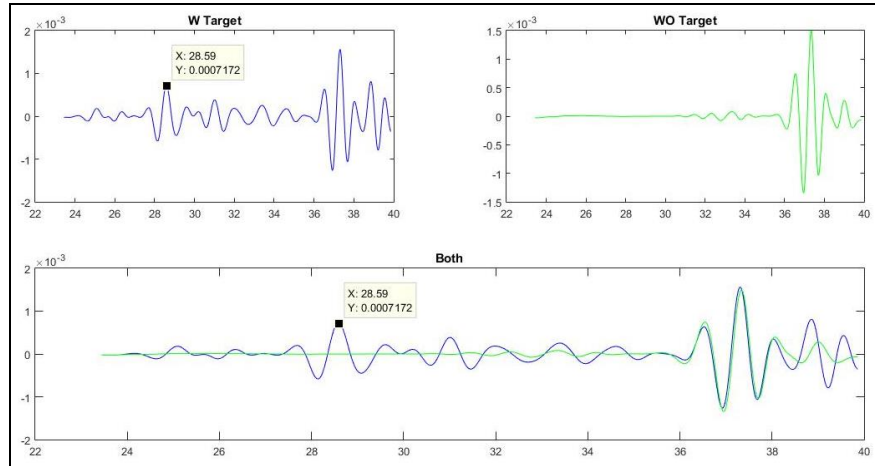
İlk senaryoda, metal malzemenin tespit edilme başarısı kuru toprakta açıların değişimine göre değerlendirilmiştir. Açı değişimi antenin konumu değiştirilmeden sadece bakış açısı, eğikliği, değiştirilerek yapılmıştır. Bu ölçümde değerlendirilmek istenen, antenin fiziki olarak yerinin değiştirilmeden, ölçüm yüzeyine olan açısı değiştirilerek en iyi açının belirlenmesidir. Araç üstü ileri bakan radar uygulamalarında anten araç üzerinde sabit kalabilir veya maksimum yüksekliğinin sınırlı olduğu bir durum oluşabilir. Böyle bir uygulamada sadece antenin eğikliği değiştirilerek maksimum yansıma sinyali ölçülen açının tespiti kritik olacaktır.



Şekil 4. 2 Mayıs hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 3 Mayıs hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 4 Mayıs hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu

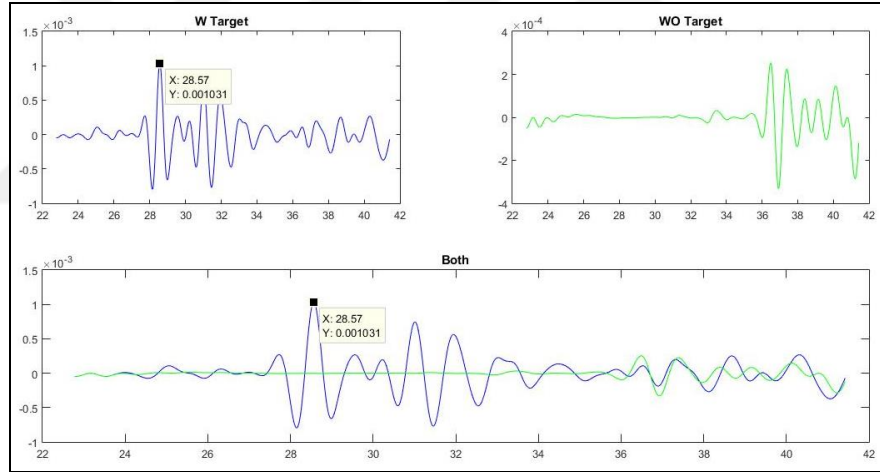
Bu üç ölçümden elde edilen değerler aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir. Sonuçlara göre antenin eğikliği 35 derecede en uygun değerdedir.

Çizelge 4. 1 Mayın hedef anten eğikliği benzetim sonuçları

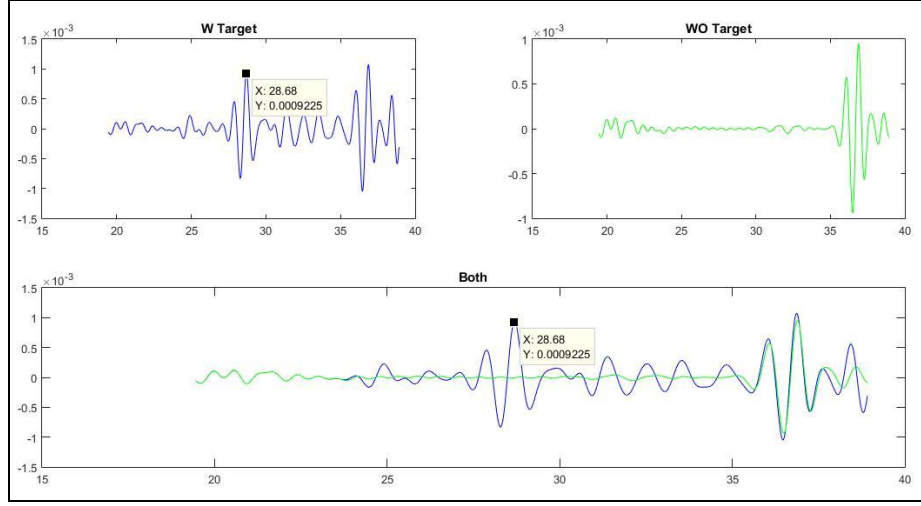
Eğiklik Açısı	45	35	25
Metal Mayın	0.001031	0.001067	0.0007172

Bir diğer senaryoda, ilk senaryoda kullanılan metal mayın hedefinin antenin huzmesinde kaldığından emin olmak için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Antene olan direk uzaklık değiştirilmeden, belirli bir yay üzerinde antenin konumu değişecek şekilde açılar değiştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Burada amaç anten konumunu değiştirmenin her hangi kısıtlaması olmadığı durumlarda, hedefin huzme içinde kaldığından emin olarak maksimum yansıyan sinyal seviyesinin elde edilmesidir.

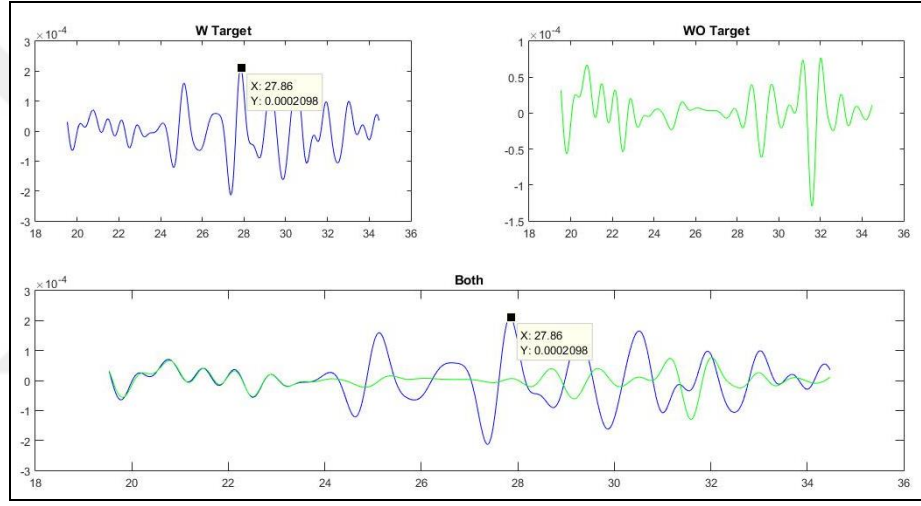
Bu üç ölçümünden elde edilen değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sonuçlara göre hedef huzme içinde kalıyorsa antenin hedefe bakış açısı 45 derecede en uygun değerdedir.



Şekil 4. 5 Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 45 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 6 Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 35 derece iken benzetim sonucu

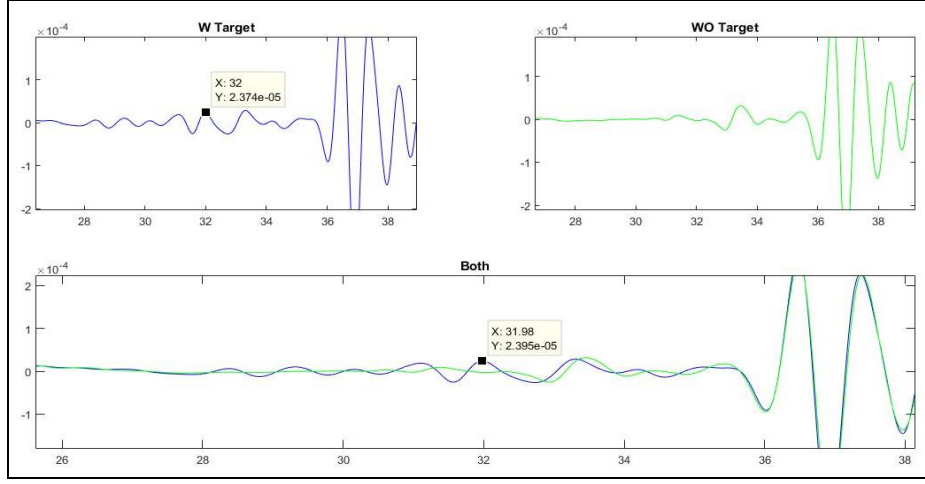


Şekil 4. 7 Mayın hedef- antenin huzmesi içinde 25 derece iken benzetim sonucu

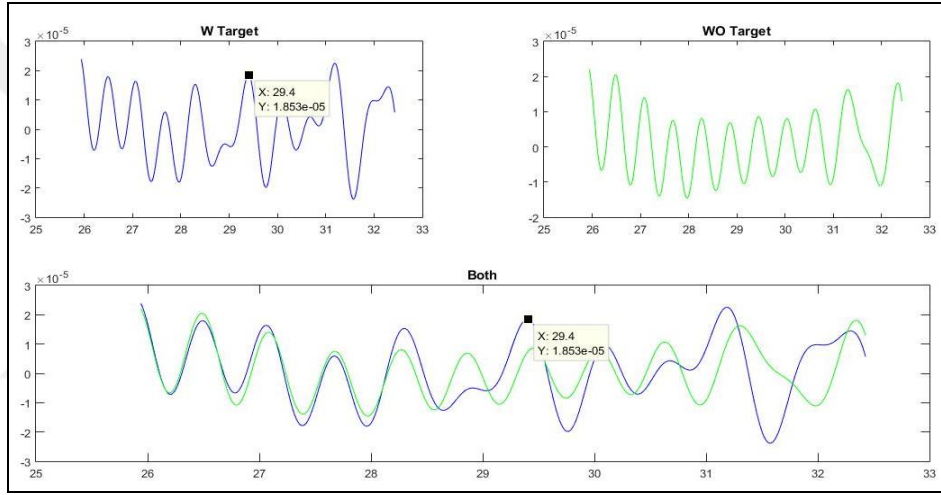
Çizelge 4. 2 Mayın hedef- antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları

Antenin hedefe bakış açısı	45	35	25
Metal Mayın	0.001031	0.0009225	0.0002098

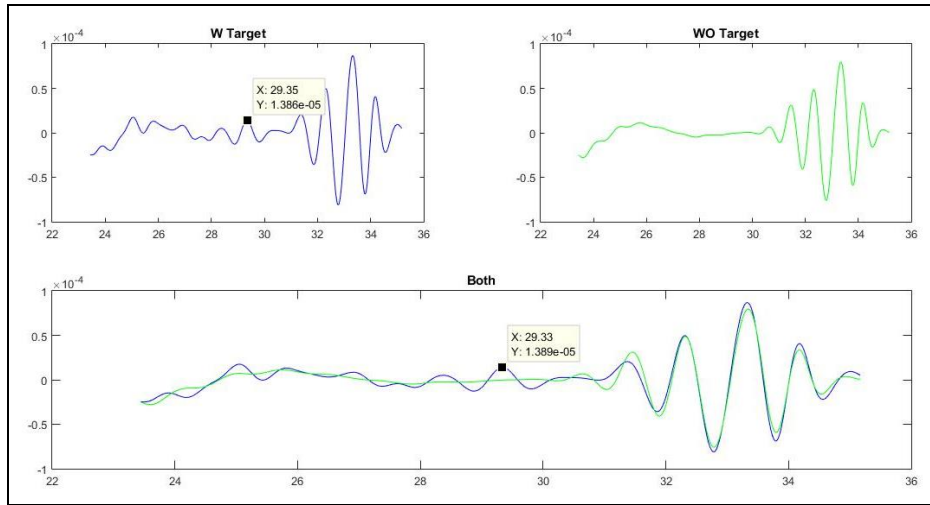
Plastik maddenin kullanıldığı bu senaryoda 1. senaryoda olduğu gibi antenin konumu sabit tutulup, eğikliği değiştirilerek en iyi açı bulunması amaçlanmıştır.



Şekil 4. 8 Plastik hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 9 Plastik hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu



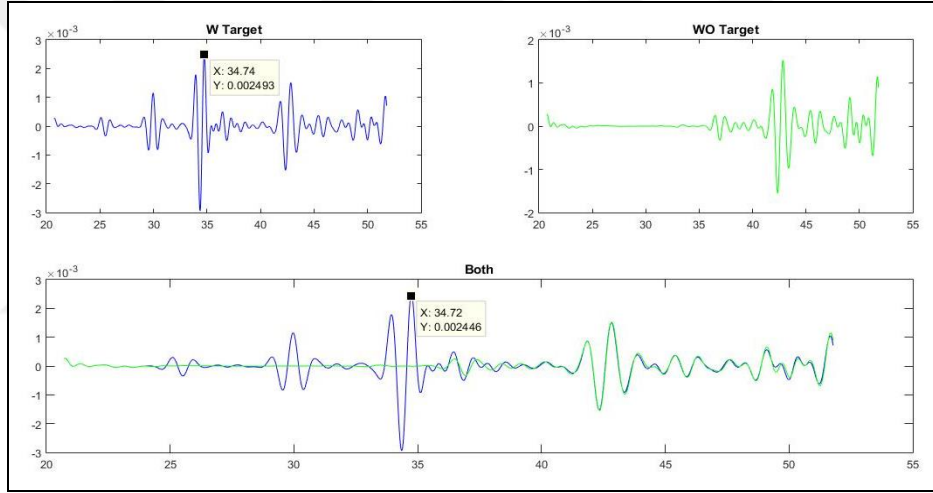
Şekil 4. 10 Plastik hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu

Bu üç ölçümden elde edilen değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sonuçlara göre antenin eğikliği 45 derecede en uygun değerdedir.

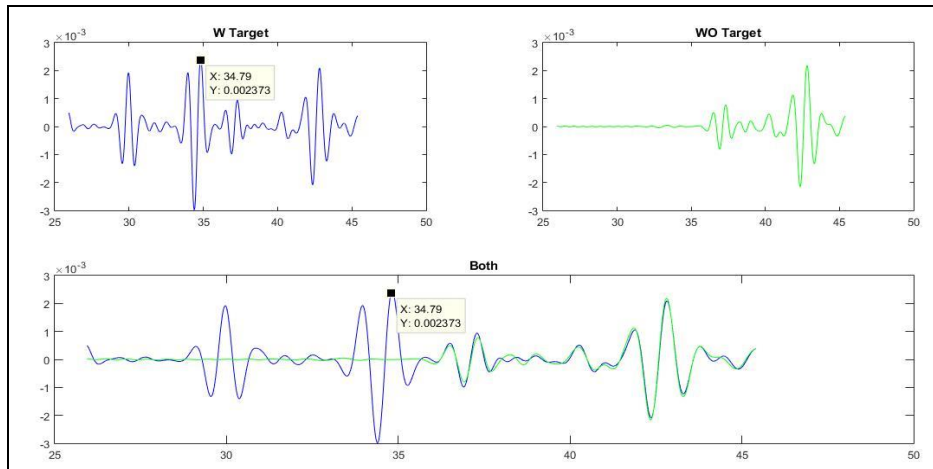
Çizelge 4. 3 Plastik hedef anten eğikliği benzetim sonuçları

Eğiklik Açısı	45	35	25
Plastik Şişe	0.00002684	0.00001853	0.0000142

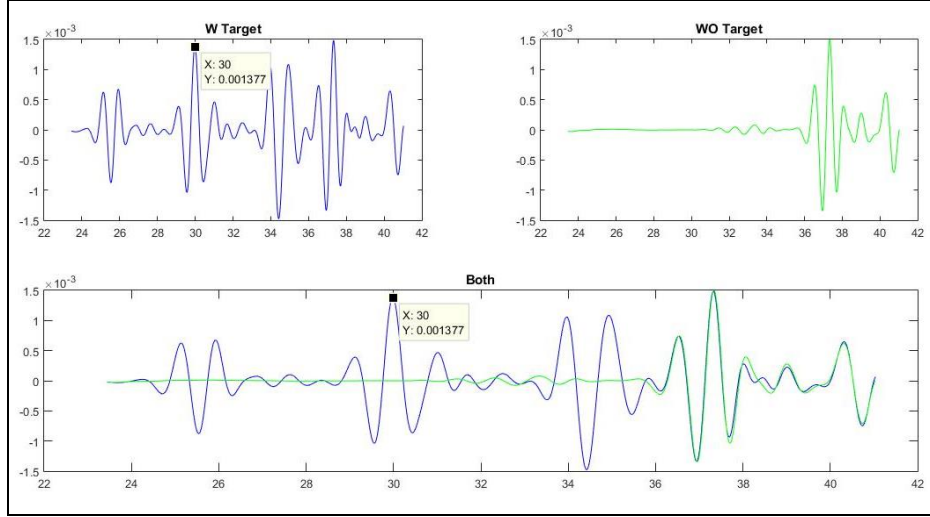
Bir diğer senaryoda, toprak altına yerleştirilen bakır tel inceliğindeki hedefin tespiti üzerinde çalışılmıştır. Bakır tel, toprağın 5 cm derinine gömülmüştür. Tel ile yapılan ölçümlerde en iyi açının tespitinin yanında, telin polarizasyonu değiştirilerek polarizasyonuna göre telin tespit edilebilme başarısı da değerlendirilmiştir. Bir önceki hedeflerde olduğu gibi ilk olarak antenin konumu sabit tutulup eğikliği değiştirilerek benzetimler gerçekleştirilmiştir. Sonuçları aşağıdaki gibidir.



Şekil 4. 11 Tel hedef- anten eğikliği 45 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 12 Tel hedef- anten eğikliği 35 derece iken benzetim sonucu



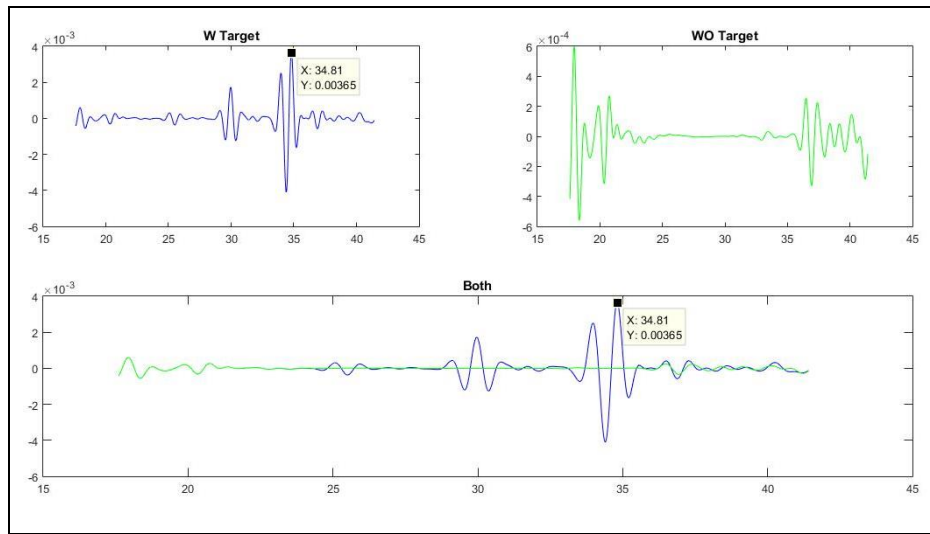
Şekil 4. 13 Tel hedef- anten eğikliği 25 derece iken benzetim sonucu

Bu üç ölçümden elde edilen değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sonuçlara göre antenin eğikliği 45 derecede en uygun değerdedir.

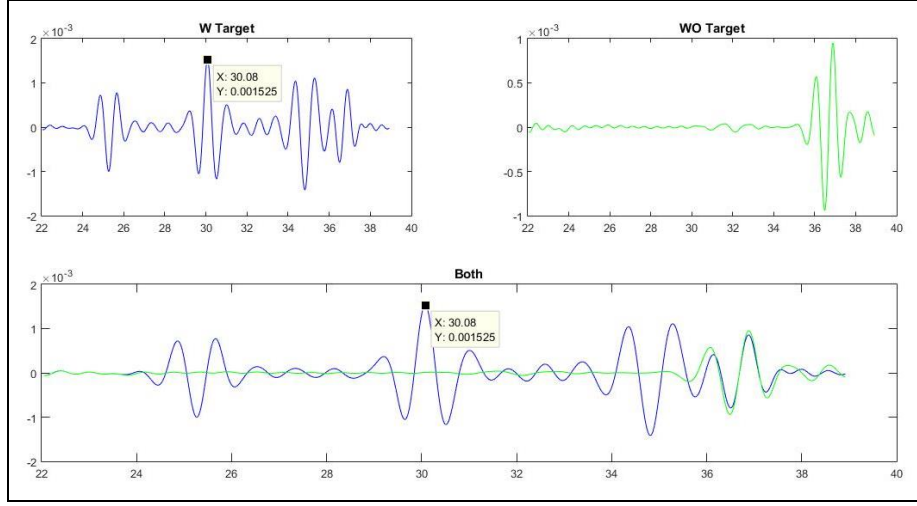
Çizelge 4. 4 Tel hedef anten eğikliği benzetim sonuçları

Eğiklik Açısı	45	35	25
Tel	0.002493	0.002373	0.001377

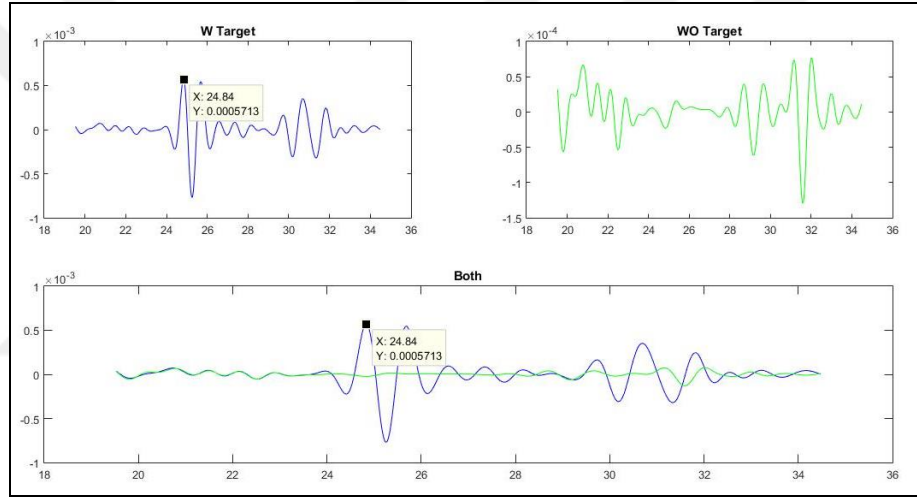
Bakır tel ile yapılan diğer bir benzetimde, metal ile yapılan 2. benzetimde olduğu gibi hedefin antenin huzmesinde kaldığından emin olmak için antene olan direk uzaklık değiştirilmeden, belirli bir yay üzerinde antenin konumu değişecek şekilde açılar değiştirilerek benzetim yapılmıştır.



Şekil 4. 14 Tel hedef- antenin huzmesi içinde 45 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 15 Tel hedef- antenin huzmesi içinde 35 derece iken benzetim sonucu



Şekil 4. 16 Tel hedef- antenin huzmesi içinde 25 derece iken benzetim sonucu

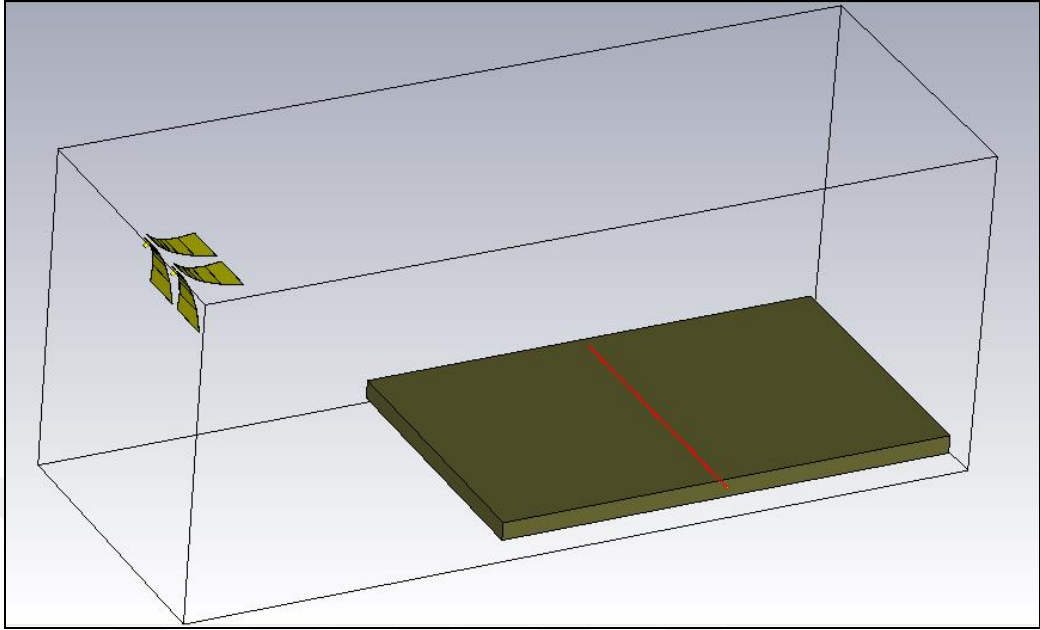
Bu üç ölçümden elde edilen değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sonuçlara göre antenin hedefe bakış açısı 45 derecede en uygun değerdedir.

Çizelge 4. 5 Tel hedef antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları

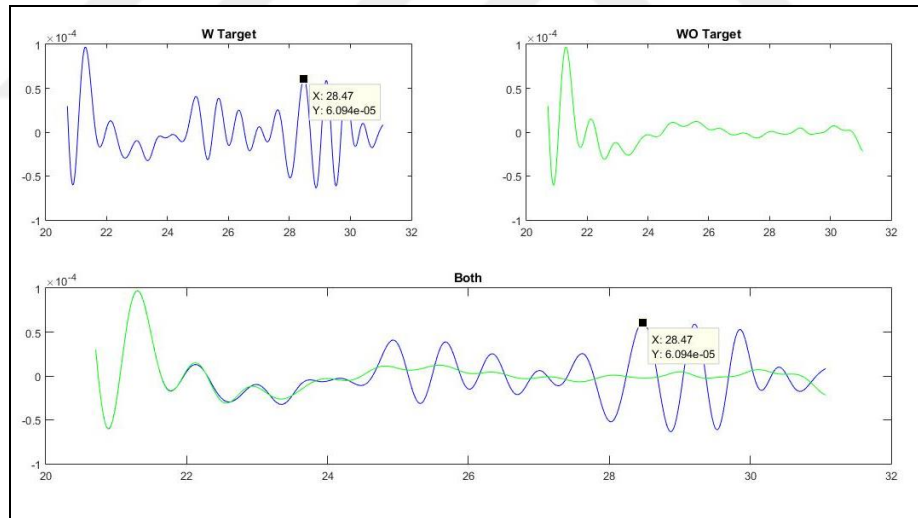
Antenin hedefe bakış açısı	45	35	25
Tel	0.00365	0.001525	0.0005713

Bakır tel ile yapılan bu benzetimde, telin antene göre polarizasyonu değerlendirilmiştir. İlk olarak antenin tele göre düşey (ters) polarizasyonlu olarak yerleştirildiği senaryo ele alınmıştır (Şekil 4.17). Anten ve tel ters polarizasyonlu olduğu durumlarda, tel üzerinde

düşey olarak, telin kalınlığına bağılı olarak küçük akımlar oluşur. İnce olan telde bu senaryoda hedeften alınan sinyal yatay (düz) polarizasyona göre düşük olacaktır.

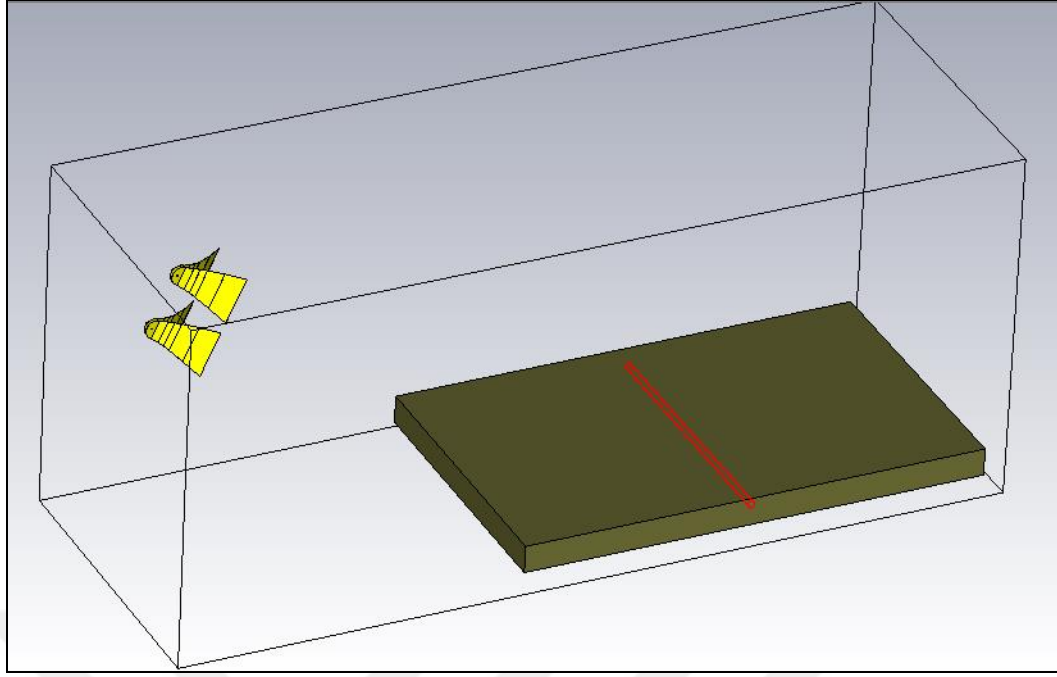


Şekil 4. 17 Anten düşey(ters) polarizasyondaiken benzetim ortamı

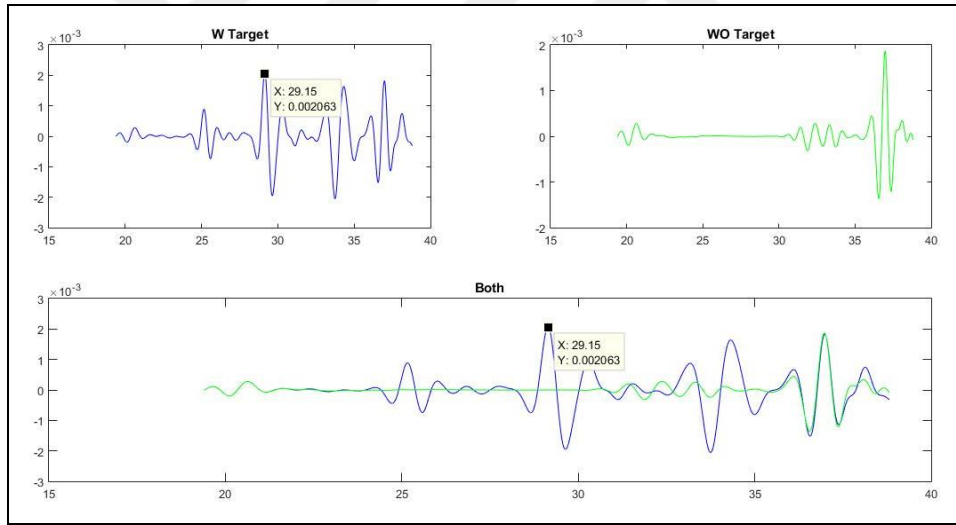


Şekil 4. 18 Anten düşey (ters) polarizasyondaiken benzetim ortamı

Bakır telin polarizasyonunu değerlendirmek için yapılan bir diğer benzetimde ise anten yatay polarizasyonlu olacak şekilde konumlanmıştır. Bu senaryoda telde yatay polarizasyon sebebiyle yatayda birçok akım parçası oluşur ve diğer polarizasyona göre daha kuvvetli bir yansıma sinyali alınabilir. Şekil 4.19'da bu benzetim ortamı gösterilmiştir.



Şekil 4. 19 Anten yatay (düz) polarizasyondaiken benzetim ortamı



Şekil 4. 20 Anten yatay (düz) polarizasyondaiken benzetim ortamı

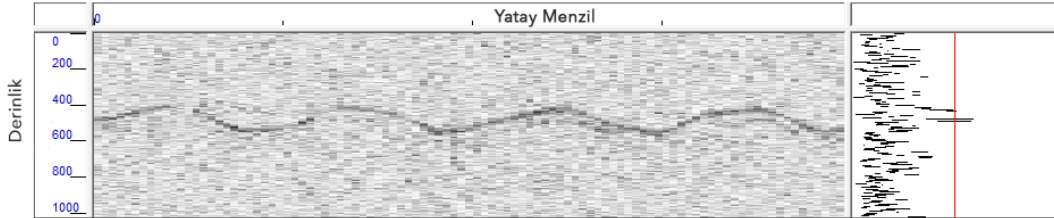
Antenin polarizasyonunu değerlendirdiğimiz benzetim sonuçlarından edindiğimiz bilgiye göre, düz polarizeli bir sistem ile tel hedefi rahat bir şekilde tespit edebilmekteyiz. Ters polarizeli sisteme göre 30 kat daha güçlü yansıyan sinyal, alıcı anten tarafından tespit edilmiştir. Bu iki benzetim sonuçları aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4. 6 Tel hedef antenin huzmesi içinde iken benzetim sonuçları

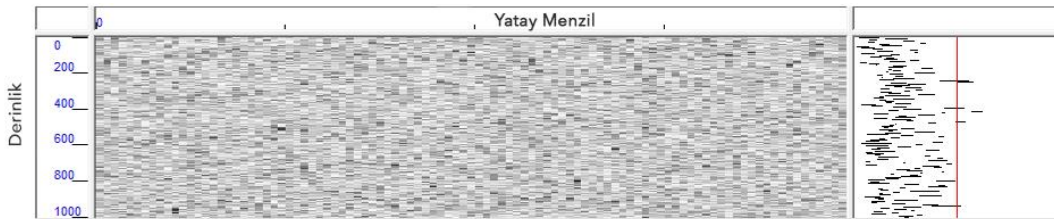
	Ters Polarize	Düz polarize	Sinyal oranı (düz/ters)
Tel Hedef	0.00006094	0.002063	33.9

4.2 Tel Hedef Tespiti Ölçümleri ve Sonuçlar

Bir önceki bölümde bakır tel ile yapılan benzetim çalışmaları sonucunda telin antene göre polarizasyonunun, tel hedefin tespitinde çok önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Bu benzetim sonuçlarından hareketle, darbeli YNR sistemi kullanılarak toprak altına gömülü olan tel hedef için ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerde amaç, düz polarizasyonlu veya ters polarizasyonlu olarak konumlandırılmış telin hedef tespitindeki önemini ve farkını tespit etmektir. Ölçüm sonuçlarından beklediğimiz, bakır tele düz polarizasyonlu olarak konumlanmış anten ile yapılan ölçümde telin tespitinin, ters polarizasyona göre daha başarılı olmasıdır. Elde edilen ölçüm sonuçlarında da bu desteklenmiştir. Aşağıdaki sonuçlarda görüldüğü üzere düz polarizasyonda telin tespiti mümkünken, ters polarizasyonda aynı başarı elde edilememiştir. Bu ölçüm, YNR sistemi ve 72 V pulser kullanılarak horn antenlerle yapılan bir test ölçümüdür. Ölçümde 15 metre uzunluğunda kablo kullanılmıştır.



Şekil 4. 21 Anten yatay (düz) polarizasyondayken ölçüm sonucu



Şekil 4. 22 Anten düşey (tez) polarizasyondayken ölçüm sonucu

4.3 Test Ortamı ve Ölçümler

Bu tez çalışmasında, darbeli YNR ile yapılmış olan 3 farklı ölçüm senaryosu ele alınmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. İlk olarak ileri bakan YNR uygulaması olarak, kuru toprak havuzunda gömülü olan 3 farklı cisimle yapılan ölçüm ele alınmıştır. Bunlar; metal, plastik ve kablo hedeflerdir. Metal hedef, tünel içine yerleştirilmiş olan kayıplı metal, plastik hedef plastik şişe ve elektrik kablosundan oluşturulmuştur. Bu ölçüme ek olarak yakın açık alanda yapılan 2 farklı ölçüm değerlendirilmiştir. Yakın alan ölçümlerinde 2 cisim ile ölçümler yapılmıştır. İlk ölçümde veriler, 2 cm aralıklarda 150 adım kaydedilmişken 2. ölçümde 3 cm aralıklarla 100 adım kaydedilmiştir.

İlk çalışmada, yere nüfuz eden radar sisteminden alınan zaman domeni verileri bilgisayar ortamına aktarılmış, aktarılan veri üzerinde sinyal işleme teknikleri ve SAR algoritmaları uygulanmıştır. Bu ölçümde, 45 ns uzunluğunda darbeler üreten darbeli YNR (impulse GPR) kullanılmıştır. Kullanılan darbeli YNR, Geozondas GZ6E-15 dijital örnekleme osiloskobudur (digital sampling oscilloscope). Verici olarak da geniş bantlı uygulamalar için geliştirilmiş olan darbe üretici GZ1117DN-35 kullanılmıştır. Geozondas GZ6E-15 dijital örnekleme osiloskobunun özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 4. 7 Geozondas GZ6E-15 dijital örnekleme osiloskobu parametreleri

Paremetre	Değer
Düşey izleme parametreleri	
Kanal Sayısı	1
Kanalın Band Genişliği	0,1-15 GHz
Giriş empedansı	50 ohm
Yatay izleme parametreleri	
Zaman penceresi	50 ns
Zaman adımı çözünürlüğü	1 ps/nokta
Zaman penceresi için maksimum nokta sayısı	4K
PRF	500 kHz

Ölçümlerde radar verici ve alıcı anteni olarak Vivaldi Tem Horn (PDVA), double-ridged Horn anten (DRHA) kullanılmıştır. Bu antenler önceki çalışmalarda gösterildiği üzere YNR uygulamaları için tasarlanmış, etkili ve verimli antenlerdir [18-21].



Şekil 4. 23 Vivaldi TEM horn anten (PDVA)

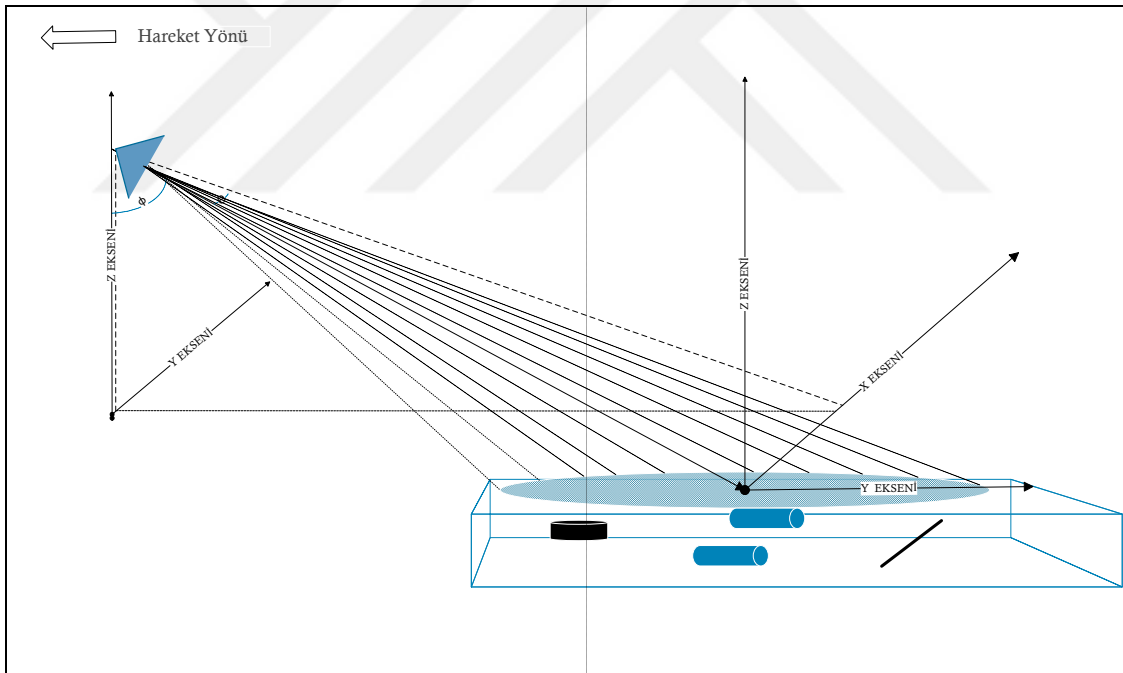


Şekil 4. 24 Double-ridged horn anten (DRHA)

Bu çalışma için, Mikrodalga araştırma laboratuvarında bulunan, kuru kum ile doldurulmuş, tahta ile çevrilmiş havuzda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Kum havuzunun boyutları 3.2 x 1.2 x 0.3 metredir.

Havuzun başlangıç noktasından 0,7 metre uzakta, hareketli platform üzerine konumlandırılan YNR sistemi geriye doğru 3 metre çekilerek ölçümler alınmıştır. Bu düzenek ilk bölümlerde anlatılan İleri bakan uygulamasına uygun olarak kurulmuştur. Bu sebeple radar anteni, havuz yüzeyine direk aşağıya doğru bakacak şekilde değil (down-looking), havuzun başından 0,7 metre uzakta, belirli bir açıyla havuzu görecek şekilde eğimli olarak yerleştirilmiştir. Radar anteni benzetim çalışmaları Şekil 4.1'de gösterildiği gibi θ açısı 25° olacak şekilde ölçüm alınmıştır.

YNR sistemi, çalışma sistemi gereği A-tarama verilerini kaydeder. Bilgisayar ortamına aktarılan bu verilerden B-tarama verisi elde edilmesi MATLAB Simulink programlama ortamında veri oluşturma koduyla gerçekleştirilmiştir. B-tarama verisinin elde edilmesinden sonra, arka plan giderme (background removal) işlemi, SAR algoritması ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar test sonuçları bölümünde sunulmuştur. Oluşturulan test senaryosu Şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 25 Oluşturan test senaryosu

4.4 SAR Görüntüleme Tekniğinin Darbeli YNR Test Sonuçlarına Uygulanması

Bu çalışmada, oluşturulan YNR sisteminden elde edilen test sonuçlarına SAR görüntüleme algoritmaları ve filtreleme işlemleri uygulanmıştır. YNR ile 45 ns sinyal genişliğinde, 1024 adım uzunluklu, her bir nokta için (A-tarama) verileri elde edilmiştir. Bu veriler B-tarama matrisine kaydedilerek 1024 x 450, 1024 x 512, 1024 x 750 boyutlarında çeşitli B-tarama verileri elde edilmiştir. Ham veriye arka plan giderme işlemi uygulanarak, SAR algoritması uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Bu ölçümler Vivaldi Tem Horn (PDVA), double-ridged Horn (DRHA) antenlerle tekrarlanmıştır. Bu antenlerle elde edilen B-taramalar, SAR görüntüleme tekniği ve filtreler uygulanarak iyileştirilmiştir.

4.4.1 Arka Plan Giderme (Background Removal)

Arka plan sinyali, toplanan verinin iyileştirilmesi için kullanılan referans sinyali olarak düşünülebilir. Bu sinyal, verici ve alıcı antenden gelen direk sinyali, antenlerden gelen 'ringing' sinyalini ve hedef dışındaki gürültü sinyalini içerir. Bu yabancı etkileri B-tarama verisinden temizlemek için 'background removal' tekniği kullanılır. Ölçümlerin hedef olmayan kısımlarından alınan referans sinyali bütün sinyalden çıkarılır [17].

$$a_B = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i(x, y, z) \quad (4.1)$$

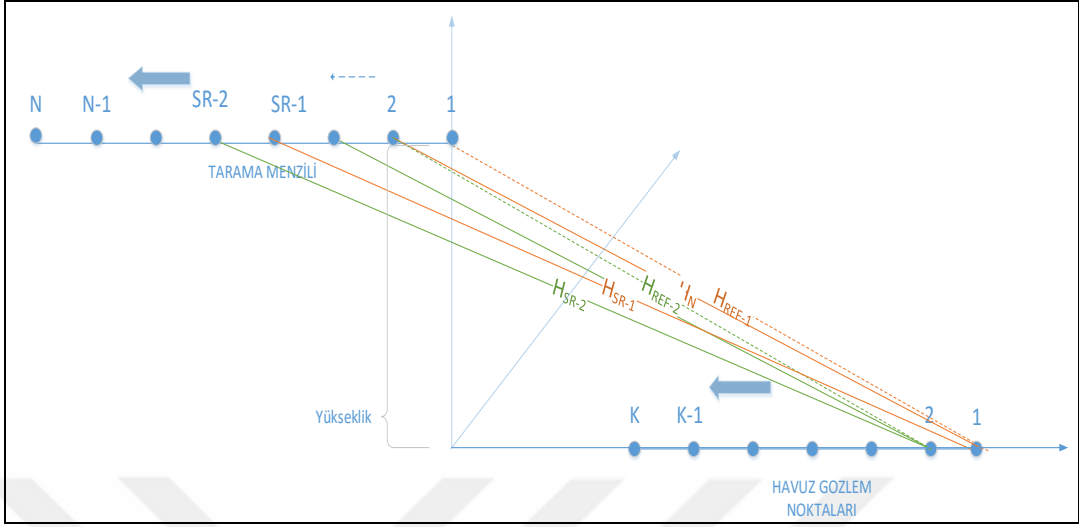
$$a_{BR}(x, y, z) = a(x, y, z) - a_B(z) \quad (4.2)$$

N , referans bölgesindeki toplam A veri sayısı, a_B hedefsiz bölgeden alınan arka plan sinyali, a_{BR} ise temizlenmiş sinyali gösterir.

4.4.2 Ölçümlere Uygulanan SAR Tekniği

Oluşturulan test ortamında gösterildiği üzere, Radar anteni havuzdan geriye doğru, 3 metre çekilerek A tarama sinyalleri kaydedilmiştir. SAR uygulamalarında amaç antenin hareket yönünde toplanan verilerin uygun biçimde birleştirilmesiyle hedef noktaya daha uzun süre bakıyor gibi yapay bir açıklık oluşturulmasıdır. Kaydedilen her bir A-tarama verisi, bir önceki noktaya göre zamanda belirli bir süre gecikerek dönen sinyali kaydeder. Veriler arasındaki zaman gecikmesi, ölçüm noktalarının hedefe olan

uzaklıklarının farkı alınarak bulunur. Bu uzaklık farkı, ışık hızına bölünerek sinyalin zamanda ne kadar geciktiği bilgisine ulaşılır.



Şekil 4. 26 Ölçüm sonuçlarına uygulanan SAR algoritması

Yukarıda gösterilen ileri bakan SAR algoritması aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.

Havuzda gözlemlenen her bir nokta için, antenin o noktaya direk olarak baktığı yerden uzaklığı referans alınmıştır. Antenlerin, hedeften yüksekliği olan *yükseklik* 0,8 metre, ölçüme başlanılan nokta ile toprak havuz arasındaki mesafe olan topraksız alan *tb* 0,7 metredir. Havuzdaki gözlem noktaları arasındaki mesafe *a*, tarama menzilineki A tarama verileri arasındaki mesafe *b* olmak üzere referans uzaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$H_{ref-k} = \sqrt{yükseklik^2 + (tb + (cc - k) * a + (k - 1) * b)^2} \quad (4.3)$$

Referans antenin gözlem noktasına olan uzaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır. Tarama menzilineki, referans anten noktaları *n* ile gösterilmiştir.

$$H_n = \sqrt{yükseklik^2 + (tb + (cc - k) * a + (n - 1) * b)^2} \quad (4.4)$$

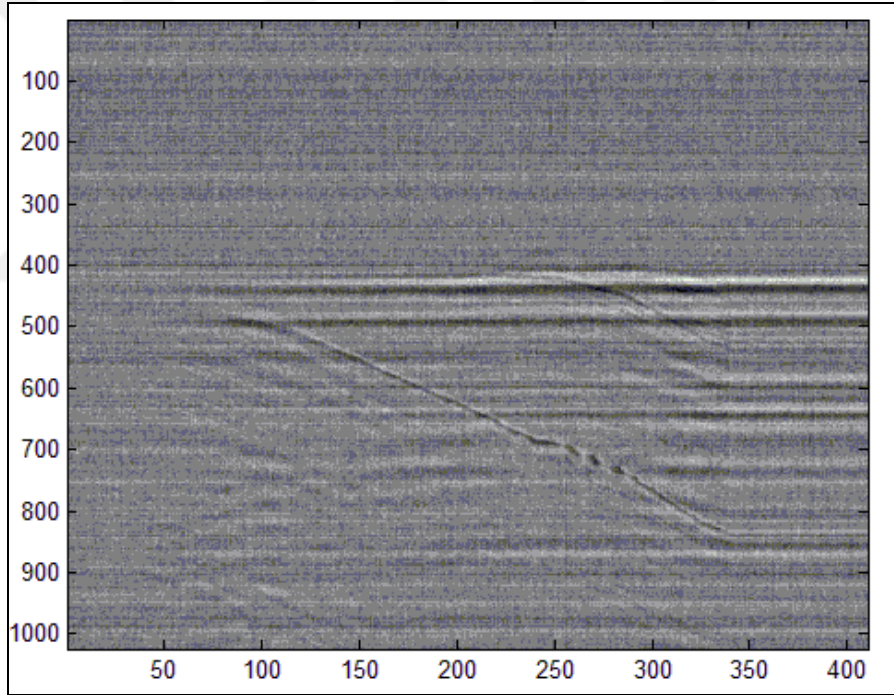
Darbeli YNR sisteminde, *n*. antenin hedefe uzaklığı H_n olarak kabul edilirse, alıcıya dönen sinyaldeki zaman gecikmesi *c* ışık hızı olmak üzere aşağıdaki eşitlikle gösterilir.

$$\tau_i = (2 * (H_n - H_{ref-k}) / c) \quad (4.5)$$

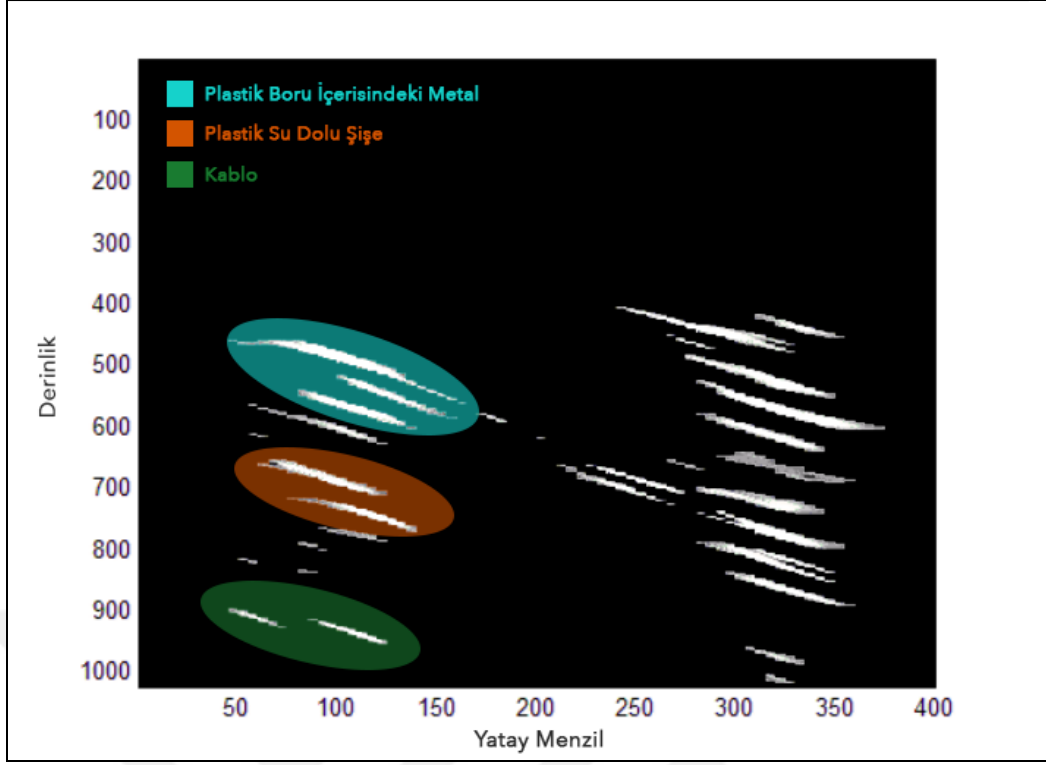
Bu zaman gecikmesini, 1024 uzunluklu A tarama verilerinde kullanabilmek için, bu zaman gecikmesinin A tarama sinyalinde kaç adıma tekabül ettiğini tespit etmemiz gerekir. SAR görüntüleme penceresinde kalan alanda sinyalleri sentezleyerek, aynı noktaya bakıyormuş gibi hesaplanabilmeleri sağlamak için A tarama verileri kaydırılarak toplanır. Kayma adımı rr A tarama sinyalinin uzunluğu olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Kaymamiktari = (\tau_i * rr) / darbesüresi \quad (4.6)$$

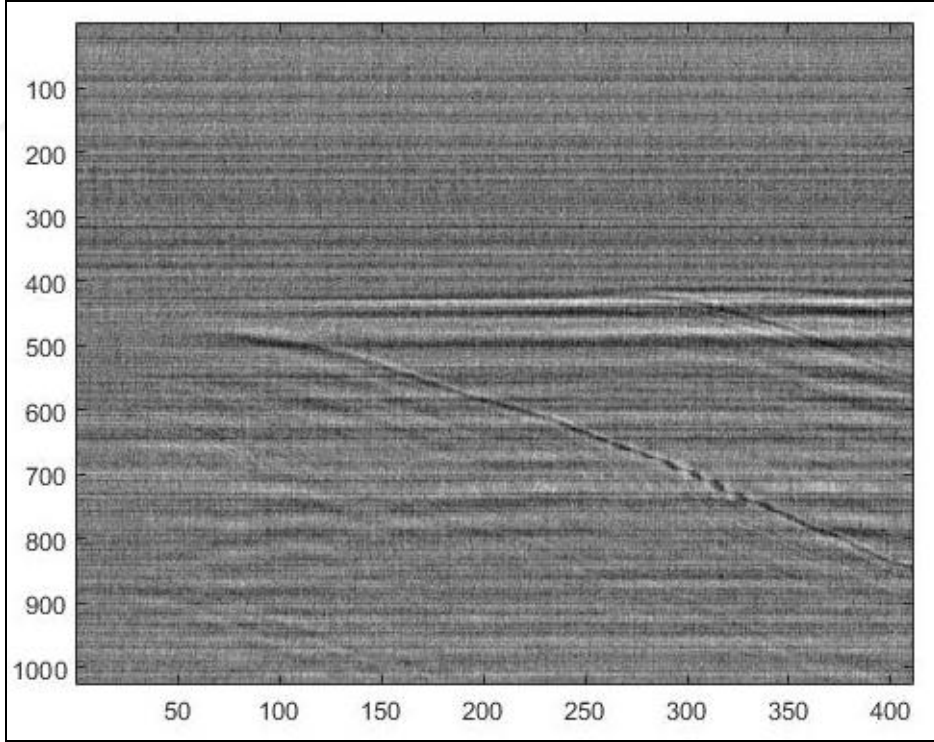
Hesaplanan kayma adımı kadar A tarama sinyaline sıfır eklenerek, o sinyalin referans gözlem noktasından bakıyormuş gibi, referans sinyale eklenmesini sağlar. Bu sayede daha kuvvetli bir sinyal elde edilmiş olur. Bu algoritma kullanarak sentetik bir açıklık yaratılmış ve çözünürlük iyileştirilmiştir.



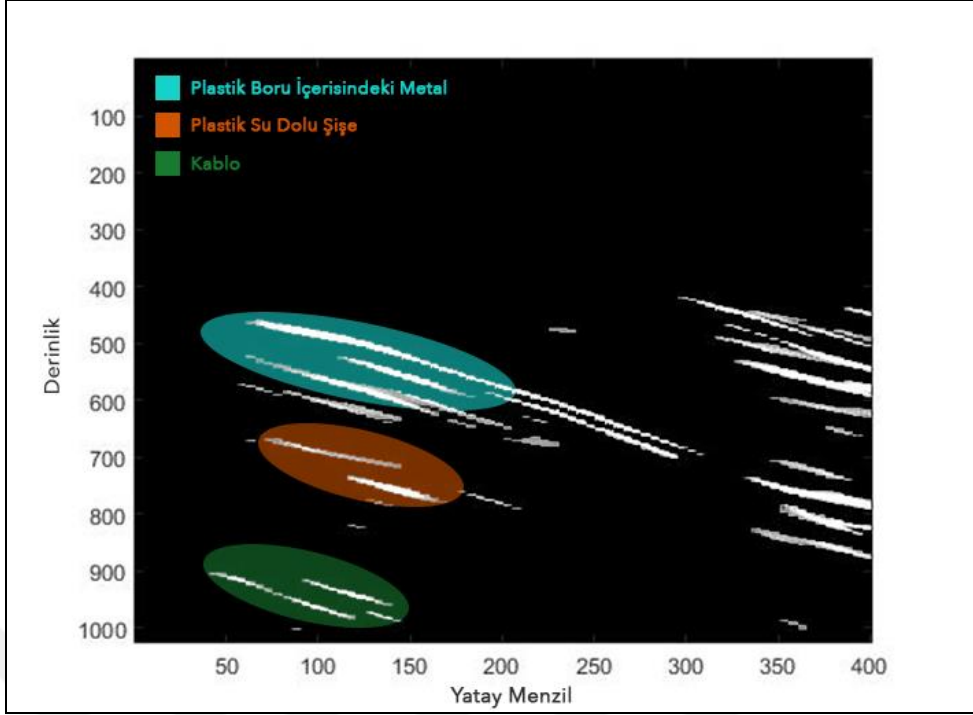
Şekil 4. 27 Ridged horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi (1)



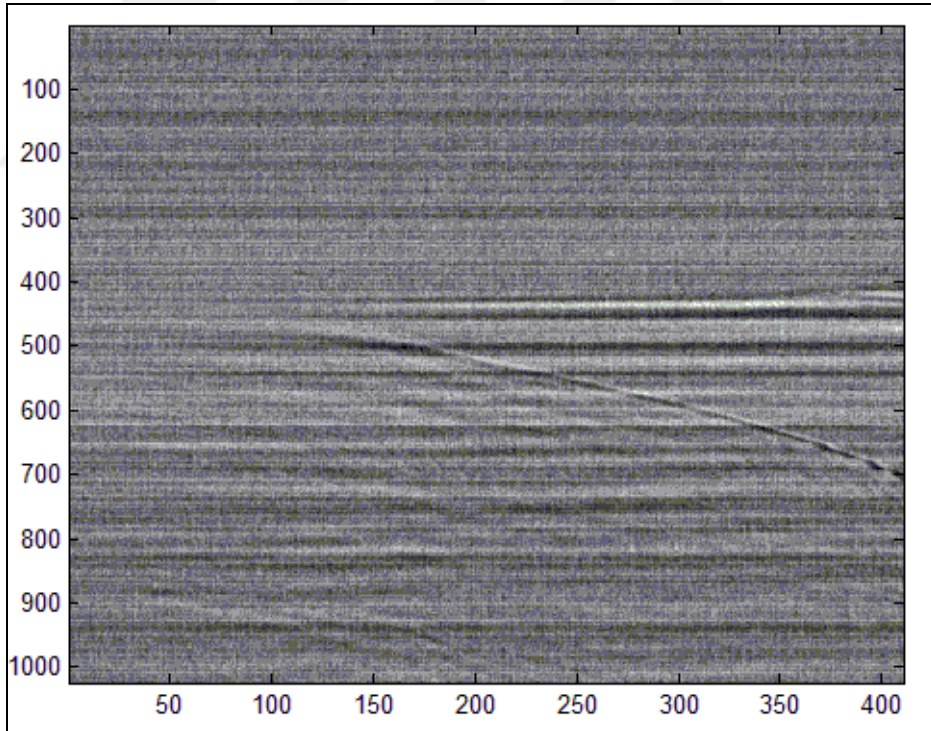
Şekil 4. 28 Ridged horn anten ile ölçölmüş SAR ve filtreli YNR verisi (1)



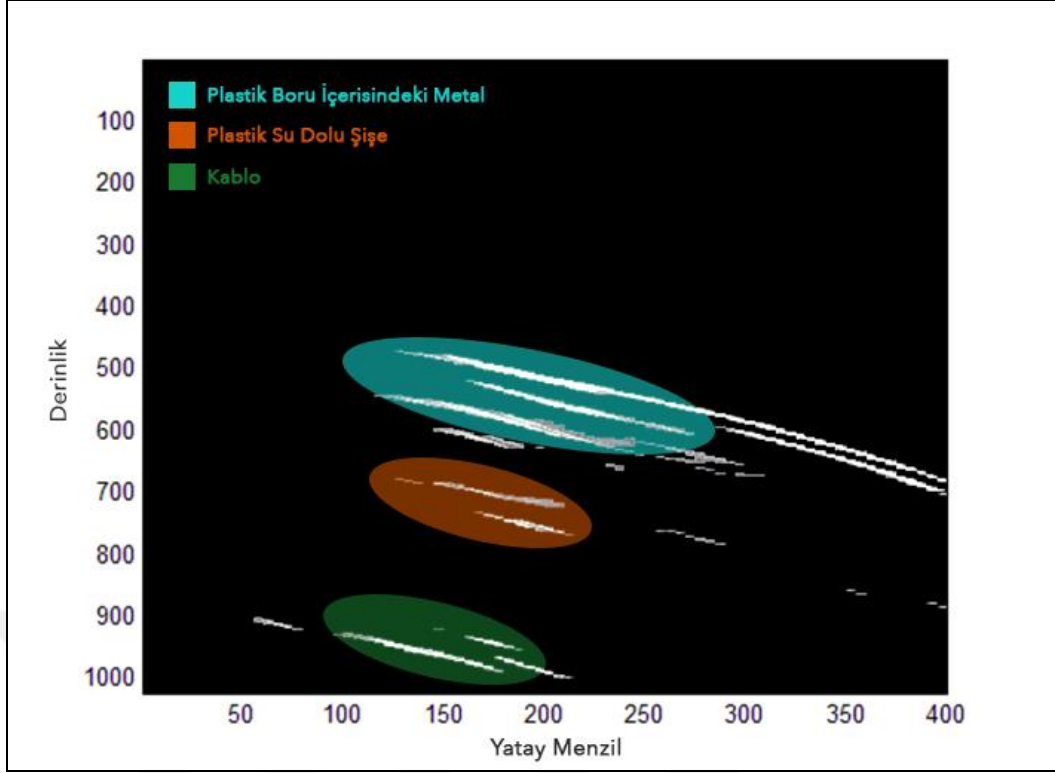
Şekil 4. 29 Ridged horn anten ile ölçölmüş ham YNR verisi (2)



Şekil 4. 30 Ridged horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi (2)

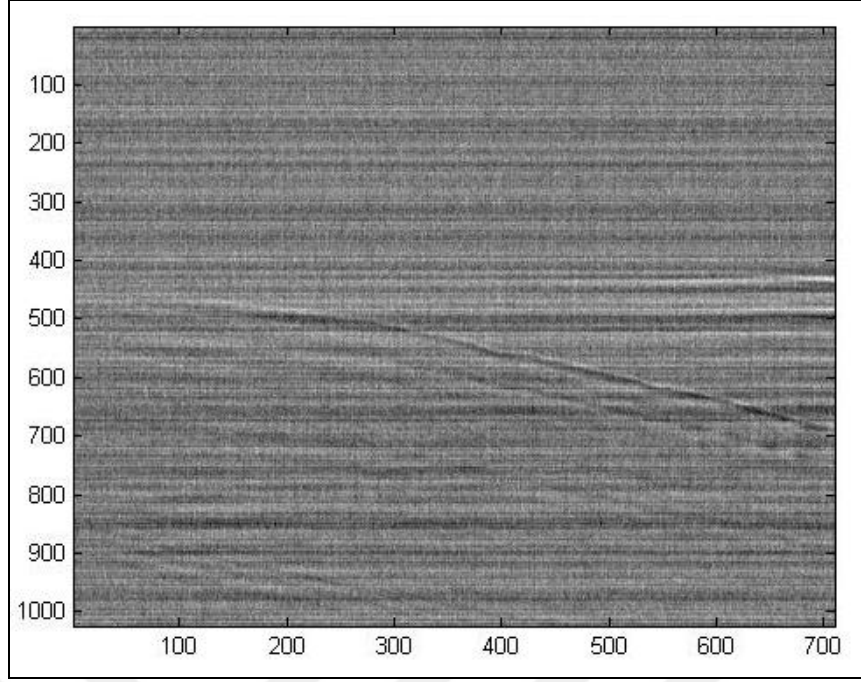


Şekil 4. 31 Ridged horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi (3)

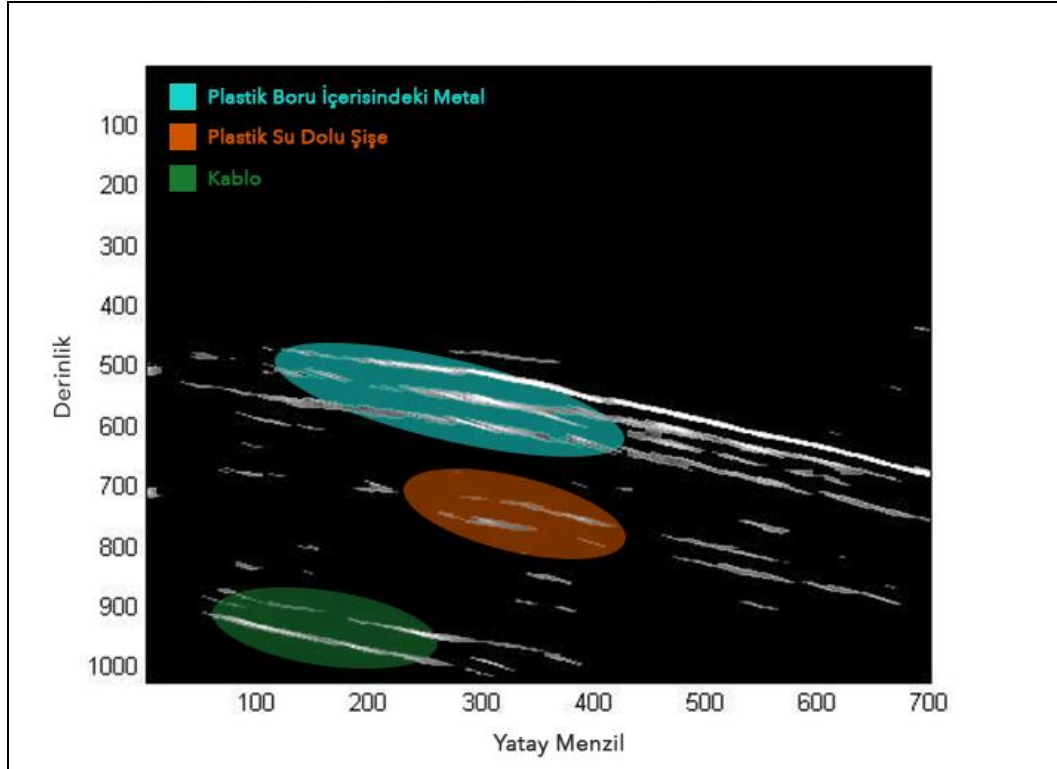


Şekil 4. 32 Ridged horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi (3)

Yukarıdaki ölçümde sistem 3 metre çekilmiştir. Toprak havuzunda bulunan boru içindeki metal, plastik şişeler ve tel görünmektedir. Antenin huzmesinin bütün havuzu görmesi sebebiyle cisimler yatay düzlemde birbirine yakındır ancak havuzun en başında olan ve taramanın başlaması itibariyle ilk görüntülenen cisim olan tel 50. ve 15. A-taramaları arasında ve 900 ile 1000. adım derinliğinde belirmektedir. Ortadaki cisim olan su şişeleri ise 100 ve 150. A-tarama verileri arasında ve 700 ile 800. adım derinliğinde tespit edilmiştir. Boru içindeki metal ise havuzun tarama yönüne göre en sonunda bulunması sebebiyle en sonda gözlemlenmiştir. Görüntünün en sağında görünen kısım ise havuz ile sistem arasındaki topraksız bölgeden gelen sinyallerdir. SAR algoritması, antenin huzmesini sentetik olarak küçülterek hedeflerin daha net görüntülenmesini sağlamıştır. Çalıştırılan algoritmada bir noktaya direk bakılan veriye, ondan önce ve sonra alınan verilerin etkisi, bu verilerin gecikme miktarlarına göre kaydırılarak, eklenmektedir. Bu sayede gelen sinyalin etkisi artırılarak cismin daha belirgin görüntülenmesini sağlamıştır.



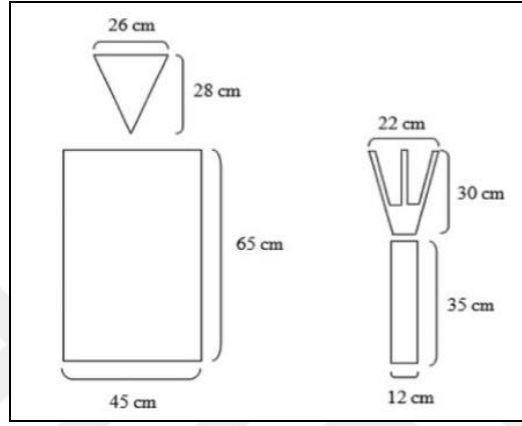
Şekil 4. 33 Vivaldi TEM horn anten ile ölçülmüş ham YNR verisi



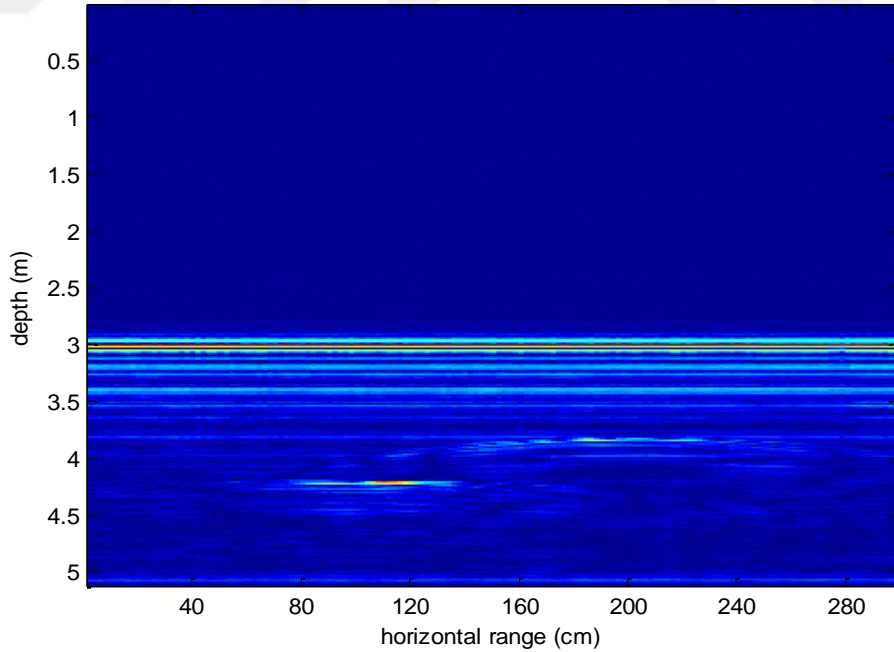
Şekil 4. 34 Vivaldi TEM horn anten ile ölçülmüş SAR ve filtreli YNR verisi

Yukarıdaki ölçümlerde YNR sisteminde Vivaldi TEM Horn anten kullanılmıştır. Bu ölçümde tel daha önceki ölçümlere göre daha belirgin bir şekilde tespit edilmiştir.

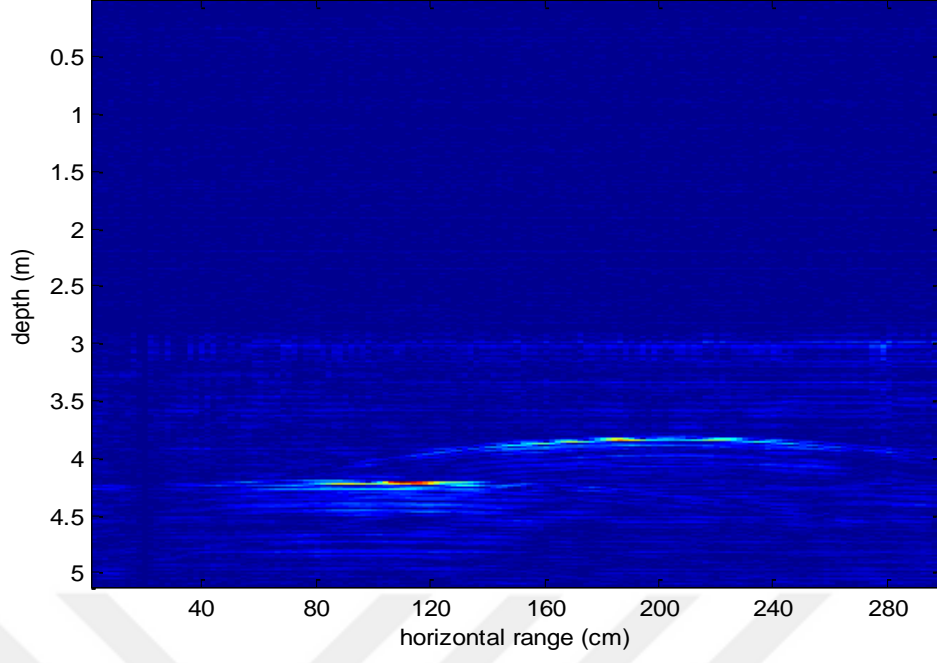
Yapılan açık yakın alan ölçümlerinde 2 adet cisim, darbeli YNR sistemi ile incelenmiştir. Bu senaryoda, antenlerin hedeflere olan uzaklığı sırasıyla 2m ve 1.5 m'dir. İlk cisim ve ikinci cismin ölçüleri sırasıyla 44x93cm ve 12x65cm'dir. Kafa ve gövde şeklindeki ilk cisim, el ve kol şeklindeki 2. cisme göre daha arkadadır. Hedefler arasındaki uzaklık 70 cm ve YNR ile anten arasındaki kablo uzunluğu yaklaşık olarak 3m'dir. Hedeflerin çizim gösterimi Şekil 4.35'te gösterilmiştir. İlk ölçümde 2 cm aralıklarda 150 adım kaydedilmiştir.



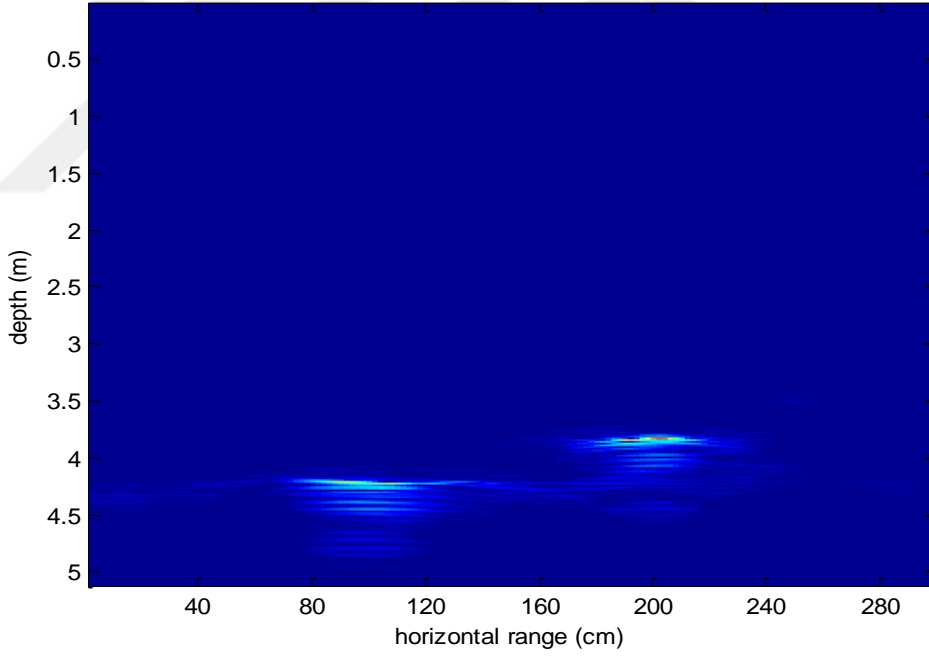
Şekil 4. 35 Kullanılan iki metal hedef (a), kafa ve gövde (b), kol ve el.



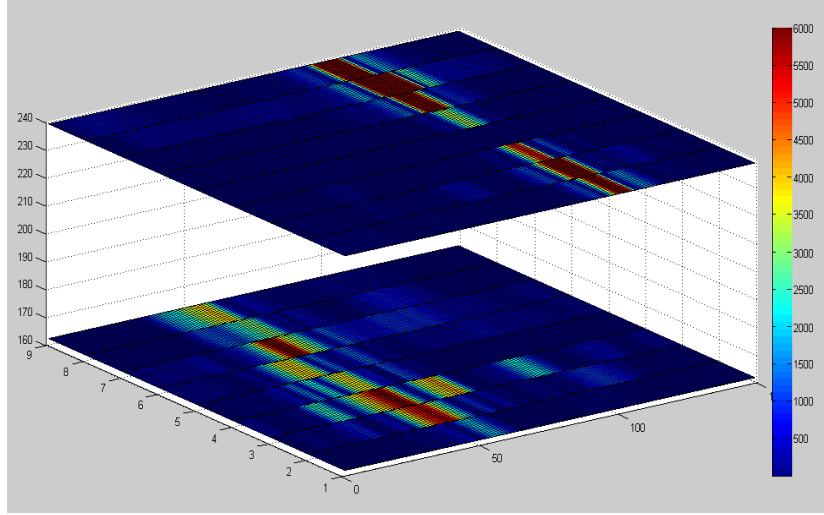
Şekil 4. 36 Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü



Şekil 4. 37 Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü(arka plan giderme)

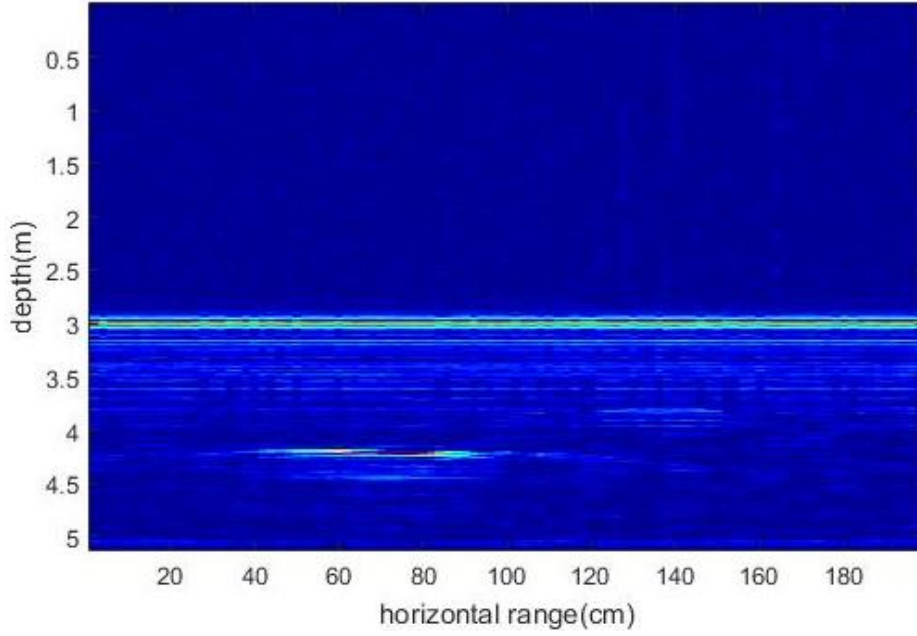


Şekil 4. 38 SAR algoritması sonucu görüntüsü

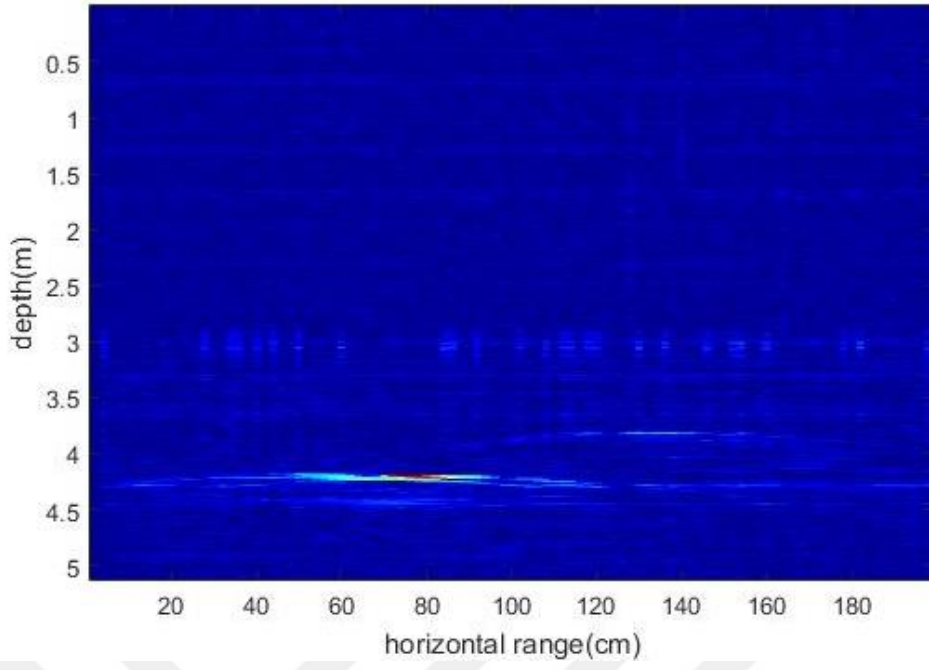


Şekil 4. 39 Metal hedeflerin C-tarama görüntüsü dilimleri

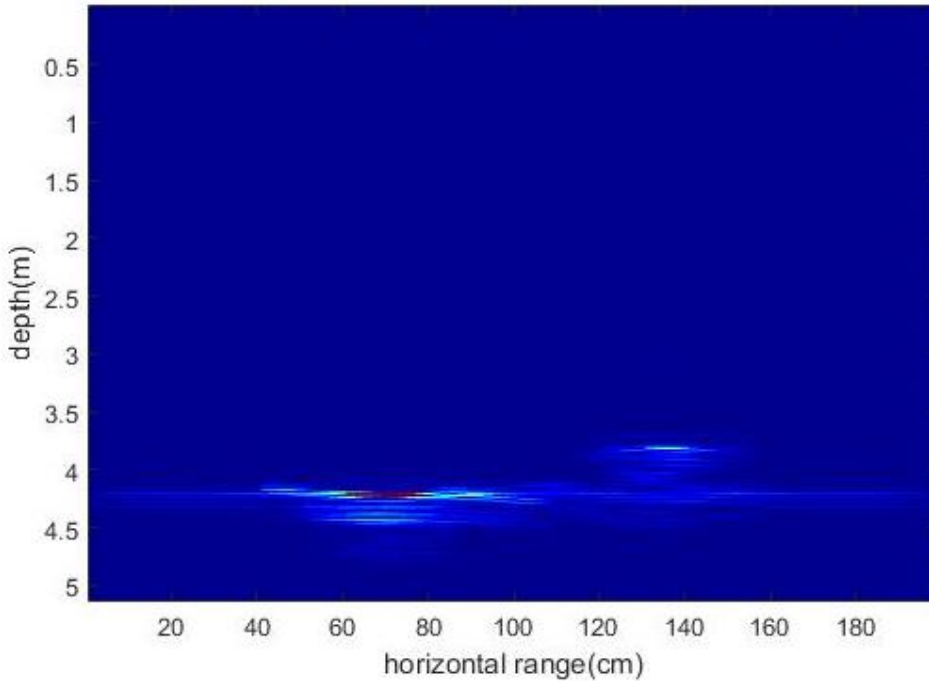
Yakın alan ölçümlerinin 2.'sinde Şekil 4.35'te gösterilen hedefler kullanılmıştır. Bu ölçümde 3 cm aralıklarda 100 adım kaydedilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.



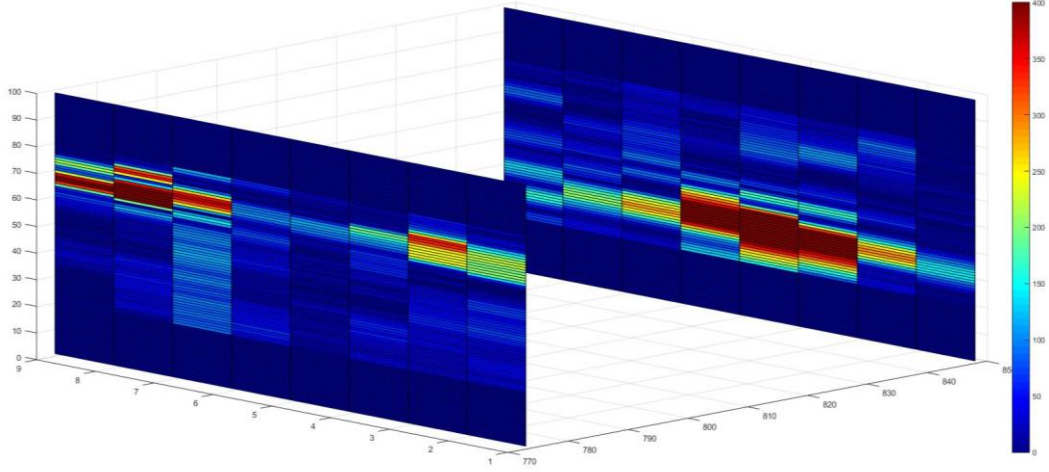
Şekil 4. 40 Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü



Şekil 4. 41 Darbeli YNR ham verisi B-Tarama görüntüsü (arka plan giderme)



Şekil 4. 42 SAR algoritması sonucu görüntüsü



Şekil 4. 43 Metal hedeflerin C-tarama görüntüsü dilimleri

SAR algoritması, çözünürlüğü arttırarak cisimlerin çok daha başarılı ve belirgin bir şekilde tespit edilmesini sağlamıştır. Yukarıdaki sonuçlarda görüldüğü gibi, ham veri ile SAR algoritması sonucunda elde edilen görüntü karşılaştırıldığında, algoritmanın başarı ile çalıştığı ve darbeli YNR uygulamalarında hedef tespit başarısını attırdığı görülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, zaman domeninde çalışan darbeli YNR sistemleri kullanılarak, hedef tespitindeki performansın artırılması için yapay açıklık radarı yönteminin geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır. Darbeli YNR'ın avantajları ve SAR algoritmasının sağladığı yüksek çözünürlük, bu sistemin ilerideki uygulamalar için gerekli ve önemli bir sistem olduğunu göstermektedir. Tez, benzetim çalışmalarından edinilen bilgilerin ölçümlerle doğrulanması sonucunda oluşturulan SAR algoritmasının geliştirilmesi ile tamamlanmıştır. Öncelik olarak toprak altında, test ortamına uygun olarak hazırlanan benzetimler farklı maddeler için tekrarlanmıştır. İleri bakan YNR sistemlerinin uygulamasına göre anten konumunun ve açısının farklılaşması sonucunda, hedef tespitine nasıl bir etki olduğu araştırılmıştır. Tel şeklindeki bakır hedef için polarizasyon çalışması benzetim sonuçlarına uygun olarak tamamlanmış ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bir telin yatay polarizasyonda tespiti, düşey polarizasyona göre çok daha başarılı olduğu benzetim ve ölçüm sonuçları ile doğrulanmıştır. Ölçüm sonuçlarına uygulanan SAR algoritması ile hedef tespitinin iyileştirildiği tez çalışmasında verilen sonuçlarda görülebilmektedir. SAR algoritması, sistemin hareket doğrultusunda hayali bir anten dizi oluşturarak, fiziksel olarak mümkün olmayacak anten boyutları ile elde edebileceğimiz çözünürlükte hedef tespitine imkân sağlamaktadır. İleri bakan YNR uygulamaları, kullanım alanlarının gereksinimlerine dayanarak hedefi önceden görerek hızlı uyarı sistemine sahip olmalıdır. Darbeli YNR kullanılması, ölçümlerde hızlı veri toplanması ve hızlı operasyona imkân tanınması ile İBYNR'nin bu uygulamalar için elverişli olduğunu ve gelişime açık olduğunu göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Daniels, D.J., (2004). Ground Penetrating Radar, Second Edition, The Institution of Electrical Engineers, London.
- [2] Jol, H.M., (2009). Ground Penetrating Radar: Theory and Applications, Elsevier Science, Amsterdam.
- [3] Xu, X., Miller, E.L., Rappaport, C.M. ve Sower, G.D., (2002). "Statistical Method to Detect Subsurface Objects Using Array Ground-Penetrating Radar Data", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(4): 963–976.
- [4] MacDonald, J., Lockwood, J.R., McFee, J., Altshuler, T., Broach, T., Carin, L., Harmon, R., Rappaport, C., Scott, W. ve Weaver, R., (2003). Alternatives for Landmine detection, RAND Science and Technology Policy Institute, Santa Monica.
- [5] Wang, Y., Li, X., Sun, Y., Li, J. ve Stoica, P., (2005), "Adaptive Imaging for Forward-looking Ground Penetrating Radar", IEEE Trans. on AES, 41(3): 922-936.
- [6] Taylor, D., (2001). Ultra-wide Band Technology, FL: CRC Press, Boca Raton.
- [7] Ünal, M., Çalışkan, A. ve Türk, A.S., (2013). "Impacts on Signal Processing Techniques for Ground Penetrating Radar", Signal Processing Symposium (SPS), 5-7 Haziran 2013, Serock.
- [8] Alper, A., (2011). Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) Görüntülerinin Elde Edilmesinde Zaman Bölgesinde Sonlu Farklar (FDTD) Metodunun Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [9] Tuncer, M.A.Ç., (2011). Basamak Frekanslı Yere İşleyen Radar (GPR) İçin Seyreklik Tabanlı Hızlı Yeraltı Görüntüleme Yöntemlerindeki Problemlere Çözümler, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Öztürk, E., (2010), Yere Nüfuz Eden Radar Sisteminin Zaman Uzayında Sonlu Farklar Yöntemi ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, T.C. Gebze İleri Teknoloji Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

- [11] Wong, D., Ton, T. ve Soumekh, M., (2010). "Alaric Forward-Looking Ground Penetrating Radar System with Standoff Capability", 2010 IEEE National Conference on Wireless Information Technology and Systems, 28 Ağustos-3 Eylül 2010, Honolulu.
- [12] Youn, H., Kobashigawa, J., Evans, M. ve Çelik, N., (2010). "Feasibility Study for IED Detection Using Forward-Looking Ground Penetrating Radar Integrated with Target Features Classification", 2010 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 11-17 Temmuz 2010, Toronto.
- [13] Curlander, J.C. ve McDounough, R.N., (1991). Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, John Wiley & Sons, NewYork.
- [14] Chan, Y.K. ve Koo, V.C., (2008). "An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR)", Progress In Electromagnetics Research B., 2: 27-60.
- [15] Pancera, E., (2009). Strategies for Time Domain Characterization of UWB Components and Systems, Doktora Tezi, Institut für Hochfrequenztechnik und Elektronik Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.
- [16] Ünal, M., Çalışkan, A., Türk, A.S., Orhan, M., Özdemir, M., (2014). "Development of Signal Processing Techniques for Through-Wall Imaging Radar Systems", 20th International Conference on Microwaves, Radar, and Wireless Communications, 16-18 Haziran 2014, Gdansk.
- [17] Türk, A.S., Özkan-Bakbak, P., Durak-Ata, L., Orhan, M., Ünal, M., (2016). "High-Resolution Signal Processing Techniques for Through-the-Wall Imaging Radar Systems", International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 1: 1-9.
- [18] Türk, A.S. ve Keskin, A.K., (2012). "Partially Dielectric-Loaded Ridged Horn Antenna Design for Ultrawide Band Gain and Radiation Performance Enhancement," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 11: 921-924.
- [19] Türk, A.S., (2006). "Ultra-Wideband Vivaldi Antenna Design for Multi-Sensor Adaptive Ground-Penetrating Impulse Radar," Microwave and Optical Technology Letters, 48(5): 834-839.
- [20] Türk, A.S. ve Şahinkaya, D.A., (2007). Partial Dielectric Loaded TEM Horn Design for Ultra-Wideband Ground Penetrating Impulse Radar Systems, Ultra-Wideband Short-Pulse Electromagnetics, Berlin.
- [21] Türk, A.S. ve Keskin, A.K., (2012). "Partially Dielectric-Loaded Ridged Horn Antenna Design for Ultrawide Band Gain and Radiation Performance Enhancement," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 11: 921-924.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Sinem Nimet SOLAK
Doğum Tarihi ve Yeri :11.09.1991, ADANA
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :sinemnimetersolak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Sayısal	Hüseyin Avni Sözen Anadolu Lisesi	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013-2016	Air Telekomünikasyon Çözümleri	Satış Destek Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Solak, S.N., Türk, A.S., Orhan, M., (2016). "SAR Imaging Techniques for Ground Penetrating Impulse Radar" The 9th International Kharkiv Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Milimeter and Submilimeter Waves", 21-24 Haziran 2016, Kharkiv.

Proje

1. Tübitak Projesi Impacts on Subsurface and Through-Wall SAR Imaging Techniques for Ground Penetrating Radar.

