

**YERE NÜFUZ EDEN RADAR SİSTEMİ İLE GÖMÜLÜ  
HEDEF TESPİTİ VE MODELLENMESİ**

**Ali ŞÖLEN**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERE NÜFUZ EDEN RADAR SİSTEMİ İLE GÖMÜLÜ  
HEDEF TESPİTİ VE MODELLENMESİ**

Ali ŞÖLEN  
501905015

Doç. Dr. Sibel YENİKAYA  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

BURSA – 2023  
**Her Hakkı Saklıdır.**

## TEZ ONAYI

Ali ŞÖLEN tarafından hazırlanan “YERE NÜFUZ EDEN RADAR SİSTEMİ İLE GÖMÜLÜ HEDEF TESPİTİ VE MODELLENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç Dr. Sibel YENİKAYA

**Başkan** : Prof. Dr. Güneş YILMAZ  
0000-0001-8972-1952  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Telekomünikasyon Anabilim Dalı İmza

**Üye** : Doç. Dr. Sibel YENİKAYA  
0000-0002-9423-1752  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Elektromanyetik Alanlar ve Mikrodalga Tekniği Anabilim  
Dalı İmza

**Üye** : Doç. Dr. Ömer ZOR  
0000-0001-6461-9812  
Bursa Teknik Üniversitesi  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**  
**Enstitü Müdürü**

.././....

**B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Ali ŞÖLEN**

**TEZ YAYINLANMA  
FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI**

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

.../.../.....  
Doç Dr.Sibel YENİKAYA

.../.../.....  
Ali ŞÖLEN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YERE NÜFUZ EDEN RADAR SİSTEMİ İLE GÖMÜLÜ HEDEF TESPİTİ VE MODELLENMESİ

**Ali ŞÖLEN**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Sibel YENİKAYA

Askeri personel veya sivil kişiler ile askeri ve kamu tesislerinin güvenliğini sağlamak ve korumak amacıyla yer altında gömülü şekilde bulunan her türlü El Yapımı Patlayıcıların (EYP) tespiti önemlidir. Bu tez çalışmasında EYP'lerin tespiti için Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) kullanılmıştır. YNR'ler tahribatsız yüzey altı görüntüleme için hem sivil hem de askeri alanlarda oldukça yoğun olarak kullanılan elektromanyetik bir algılama yöntemidir. YNR'lerde algılama performansı kullanılan anten ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada, ilk olarak YNR sistemi için geniş bantlı bir Vivaldi Anten (VA) tasarlanmış, üretilmiş ve sistemin performansını etkileyen kazanç, giriş yansıma katsayısı ve ışıma örüntüleri incelenmiştir. Gerçeklenen bu antende 0.4-4 GHz aralığında -10dB' den daha düşük bir geri dönüş kaybı, 2' den daha düşük gerilim duran dalga oranı ve yaklaşık olarak 1.9-5.63 dBi aralığında bir kazanç elde edilmiştir. Anten boyutunun küçültülmesi ve anten kazancının iyileştirilmesi için altıgen açıklıklar ile lineer yarıklar açılarak Modifiye Vivaldi Anten (MVA) tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Üretilen antende 0.6 - 4 GHz aralığında -10dB' den daha düşük bir geri dönüş kaybı, 2'den daha küçük gerilim duran dalga oranı ve ilgili frekans aralığında maksimum 8 dBi kazanç değeri elde edilmiştir. Tasarlanan antenlerin simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Çalışmada gerçekleştirilen antenler, Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMCW) radar sistemi ile entegre edilerek YNR sistemi oluşturulmuş ve gömülü hedef tespiti çakıl zeminde 1 cm, 15 cm, 30 cm ve 45 cm' de gömülü olan 6 farklı EYP, EYP tetikleyici kablolar, metal mayınları ile EYP tespit çalışmaları yapılmıştır. EYP dışı gömülü cisim tespit çalışması ise 15 cm' de gömülü kaya parçası ile gerçekleştirilmiştir. Gömülü hedeflerin tespiti hem VA ile hem de MVA ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), Frekans Modülasyonlu Sürekli Dalga (FMCW), El Yapımı Patlayıcılar (EYP), Geniş bantlı anten, Vivaldi anten, Duran dalga oranı, Kazanç.

**2023, x + 101 sayfa.**

## ABSTRACT

MSc Thesis  
EMBEDDED TARGET DETECTION AND MODELING WITH  
GROUND PENETRATING RADAR SYSTEM

**Ali ŞÖLEN**

Bursa Uludag University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electric-Electronic

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Sibel YENİKAYA

It is important to detect all kinds of Handmade Explosives (IEDs) buried underground in order to ensure and protect the security of military personnel or civilians and military and public facilities. In this thesis, Ground Penetrating Radar (GPR) was used to detect IEDs. GPRs are an electromagnetic sensing method that is widely used in both civil and military fields for non-destructive subsurface imaging. Detection performance in GPRs is directly related to the antenna used. In this study, firstly, a broadband Vivaldi Antenna (TVA) was designed and manufactured for the GPR system and the gain, input reflection coefficient and radiation patterns affecting the performance of the system were investigated. In this implemented antenna, a return loss of less than -10dB, a voltage standing wave ratio of less than 2, and a gain in the range of approximately 1.9-5.63 dBi were obtained in the 0.4-4 GHz range. A Modified Vivaldi Antenna (MVA) was designed and implemented by opening linear slots with hexagonal apertures to reduce antenna size and improve antenna gain. The produced antenna has a return loss of less than -10dB in the 0.6 - 4 GHz range, a voltage standing wave ratio of less than 2 and a maximum gain of 8 dBi in the relevant frequency range. When the simulation and measurement results of the designed antennas were compared, it was seen that the results were compatible with each other. The antennas realized in the study were integrated with the Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar system to create a GPR system and buried target detection 6 different IEDs, IED trigger cables, metal mines buried at 1 cm, 15 cm, 30 cm and 45 cm in the gravel ground. and IED detection studies were carried out. Non-EYP buried object detection work was carried out with a buried rock at 15 cm. Detection of buried targets was performed with both VA and MVA separately.

Keywords: Ground Penetrating Radar (GPR), Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW), Improvised Explosives (IED), Broadband antenna, Vivaldi antenna, Standing wave ratio, Gain.

**2023, x + 101 pages.**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca bilimsel bilgi birikimi, değerli düşünceleri ve yönlendirmeleriyle her zaman sabırla yol gösteren ve çalışmamın her aşamasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sibel YENİKAYA' ya teşekkürlerimi sunarım.

Sevgisini ve güvenini her zaman yanımda hissettiğim eşim İrem ŞÖLEN' e, canımdan bir parça olan ay yüzlüm Aysima ŞÖLEN' e, sabırla ve büyük emeklerle beni bugünlere ulaştıran annem Zeynep ŞÖLEN ve babam Osman Güray ŞÖLEN olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca bana emek veren tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ali ŞÖLEN  
.../.../.....



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Yere Nüfuz Eden Radar (YNR).....	4
2.1.1. FMCW radar.....	5
2.2. Radar Anteni.....	6
2.3. Anten Parametreleri.....	6
2.3.1. Işıma modeli.....	6
2.3.2. Alan bölgeleri.....	7
2.3.3. Işıma modeli lobları.....	8
2.3.4. Hüzme genişliği.....	9
2.3.5. Işıma şiddeti.....	10
2.3.6. Yönlülük.....	10
2.3.7. Kazanç.....	10
2.3.8. Verimlilik.....	10
2.3.9. Polarizasyon.....	11
2.3.10. Giriş empedansı.....	11
2.3.11. Bant genişliği.....	11
2.3.12. Saçılma parametreleri.....	12
2.3.13. Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO).....	12
2.4. Yere Nüfuz Eden Radar Antenleri.....	13
2.4.1. Papyon anten.....	13
2.4.2. Konik yuvalı anten.....	13
2.4.3. Horn anten.....	14
2.4.4. Düzlemsel anten.....	14
2.4.5. Konik yuvalı kompakt düzlemsel anten.....	15
2.4.6. Dipol, koni ve spiral anten.....	15
2.4.7. YNR antenlerinin karşılaştırılması.....	17
2.5. Vivaldi Anten.....	17
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	19
3.1. Alttaş Seçimi.....	20
3.2. Anten Besleme Teknikleri.....	22
3.2.1. Mikroşerit hat besleme.....	22
3.2.2. Konnektör ile mikroşerit hat besleme.....	23
3.2.3. Dalga kılavuzu ile mikroşerit hat besleme.....	23
3.3. Vivaldi Anten Tasarım Parametreleri.....	23
3.3.1. Giriş empedansı ve Mikroşerit Genişliği (Mg).....	26
3.3.2. Dairesel açıklık çapı (DAÇ) ve koçan yarıçapı (KY).....	27
3.3.3. Anten uzunluğu (U).....	29
3.3.4. Anten genişliği (G).....	29
3.3.5. Koniklik Uzunluğu (KU).....	30
3.3.6. Koniklik oranı ( $r$ ).....	31
3.3.7. Anten açıklığı (AA).....	32

3.3.8. Mikroşerit Uzunluğu (Mu).....	33
3.4. Anten Tasarımı.....	33
3.5. Vivaldi Anten Modifikasyonu.....	35
3.6. YNR Sistemi .....	39
3.7. EYP Tespit Çalışmaları.....	42
4. BULGULAR.....	47
4.1. Vivaldi Anten Sonuçları.....	47
4.2. MVA Sonuçları .....	55
4.3. VA-MVA' nın Karşılaştırmalı Sonuçları.....	62
4.4. Gömülü Cisim Tespit Çalışmaları.....	72
4.4.1. Boş alan taramaları.....	73
4.4.2. EYP numune taramaları .....	76
4.4.2.1. Numune 1 taramaları.....	77
4.4.2.2. Numune 2 taramaları.....	79
4.4.2.3. Numune 3 taramaları.....	82
4.4.2.4. Numune 4 taramaları.....	85
4.4.2.5. Numune 5 taramaları.....	87
4.4.2.6. Numune 6 taramaları.....	90
4.4.3. EYP dışı gömülü cisim taramaları .....	93
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	96
KAYNAKLAR .....	98
ÖZGEÇMİŞ .....	101

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$\vec{E}$ :	Elektrik Alan Şiddeti
$\vec{B}$ :	Manyetik Akı Yoğunluğu
$\vec{H}$ :	Manyetik Alan Şiddeti
$\vec{D}$ :	Elektrik Akı Yoğunluğu
$\vec{J}$ :	Elektrik Akım Yoğunluğu
$\rho$ :	Elektrik Yükü Yoğunluğu
$\lambda$ :	Dalga Boyu
$\epsilon_r$ :	Dielektrik sabiti (Bağıl geçirgenlik)
$Z_c$ :	Karakteristik empedans
$f$ :	Frekans
$c$ :	Işık Hızı
$\epsilon_0$ :	Boş uzayın geçirgenliği veya elektrik sabiti
$\mu_0$ :	Manyetik geçirgenlik

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AA	Anten Açıklığı
Ads	Alttas Dielektrik Sabiti
Ak	Alttas Kalınlığı
AKU	Altıgen Kenar Uzunluğu
ALU	Aliminum
At	Alttas tipi
BG	Boğaz Genişliği
BU	Boğaz Uzunluğu
CEM	Composite Epoxy Material
Cu	Bakır Kalınlığı
ÇGB	Çok Geniş Bantlı
DAÇ	Dairesel Açıklık Yarıçapı
EIRP-ERP	Etkin İzotropik Yayılan Güç
EM	Elektromanyetik
EYP	El Yapımı Patlayıcı
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
FR	Flame Retardant
G	Anten Genişliği
GDDO	Gerilim Duran Dalga Oranı
GPR	Ground Penetrating Radar
İSHG	İlk-Sıfır Hüzme Genişliği
KU	Koniklik Uzunluğu
KY	Koçan Yarıçapı
Mu	Mikroşerit Uzunluğu
OAG	Oluklar Arası Genişlik
OG	Oluk Genişliği
OU	Oluk Uzunluğu
r	Koniklik Oranı

RADAR	Radyo Algılama ve Menzil
RF	Radyo Frekansı
U	Uzunluk
UGB	Ultra Geniş Bant
VA	Vivaldi Anten
YGHG	Yarı-Güç Hüzme Genişliği
YNR	Yere Nüfuz Eden Radar

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1.	YNR sistem temel bileşenleri (Güney ve Çolak 2020)..... 4
Şekil 2.2.	FMCW radar blok diyagramı ..... 5
Şekil 2.3.	Işıma düzeni, Doğrusal ölçekte açıklanan alan düzeni (a), doğrusal ölçekte açıklanan güç düzeni (b), dB'de açıklanan güç düzeni (c) (Balanis 2015)..... 7
Şekil 2.4.	Anten alan bölgeleri (Balanis 2015)..... 8
Şekil 2.5.	Polar formda bir anten genlik modelinin ışıma lobları ve ışın genişlikleri (a), doğrusal çizim güç modeli ve bununla ilişkili loblar ve ışın genişlikleri (b) (Balanis 2015). 9
Şekil 2.6.	İki kapılı devrenin S parametreleri ..... 12
Şekil 2.7.	Papyon anten (Ranasinghe ve ark. 2013)..... 13
Şekil 2.8.	Vivaldi anten (Yang ve ark. 2014)..... 14
Şekil 2.9.	Horn anten (Panzner ve ark. 2010)..... 14
Şekil 2.10.	Düzlemsel anten (Chang ve ark. 2012)..... 15
Şekil 2.11.	Konik yuvalı kompakt düzlemsel anten (Shao ve ark. 2013). 15
Şekil 2.12.	Dipol anten (Nazli ve ark. 2010)..... 16
Şekil 2.13.	Koni anten (Hertl Strycek 2007)..... 16
Şekil 2.14.	Spiral anten (Hertl Strycek 2007)..... 16
Şekil 2.15.	Vivaldi anten geometrisi, (a) 3 boyutlu görünüm, (b) üstten görünüm, (c) sağ ön görünüm (Balanis 2015)..... 18
Şekil 3.1.	Anten tasarım akış şeması ..... 20
Şekil 3.2.	Vivaldi anten parametreleri..... 24
Şekil 3.3.	Dairesel koçan..... 24
Şekil 3.4.	Farklı mikroşerit genişlikleri için referans empedansı..... 27
Şekil 3.5.	Farklı koçan yarıçapı ve koçan açısı için geri dönüş kayıpları..... 29
Şekil 3.6.	Farklı uzunluklar için geri dönüş kayıpları..... 29
Şekil 3.7.	Farklı koçan yarıçapı ve koçan açısı için geri dönüş kayıpları..... 30
Şekil 3.8.	Farklı koniklik uzunluk için geri dönüş kayıpları..... 31
Şekil 3.9.	Koniklik oranı için geri dönüş kayıpları..... 32
Şekil 3.10.	Farklı anten ağız açıklığı için geri dönüş kayıpları..... 33
Şekil 3.11.	Farklı mikroşerit uzunluğu için geri dönüş kayıpları..... 33
Şekil 3.12.	Tasarlanan Vivaldi anten..... 34
Şekil 3.13.	Üretilen VA (a) ön, (b) arka görüntüleri..... 34
Şekil 3.14.	MVA ölçeklendirme..... 39
Şekil 3.15.	Üretilen MVA (a) ön, (b) arka görüntüleri..... 39
Şekil 3.16.	Radar sistemin basitleştirilmiş blok şeması ..... 40
Şekil 3.17.	Gerçeklenen YNR sistemi ..... 40
Şekil 3.18.	Mikrodenetleyici tabanlı geliştirilen elektronik devrenin şematik görünümü..... 41
Şekil 3.19.	Toprak numunesi..... 43
Şekil 3.20.	Toprak örneğinin dielektrik sabitinin frekansla değişimi..... 43
Şekil 3.21.	Toprak örneğinin iletkenliğinin frekansla değişimi..... 44
Şekil 4.1.	Vivaldi antenin geri dönüş kaybı..... 47

Şekil 4.2.	Vivaldi antenin gerilim duran dalga oranı.....	48
Şekil 4.3.	VA' nın kazanç grafiği .....	48
Şekil 4.4.	VA' nın geri dönüş kaybının ölçüm ve simülasyon sonuçları	49
Şekil 4.5.	VA' nın gerilim duran dalga oranının ölçüm ve simülasyon sonuçları .....	49
Şekil 4.6.	VA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\phi = 0^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	51
Şekil 4.7.	VA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\phi = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	53
Şekil 4.8.	VA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\theta = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	54
Şekil 4.9.	MVA' nın geri dönüş kaybının ölçüm ve simülasyon sonuçları.....	55
Şekil 4.10.	MVA' nın gerilim duran dalga oranının ölçüm ve simülasyon sonuçları.....	56
Şekil 4.11.	MVA' nın kazanç grafiği .....	56
Şekil 4.12.	MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\phi = 0^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	58
Şekil 4.13.	MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\phi = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri .....	59
Şekil 4.14.	MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de $\theta = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	61
Şekil 4.15.	VA ve MVA' nın geri dönüş kayıplarının frekansla değişimi	62
Şekil 4.16.	VA ve MVA' nın gerilim duran dalga oranlarının frekansla değişimi .....	63
Şekil 4.17.	Anten kazanç grafikleri.....	65
Şekil 4.18.	Anten önden arkaya oranları.....	65
Şekil 4.19.	VA ve MVA' ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)' de $\phi = 0^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	67
Şekil 4.20.	VA ve MVA' ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)' de $\phi = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	69
Şekil 4.21.	VA ve MVA' ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)' de $\theta = 90^\circ$ uzak alan örüntüleri.....	71
Şekil 4.22.	VA (a) ve MVA' ya (b) ait 2,15 GHz 3 boyutlu ışınma örüntüleri.....	72
Şekil 4.23.	VA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyalleri .....	74
Şekil 4.24.	VA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	74

Şekil 4.25.	VA ile yapılan boş alan taraması için elde edilen yoğunluk Grafiği.....	75
Şekil 4.26.	MVA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyalleri .....	75
Şekil 4.27.	MVA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi ..	76
Şekil 4.28.	MVA ile yapılan boş alan taraması için elde edilen yoğunluk grafiği.....	76
Şekil 4.29.	VA ile numune 1 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	77
Şekil 4.30.	VA ile numune 1 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	78
Şekil 4.31.	MVA ile numune 1 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	79
Şekil 4.32.	MVA ile numune 1 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	79
Şekil 4.33.	VA ile numune 2 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	80
Şekil 4.34.	VA ile numune 2 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	80
Şekil 4.35.	MVA ile numune 2 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	81
Şekil 4.36.	MVA ile numune 2 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	82
Şekil 4.37.	VA ile numune 3 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	83
Şekil 4.38.	VA ile numune 3 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	83
Şekil 4.39.	MVA ile numune 3 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	84
Şekil 4.40.	MVA ile numune 3 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	84
Şekil 4.41.	VA ile numune 4 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	85
Şekil 4.42.	VA ile numune 4 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	86
Şekil 4.43.	MVA ile numune 4 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	87
Şekil 4.44.	MVA ile numune 4 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	87
Şekil 4.45.	VA ile numune 5 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	88
Şekil 4.46.	VA ile numune 5 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	88
Şekil 4.47.	MVA ile numune 5 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	89
Şekil 4.48.	MVA ile numune 5 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	90

Şekil 4.49.	VA ile numune 6 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	91
Şekil 4.50.	VA ile numune 6 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	91
Şekil 4.51.	MVA ile numune 6 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi .....	92
Şekil 4.52.	MVA ile numune 6 için elde edilen yoğunluk grafiği.....	92
Şekil 4.53.	VA ile kaya parçası için yapılan farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi.....	93
Şekil 4.54.	VA ile kaya parçası için elde edilen yoğunluk grafiği.....	94
Şekil 4.55.	MVA ile kaya parçası için yapılan farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç ekseninde toplu gösterimi.....	94
Şekil 4.56.	MVA ile kaya parçası için elde edilen yoğunluk grafiği.....	95



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. YNR anten karşılaştırması.....	17
Çizelge 3.1. Alttaş parametreleri.....	22
Çizelge 3.2. VA parametreleri.....	34
Çizelge 3.3. VA' nın Modifikasyonu.....	36
Çizelge 3.4. Modifikasyon antenlerin kazanç değerleri.....	38
Çizelge 3.5. MVA parametreleri.....	38
Çizelge 3.6. Toprak numunesine ait özet teknik özellikler.....	43
Çizelge 3.7. EYP düzenek numuneleri .....	45
Çizelge 4.1. Tasarlanan VA için simülasyondan elde edilen farklı frekanslar için geri dönüş kaybı .....	47
Çizelge 4.2. Simüle edilen VA' nın gerilim duran dalga oranı ve değerleri.....	48
Çizelge 4.3. VA' nın $\phi = 0^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	51
Çizelge 4.4. VA' nın $\phi = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	53
Çizelge 4.5. VA' nın $\theta = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	55
Çizelge 4.6. MVA' nın $\phi = 0^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	58
Çizelge 4.7. MVA' nın $\phi = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri....	60
Çizelge 4.8. MVA' nın $\theta = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri....	61
Çizelge 4.9. Tasarlanan VA ve MVA rezonans frekanslarındaki  S11  değerleri.....	63
Çizelge 4.10. Tasarlanan VA ve MVA rezonans frekanslarındaki GDDO değerleri.....	64
Çizelge 4.11. Tasarlanan VA ve MVA kazanç değerleri.....	65
Çizelge 4.12. Tasarlanan VA ve MVA önden arkaya oran değerleri.....	66
Çizelge 4.13. VA ve MVA' nın $\phi = 0^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	68
Çizelge 4.14. VA ve MVA' nın $\phi = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri .....	69
Çizelge 4.15. VA ve MVA' nın $\theta = 90^\circ$ için uzak alan örüntülerinin özellikleri.....	71
Çizelge 4.16. Yoğunluk grafiklerinin oluşturulması .....	73

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz de dahil olmak üzere dünya coğrafyasında güvenlik amacıyla yasal kurumlar tarafından kullanılmakta olan kara mayınları ile illegal gruplar tarafından kullanılan el yapımı patlayıcı (EYP) kullanımı çok fazla kişinin vücut bütünlüğü bozulmakta, can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Bu nedenle bu patlayıcıların kullanım potansiyeli bu alanda yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır (Gürkan 2017).

Yer altında gömülü nesnelere tespiti için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar akustik-sismik yöntem, yere nüfuz eden radar yöntemi, elektromanyetik indüksiyon yöntemi, nükleer quadrupol rezonans yöntemi ve nötron tabanlı yöntemlerdir (Gürkan 2017). Bu tezde EYP tespiti için “Yere Nüfuz Eden Radar (YNER)” sistemlerinden yararlanılmıştır.

YNER ayrıca madencilik, jeoloji (boşlukların ve maden yataklarının tespiti), buzul bilimi (buz kalınlığının ölçümü), inşaat mühendisliği ve inşaat işleri (altyapıdaki çatlakların ve kusurların tespiti), arkeoloji, güvenlik ve savunma (gömülü kara mayınlarının ve doğaçlama patlayıcı cihazların tespiti) gibi çok çeşitli sektörlerde başarıyla uygulanmıştır (Budhu 2010).

Tez çalışmamızın konusu “Yere Nüfuz Eden Radar sistemi ile gömülü hedef tespiti ve modellenmesi” olmasına karşın; ülkemizde EYP ve kara mayınlarına duyulan hassasiyet sebebiyle, terör örgütleri ve illegal gruplar tarafından yeraltına gömülen veya tuzaklanan metal içerikli patlayıcı tertibatların algılanmasına yönelik tespitlere ağırlık verilmiştir.

Çalışma kapsamında özetle; Yer altında gömülü şekilde bulunan EYP, EYP tetikleyici kablolar ve metal mayınların tespiti için geniş bantlı Vivaldi anten tasarlanmıştır. Tasarlanan bu antenin parametreleri için gömülü cisimlerin, ortalama düşey mesafesi, ortalama boyutları, buldukları ortamın toprak cinsleri temel alınmıştır. Üretilen bu anten EYP’ den kaynaklanan manyetik anomalileri tespit etmek üzere bir YNER sistemine entegre edilmiştir. Bu YNER sistemi ile deneysel çalışmalar yapılarak EYP tespiti gerçekleştirilmiştir.

Tezin birinci bölümünde kısaca giriş yapıldıktan sonra ikinci bölümünde detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, YNER sistemi, FMCW radar sistemi, anten parametreleri ve YNER antenleri detaylı şekilde açıklanmıştır. Tezin üçüncü

bölümünde, sistem tasarımının nasıl gerçekleştirildiği, sistemi oluşturan bileşenlerin neler olduğu ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, deneysel çalışma ve bulgulara yer verilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Radar kelimesi, RAdio Detection And Ranging (Radyo Algılama ve Menzil) ifadesinin kısaltmasıdır. Radar sistemleri, hedefleri aramak için elektromanyetik enerjiyi uzayda belirli bir hacme iletme için modüle edilmiş dalga formları ve yönlendirici antenler kullanır. Bir arama hacmi içindeki nesnelere (hedefler), bu enerjinin (radar dönüşleri veya yankıları) bir kısmını radara geri yansıtacaktır. Bu yankılar daha sonra menzil, hız, açılma konum ve diğer hedef belirleme özellikleri gibi hedef bilgilerini çıkarmak için radar alıcısı tarafından işlenir (Mahafza 2017).

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR), yer altında gömülü hem metalik hem de metalik olmayan nesnelere tespiti ve tanımlanması için en umut verici teknolojilerden biridir. YNR sinyalinin merkezi frekansı ve bant genişliği, sistem performansı için anahtar faktörlerdir. Yeryüzüne yakın ve küçük olan cisimler ile yer yüzeyinin derinliklerinde bulunan büyük boyutlu cisimleri tespit edebilmek için hem düşük frekanslı hem de yüksek frekanslı bir yapıyı aynı anda sağlayabilen Çok Geniş Bantlı (ÇGB) YNR antenleri tercih edilir. Tasarlanacak antende istenilen özellikler, kararlılık, yüksek kazanç, verici ve alıcı antende düşük kuplaj, doğrusal faz cevabı ve -10 dB' den daha düşük geri yansıma hedeflenmektedir. Bu özelliklerin sağlanması durumunda darbe ışınması düzgün biçimli, verimliliği yüksek seviyelere ulaşılarak yeraltındaki hedefi doğru tespit etme ihtimali artar (Türk ve ark. 2007).

Ali ve ark. 2017 çalışmalarında YNR uygulamaları için potansiyel bir ultra geniş bant antenine yönelik karşılaştırmalı bir inceleme yapmışlardır. Bu çalışmada Fiyonk anten, Vivaldi anten, Hürni anten, Düzlemsel anten ve Konik slot antenin farklı tasarım metodolojileri ile birlikte detaylı özeti sunulmuştur. Çalışmada bant genişliği ve kazanç parametreleri üzerine odaklanılmıştır. Bu iki parametre GPR sistemleri için kullanılan UWB antenleri tasarlamakta önem taşımaktadır. Ölçülen sonuçlara dayanarak, Vivaldi, Horn ve Konik slot antenleri içeren üç farklı anten öne çıkmıştır. (Ali ve ark. 2017).

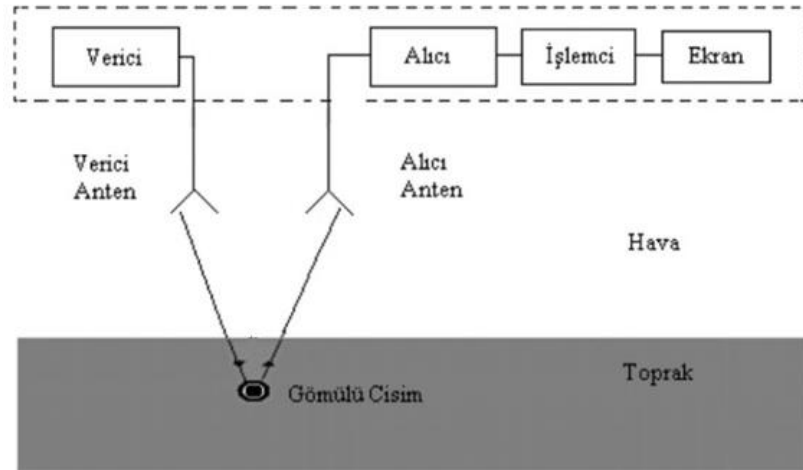
Ma 2014 çalışmasında Ultra Geniş Bant (UGB) uygulamaları için iki çift göz şeklinde yuvaya sahip baskılı bir Vivaldi anten önerilmiştir. İki çift göz şeklindeki yarıklar kullanılarak, ışınma modelinin yan lob seviyeleri azaltılmış ve düşük frekanslarda anten kazancı iyileştirilmiştir (Ma 2014).

Literatürde tasarlanmış ve doğrulanmış birçok anten bulunmaktadır. Bunlar arasında Vivaldi anteni, kablosuz iletişim, askeri ve biyomedikal mühendisliği gibi farklı uygulamalar için en gelişmiş anten olarak kabul edilir (Rana ve ark. 2018).

Vivaldi antenler, yönlü ışınları, geniş bant genişlikleri, düşük üretim maliyetleri, küçük boyutları ve cihazlarla kolay entegrasyonları nedeniyle görüntüleme uygulamaları için en iyi seçenek olabilir. Geniş bant genişliğine sahip olmasının yanı sıra, ilgilenilen frekans bandında yüksek kazanç ve önden arkaya ışınma oranına sahip olmalıdır (Moosazadeh 2018).

## 2.1. Yere Nüfuz Eden Radar (YNR)

Yere Nüfuz Eden Radar (YNR) yeraltının sığ tabakalarının (ilk 0-40 metre) araştırılmasında kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Sinyaller, yüzeye doğrudan temas halinde olan antenler kullanılarak toprağa iletilir ve bu enerji daha derinlere yayıldıkça, bir dizi yansıma alıcı anten tarafından algılandıkları yüzeye geri yönlendirilir (Griffin ve Pippett 2002).



**Şekil 2.1.** YNR sistem temel bileşenleri (Güney ve Çolak 2020).

Şekil 2.1’de YNR sisteminin temel bileşenleri gösterilmektedir. Radar vericisi, kanala iletmeye uygun bir sinyali antene hazırlar ve gönderir. Radar vericisi frekans modülasyonlu sürekli dalga yollar. Sinyal verici antenden hedefe giderken ve hedeften yansıdıktan sonra alıcı antene geri dönerken etkilenir. Radar alıcısı, radar yansıyan

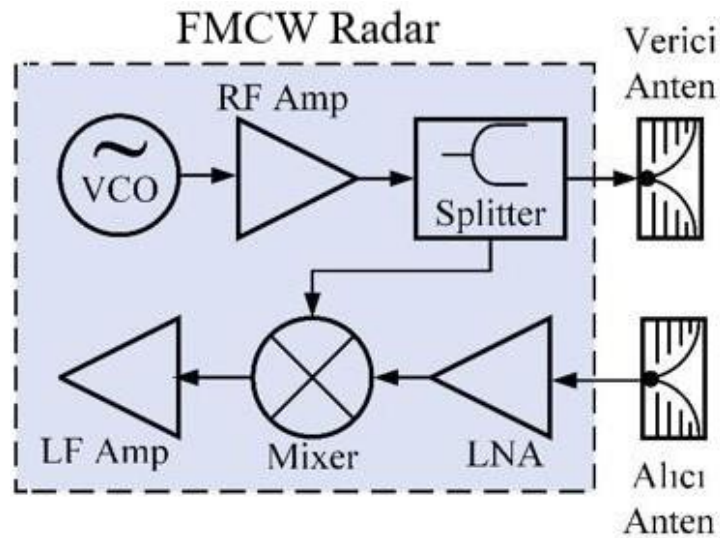
sinyalini demodüle eder, böylece sinyal işlemcisi, döndürülen sinyalden hedefle ilgili bilgileri çıkarabilir. Bu durumda, radar alıcısı, iletilen sinyalin yapısını tam olarak bilir. Radar anteni, alıcı, verici ve iletim ortamı arasında birleştirici görevi görür. (Mahafza 2017).

Radar verilerinde hedefin bulunduğu ortamın radar performansı üzerine etkileri vardır. Zemindeki EM dalgasının genlik ve dalga boyu özellikleri; su içeriği, sıkışma, metallere, çözünür tuzlar, bazı killer ve iletken malzemelerin varlığı gibi yeraltı birikintilerinin fiziksel veya kimyasal özelliklerindeki herhangi bir değişiklik durumunda etkilenebilmektedir. (Dojack 2012).

YNR parametrelerini etkileyen faktörler ise hedefin konum çözünürlüğü, işaret-gürültü oranı, işaret-parazit oranı, menzile, yatay çözünürlük, derinlik çözünürlüğü, parazitler, toprak yapısı, derinlik çözünürlüğüdür (Güney ve Çolak 2020).

### 2.1.1. FMCW radar

Frekans modülasyonlu sürekli dalga (FMCW) radarı sürekli güç yayan özel bir radar türüdür. FMCW radarında, verici frekansı zamanın bir fonksiyonu olarak değişir. FMCW radarının çalışma prensibini göstermek için ayrı verici ve alıcı antenlere sahip blok diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmektedir. İletilen sinyalin bir kısmı, darbe frekansını üretmek için referans sinyali olarak doğrudan mikse verilir.



Şekil 2.2. FMCW radar blok diyagramı

Mikser, iletilen sinyalin bir kısmı ile alınan sinyal yani hedeften geri yansıyan sinyalinin çarpılmasını sağlar. Mikserin çıkışı, ara frekans (IF) sinyali olarak adlandırılır ve aynı zamanda dönüştürülmüş veya mesafe ölçüm sinyali olarak da adlandırılır. Bu çalışmada asıl ilgilenilen bileşen IF bileşenidir. Miksere gelen bileşenlerin eşit olması durumunda yani kayıpsız yansıma meydana gelmesi durumunda elde edilecek IF bileşeni 0V genlikte olacaktır. Bu gerilimin sapsması ve buna bağlı olarak oluşturulacak görüntünün incelenmesi neticesinde gömülü cisimden kaynaklı bir anomali olup olmadığı yargısına varılabilir.

## **2.2. Radar Anteni**

Anten, bir radar sisteminin en önemli bileşenlerinden birisidir. Serbest uzay ile bir dalga kılavuzu arasındaki geçiş yapısıdır. Dalga kılavuzu veya iletim hattı, EM enerjii verici kaynaktan antene veya antenden alıcıya taşımak için kullanılır (Balanis 2015).

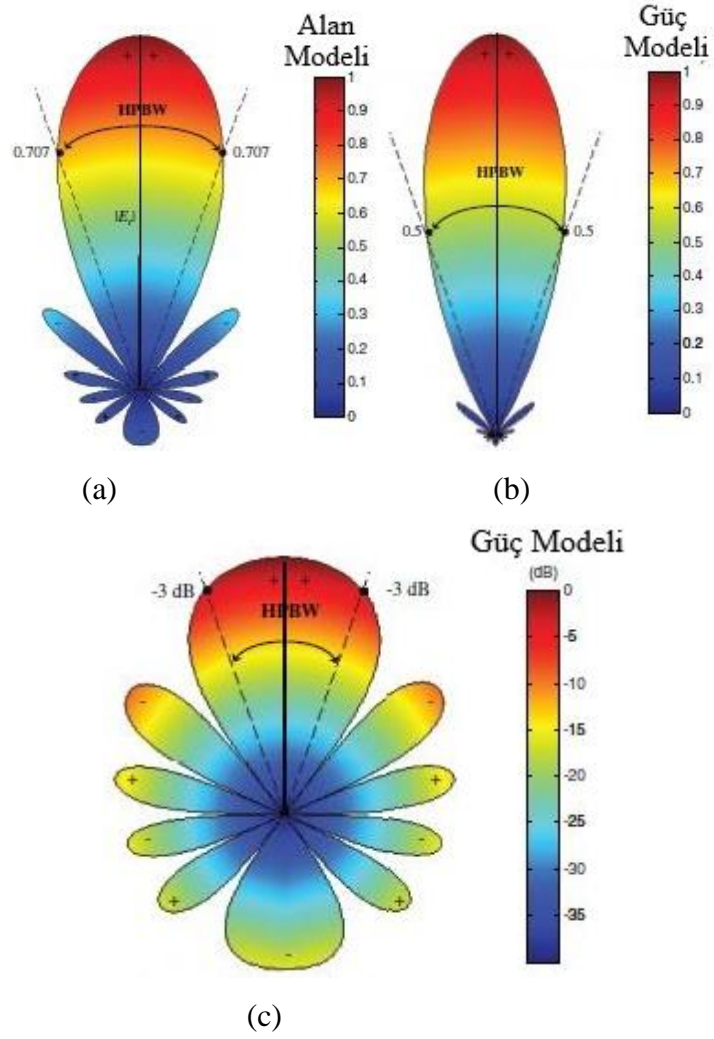
Antenler temel olarak tel antenler, mikroşerit antenler, açıklık antenler, dizi antenler, lens antenler ve reflektör antenler olarak sınıflandırılabilir.

## **2.3. Anten Parametreleri**

Bir antenin performansını tanımlamak için çeşitli parametrelerin tanımları gereklidir.

### **2.3.1. Işıma modeli**

Temel olarak uzay koordinatlarına göre antenin ışımada davranışını tanımlar. Işıma modeli, uzak alanda hesaplanan kutupsal koordinatlarında tanımlanır. Güç akısı yoğunluğu, ışımada yoğunluğu, yönlülük, alan kuvveti ve polarizasyon, ışımada modeli incelenerek değerlendirilebilecek özelliklerden bazılarıdır. Alan Modeli genellikle açısalla uzayda manyetik veya elektrik alanının genliğini değerlendiren doğrusal bir ölçek grafiği olarak tanımlanırken, güç modeli (doğrusal ölçek) açısalla uzayda manyetik veya elektrik alanının büyüklüğünün karesel değerini değerlendirir. Şekil 2.3' de alan ve güç modelleri gösterilmiştir.

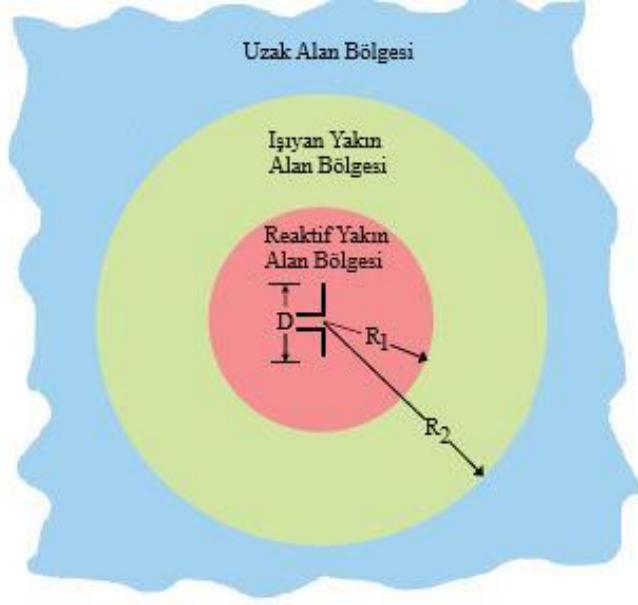


**Şekil 2.3.** Işıma düzeni, Doğrusal ölçekte açıklanan alan düzeni (a), Doğrusal ölçekte açıklanan güç düzeni (b), dB'de açıklanan güç düzeni (c) (Balanis 2015).

### 2.3.2. Alan bölgeleri

Şekil 2.4' de antenin alan bölgeleri verilmiş olup reaktif yakın alan, yayılan yakın alan (Fresnel) ve uzak alan (Fraunhofer) olmak üzere üç temel alt kategoriye ayrılmıştır.





**Şekil 2.4.** Anten alan bölgeleri (Balanis 2015).

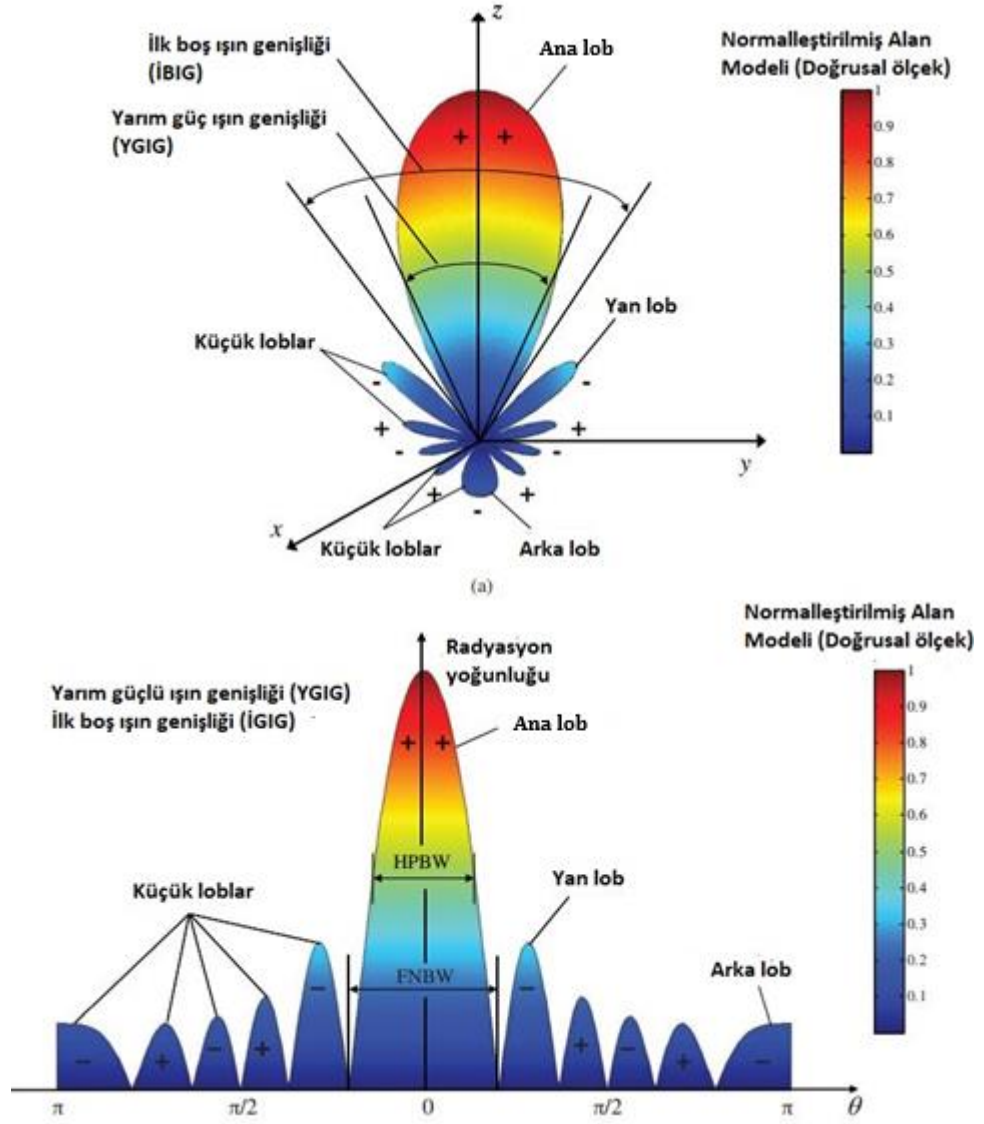
Anten sınırından hemen sonraki boşluk, Reaktif yakın alan bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge  $R_1 < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  mesafesi için mevcuttur burada  $R_1$  reaktif yakın alan yarıçapı,  $\lambda$  dalga boyu ve  $D$  anten boyutudur.

Işınım yapan yakın alan (Fresnel) bölgesi, ışınımın yayıldığı alan olarak tanımlanır. Bu bölge  $0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq R_2 < 2D^2/\lambda$  aralığında uydundur. Burada  $R_2$  ışınım yakın alan yarıçapı,  $\lambda$  dalga boyu ve  $D$  anten boyutudur.

Uzak alan bölgesi, açısal alan dağılımının antene olan mesafeden bağımsız olduğu alan bölgesi olarak adlandırılmakta olup bölge  $R_2 \geq 2D^2/\lambda$  için mevcuttur.

### 2.3.3. Işıma modeli lobları

Işıma modelinin çeşitli formları lob olarak adlandırılır ve bunlar ana, küçük, yan ve arka loblar olarak kategorize edilebilir. Şekil 2.5’ de ışınım modeli lobları verilmiştir. Maksimum ışınım yönünde yönelimi kapsayan ışınım lobunun ana lob olarak ifade edilir. Ana lob dışındaki diğer tüm loblar küçük lob olarak tanımlanır. Ekseni ana lobun tam tersi olan lob, arka lob olarak adlandırılır.



**Şekil 2.5.** Polar formda bir anten genlik modelinin ışın lobları ve ışın genişlikleri (a), doğrusal çizim güç modeli ve bununla ilişkili loblar ve ışın genişlikleri (b) (Balanis 2015).

#### 2.3.4. Hüzme genişliği

Işın modelinin hüzme genişliği, ana loba iki homojen nokta arasındaki açısal ayırım değerlendirilerek belirlenebilir. Temel olarak, hüzme genişliği yarı güç hüzme genişliği (YGHG) ve ilk sıfır hüzme genişliği (İSHG) olarak sınıflandırılır. Işın yoğunluğunun ana ışının yarısı olduğu açısal ayırım YGHG olarak belirtilirken, Şekil 2.5 'de gösterildiği gibi ilk sıfırlar arasındaki açısal ayırım İSHG olarak belirtilir.

### 2.3.5. Işıma şiddeti

Uzak alan parametresi olan ışıma şiddeti, belirli bir yönde bir anten tarafından yayılan güç olarak adlandırılır.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5' de verilen  $U$  ışıma şiddeti,  $r$  ışıma şiddeti mesafesi,  $W_{rad}$  ışıma güç yoğunluğudur.

### 2.3.6. Yönlülük

Yönlülük, boyutsuz bir niceliktir ve belirli bir yöndeki toplam ışıma yoğunluğunun, tüm yönlerde ortalaması alınan ışıma yoğunluğuna bölümü olarak tanımlanabilir.

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.6)$$

Denklem 2.6' da verilen  $D$  yönlülük,  $U$  ışıma şiddeti,  $P_{rad}$  toplam yayılan güçtür.

### 2.3.7. Kazanç

Belirli bir yöndeki ışıma yoğunluğunun, kabul edilen gücün izotropik olarak yayılması durumunda elde edilebilecek ışıma yoğunluğuna oranı antenin kazancını vermektedir.

$$G = \frac{4\pi U}{P_{in}} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7' de verilen  $G$  anten kazancı,  $U$  ışıma şiddeti,  $P_{in}$  toplam giriş gücüdür.

### 2.3.8. Verimlilik

Anten verimliliği, bir antendeki esas olarak dirençli ( $I^2R$ ) kayıplardan kaynaklanan kayıpları tanımlar.

$$\eta = G/D \quad (2.8)$$

Denklem 2.8' de verilen  $\eta$  anten verimliliği,  $G$  anten kazancı,  $U$  ışıma şiddetidir.

### 2.3.9. Polarizasyon

Polarizasyon, anten tarafından ışılan elektromanyetik dalganın kutuplanması anlamına gelmektedir. Elektrik veya manyetik alan vektörünün zamanla değişen yapısını incelemek için kullanılan bir parametredir. Yön belirtilmediğinde, polarizasyon maksimum kazanç yönündeki polarizasyon olarak alınır. Polarizasyon doğrusal, dairesel veya eliptik olarak sınıflandırılabilir. Uzaydaki bir noktadaki elektrik alanını zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlayan vektör her zaman bir çizgi boyunca yönlendirilmişse, alanın doğrusal polarize olduğu söylenir. Bununla birlikte, genel olarak, elektrik alanın çizdiği şekil bir elipstir ve alanın eliptik olarak polarize olduğu söylenir. Doğrusal ve dairesel polarizasyonlar, elipsin özel durumlarıdır ve elipsin sırasıyla düz bir çizgi veya daire haline gelmesiyle elde edilebilirler. Elektrik alanın şekli saat yönünde (CW) veya saat yönünün tersine (CCW) izlenir. Elektrik alan vektörünün saat yönünde dönüşü de sağ polarizasyon olarak ve saat yönünün tersine sol polarizasyon olarak tanımlanır.

### 2.3.10. Giriş empedansı

Anten tarafından terminallerinde sunulan empedans veya bir çift terminalde voltajın akıma oranı veya bir noktadaki uygun elektrik alan şiddetinin manyetik alan şiddetine oranı giriş empedansı olarak tanımlanır. Maksimum enerji iletimi için, iletim hattının karakteristik empedansı ile antenin giriş empedansı uyumlu olmalıdır.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.10)$$

Denklem 2.10' da verilen  $Z_A$  anten empedansı,  $R_A$  anten direnci,  $X_A$  anten reaktansdır.

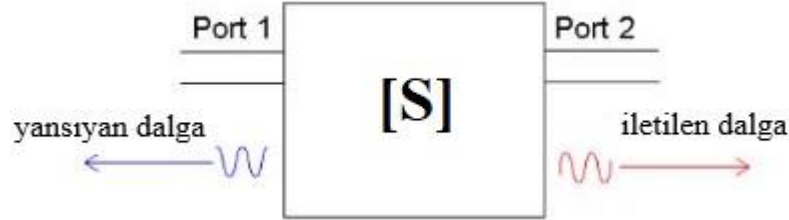
### 2.3.11. Bant genişliği

Bant genişliği, antenin uygun şekilde yayabileceği veya enerji alabileceği frekans aralığını tanımlar. Bant genişliği, antenin uygun şekilde yayabileceği veya enerji alabileceği frekans aralığını tanımlamakta olup istenen bant genişliği çoğu zaman bir antene karar vermek için kullanılan belirleyici parametrelerden biridir. Pratikte iletim hattı ve anten arasındaki empedans uyumuyla ilgili parametre olan geri dönüş kaybı

değerinin -10 dB' den az olduğu ve gerilim duran dalga oranının 2' den düşük olduğu değerler aralığı bant genişliği olarak kabul edilebilir.

### 2.3.12. Saçılma parametreleri

Saçılma parametreleri veya S-parametreleri, elektrik sinyalleriyle çeşitli sabit durum uyarılarına maruz kaldığında doğrusal elektrik ağlarının elektriksel davranışını tanımlar. S kısaltması saçılma kelimesinden türetilmiştir. S parametreleri çoğunlukla sinyal gücü ve enerji hususlarının akım ve gerilimlerden daha kolay ölçülebildiği radyo frekansında (RF) ve mikrodalga frekanslarında çalışan devreler için kullanılır. S parametreleri ölçüm frekansıyla değişir. İki kapılı devre modeli Şekil 2.6' da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. İki kapılı devrenin S parametreleri

$S_{11}$ ; Birinci kapıdan işaret verildiğinde birinci kapıdan yansıyan işareti ifade eder.

$S_{12}$ ; İkinci kapıdan işaret verildiğinde birinci kapıdan çıkan işareti ifade eder.

$S_{21}$ ; Birinci kapıdan işaret verildiğinde ikinci kapıdan çıkan işareti ifade eder.

$S_{22}$ ; İkinci kapıdan işaret verildiğinde ikinci kapıdan çıkan işareti ifade eder.

### 2.3.13. Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO)

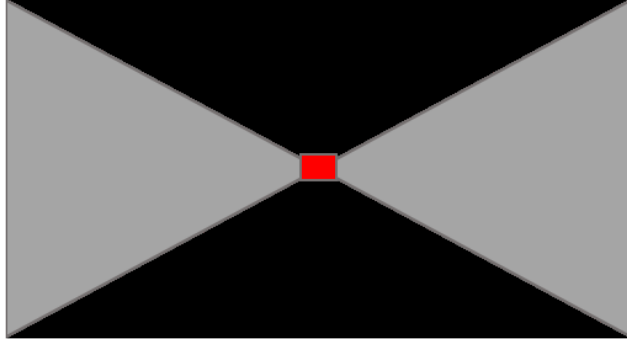
Bu parametre iki iletim hattının eşleşmesinin ne kadar iyi olduğunu hesaplamının bir yöntemidir.  $1 < GDDO < \infty$  aralığında değer alabilir. Kabul edilebilir bir değer, mevcut gücün yaklaşık % 90'ının yüke iletildiği  $GDDO < 2$ 'dir (Nevels ve ark. 1998). Yük ve anten arasındaki herhangi bir yansıma antenin etkinliğini azaltacağından anten tasarımında, mümkün oldukça 2' nin altında bir GDDO istenir.

## 2.4. Yere Nüfuz Eden Radar Antenleri

Ultra geniş bant (UGB) anten teknolojisi üzerine Yer Radarı uygulamaları için karşılaştırmalı bir inceleme yapıldığında önerilen anten tasarımları arasında papyon antenler, vivaldi antenler, horn antenler, düzlemsel antenler, konik yarık antenler, dipol antenler ve spiral antenler bulunur. Vivaldi anteni, yön özelliği, yüksek kazanç ve daha yüksek bant genişliği çalışması nedeniyle YNR sisteminde penetrasyon derinliği ve çözünürlük görüntüleme gibi sorunları hem düşük hem de yüksek frekansta ele alma yeteneğine sahip olduğu için tercih edilmektedir (Ali ve ark. 2017).

### 2.4.1. Papyon anten

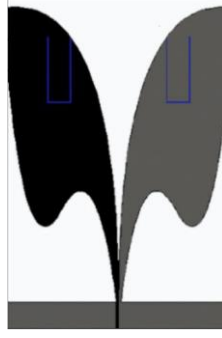
Papyon bir UGB anteni, YNR uygulamaları sırasında zemin duyarlılığını azaltma yeteneğine sahip olduğundan, yaygın olarak kullanılmakta olup Şekil 2.7' de gösterilmiştir (Gross 2011). Orta seviye anten kazancına sahip olduğu için tercih edilmemiştir.



Şekil 2.7. Papyon anten (Ranasinghe ve ark. 2013).

### 2.4.2. Konik yuvalı anten

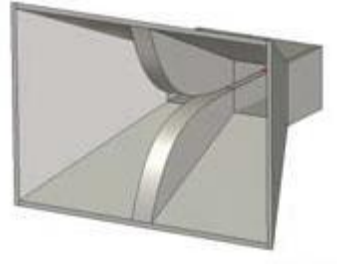
Konik yuvalı antenler (Vivaldi), genellikle 10:1 oranında daha büyük bir bant genişliği gerektiren YNR gibi uygulamalar için yaygın olarak kullanılır (Gross 2011). Şekil 2.8' de vivaldi anten gösterilmiştir. Orta seviyenin üzerinde bir anten kazancına sahip olması ve üretim kolaylığı açısından Vivaldi anten tercih edilmiştir.



**Şekil 2.8.** Vivaldi anten (Yang ve ark. 2014).

### 2.4.3. Horn anten

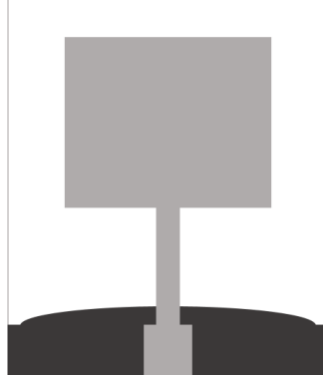
YNR sisteminde, daha iyi derinlik penetrasyonu ve sığ hedefleri tarama kolaylığı genellikle yükseltilmiş antenler gerektirir çünkü algılama için enerjinin zemine yayılması gerekir. Böylece, toprak etkilerine karşı daha az duyarlı olduğu için horn anteni en iyi adaylardan biri yapar (Gross 2011). Şekil 2.9' da horn anten gösterilmiştir. Horn antenin kazancı oldukça yüksek olmasına rağmen tasarım zorluğu nedeniyle tercih edilmemiştir.



**Şekil 2.9.** Horn anten (Panzner ve ark. 2010).

### 2.4.4. Düzlemsel anten

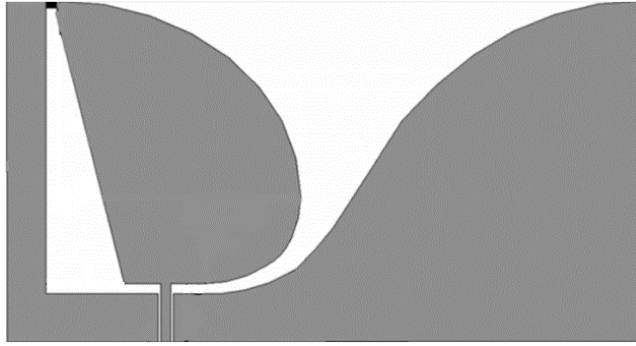
Düzlemsel anten, basitliği, tasarım uygunluğu, maliyet ve hafiflik özellikleri nedeniyle UGB için popüler bir adaydır (Chang ve ark. 2012). Şekil 2.10' da düzlemsel anten gösterilmiştir. Anten kazancı orta seviyede kaldığı için tercih edilmemiştir.



**Şekil 2.10.** Düzlemsel anten (Chang ve ark. 2012).

#### **2.4.5. Konik yuvalı kompakt düzlemsel anten**

YNR uygulamaları için yüksek kazançlı konik yuvalı kompakt düzlemsel anten, konik yuvayı tamamlamak için bir yuva hattına sahip bir eş düzlemler bir dalga kılavuzu tarafından beslenir (Shao ve ark. 2013). Şekil 2.11’ de konik yuvalı anten gösterilmiştir. Anten kazancı yüksek olmasına rağmen konik yuvalı kompakt düzlemsel anten topolojisinden gelen eğrilerin mevcut imkanlarla pratikte uygulanabilirliği zor olduğu için tercih edilmemiştir.

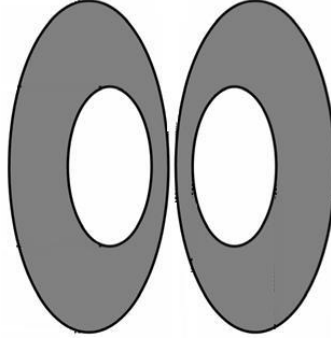


**Şekil 2.11.** Konik yuvalı kompakt düzlemsel anten (Shao ve ark. 2013).

#### **2.4.6. Dipol, koni ve spiral anten**

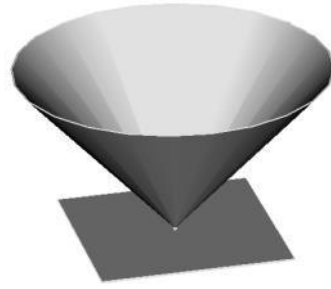
Dipol, kanonik ve spiral antenler de YNR uygulamaları için potansiyel adaylardır. Bir dipol anten, düzlemsel bir yapı üzerine veya bir telden yapılabilir. UGB YNR uygulamaları için diğer anten tasarımları, koni ve spiral şekillerden yapılmıştır (Hertl Strycek 2007). Şekil 2.12’ de konik yuvalı anten gösterilmiştir. Anten kazançları orta seviyenin altında kaldığı için tercih edilmemiştir.





**Şekil 2.12.** Dipol anten (Nazli ve ark. 2010).

Koni anten, YNR sistemleri için empedans bant genişliğini iyileştirmek için 3 boyutlu yapıdaki temel bir antendir (Ali ve ark. 2017). Şekil 2.13' de koni anten gösterilmiştir.



**Şekil 2.13.** Koni anten (Hertl Strycek 2007).

Öte yandan, kazançlı iki eşit genişlikte kola sahip spiral antenler de YNR uygulamaları için uygundur. Şekil 2.14' de spiral anten gösterilmiştir.



**Şekil 2.14.** Spiral anten (Hertl Strycek 2007).

#### 2.4.7. YNR antenlerinin karşılaştırılması

Çizelge 2.1’ de aynı frekans aralığında UGB antenlerin yüzde bant genişliği ve anten kazançları karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 2.1.** YNR anten karşılaştırması

Referans	Anten çeşidi	Frekans (GHz)	Bant Genişliği (%)	Azami Kazanç (dB)
(Hertl Strycek 2007).	Papyon	0,5-3	142	5,8
	Vivaldi	0,5-3	142	7,7
	Horn	0,5-3	142	11,9
	Düzlemsel	0,5-3	142	6,6
	Dipol, koni ve spiral	0,5-3	142	5,5
(Coburn 2015).	Konik yuvalı	0,3-3	163	5

Bu çalışmada Çizelge 2.1’ den elde edilen veriler ışığında orta seviyenin üzerinde bir kazanç elde edilebilen ve horn antene göre üretim kolaylığı olan vivaldi anten tercih edilmiştir.

#### 2.5. Vivaldi Anten

Vivaldi anten, üretimi kolay ve çok geniş bantlı tasarlanabilen düzlemsel antenlerdir. Antenin ilk tanıtımı Gibson tarafından 1979 yılında yapılmıştır (Gibson 1979).

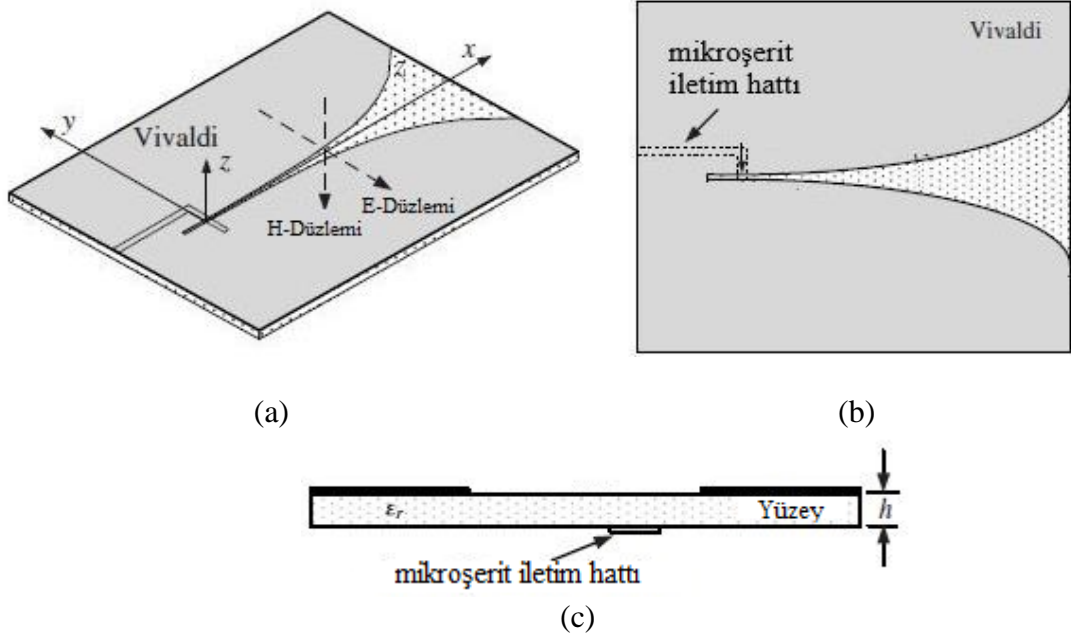
1979 yılından itibaren, mikrodalga görüntüleme, kablosuz iletişim ve yere nüfuz eden radarlar gibi farklı uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Vivaldi anteni, özel bir tür periyodik olmayan gezici dalga antenidir (Gazit 1988).

Üst katmandaki üstel eğriler sayesinde Vivaldi anten çok yüksek bant genişliği sağlayabilmektedir. Vivaldi antenler bant genişliği boyunca simetrik ışıma karakteristiğine sahiptir. (Durmuşoğlu 2016).

Vivaldi antenler düşük yan kulakçık seviyesi, geniş bant ve yüksek kazanç gibi ışıma özelliklerine sahiptir ve anten 17 dB’ ye kadar kazanç sağlamaktadır. Antenin yönlülüğü

uzunluk parametresi ile ilişkili olup doğru orantılıdır. Tarama açısı  $60^\circ$  ye kadar çıkmaktadır. (Yngvesson ve ark. 1989). Vivaldi anten bant genişliği, antenin yarık çizgisi ile mikroşerit çizgisi arasındaki geçiş ile sınırlıdır.

Bu geçiş uygun biçimde yapılırsa, geniş bant performansı sağlar (Gazit 1988). Antenin uzunluğu arttıkça, hüzme genişliği daralmaktadır (Schantz 2002).

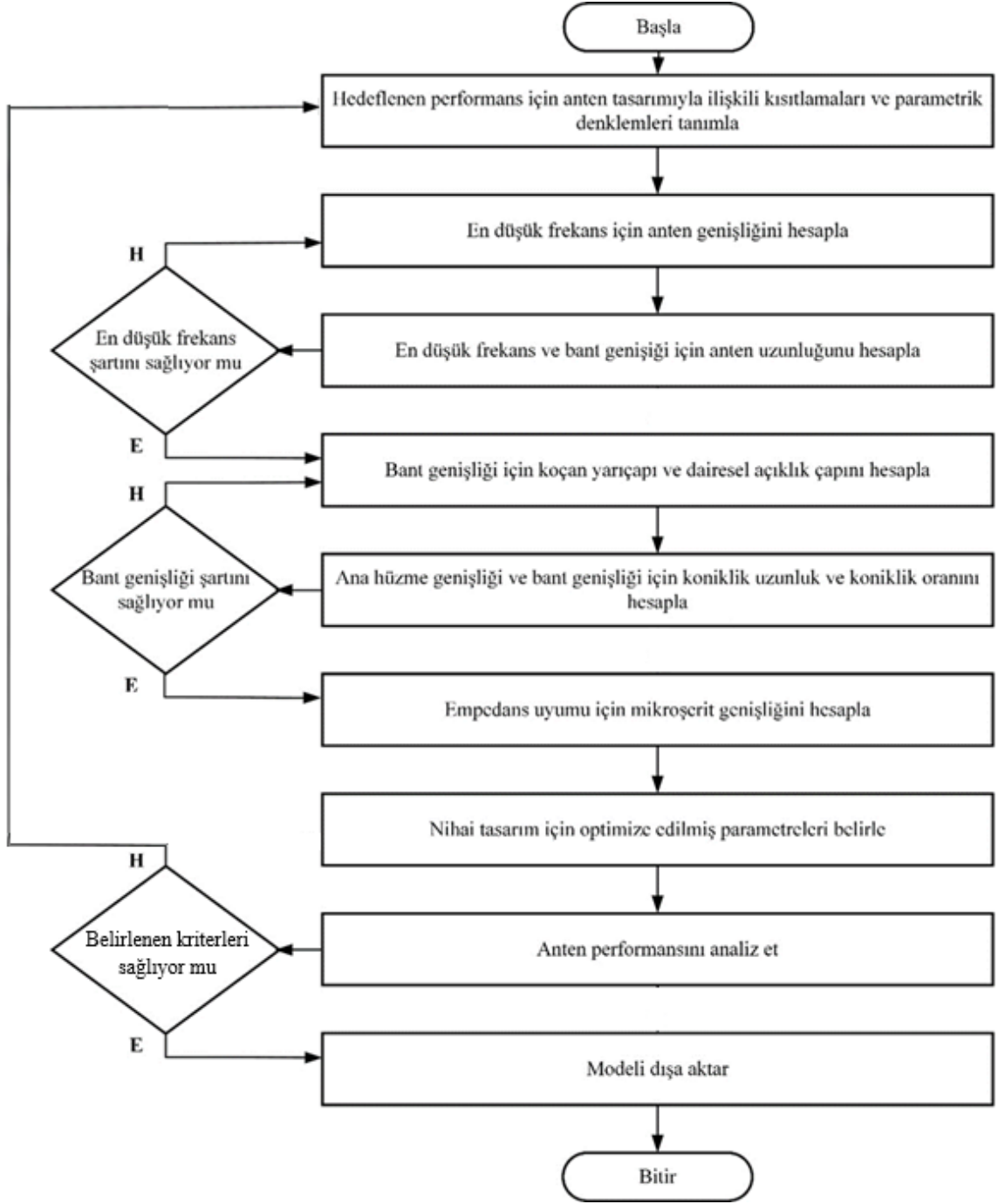


**Şekil 2.15.** Vivaldi anten geometrisi, (a) 3 boyutlu görünüm, (b) üstten görünüm, (c) sağ ön görünüm (Balanis 2015).

Temel geometrisi Şekil 2.15' de gösterilmektedir ve genellikle alt tabakanın üst kaplamasına kazınmış Vivaldi tasarımı ile bir alt tabaka üzerinde uygulanmaktadır. Temel yapı, üstel olarak konik bir yuvaya bağlanan bir  $\lambda/4$  tek biçimli yuvadan oluşur; alt simge  $s$ , yuvayı tanımlamak için kullanılır. Yuva, Şekil 2.15 'de gösterildiği gibi, alttaşın alt yüzeyinden bir mikroşerit iletim hattı tarafından beslenir. Alışılmamış mikroşerit çizgisi tarafından uyarılan, merkez frekansındaki dalga boyunun çeyreği uzunluğundaki yuva yerine tipik olarak kare veya dairesel bir koçan kullanılmaktadır. Rezonans alanı, iletim hattı olsun ya da olmasın, katlanarak sivrilen bir yuvaya bağlanır (Balanis 2015).

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

Bu tezde ilk olarak Vivaldi anten tasarım parametreleri hesaplanarak CST Studio Suite® programında simüle edilmiştir. İlgili anten üretilerek network analizör yardımıyla ölçümler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında antenin tasarım aşamasından üretim aşamasına kadar olan süreç için kullanılan akış diyagramı Şekil 3.1' de verilmiştir. Daha sonra yeraltı görüntüleme uygulamalarında kullanılması hedeflenen bu antenin kazancını artırmak için Vivaldi anten modifiye edilmiştir. MVA üretilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Anten tasarımının tamamlanmasının ardından gömülü hedeflerin tespiti için FMCW radar sistemi oluşturulmuştur. Oluşturulan YNR sistemi ile EYP tespiti ve modellenmesi yapılmıştır.



**Şekil 3.1.** Anten tasarım akış şeması

### 3.1. Alttaş Seçimi

Alttaş, esas olarak antenin mekanik desteği için gereklidir. Bu desteği sağlamak için alt tabaka, antenin ve iletim hattının elektrik performansını etkileyebilecek bir dielektrik malzemeden oluşmalıdır (Mohamed 2018).

Alttaş tipi ve kalınlığı antenin giriş empedansını etkileyen bir parametredir. Tasarımın ilk aşaması olan alttaş seçiminde uygun dielektrik sabiti ve tanjant kaybına sahip bir alt tabaka malzemesi seçilmelidir.

Dielektrik sabiti ve alttaş kalınlığı, ışıma örüntülerini ve antenin kazanç parametrelerini etkilerken alttaş kalınlığındaki herhangi bir değişiklik bant genişliğini önemli ölçüde etkilemez. Aynı bant genişliği kriterlerini daha küçük anten boyutlarında elde etmek için daha yüksek dielektrik sabitine sahip alt tabakalar kullanılmalıdır. Alttaş kalınlığının artması, anten kazancında artışa neden olurken ana hüzmeyi daraltmasına ve yan kulakçıkların artmasına neden olur (Şengül 2018).

Anten tasarımında alt tabakanın seçimi belirli kriterlere cevap vermelidir:

- Dielektrik sabiti ( $\epsilon_r$ )
- Kayıp tanjantı
- Kalınlık
- Frekans
- Maliyet ve tedarik

Dielektrik sabiti  $\epsilon_r$ , ortamdaki dalga hızını belirler. Daha yüksek değerler antenin elektriksel olarak daha küçük görünmesini sağlar.

Kayıp tanjantı, bir malzemenin ne kadar enerji emeyeceğinin bir ölçüsüdür. Yüksek kayıplı bir malzeme, anten verimliliğini ve güç işleme kapasitesini azaltacaktır. Kayıp frekansla doğru orantılıdır.

Kalınlık, (Dielektrik Sabiti ile birlikte)  $50\Omega$  iletim hattının mikroşerit genişliğini belirleyecektir. Makul bir mikroşerit genişliği seçmemizi mümkün kılan alttaş tipi ve kalınlığıdır. Alttaş kalınlığı arttıkça mikroşerit çok geniş olacak ve bir RF konnektörüne bağlanması zor olacaktır. Alttaş kalınlığı azaldıkça da mikroşerit çok ince olacak ve üretim hatalarına karşı aşırı duyarlı olacaktır.

FR (Flame Retardant) alev geciktiricili, CEM (Composite Epoxy Material) kompozit epoksi malzeme ve ALU (Aluminum) ise alüminumdur. FR ve CEM malzemeler ısıya dayanıklılıklarına göre sınıflandırılır ve ilave bir rakamla gösterilir. En çok kullanılan ve tercih edilen malzemeler FR4, ALU ve CEM1' dir. Bu çalışmada tedarik kolaylığı,

mekanik mukavemete sahipliği, hem kuru hem de nemli koşullarda elektriksel yalıtım özelliğini koruduğu ve kolay işlenebilirliği nedeniyle alıttaş malzemesi olarak FR4 seçilmiştir. Kullanılan alıttaşa ait parametre değerleri çizelge 3.1' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Alıttaş parametreleri

Malzeme adı	Dielektrik sabiti	Kalınlık (mm)	Tan $\delta$ (tanjant kaybı)
FR-4	4,3	1,6	0,025

### **3.2. Anten Besleme Teknikleri**

Düzlemsel metal iletkenlerden veya yalıtkan yüzeyler üzerine iletken şeritlerden imal edilen ve monte edilen iletim hatları ve pasif toplu veya dağıtılmış devre elemanları, mikrodalga ve milimetre dalga hibrit entegre devrelerin vazgeçilmez temel unsurlarıdır (Schneider 1969).

Besleme tasarımının amacı, gücü (normalde) bir koaksiyel iletim hattından antene mümkün olduğuunca az yansıma ve mümkün olduğuunca az kayıpla verimli bir şekilde aktarmaktır (Mohamed 2018).

Besleme yöntemleri seçimini yaparken antenin performansına etkisi, maliyeti ve pratikte uygulanabilir olması gibi bazı kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

Mikroşerit hatların genel olarak 3 adet besleme tekniği bulunmaktadır. Bunlar mikroşerit hat besleme, konektör ile mikroşerit hat besleme ve dalga kılavuzu ile mikroşerit hat besleme yöntemleri ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında konektör ile mikroşerit hat besleme tekniği kullanılmıştır.

#### **3.2.1. Mikroşerit hat besleme**

Yansıtıcı yüzey ile mikroşerit hat aynı alıttaş üzerinde olduğu için üretimi kolay ve maliyeti düşüktür. Mikroşerit hat besleme tekniği herhangi bir ek malzemeye ihtiyaç duymadan entegre edilebilmektedir. Bu özelliği sayesinde empedans uyumluluğu kolaylıkla yapılmaktadır. Bu yöntem genellikle antenin bir sistem ile entegre edildiğinde yapılmaktadır. Antenler kullanılmadan önce analizi yapılması gerekmektedir. Bu beslemeğe tekniği anten testlerini yapmak için uygun değildir (Mohamed 2018).

### **3.2.2. Konnektör ile mikroşerit hat besleme**

Konnektör ile mikroşerit hat beslemede hem montajı hem de ölçümlerde sağladığı kolaylık sayesinde oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Konnektör seçimi yapılırken çalışma frekansı, konnektörün toleransı ve aktarabileceği azami güç parametreleri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kriterleri sağlayan bir konnektör seçilir. Mikrodalga ve milimetre dalga frekansları seviyesine geçildiğinde hem kullanılacak konnektör sayısı hem de besleme yöntemi azalmaktadır. Bu konnektörlerden en çok kullanılan ve bilinenlerden birisi SMA tipi konnektördür.

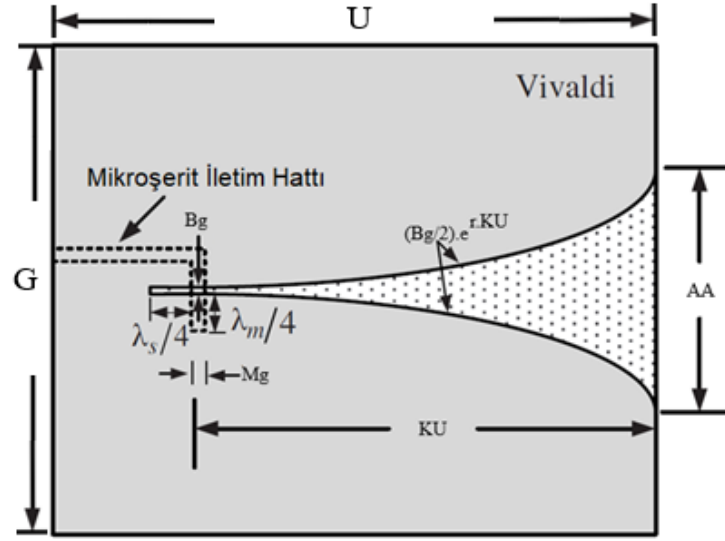
### **3.2.3. Dalga kılavuzu ile mikroşerit hat besleme**

Milimetre dalga frekanslarında dalga boyları oldukça küçüktür. Mikroşerit hat beslemesinde kullanılacak olası bir konnektör hem malzemenin toleransından hem de montaj esnasında yapılacak lehimlemenin doğru yapılmamasından kaynaklanacak problemlerden dolayı milimetre dalga frekanslarında çok sık tercih edilemez. Milimetre dalga frekanslarındaki sinyallerin kayıplarını minimize etmek için dalga kılavuzları kullanılmaktadır. Bu besleme tekniğinde güç dalga kılavuzu ile PCB' ye aktarılır. Özellikle dalga boyunun milimetre mertebelerine düştüğü bölgelerde dalga kılavuzu ile mikroşerit besleme önem kazanmaktadır. Ancak diğer besleme tekniklerine göre mekanik yapısından dolayı boyutu daha büyüktür (Durmuşoğlu 2016).

### **3.3. Vivaldi Anten Tasarım Parametreleri**

Vivaldi antenin tasarımı için belirlenmesi gereken temel tasarım parametreleri vardır. Bunlar Şekil 3.2' de gösterilmiştir.

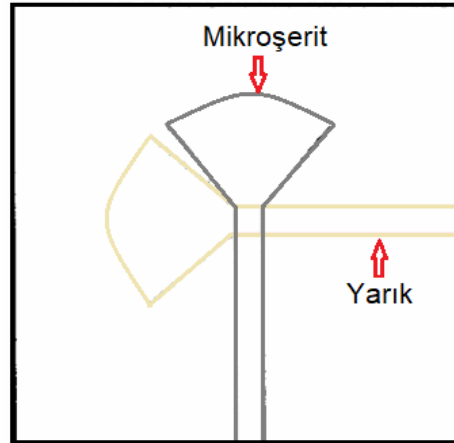




**Şekil 3.2.** Vivaldi anten parametreleri

Şekil 3.2’ de verilen parametrelerden, Bg boğaz genişliği, Mg mikroşerit genişlik, KU konik uzunluk, AA ağız açıklığı, r koniklik oranını temsil etmektedir.

Alışlagelmiş mikroşerit çizgisi tarafından uyarılan, merkez frekansındaki dalga boyunun çeyreği uzunluğundaki yuva yerine Şekil 3.3’ de gösterilen dairesel bir koçan kullanılabilir.



**Şekil 3.3.** Dairesel koçan

Şekil 3.2’ de verilen üstel yarık ;

$$y(x) = \pm A. e^{r.x} \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Burada  $y$ , anten ağız açıklığının yarısıdır.  $x$ , anten uzunluğu boyunca konik uzunluğudur (KU),  $A$ , açıklık genişliğinin (Bg) yarısıdır.  $r$ , koniklik oranıdır. Bu oran, antenin bant genişliği ve hüzme genişliği parametrelerinin üzerinde etkin role sahip olmaktadır ve genellikle bu oran arttıkça ışın genişliği E-düzleminde artarken, H-düzleminde azalmaktadır. Bunun yanında bant genişliği de artmaktadır (Balanis 2015).

$$y = \frac{AA}{2} \quad (3.2a)$$

$$A = \frac{BG}{2} \quad (3.2b)$$

$$r = \frac{1}{KU} \ln \left( \frac{AA}{BG} \right) \quad (3.2c)$$

Koniklik oranı ( $r$ ) ve anten uzunluğu ( $U$ ), antenin bant genişliği ve kazancını belirlemede önemli bir etkiye sahiptir ve en iyi performans için, tipik olarak  $U$ , düşük frekanstaki dalga boyundan bir dalga boyundan daha büyük seçilir. Boğaz genişliği ( $Bg$ ) en yüksek frekansı temel alır ve açıklık genişliği ( $AA$ ) daha düşük frekansı etkiler (Gibson P. J.,1979). Ayrıca parametrik incelemeler ele alındığında açıklık genişliğinin  $AA$  değeri, tipik olarak  $AA_1$  ve  $AA_2$  aralığında bir değerde olmalıdır. Burada  $AA_1$  merkez frekanstaki dalga boyunu,  $AA_2$  ise en düşük frekanstaki dalga boyunun iki katını temsil etmektedir.

$$AA_1 = \lambda_0 \quad (3.3a)$$

$$AA_2 = \frac{\lambda_{min}}{2} \quad (3.3b)$$

$$AA_1 < AA < AA_2 \quad (3.3c)$$

Burada en düşük frekanstaki dalga boyu  $\lambda_{min}$  ile ifade edilirken merkez frekanstaki dalga boyu ise  $\lambda_0$  ile ifade edilmektedir (Yngvesson ve ark. 1989).

Tez çalışmasında YNR sistemi ile toprak altında gömülü olan EYP ve türevleri tespit edilmesi istenildiğinden, bu sistemin en önemli parçası olan Vivaldi anten olacak şekilde ele alınmıştır. Anten tasarımı için,

- Bant genişliği: 0,5 – 4 GHz
- Geri dönüş kaybı: -10 dB’ den daha küçük
- Gerilim duran dalga oranı: 2 ve daha düşük
- Karakteristik empedans: 50  $\Omega$ , olarak belirlenmiştir.

### 3.3.1. Giriş empedansı ve Mikroşerit Genişliği (Mg)

Seçilen alttaş malzemesinin dielektrik sabiti, alttaş kalınlığı ve mikroşerit genişliği antenin giriş empedansını belirleyen parametrelerdir. Giriş empedansını etkileyen mikroşerit hattın genişliği;

$\left(\frac{Mg}{h}\right) > 1$  ise;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{Mg}}} + 0.04 \left( 1 - \left( \frac{h}{Mg} \right) \right)^2 \right] \quad (3.4a)$$

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_{eff}}} \ln \left( 8 \left( \frac{h}{Mg} \right) + 0.25 \left( \frac{Mg}{h} \right) \right) \quad (3.4b)$$

$\left(\frac{Mg}{h}\right) < 1$  ise;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \left[ \frac{\varepsilon_r - 1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{Mg}}} \right] \quad (3.5a)$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon_{eff}} \left[ \left( \frac{Mg}{h} \right) + 1.393 + \frac{2}{3} \ln \left( \frac{Mg}{h} + 1.444 \right) \right]} \quad (3.5b)$$

kullanılarak hesaplanabilir. Burada  $\varepsilon_{eff}$  efektif dielektrik katsayısını,  $\varepsilon_r$  alttaşın dielektrik katsayısını, Mg mikroşerit genişliğini, h alttaş kalınlığını ve  $Z_c$  karakteristik empedansı temsil etmektedir. Giriş empedans değerini 50  $\Omega$  yapmak için  $\left(\frac{Mg}{h}\right) < 1$  Denklem 3.5a ve 3.5b kullanılır.

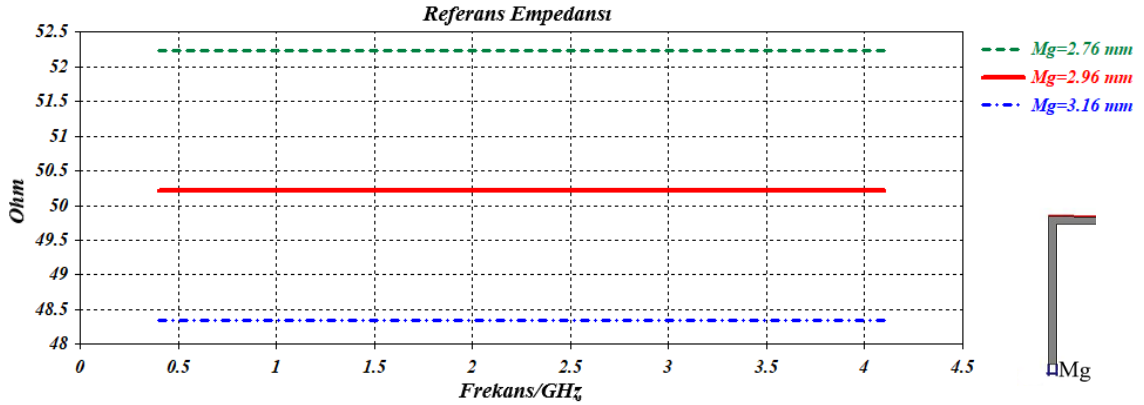
Mikroşerit hattın genişliği  $Mg=2,73$  mm ve alttaş kalınlığı  $h=1,6$  mm olarak seçildiğinde efektif dielektrik sabiti ve karakteristik empedans sırasıyla;

$$\varepsilon_{eff} = \frac{4,3 + 1}{2} + \left[ \frac{4,3 - 1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1,6}{2,73}}} \right] = 3,814$$

$$Z_c = \frac{120\pi}{\sqrt{3,814} \left[ \left( \frac{2,73}{1,6} \right) + 1,393 + \frac{2}{3} \ln \left( \frac{2,73}{1,6} + 1,444 \right) \right]} = 49,955\Omega$$

olarak elde edilir.

Anten tasarımındaki mikroşerit hat genişliği hesaplamalarda 2,73 mm çıkmıştır. Yapılan simülasyonlarda yaklaşık  $53 \Omega$ ' a karşılık gelen bir giriş empedansına karşılık gelmiştir. Hedeflenen empedans  $50 \Omega$  olduğu için, simülasyon yardımı ile giriş empedansının  $50 \Omega$ ' a karşılık gelen  $Mg=2,96$ mm olarak belirlenmiş ve anten tasarımında bu değer kullanılmıştır. Şekil 3.5 incelendiğinde karakteristik empedansın  $50 \Omega$ ' a en yakın mikroşerit genişliği 2,96 mm' dir.  $Mg=2,96$ mm' deki empedans değeri  $50,2 \Omega$ ' dur.



Şekil 3.4. Farklı mikroşerit genişlikleri için referans empedansı

### 3.3.2. Dairesel açıklık çapı (DAÇ) ve koçan yarıçapı (KY)

Dairesel açıklık ve koçan yarıçapı parametreleri mikroşerit hat ile antenin üst yüzeyinde bulunan üstel eğriye geçişi etkileyen en önemli parametrelerdir. Dairesel açıklık çapı ve koçan yarıçapı değerleri merkez frekanstaki dalga boyunun çeyreğine eşit olmalıdır.

$$f_c = \frac{f_l + f_h}{2} \quad (3.6)$$

Burada  $f_l$  en düşük çalışma frekansını,  $f_h$  en yüksek çalışma frekansını ve  $f_c$  merkez frekansını temsil eder. Bu çalışmada, en düşük frekans 0.5 GHz iken en yüksek frekans 4 GHz olarak alınmıştır. Bundan dolayı çalışmanın merkez frekansı denklem 3.6' dan yararlanarak;

$$f_c = \frac{0.5 + 4}{2} = 2,25 \text{ GHz}$$

olarak elde edilir. Denklem 3.7'de ise merkez frekanstaki dalga boyu ifade edilmektedir.

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.7)$$

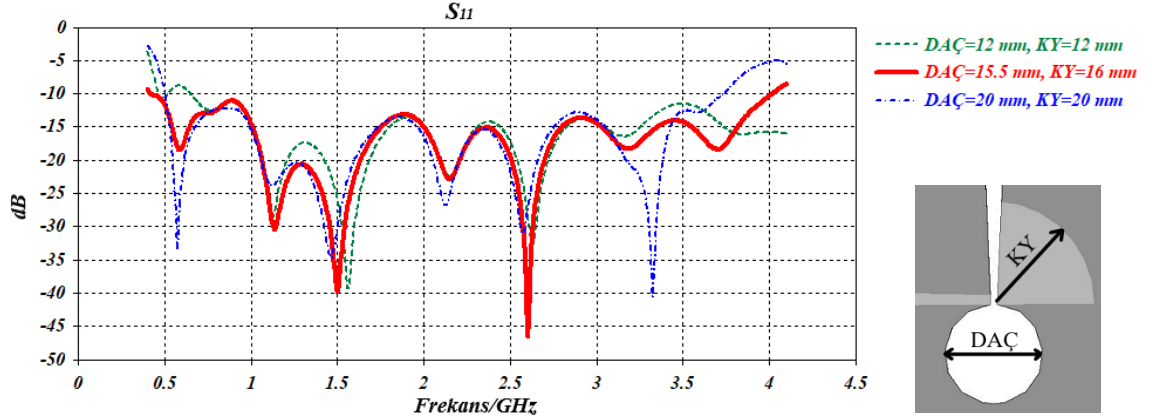
olarak ifade edilir. Bu çalışmada merkez frekans 2.25 GHz olarak alındığından dolayı, merkez frekanstaki dalga boyu 63,87 mm olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, DAÇ ve KY' nin merkez frekanstaki dalga boyu arasındaki ilişki,

$$DAÇ = KY = \frac{\lambda}{4} = \frac{63.87}{4} = 15,967 \text{ mm}$$

olarak hesaplanmıştır. Yapılan simülasyon çalışmaların sonucunda optimum sonuçlar;  $DAÇ = 15,5 \text{ mm}$ ,  $KY = 16 \text{ mm}$  olarak elde edilmiştir.

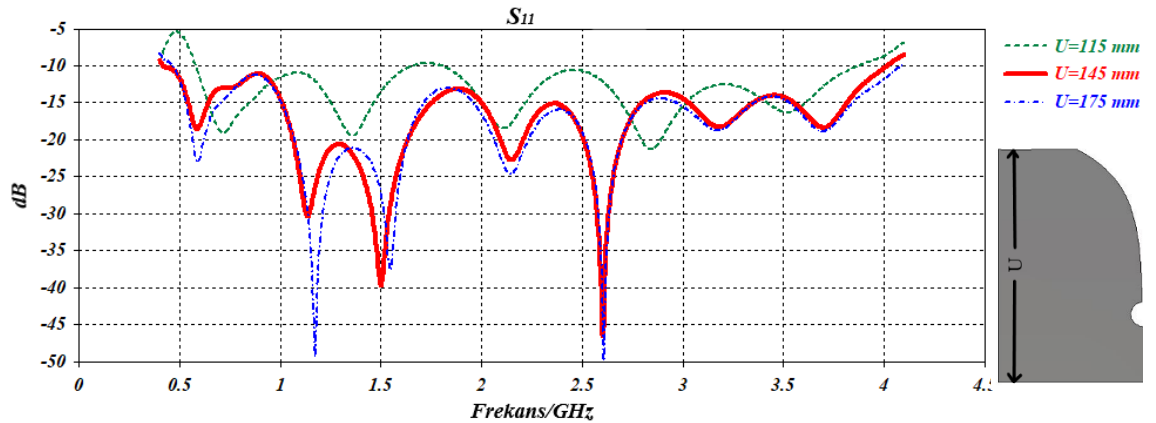
Şekil 3.5' de DAÇ-KY' nin üç farklı değer grubu için geri dönüş kaybının frekansla değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi  $DAÇ = 15,5 \text{ mm}$  ve  $KY = 16 \text{ mm}$  değeri istenilen aralıkta en iyi sonucu vermiştir.



Şekil 3.5. Farklı koçan yarıçapı ve koçan açısı için geri dönüş kayıpları

### 3.3.3. Anten uzunluğu (U)

Anten uzunluğu ile bant genişliği doğru orantılıdır. Aynı zamanda en düşük çalışma frekansını da etkilemektedir. Antenin genel boyutu düşünülerek istenilen bant genişliği ve kazanç ihtiyaçlarını karşılayan en küçük anten uzunluğu seçilmelidir. Şekil 3.6' da farklı anten uzunluk değerlerinin geri dönüş kaybı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilde istenilen bant genişliği kriterleri 145 mm'de sağladığı görülmektedir. Tasarımda tercih edilen diğer bütün parametreler sabit kalmıştır.



Şekil 3.6. Farklı uzunluklar için geri dönüş kayıpları

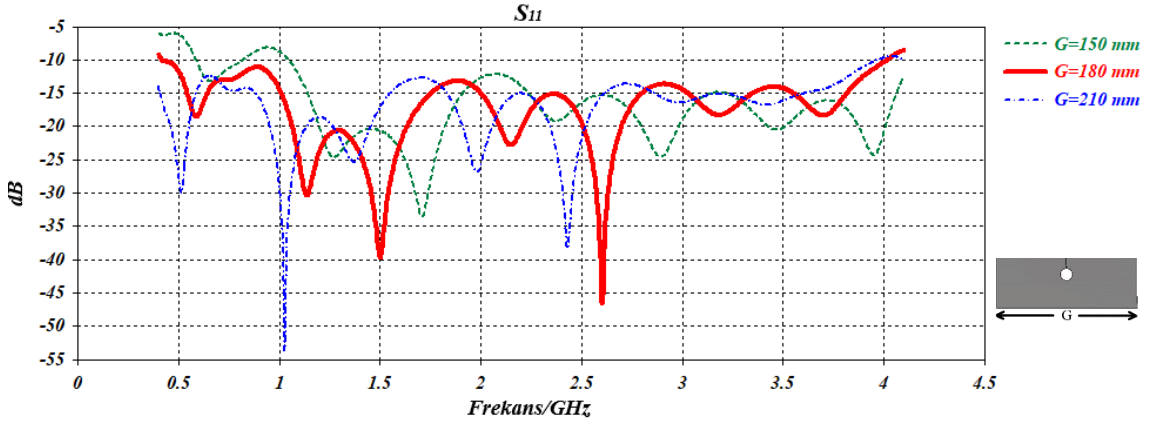
### 3.3.4. Anten genişliği (G)

Anten genişliği en düşük çalışma frekansındaki dalga boyunun yarısından büyük olursa istenilen bant genişliği ve ışınma örüntüsü kriterlerini sağlayabilir. Denklem 3.7 kullanılarak dalga boyu;

$$\lambda = \frac{2.98 \times 10^8}{0.5 \times 10^9 \sqrt{4.3}} = 287,416 \text{ mm}$$

olarak bulunur.  $G > \frac{\lambda}{2}$  ' e göre ;  $G > 143,708 \text{ mm}$  şartını sağlamalıdır.

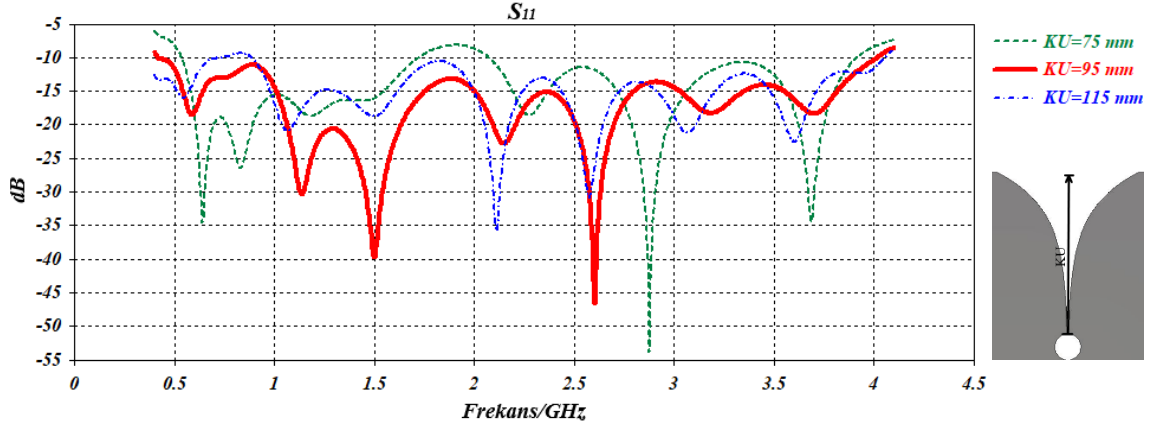
Anten genişliği hesaplanan 143.7 mm' den daha küçük bir değer olması durumunda istenilen en düşük frekansı ve istenilen bant genişliği kriterlerini karşılamaz. Simülasyonda farklı anten genişlikleri için geri dönüş kayıpları incelenmiştir. İstenilen bant genişliği kriterlerini karşılayan genişlik değeri Şekil 3.7 incelendiğinde  $G=180 \text{ mm}$  ' de olduğu görülmektedir. Tasarımda tercih edilen diğer bütün parametreler sabit kalmıştır.



**Şekil 3.7.** Farklı koçan yarıçapı ve koçan açısı için geri dönüş kayıpları

### 3.3.5. Koniklik Uzunluğu (KU)

Koniklik uzunluk belirlerken antenin genel boyutunu da etkilediği göz ardı edilmemelidir. Bu uzunluğun artması azda olsa bant genişliğinin artmasına olanak sağlar. Simülasyonda farklı konik uzunlukları için geri dönüş kayıpları incelenmiştir. Koniklik uzunluğundaki artış en düşük çalışma frekansını düşürür ve bant genişliğini artırır. Şekil 3.8 incelendiğinde İstenilen bant genişliği kriterlerini karşılayan ideal konik uzunluk ölçüsü  $KU=95 \text{ mm}$  olduğu değerdir ve tasarlanacak olan antende bu değer baz alınmıştır. Tasarımda tercih edilen diğer bütün parametreler sabit kalmıştır.



Şekil 3.8. Farklı koniklik uzunluk için geri dönüş kayıpları

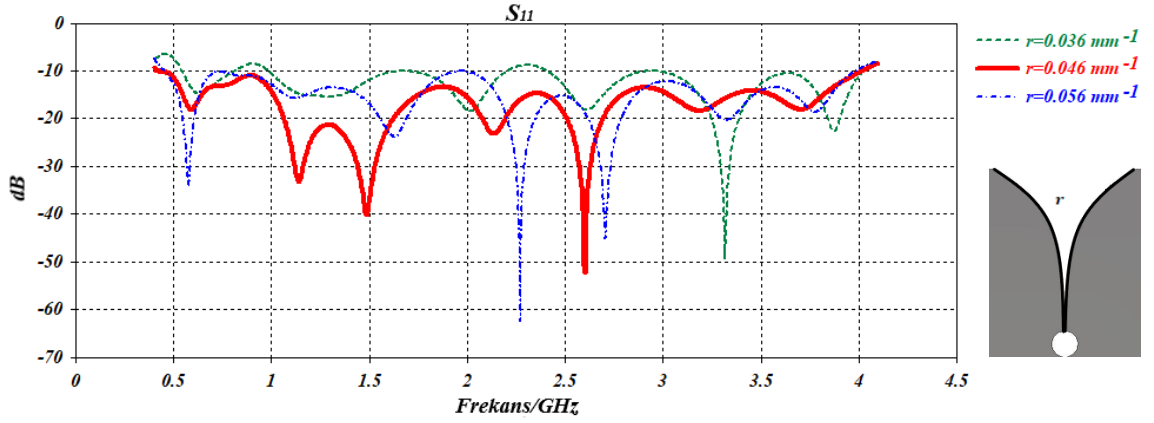
### 3.3.6. Koniklik oranı ( $r$ )

Koniklik oranının düşürülmesi, çalışma bandının en alt kısmındaki geri dönüş kaybını azaltacaktır. Koniklik oranının artması ise ana hüzmenin daralmasına ve yan kulakçıkların artmasına neden olur. Vivaldi antende koniklik oranı, geri dönüş kaybının büyük ölçüde iyileştirmenin en hızlı yöntemlerindedir. Tez çalışmasında farklı koniklik oranı değerleri için geri dönüş kayıpları incelenmiştir. Koniklik oranı arttıkça ağız açıklığı da artmaktadır. Bu nedenle tasarlanacak olan antende koniklik oranı için daha önce belirlenmiş olan anten ağız açıklığı ve konik uzunluk değerleri denklem 3.2c' de yerine konularak;

$$r = \frac{1}{95} \ln\left(\frac{83}{1}\right) = 0,046 \text{ mm}^{-1}$$

olarak hesaplanmıştır. Tasarımda tercih edilen diğer bütün parametreler sabit kalmıştır. Şekil 3.9 incelendiğinde  $r = 0,046 \text{ mm}^{-1}$  değeri en iyi geri dönüş kaybını vermiş ve tasarımda bu değer kullanılmıştır.





**Şekil 3.9.** Koniklik oranı için geri dönüş kayıpları

### 3.3.7. Anten açıklığı (AA)

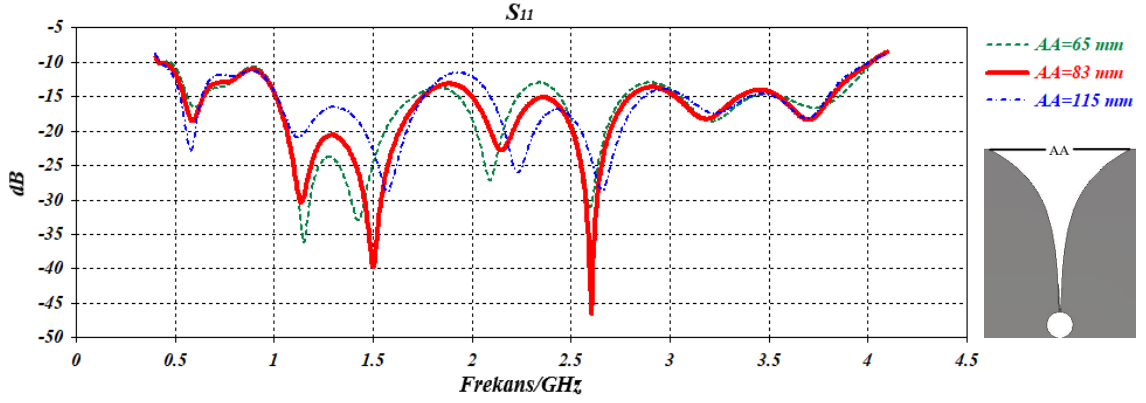
Ağız açıklığı antenin geri dönüş kaybı ile en düşük ve en yüksek çalışma frekansını etkiler.

$$AA_1 = 63,87 \text{ mm}$$

$$AA_2 = 144,672 \text{ mm}$$

$$63,87 \text{ mm} < AA < 143,708 \text{ mm}$$

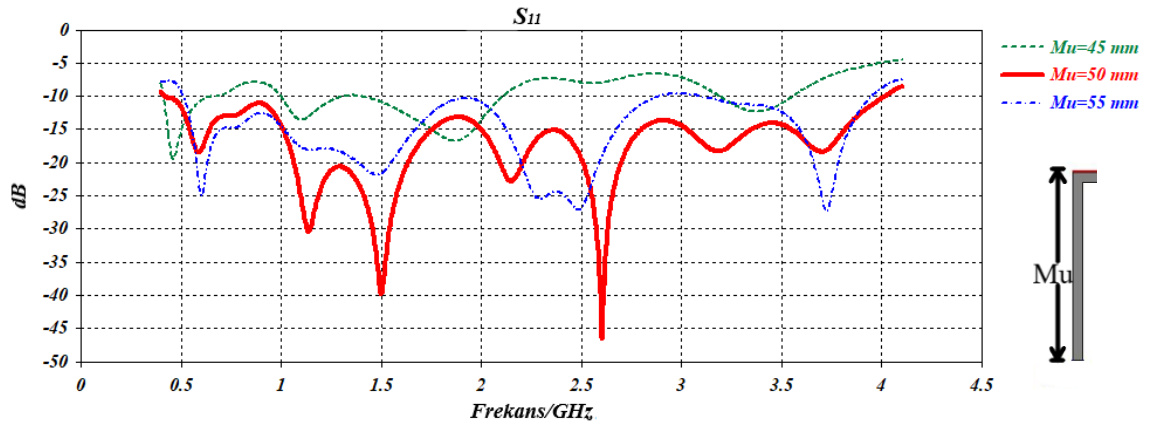
Ağız açıklığı yukarıda hesaplanmış olan şartı sağlamalıdır. Ağız açıklığının bant genişliğine etkilerini görebilmek için hesaplanan değer aralıklarında sonuçlar alınmıştır. Bant genişliği gerekliliği düşünüldüğünde ağız açıklığını belirleyen koniklik uzunluğu ve koniklik oranı olduğu için koniklik uzunluğunun 95 mm ve koniklik oranının  $0.046 \text{ mm}^{-1}$  olarak alındığında farklı ağız açıklığı değerleri incelenmiştir. Bu değerler Şekil 3.10' da gösterilmiştir. İstenilen bant genişliği kriterlerini karşılayan ideal ölçüsü  $AA=83 \text{ mm}$  olarak seçilmiş ve tasarlanacak olan antende bu değer kullanılması planlanmıştır. Tasarımda belirlenen diğer parametreler sabit kalmıştır.



**Şekil 3.10.** Farklı anten ağız açıklığı için geri dönüş kayıpları

### 3.3.8. Mikroşerit Uzunluğu (Mu)

Mikroşerit hattı ile üstel eğri arasında ciddi bir uyum gerekmektedir. Uyumluluk arttıkça bant genişliği artar. Şekil 3.11’ de gösterildiği gibi farklı mikroşerit uzunlukları için anten geri dönüş kayıpları incelenmiştir. Bant genişliği gereklilikleri düşünüldüğünde 50 mm uzunluk en iyi sonucu vermiştir. Bu yüzden tasarımda da  $Mu=50$  mm olarak kullanılmıştır.  $Mu$ ’ nun hesaplanmasında herhangi bir matematiksel ifade bulunmadığı için, simülasyon programında optimize edilerek belirlenmiştir.



**Şekil 3.11.** Farklı mikroşerit uzunluğu için geri dönüş kayıpları

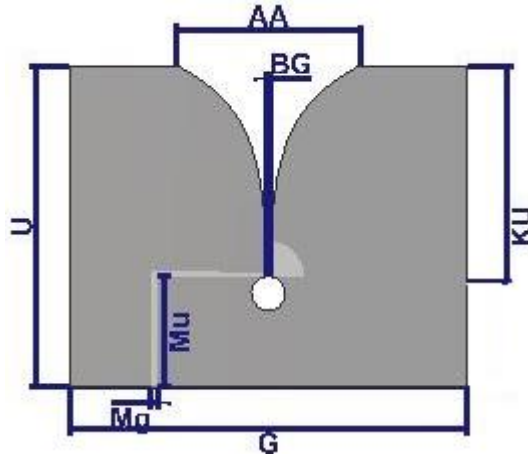
### 3.4. Anten Tasarımı

İlk olarak Vivaldi Anten  $145 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm}$  boyutlarında ve altaş malzemesi, bağıl dielektrik sabiti 4,3 ve kayıp tanjantı 0,025 olan FR-4 kullanılarak Şekil 3.12’ de gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Çizelge 3.2’ de tasarlanan bu antenin parametreleri verilmiştir. Daha sonra CST Studio Suite® programı vasıtasıyla yapılan tasarım simüle

edilmiştir. Şekil 3.13’ de antenin tasarım parametreleri gösterilmektedir. Burada At: alttaşı tipi, Ads: alttaşı dielektrik sabiti, Ak: alttaşı kalınlığı, Cu: bakır kalınlığıdır.

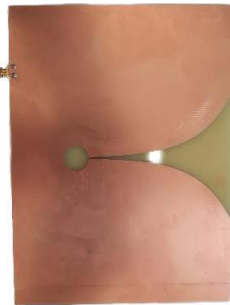
Çizelge 3.2. VA parametreleri

$G(mm)$	$U(mm)$	$KU(mm)$	$AA(mm)$	$DAÇ(mm)$	$BU(mm)$
180	115	95	83	15,5	2
$BG(mm)$	$r (mm^{-1})$	$KY(mm)$	$Ka(^{\circ})$	$Mg(mm)$	$Mu(mm)$
1	0,046	16	87	2,96	20
$At$	$Ads$	$Ak$	$Cu (mm)$		
FR-4	4,3	1.6	0,035		



Şekil 3.12. Tasarlanan Vivaldi anten

Daha sonra Vivaldi anten LPKF (s60) lazer yazıcı ile üretilmiştir. Üretilen antenin ön ve arka görüntüleri Şekil 3.13’ de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.13. Üretilen VA (a) ön, (b) arka görüntüleri

### 3.5. Vivaldi Anten Modifikasyonu

Bir antenin empedans uyumu, bant genişliği, kazanç ve yönlülüğü artırmanın birçok yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan birisi Vivaldi antenin yer düzlemini değiştirmektir. Tasarlanan VA ölçümleri yapılmış olup Bulgular bölümünde verilmiştir. VA sonuçları incelendiğinde hedeflenen bant genişliği kriterlerini sağlamasına rağmen kazanç ve yönlülük düşük bulunmuştur. Bu tezde VA' nın kazanç ve yönlülüğünü artırmak için anten modifiye edilmiştir. Çizelge 3.3' de modifikasyon işlemi yapılan antenlerin görselleri ve geri yansıma katsayıları gösterilmiştir. Yapılan modifikasyonlar birbirleriyle ilişkili olup bir önceki modifikasyonu geliştirme prensibine göre istenilen bant genişliği kriterleri ve hedeflenen kazanç değerlerine ulaşmaya kadar devam ettirilmiştir.

İlk olarak Çizelge 3.3.A' da VA' ya ilave olarak Vivaldi anten topolojisinden gelen eğrinin başlangıç noktalarına dairesel açıklık açılmıştır. Çizelge 3.3' de verilen s11 parametreleri ile Çizelge 3.4' de verilen kazanç grafikleri incelendiğinde, bant genişliği kriterlerini korumuş olsa da kazançta bir artış sağlanamamıştır.

Çizelge 3.3.B' de, modifikasyon A' da açılan dairesel açıklık üstel eğri boyunca devam ettirilmiş ve üstel eğrinin bitişine kadar devam etmektedir.

Çizelge 3.3.C' de üstel eğrinin başlangıcından, sonuna kadar lineer yarıklar açılmıştır. Çizelge 3.3' de verilen s11 ile Çizelge 3.4' de verilen kazanç grafikleri incelendiğinde, bant genişliği kriterlerini korumuş ve kazançta kısmi bir artış sağlanmıştır.

Çizelge 3.3.D' de, modifikasyon C' ye ilave olarak lineer yarıkların üzerine altıgen açıklıklar açılmış ve bu işlem antenin uzunluğu boyunca yapılmıştır.

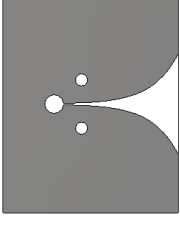
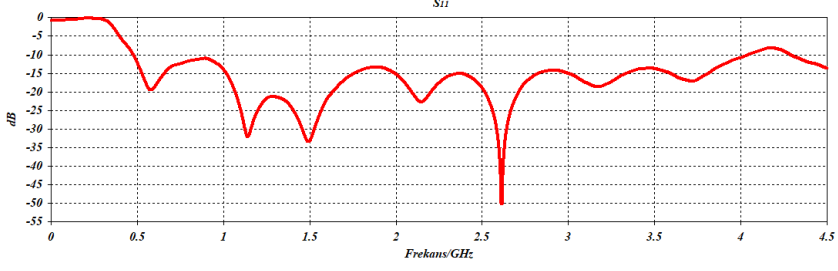
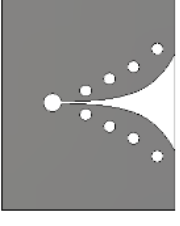
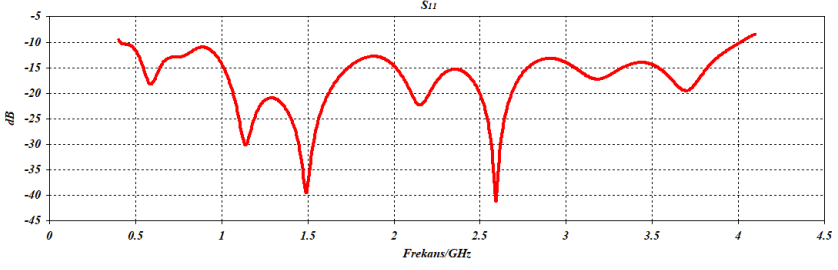
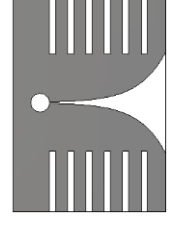
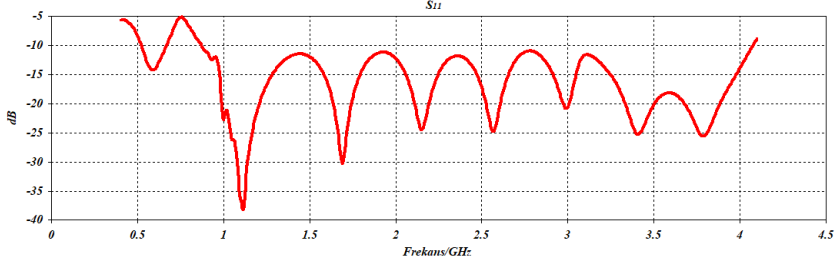
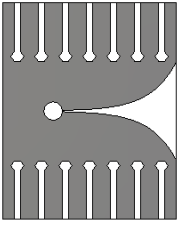
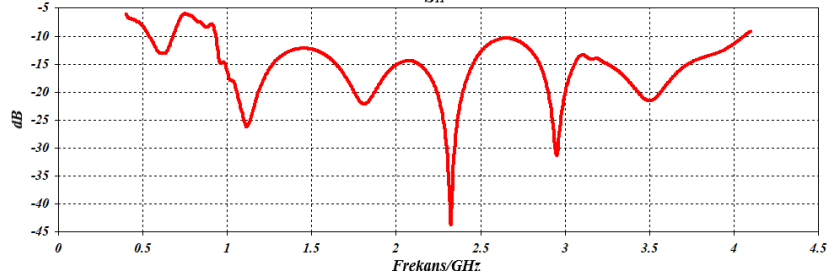
Çizelge 3.3.E' de, modifikasyon D' de yapılan lineer yarıklı dairesel açıklık sadece üstel eğrinin başlangıcından, sonuna kadar yapılmış olup yarıklar arası mesafe azaltılmıştır.

Çizelge 3.3.F' de, modifikasyon E' de yapılan lineer yarıklı dairesel açıklığa ilave olarak lineer yarıkların sayısı artırılmış ve anten boyutu bu modifikasyon ile 30 mm küçültülmüştür. Çizelge 3.3' de verilen s11 ile Çizelge 3.4' de verilen kazanç grafikleri incelendiğinde, bant genişliği kriterlerini korumuş ve kazançta iyi bir artış sağlanmıştır.

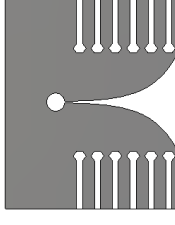
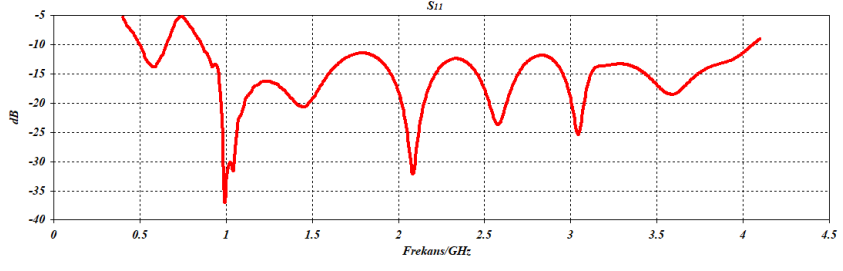
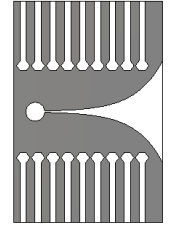
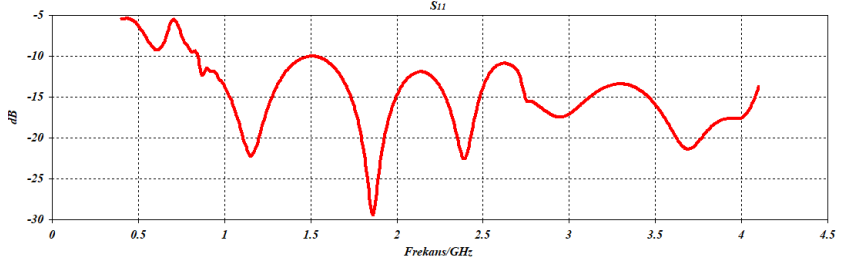
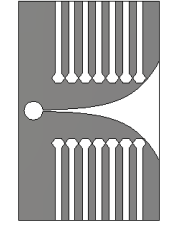
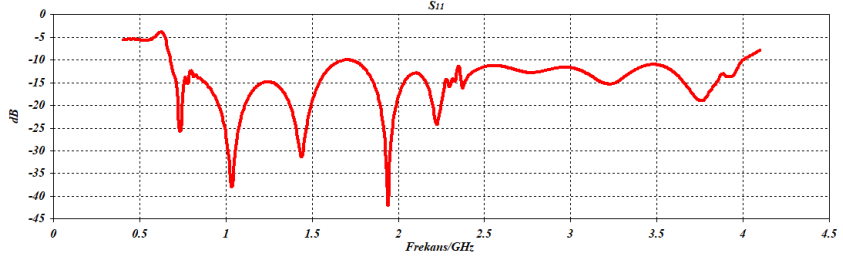
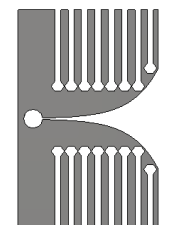
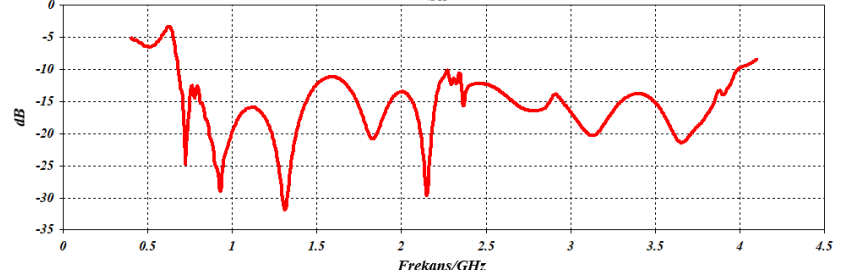
Çizelge 3.3.G’ de, modifikasyon F’ de anten uzunluğu boyunca yapılan lineer yarıklı dairesel açıklık üstel eğrinin başlangıcından sonuna kadar yapılmıştır.

Son olarak Çizelge 3.3.H’ de (Modifiye Vivaldi Anten), modifikasyon G’ ye ilave olarak bir adet daha lineer yarık eklenerek oluşturulmuştur. Çizelge 3.3’ de verilen  $s_{11}$  ile Çizelge 3.4’ de verilen kazanç grafikleri incelendiğinde, bant genişliği kriterlerini önemli ölçüde korumuş ve kazançta özellikle düşük frekanslarda ciddi bir artış sağlanmıştır.

**Çizelge 3.3.** Vivaldi antenin modifikasyonu

Modifikasyon		$S_{11}$
A		
B		
C		
D		

Çizelge 3.3. Vivaldi antenin modifikasyonu (devam)

Modifikasyon		$S_{11}$
E		
F		
G		
H		

**Çizelge 3.4.** Modifikasyon antenlerin kazanç değerleri

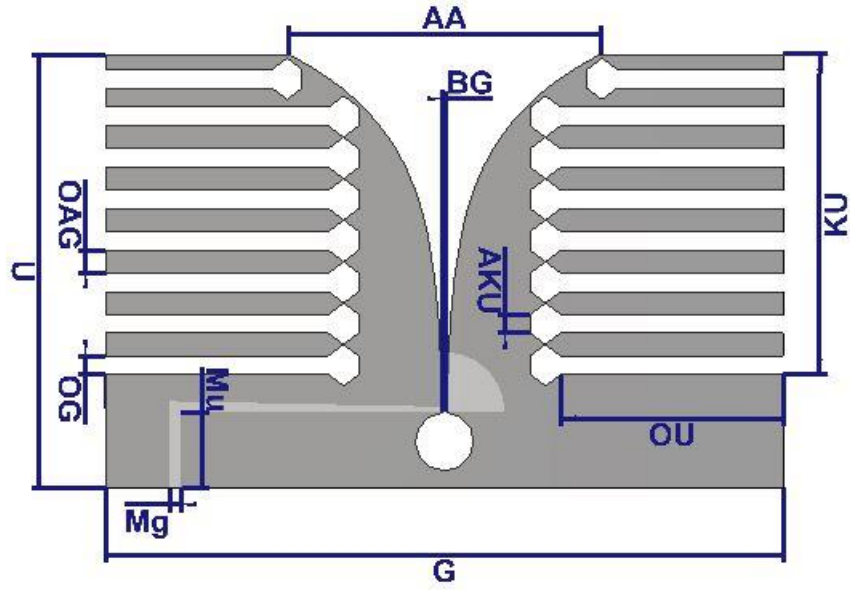
	Bant Genişliği (S11< -10 dB)	Kazanç (dBi)							
		0.5 GHz	1 GHz	1.5 GHz	2 GHz	2.5 GHz	3 GHz	3.5 GHz	4 GHz
A	0.4 - 4 GHz	2.14	2.36	4.41	5.77	4.73	4.97	5.23	4.41
B	0.41- 4.01 GHz	2.22	2.36	4.41	5.76	4.67	4.92	5.12	4.39
C	0.87 - 4.07 GHz	1.83	6.02	5.56	5.73	4.35	5.87	6.36	4.30
D	0.92 - 4.05 GHz	1.89	5.67	5.50	5.61	4.83	7.54	6.66	4.95
E	0.86 - 4.05 GHz	1.92	5.60	5.57	5.63	4.78	6.33	6.33	4.23
F	0.85 - 4.15 GHz	1.89	4.94	6.01	6.54	6.16	8.04	6.97	5.70
G	0.68 - 4 GHz	1.61	4.48	5.99	7.31	7.84	6.68	6.67	7.98
H	0.68 - 3.98 GHz	1.63	4.51	6.04	7.32	7.87	7.17	6.89	8.12

Kazanç arttırmaya yönelik çeşitli işlemler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak Çizelge 3.8’ de verilmiştir. Yapılan işlemler için 0,5 GHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2.5 GHz, 3 GHz, 3,5 GHz ve 4 GHz frekanslarındaki kazanç değerleri incelendiğinde istenilen bant genişliği kriterleri sağlayan ve en yüksek kazançlı olan H modeli seçilmiştir.

Tasarlanan H modeli MVA için tasarım parametreleri Çizelge 3.5’ de verilmiştir. Burada, OU: oluk uzunluğu, OG: oluk genişliği, OAG: oluklar arası genişlik, AKU: altıgen kenar uzunluğudur. Simülasyonda kullanılan anten boyutları Şekil 3.14’ de verilmiştir. Burada lineer yarıkların genişliği 5 mm, altıgen açıklığın kenar uzunluğu 5 mm ve yarıklar arası mesafe optimizasyon yapılarak 6 mm olarak alınmıştır.

**Çizelge 3.5.** MVA parametreleri

<b><i>G(mm)</i></b>	<b><i>U(mm)</i></b>	<b><i>KU(mm)</i></b>	<b><i>AA(mm)</i></b>	<b><i>DAÇ(mm)</i></b>	<b><i>BU(mm)</i></b>
180	115	95	83	15,5	2
<b><i>BG(mm)</i></b>	<b><i>r (mm<sup>-1</sup>)</i></b>	<b><i>KY(mm)</i></b>	<b><i>Ka(°)</i></b>	<b><i>Mg(mm)</i></b>	<b><i>Mu(mm)</i></b>
1	0,046	16	87	2,96	20
<b><i>OU(mm)</i></b>	<b><i>OG(mm)</i></b>	<b><i>OAG(mm)</i></b>	<b><i>AKU(mm)</i></b>		
60	5	6	5		

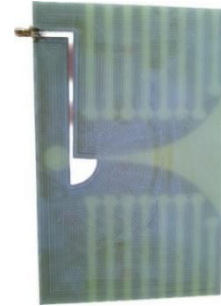


**Şekil 3.14.** MVA ölçeklendirme

Vivaldi anten LPKF (s60) lazer yazıcı ile üretilmiştir. Şekil 3.15’ de üretilen MVA gösterilmektedir.



(a)



(b)

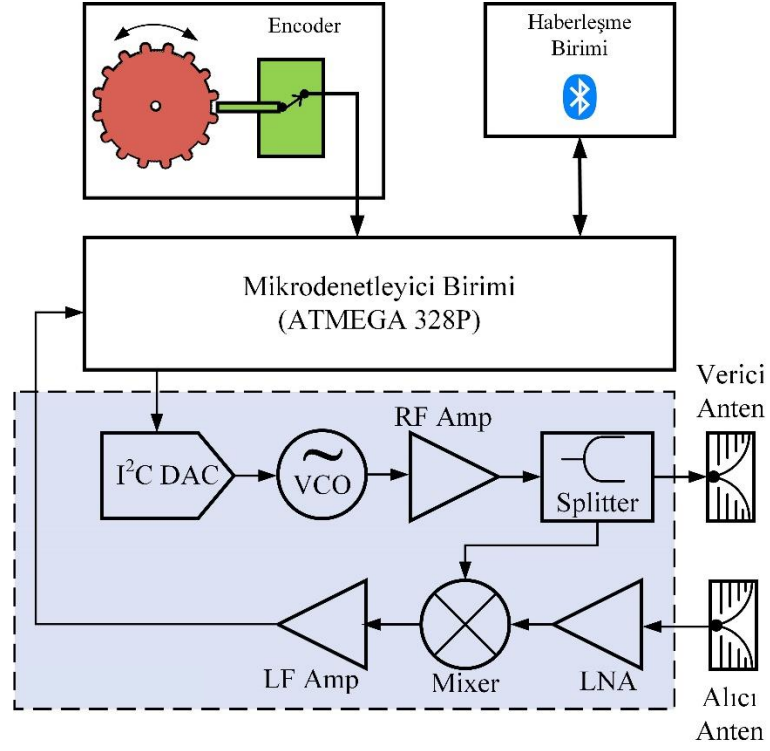
**Şekil 3.15.** Üretilen MVA (a) ön, (b) arka görüntüleri

Üretilen MVA sonuçları bulgular bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

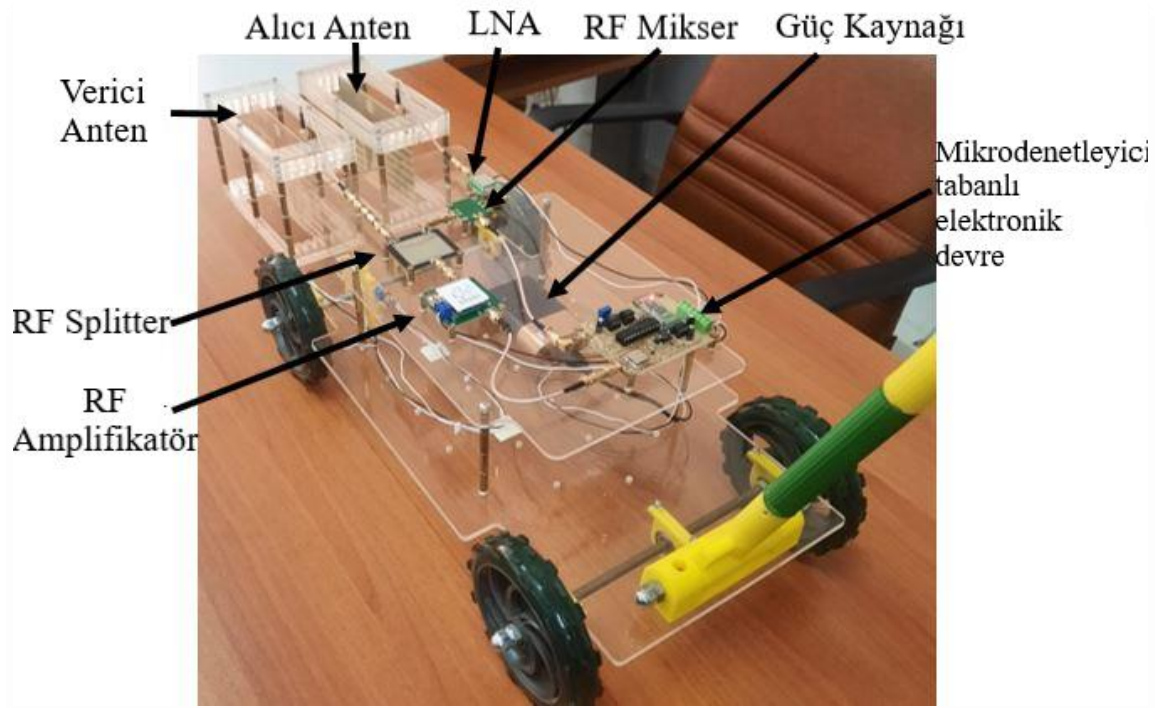
### 3.6. YNR Sistemi

Çalışma kapsamında Şekil 3.16’ da basitleştirilmiş blok şeması verilen bir radar sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir. Daha sonra gerçekleştirilen sisteme ilişkin görüntüler Şekil 3.17’de verilmiştir.





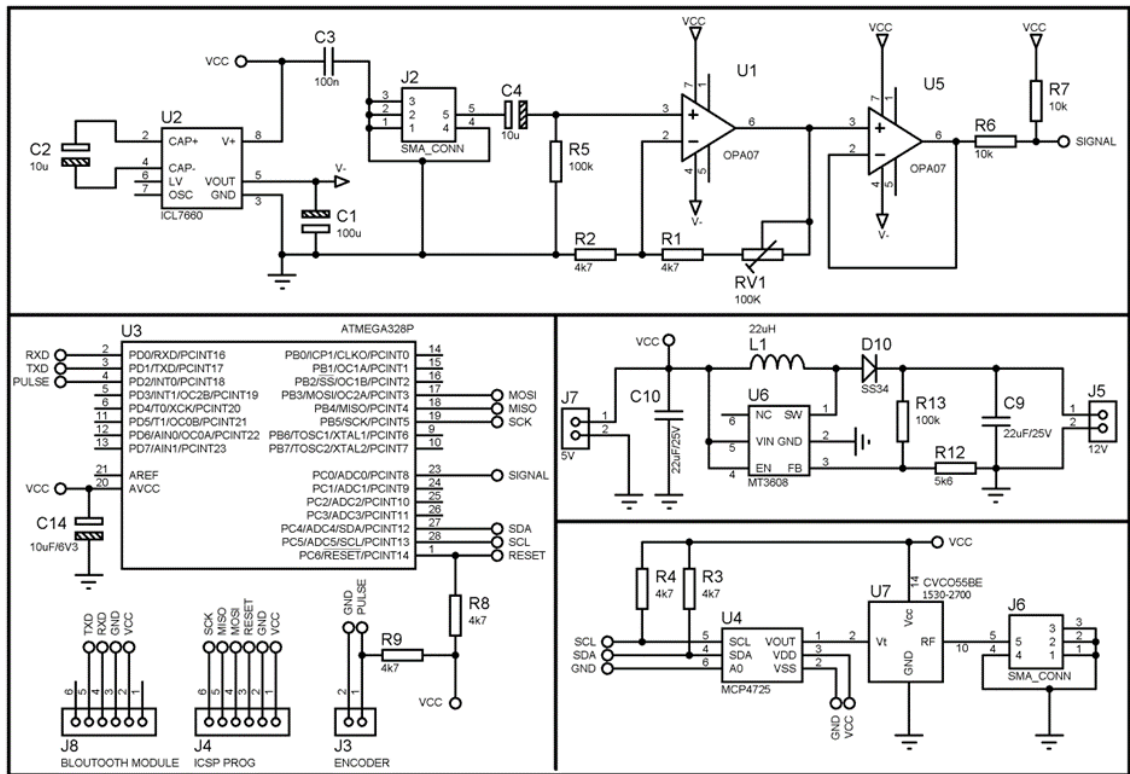
Şekil 3.16. Radar Sistemin basitleştirilmiş blok şeması



Şekil 3.17. Gerçeklenen YNR sistemi

YNR prensiplerini temel alarak prototipi üretilen EYP tespit sisteminde Şekil 3.16’da verilen basitleştirilmiş blok şemada yer alan bloklar gerçekleştirilmiştir.

Elektronik donanım mikrodenetleyici tabanlı gerçekleştirilmiş ve Atmega328 tercih edilmiştir. Atmega328 endüstriyel uygulamalarda ekonomik çözüm sunan ve erişimi kolay bir mikrodenetleyicidir. Sistemde mikrodenetleyicinin temel işlevleri; VCO’nun ihtiyaç duyduğu 0-5V aralığındaki analog gerilimi üreten dijital analog dönüştürücü (DAC) için ihtiyaç duyulan I<sup>2</sup>C protokolündeki sinyalleri üretmek, sistemin ilerlemesi esnasında encoder tarafından üretilen darbeleri işleyerek 1cm’lik mesafelerle ölçüm döngüsünü başlatmak, yansıyan sinyalin işlenerek bluetooth protokolü üzerinden bilgisayara aktarılmasını sağlamaktır. Bu işlemleri gerçekleştirmek üzere tasarlanan devreye ilişkin şematik görünüm Şekil 3.18’de verilmiştir.



**Şekil 3.18.** Mikrodenetleyici tabanlı geliştirilen elektronik devrenin şematik görünümü.

Sistemde CVCO55BE-1530-2700 kodlu VCO tercih edilmiştir. Anılan VCO ile 1530-2700MHz aralığında, 11dBm’e kadar çıkış gücüne sahip sinyaller üretmek mümkündür. Ancak bu çalışmada frekans aralığı 1600MHz ile 1975MHz aralığında sınırlandırılmıştır.

Bu frekans aralığı, encoderdan üretilen her ölçüm darbesinde 75MHz aralıklarla 6 adımda (1600MHz, 1675MHz, 1750MHz, 1825MHz, 1900MHz, 1975MHz) taranmaktadır.

VCO ile üretilen sinyali yükselterek antene uygulanabilir hale getirmek üzere 1-2000 MHz bandında çalışabilen, 2dB @ 1.5 GHz gürültü katsayısına sahip bir RF kuvvetlendirici kullanılmıştır.

RF kuvvetlendirici çıkışını antene ve miksera yönlendirmek için ise 100-2700 MHz bandında işlevini yerine getiren bir frekans güç ayırıcı (splitter) kullanılmıştır.

Verici antenden yayınlanan sinyal bir engelden yansıdığında yayınlanan sinyalin fonksiyonu olacak şekilde alıcı antene ulaşır. Alıcı antenden alınan sinyal TQP3M909 LNA modülü ile yükseltilerek miksera uygulanır. TQP3M909, 50-4000 MHz aralığında çalışabilen 21.8 dBm' e kadar yükseltme yapabilen bir LNA modülüdür.

Elektronik donanımda kullanılan mikserin temel işlevi, yayınlanan YNR sinyali ile yansıyan sinyal arasındaki farkı tespit ederek, yeraltında EYP' den kaynaklı bir anomali olup olmadığını anlamaktır.

EYP' den kaynaklı yeraltı anomalileri ile mikser çıkışında oluşan düşük frekanslı (LF) ve düşük genlikli sinyalleri yükseltmek için bir kuvvetlendirici tasarlanmıştır. Kuvvetlendirici tasarımında düşük offset gerilimlerine sahip OPA07 işlemsel kuvvetlendirici tercih edilmiştir ve kazanç 2-23.27 aralığında ayarlanabilmektedir. LF kuvvetlendirici çıkışı mikrodenetleyiciye uygulanmıştır.

### **3.7. EYP Tespit Çalışmaları**

Geliştirilen prototip sistemin fonksiyon ve performans testleri için MİLTES görüntüleme laboratuvarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. MİLTES görüntüleme laboratuvarındaki kartezyen hareket sisteminde, her birisi 2 metre genişlik x 3 metre uzunluk ve 1 metre derinliğe sahip ve içerisi farklı toprak numuneleri ile doldurulmuş olan 3 farklı kum havuzu bulunmaktadır. Çalışmamız kapsamında MİLTES görüntüleme sisteminin içerisi çakıllı kum dolu olan kum havuzu seçilmiştir. Kum havuzundaki topraktan alınan numune Şekil 3.19' da, oda sıcaklığında ölçümü yapılan toprak analiz sonuçları Çizelge

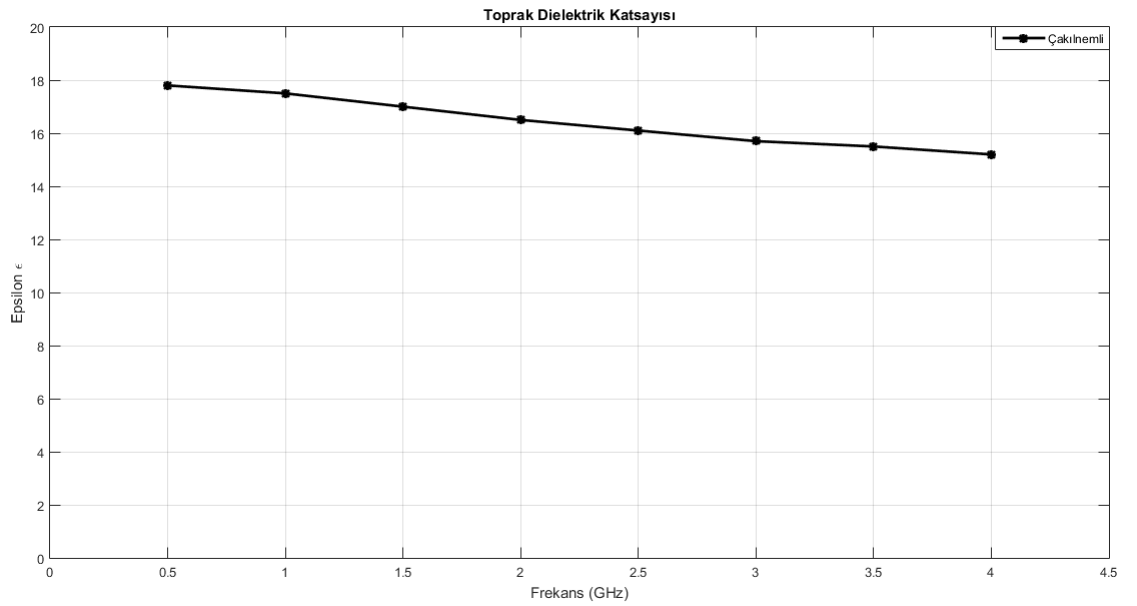
3.6’da, toprağa ait dielektrik sabitinin frekansla değişimi Şekil 3.20’de ve toprağa ait iletkenlik katsayısının frekansla değişimi Şekil 3.21’ te verilmiştir.



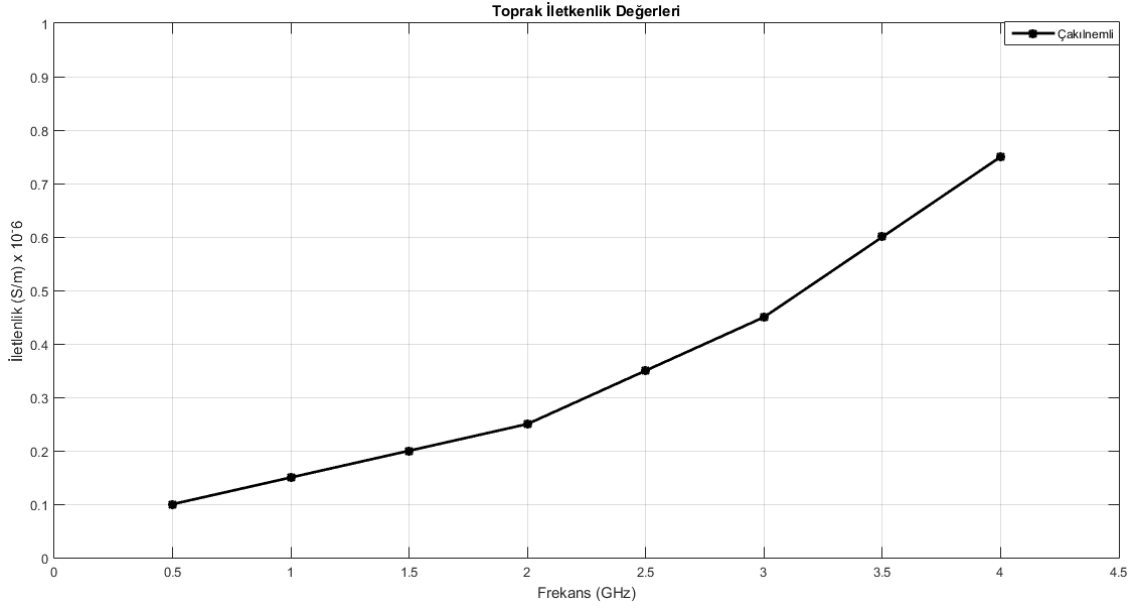
**Şekil 3.19.** Toprak numunesi

**Çizelge 3.6.** Toprak numunesine ait özet teknik özellikler

Satürasyon (%)	Toprak Tipi	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	pH	Elektriksel İletkenlik(EC)	Tuz (%)	Numunenin Alındığı Derinlik (cm)
40,37	Kumlu Tın	13,30	18,36	68,34	7,39	0,36 dS/m	0,0093	0-30



**Şekil 3.20.** Toprak örneğinin dielektrik sabitinin frekansla değişimi



**Şekil 3.21.** Toprak örneğinin iletkenliğinin frekansla değişimi

EYP düzenek numunesi olarak Çizelge 3.7’ de görünümleri verilen ve taktik sahada kullanımı yaygın olan 6 farklı EYP düzeneği belirlenmiştir. Plastik bidon ve şişeler EYP düzeneklerinde sık karşılaşılan bileşenlerdir. Bunlar tespit cihazları tarafından zor algılanan, ulaşılması kolay ve verdikleri zararlar fazla olan bileşenlerdir. Anti personel ve anti tank mayınları ise ticari üretimi bulunan ve EYP düzeneklerinde illegal yapılar tarafından sık tercih edilen bileşenlerdir. EYP taramalarına ait sonuçlar Bulgular bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.7. EYP düzenek numuneleri**

*Numune 1: 5 lt benzin bidonundan mamul EYP*



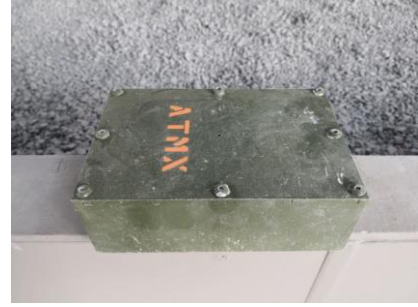
*Numune 2: ATMC (Anti tank mayını- metal gövde-silindirik geometri)*



*Numune 3: 0.5 lt su şişesinden mamul EYP*



*Numune 4: ATMX (Anti tank mayını- metal gövde-dikdörtgen prizmatik geometri)*



*Numune 5: APWDX (Anti personel mayını- ahşap gövde-dikdörtgen prizmatik geometri)*



*Numune 6: A APNMS (Anti personel mayını- PVC gövde-silindirik geometri)*



Tüm testler boyunca kartezyen hareket sistemi x eksenini boyunca 3 km/saat hızında hareket ettirilmiş, 1cm aralıklarla ölçümler yapılarak veriler toplanmıştır. Ölçümde alıcı ve verici antenler zeminden 5 cm yüksekte ölçüm yapılmıştır.

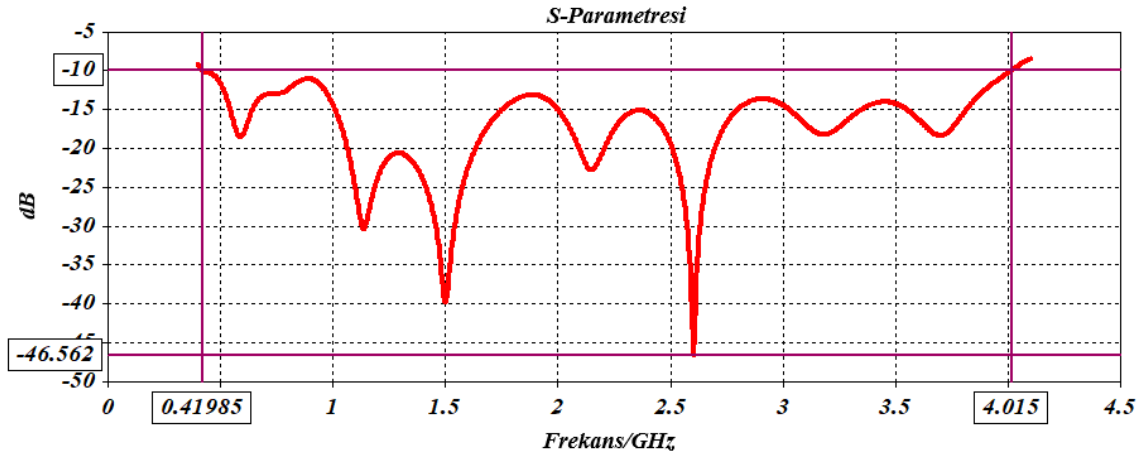
Her EYP numunesi sırayla 1 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm derinliklere gömülerek taramalar gerçekleştirilmiştir. Taramaların her adımında 6 farklı YNR frekansı (1.6 GHz, 1.675 GHz, 1.75 GHz, 1.825 GHz, 1.9 GHz) için veriler toplanmış, her taramanın ardından 6x1500 boyutlu veri matrisleri elde edilmiştir. Daha sonra bu veri matrisleri kullanılarak EYP'den kaynaklı anomalilerin tespitine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

## 4. BULGULAR

Bu bölümde ilk olarak CST programıyla simülasyonu yapılan ve üretilen Vivaldi anten ile ilgili sonuçlar verilmiştir. Daha sonra modifiye edilen anten ilgili sonuçlar verilmiştir. Hem Vivaldi anten hem de MVA' nın geri dönüş kaybı ve gerilim duran dalga oranı, SALUKI S5105D (30kHz-18GHz) network analizör ile ölçülmüştür. VA ile MVA' nın tasarım ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak hem VA ile hem de MVA ile EYP taramalarına ait sonuçlar verilmiştir.

### 4.1. Vivaldi Anten Sonuçları

Tasarlanan Vivaldi anten simüle edilmiş ve  $S_{11}$  değerinin frekansla değişimi Şekil 4.1' de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 0,41-4,01 GHz aralığında -10 dB' den daha küçük geri dönüş kaybı elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Vivaldi antenin geri dönüş kaybı

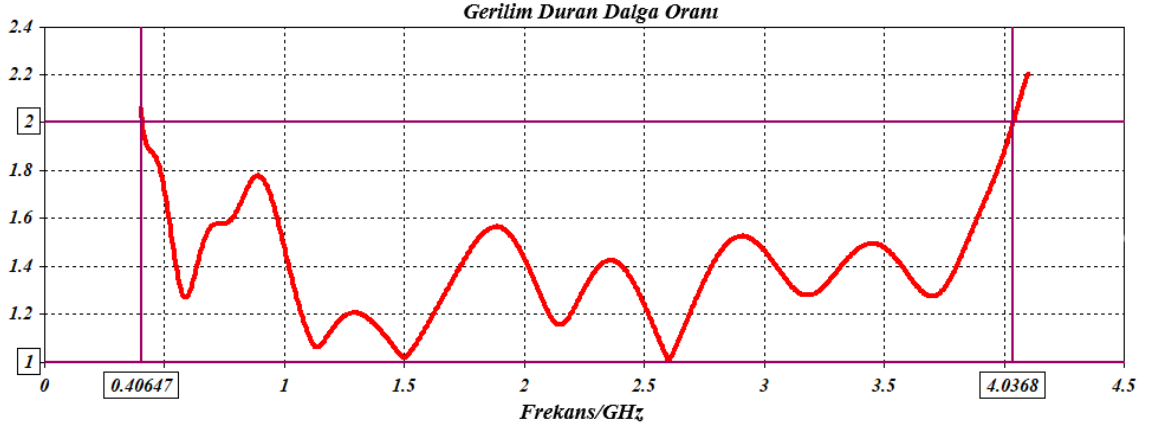
Çizelge 4.1 incelendiğinde VA en iyi geri dönüş kaybına 2,6 GHz' de ulaşmış olup değeri -46,56 dB olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.1. Tasarlanan VA için simülasyondan elde edilen farklı frekanslar için geri dönüş kaybı

$f$ (GHz)	0.58	1.13	1.49	2.15	2.6	3.18	3.7
dB	-18.5	-30.7	-39.74	-22.78	-46.56	-18.26	-18.37



Tasarlanan Vivaldi antenin Şekil 4.2’ de görüldüğü üzere 0,40-4,03 GHz aralığında 2 ve daha küçük gerilim duran dalga oranına sahiptir. Şekil incelendiğinde VA için en düşük gerilim duran dalga oranına 2,6 GHz’ de ulaşılmış olup değeri 1 olarak ölçülmüştür.



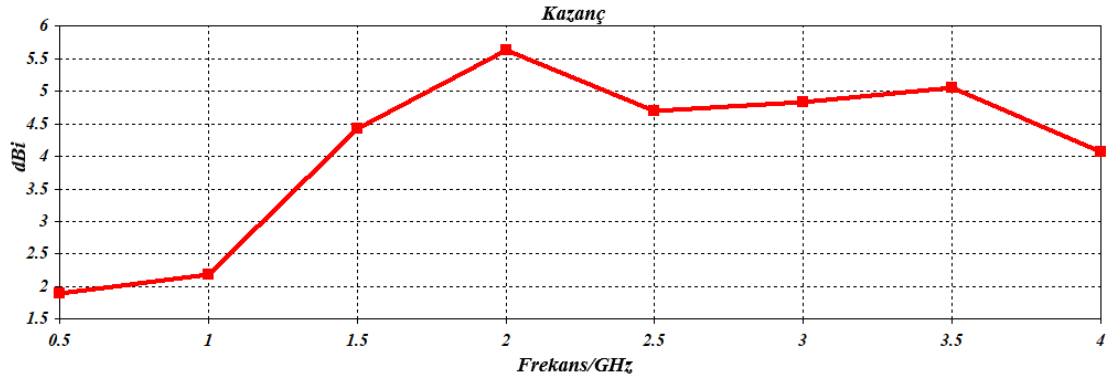
**Şekil 4.2.** Vivaldi antenin gerilim duran dalga oranı

Çizelge 4.2 incelendiğinde VA en iyi gerilim duran dalga oranına 2,6 GHz’ de ulaşılmış olup değeri 1 olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.2.** Simüle edilen VA’ nın gerilim duran dalga oranı ve değerleri

<b>f (GHz)</b>	0.58	1.13	1.49	2.15	2.6	3.18	3.7
<b>Birimsiz</b>	1.27	1.06	1.02	1.15	1	1.27	1.27

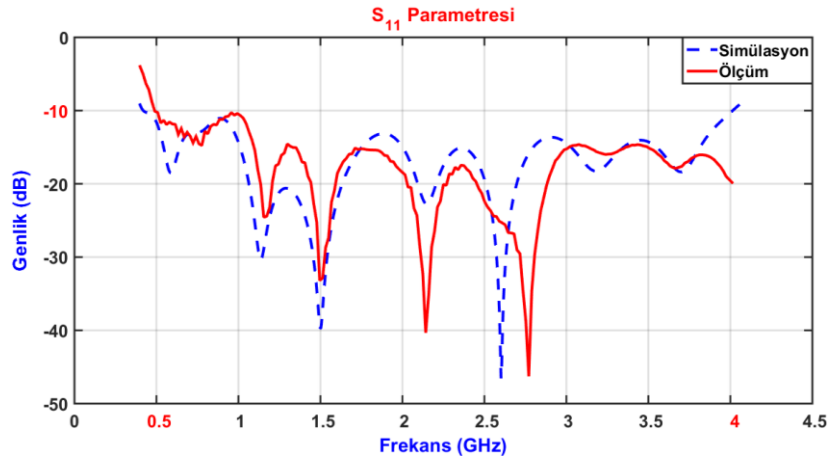
Şekil 4.3 incelendiğinde VA’ da kazanç yaklaşık 1.9-5.63 dBi aralığında iken en düşük kazanç 0,5 GHz’ de 2,21 dBi ölçülürken, en yüksek kazanç 2 GHz’ de 5,77 dBi olarak ölçülmüştür.



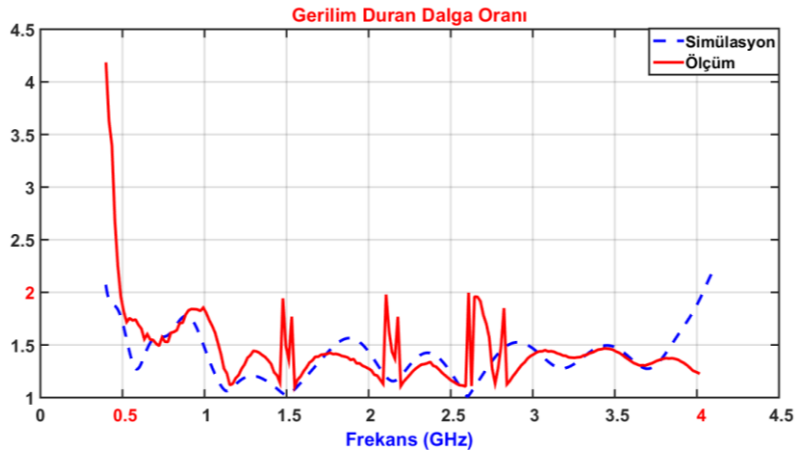
**Şekil 4.3.** VA’ nın kazanç grafiği

Antenin bant genişliği ifadesinin karşılığı olarak ilgili frekans aralığında -10 dB' den daha küçük geri dönüş kaybı ile gerilim duran dalga oranının 2' den küçük olması gerekmektedir. Her iki şartı da aynı anda sağlaması gerekmektedir.

Şekil 4.4 incelendiğinde VA' da 0,4-4 GHz aralığında -10dB' den daha küçük bir geri dönüş kaybı elde edilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde gerilim duran dalga oranı VA' da 0,5-4 GHz aralığında 2' den daha düşük gerilim duran dalga oranı elde edildiği görülmüştür. En yüksek değer 2,62 GHz' de 1,99 olarak ölçülmüştür. Ölçümler ile simülasyon sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Oluşan farklılıklar kullanılan alttaş kalınlığının her yerde aynı olmaması, anten ölçümü esnasında kullanılan malzemelerin etkisinden ve ortamda bulunan malzemelerin yansımalarından kaynaklanmaktadır.



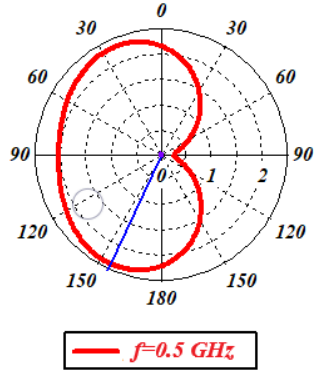
Şekil 4.4. VA' nın geri dönüş kaybının ölçüm ve simülasyon sonuçları



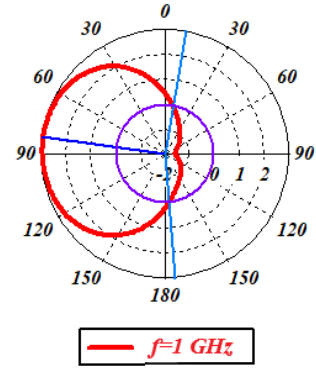
Şekil 4.5. VA' nın gerilim duran dalga oranının ölçüm ve simülasyon sonuçları

VA' ya ait uzak alan ışınma örüntüleri Şekil 4.6' da  $\phi = 0^\circ$  için, Şekil 4.7' de  $\phi = 90^\circ$  için ve Şekil 4.8' de  $\theta = 90^\circ$  için 0,5 GHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2,5 GHz, 3 GHz, 3,5 GHz, 4 GHz frekanslarında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde 0,5 GHz ile 1 GHz haricinde diğer frekanslarda yan hüzmeye büyüklüğünün yüksek olduğu görülmektedir. Yan hüzmeye büyüklüğünün yüksek olması, ana hüzmeye büyüklüğünü düşüreceğinden anten kazancı orta seviyede kalmaktadır.

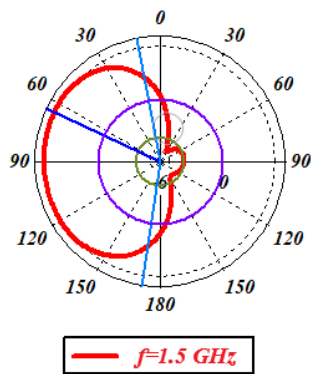
VA' nın uzak alan ışınma örüntülerine ait ana hüzmeye büyüklüğü, ana hüzmeyin yönü, hüzmeye genişliği ve yan hüzmeye büyüklüğü Çizelge 4.3' de  $\phi = 0^\circ$  için, Çizelge 4.4' de  $\phi = 90^\circ$  için ve Çizelge 4.5' de  $\theta = 90^\circ$  için 0,5 GHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2,5 GHz, 3 GHz, 3,5 GHz, 4 GHz frekanslarında verilmiştir.



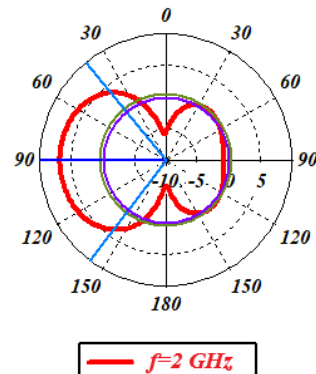
(a)



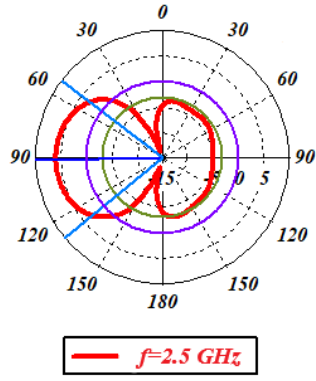
(b)



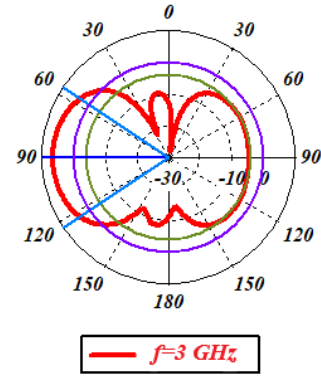
(c)



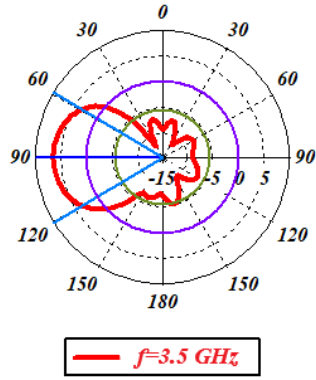
(d)



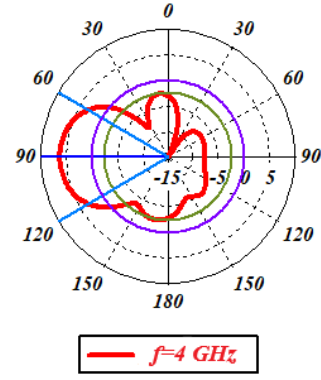
(e)



(f)



(g)

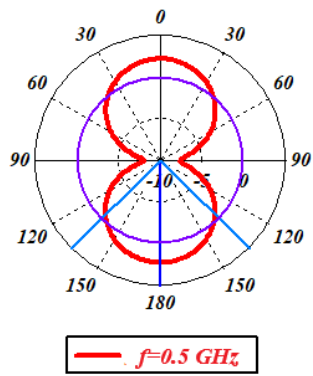


(h)

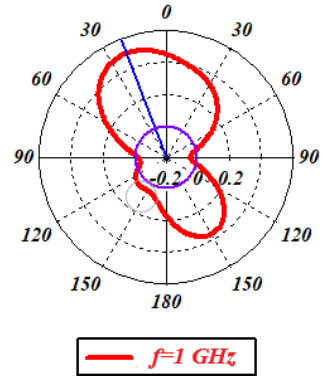
**Şekil 4.6.** VA'ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)'de  $\phi = 0^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.3.** VA'nın  $\phi = 0^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

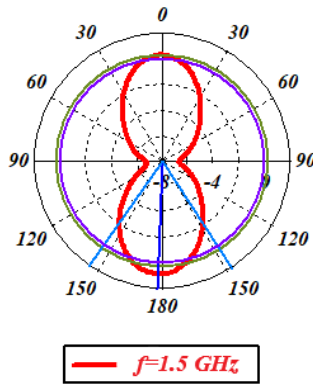
Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	2.37	155	-	-
1	2.94	82	194.5	-
1.5	5.16	65	160.8	-8.8
2	6.76	90	103.6	-6.3
2.5	5.96	91	76.5	-9
3	6.47	90	67.5	-10.4
3.5	6.44	90	61.9	-12.1
4	6.24	90	60.1	-8.6



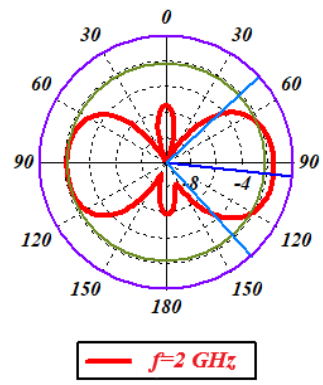
(a)



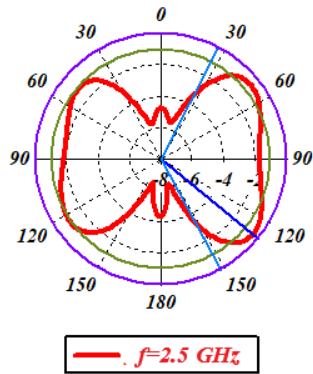
(b)



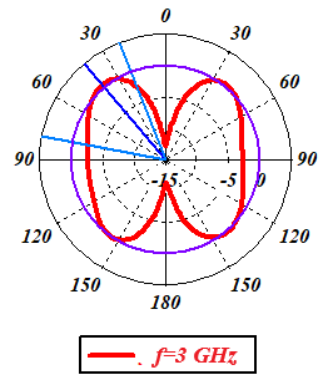
(c)



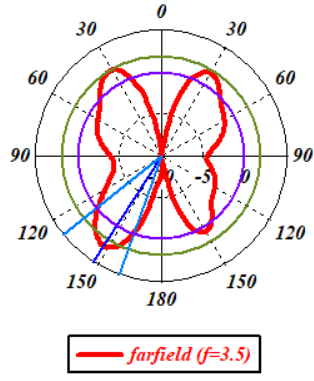
(d)



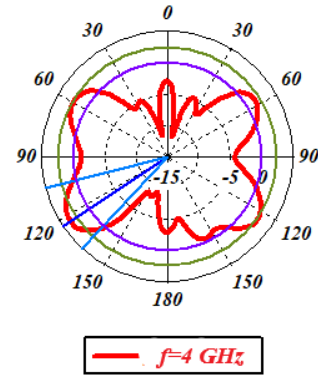
(e)



(f)



(g)

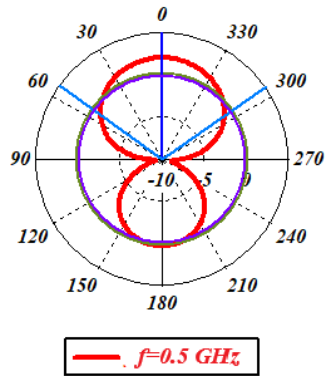


(h)

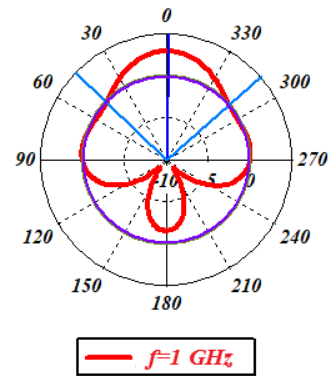
**Şekil 4.7.** VA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de  $\phi = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.4.** VA' nın  $\phi = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

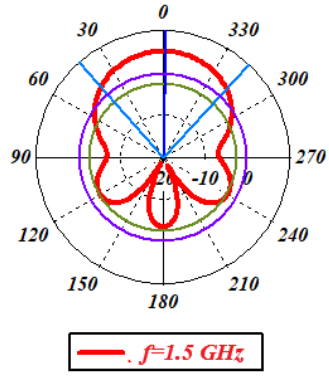
Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	2.2	180	90.8	-
1	0.5	21	-	-
1.5	0.82	178	68	-0.5
2	-1.52	96	91.1	-0.7
2.5	-0.48	129	124.5	-0.5
3	0.54	40	57.7	-0.5
3.5	2.65	147	31.3	-0.8
4	3.51	124	33.1	-1.2



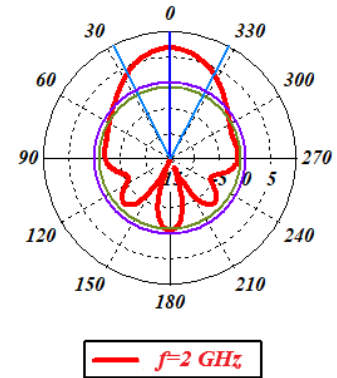
(a)



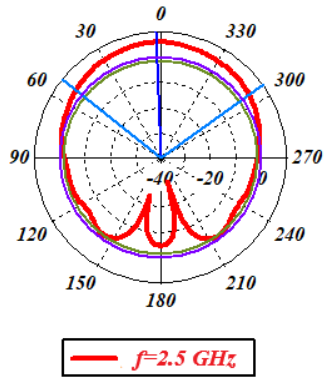
(b)



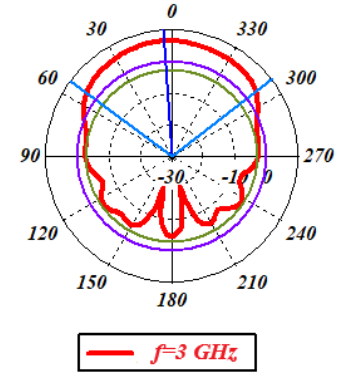
(c)



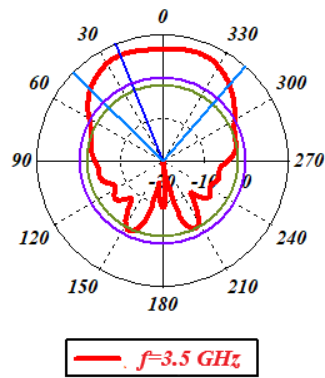
(d)



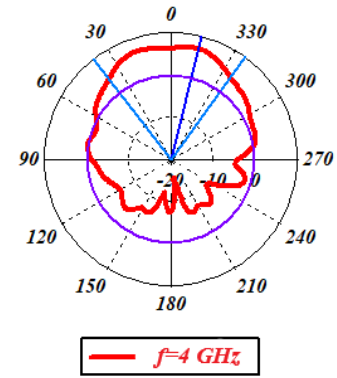
(e)



(f)



(g)



(h)

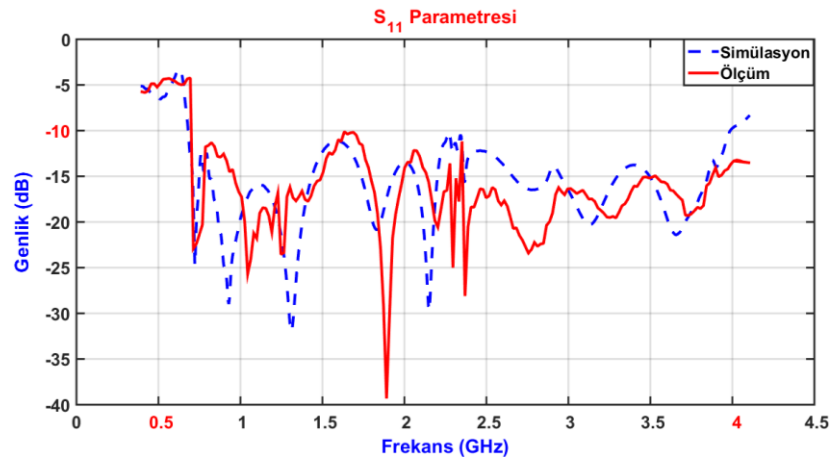
**Şekil 4.8.** VA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de  $\theta = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.5.** VA' nın  $\theta = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	2.03	0	108.8	-1.8
1	2.93	359	94.5	-2.8
1.5	5.09	359	84.1	-7.6
2	6.76	0	54	-7.6
2.5	5.98	2	105.5	-7.5
3	6.51	4	105.5	-9.2
3.5	7.07	22	86.6	-8.8
4	6.99	346	74	-7.0

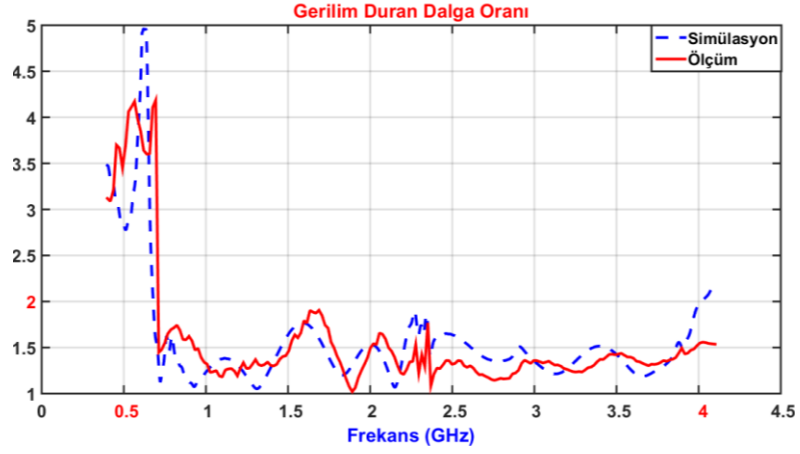
#### 4.2. MVA Sonuçları

Şekil 4.9 incelendiğinde; MVA' da 0,68-3,98 GHz aralığında -10dB' den daha küçük bir geri dönüş kaybı elde edilmiştir. Şekil 4.10 incelendiğinde gerilim duran dalga oranı VA' da 0,65-4,1 GHz aralığında 2' den daha düşük gerilim duran dalga oranı elde edildiği görülmüştür. En yüksek değer 1,63 GHz' de 1,90 olarak ölçülmüştür. Ölçümler ile simülasyon sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan farklılıklar kullanılan alttaş kalınlığının her yerde aynı olmaması, anten ölçümü esnasında kullanılan malzemelerin etkisinden ve ortamda bulunan malzemelerin yansımalarından kaynaklanmaktadır.



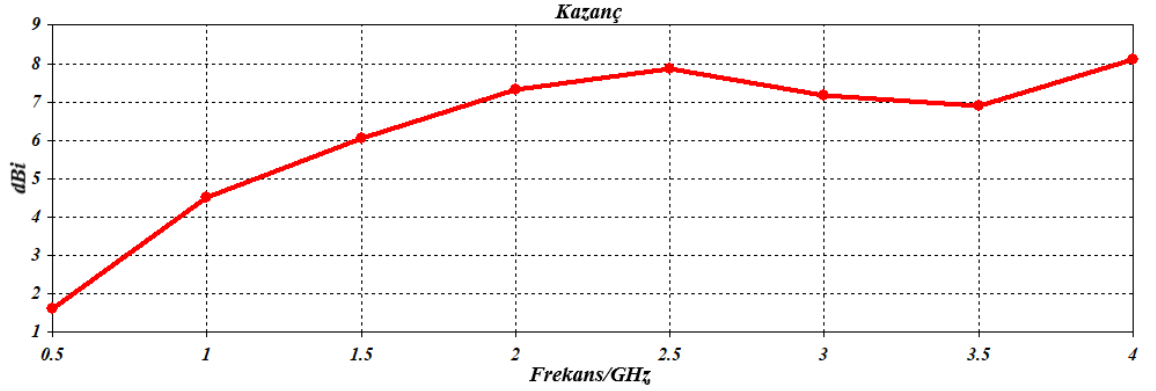
**Şekil 4.9.** MVA' nın geri dönüş kaybının ölçüm ve simülasyon sonuçları





**Şekil 4.10.** MVA' nın gerilim duran dalga oranının ölçüm ve simülasyon sonuçları

Şekil 4.11 incelendiğinde üretilen MVA' da kazancın yaklaşık 1.65-8.12 dBi elde edilmiştir. En düşük kazanç 0,5 GHz' de 1,63 dBi iken, en yüksek kazanç 4 GHz' de 8,12 dBi olarak ölçülmüştür.

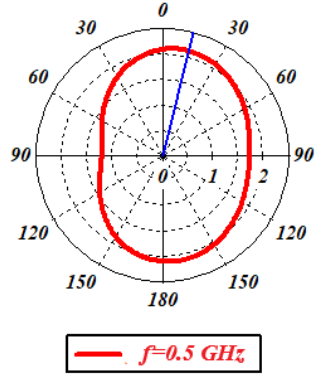


**Şekil 4.11.** MVA' nın kazanç grafiği

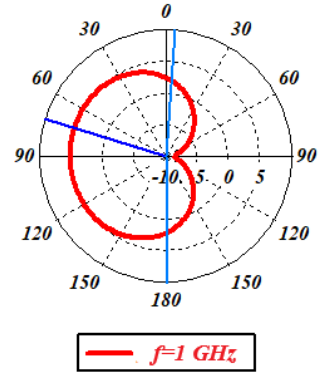
MVA' ya ait uzak alan ışınma örüntüleri Şekil 4.12' de  $\phi = 0^\circ$  için, Şekil 4.13' de  $\phi = 90^\circ$  için ve Şekil 4.14' de  $\theta = 90^\circ$  için 0,5 GHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2,5 GHz, 3 GHz, 3,5 GHz, 4 GHz frekanslarında verilmiştir. Şekiller incelendiğinde yan hüzmeye büyüklüğünün kısmen azaldığı görülmektedir. Yan hüzmeye büyüklüğünün azalması ile ana hüzmeye büyüklüğü arttığından anten kazancında artış sağlanmaktadır.

MVA' nın uzak alan ışınma örüntülerine ait ana hüzmeye büyüklüğü, ana hüzmeye yönü, hüzmeye genişliği ve yan hüzmeye büyüklüğü Çizelge 4.6' da  $\phi = 0^\circ$  için, Çizelge 4.7' de

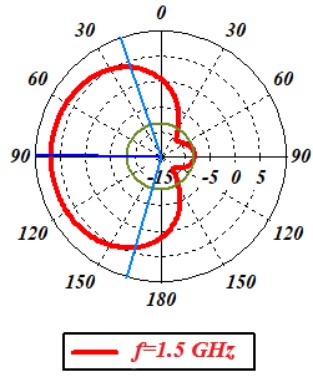
$\phi = 90^\circ$  için ve Çizelge 4.8' de  $\theta = 90^\circ$  için 0,5 GHz, 1 GHz, 1,5 GHz, 2 GHz, 2,5 GHz, 3 GHz, 3,5 GHz, 4 GHz frekanslarında verilmiştir.



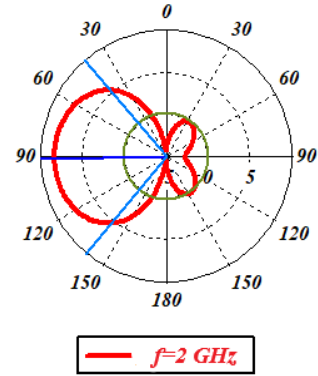
(a)



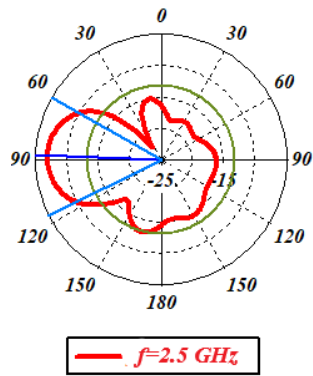
(b)



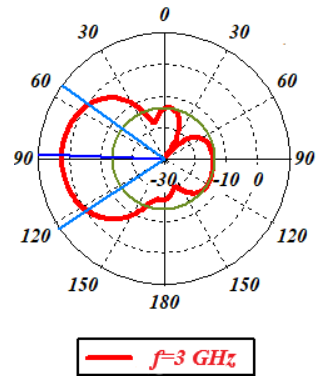
(c)



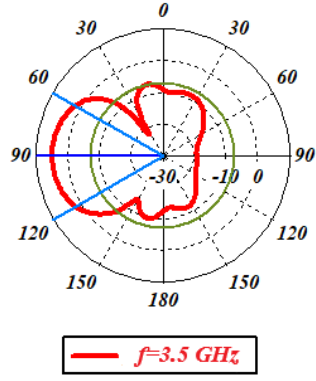
(d)



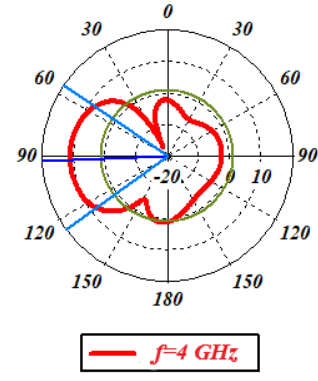
(e)



(f)



(g)

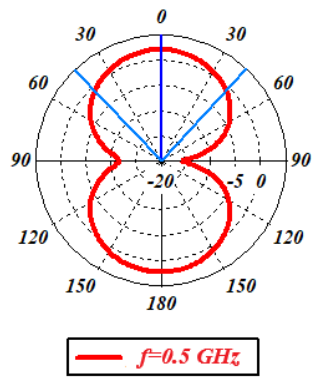


(h)

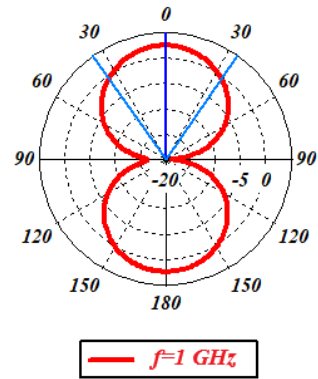
Şekil 4.12. MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de  $\phi = 0^\circ$  uzak alan örüntüleri.

Çizelge 4.6. MVA' nın  $\phi = 0^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

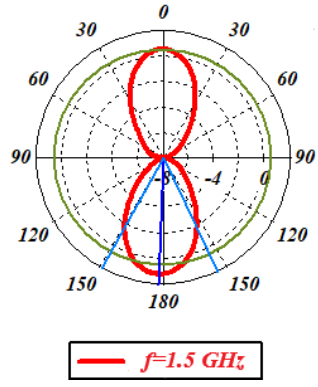
Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	2.12	14	-	-
1	5.06	73	185.2	-
1.5	6.77	89	145.4	-15
2	8.28	91	100.2	-8.1
2.5	-7.05	88	56.3	-6.1
3	2.33	88	69.4	-15.9
3.5	4.66	90	59.7	-11.8
4	10.8	92	70	-9.7



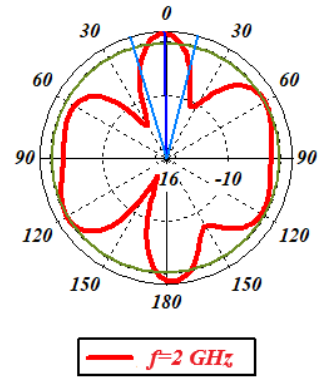
(a)



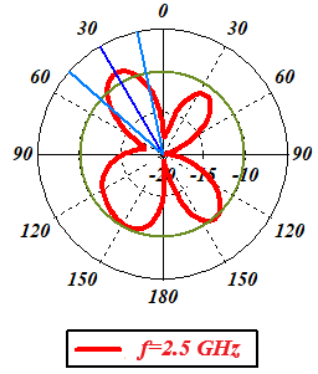
(b)



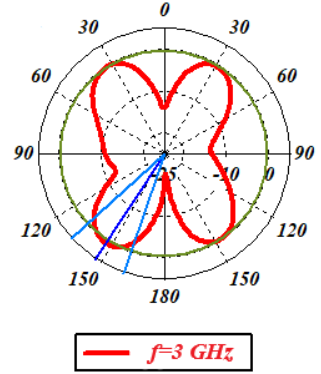
(c)



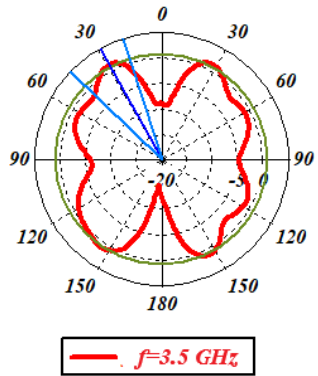
(d)



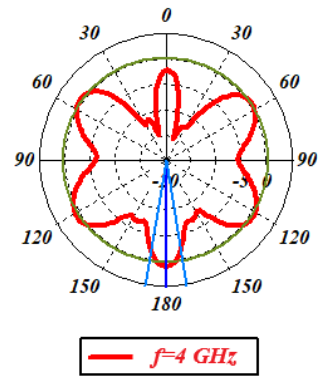
(e)



(f)



(g)

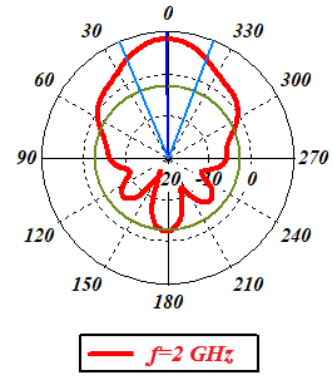
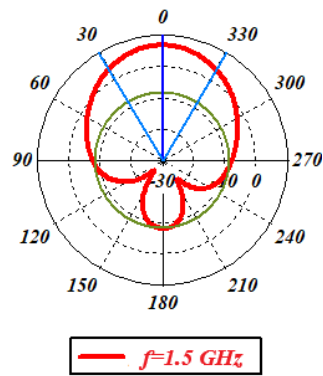
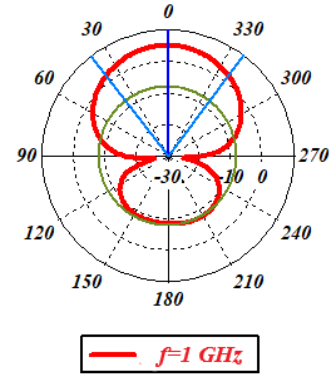
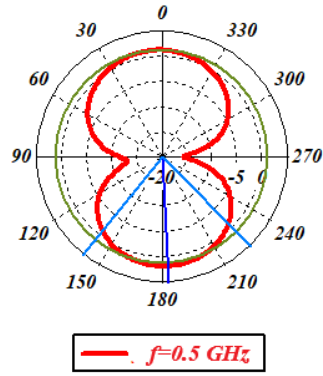


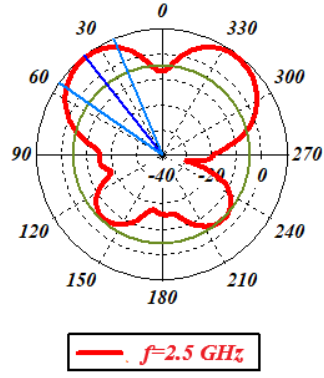
(h)

**Şekil 4.13.** MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de  $\phi = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri.

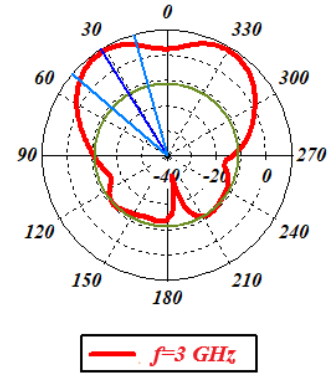
**Çizelge 4.7.** MVA' nın  $\phi = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	2.09	0	86.4	-
1	2.47	0	69.8	-
1.5	1.17	178	54.6	-0.6
2	-4.21	1	31.1	-0.9
2.5	-8.82	30	36.6	-1.3
3	0.39	147	29	-0.6
3.5	1.29	29	28.1	-0.5
4	0.92	180	18.8	-0.6

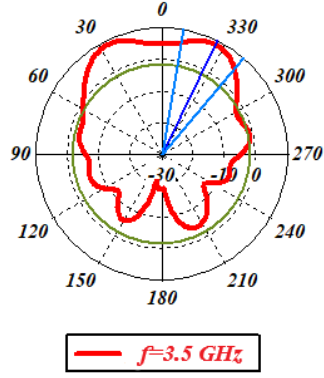




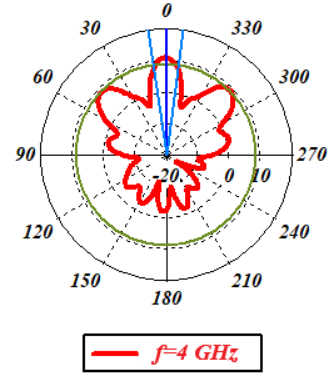
(e)



(f)



(g)



(h)

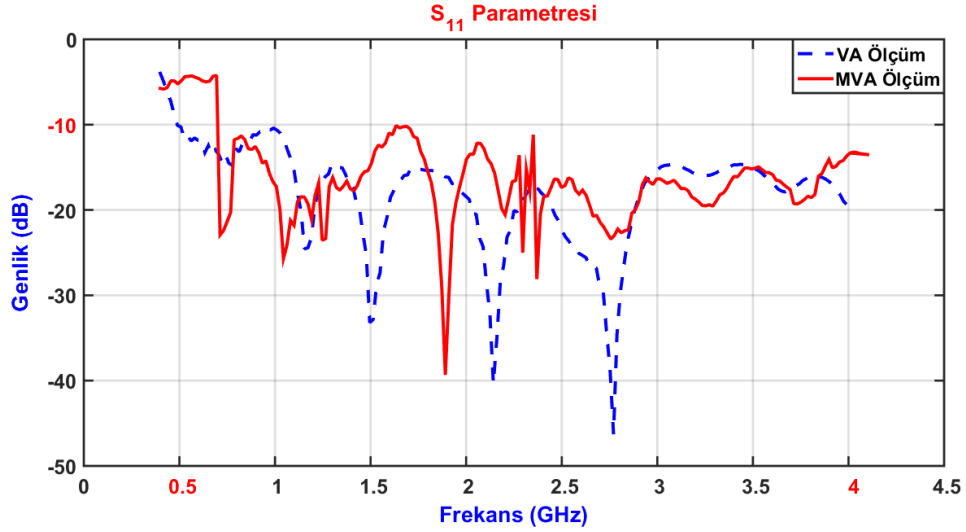
**Şekil 4.14.** MVA' ya ait, 0,5 GHz (a), 1 GHz (b), 1,5 GHz (c), 2 GHz (d), 2,5 GHz (e), 3 GHz (f), 3,5 GHz (g), 4 GHz (h)' de  $\theta = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri.

**Çizelge 4.8.** MVA' nın  $\theta = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)	Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )	Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )	Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)
0.5	1.74	183	83.5	-0.5
1	5.04	0	74.7	-13
1.5	6.77	0	61.0	-15
2	8.28	1	43.8	-11
2.5	9.1	38	32.5	-13.7
3	8.64	32	33.9	-19.8
3.5	8.61	334	30.6	-10.1
4	10.8	0	15.9	-1.9

### 4.3. VA-MVA' nın Karşılaştırmalı Sonuçları

VA ile MVA' nın  $S_{11}$  parametrelerinin ölçüm sonuçları Şekil 4.15' te verilmiştir. Şekil 4.15 incelendiğinde VA' da 0,4-4 GHz aralığında -10 dB' den daha düşük bir geri dönüş kaybı elde edilmiştir. MVA' da ise 0,68-4 GHz aralığında -10 dB' den daha düşük bir geri dönüş kaybı elde edildiği görülmüştür.



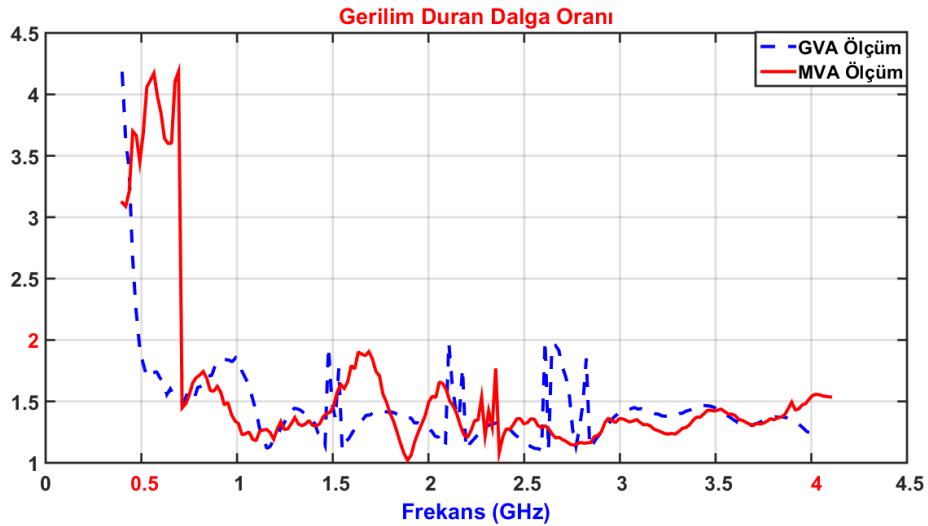
Şekil 4.15. VA ve MVA' nın geri dönüş kayıplarının frekansla değişimi

Çizelge 4.9' da geri dönüş kayıplarına ait VA' nın simülasyon değerleri, VA' nın ölçüm değerleri, MVA' nın simülasyon değerleri ve MVA' nın ölçüm değerleri verilmiştir. Çizelge 4.9 incelendiğinde simüle edilen VA en iyi geri dönüş kaybına 2,60 GHz' de ulaşmış olup değeri -46,56 dB olarak ölçülmüştür. Üretilen VA en iyi geri dönüş kaybına 2,78 GHz' de ulaşmış olup değeri -48,06 dB olarak ölçülmüştür. Simüle edilen MVA için en iyi geri dönüş kaybı 1,31 GHz' de ulaşmış olup değeri -31,94 dB olarak ölçülmüştür. Son olarak üretilen MVA için en iyi geri dönüş kaybı 1,89 GHz' de ulaşmış olup değeri -39,99 dB olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.9.** Tasarlanan VA ve MVA rezonans frekanslarındaki  $|S_{11}|$  değerleri.

VA Simülasyon $ S_{11} $ Sonuçları		VA Ölçüm $ S_{11} $ Sonuçları		MVA Simülasyon $ S_{11} $ Sonuçları		MVA Ölçüm $ S_{11} $ Sonuçları	
$f$ (GHz)	dB	$f$ (GHz)	dB	$f$ (GHz)	dB	$f$ (GHz)	dB
0.58	-18.50	0.63	-13.78	0.72	-24.56	0.73	-21.38
1.13	-30.37	1.17	-23.86	0.92	-28.68	1.08	-26.38
1.49	-39.74	1.50	-33.40	1.31	-31.94	1.41	-21.69
2.15	-22.78	2.15	-40.17	1.82	-20.79	1.89	-39.99
2.60	-46.56	2.78	-48.06	2.15	-29.48	2.37	-28.47
3.18	-18.26	3.25	-15.99	3.12	-20.29	2.80	-22.43
3.70	-18.37	3.68	-17.85	3.65	-21.38	3.28	-19.43

Antenlerin gerilim duran dalga oranlarının frekansla değişimi ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları Şekil 4.16’ da gösterilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde VA’ da 0,5-4 GHz aralığında 2 ve daha düşük bir gerilim duran dalga oranı elde edilmiştir. MVA’ da 0,68-4,1 GHz aralığında 2 ve daha düşük bir gerilim duran dalga oranı elde edildiği görülmüştür.



**Şekil 4.16.** VA ve MVA’ nın gerilim duran dalga oranlarının frekansla değişimi

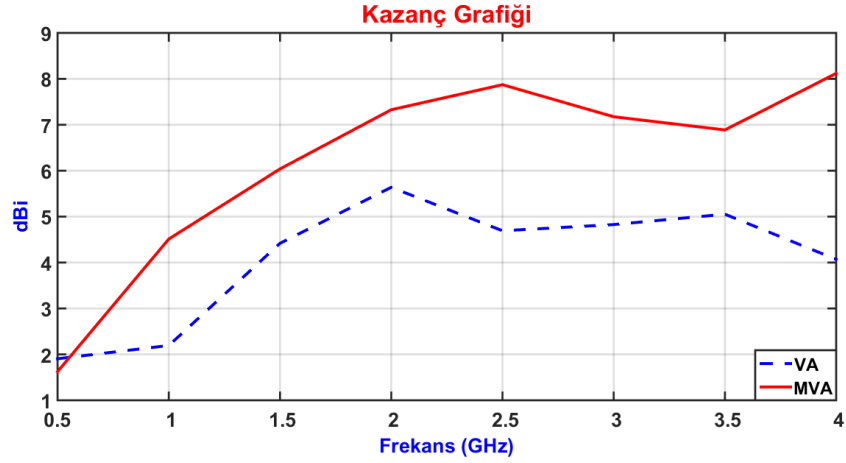


Çizelge 4.10’ da gerilim duran dalga oranlarına ait VA’ nın simülasyon değerleri, VA’ nın ölçüm değerleri, MVA’ nın simülasyon değerleri ve MVA’ nın ölçüm değerleri verilmiştir. Çizelge 4.10 incelendiğinde simüle edilen VA en iyi GDDO’ ya 2,60 GHz’ de ulaşmış olup değeri 1 olarak ölçülmüştür. Üretilen VA en iyi GDDO’ ya 1,17 GHz’ de ulaşmış olup değeri 1,11 olarak ölçülmüştür. Simüle edilen MVA için en iyi GDDO’ ya 1,31 GHz’ de ulaşmış olup değeri 1,05 olarak ölçülmüştür. Son olarak üretilen MVA için en iyi GDDO’ ya 1,89 GHz’ de ulaşmış olup değeri 1,02 olarak ölçülmüştür.

**Çizelge 4.10.** Tasarlanan VA ve MVA rezonans frekanslarındaki GDDO değerleri

<i>VA Simülasyon GDDO Sonuçları</i>		<i>VA Ölçüm GDDO Sonuçları</i>		<i>MVA Simülasyon GDDO Sonuçları</i>		<i>MVA Ölçüm GDDO Sonuçları</i>	
<i>f (GHz)</i>	-	<i>f (GHz)</i>	-	<i>f (GHz)</i>	-	<i>f (GHz)</i>	-
0.58	1.27	0.63	1.54	0.72	1.12	0.73	1.47
1.13	1.06	1.17	1.11	0.92	1.07	1.08	1.19
1.49	1.02	1.50	1.42	1.31	1.05	1.41	1.30
2.15	1.15	2.15	1.46	1.82	1.19	1.89	1.02
2.60	1	2.78	1.21	2.15	1.06	2.37	1.09
3.18	1.27	3.25	1.40	3.12	1.21	2.80	1.15
3.70	1.27	3.68	1.31	3.65	1.18	3.28	1.23

Şekil 4.17’ de iki antenin kazanç grafiği verilmiştir. Çizelge 4.11 incelendiğinde VA’ da kazanç yaklaşık 1,9-5,63 dBi aralığında iken, MVA tasarımında kazancın yaklaşık 1,65-8,12 dBi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan MVA’ da anten kazancında özellikle düşük frekanslarda olmak üzere bant genişliği boyunca artış gözlemlenmiştir. VA’ da en düşük kazanç 0,5 GHz’ de 1,9 dBi, en yüksek kazanç 2 GHz’ de 5,63 dBi iken MVA’ da en düşük kazanç 0,5 GHz’ de 1,65 dBi ve en yüksek kazanç 4 GHz’ de 8,12 dBi olduğu gözlemlenmiştir.

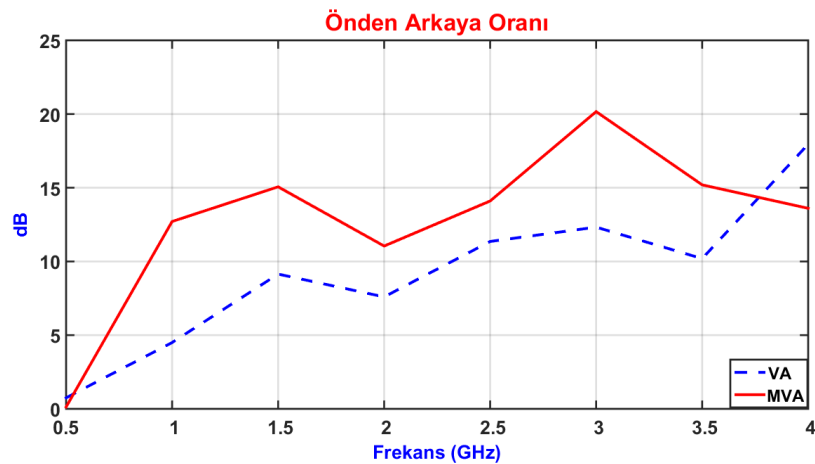


Şekil 4.17. Anten kazanç grafikleri

Çizelge 4.11. Tasarlanan VA ve MVA kazanç değerleri

$f$ (GHz)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$VA$ (dBi)	1.9	2.19	4.41	5.63	4.69	4.82	5.05	4.06
$MVA$ (dBi)	1.63	4.51	6.04	7.32	7.87	7.17	6.89	8.12

Şekil 4.18' de iki antenin önden arkaya oranları verilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde VA' da önden arkaya oran yaklaşık 0,74-17,95 dB aralığında iken, MVA tasarımında önden arkaya oran yaklaşık 0,12-20,16 dB elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan MVA' da önden arkaya oran bant genişliği genelinde artış, 3,72 GHz' den sonra kısmi bir düşüş gözlemlenmiştir. VA' da en düşük önden arkaya oran 0,5 GHz' de 0,74 dB, en yüksek önden arkaya oran 4 GHz' de 17,95 dB iken MVA' da en düşük önden arkaya oran 0,5 GHz' de 0,12 ve en yüksek önden arkaya oran 3 GHz' de 20,16 dB olduğu gözlemlenmiştir.



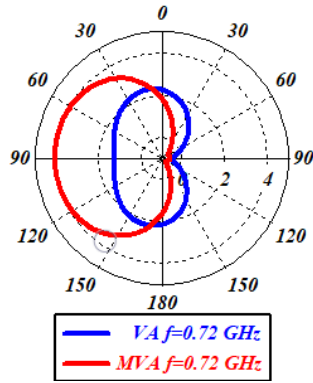
Şekil 4.18. Anten önden arkaya oranları

**Çizelge 4.12.** Tasarlanan VA ve MVA önden arkaya oran değerleri

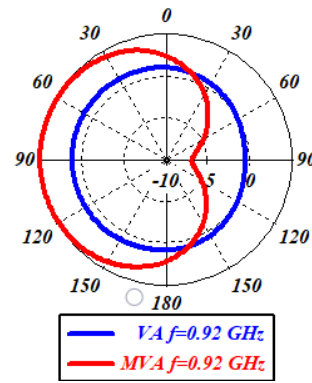
$f$ (GHz)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
$VA$ (dBi)	0.74	4.50	9.14	7.59	11.35	12.32	10.19	17.95
$MVA$ (dB)	0.12	12.71	15.06	11.04	14.10	20.16	15.19	13.60

VA ve MVA'ya ait uzak alan ışınma örüntüleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.19' da  $\phi = 0^\circ$  için, Şekil 4.20' de  $\phi = 90^\circ$  için ve Şekil 4.21' de  $\theta = 90^\circ$  için antenin rezonans frekansları olan 0,72 GHz, 0,92 GHz, 1,31 GHz, 1,82 GHz, 2,15 GHz, 3,12 GHz, 3,65 GHz değerleri için verilmiştir. Şekiller incelendiğinde yönlülük 0.72 GHz, 0.92 GHz, 1.31 GHz, 1.82 GHz ve 2.15 GHz' de artarken, 3.12 GHz ve 3.65 GHz' de ise kısmi bir düşüş yaşanmıştır. Anten kazancı genel olarak artmaktadır.

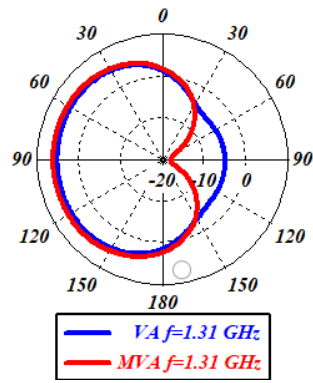
VA ve MVA'nın uzak alan ışınma örüntülerine ait ana hüzmeye büyüklüğü, ana hüzmeyin yönü, hüzmeye genişliği ve yan hüzmeye büyüklüğü karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.13' de  $\phi = 0^\circ$  için, Çizelge 4.14' de  $\phi = 90^\circ$  için ve Çizelge 4.15' de  $\theta = 90^\circ$  için 0,72 GHz, 0,92 GHz, 1,31 GHz, 1,82 GHz, 2,15 GHz, 3,12 GHz, 3,65 GHz frekanslarında verilmiştir.



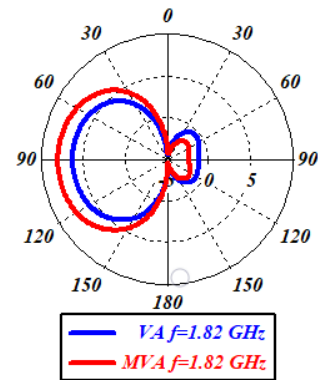
(a)



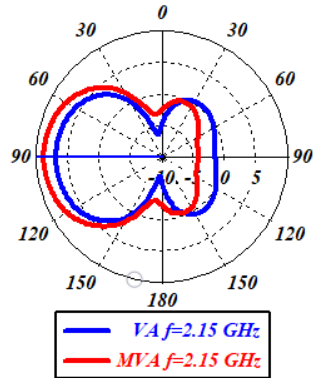
(b)



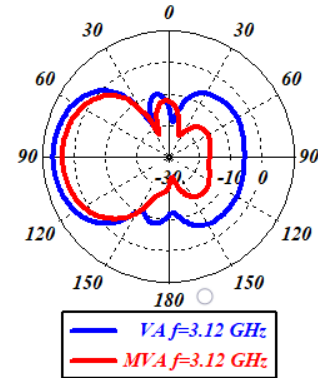
(c)



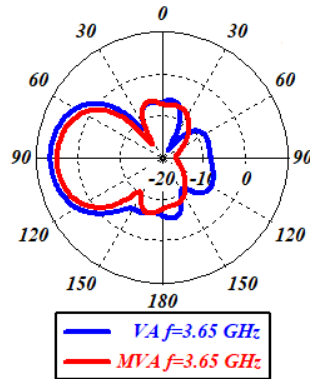
(d)



(e)



(f)

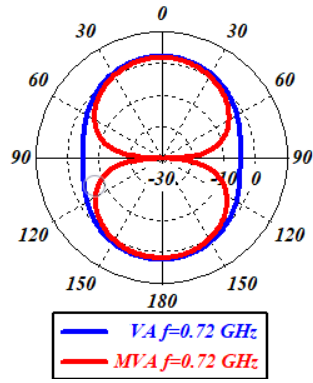


(g)

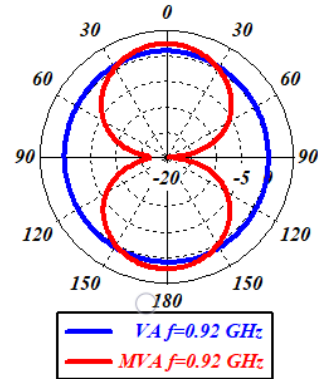
**Şekil 4.19.** VA ve MVA' ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)' de  $\phi = 0^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.13.** VA ve MVA' nın  $\phi = 0^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

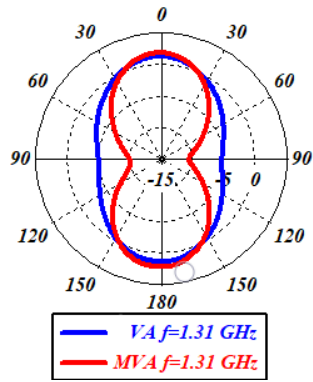
Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)		Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )		Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )		Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)	
	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA
0.72	2.32	4.03	12	85	-	201.2	-	-4.6
0.92	1.15	4.91	57	81	-	186.6	-	-
1.31	5.14	5.98	58	80	168	165.3	-10.1	-23.8
1.82	6.21	7.96	88	91	115.7	112.6	-6.7	-9.8
2.15	6.72	8.66	90	90	93.2	86.1	-6.0	-9.2
3.12	6.46	3.57	90	88	66.8	68.0	-11.3	-15.7
3.65	6.47	4.88	89	91	60	58.1	-11.9	-11.1



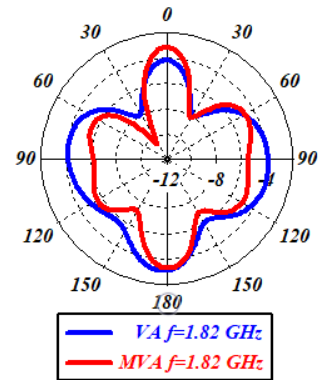
(a)



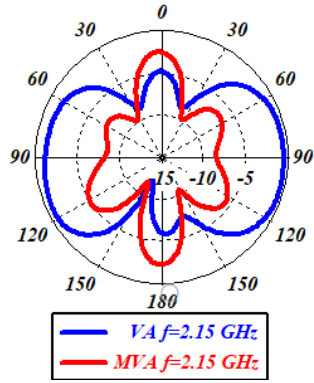
(b)



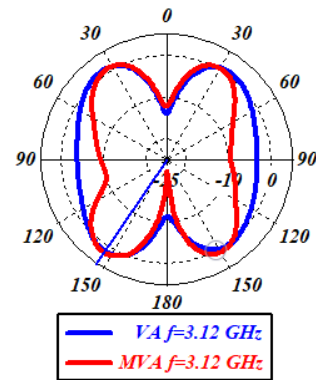
(c)



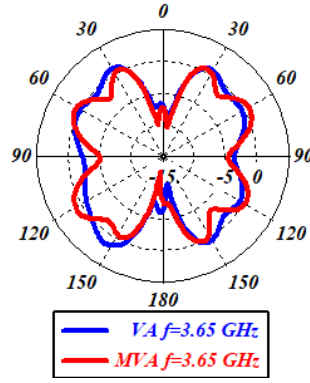
(d)



(e)



(f)

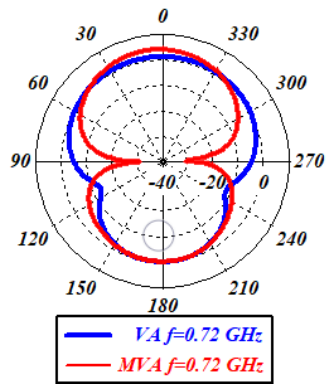


(g)

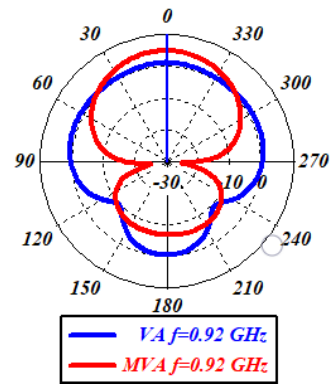
**Şekil 4.20.** VA ve MVA'ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)' de  $\phi = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.14.** VA ve MVA'nın  $\phi = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

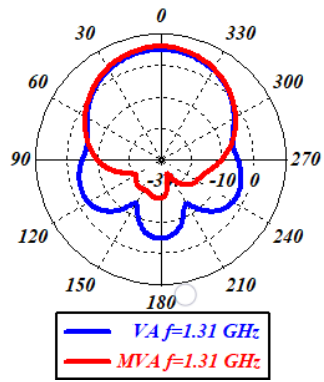
Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)		Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )		Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )		Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)	
	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA
0.72	2.25	1.85	1	0	91.6	79.4	-	-
0.92	0.96	2.38	3	0	-	72.6	-	-
1.31	1.26	2.12	1	179	85	59.2	-	-
1.82	-3.15	-3.15	178	0	162.4	36.1	-0.8	-1.6
2.15	-0.54	-2.39	99	180	100	29.2	-4.3	-2.7
3.12	1.17	1.54	146	146	38.9	29.1	-1.1	-0.7
3.65	1.46	0.95	147	122	43.9	54.5	-0.5	-0.6



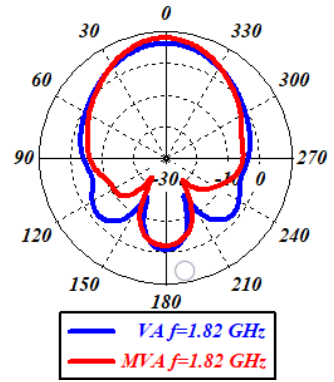
(a)



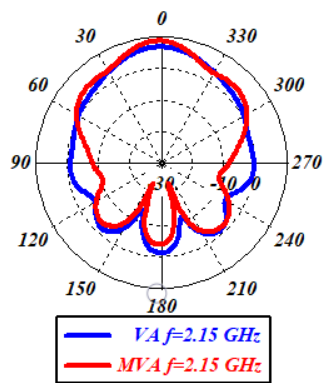
(b)



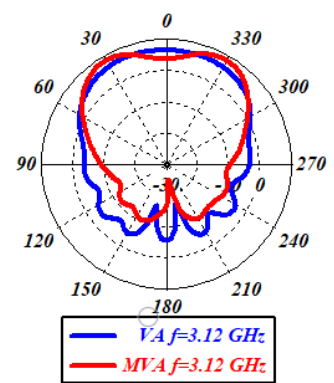
(c)



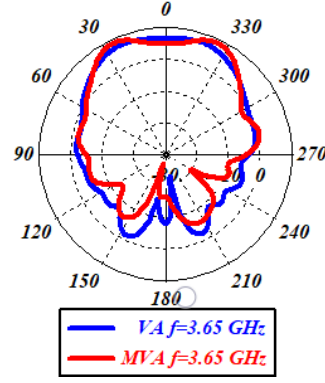
(d)



(e)



(f)



(g)

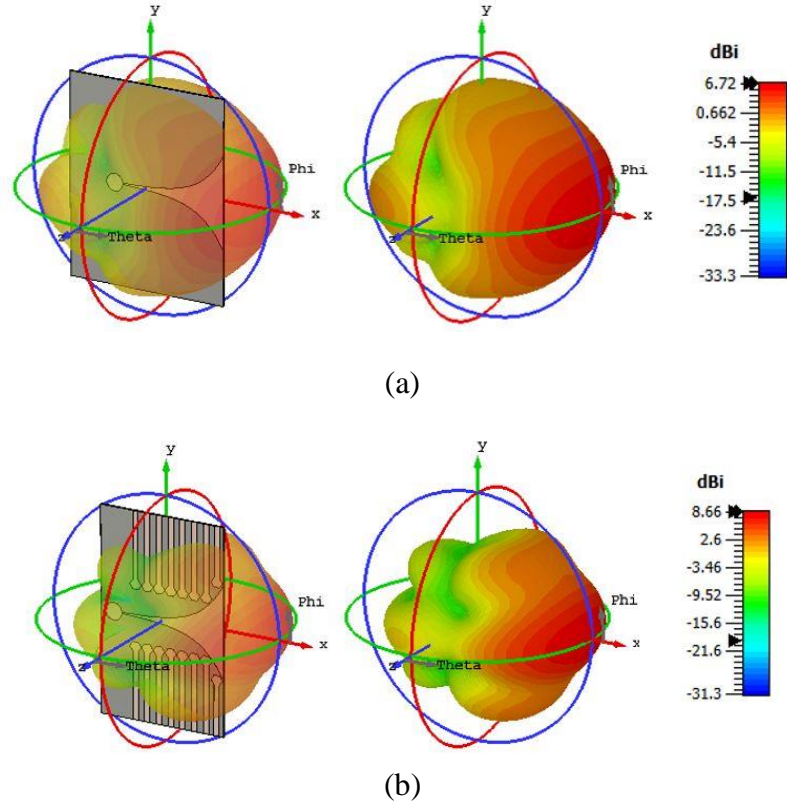
**Şekil 4.21.** VA ve MVA'ya antene ait, 0,72 GHz (a), 0,92 GHz (b), 1,31 GHz (c), 1,82 GHz (d), 2,15 GHz (e), 3,12 GHz (f), 3,65 GHz (g)'de  $\theta = 90^\circ$  uzak alan örüntüleri

**Çizelge 4.15.** VA ve MVA'nın  $\theta = 90^\circ$  için uzak alan örüntülerinin özellikleri

Frekans (GHz)	Ana Hüzme Büyüklüğü (dBi)		Ana Hüzme Yönü ( $^\circ$ )		Hüzme Genişliği 3dB ( $^\circ$ )		Yan Hüzme Büyüklüğü (dB)	
	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA	VA	MVA
0.72	1.21	4.1	8	6	147	75.6	-1.7	-4.7
0.92	1.1	4.9	0	0	208.5	75.4	-1.7	-11.5
1.31	4.99	5.98	359	0	74.9	68.3	-8.0	-23.7
1.82	6.21	7.96	359	1	62.8	49.2	-7.4	-10.3
2.15	6.72	8.68	1	2	55.2	36.7	-7.3	-4.9
3.12	6.56	8.4	18	31	102.6	35.0	-10.4	-17.6
3.65	7.19	8.72	21	335	82.1	27.8	-8.2	-8.4

Şekil 4.22(a)'da VA'ya ait ve 4.22(b)'de MVA'ya ait, merkez frekansa yakın olan her iki anteninde iyi ışınım yaptığı 2,15 GHz'de üç boyutlu olarak ışınım örüntüleri verilmiştir.





**Şekil 4.22.** VA (a) ve MVA' ya (b) ait 2,15 GHz 3 boyutlu ışınma örüntüleri

#### 4.4. Gömülü Cisim Tespit Çalışmaları

Gerçeklenen YNR sistemi ile hem VA hem de MVA ile gömülü cisim tespit çalışmaları yapılmıştır. İlk olarak toprak altında herhangi bir gömülü cisim olmadan boş alan taraması yapılmıştır. Daha sonra 6 farklı EYP numunesi sırayla 1 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm derinliklere gömülerek EYP numune taramaları gerçekleştirilmiştir. Son olarak ilgili zeminde bir kaya parçası 15 cm derinliğe gömülerek EYP dışı gömülü cisim taraması yapılmıştır. Taramaların her adımı için 6x1500 boyutlu veri matrisleri elde edilmiş olup veriler toplanmıştır. Bu veriler Çizelge 4.16' da gösterildiği gibi yoğunluk grafikleri elde edilerek gömülü cisim tespit çalışmaları yapılmıştır.

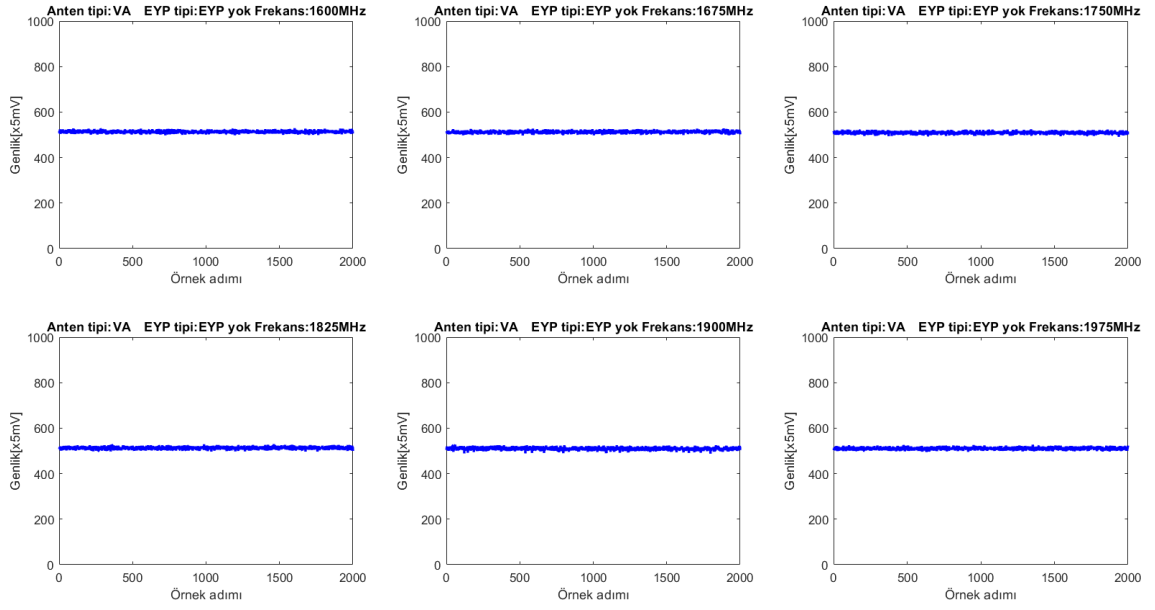
**Çizelge 4.16.** Yoğunluk grafiklerinin oluşturulması

$X_{f_6,a_1}$	$X_{f_6,a_2}$	$X_{f_6,a_3}$	.....	$X_{f_6,a_{1499}}$	$X_{f_6,a_{1500}}$
$X_{f_5,a_1}$	$X_{f_5,a_2}$	$X_{f_5,a_3}$	.....	$X_{f_5,a_{1499}}$	$X_{f_5,a_{1500}}$
$X_{f_4,a_1}$	$X_{f_4,a_2}$	$X_{f_4,a_3}$	.....	$X_{f_4,a_{1499}}$	$X_{f_4,a_{1500}}$
$X_{f_3,a_1}$	$X_{f_3,a_2}$	$X_{f_3,a_3}$	.....	$X_{f_3,a_{1499}}$	$X_{f_3,a_{1500}}$
$X_{f_2,a_1}$	$X_{f_2,a_2}$	$X_{f_2,a_3}$	.....	$X_{f_2,a_{1499}}$	$X_{f_2,a_{1500}}$
$X_{f_1,a_1}$	$X_{f_1,a_2}$	$X_{f_1,a_3}$	.....	$X_{f_1,a_{1499}}$	$X_{f_1,a_{1500}}$

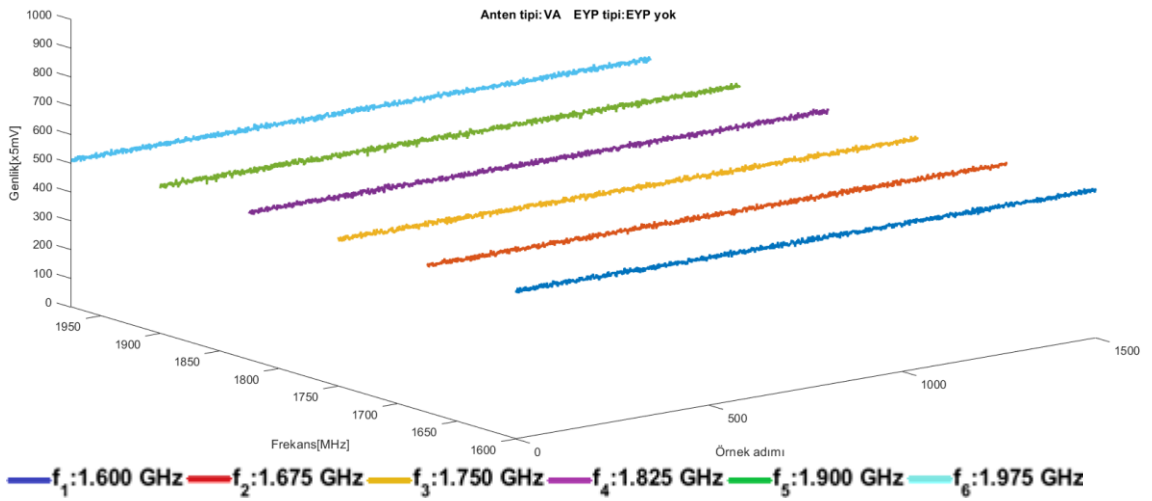
$X_{f_n,a_n}$  fonksiyonunda  $f_n$  frekans adımlarını ( $f_1$ : 1.6 GHz,  $f_2$ : 1.675 GHz,  $f_3$ : 1.75 GHz,  $f_4$ : 1.825 GHz,  $f_5$ : 1.9 GHz,  $f_6$ : 1.975 GHz),  $a_n$  ise örnekleme adımlarını temsil eder. Her  $X_{f,a}$  bir gerilim seviyesi ile ifade edilir ve 0-5000 mV arasındaki her gerilim adımı bir renge karşılık gelmektedir. Anomalilerinden oluşan değerlere göre yoğunluk grafikleri oluşturulmuştur.

#### 4.4.1. Boş alan taramaları

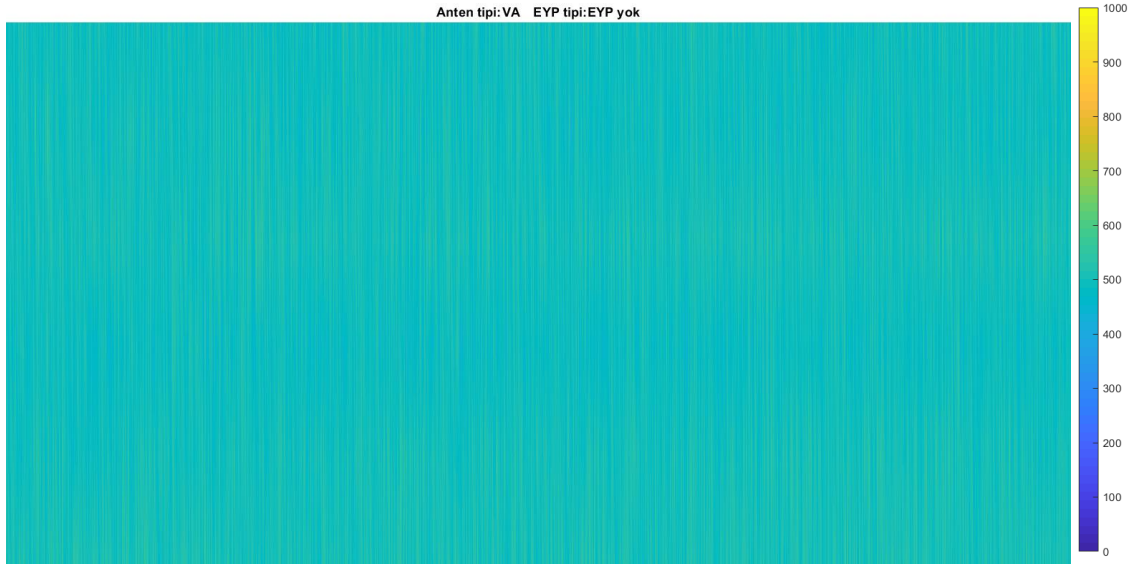
Toprak altında herhangi bir gömülü cisim olmadan alan taraması gerçekleştirilmiş, veriler toplanmış ve grafikler oluşturulmuştur. 6 farklı frekans (1.6 GHz, 1.675 GHz, 1.75 GHz, 1.825 GHz, 1.9 GHz)' da iki farklı anten için (VA ve MVA) iki eksenli ve üç eksenli grafikler (Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.26, Şekil 4.27) incelendiğinde yaklaşık 2500 mV seviyesinde sabit seyreden sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar yeraltında gömülü bir cisim bulunmadığının ve bir anomali olmadığını göstergesidir. 2500 mV seviyesinin altında ya da üstünde gerçekleşen küçük sapmalar toprak zeminin heterojen yapıda olmasından kaynaklıdır. Bu kaymalar VA için azami 85mV, ortalama 7,89mV ve MVA için azami 40mV, ortalama 2,5mV elde edilmiştir. Bu durumda boş alan taramalarında toprak zeminin homojen olmamasından kaynaklı oluşan ve gürültü olarak adlandırabilecek kaymalar MVA ile yapılan ölçümlerde daha az gerçekleşmiştir. Şekil 4.25 ve Şekil 4.28 incelendiğinde görsel olarak bir renk farklılığı oluşmadığı görülmektedir. Bu da yeraltında gömülü bir cisim bulunmadığının göstergesidir.



**Şekil 4.23.** VA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyalleri

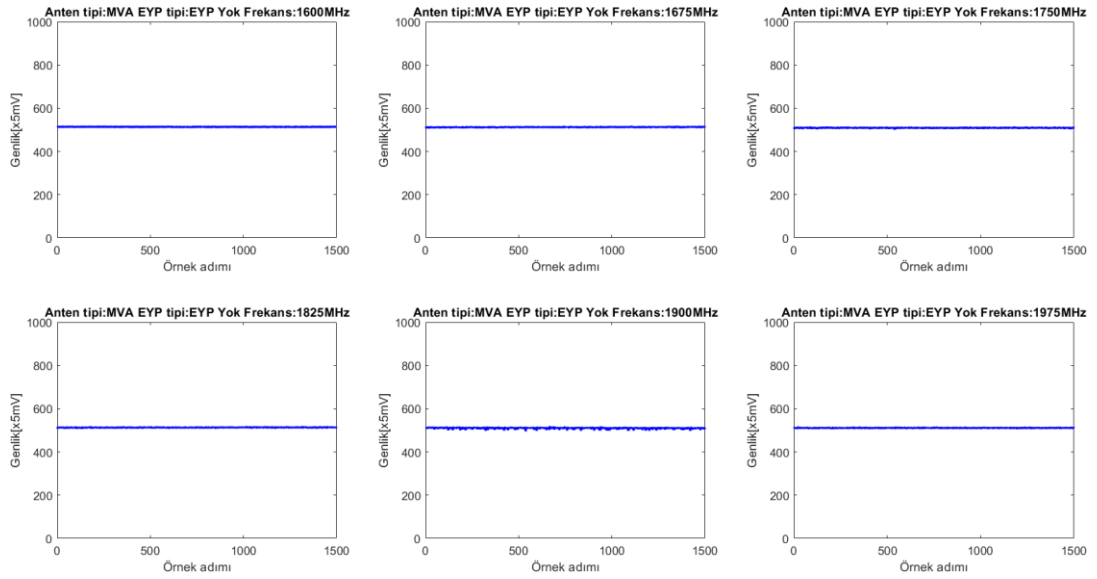


**Şekil 4.24.** VA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksende toplu gösterimi

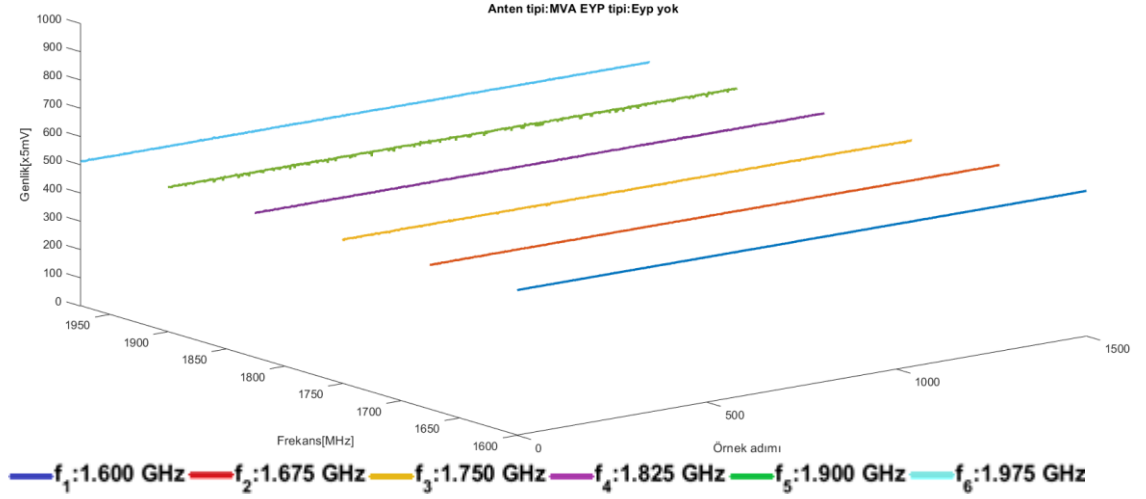


**Şekil 4.25.** VA ile yapılan boş alan taraması için elde edilen yoğunluk grafiği

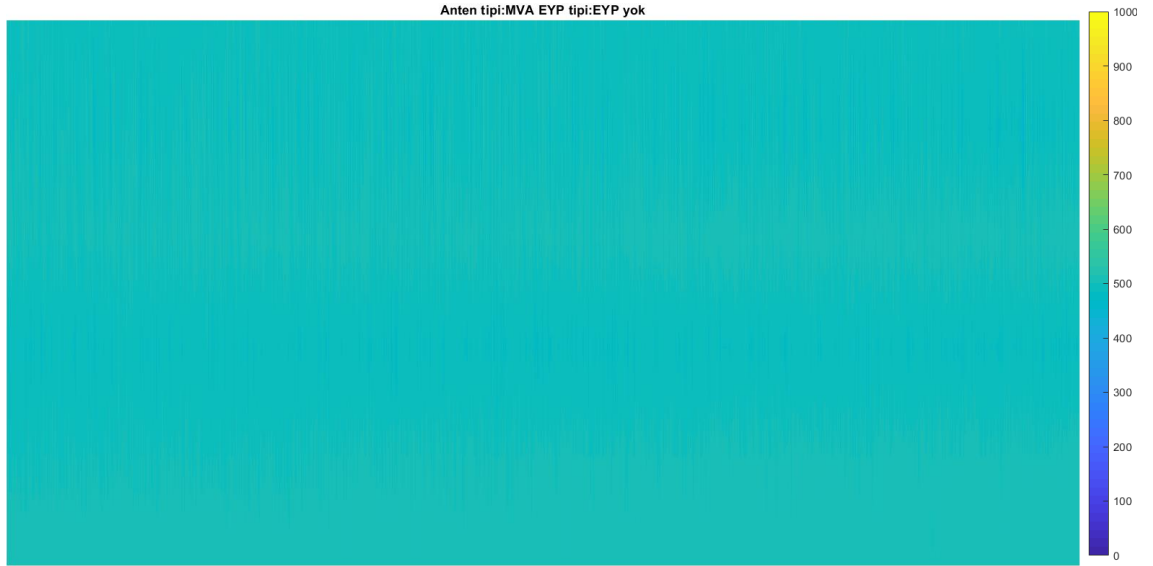
MVA için kanal sinyalleri Şekil 4.26’ da iki eksen, Şekil 4.27’ de üç eksenle verilmiştir. Şekil 4.28’ de MVA ile yapılan taramanın yoğunluk grafiği verilmiştir.



**Şekil 4.26.** MVA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyalleri



**Şekil 4.27.** MVA ile yapılan boş alan taraması için farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli gösterimi



**Şekil 4.28.** MVA ile yapılan boş alan taraması için elde edilen yoğunluk grafiği

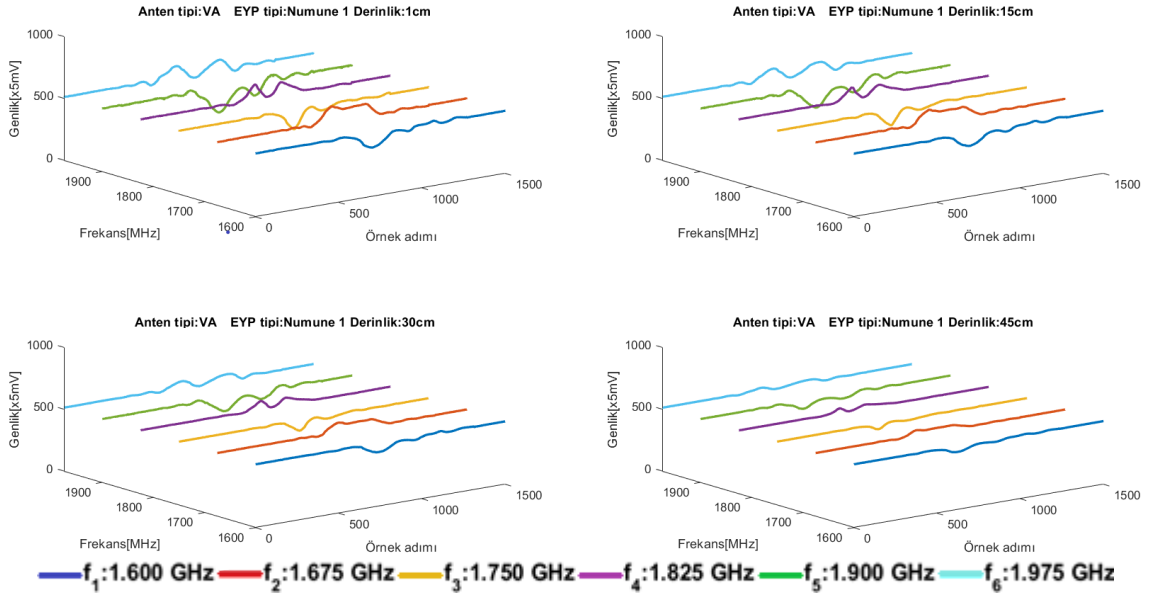
#### 4.4.2. EYP numune taramaları

6 farklı tipte EYP numuneleri sırayla 1 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm derinliklere gömülerek 6 farklı frekansta (1.6 GHz, 1.675 GHz, 1.75 GHz, 1.825 GHz, 1.9 GHz) taramalar gerçekleştirilmiştir. Taramaların her adımı için 6x1500 boyutlu veri matrisleri elde edilmiş olup veriler toplanmış ve EYP numune taramaları sonuçları oluşturulmuştur. Bütün numuneler için yapılan taramalarda 1 cm ve 15 cm' de gömülü EYP' ler için VA ile MVA arasında kısmen farklılık mevcutken, 30 cm ve 45 cm de yapılan ölçümlerde MVA, VA' ya göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Buna dayanarak gömülü

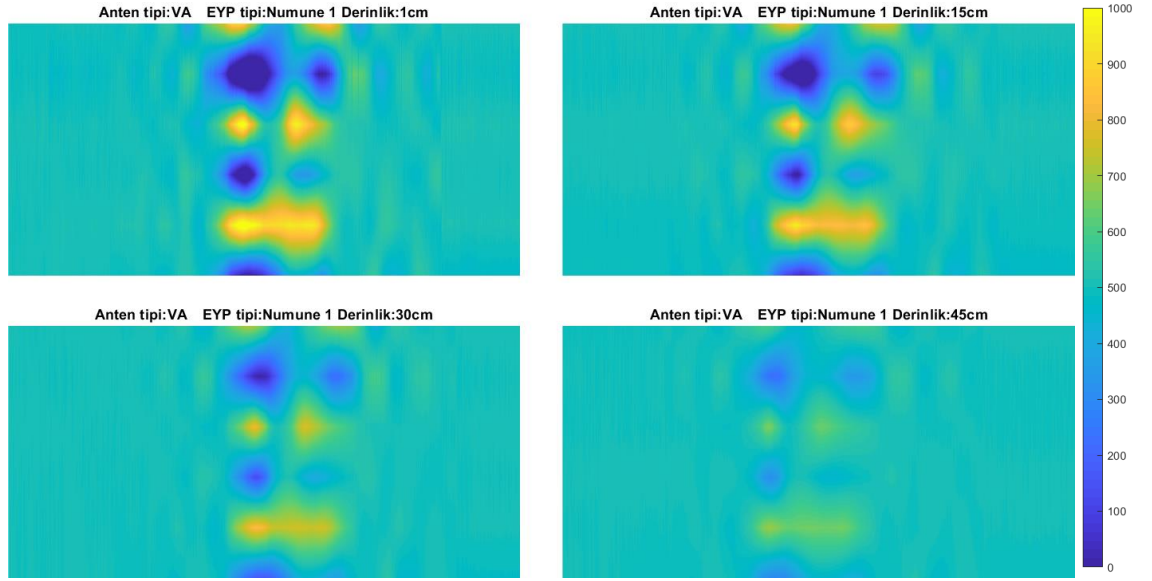
nesnenin derinliği arttıka tarama işlemleri için MVA kullanıldığında VA' ya göre iyi veriler alınmasına olanak sağlar.

#### 4.4.2.1. Numune 1 taramaları

Numune 1: 5 lt benzin bidonundan mamul EYP' dir. VA ile yapılan, numune 1' in tarama sonuçlarının u eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.29' da verilmiştir. Şekil 4.29 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1560-3195 mV, 15 cm derinlikte 1765-3070 mV, 30 cm derinlikte 2015-2935 mV, 45 cm derinlikte 2250-2775 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 1' in tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.30' da verilmiştir. Şekil 4.30 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 1' in tespit edildiği görülmektedir.

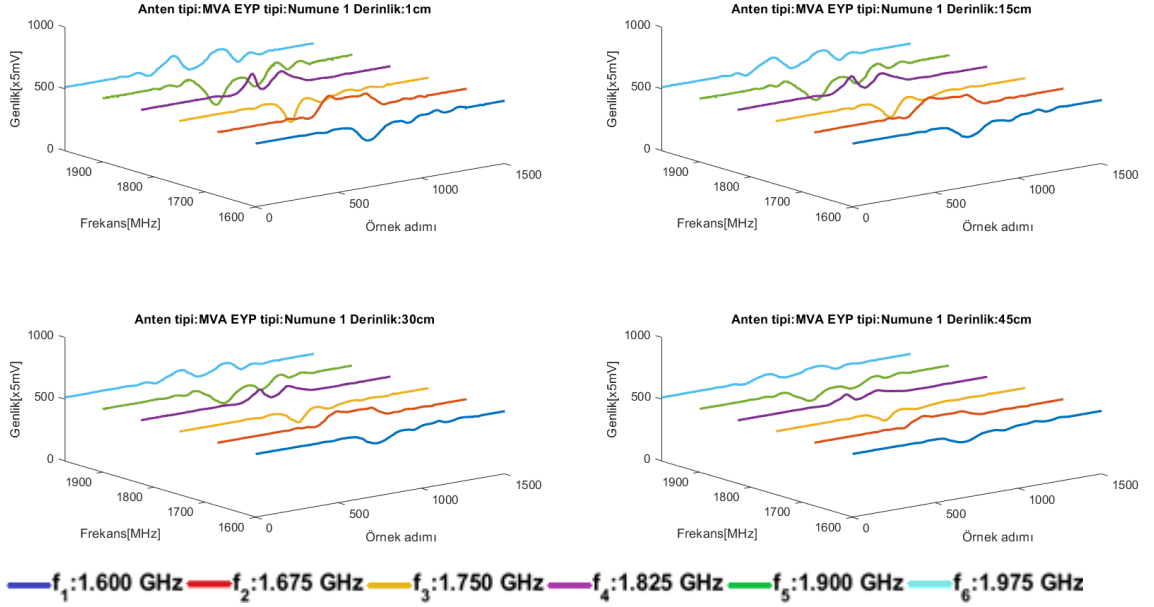


Şekil 4.29. VA ile numune 1 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin u ekseninde toplu gösterimi

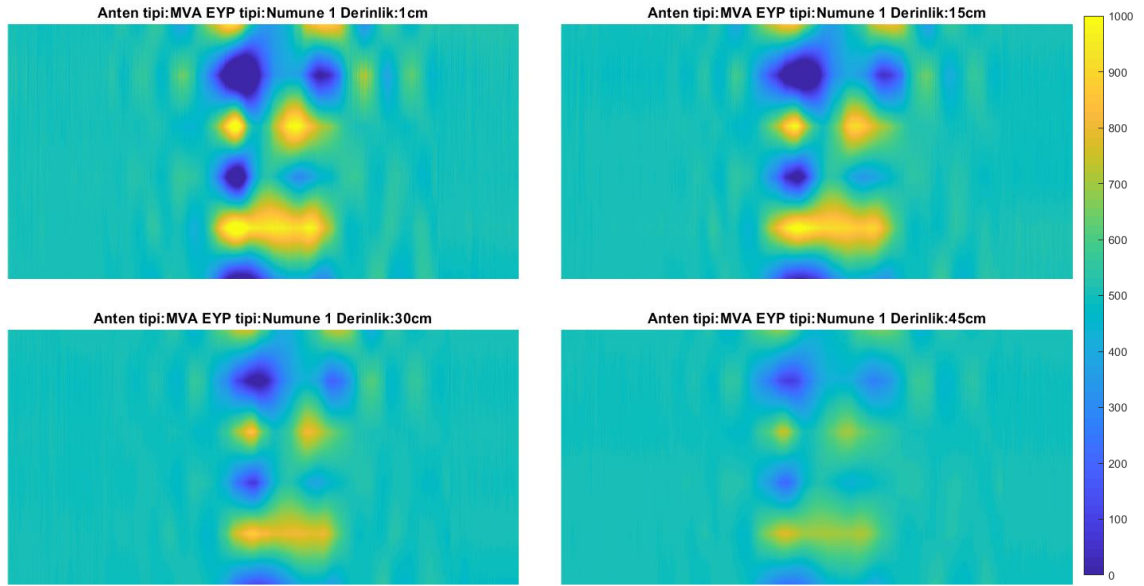


**Şekil 4.30.** VA ile numune 1 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 1' in tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.31' de verilmiştir. Şekil 4.31 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1490-3265 mV, 15 cm derinlikte 1670-3170 mV, 30 cm derinlikte 1935-2990 mV, 45 cm derinlikte 2100-2875 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA ile yapılan numune 1' in tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.32' de verilmiştir. Şekil 4.32 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 1' in tespit edildiği görülmektedir.



**Şekil 4.31.** MVA ile numune 1 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenle toplu gösterimi



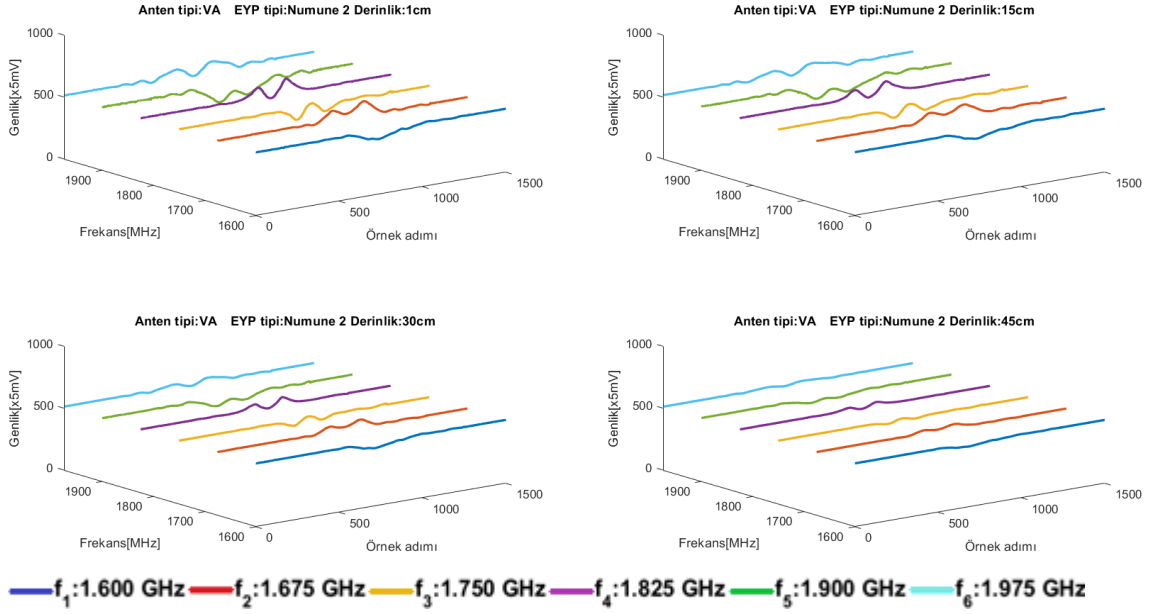
**Şekil 4.32.** MVA ile numune 1 için elde edilen yoğunluk grafiği.

#### 4.4.2.2. Numune 2 taramaları

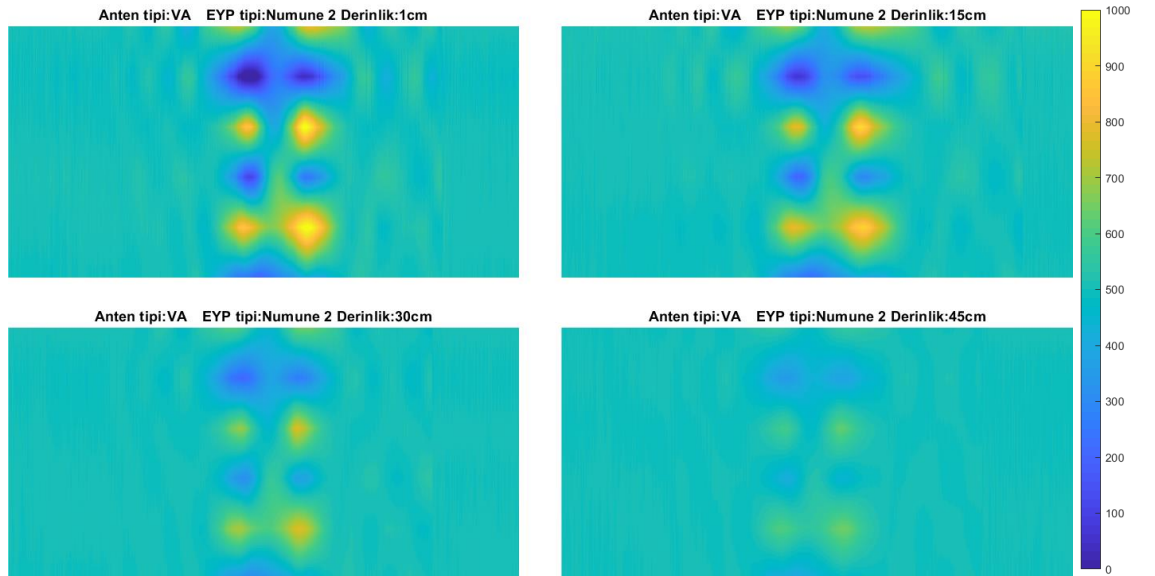
Numune 2: ATMC (Anti tank mayını-metal gövde-silindirik geometri)' dir. VA ile yapılan, numune 2' nin tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.33' de verilmiştir. Şekil 4.33 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1930-3150 mV, 15 cm derinlikte 2060-3030 mV, 30 cm derinlikte 2235-2870 mV, 45 cm derinlikte 2395-2720 mV değer



aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 2' nin tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.34' de verilmiştir. Şekil 4.34 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 2' nin tespit edildiği görülmektedir.

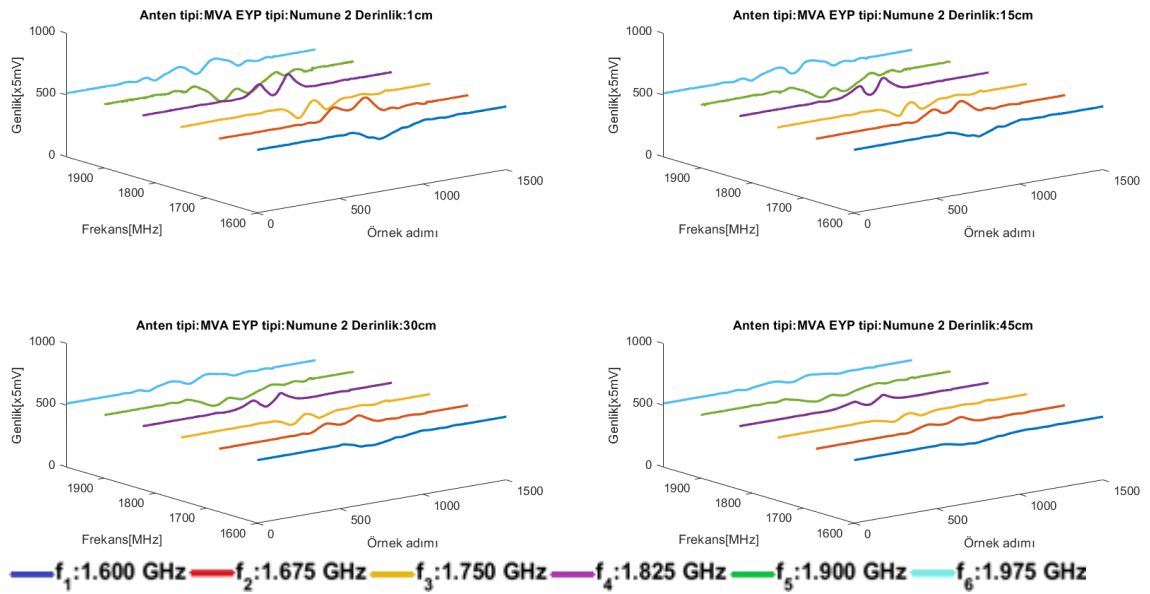


Şekil 4.33. VA ile numune 2 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksende toplu gösterimi

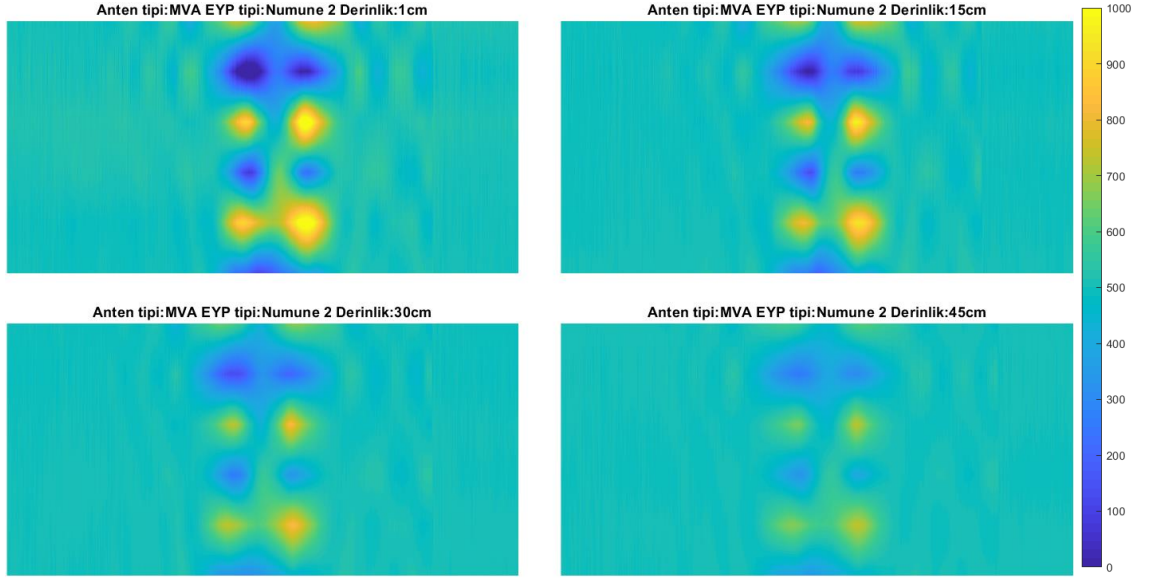


Şekil 4.34. VA ile numune 2 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 2' nin tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.35' de verilmiştir. Şekil 4.35 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1835-3230 mV, 15 cm derinlikte 1985-3095 mV, 30 cm derinlikte 2145-2930 mV, 45 cm derinlikte 2275-2885 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA ile yapılan numune 2' nin tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.32' de verilmiştir. Şekil 4.32 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 2' nin tespit edildiği görülmektedir.



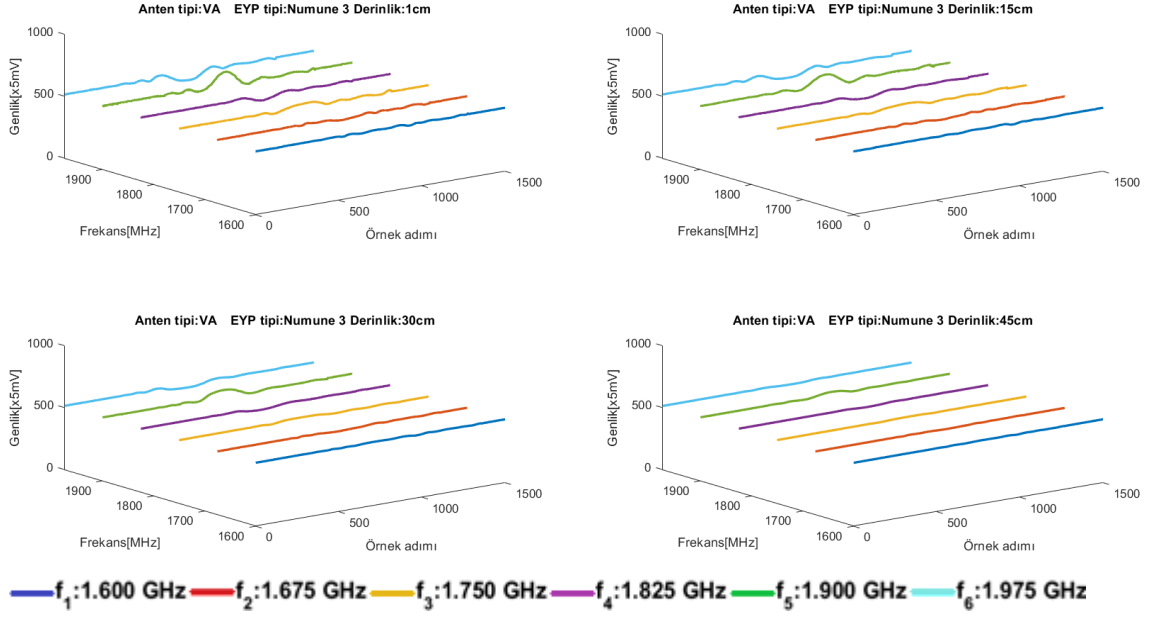
Şekil 4.35. MVA ile numune 2 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli gösterimi



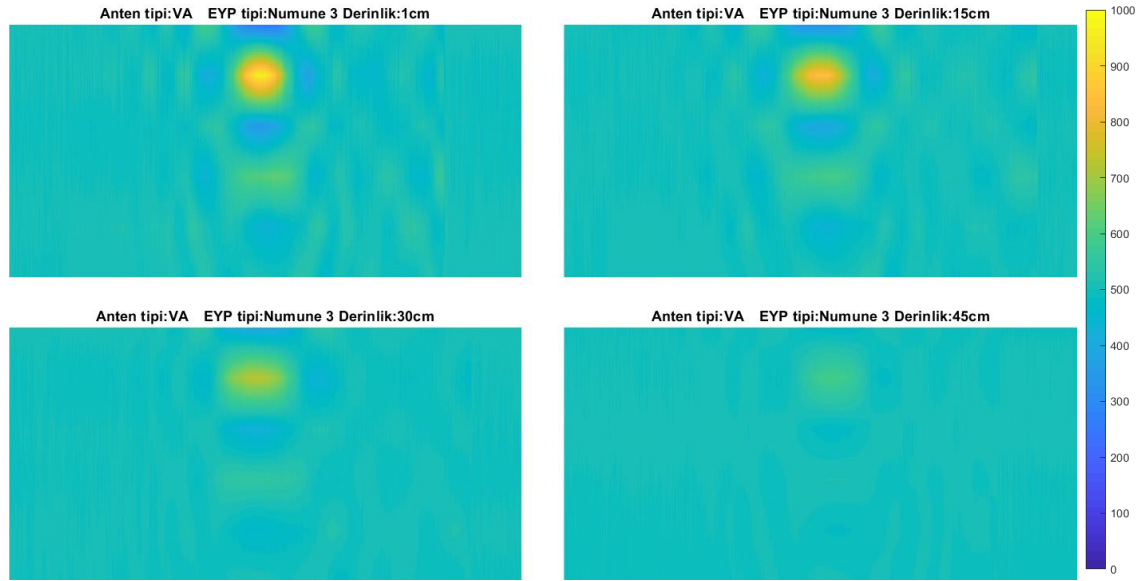
**Şekil 4.36.** MVA ile numune 2 için elde edilen yoğunluk grafiği.

#### 4.4.2.3. Numune 3 taramaları

Numune 3: 0.5 lt su şişesinden mamul EYP' dir. VA ile yapılan, numune 3' ün tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.37' de verilmiştir. Şekil 4.37 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2270-3085 mV, 15 cm derinlikte 2350-2950 mV, 30 cm derinlikte 2440-2815 mV, 45 cm derinlikte 2525-2665 mV değer aralığında değişiklik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 3' ün tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.38' de verilmiştir. Şekil 4.38 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 3' ün tespit edildiği görülmektedir.



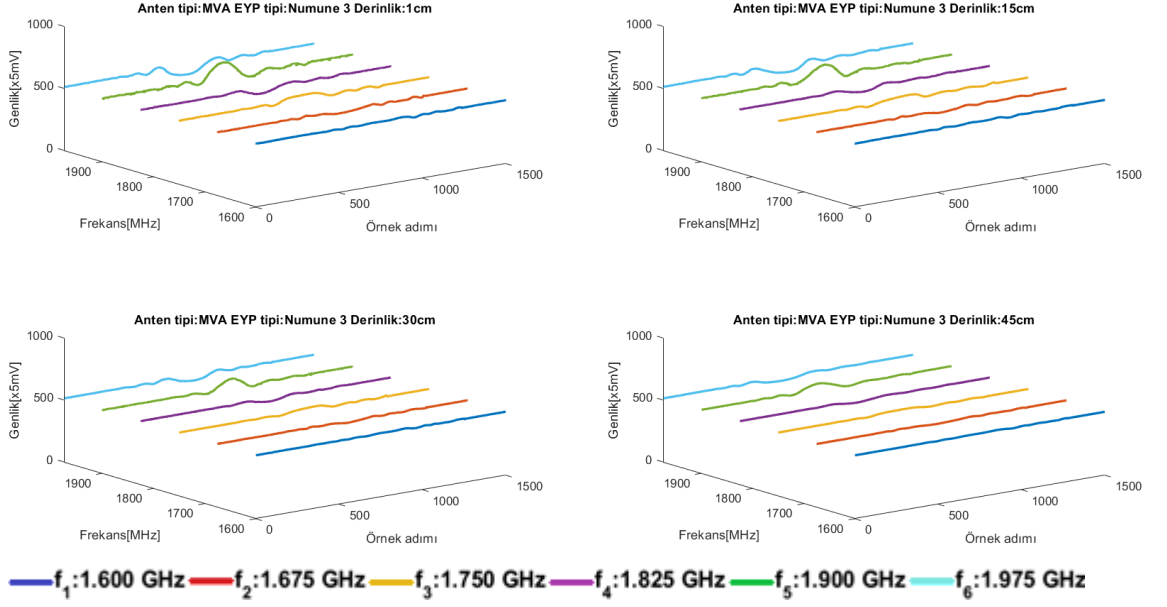
**Şekil 4.37.** VA ile numune 3 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



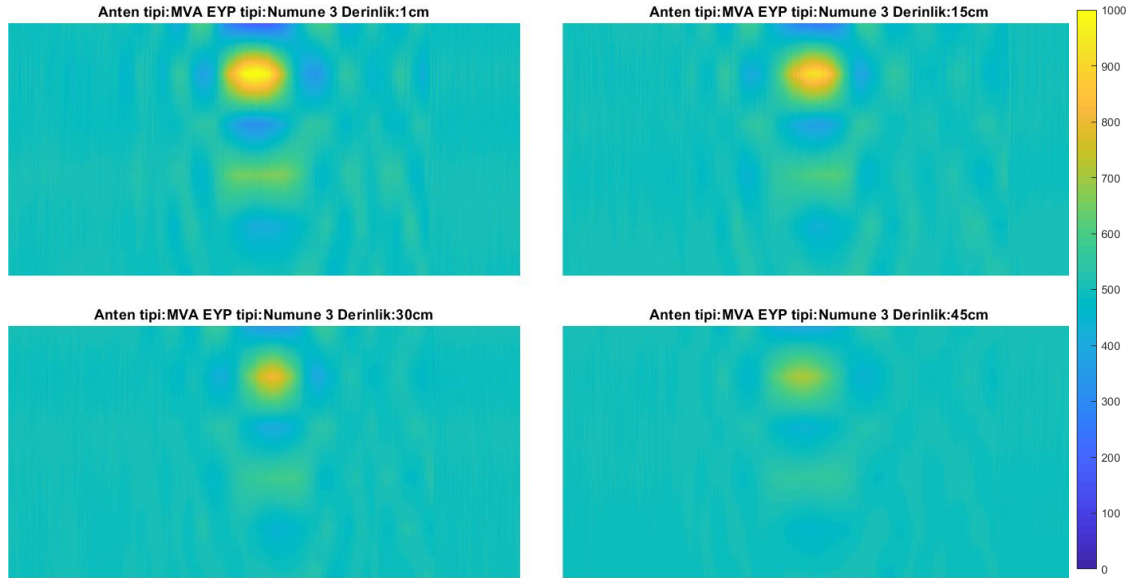
**Şekil 4.38.** VA ile numune 3 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 3' ün tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.39' da verilmiştir. Şekil 4.39 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2195-3175 mV, 15 cm derinlikte 2280-3050 mV, 30 cm derinlikte 2370-2910 mV, 45 cm derinlikte 2440-2800 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA ile yapılan numune 3' ün tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu

veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.40’ da verilmiştir. Şekil 4.40 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 3’ ün tespit edildiği görülmektedir.



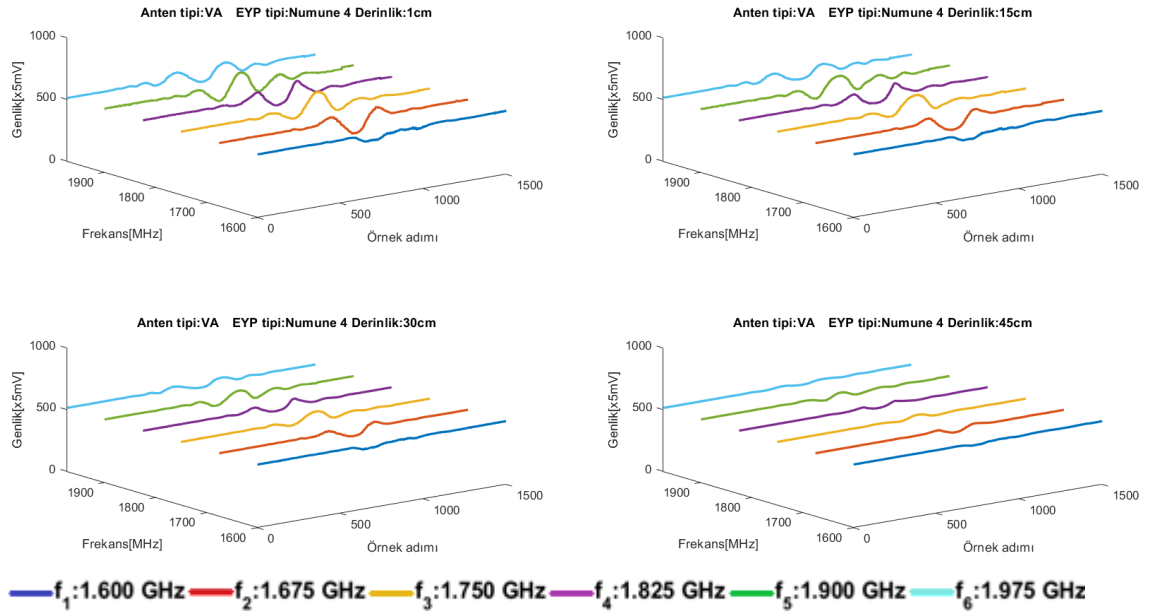
Şekil 4.39. MVA ile numune 3 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



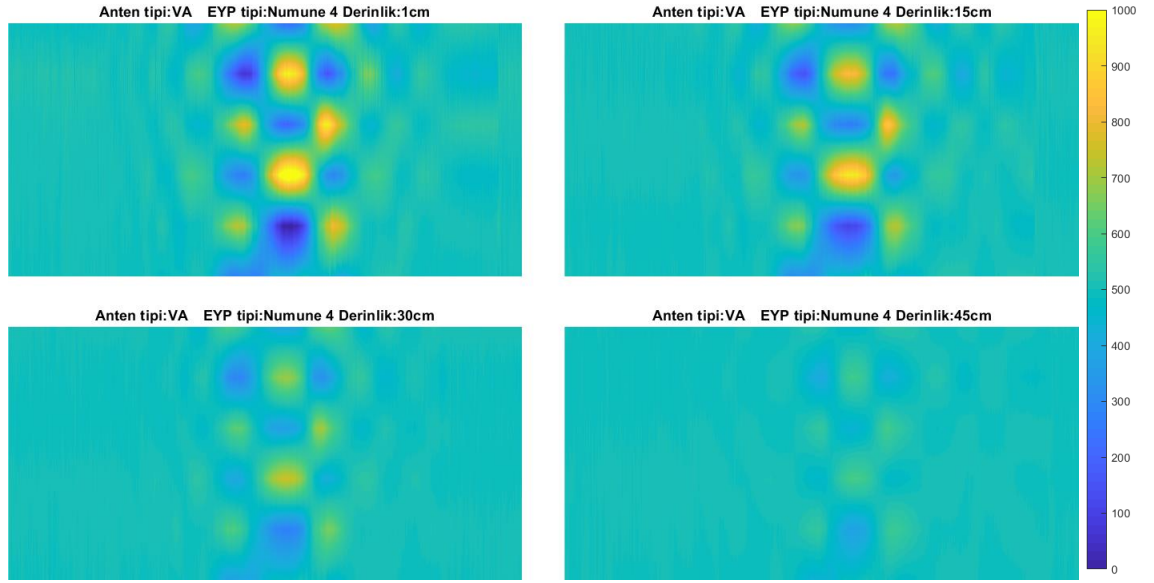
Şekil 4.40. MVA ile numune 3 için elde edilen yoğunluk grafiği.

#### 4.4.2.4. Numune 4 taramaları

Numune 4: ATMX (Anti tank mayını-metal gövde-dikdörtgen prizmatik geometri)' dir. VA ile yapılan, numune 4' ün tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.41' de verilmiştir. Şekil 4.41 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1995-3220 mV, 15 cm derinlikte 2125-3070 mV, 30 cm derinlikte 2310-2845 mV, 45 cm derinlikte 2415-2670 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 4' ün tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.42' de verilmiştir. Şekil 4.42 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 4' ün tespit edildiği görülmektedir.

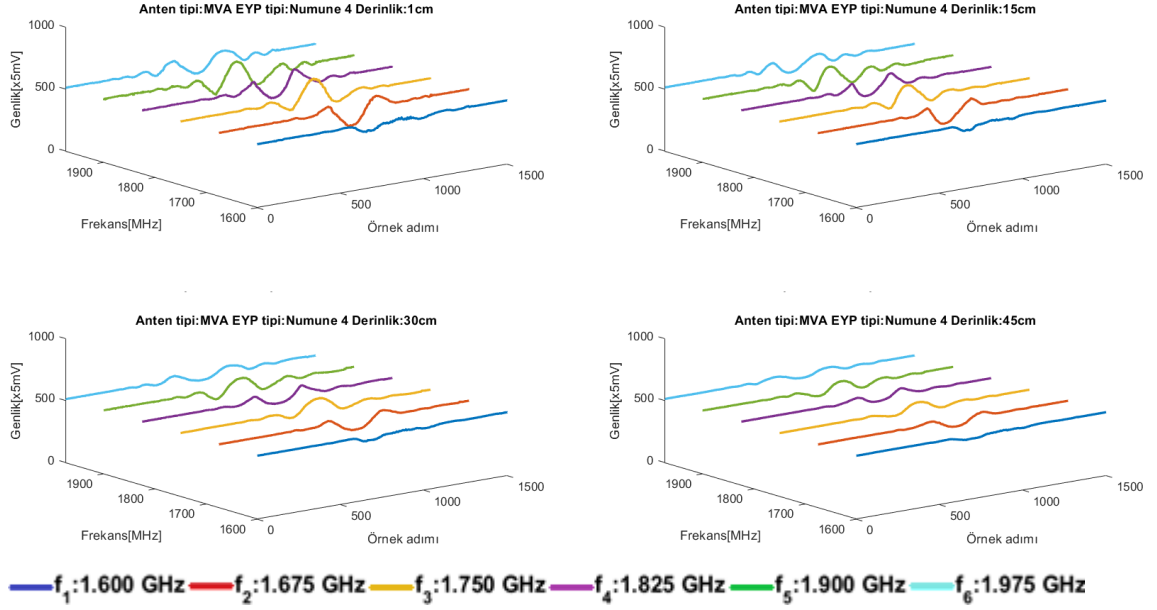


Şekil 4.41. VA ile numune 4 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi

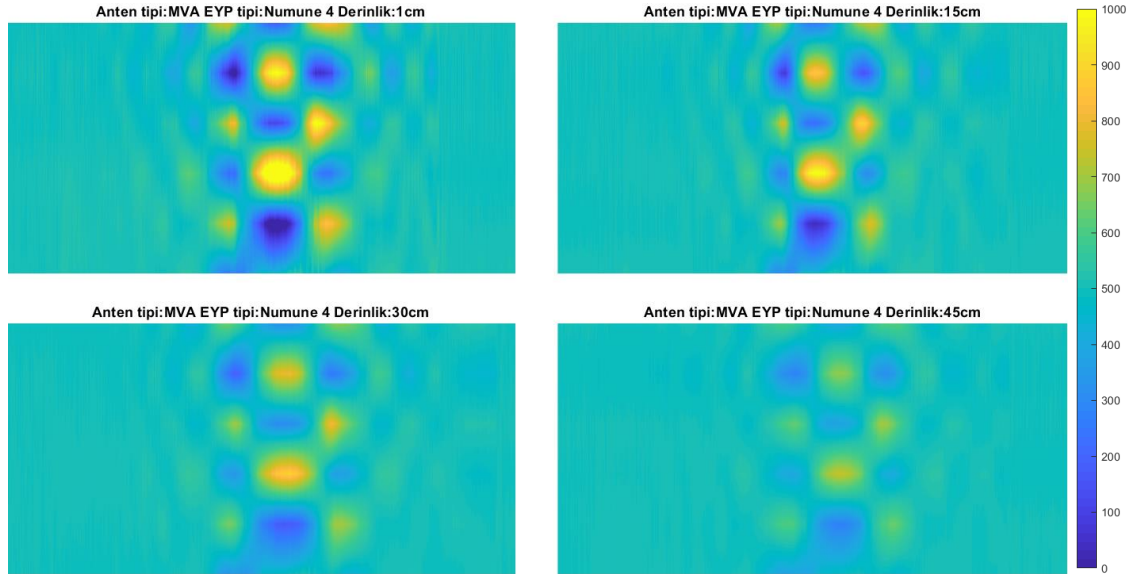


**Şekil 4.42.** VA ile numune 4 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 4' ün tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.43' de verilmiştir. Şekil 4.43 incelendiğinde 1 cm derinlikte 1910-3355 mV, 15 cm derinlikte 2045-3130 mV, 30 cm derinlikte 2195-2995 mV, 45 cm derinlikte 2310-2830 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA ile yapılan numune 4' ün tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.44' de verilmiştir. Şekil 4.44 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 4' ün tespit edildiği görülmektedir.



**Şekil 4.43.** MVA ile numune 4 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



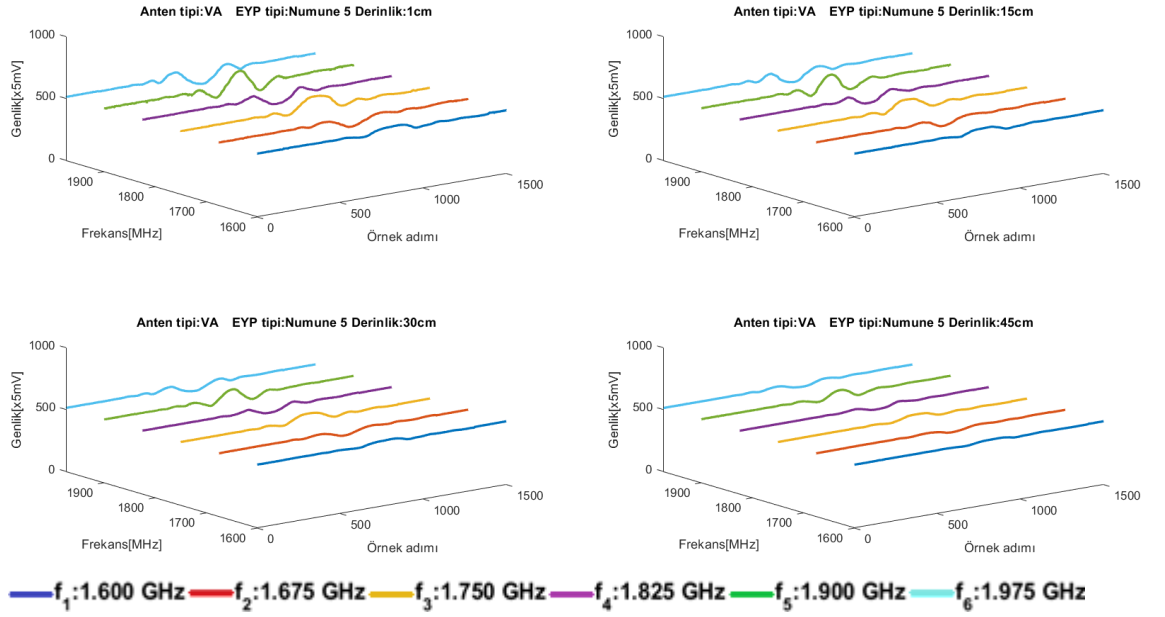
**Şekil 4.44.** MVA ile numune 4 için elde edilen yoğunluk grafiği.

#### 4.4.2.5. Numune 5 taramaları

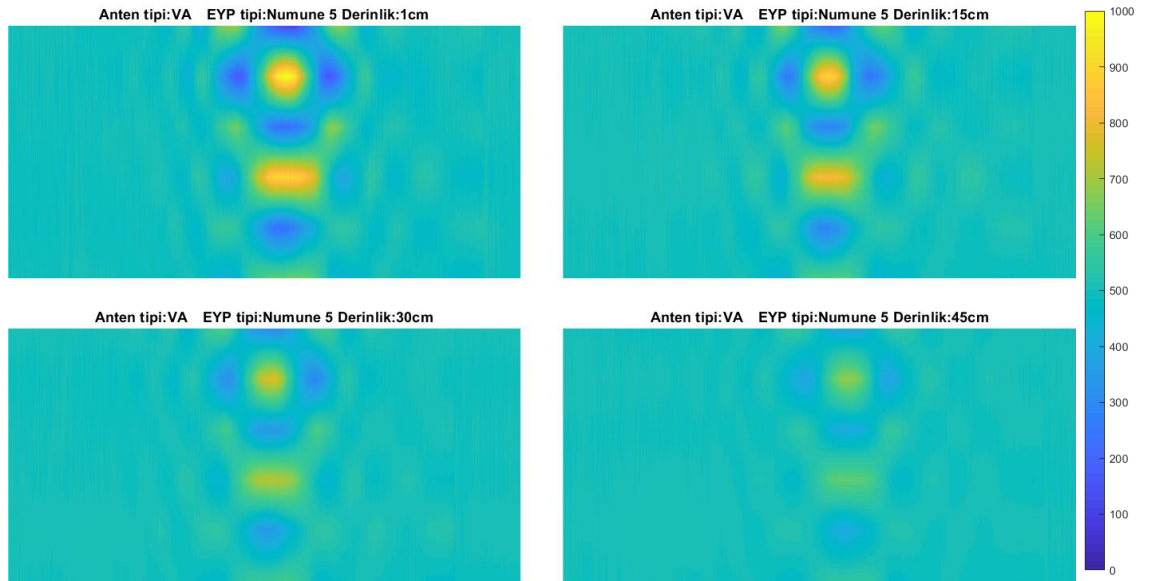
Numune 5: APWDX (Anti personel mayını- ahşap gövde-dikdörtgen prizmatik geometri)' dir. VA ile yapılan, numune 5' in tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.45' de verilmiştir. Şekil 4.45 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2125-3120 mV, 15 cm derinlikte 2235-3005 mV, 30 cm derinlikte 2320-2865 mV, 45 cm derinlikte 2415-2765 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu



sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 5' in tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.46' da verilmiştir. Şekil 4.46 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 5' in tespit edildiği görülmektedir.

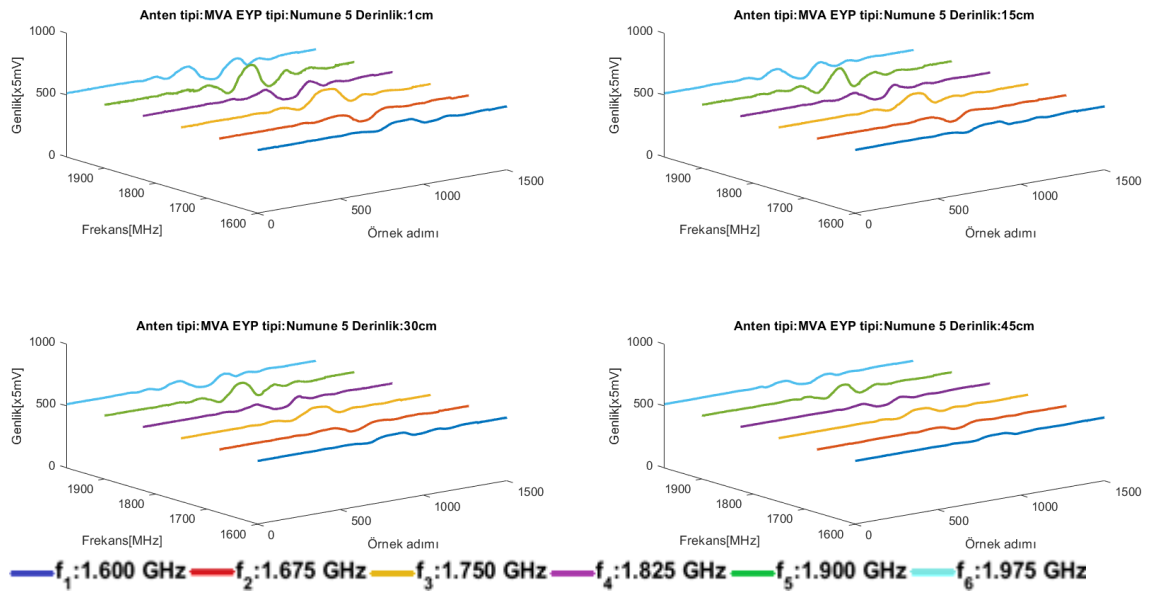


**Şekil 4.45.** VA ile numune 5 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin  eksende toplu gösterimi

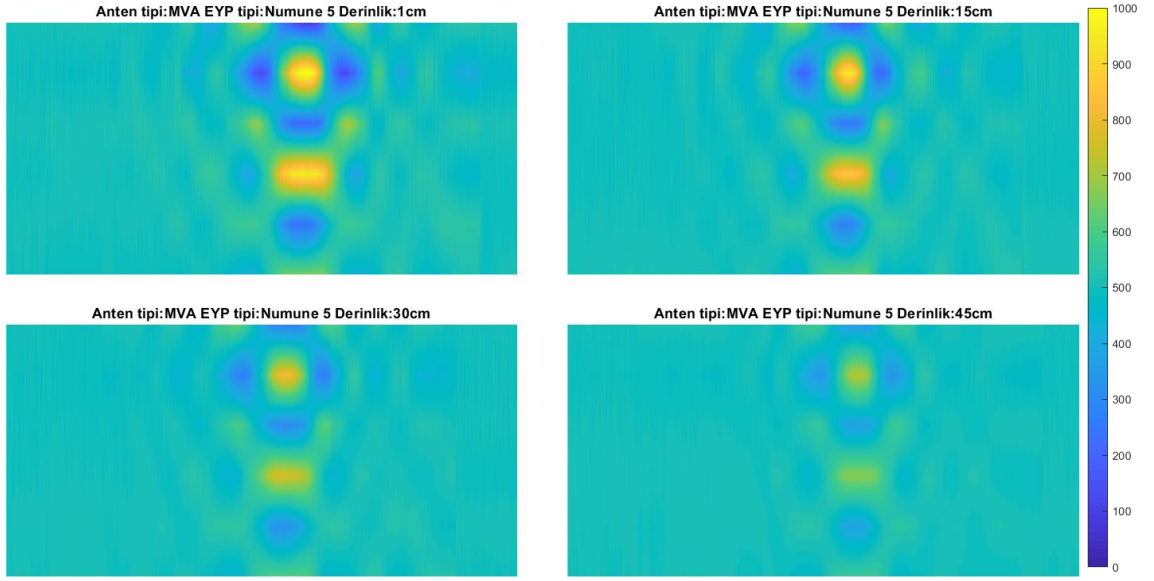


**Şekil 4.46.** VA ile numune 5 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 5' in tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.47' de verilmiştir. Şekil 4.47 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2090-3135 mV, 15 cm derinlikte 2185-3065 mV, 30 cm derinlikte 2270-2920 mV, 45 cm derinlikte 2365-2810 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA ile yapılan numune 5' in tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.48' de verilmiştir. Şekil 4.48 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 5' ün tespit edildiği görülmektedir.



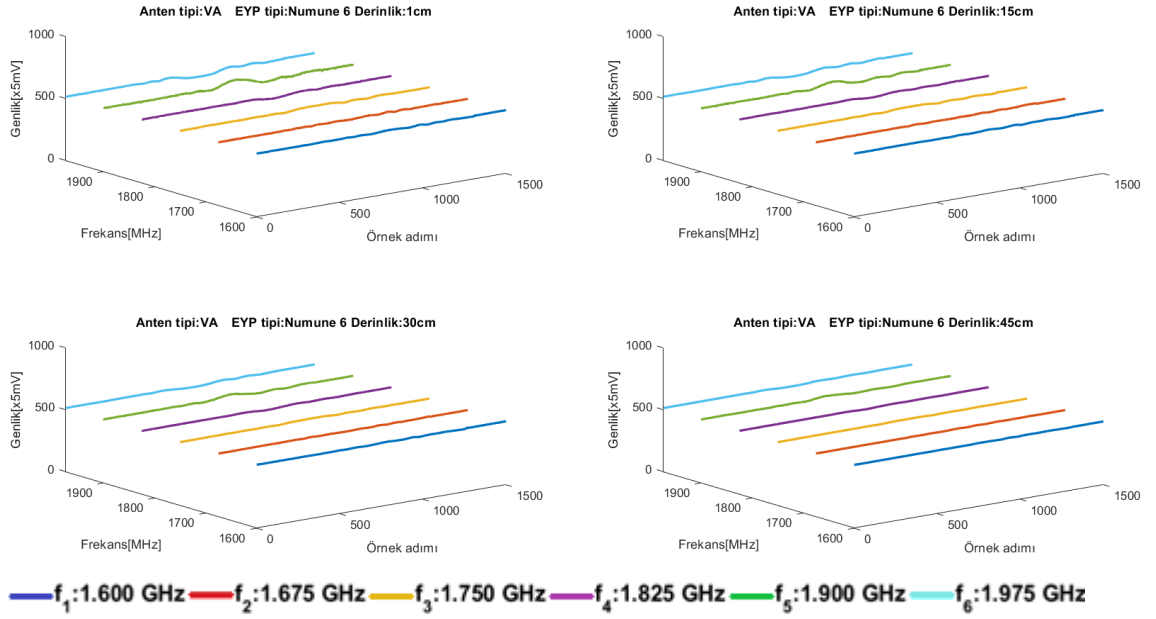
**Şekil 4.47.** MVA ile numune 5 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



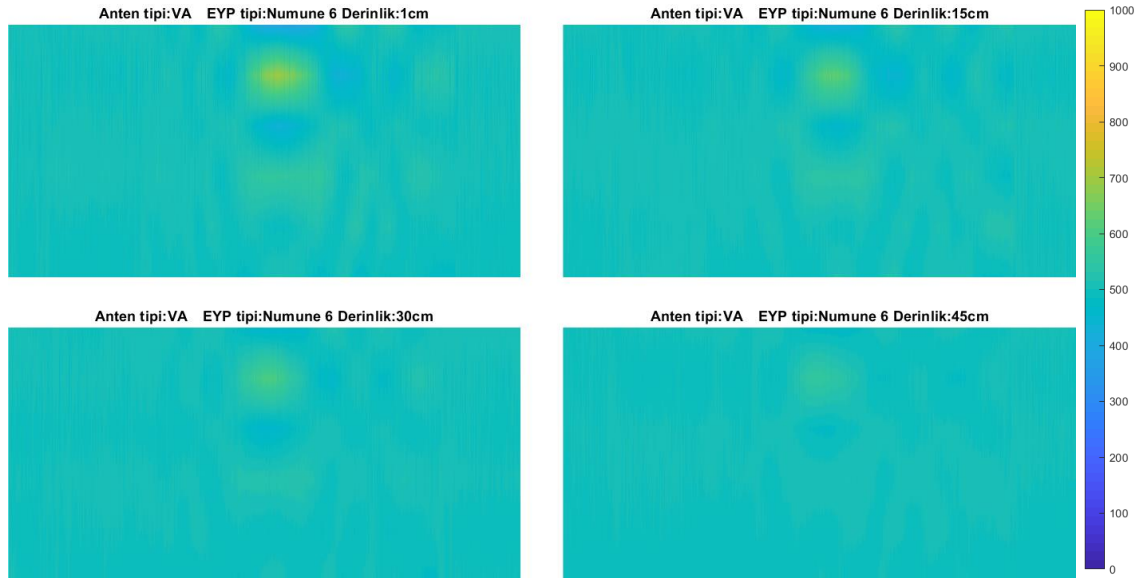
**Şekil 4.48.** MVA ile numune 5 için elde edilen yoğunluk grafiği

#### 4.4.2.6. Numune 6 taramaları

Numune 6: A APNMS (Anti personel mayını- PVC gövde-silindirik geometri geometri)' dir. VA ile yapılan, numune 6' nın tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.49' da verilmiştir. Şekil 4.49 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2420-2785 mV, 15 cm derinlikte 2465-2715 mV, 30 cm derinlikte 2485-2685 mV, 45 cm derinlikte 2525-2630 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. VA ile yapılan numune 6' nın tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.50' de verilmiştir. Şekil 4.50 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 6' nın tespit edildiği görülmektedir.



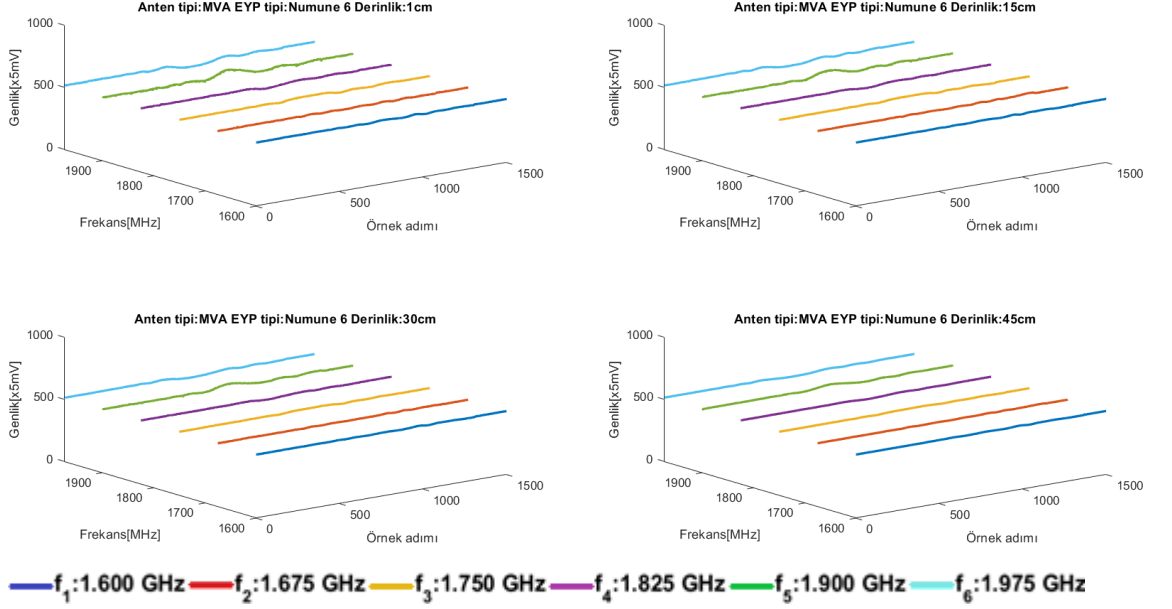
**Şekil 4.49.** VA ile numune 6 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



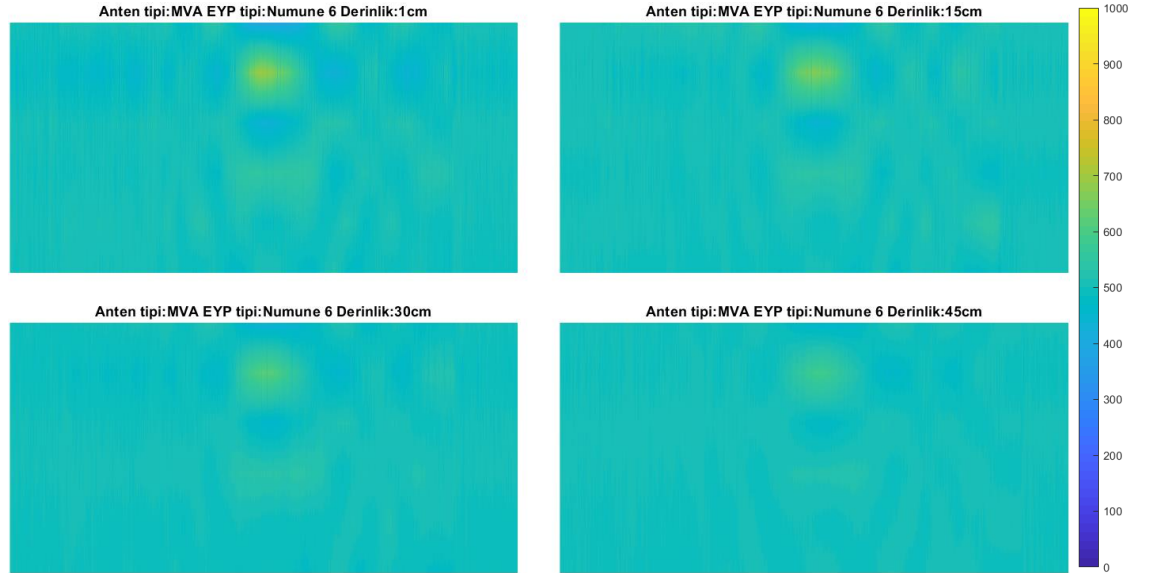
**Şekil 4.50.** VA ile numune 6 için elde edilen yoğunluk grafiği.

MVA ile yapılan, numune 6' nın tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.51' de verilmiştir. Şekil 4.51 incelendiğinde 1 cm derinlikte 2410-2785 mV, 15 cm derinlikte 2470-2760 mV, 30 cm derinlikte 2475-2700 mV, 45 cm derinlikte 2500-2665 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar bir anomali olduğunu ve yeraltında gömülü bir cisim bulunduğunun bir göstergesidir. MVA

ile yapılan numune 6' nın tespit çalışmalarına ait farklı derinliklerdeki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafikleri Şekil 4.52' de verilmiştir. Şekil 4.52 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişiklikleri ve numune 6' nın tespit edildiği görülmektedir.



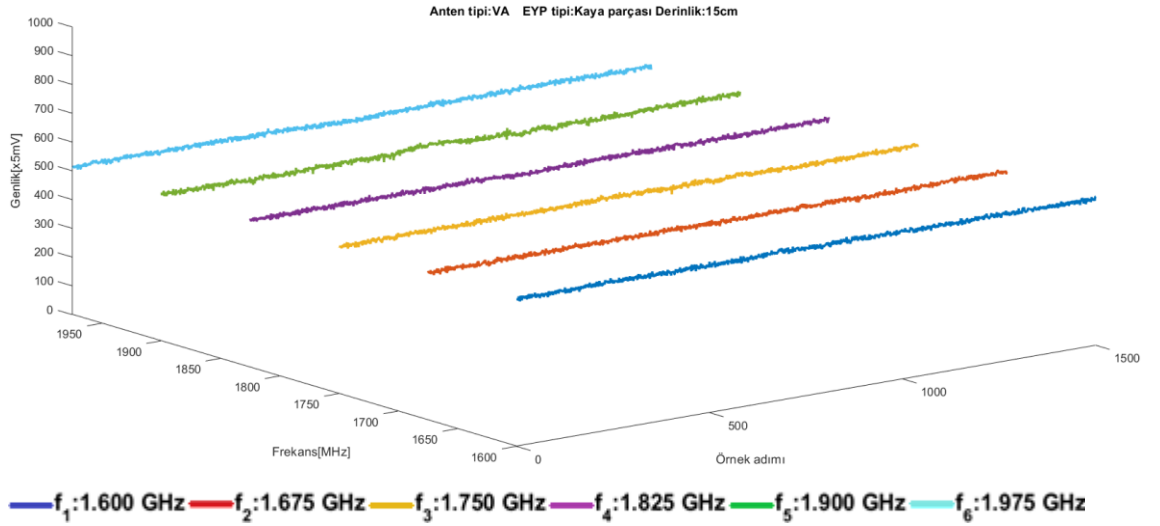
Şekil 4.51. MVA ile numune 6 için yapılan farklı derinliklerde ve farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi



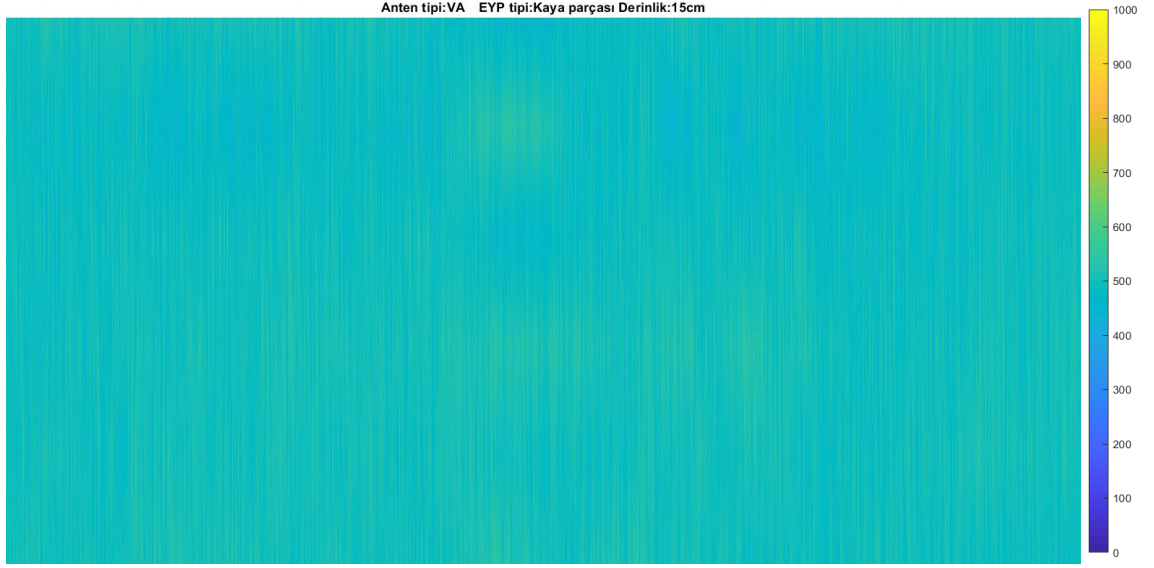
Şekil 4.52. MVA ile numune 6 için elde edilen yoğunluk grafiği

#### 4.4.3. EYP dışı gömülü cisim taramaları

İlgili zeminde herhangi bir EYP bulunmadan bir kaya parçası 15 cm derinliğe gömülerek veriler toplanmış ve EYP dışı gömülü cisim taraması sonuçları oluşturulmuştur. VA ile yapılan, kaya parçasının tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.53’ de verilmiştir. Şekil 4.53 incelendiğinde 15 cm derinlikte 2435-2620 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar çok küçük bir anomali olduğunu ve herhangi bir gömülü cisim bulunmadığını göstermektedir. VA ile yapılan kaya parçasının tespit çalışmalarına ait 15 cm derinlikteki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafiği Şekil 4.54’ de verilmiştir. Şekil 4.54 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişikliği görülmemektedir ve kaya parçasının tespit edilemediği görülmektedir.

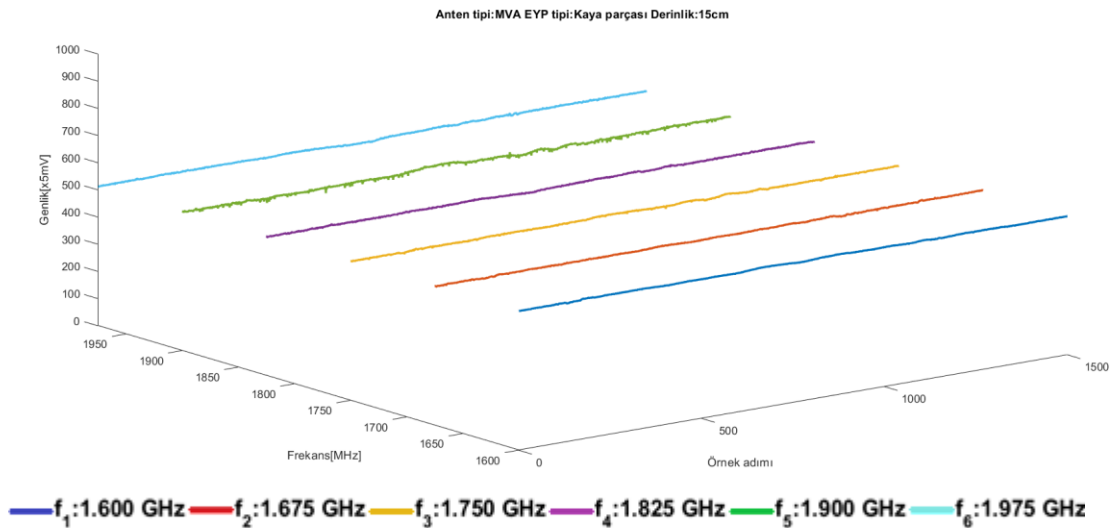


Şekil 4.53. VA ile kaya parçası için yapılan farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli toplu gösterimi

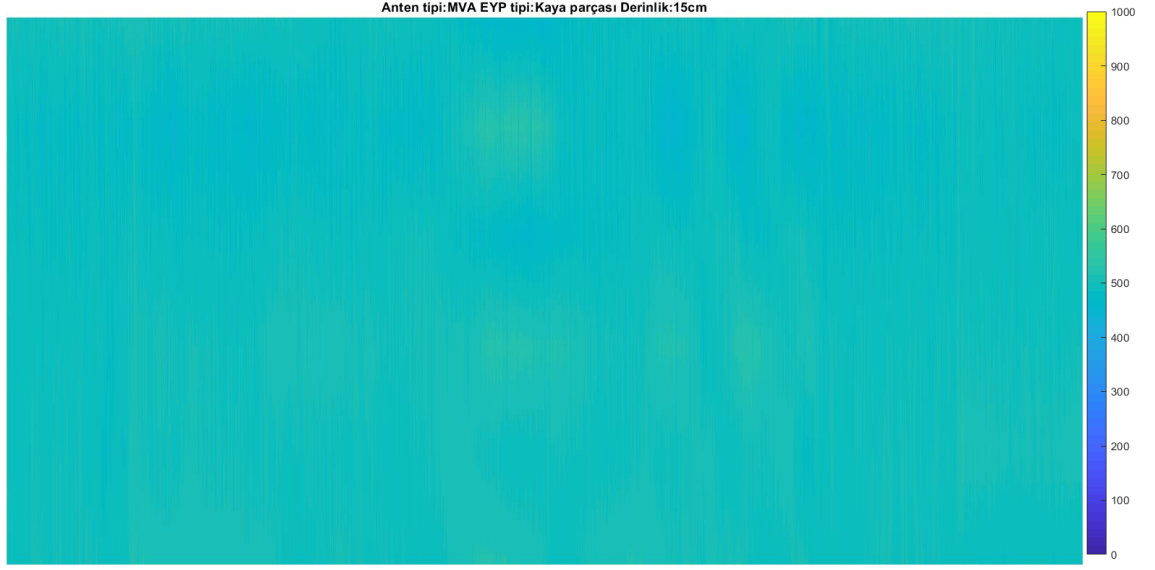


**Şekil 4.54.** VA ile kaya parçası için elde edilen yoğunluk grafiği

MVA ile yapılan, kaya parçasının tarama sonuçlarının üç eksenli kanal sinyalleri Şekil 4.55’ de verilmiştir. Şekil 4.55 incelendiğinde 15 cm derinlikte 2435-2610 mV değer aralığında değişkenlik gösteren sinyaller elde edilmiştir. Bu sonuçlar çok küçük bir anomali olduğunu ve herhangi bir gömülü cisim bulunmadığını göstermektedir. VA ile yapılan, kaya parçasının tespit çalışmalarına ait 15 cm derinlikteki 6x1500 boyutlu veri matrisleri ile elde edilen yoğunluk grafiği Şekil 4.56’ da verilmiştir. Şekil 4.56 incelendiğinde anomalilerin oluşturmuş olduğu değerlere göre renk değişikliği görülmemektedir ve kaya parçasının tespit edilemediği görülmektedir.



**Şekil 4.55.** MVA ile kaya parçası için yapılan farklı frekanslarda elde edilen kanal sinyallerinin üç eksenli gösterimi



**Şekil 4.56.** MVA ile kaya parçası için elde edilen yoğunluk grafiği.



## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tezde “Yere Nüfuz Eden Radar sistemi ile gömülü hedef tespiti ve modellenmesi” gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde EYP ve kara mayınlarına duyulan hassasiyet sebebiyle, terör örgütleri ve illegal gruplar tarafından yeraltına gömülen veya tuzaklanan metal içerikli patlayıcı tertibatların algılanmasına yönelik tespit çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında ilk olarak yer altında gömülü şekilde bulunan EYP, EYP tetikleyici kablolar ve metal mayınların tespiti için geniş bantlı Vivaldi anten tasarlanmıştır. Bu VA’ nın yönlendiriciliği ve kazancı artırmak amacı ile çeşitli modifikasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. İkinci olarak anten üzerinde altıgen açıklık ile lineer yarıklar açılarak MVA tasarlanmıştır. MVA’ da 0,68 – 3,98 GHz frekans aralığında geri dönüş kaybı -10 dB’ nin altında kalmıştır. GDDO’ da ilgili frekans aralığında en yüksek değeri 1,9 olarak ölçülmüş ve 2’ nin altında kalmıştır. VA’ da yapılan modifiye, antenin genel formunu ve bant genişliği parametresini önemli ölçüde korumuştur. Lineer yarıkların eklenmesi ile birlikte optimize edilen antenin yüzey alanı 54 cm<sup>2</sup> küçültülmüştür. VA ortalama kazancı 4,09 dBi, MVA ortalama kazancı 6,19 dBi olarak elde edilmiştir. Anten kazancında %52 oranında bir artış sağlanmış ve antenin yönlendiriciliği genel olarak arttırılmıştır. Hedeflenen tasarım ile gerçekleştirilen tasarım arasında büyük oranda uyuma sağlanmış ve istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Tasarlanan anten boyutları ve diğer özellikler göz önüne alındığında iyi bir tasarım gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Üretilen bu antenler ile birlikte yeraltında gömülü EYP’lerin tespitini gerçekleştirebilen bir donanım tasarlanarak tek bir toprak cinsinde (nemli çakıl) boş alan taramaları, EYP numune taramaları ve EYP dışı gömülü cisim taramaları hem VA ile hem de MVA ile ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde boş alan taramalarında herhangi bir materyal olmadığından yoğunluk haritaları boş olarak gözlemlenmiştir. EYP numune taramalarında ise 6 farklı EYP numunesi ile tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Her bir numune sırasıyla 1 cm, 15 cm, 30 cm ve 45 cm derinliğe gömülerek gerçekleştirilmiştir. EYP numune taramaları incelendiğinde plastik bidon ve şişelerden oluşan EYP düzenekleri tespit cihazları tarafından zor algılanan materyaller olmasına rağmen yoğunluk haritaları incelendiğinde başarılı bir şekilde tespit ettiği gözlemlenmiştir. Diğer EYP numunelerinde metal yoğunluğu plastik bidon ve şişelere göre daha fazla olduğu için EYP tespiti daha yoğun şekilde tespiti gerçekleşmiştir. EYP

dışı gömülü cisim taramaları incelendiğinde gömülü olan kaya parçası kısmen olsa da tespiti gerçekleşmiştir. Tespit edilen gömülü nesnelere alıcı ve verici olarak MVA kullanılarak yapılan taramalar, alıcı ve verici olarak VA kullanılarak yapılan taramalara göre daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak tasarlanan YNR sistemi ile yapılan radar taramaları incelendiğinde yer altında gömülü şekilde bulunan EYP' ler tespit edilmiş olup sistemin amacına uygun çalıştığı ve hedeflenen sonuca ulaşılabildiği gözlemlenmiştir.

Gelecekteki çalışmalar için tasarlanan YNR sistemi farklı toprak tiplerinde ve farklı nem oranlarında tarama yapılarak daha detaylı bir tarama yapılabilir. Numune sayısı artırılarak bir veri tabanı oluşturulabilir ve sistem taraması otonom hale getirilerek olası tuzaklamalara karşı koruma sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Ali, J., Abdullah, N., Ismail, M. Y., Mohd, E., & Shah, S. M. (2017). Ultra-wideband antenna design for GPR applications: A review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(7).
- Balanis, C. A. (2015). *Antenna theory: analysis and design*. John Wiley & sons.
- Budhu, M. (2010). *Soil mechanics and foundations* (No. Ed. 3). John Wiley & Sons.
- Chang, L., Liao, C., Chen, L. L., & Zheng, X. (2012). Compact planar ultra-wideband antenna with wireless local area network and X band notches. *IETE Technical Review*, 29(1), 76-79.
- Dojack, L. (2012). *Ground penetrating radar theory, data collection, processing, and interpretation: a guide for archaeologists*.
- Durmuşoğlu, T. (2016). Çok Geniş Bantlı Milimetre Dalga Vivaldi Anten.
- Gazit, E. (1988, April). Improved design of the Vivaldi antenna. In *IEEE Proceedings H (Microwaves, Antennas and Propagation)* (Vol. 135, No. 2, pp. 89-92). IET Digital Library.
- Gibson, P. J. (1979, September). The vivaldi aerial. In *1979 9th European Microwave Conference* (pp. 101-105). IEEE.
- Griffin, S., & Pippett, T. (2002). Ground penetrating radar. *Geophysical and Remote Sensing Methods for Regolith Exploration*, 144, 80-89.
- Gross, F. B. (2011). *Frontiers in antennas: next generation design & engineering*. McGraw-Hill Education.
- Güney, S., & Çolak, D. (2020). Hedef tespiti için yere nüfuz eden radar verisinde ön işleme algoritmalarının karşılaştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(5), 832-843.
- Gürkan, S. (2017). Manyetik anomali yönetimi ile gömülü cisim ve patlayıcı tespiti. Hertl, I., & Strycek, M. (2007, September). UWB antennas for ground penetrating radar application. In *2007 19th International Conference on Applied Electromagnetics and Communications* (pp. 1-4). IEEE.
- Ma, K., Zhao, Z., Wu, J., Ellis, S. M., & Nie, Z. P. (2014). A printed Vivaldi antenna with improved radiation patterns by using two pairs of eye-shaped slots for UWB applications. *Progress In Electromagnetics Research*, 148, 63-71.
- Mahafza, B. R. (2017). *Introduction to radar analysis*. Chapman and Hall/CRC.

Mohamed, A. (2018). Design of a wideband antipodal Vivaldi antenna operating from 800 MHz to 6 GHz.

Moosazadeh, M. (2018). High-gain antipodal Vivaldi antenna surrounded by dielectric for wideband applications. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(8), 4349-4352.

Nazli, H., Bicak, E., Turekten, B., & Sezgin, M. (2010). An improved design of planar elliptical dipole antenna for UWB applications. *IEEE antennas and wireless propagation letters*, 9, 264-267.

Nevels, R. D., Arndt, G. D., Raffoul, G. W., Carl, J. R., & Pacifico, A. (1998). Microwave catheter design. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 45(7), 885-890.

Panzner, B., Jöstingmeier, A., & Omar, A. (2010, June). A compact double-ridged horn antenna for ground penetrating radar applications. In *18-th INTERNATIONAL CONFERENCE ON MICROWAVES, RADAR AND WIRELESS COMMUNICATIONS* (pp. 1-4). IEEE.

Perdana, M. Y., Hariyadi, T., & Wahyu, Y. (2017, March). Design of vivaldi microstrip antenna for ultra-wideband radar applications. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 180, No. 1, p. 012058). IOP Publishing.

Rana, M. M., Khanom, R., & Rahman, M. M. (2018, December). Design and analysis of Vivaldi antennas. In *2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)* (pp. 1-5). IEEE.

Ranasinghe, H. M. P. B., Senanayake, S. M. P., Senarathne, U. I. P., Gunawardena, A. U. A. W., & Uduwawala, D. N. (2013, December). Design of a low cost cavity backed wideband bow-tie antenna for ground penetrating radar systems. In *2013 IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems* (pp. 370-375). IEEE.

Ren, K. (2022). A Wideband Vivaldi Antenna for Drone-Based Microwave Imaging System.

Schantz, H. G. (2002, May). Radiation efficiency of UWB antennas. In *2002 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies (IEEE Cat. No. 02EX580)* (pp. 351-355). IEEE.

Schneider, M. V. (1969). Microstrip lines for microwave integrated circuits. *Bell system technical journal*, 48(5), 1421-1444.

Shao, J., Fang, G., Ji, Y., Tan, K., & Yin, H. (2013). A novel compact tapered-slot antenna for GPR applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 972-975.

Sun, H. H., Lee, Y. H., Luo, W., Ow, L. F., Yusof, M. L. M., & Yucel, A. C. (2021). Compact dual-polarized vivaldi antenna with high gain and high polarization purity for GPR applications. *Sensors*, 21(2), 503.

Şengül, H. (2018). Uhf (Aşırı Yüksek Frekans) Bandında Yere Nüfuz Eden Radar Uygulamaları İçin Geniş Bantlı Anten Tasarımı

Travassos, X. L., Avila, S. L., & Ida, N. (2020). Artificial neural networks and machine learning techniques applied to ground penetrating radar: A review. *Applied Computing and Informatics*.

Turk, A. S., Sahinkaya, D. A., Sezgin, M., & Nazli, H. (2007, June). Investigation of convenient antenna designs for ultra-wide band GPR systems. In *2007 4th International Workshop on, Advanced Ground Penetrating Radar* (pp. 192-196). IEEE.

Türk, A. S. (2004). Yere Nüfuz Eden Darbe Radarı için Geniş Bantlı Anten Tasarımları. *Union Radio Science Internationale (URSI), Ankara, Türkiye*, 8(10).

Yang, X. Q., Zhai, Y. Y., Xu, C., & Jia, G. Z. (2014). Design of antipodal Vivaldi antenna with better performances for ultra wideband applications. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 46(3), 527-536.

Yngvesson, K. S., Korzeniowski, T. L., Kim, Y. S., Kollberg, E. L., & Johansson, J. F. (1989). The tapered slot antenna-a new integrated element for millimeter-wave applications. *IEEE Transactions on Microwave Theory and techniques*, 37(2), 365-374.

Zürcher, J. F., & Gardiol, F. E. (1995). *Broadband patch antennas* (No. BOOK). Artech House.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ali ŞÖLEN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya / 21.04.1993  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Adil KARAAĞAÇ Anadolu Teknik Lisesi  
Lisans : Fırat Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Milli Savunma Üniversitesi

İletişim (e-posta) : asolen@msu.edu.tr

Yayımları : E-ISBN: 978-625-7367-76-9 (991-999 syf.)

**Şölen, A., Yenikaya, S. (2022).** Yere Nüfuz Eden Radar Uygulamaları İçin Yüksek Kazançlı Anten Tasarımı Ve Analizi. 10. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi. 24-26 Aralık 2022 İstanbul, TÜRKİYE.