



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**MAYIN TESPİTİNE YÖNELİK FARKLI
TOPRAK YAPILARI İÇİN MİKROŞERİT
ANTEN TASARIMI VE UYGULAMASI**

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB tarafından hazırlanan “Mayın Tespitine Yönelik Farklı Toprak, Yer Düzlemi ve Mayın Yapıları için Mikroşerit Anten Tasarımı ve Uygulaması” adlı tez çalışması 21.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Danışman

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Bayram AKDEMİR
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB
Tarih: 21/03/2025

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MAYIN TESPİTİNE YÖNELİK FARKLI TOPRAK YAPILARI İÇİN MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI VE UYGULAMASI

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

2024, 72 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Prof. Dr. Bayram AKDEMİR

Dr. Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR

Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER

Günümüzde mayın nedeniyle çoğunlukla sivil, ayda yaklaşık olarak 600 kişi ya ölmekte ya da sakat kalmaktadır. Mayınlar, askeri eylemler sona erdikten uzun süre sonra bile ölümcül olmaya devam etmekte aynı zamanda insani bir felakete dönüşmektedir. Zaman içerisinde teknolojinin gelişimi ile birlikte anti-tank ve anti-personel kara mayınları tespit edilemeyecek şekilde tasarlanmaya başlanmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte belirlenmesi oldukça zor olan bu düşük metalik içerikli mayınların tespiti için çok çeşitli yöntem ve sensörler geliştirilmiştir. Metal ve plastik içerikli yapılara duyarlı bu sensörler, madde ve kimyasal analiz, termal görüntüleme ve yer altı radar sensörleri gibi çeşitlilikte geliştirilmiştir. Fakat bu sensörlerin çok az bir kısmı, belirli koşullarda iyi sayılabilecek performans gösterebilir de, istenen ölçüde tespit yapamamaktadırlar. Bunun nedeni ise mayınların oldukça fazla çeşitlilikte olması ve mayının yerleştirildiği ortamdır. İklim, toprağın çeşitliliği, bitki örtüsü gibi çevresel koşulların belirlenip, sensör yapısına bu çevresel koşulların etkilerinin göz önüne alınarak sensörlerin tasarlanması gerekmektedir. Bu gereklilikler düşünülerek bu doktora çalışması ile çevre koşulları temelinde mayın tespitinin yapılması öncelenmiş ve mayın tespiti ile birlikte toprak tipinin de etkisi araştırılmıştır.

Çalışmada toprak etkisinin mayının varlığı ve yokluğu durumlarında belirlenmesi için 1-13 GHz aralığında bir mikrodalga anten düzeneği geliştirilmiştir. Düzenekte kullanılan alıcı ve verici antenler 9 GHz rezonans frekansında tasarlanıp üretilmiştir. Antenle gönderilip alınan sinyal ile, dört farklı tipteki toprak için mayın varlığı ve yokluğu durumları, geliştirilen deney düzeneği ile belirlenmiştir. Deneylerde, farklı arazilerden tedarik edilen killi, kumlu, tuzlu ve kırmızı toprak, gerçeklerine benzetilerek tasarlanan silindirik yapıda 20x4.5 cm boyutlarında epoksi içerikli pasif bir mayın ve ölçümler için VNA kullanılmıştır. Deney düzeneği için oluşturulan şartlar, mayın tespitinde toprağın etkisinin belirlenmesine yönelik senaryoyu içermektedir. Bu sebeple ışıyıcı bir anten kullanılarak alınan veriler, toprak yüzeyinden 2, 5 ve 10 cm mesafelerinden alınan verilerdir. Bu mesafeler yakın ve uzak alan sınırları dikkate alınarak belirlenen mesafelerdir. Mayın varken ve yokken tekrarlanan deneylerde, mayın toprak yüzeyine 15 cm mesafede konumlandırılmıştır. Deney sürecinde alınan elektriksel sonuç verileri, S_{11} ve S_{21} saçılma parametresi verileri ve bunlara karşılık gelen frekans verileridir.

Mayının varlığında ve yokluğunda elde edilen sonuçların değiştiği ve dolayısıyla mayının tesbit edilebildiği ve her toprak için bu tespitin farklı olduğu belirlenmiştir.

Tezde hedeflenen amaç ve tez çalışma konusu ile ilgili bugüne kadar yapılan çalışmaları özetleyen kaynak araştırması birinci bölümde özetlenmiştir.

İkinci bölümde, materyal ve yöntem anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, deney düzeneğinin ve deneyin yapılışının da anlatıldığı araştırma sonuçları ve tartışma yapılmıştır.

Son bölümde, elde edilen araştırma sonuçları değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Deneylerden alınan sonuçlarla, hem mayının tespit edilebildiği gösterilmiş, hemde toprak tipinin değişmesi ile mayın tespitinin farklılıkları gösterilmiştir. Burada sunulan sonuçlar, analiz sonuçlarına göre seçilen dört farklı toprağın mayın tespitindeki etkisinin çevre koşullarına göre belirlenip değerlendirilmesidir. Değerlendirmeye tabi daha farklı etkenler ve yöntemler kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar kullanılarak bir model geliştirilip bir cihaza dönüştürülebilir. Ayrıca yapay zeka algoritmaları kullanılarak ta, eksik olarak düşünülen koşulların etkisi de araştırılabilir.

Anahtar Kelimeler: Dielektrik, Mayın, Mikroşerit Anten, Toprak



ABSTRACT

PhD THESIS

DESIGN AND APPLICATION OF MICROSTRIP ANTENNA FOR DIFFERENT SOIL STRUCTURES FOR MINE DETECTION

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical-Electronics Engineering**

Advisor: Assoc Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Year, 72 Pages

Jury

Assoc Prof. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN

Prof. Dr. Bayram AKDEMİR

Asst. Prof. Dr. Ali Osman ÖZKAN

Asst. Prof. Dr. Dilek UZER

Asst. Prof. Dr. Özgür DÜNDAR

Today, landmines continue to pose a serious threat, primarily affecting civilians, with approximately 600 people either killed or maimed each month. These devices remain lethal long after military operations have ceased, resulting in prolonged humanitarian crises. Landmines are typically categorized into two main types: anti-personnel mines and anti-tank mines. Anti-personnel mines are designed to restrict the movement of individuals on foot and serve to prevent passage through specific areas, while anti-tank mines are intended to disable or destroy armored vehicles. Over time, with advances in technology, anti-tank and anti-personnel landmines have been designed to be undetectable. Consequently, numerous methods and sensors have been developed to detect these low-metal-content mines, which are now extremely difficult to identify. These sensors, sensitive to metallic and plastic components, include material and chemical analysis tools, thermal imaging devices, and ground-penetrating radar systems. However, only a few of these sensors perform satisfactorily under certain conditions, and most fail to deliver the desired level of detection. The main reasons are the vast variety of mine types and the environmental conditions where mines are placed. Therefore, factors such as climate, soil type, and vegetation must be identified and considered during sensor design.

In response to these challenges, this doctoral study prioritizes mine detection based on environmental conditions and investigates the influence of soil type on detection accuracy. To evaluate the effect of soil in the presence and absence of mines, a microwave antenna setup operating in the 1–13 GHz range was developed. The transmitting and receiving antennas used in the setup were designed and fabricated with a resonance frequency of 9 GHz. Using the transmitted and received signals, the presence or absence of mines in four different soil types was examined with the developed experimental setup. For the experiments, passive epoxy-based cylindrical dummy mines measuring 20 x 4.5 cm were prepared to simulate real landmines. Clay, sandy, salty, and red soil samples collected from various terrains were used. A Vector Network Analyzer (VNA) was employed to take measurements.

The experimental setup was designed to evaluate how soil affects mine detection. Data were collected using a radiating antenna at distances of 2, 5, and 10 cm from the soil surface distances determined based on near- and far-field criteria. In all trials, the mine was positioned 15 cm below the soil surface. The electrical measurements obtained during the experiments included S_{11} and S_{21} scattering parameters and their corresponding frequency values.

The results demonstrated measurable differences between the presence and absence of mines, indicating successful detection. It was also found that the detectability varied with different soil types.

The first chapter of the thesis provides a literature review summarizing previous studies related to the research objective.

The second chapter explains the materials and methods used.

The third chapter presents the research findings and includes a discussion on the experimental setup and methodology.

The final chapter evaluates the results and provides suggestions for further work.

The findings show that mines can be detected and that soil type affects detection performance. The presented results assess the impact of four selected soil types on mine detection under different environmental conditions. Future studies may incorporate additional factors and methods. Based on these results, a detection model could be developed and transformed into a practical device. Furthermore, artificial intelligence algorithms could be employed to explore the influence of other potential variables.

Keywords: Dielectric, Landmine, Microstrip Antenna, Soil



ÖNSÖZ

Doktora sürecinin her bir evresinde bana gerçek bir danışmanlık yapan, her konuda destek olan, aynı zamanda hep anlayışlı, umutlandırıcı yaklaşımı ile ve en önemlisi çabama olan inancı ve güveni ile hiçbir zaman desteğini esirgemeyen çok kıymetli Sn. Doç. Dr. Seyfettin Sinan GÜLTEKİN hocama teşekkürü ömür boyu borç bilirim.

Tez çalışmasının en iyi şekilde gerçekleşmesi için yol gösteren Tez İzleme Komite üyesi Sn. Dr. Öğr. Üyesi Özgür DÜNDAR hocama teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her bir evresinde tecrübesini esirgemeyen ve takıldığım her noktada alternatif çözüm yolları öneren çok değerli Tez İzleme Komite üyesi Sn. Dr. Öğr. Üyesi Dilek UZER hocama sonsuz şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar çalışmaları sırasında büyük destekleri olan Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Murat ERTURAN hocama çok teşekkür ederim

Canım ailem; en büyük dayanağım ve kahramanım Babam Haşim, evimizin kraliçesi ve en büyük destekçim Annem Aysun, biricik kardeşlerim, her konuda rol modelim abim Öcal, güzel yüzü ile en büyük motive edenim Tale, Moralim bozuka bile aklıma ilk gelen ve yüzümü güldüren Önal, sevimliliği ile insana güzellik getiren Rüya, bir de ailemizin ilk göz ağrısı ve halasının gül yüzlü neşesi biricik Öykü'şüm, bu süreçte her biriniz başka bir şekilde yanımda oldunuz ve güç verdiniz. Sizleri çok seviyorum. Sizler bana hayatın sunduğu en değerli hazinesiniz.

Son olarak, bu süreçte en büyük destekçim sabrı ve anlayışı ile her daim yanımda olan hayatımın en büyük şansı canım eşim İbrahim'e ve hayatımın en büyük güzelliği, bu süreçteki yüzümün gerçek anlamdan gülmesini sağlayan ve bir sarılışıyla bana her şeyi unutturan, gecemin ayı, sabahımın güneşi, canım kızım Selin'ime sonsuz sevgimi sunarım. İyi ki varsınız, sizleri çok seviyorum.

ÖZEN ALBAIRAQDAR QASSAB
KONYA- 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Araştırması	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
2.1.2. Anten performans parametreleri	14
2.1.2.1. S-parametreleri	14
2.1.3. Anten tasarım metodları	18
2.2.1. Mayın çeşitleri	21
2.2.2. Mayın arama ve dökme	24
2.2.3. Kara mayını tespit teknikleri	25
2.3. Mayın Materyali	25
2.3.1. Mayın tespitinde kullanılan toprak tipleri	31
2.3.2. Mayın tespiti ve toprak etkisi için mikrodalga anten tasarımı	36
2.3.3. VNA (Vektör Network Analizör).....	37
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Q	: Kalite Faktörü (Quality Factor)
Z_0	: Karakteristik Empedans
e_0	: Anten verimliliği
ϵ_e	: Etkin dielektrik sabiti
ϵ_{eff}	: Efektif dielektrik sabiti
Δl	: Hat genişlemesi
c	: Işık Hızı
f_0	: Çalışma Frekansı
f_1	: Alt frekans değeri (dönüş kaybı grafiği)
f_2	: Üst frekans değeri (dönüş kaybı grafiği)
f_r	: Rezonans frekansı
h	: Taban kalınlığı
$K(\theta, \phi)$	: Işıma yoğunluğu
L	: Yama uzunluğu
L_{gnd}	: Toprak düzlemi uzunluğu
L_h	: Mikroşerit hat uzunluğu
L_i	: Açıklık uzunluğu
L_s	: 1x4 Tasarım dizi antenin besleme hattı uzunluğu
$\tan\delta$	: Kayıp tanjant
W	: Yama genişliği
W_{gnd}	: Toprak düzlemi genişliği
W_h	: Mikroşerit hat genişliği
W_i	: Açıklık genişliği
W_s	: 1x4 Tasarım dizi antenin besleme hattı uzunluğu kalınlığı
X	: Giriş (YSA)
$x_1, x_2, \dots, x_n$	: Giriş seti (YSA)
ϵ_r	: Tabanın dielektrik sabiti
λ_0	: Boşluk dalga boyu
$D(\theta, \phi)$	: Anten yönlendiriciliği
$G(\theta, \phi)$	: Anten kazancı
R_L	: Anten geri dönüşüm kaybı

VSWR	: Duran dalga oranı
$f_{\max}$	: Maksimum frekans
$f_{\min}$	: Minimum frekans
r, θ, ϕ	: Vektör küresel bileşenler

Kısaltmalar

NQR	: Nükleer Dörtlü Rezonans
MWR	: Mikrodalga Radyometrisi
MD	: Mayın Dedektörü
GPR	: Yeraltı Radarı
EMI	: Elektromanyetik Girişim
IR	: Kızılötesi Işınım
SAR	: Özgül Soğurma Oranı
FDTD	: Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi
RF	: Radyo Frekans
TLM	: İletim Hattı Modeli
VSWR	: Gerilim Duran Dalga Oranı
BW	: Bant Genişliği
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit (Alumina)
D	: Yönlülük
e	: Verim
G	: Kazanç
TNT	: 2,4,6-Trinitrotoluen
AP	: Anti Personel
MKD	: Mayın Kafon Drone
ESP	: Sodyum Yüdesi
EC	: Elektrik İletkenliği
Cl	: Klorür
SO ₄ ²⁻	: Sülfat
NO ₃	: Nitrat
CaSO ₄	: Kalsiyum Sülfat
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat

Na	: Sodyum
VNA	: Vektör Network Analizörü
S-par	: Saçılma Parametreleri (Scattering Parameters)
HFSS	: High Frequency Structure Simulation Software (Yüksek Frekanslı Yapı Simülasyon Yazılımı)
CST	: Computer Simulation Technology (Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi)
FEKO	: Computational Electromagnetics (Hesaplamalı Elektromanyetik)
IE3D	: Scalable EM Simulation Solution (Ölçeklenebilir EM Simülasyon Çözümü)
CMA	: Characteristic Mode Analysis (Karakteristik Mod Analizi)
COMSOL	: Cross-Industry Modeling and Simulation (Sektörler Arası Modelleme ve Simülasyon)
ADS	: Advanced Design System (Gelişmiş Tasarım Sistemi)
NEC	: Numerical Electromagnetics Code (Sayısal Elektromanyetik Kodu)

1. GİRİŞ

Günümüzde mayınlar yüzünden çoğunlukla sivillerin zarar gördüğü ayda 600 kişiden fazla insanın öldüğü ve sakat kaldığı bilinmektedir. Anti-kişisel mayınlar, mayınların gömüldüğü bölgelerden uzaklaştırma amaçlı geliştirilmiş, tanksavar mayınlar ise özellikle I. Dünya Savaşı sırasında tankların imhası için geliştirilmiştir. Bu tür mayınların ebatları büyük ve çok fazla kullanışlı olmadıkları, düşman tarafından kolayca bulunup etkisiz hale getirilebildikleri ve tekrar kullanılabildikleri düşünülerek teknolojinin gelişmesiyle birlikte tespit edilemeyecek şekilde tasarlanmaya başlandı. Genellikle yüzeyden 15 cm derine gömülen kara mayınları, çok küçük bir temasla tetiklenebilir şekilde tasarlanmış ve patlama ile birlikte mayın haznesi, tahrip etkisinin fazla olması için şarapnel gibi metal parçalarla doldurulmuştur.



Şekil 1.1. Toprak altına gömülü kara mayını

Gelişen teknoloji ile birlikte mayın tasarımı ve üretimi, tespitini zorlaştıracı yöntemlerin gelişimi yönünde olmuştur. Bu tür gelişmeler, çok sayıda çeşitte yapılmaları, mayının yerleştirildiği ortamın tespiti zorlaştıracı ortamda olması, metal içeriğinin azaltılması ve yapımlarının bir standartta olmamalarıdır. Buna karşın tespiti yönelik gelişmelerde, tespiti zorlaştıracı gelişmeler paralelinde artmıştır. Bunun için çok çeşitli yöntem ve sensörler geliştirilmiştir. Bu tür sensörler, metal ve plastiğe duyarlı, kimyasal ve madde analizi yapabilen, termal görüntüleme ve yer altı radar sensörü gibi çeşitliliktedirler. Fakat bir kısmı bazı koşullarda performansları iyi olsa da tespitleri

istenen ölçülerde değildir. Bunun nedeni ise mayınların oldukça fazla çeşitlilikte olması ve mayının yerleştirildiği ortamlardır (Şekil 1.2). Bu yüzden iklim, toprağın çeşitliği, bitki örtüsü gibi çevresel koşulların belirlenip etkilerinin sensör tasarımında göz önüne alınarak üretimi yapılması isabetli olacaktır.



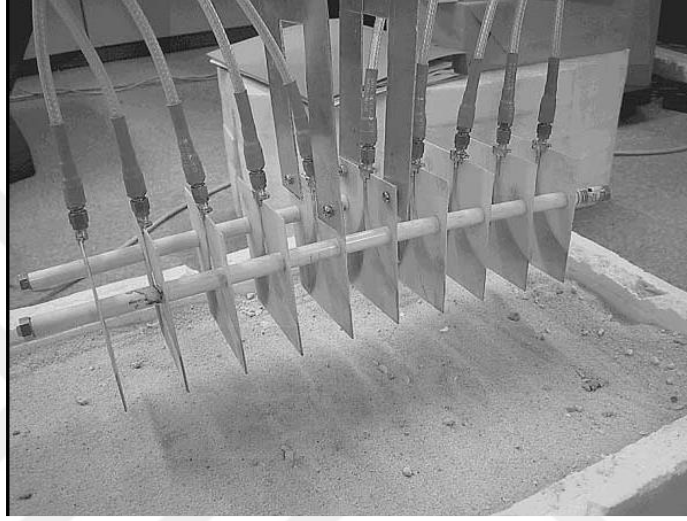
Şekil 1.2. Farklı malzeme ve yapılar da çeşitlikteki mayın

Toprağın yapısına göre, MWR (Mikrodalga Radyometrisi), NQR (Nükleer Dörtlü Rezonans), nötron metodu ve MD (Mayın Dedektörü) dürtme teknikleri her türlü toprakta kullanılabilir. Algılama ıslak killi toprakta iyi sonuç verebilir fakat şaplı toprakta sonuçlar tartışılabilir. Ayrıca NQR metal kasa mayınlarda kullanılamaz. Mayınlar, boyutları ve özellikleri açısından farklılık gösterdikleri için tespit edilebilmeleri, sismik ve akustik algılama, GPR, EMI, ışık etkisi, IR, doğrusal sınıflandırıcı, veri füzyonu, istatistiksel analiz ve robotlar gibi birçok yöntem denenmektedir (Lee, C. P., 2001).

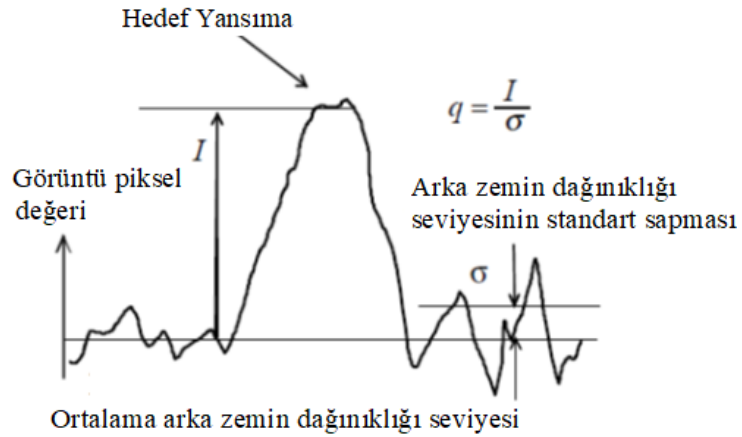
Tüm bu yöntemler, toprağı mayından yada mayını topraktan ayırt edebilmek içindir. Bunun için malzeme ve dielektrik gibi temel parametreler belirleyici unsur olacaktır. Bu yaklaşımla dielektrik yapısı uygun olan bir antenle bir mikrodalga sinyalini iletmek ve bir elektriksel iletim hattı oluşturmak, bir çözüm sağlayabilir. Ayrıca mayınlanmış bölgelerin farklı toprak yapılarında olabileceği düşünülecek olursa, her toprak yapısı bir anten tasarımı gerektirebilir. Bu gereklilikler düşünülerek çalışmada, mayın tespitine yönelik ve farklı toprak yapılarının bu tespitteki etkilerini belirlemeye yönelik bir araştırma çalışması yapılmıştır.

1.1. Kaynak Araştırması

“Kara Mayını Tespiti için Dizi Anten SAR-GPR'sinde FDTD Simülasyonu”. Mayın tespiti için bir dizi anten SAR-GPR'nin 3D FDTD simülasyonları, laboratuvar deneylerinde bulunan zemin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki optimum anten aralığının bağımlılığını yeniden üreten, pürüzlü yüzey ve homojen olmayan yeraltı yüzey koşulları altında gerçekleştirilmiştir (Kobayashi T. ve diğ., 2005).



Şekil 1.3. Dizi anten düzeneği

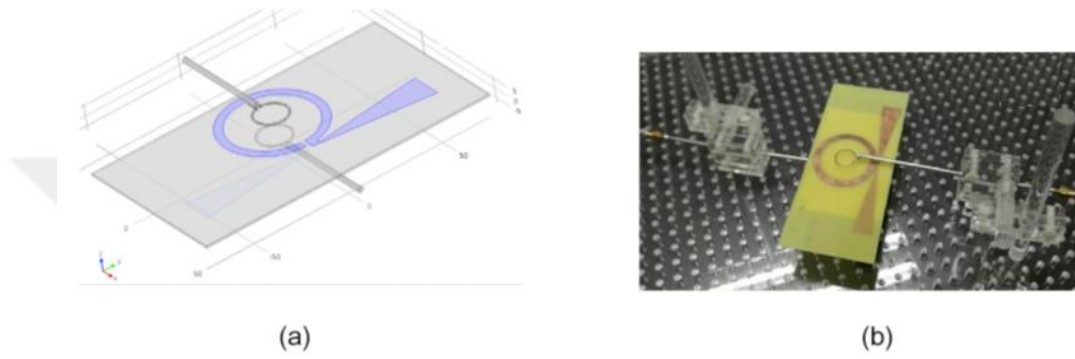


Şekil 1.4. Yansıma Grafiği

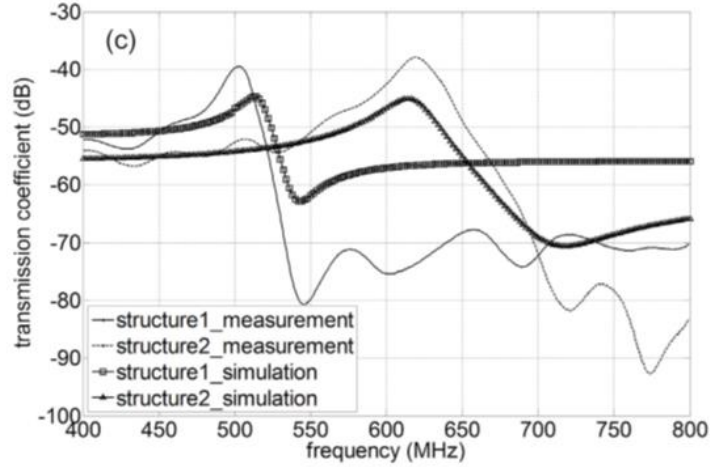
“RF etiketli gömülü plastik boruların geliştirilmiş GPR tespiti için zaman-frekans analizi” Toprak Penetran Radarı (GPR), su/gaz boruları, kanalizasyonlar, elektrik

kabloları ve telekomünikasyon kanalları gibi yeraltı tesislerinin tespiti için tahrip edici olmayan bir tekniktir.

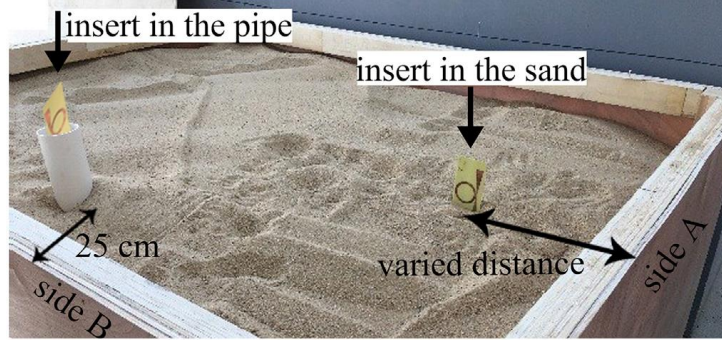
Uygulama, boruların radar görünürliğini arttırmak için, Radyo Frekans (RF) etiketlerinin eklenmesi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada iki tip Papyon-Omega şekilli RF etiketi anteni tasarlanmıştır. RF etiketleri kuru kum ile doldurulmuş 2.0x1.5x0.75m ölçülerdeki tanka gömülmesi ile taramaların daha güçlü radar etkilerini ortaya çıkardığı görülmüştür (Zhang WY. ve diğ., 2017).



Şekil 1.5. Papyon-Omega şekilli anten tasarımı ve uygulaması

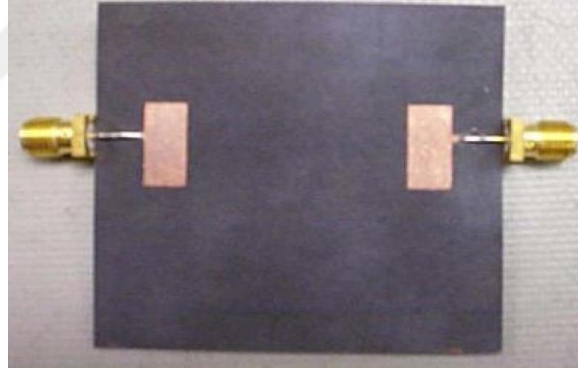


Şekil 1.6. Papyon-Omega tasarımı zaman-frekans grafiği

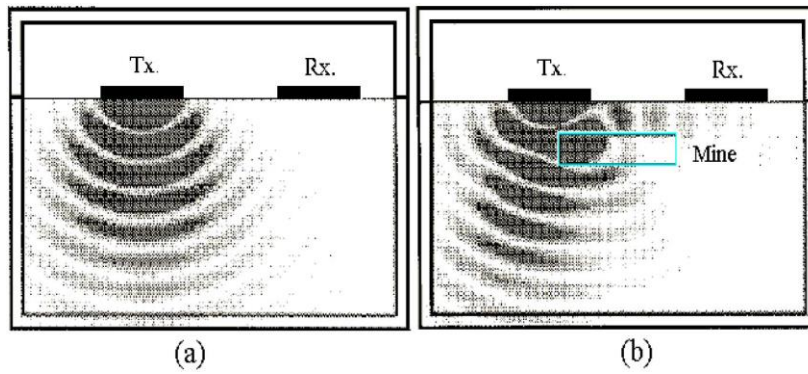


Şekil 1.7. Papyon-Omega şekilli anten tasarımı test düzeneği

“Yeni Bir Mayın Tespit Tekniği Simülasyonunda TLM Yöntemi Kullanımı”. Bu çalışmada mayın tespiti tekniği için iki karşıt mikroşerit anten arasındaki karşılıklı eşleşmenin analizi ve incelemesi, etkin bir yöntem yardımıyla yapılmıştır. Öncelikle dielektrik bir ortam, anten sistemi üzerine yerleştirilmiştir. Daha sonra mayını temsil eden bir malzeme konulmuş ve her iki durumda malzemelerin etkileşme seviyesini değerlendirilmiştir. Elde edilen farklılıklar gömülü nesnelerin etkisine karşılık geldiği değerlendirilmiştir.

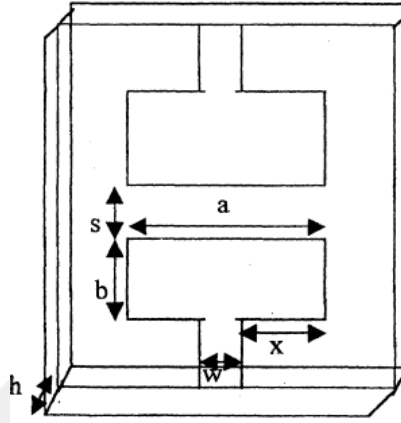


Şekil 1.8. TLM Yöntemi uygulaması



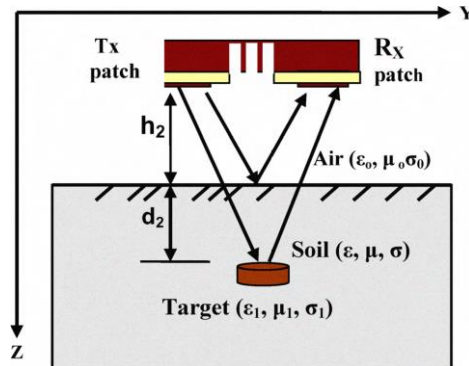
Şekil 1.9. Mayınlı ve mayınsız karşılıklı bağlanma mekanizması

“Gömülü Kara Mayınların Tespiti için Mikro Şerit Anten”. Çalışmada bağlama etkisi (coupling) kullanılmış ve mayını algılamak için ikili dizi anten düşünülmüştür. Bir yamanın kenarları ya da yakındaki yamalar arasındaki karşılıklı bağlanma etkisi, mikro şerit anten dizisinin performansını etkileyecektir. Meydana gelen farklılıklar, mayın tespiti için kullanılabilir.



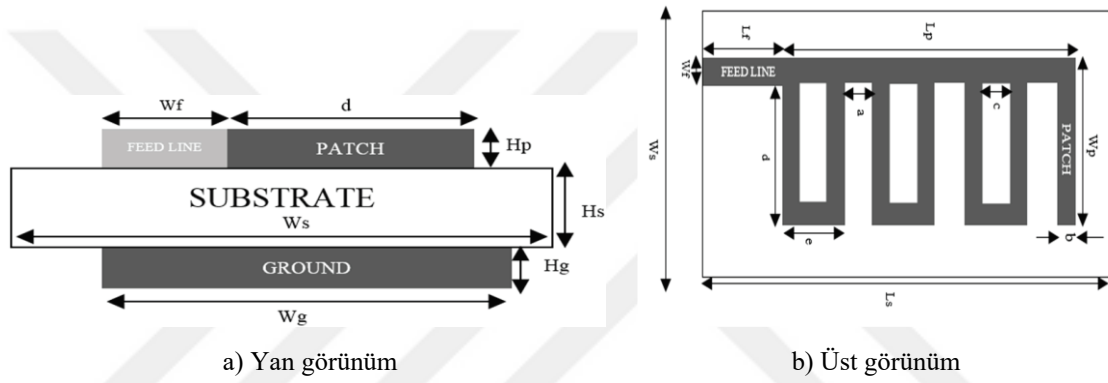
Şekil 1.10. Hedefleri tespit etmek için kullanılan iki yama dizisi anten düzeni.

“Mayın tespitine yönelik olarak toprak fiziksel özelliklerinin etkileri, sensör gibi kullanılan bir mikroşerit anten ile belirlenmesi”. Toprağın özelliklerinin iki mikroşerit anten elemanı arasındaki oluklu tabana sahip yapı bir sensör gibi kullanılarak kara mayınlarının tespitine etkisi incelenmiştir. Toprağın elektriksel özelliklerinin yanı sıra toprak yüzey şeklide sensörün algılama etkisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Mayınların algılanması için tasarlanan sensörün (antenin) simülasyonu, Zamanda Sonlu Farklar Yöntemi (FDTD) kullanılarak yapılmıştır.



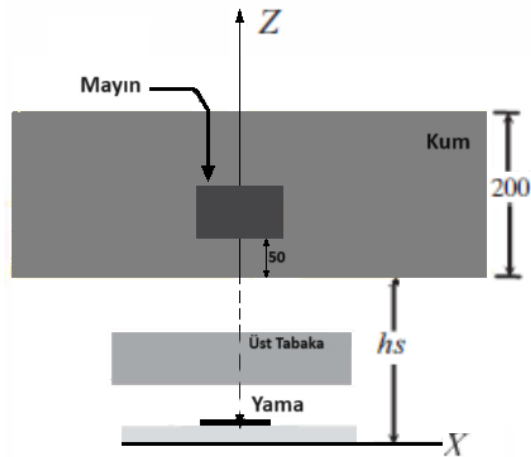
Şekil 1.11. Etki alanı belli yükseklikteki (h_2) anten ve gömülü hedef (d_2)

“Gömülü Mayın Algılama uygulamaları için esnek FR-4 tabanlı Ultra-Geniş Bantlı Mikroşerit Yama Anten”. Çalışmada, gömülü kara mayınlarını algılamaya yönelik, 790 MHz’lik rezonans frekansına sahip, geniş bant mikroşerit yama antenin tasarımı, üretimi ve performans analizleri yapılmıştır. Dielektrik sabiti 4.4 (ϵ_r) olan ve FR-4 malzemeye sahip antenin alt tabakasının üstünde bulunan yarıklı yama 1.5 mm kalınlığındadır. Alt tarafında ise daha az topraklanmış esnek FR-4 malzeme kullanılmıştır. İletken yama ve taban (bakır) 17 mikron kalınlığındadır. Performans analizleri, S_{11} (dB), yönlülük (dBi), kazanç (dB) ve VSWR verileri elde edilerek yapılmıştır. Tasarım ve simülasyonlar ise CST (Microwave Studio 2014) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.12. Ultra-geniş bantlı mikroşerit yama anten yan ve üst görünüm

“Kara Mayını Tespiti İçin Superstratlı (Üst Katman) Yama Antenleri”. Antenin yansıma katsayısı (S_{11}) fazındaki değişiklik, mayın mevcudiyetinin bir kanıtı olarak kullanılmıştır. Tasarım ve analizler HFSS kullanılarak yapılmıştır.

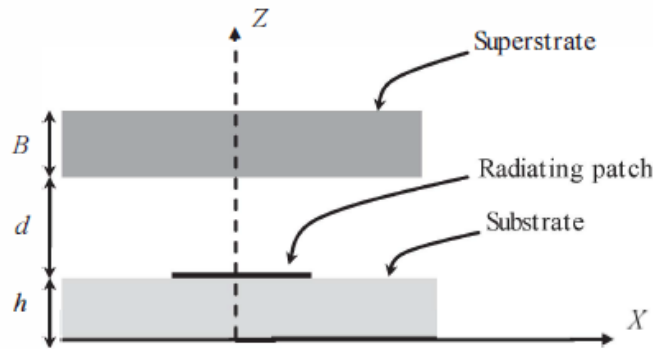


Şekil 1.13. Mikrodalga mayın algılama sistemi (mm)

Anti-personel mayınlar ve patlamamış mühimmatlar birçok ülkede yılda 15.000-20.000 mağdurla ciddi tehdit altındadır. Bu ise mayın tehlikesini artırması yanında, temizleme ile ilgili hassasiyetide arttırmış ve bu yöndeki çalışmaların hızını artırmıştır. Böylelikle kara mayını tespit sistemlerinin gelişmesine ve performanslarının artmasına yol açmaktadır.

Son 20 yılda yoğun çabalar sarf edilerek, 10 cm çapındaki küçük kara mayınları için yere nüfuz eden radarların (GPR'ler) kullanılması ile bu mayınları bulma yeteneğinin gelişmesi nedeniyle tespiti düşük metal içeriğine sahip meteryaller kullanılmaktadır. En önemli bileşenlerden biri GPR sistemlerinde antendir. İyi bir GPR antenlerinin geniş bantlı olması, boyutlarının küçük olması, yüksek yönlülük ve iyi uyumlu olmaları ve buna benzer özellikleri nedeniyle farklı GPR sistemlerinde papyon anten, direnç yüklü dipoller gibi anten türleri kullanılmıştır. Bu gibi mikroşerit yama antenler, elde kullanılan cihazlara kolay monte edilebildiklerinden, maliyetlerinin düşük olmasından, mikrodalga devrelerine entegre edilebildiklerinden dolayı oldukça avantajlıdır. Dezavantajları ise düşük kazançlı ve dar bantlı olmalarıdır. Bu çalışmada, kara mayınlarını tespit etmek için sensör amaçlı bu tür antenlerin tasarımı ve uygulaması yapılmıştır.

Yamanın algılama hassasiyetini, dolayısıyla anten kazancını artırmak için bir süper tabaka ile kaplıdır.

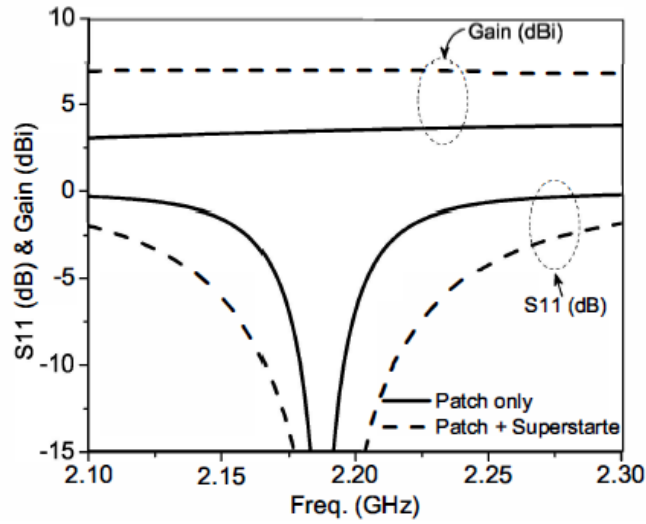


Şekil 1.14. Süper tabaka ile kaplanmış mikroşerit yama anten

Şekil 1.13’de görüldüğü gibi 0,762 mm kalınlığında bir alt tabaka üzerinde 2,2 GHz hızında çalışan bir yama anten tasarlanmıştır. Yamanın boyutları ise 36 mm x 36 mm olup, Al_2O_3 seramiğinin şekil 1’de gösterildiği gibi üst tabaka ile kaplanmıştır. Üst

tabaka, bağıl geçirgenliği $\epsilon_r = 9,8$, kayıp tanjantı $\tan \delta = 0$ ve kalınlığı 4 mm olan malzemedir.

Üst tabakanın uygulanmasından önce ve sonra, 2,18 GHz rezonans frekansında, geri dönüş kaybının antenle eşleştiği şekilde görülmektedir. Sadece çok az bir değişiklik meydana gelmiştir. Bant genişliğinde de aynı durum söz konusudur. Üst tabaka eklendiğinde anten kazancının artmasının nedeni, yayılan kaynak üzerinden üst tabaka ışımasını artırır ve dolayısıyla açıklık antenin kazancı artmış olur. Ayrıca, anteni bir üst katmanla kaplamakla rezonanstan dolayı kazancın artmasına neden olan üst katmanın geçirgenliği artacaktır.



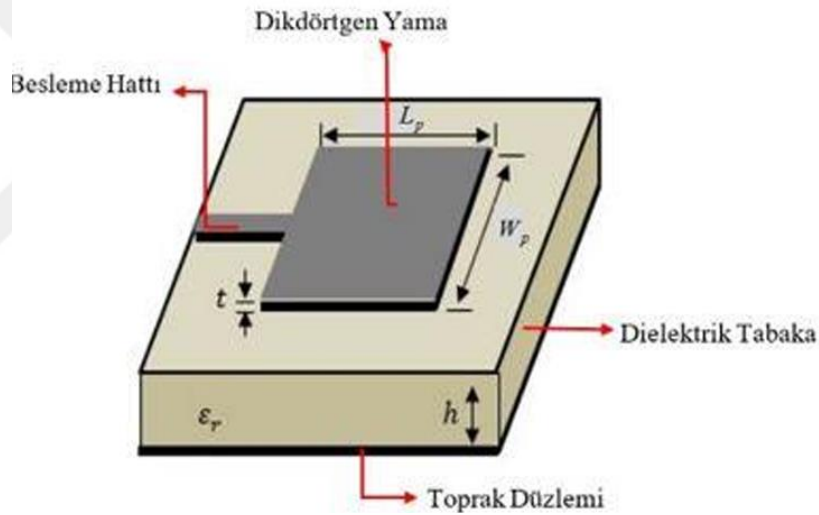
Şekil 1.15. Yamanın kazanç ve geri dönüş kaybı

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Mayın tespiti ve tespitte toprak yapılarının etkisinin araştırıldığı bu çalışmada gerekli materyal ve yöntemler çalışmanın detaylarını vermektedir.

2.1. Mikroşerit Antenler

Bir mikroşerit antenin en büyük özelliği üretim ve geliştirme kolaylığıdır. Bu özelliği nedeniyle araştırmacılar mikroşerit yama teknolojisine ciddi etkilerde bulunabiliyorlar. Böylece mikroşerit yama antenleri alanı gelişen bir teknoloji haline gelmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Mikroşerit yama antenin şematik diyagramı

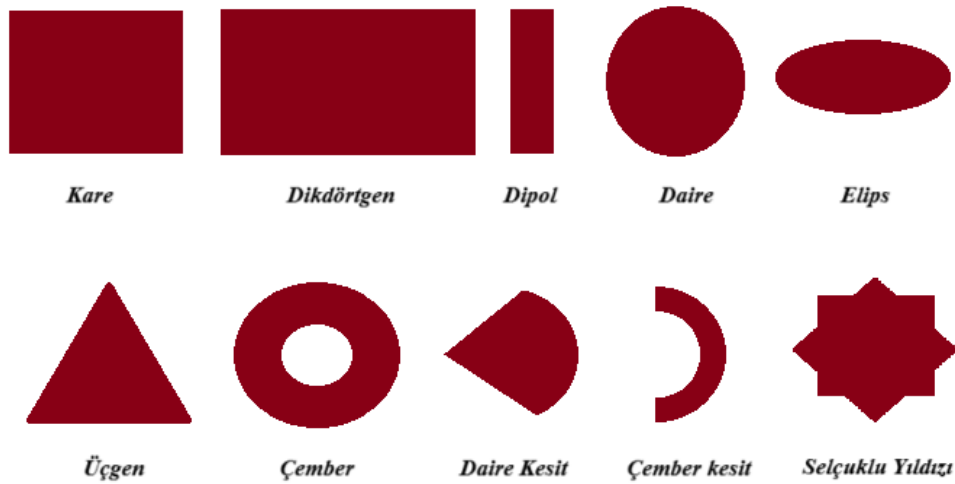
Mikroşerit antenler basit yapısı ve tasarım ve üretim kolaylığı ile kablosuz haberleşme uygulamalarında sıkça kullanılan anten tipleridir. Mikroşerit yama antenlerin en büyük dezavantajı ise dar band genişliğidir. Günümüz kablosuz haberleşme uygulamalarındaki band genişliği ve yüksek hız gereksinimi arttıkça, bu antenlerin band genişliklerinin artırılması üzerine yapılan çalışmalarda artmaktadır (James ve ark 1981, Hadalgi ve ark 2010, Cicchetti ve ark 2015).

Pek çok kablosuz sistemde yaygın olarak kullanılan mikroşerit yama antenler çok çeşitli yapılara sahiptir ve bu sebeple elektromanyetik uygulamalarının uzun

yıllardır araştırmacıların hedefindedir (Hall ve ark 1989). Mikroşerit anten yapısı, düşük kayıplı yalıtım malzemesinden imal edilmiştir. Dielektrik tabaka iki ince iletken tabaka arasındadır. Dielektrik tabaka malzemesinin 0.25 mm'den 25 mm'ye kadar değişen farklı kalınlıklarda tasarımlar literatürde görülmüştür. Dielektrik sabiti değeri ise genel olarak yaklaşık 1 ila 12 arasında seçilebilmektedir. İki iletken tabakanın birincisi yama ve ışıma işini görürken, diğeri taban malzemesidir. İletkenler altın, bakır, alüminyum gibi iyi iletkenlerden seçilirken çok ince kalınlıktadırlar. İnce oluşları iletken kayıplarını azaltacağından tercih sebebidir.

Düşük dielektrik sabiti malzeme üzerine monte edilen mikroşerit yama anteninin, yüksek dielektrik sabiti dikdörtgen yama üzerindeki antenden fiziksel olarak daha büyük olması nedeniyle, daha büyük bir toplama alanına ve dolayısıyla daha büyük yönlülüğe sahip olmasıdır. Anten hacminin artması nedeniyle kalınlık arttıkça yönlülükte artacaktır. Fakat verimlilik yönlülükten bağımsız olacaktır.

Dielektrik sabiti ne kadar yüksek olursa, yüzey dalgasında da o kadar fazla güç kaybı olur ve dolayısıyla antenin verimi düşecektir. $\epsilon_r = 1$ durumunda ise yüzey dalgaları hareketsiz olacaktır. Yıllar boyunca mikroşerit yama anteni için birçok iletken şekil önerilmiş ve araştırılmıştır.



Şekil 2.2 Yama şekilleri

Mikroşerit yama antenlerin avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır;

1. Küçük ve hafif olmasından dolayı kullanımları kolay ve üretimleri ucuzdur.
2. Basılı devrelerle birlikte düşük güçte kullanım imkânı sağlarlar.

3. Sistem emniyetini arttırarak diğer devre elemanlarıyla uyumlu biçimde yerleştirilebilirler.
4. Basılı devrelerdeki incelik ve düşük hacim gereksinimlerimden dolayı boyutlarında küçültmeler gerçekleştirilebilir.
5. Tasarımcının temel devre şeklinin tasarımını tamamlayıp gerçekleştirmesi ve doğruluğu test etmesi sonrasında büyük ölçekli üretimler hızlı ve düşük maliyetli olarak tamamlanabilir.

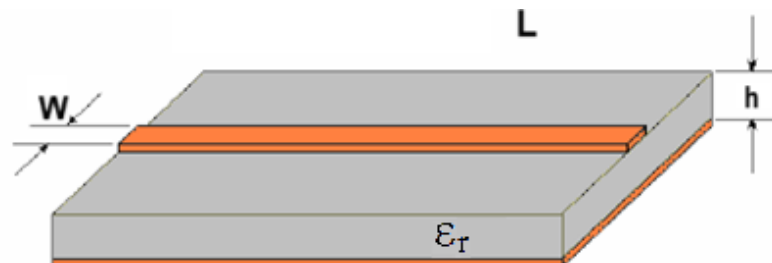
Mikroşerit yama antenlerin dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Düşük band genişliği
2. Düşük kazanç
3. Geniş besleme hatlarında büyük omik direnç kayıplarına sahip olmaları
4. Besleme hattı civarında antenin ışıma desenini bozucu ışımların olması
5. Yüzey dalgalarının uyartımı
6. Düşük kutuplama temizliği

olarak sıralanabilir.

2.1.1. Mikroşerit yama anten tasarımı

Şekil 2.3’de görüldüğü gibi, dielektrik taban kalınlığı h , dielektrik sabiti ϵ_r olan bir dikdörtgen yama antenin tasarımı en temel tasarımdır ve aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir (James JR. ve Hall PS., 1989).



Şekil 2.3 Mikroşerit yama yapısı

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

W dikdörtgen yamanın enini, c ışığın boşluktaki yayılma hızını, f_r ise rezonans frekansını gösterir. L yama uzunluğu, yarım dalga boyu uzunluğundan saçak alan uzunluğunun (Δ) çıkarılması ile elde edilir.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (2.2)$$

etkin dielektrik sabiti ϵ_e ve $(w/h) > 1$ için;

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12t}{W} \right] \quad (2.3)$$

Şeklinde hesaplanır. Denklemden yer alan t değeri mikroşerit hattın kalınlığıdır. Hat genişlemesi Δl ise;

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.4)$$

Şeklinde ifade edilir. Efektif dielektrik katsayısı ϵ_{eff} ve karakteristik empedansı Z_0 'ın hesabı ise aşağıdaki gibidir.

$$\epsilon_{eff} = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2 \left(1 - \frac{B}{C} \right)^2} & \frac{W}{h} < 1.3 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left(1 + \frac{10h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} & \frac{W}{h} \geq 1.3 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$Z_0 = \begin{cases} A(C - B) & \frac{W}{h} < 3.3 \\ \frac{D}{E} & \frac{W}{h} \geq 3.3 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$A = \frac{120}{\sqrt{2(\epsilon_t + 1)}} \quad (2.7)$$

$$B = \frac{1}{2} \left[\frac{\epsilon_t - 1}{\epsilon_t + 1} \right] \cdot \left[\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_t} \ln \frac{4}{\pi} \right] \quad (2.8)$$

$$C = \ln \frac{8h}{W} + \frac{1}{32} \left[\frac{W}{h} \right]^2 \quad (2.9)$$

$$D = \frac{60\pi}{\sqrt{\epsilon_t}} \quad (2.10)$$

$$E = \frac{W}{2h} + 0.4413 + 0.08226 \left[\frac{\epsilon_t - 1}{\epsilon_t^2} \right] + \frac{\epsilon_t + 1}{2\pi\epsilon_t} \left[1.542 + \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) \right] \quad (2.11)$$

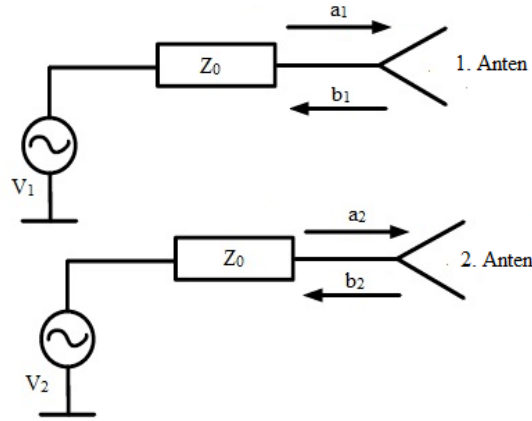
2.1.2. Anten performans parametreleri

Mikroşerit antenlerin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler sırasıyla aşağıda verilmiştir (James JR. ve Hall PS., 1989).

2.1.2.1. S-parametreleri

S-parametreleri, bir elektrik sistemindeki terminaller (portlar) arasındaki giriş çıkış ilişkisini tanımlayan anten parametrelerinden birisidir. S-parametreleri antenin empedans uyumunu ve ışıma performansını gösterir. Şekil 2.4’de söz konusu bu

terminaller gösterilmiştir. Burada S_{12} 2. antenden (Port 2) 1. antene (Port 1) aktarılan gücü temsil eder. Aynı şekilde S_{21} 'de 1. antenden 2. antene aktarılan gücü ifade eder.



Şekil 2.4 İki kapılı sistem

Buna göre iletilen ve yansıyan sinyalleri gösteren S-parametre eşitliklerinin hesabı aşağıda verilmiştir.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.12)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.13)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.14)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.15)$$

Elde edilen sayısal veriler denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$|S_{xy}|_{dB} = 20 \log_{10} |S_{xy}| \quad (2.16)$$

2.1.2.2. Duran dalga oranı

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.17)$$

VSWR, gerçek ve 1'den büyük pozitif bir sayıdır. Anten yansıma katsayısı (S_{11}) -10 dB olduğunda, Γ 'nin gerçek değeri 0.316 değerine eşit olacaktır. Γ için VSWR değeri ise 2'ye yakın bir değerdir. (James JR. ve Hall PS., 1989).

2.1.2.3. Empedans bant genişliği

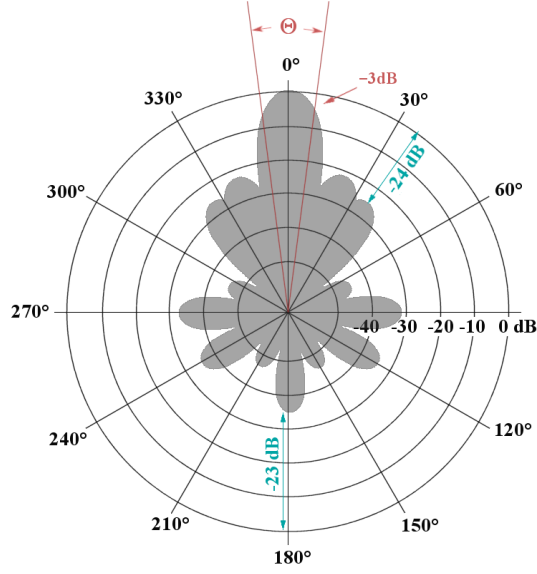
Empedans bant genişliği (BW), bir antenin S_{11} yansıyan değerinin -10 dB'in altında kalan bölgesidir. Bant genişliği iki şekilde gösterilir. Birincisi frekans bant genişliği, ikincisi ise % bant genişliğidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$BW = f_{üst} - f_{alt} \quad (2.18)$$

$$B_f(\%) = \frac{BW}{f_c} \times 100 = \frac{(f_{üst} - f_{alt})}{(f_{üst} + f_{alt})/2} \times 100 \quad (2.19)$$

2.1.2.4. Işıma deseni

Işıma deseni ışımanın serbest uzaydaki özelliklerini veren matematiksel ve grafiksel olarak tanımlanan bir fonksiyondur ve genellikle uzak alan bölgeleri için geçerlidir. Işıma, küresel olarak düşünüldüğünde r , θ , ϕ vektörlerine bağlı küresel bileşenlerin bir fonksiyonu olarak verilebilir. Maximum ışıma bölgesine ana lob, diğer ışıma bölgelerine ise yan lob ismi verilir. Burada ana lob ışımaları istenen, yan lob ışımaları ise istenmeyen ışımalardır.



Şekil 2.5 Bir anten çizgesinin kutupsal koordinatlarla gösterimi

Bir antenin her yöne eşit seviyede ışıma yapması θ ve ϕ 'den bağımsız ve izotropik ya da yön bağımsız anten olarak isimlendirilir. Gerçekte izotropik bir anten yoktur fakat antenlerin karşılaştırmasında referans anten olarak kullanılır. Eğer bir antenin ışıma örüntüsü θ ya da ϕ 'den sadece birine bağlı değişiyorsa bu tür antenlere çok yönlü (omnidirectional) anten denir. Böyle antenlerde bağımlı olmadığı düzlemde alıcının yer değiştirmesi halinde bile aldığı gücü değiştirmez. Bunun yanında bir anten sadece belirli bir yönde ışıma yapıyorsa bu anten yönlü (directional) bir antendir ve ışıma deseni hem θ hem de ϕ 'ye bağlı olarak değişecektir.

2.1.2.5. Yönlülük

Antenin yönlülüğü maksimum ışıma yoğunluğunun izotropik referans antenin ışıma yoğunluğuna oranı ile bulunur. D ile gösterilir ve birimsizdir ve daima 1'den büyüktür. İzotropik antenin ışıma yoğunluğu, ışıyan toplam gücün 4π 'ye bölünmesiyle bulunur.

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\text{izotropik}}} \quad (2.20)$$

2.1.2.6. Verim

Bir antenin elektromanyetik dalgaya dönüştürdüğü gücün antene giren güce oranı o antenin verimini ifade eder. “e” ile gösterilir ve birimsizdir. Dielektrik kayıp, iletkenlik kaybı, yansıma kaybı ve polarizasyon kaybı antenin verimini etkileyen parametrelerdir.

$$e = \frac{P_{ışyan}}{P_{giren}} \quad (2.21)$$

2.1.2.7. Kazanç

Kazanç değeri de tıpkı yönlendiricilik ve verim gibi birimsizdir. Eşitlik 2.22’de verildiği gibi bir antenin kazancı, verim ile yönlülüğün çarpımına eşittir (James JR. ve Hall PS., 1989).

$$G = e \cdot D \quad (2.22)$$

2.1.2.8. Polarizasyon

Polarizasyon, belirli bir yönden gönderilen ya da yayılan dalga olarak söylenebilir. Zamana bağlı elektrik alan çizgileri polarizasyonu verir. Doğrusal, dairesel ve eliptik olmak üzere üç çeşittir. Elektrik alan vektörü zamana bağlı verildiğinde ve sadece bir hat boyunca (yatay-dikey) ilerliyorsa doğrusal, dairesel ilerleyerek her bir dalga boyunda 360° dönüyorsa dairesel, elektrik alanının izlediği yol elips şeklindeyse eliptik polarizasyon denir. (James JR. ve Hall PS., 1989).

2.1.3. Anten tasarım metodları

Anten Tasarımı modelleme ve hesaplama olmak üzere iki şekilde yapılır. Dikdörtgen benzeri düzgün yamaların analizleri, genellikle “iletim hattı modeli” ve “boşluk modeli” gibi geleneksel tekniklerle yapılır. Her iki modelde genellikle sadece basit ve düzgün şekilli yapılarda kullanılabilir. Çözümleri ise yama kenarlarındaki eşdeğer manyetik akım dağılımına dayanır (Munson, 1974).

Bu modellerden elde edilen sonuçların güvenilirlikleri azdır ve düzgün olmayan yapılarda sonuçsuzdur. Bu sebeple bilgisayar destekli olarak zaman ve frekans uzayında birçok yöntem geliştirilmiştir. Yinede her iki teknikte ancak belli koşullarda doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu tür yöntemlerle, yama ve toprak düzleminde elektrik akımı dağılımı çözümü yapılarak sonuca ulaşılabilir. Çözülmek istenen yapı ise ızgaralama yöntemi (meshing) ile küçük parçalara ayrılarak yapılır.

Anten analizinde amaç, hem kutuplanma, kazanç ve ışıma diyagramı gibi ışıma karakteristiklerini, hem de verim, ortak kuplaj, empedans ban genişliği ve giriş empedansı gibi yakın alan karakteristiklerini doğru ve en yakın şekilde tahmin etmektir. Mikroşerit anten analizinde ise homojen olmayan sınır şartları, dielektrik homojensizliği, dar frekans bandı karakteristikleri ile çok farklı besleme, yama şekli ve dielektrik taban konfigürasyonlarının varlığı sebebiyle oldukça karmaşıktır. Bu sebeple, seçilen yöntemin karmaşıklığı ile çözümün doğruluğu arasında bir denge gereklidir (Schaubert DH. ve Pozar DM., 1995).

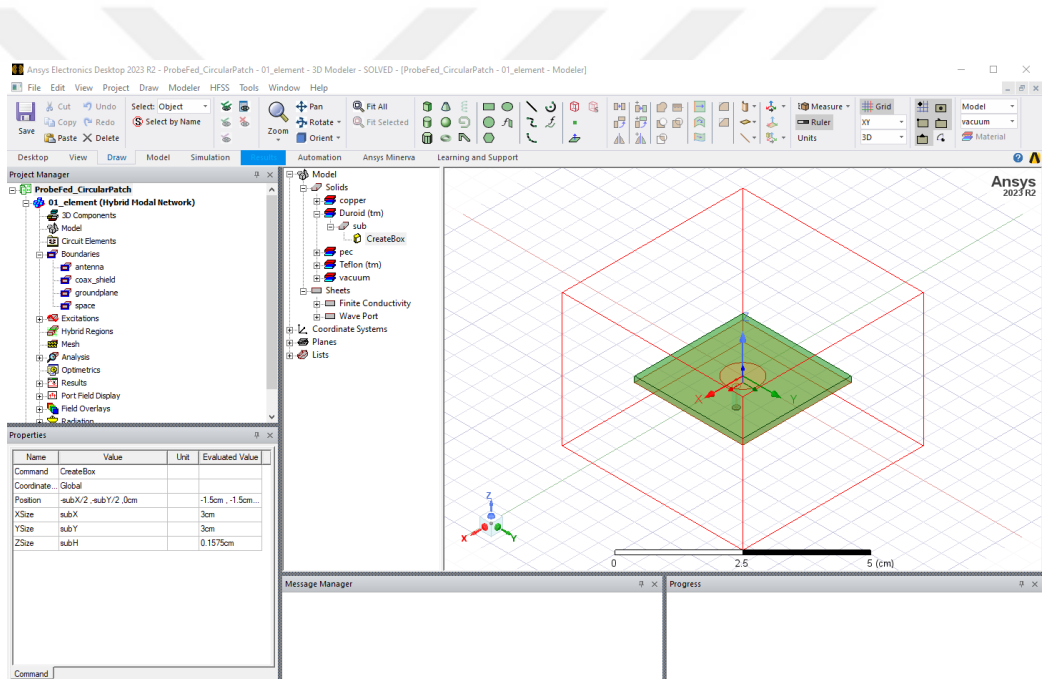
2.1.3.1. Simülasyon

Bilgisayarların hız ve hesaplama kapasitelerinin artmasıyla beraber mühendislik tasarımlarında ve imalat alanında kullanımları da artmıştır. Yine mühendislere tasarım ve hesaplanmalarında yardımcı olacak pek çok yazılım üretilmiştir. Özellikle benzetim yazılımları da gün geçtikçe gelişmektedir. Tasarım ve üretimde yüksek doğrulukla hızı artırarak ve maliyetleri düşürerek büyük faydalar sağlayan benzetim yazılımları uzay ve savunma sanayinden inşaat ve imalat sektörüne kadar pek çok alanda kendine kullanım yeri bulmuştur ve günümüzde vazgeçilemez bir mühendislik yardımcı aracı olarak düşünülmektedir.

Mikrodalga ve anten tasarımlarında yaygın olarak kullanılan simülasyon yazılımlarından bazıları HFSS (High Frequency Structure Simulation Software), CST (Computer Simulation Technology), FEKO (Computational Electromagnetics), IE3D (Scalable EM Simulation Solution), COMSOL (Cross-Industry Modeling and Simulation), CMA (Characteristic Mode Analysis), NEC (Numerical Electromagnetics Code), Agilent ADS (Advanced Design System), Supermec, Antenna Magus olarak sıralanabilir.

HFSS'te özellikle mikroşerit yama anten tasarımı gerçekleştirilirken tasarımcılar oldukça temel ve basit adımlar kullanarak benzetime hazır halde bir dosya oluşturabilmektedirler. Öncelikle geometrik olarak anteni oluşturacak yapıların fiziksel boyutları ve konumları belirlenir. Ardından yapıyı oluşturacak malzemeler ve bu malzemelerin özellikleri seçilerek tasarıma devam edilir. Yazılım esnek olarak tasarımcıya istenilen şekilde bir yapı oluşturma ve kullanacağı malzemeleri girerek kütüphaneye yeni malzemeler kazandırma özelliklerine de sahiptir.

Kullanılan bilgisayarın teknik özellikleri ve oluşturulan yapının fiziksel büyüklüğü benzetim hızını doğrudan etkileyen faktörlerdendir. HFSS'te anten yapısına atanacak olan örgü boyutları otomatik olarak belirlenirken elde edilecek sonucun doğruluk oranı tasarımcıya bırakılmıştır (HFSS, 2024).



Şekil 2.6. HFSS ana ekran görünümü ve yaygın kullanılan menüler

2.2. Mayın Çeşitleri ve Toprak Tipleri

Mayın savaşındaki yenilikler tarih boyunca çeşitli kaynaklardan gelmiştir ve bir sonraki atılım için gerekli kritik bilgileri edinenler genellikle sahadaki mühendisler olmuştur. Mayın ve karşı mayın teknolojileri ve teknikleri son 3000 yılda gelişmiş ve diğer silahlarda görülen tipik önlem/karşı önlem/karşı önlem döngüsünde gelişmeler devam etmiş ve devam etmektedir. İlk yeraltı mayınlarından İkinci Dünya Savaşında

kullanılan antipersonel mayınlarına ve bubi tuzaklarına kadar bu döngü devam etmektedir.

Toprak, insan, hayvan ve bitki gibi tüm canlıların yaşadığı, üzerinde hayata dair pek çok sürecin gerçekleştiği yeryüzünün temel bir parçasıdır. Bitkiler, yaşamlarını sürdürebilmek için ihtiyaç duydukları mineralleri topraktan alırlar. Bu nedenle, toprak bitkiler için hayati öneme sahiptir. Toprak, esasen bulunduğu ana kayanın bir parçasıdır. Zamanla, bu kaya kimyasal ve fiziksel ayrışma süreçleriyle ufalanır ve parçalanır. Oluşan kaya parçalarının içerisine organik maddeler (bitki kalıntıları, hayvan atıkları vb.) karışarak toprak oluşum süreci tamamlanır. Bu süreç, pedojenez olarak da bilinir ve toprağın yapısının, özelliklerinin ve verimliliğinin belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Toprak, sadece canlıların yaşamını desteklemekle kalmaz, aynı zamanda su döngüsü, besin döngüsü ve ekosistemlerin dengesi için de vazgeçilmezdir.

2.2.1. Mayın çeşitleri

İlk nesil mayınlar basınçla aktif edilen ve düşman araçlarını durdurmak veya yok etmek için kullanılan mayınlardı.



Şekil 2.7. Tanksavar mayını

Birinci Dünya Savaşı sırasında savaş tanklarının kullanımı, tanksavar mayının geliştirilmesini ortaya çıkarmıştır. Bu mayınlar büyük ve kullanışlı değillerdi ve karşıt güçler tarafından kolayca bulunup dağıtılabildi. Bu sebeple, anti-

personel mayınları, düşman askerlerinin tespit edemeyeceği şekilde tasarlanmaya başlandı.

1918-1939 yılları arasında anti-personel mayınlarının geliştirilmesi ile çoğunlukla Polonya, Rusya ve Kore’de yaygın olarak kullanıldı. Genel olarak, bu yıllarda belirli askeri hedefler gözetiliyordu. Yani 1960’lara kadar mayınlar rastgele ne üretiliyor nede kullanılıyordu. Fakat 1960’ların başında Vietnam’da Hanoi’den Saygon’a kadarki ormanlık patika yolunda (Kuzey Vietnamlı lidere ithafen ismi verilen "Ho Chi Minh Patikası") 9 yıl boyunca kullanılan mayınlar bu kuralın dışında kalmış ve artık ölen sadece asker değil, sivillerde olmaya başlamıştı.



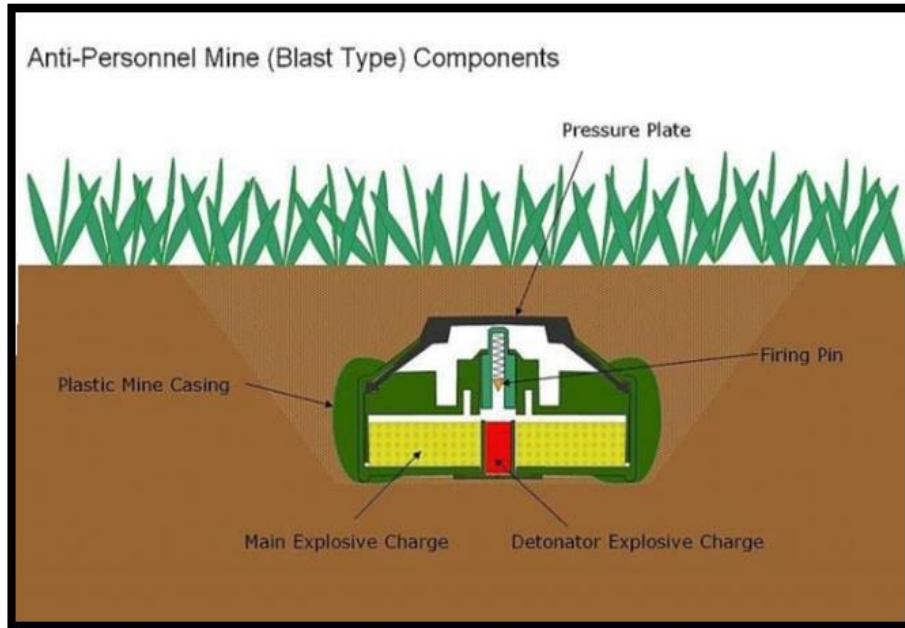
Şekil 2.8. Mekanizmalı mayın

Her yıl 5 ila 10 milyon arasında mayın üretildiği ve bu da üreticilere yıllık 50 ila 180 milyon dolar kazandırdığı tahmin edilen bu acımasız sektörde, "kelebek" mayını da denilen ve Afganistan’da yaygın olarak bulunan mayınların tanesi yaklaşık 3 dolara satılmaktadır. Özellikle çocukların dikkatini çekecek şekilde tasarlanan bu mayınlar parlak ve renkli şekillerde yapıldığı bilinmektedir.



Şekil 2.9. PKK terör örgütünün kullandığı ve yakalanan mayınlar

Mayınlar, patlama sistemlerinin küçük bir temasla tetiklendiği ve patlayıcı maddelerle kaplı yapıdadırlar. Genellikle yüzeyden 15 cm derine gömülür veya zemine döşenir. Bu mayınların çoğu, mayın patlamasının ardından parçalara ayrılmak üzere tasarlanan metal mahfazalara sahiptir ya da mayın patlamasıyla öldürücü mermilere dönüşen metal parçalar ile doldurulmaktadır. Anti-personel mayınlar çoğunlukla silindir biçiminde olup, yükseklikleri 50 ile 100 mm, çapları 20 ve 125 mm arasında değişiklik göstermektedir. Ağırlık olarak genellikle 30-40 gr ağırlığında olan anti-personel mayınlarında Comp B, TNT gibi önemli patlayıcılar kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Anti-Personel mayını

Tüm AP kara mayınları genellikle açma kablolarında 1,5 kg'lık bir basınçla ve/veya doğrudan basınçla tetiklenirler. Bir kez tetiklendiğinde ise, ilk yük tamamen patlatılmadan önce mayını bel yüksekliğine kaldırır. Patlama üzerine, 360 derecelik bir yatay yayda metal parçalar yaklaşık 100 metreye kadar savrulur. Bu ise ağır yaralanmalara veya ölümlere neden olur.

2.2.2. Mayın arama ve dökme

Bir mayın temizleme ve temizleme sistemi, yüzeye veya yüzeye yakın konumdaki mayınları patlatmak için bir ön patlatma cihazına ve bir mayın sensörü tertibatına sahip bir veya iki taşıyıcı araç gereklidir. Mayın olarak tanımlamak ve daha derine gömülü mayınların yerini bulabilmek için çeşitli fiziksel yapılardan faydalanılır. Daha sonra bir mekanizma ile tespit edilen ve yeri bilinmiş olan mayınlar patlatılır.

Metal dedektörler, etkisi derinliğe, malzeme özelliğine ve toprak türüne bağlıdır. Cihaz olabildiğince metal verisini içerir. Karşılaştırma yoluyla mayını algılamaya çalışır. Ancak çalışmalarda en etkili bir dedektörün killi bir toprakta mayınların % 91'ini, demir açısından zengin bir toprakta ise sadece %71'ini tespit edebildiği belirlenmiştir. Bunun yanında rasgele metallerin tespiti, dedektörlerin verimsizliğini göstermektedir.

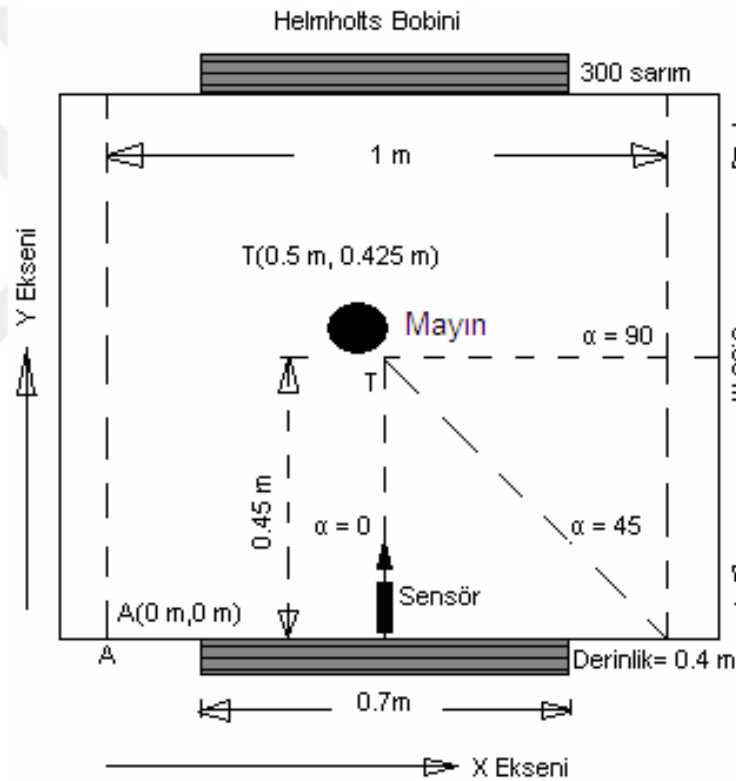
Mayın Pulluğu, gömülü veya gizli mayınları temizleyebilen ve bir tanka monte edilen tırmık türü bir mekanizmadır. Muhtemel gömülü mayın tırmık yoluyla toprak yüzeyine çıkarılır. Genellikle güvenli bir yol açmak amacıyla tasarlanmıştır.

Mayın Kafon Drone (MKD), kara mayınlarını tespit etmenin yanı sıra onları patlatabilen bir drone'dur. Drone, altı rotor ve çeşitli düzeneklerle donatılmıştır. Bunlardan biri bölgenin haritasını çıkarır, diğeri ise metal dedektör eklentisi ile mayınları tespit edier. GPS ile işaretlendikten sonra ise drone operatöre geri döner ve metal detektörü robotik bir kolla değiştirir. Bu da patlayıcı cihazın üzerine tenis topu büyüklüğünde fûnyeler atarak mayınların güvenli bir şekilde patlamasını sağlar.

Mayın Dökme işlemi ise denizaltılar, gemiler, uçaklar “mayın dökücü” olarak isimlendirilebilir. En yaygın olanı ise kolayca fark edilemediklerinden denizaltılardır. Gemiler de, kara sularını korumak ve düşman gemilerinin bulunduğu bölgeleri tehlikeli hale getirmek için kullanılırlar. Uçaklar ise mayınları paraşüt yardımıyla atarlar. Bu çeşit mayınlar, ancak sığ sularda etkili olabilir.

2.2.3. Kara mayını tespit teknikleri

Mayın tespit teknikleri, toprak yapısı temelinde mayın dedektörü, mikrodalga radyometrisi, nükleer dörtlü rezonans, nötron metodu ve dürtme teknikleri gibi tekniklerdir. Manyetik Anomali (Dünya manyetik alanı, yerel manyetik alanın gözlemlenen genliğinden çıkardıktan sonra kalan manyetik alan) ile konum tespiti ve derinlik yada hareket yönü gibi parametrelerin belirlenmesi ile manyetik alan içerisindeki malzemenin, alanın manyetik yapısını bozması temeline dayanır. Şekil 2.11’de deney düzeneğinin şematik yapısı görülmektedir (Tobely T.E. ve Salem A., 2005).

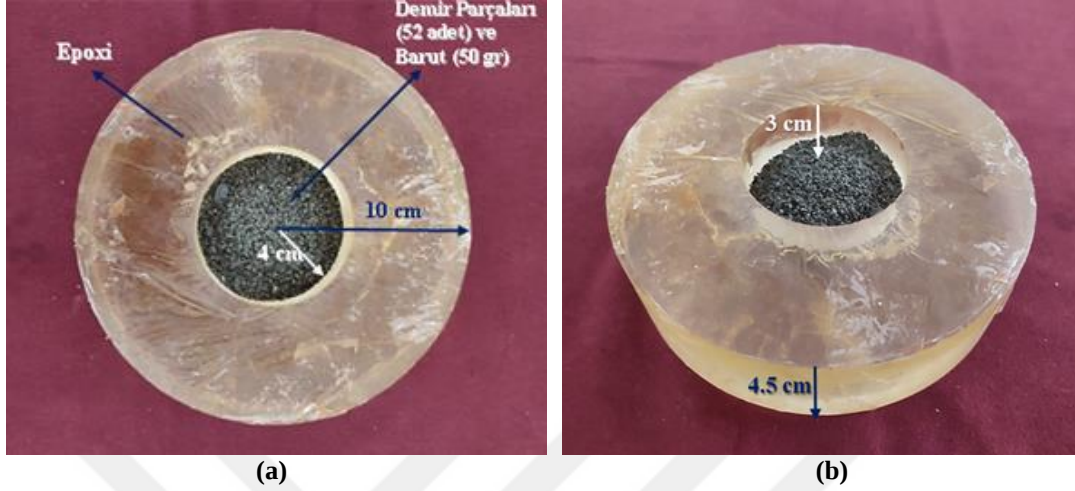


Şekil 2.11. Mayın tespit deney düzeneği şematik yapısı (Tobely T.E. ve Salem A., 2005).

2.3. Mayın Materyali

Tez çalışmasında kullanılmak üzere, gerekli olan mayın materyeli, epoksi malzemesi kullanılarak tasarlanıp üretilmiştir. Silindirik yapıdaki bu simule mayın, 20x4.5 cm boyutlarındadır (Şekil 2.12). Ortası, tetik mekanizmasını ve tahrip kısmını

oluşturması için yine silindirik yapıda ve 8x3 cm boyutlarında oyulmuştur. Oyulan bu kısım şarapnel parçalarını simüle etmesi için farklı çap ve şekillerde metal bilye (52 adet) ve barut (50 gr) ile doldurulmuştur (Şekil 2.13).



Şekil 2.12. Silindirik yapıda ve 20x4.5 cm boyutlarında epoksi içerikli pasif mayın



Şekil 2.13. a) Metal bilye b) Barut

2.4. Topraklara Genel Bakış

Toprağı oluşturan bileşenler, Hava, su, organik maddeler ve farklı organizmaların kalıntılarından oluşan bir bileşimdir. Bu bileşim toprağı zenginleştirir ve farklı özellikler kazandırır. Bu da hayatın sürdürüle birliği konusunda muazzam bir öneme sahiptir.

Toprağın fiziki, abiyotik ve biyotik etkileşimleri iki başlık altında ele alınabilir:

1. Bitkilerin Yaşam ortamı olarak bilinen, yüzeyde bulunan ve konsolide olmamış organik ya da mineral maddelerden oluşan bir zemin tabakasıdır.
2. Toprağın ana bileşimleri zamanla oluşan iklimsel unsurlardan (su ve kuraklık) etkilenmekte ve genetik yapısı bu minvalde şekillenmektedir.

Toprak her türlü ekosistem olaylarında (Bataklık, Göl, su toplama havuzları, çayır ve orman) birçok fonksiyon sürdürmektedir. Bu Fonksiyonlar bu başlıklar altında sıralanabilir:

1. Toprak, bitkilerin Yetiştirilmesi ve büyümesi için bir ortam sağlar
2. Atmosfer toprağın yaydığı su buharı, metan ve karbondioksit gibi gazların hem emilimini hem de salınımını ile etkilenir.
3. Toprak, üzerinde yaşamını sürdüren canlılara ve Mikroorganizmalara yaşam alanı sağlar
4. Topraklar üzerindeki suları emer, depolar, zenginleştirir ve serbest bırakır.
5. Toprak atmosferdeki birçok besin maddesini dönüştürerek yeniden canlıların kullanımına açık hale getirir.
6. Topraklar altyapı, köprü, baraj, yol ve binaların inşası açısından önemli bir yere sahiptir. Topraklar yapılan eserleri koruya da bilir yok edebilir.
7. Toprak her türlü suyun yeraltına geçmesinde doğal bir filtre görevi üstlenir.

2.4.1. Toprak oluşumu

Toprak çeşitlerini oluşturan beş ana unsur.

a. İklim

Nem, sıcaklık ve kimyasal reaksiyonlar toprağı oldukça etkiler. Taşları, kayaları olağan şekilde aşındığına yardımcı olur. Topraklar kurak ve soğuk iklimlerde, nemli ve sıcak iklimlere kıyasen daha az gelişir.

b. Organizmalar

Yer yüzündeki bütün canlılar (insan, hayvan ve bitkiler) toprağın gelişmesinde rol oynar.

c. Rölyef (manzara)

Toprağın yönü ve şekli çok önem arz eder, güneş alıp almadığı veya su toplayıp toplamadığı tüm bunlar fark yaratır.

d. Ana Malzeme

Toprak çeşitlerine göre farklıdır. Her toprak üzerine biriken ana malzemelerden oluşmaktadır. Örneğin göllerin dibindeki toprak killi topraktır. Keza kireç kayalarından oluşan topraklarda kalsiyum maddesi boldur.

e. Zaman

İklim, organizmalar, rölyef ve ana malzemeler bunların hepsi zaman ile çalışır. Eski bir toprak genç bir toprağı nazaran daha geç gelişir. Genç toprağın gelişmesi daha kısa zaman alır. Yukarıda sözünü ettiğimiz faktörlerin etkisiyle toprakların bileşenleri değişir ve dönüşür.

2.4.2. Toprak tanımı

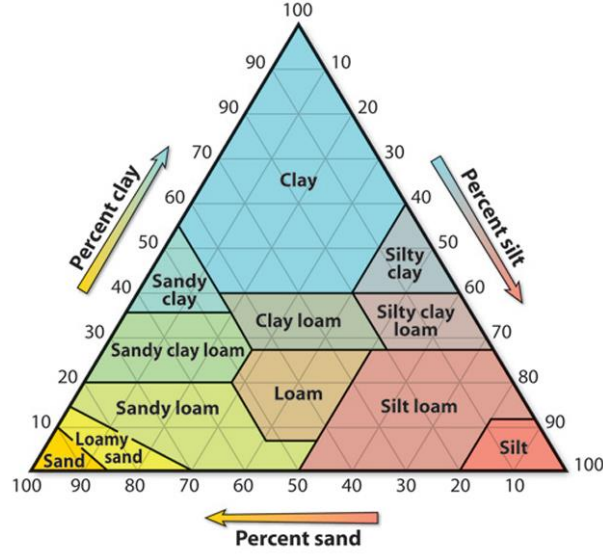
Toprakları tanımlamamıza ve yönetmemize yardımcı olan birçok toprak özelliğı vardır. Önemli fiziksel özelliklerden bazıları şunlardır.

2.4.3. Toprak dokusu

Toprağı oluşturan ana parçacıkları üçe ayrılır.

1. Kum
2. Kil
3. Silt

Toprak parçacıklarının en büyüğü kumdur; en küçüğü ise kildir. Hemen hemen çoğı topraklar bu üçünün birleşimidir. Topraklardaki birleşimlerin oranları topraklara dokuyu verir. Örneğin killi tınlı dokulu bir toprak ile kumlu bir toprağın dokuları aynı olamaz.



Şekil 2.14. Toprak doku üçgeni

Kum – 2,0 ila 0,05 mm

Silt – 0,05 ila 0,002 mm

Kil – 0,002 mm'den az

Şekil 2.14'deki toprak doku üçgeninde 12 toprak doku sınıfı temsil edilmektedir. Bu üçgen, "kil" veya "tın" gibi terimlerin her zaman aynı anlama sahip olması için kullanılır. Her doku, belirli kum, silt veya kil yüzdelere karşılık gelir. Dokuyu bilmek, toprağın yönetimine yardımcı olur.

2.4.4. Toprak yapısı

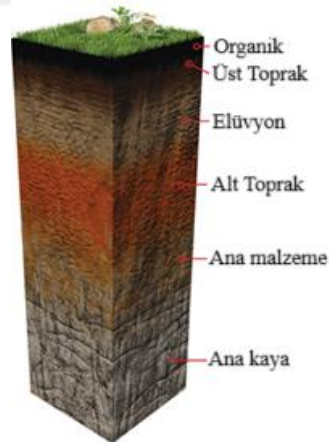
Toprak parçacıklarının ped ya da agrega isimle bilinen küçük kümeler şeklinde yapılmasıdır. Toprak parçacıkları (kum, silt, kil ve hatta organik madde) pedleri oluşturmak için birbirine bağlanır. Bileşimine ve pedlerin oluştuğu koşullara (ıslanma ve kuruma veya donma ve çözülme, yaya trafiği, çiftçilik vb.) bağlı olarak ped belirli bir şekle sahiptir. Granül (bahçe toprağı gibi), bloklu, sütunlu, levhamsı, masif (modelleme kili gibi) veya tek taneli (plaj kumu gibi) olabilirler. Yapı, kök büyümesini ve hava ve su hareketini etkileyen topraktaki gözenek boşluğuyla ilişkilidir.

2.4.5. Toprak Rengi

Toprak rengi toprağın içerdiği mineral birleşenlerden meydana gelmektedir. Bir toprağın rengine yola çıkarak toprak içinde hangi maddenin olduğunu kestirmek çok da zor değildir. Örneğin demir içeren bir toprak ile kalsiyum içeren bir toprağın rengi aynı değildir. Bunun yanı sıra toprağın içerdiği maddenin oranı da toprak rengini etkilemektedir. Toprağın içerdiği mineral ve maddelerin dışında toprağın ıslak olması da renkleri etkiler.

2.4.6. Toprak Profili

Her Toprakların her birinin kendisine has bazı özellikleri vardır. Bu özellikler toprağın oluşum sürecini ve çevresel şartlara bağlı oluşan tabakalardır. Topraklar genelde (organik, elüvyon, üst toprak, alt toprak, ana malzeme ana kaya) katmanlar bir araya getirildiğinde ortaya bir toprak profili çıkmaktadır. Bu profilden hareket ederek toprağın geçmişini bizlere açıklar.



Şekil 2.15. Toprak katmanları

Organik: Çoğunlukla ayrışan yapraklar gibi organik madde. O horizonu bazı topraklarda ince, bazılarında kalın ve bazılarında hiç yoktur.

Üst toprak: Çoğunlukla organik madde içeren ana materyalden gelen mineraller. Bitkilerin ve diğer organizmaların yaşaması için iyi bir materyal.

Elüvyonlu: Kil, mineraller ve organik maddeden sızmış, kuvars veya diğer dirençli materyallerin kum ve silt parçacıkları konsantrasyonu bırakmış – bazı topraklarda yoktur ancak genellikle eski topraklarda ve orman topraklarında bulunur.

Alt toprak: A veya E horizonlarından sızan (aşağıya doğru hareket eden) ve burada biriken mineraller açısından zengin.

Ana materyal: Toprağın geliştiği Dünya yüzeyindeki tortu.

Ana kaya: Granit, bazalt, kuvarsit, kireç taşı veya kumtaşı gibi bazı topraklar için ana materyali oluşturan bir kaya kütlesi – ana kaya yüzeye yeterince yakınsa hava koşullarına maruz kalabilir. Bu toprak değildir ve C horizonunun altında yer alır.

2.4.7. Toprak Bozulması

Toprak bozulması, toprağın işlevini yerine getirme kapasitesini bozan insan kaynaklı veya doğal bir süreçtir. Örneğin, MÖ 3000 yılında Sümerler Güney Mezopotamya'nın çöllerinde büyük şehirler kurdular. Sulama kullanarak çöl topraklarında çiftçilik yaptılar ve medeniyetlerini mümkün kılan büyük miktarda yiyecek fazlalığı yarattılar. Ancak MÖ 2200 civarında medeniyet çöktü. Bilim insanları bunun nedenini tartışıyorlar ancak bir nedenin toprakla bağlantılı olabileceği düşünülüyor. Kuru iklimlerde sulama, tuzlanma adı verilen bir işlem olan tuz birikmesine neden olabilir. Çok az ürün tuza dayanıklıdır. Bu bölgedeki toprak, ürün yetiştirmek için hala çok tuzludur. Toprağı bozan diğer aktiviteler arasında kirlenme, çölleşme ve erozyon bulunur.

Toprak, medeniyetin başlangıcından bu yana kültürlerin tanımlayıcı bir bileşeni olmuştur. İlk yazılı kelimelerden kil tabletlere kadar ve su kil sürahilerden binaların temeline, geçmiş kültürlerin ipuçlarından bio yakıtlara kadar temel maddedir.

2.5. Mayın tespitinde kullanılan toprak tipleri

2.5.1. Killi toprak

Killi toprak, yüksek oranda kil ve siltli malzeme içerir. Genellikle %60'ın üzerinde, en az yarısı saf kildir. Ağır topraklar olarak adlandırılan bu topraklar kil, siltli kil ve kumlu kil dokularını içerir. Belirli özelliklerinden temelde kil içeriği sorumludur. Bu sebeple kil parçacıkları çok önemli özelliklere sahiptir (Şekil 2.14):



Şekil 2.14. Killi Toprak

- Küçük kümeler halinde gruplanabilirler (flokülasyon) veya dağılıbilirler (deflokülasyon).
- Genellikle yüksek katyon değişim kapasitesine sahiptirler ve kalsiyum, sodyum, potasyum ve amonyak gibi çeşitli kimyasal maddelerle (baz değişimi) birleşebilirler. Bu şekildeki yapıda, bitki besinleri toprakta tutulabilir.

Parçacıkların gruplanması, flokülasyonunun kil topraklarının işlenmesini kolaylaştırmada çok önemli bir rolü vardır. Kalsiyum (kireç) ile birleşen kil parçacıkları kolayca flokülasyon yaparken, sodyum ile birleşme yapmazlar. Kilin yapışkanlık özelliği parçacık grupları küçük olduğunda (kırıntı gibi) toprak yapısı için çok faydalıdır. Kil toprakları deniz suyu ile su bastığında veya ıslakken işlendiğinde deflokülasyon meydana gelebilir. İkincisi meydana gelirse, su birikintisi haline gelirler ve kuru havada kil sert topraklara veya keseklere dönüşür. Don etkisi, ıslanma ve kuruma dönemlerinin dönüşümlü olarak uygulanması, büyük toprakların veya keseklerin kırıntı durumuna geri dönmesine neden olur. Bu nedenle oluşan çatlaklara biraz hava gelir. Bu çatlaklar, kesek tekrar ıslandığında kalır ve böylece sonunda keseği kıran zayıflık çizgileri oluşur. Uzun süreli kuru havalarda, bu çatlaklar geniş ve derin hale gelebilir. Bu durum daha sonra meydana gelen drenaj için faydalı olabilir (Finch H.J.S. ve ark., 2014).

2.5.2. Kumlu toprak

Kumlar, apı 2-0.02 mm veya 20.05 mm aralığında olan ve düşük zgöl yüzey alanına (0.0011-0.1 m²/g) sahip büyük boyutlu parçacıklardır. Bu topraklar tek taneli bir yapıya sahiptir ve toprak gövdesinin iskeletini oluşturur. Kum taneleri çoğunlukla kuvars içerir ancak ayrıca feldispat ve mika parçaları ve bazı ağıır metallerin izlerini de içerir. Bu topraklar % 70 kum ve % 15 kil ile karakterize edilir ve bu toprakları işlemek için gereken düşük su çekimi nedeniyle hafif toprak olarak da bilinir, çünkü kumlu topraklar gevşek ve işlenmesi kolaydır.



şekil 2.15. Kumlu Toprak

zellikleri, kumlu topraklar akilli bir yapıya sahiptir ve parçacıklar kolayca görülebilir. Büzülme ve şişme özelliğı ihmal edilebilir düzeydedir. Kumlu topraklarda su tutma kapasitesi, daha fazla makro gözenek oranı ve düşük organik madde içeriğı nedeniyle düşüktür. Sonuç olarak, bu topraklar daha az su tutabilir ve daha fazla sızıntıya neden olabilir. Bu nedenle, besin sağılama kapasiteleri zayıftır ve doğıal olarak verimleri azdır. Geliřimleri zayıf olduğıundan yapı eksikliğı vardır ve düşük tamponlama özellikleri gösterir. Ayrıca sızma kapasitesi ve geçirgenlikleri yüksektir.

2.5.3. Tuzlu toprak

Tuzlu topraklar geleneksel olarak doygunluk özütünün elektriksel iletkenliğinin $> 4 \text{ dS m}^{-1}$ ve ESP'nin (sodyum yüdesi) $< \%15$ olduğu topraklar olarak sınıflandırılmıştır. Bazı bilim insanları tuzlu topraklar için ECe sınırının 2 dS m^{-1} 'e düşürülmesini önermişlerdir. Çünkü birçok ürün, özellikle meyve ve süs bitkileri, $2 - 4 \text{ dS m}^{-1}$ aralığındaki tuzluluktan zarar görebilir.



Şekil 2.16. Tuzlu Toprak

Tuzlu topraklardaki en büyük sorun, öncelikle Cl^- , SO_4^{2-} ve bazen NO_3^- olmak üzere çözünür tuzların varlığıdır. CaSO_4 ve CaCO_3 gibi düşük çözünürlüğe sahip tuzlar da mevcut olabilir. Değiştirilebilir Na^+ bir sorun olmadığından, tuzlu topraklar genellikle floküle olur ve su geçirgenliği iyidir (Richards, 1954).

Tuzlu topraklar, iyi kalitede (düşük elektrolit konsantrasyonu) suyla yıkanarak geri kazanılabilir. Su, tuzların çözünmesine ve kök bölgesinden uzaklaştırılmasına neden olur. Başarılı bir ıslah için, tuzluluk, yetiştirilen belirli ürün için eşik değerlerinin altına, toprağın üst 45 ila 60 cm'sinde düşürülmelidir (Keren ve Miyamoto, 1990). Islah, çeşitli faktörler tarafından engellenebilir (Bresler ve diğerleri, 1982): yüksek su tablasının neden olduğu kısıtlı drenaj, kısıtlayıcı toprak katmanları nedeniyle düşük toprak hidrolik iletkenliği, iyi kalitede su eksikliği ve iyi kalitede suyun yüksek maliyeti.

2.5.4. Kırmızı toprak

Kırmızı toprağın rengi kırmızıdan kahverengiye, çikolata rengine, sarıya, griye veya bazen siyaha kadar değişir. Kırmızı toprak, renginden sorumlu olan yüksek oranda demir içerir.



Şekil 2.17. Kırmızı Toprak

Bu toprak, azot, humus, fosforik asit, magnezyum ve kireç bakımından yetersizdir ancak potasyum bakımından oldukça zengindir ve pH'ı nötrden asidik seviyeye kadar değişir. Eski kristalin ve metamorfik kayaların, özellikle asitli granit ve gnaysların, kuvarsit kayalarının ve feldspatik kayaların aşınmasıyla oluşur. Kimyasal olarak, kırmızı toprak silisli ve alüminyumludur, kum olarak serbest kuvars içerir ancak potasyum bakımından zengindir ve çoğunluğu tınlı olan kumdan kile kadar değişir. Kırmızı toprağın en alt kısmı koyu renkli ve çok verimlidir, üst tabakası ise kumlu ve gözeneklidir. Bu nedenle, gübrelerin ve sulamanın uygun şekilde kullanılması yüksek oranda pamuk, buğday, pirinç, bakliyat, darı, tütün, yağ tohumu, patates ve meyve üretimi sağlar. Hindistan'ın toplam coğrafi alanının yaklaşık %10,6'sı, Tamil Nadu, Karnataka'nın bazı kısımları, güneydoğu Maharashtra, doğu Andhra Pradesh ve Madhya (http://www.importantindia.com/12596/red-soil-in-india/).

Çalışma için dört farklı çeşit toprak (killi, kumlu, tuzlu ve kırmızı toprak) yaygın arazi toprağı olduğu düşünülerek seçilmiş ve tedarik edilmiştir. Ayrıca analizleri Selçuk

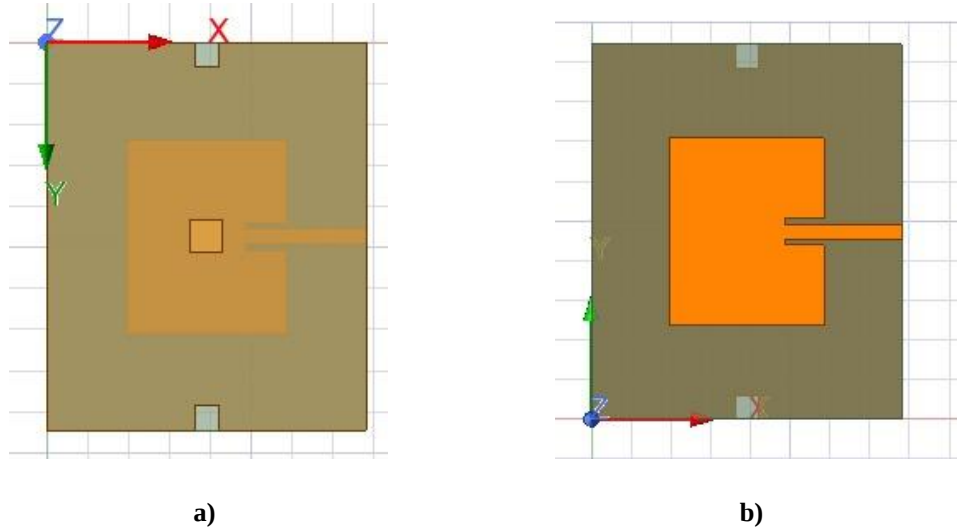
Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümünde yaptırılmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1 Killi, kumlu, kırmızı ve tuzlu toprak analiz sonuçları

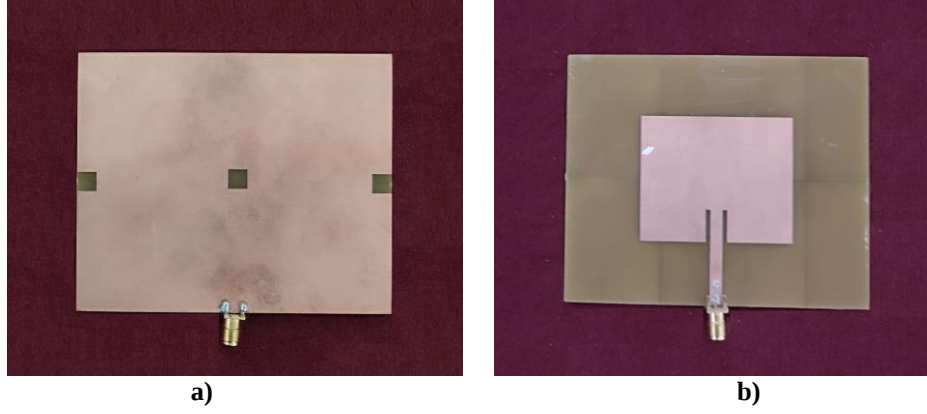
	pH 1:2.5, toprak:su	EC $\mu\text{S/cm}$, 1:5 toprak su	Direnç (Ω)	Organik Madde %	Kum %	Kil %	Silt %
Killi toprak	7.6	155.3	6439	0.91	24.17	31.10	44.73
Kumlu toprak	7.9	73.5	13605	0.84	71.67	18.33	10.00
Kırmızı toprak	7.7	69.3	14430	1.89	33.90	43.69	22.41
Tuzlu toprak	7.5	2131	469	5.94	44.89	12.61	42.50

2.6. Mayın tespiti ve toprak etkisi için mikrodalga anten tasarımı

Bu çalışmada mayın tespiti ve toprak yapılarının etkisi için 9 GHz mikroşerit yama anten tasarımı mikrodalga sensör yapısı kapsamında değerlendirilebilecek olan mikroşerit anten tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.18).



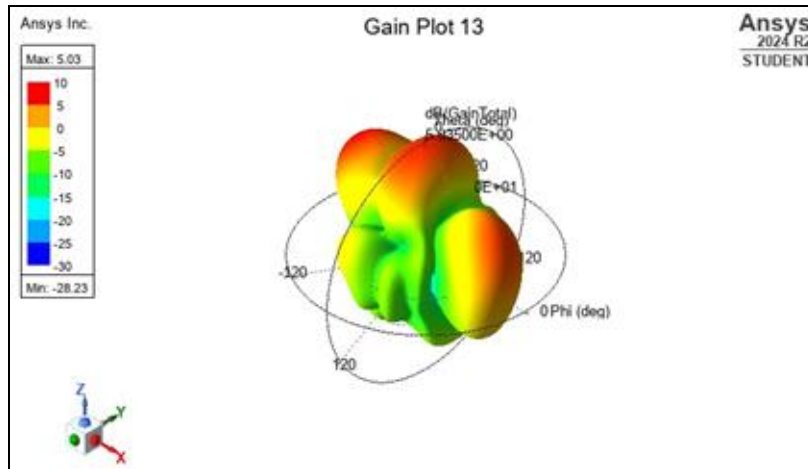
Şekil 2.18. a) arka yüz b) ön yüz 9 GHz mikroşerit yama anten HFSS tasarım



Şekil 2.19. a) arka yüz b) ön yüz 9 GHz mikroşerit yama anten üretim

FR4 malzemesi kullanılarak 94.49x78.02 mm boyutlarında tasarlanan mikroşerit anten dielektrik değeri $\epsilon = 4.17$, dielektrik kalınlığı $h = 1.6$ mm, kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.002$, iletken taban ve yama kalınlıkları 0,035 mm'dir. Anten kazancını arttırmak için yama yüzeyi kenarda ve ortada 6x6 mm boyutunda 3 adet yarık açılmıştır. Bu işlem için çeşitli denemeler yapılmış ve en iyi değer elde edilmiştir.

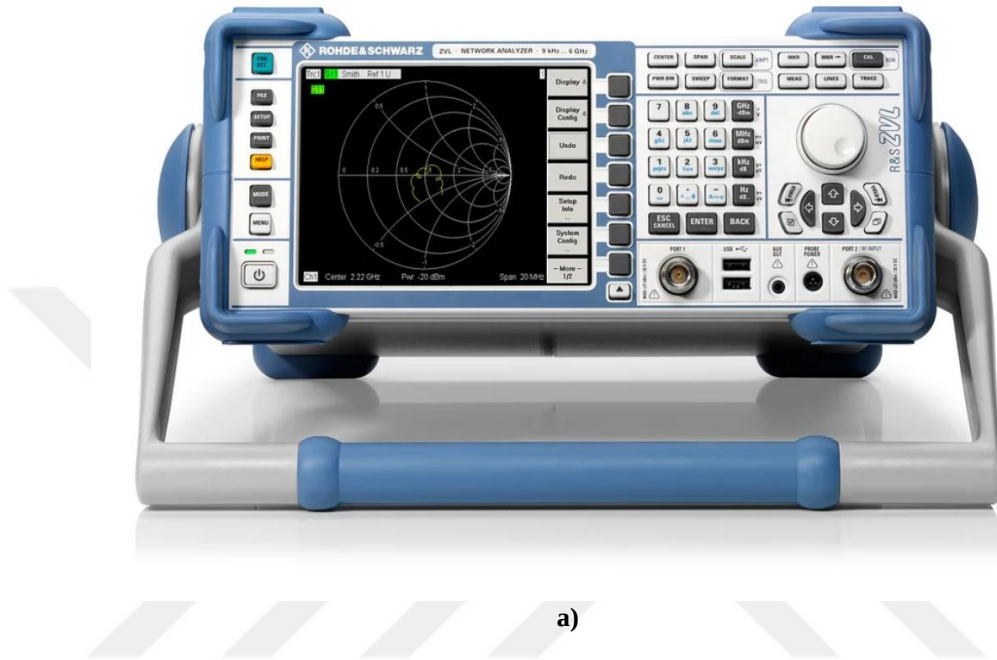
Tasarlanan yama mikroşerit anten 1-13 GHz arası birçok bölgede rezonansa girmiştir. Ayrıca antenin kazancının simülasyon değeri 5.03 dB'dir (Şekil 2.20). Bu değerler tasarlanıp üretilen antenin performansının iyi olduğu anlamına gelmektedir. Buna göre bu bölgelerde anten aktif olarak çalışmaktadır. Deneysel olarak elde edilen değerlerin rezonansa giren bölgeleri için (tespit edilen 7 farklı bölge) hazırlanan deneysel düzende dört farklı toprak için mayının varlığında ve yokluğunda S_{11} ve S_{21} saçılma parametreleri elde edilerek incelenmiştir. Sonuçlar bölüm 3'te verilmiştir.



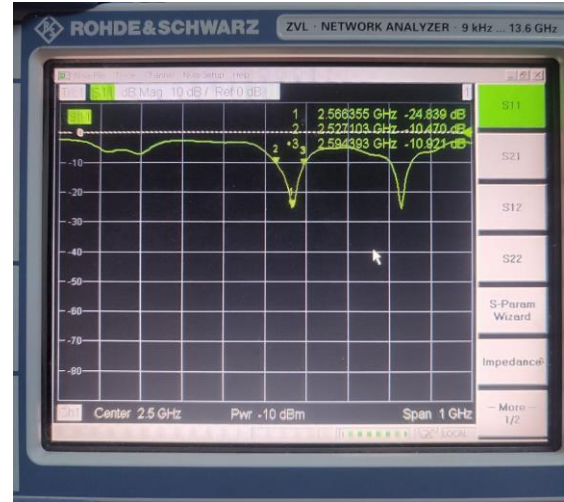
Şekil 2.20. X Band mikroşerit yama anten simüle edilmiş kazanç grafiği

2.6.1. VNA

Deneylerde kullanılan VNA (Vektör Network Analizör), Rohde & Schwarz ZVL13, 2-Ports, N (f), 9 kHz - 13,6 GHz'dir.



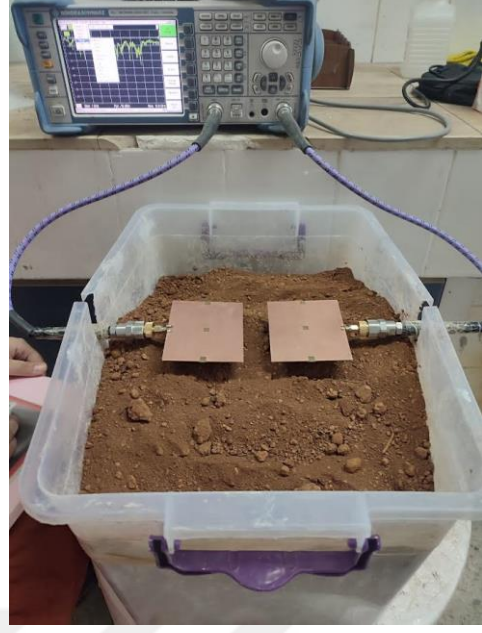
b)



c)



d)



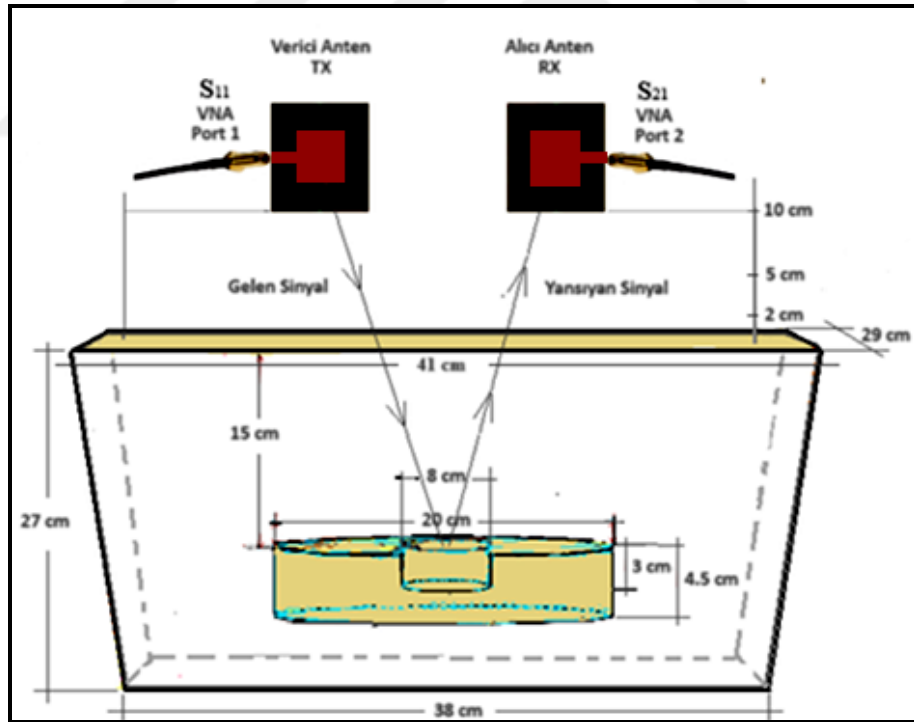
e)

Şekil 2.21. Deneylerde kullanılan VNA ve deney düzeneği (Vektör Network Analizör) fotoğrafları

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışmada mayın tespiti için ve toprak yapılarının mayın tespitine etkisinin araştırılması için bir deney düzeneği geliştirilmiştir.

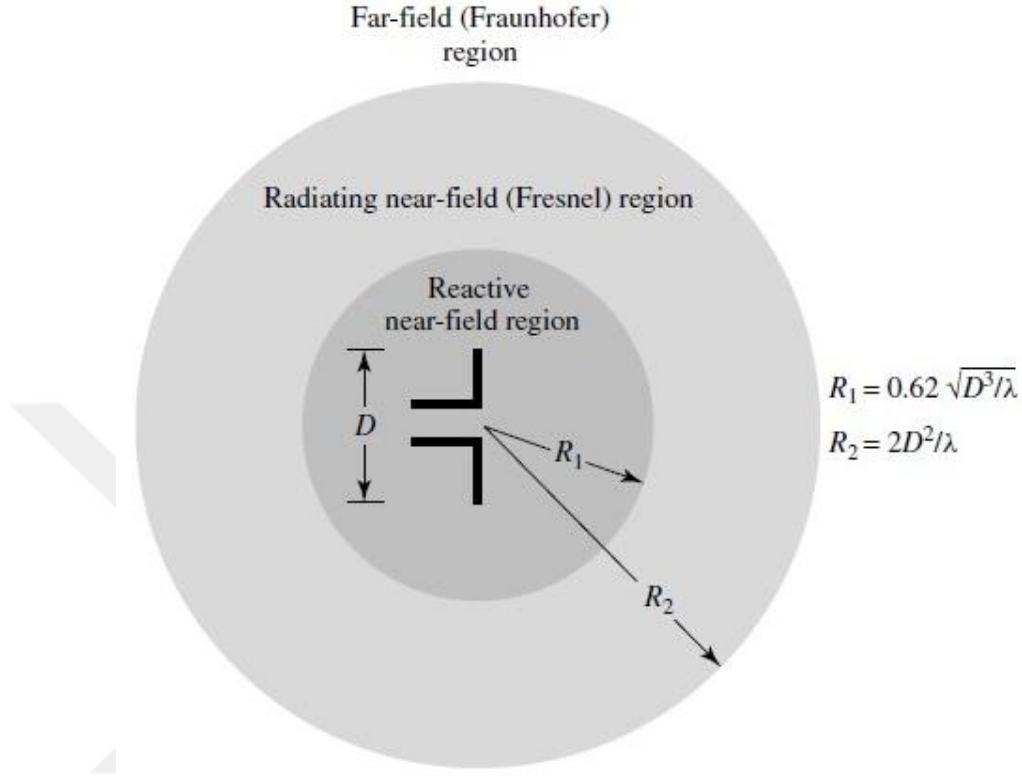
Çalışmada dört farklı tip toprak üzerinde, iki adet (alıcı ve verici) mikroşerit anten kullanılarak mayın tespiti amaçlı bir deney düzeneği geliştirilmiştir (Şekil 3.1). Deneylerde, killi, kumlu, tuzlu ve kırmızı toprak (Şekil 2.14, Şekil 2.15, Şekil 2.16 ve Şekil 2.17), genel olarak gerçeğini simüle edeceği düşünülen ve 20x4.5 cm boyutlarında epoksi temelli tasarlanıp üretilen pasif bir mayın (Şekil 2.12), mayın içine yerleştirilen ve şarapnel parçalarını simüle eden 52 adet demir parçası ile 50 gram barut (Şekil 2.13) ve yine tasarlanıp üretilen hem alıcı, hemde verici olmak üzere 1-13 GHz aralığında çeşitli bölgelerde rezonansa giren yüksek kazançlı bir ışıyıcı mikroşerit yama anten kullanılmıştır (Şekil 2.18, 2.19).



Şekil 3.1. Mayın tespiti deney düzeneği

Deney düzeneği için oluşturulan şartlar, mayın tespitinde toprağın etkisinin belirlenmesine yönelik senaryoyu içermektedir. Bu sebeple ışıyıcı bir anten kullanılarak

alınan veriler, toprak yüzeyinden 2, 5 ve 10 cm mesafelerden alınan verilerdir. Bu mesafeler yakın alan ve uzak alan (Şekil 3.3) koşullarını kapsayacak şekilde seçilmiştir.



Şekil 3.2. Yakın alan modeli/uzak alan modeli.

$$\text{Yakın Alan} = R_1 = 0.62x(D^3/\lambda)^{1/2} \quad (3.1)$$

$$\text{Uzak Alan} = R_2 = 2D^2/\lambda \quad (3.2)$$

Denklem 3.1'e göre,

$$R_1 = 0.62x[D^3/(c/f)]^{1/2} = 0.62x[(94.49)^3/(3x10^{11}(\text{mm/sn})/9x10^9(1/sn))]^{1/2} = 98.64 \text{ mm.}$$

Denklem 3.2'e göre,

$$R_2 = 2D^2/\lambda = 2D^2/(c/f) = 2x(94.49)^2/(3x10^{11}(\text{mm/sn})/9x10^9(1/sn)) = 535.7 \text{ mm bulunur.}$$

Buna göre yakın alan için kullanılan “2 ve 5 cm” ve uzak alan için kullanılan “10 cm” mesafe; yakın alan için gerekli sınır 9.86 cm, uzak alan için gerekli sınır 53.57 cm olduğu için seçilen mesafeler uygundur.

“Yakın Alan” ve “Uzak Alan” kavramları bir elektromanyetik dalga kaynağının, konumu için, bir antenin etrafındaki bölgeyi tanımlar. Antenin yakın alanında, kaynağın yayın alanında bulunan farklı noktaların menzil ve buna karşılık gelen antene ulaşma süreleri nedeniyle işaretin bir evre uyumlu toplamı önlenir.

Yakın ve uzak alan parametrelerinin doğru hesaplanması, anten test ve ölçümlerinin hassasiyetini doğrudan etkiler. Özellikle radar, uydu iletişimi ve kablosuz haberleşme gibi yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda bu sınırların bilinmesi sistem tasarımının başarısı için bir kritiktir. Doğru bir analizle, antenlerin yayılım özellikleri optimize edilerek enerji kayıpları ve parazit etkileri minimize edilebilir. Ayrıca, antenlerin uzak alan özellikleri incelenerek sinyalin hedefe ulaşma verimliliği artırılabilir.

Yönsüz ışıyıcı (isotropic radiator) gibi bir noktasal yayın kaynağı yakın alana sahip değildir. Bir yakın alanın varlığı, sadece ışıyıcı kaynağın geometrik büyüklüğü dalga boyunun büyüklüğüne ulaştığında ya da onu aştığında söz konusu olabilir. Anten, yakın alanında sadece ışıma yapmakla kalmaz, aynı zamanda çevreden yayılan işaretleri de alır.

Yukarıdaki hesaba göre toprak seviyesine alıcı ve verici antenlerin uzaklıkları 2 ve 5 cm’lik mesafeler için yakın alan, 10 cm’lik mesafe için ise uzak alan denemeleri için kullanılmıştır. Bu işlem her bir torak için tekrarlanmıştır.

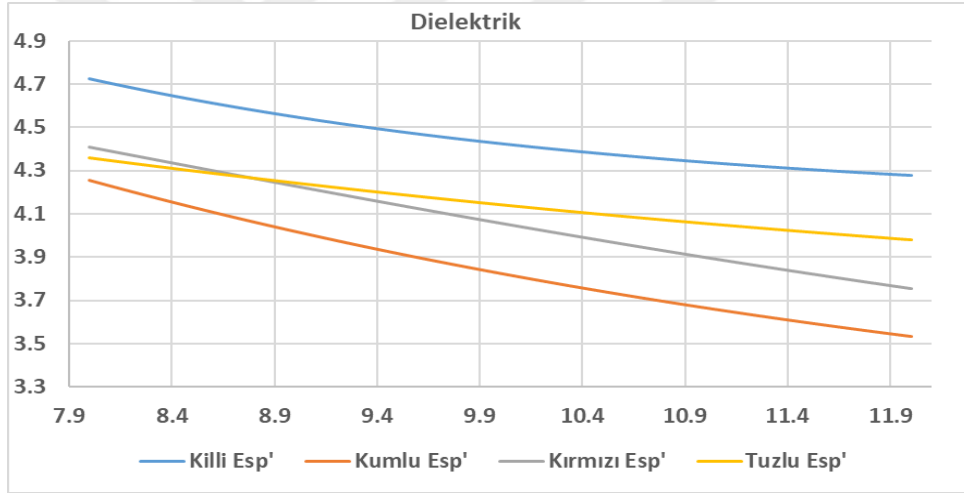
Toprağı ve mayını birbirinden ayıran en önemli parametre dielektriktir. Bu yüzden, 9 GHz’de tasarımı yapılan ve 1–13 GHz arası rezonans bölgelerinde deneyde kullanılan killi, kumlu, tuzlu ve kırmızı toprakların dielektrikleri ölçülmüştür. Bu ölçüm değerleri antenin tasarımında kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Killi, kumlu, tuzlu ve kırmızı toprağın dielektrik ölçüm değerleri

	f_r	Killi ϵ'	Kumlu ϵ'	Kırmızı ϵ'	Tuzlu ϵ'
1	8.00000	4.72548	4.25578	4.40983	4.35991
2	8.00000	4.72548	4.25578	4.40983	4.35991
3	8.00400	4.72465	4.25474	4.40911	4.35941
4	8.00801	4.72381	4.25370	4.40838	4.35892
5	8.01201	4.72298	4.25266	4.40765	4.35842
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
300	9.07307	4.53817	4.00422	4.21659	4.23543
301	9.07708	4.53760	4.00338	4.21588	4.23500
302	9.08108	4.53702	4.00253	4.21517	4.23457
303	9.08301	4.53675	4.00213	4.21483	4.23436
304	9.08508	4.53645	4.00169	4.21447	4.23414
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
397	9.42406	4.49068	3.93281	4.15520	4.19852
398	9.42543	4.49051	3.93254	4.15497	4.19838
399	9.42943	4.49000	3.93176	4.15427	4.19797

400	9.43343	4.48949	3.93097	4.15358	4.19756
401	9.43744	4.48898	3.93019	4.15289	4.19715
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
549	9.97798	4.42677	3.82968	4.06115	4.14390
550	9.98021	4.42654	3.82929	4.06077	4.14368
551	9.98198	4.42635	3.82898	4.06048	4.14352
552	9.98599	4.42594	3.82827	4.05981	4.14314
553	9.98999	4.42552	3.82757	4.05915	4.14276
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
704	10.54254	4.37340	3.73545	3.96941	4.09256
705	10.54655	4.37306	3.73482	3.96878	4.09221
706	10.55055	4.37272	3.73419	3.96814	4.09186
707	10.55456	4.37238	3.73356	3.96751	4.09151
708	10.55856	4.37204	3.73293	3.96688	4.09116
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
1095	11.98398	4.27740	3.53644	3.75642	3.97934
1096	11.98799	4.27720	3.53596	3.75587	3.97906
1097	11.99199	4.27699	3.53547	3.75533	3.97877
1098	11.99600	4.27679	3.53499	3.75478	3.97849
1099	12.00000	4.27659	3.53451	3.75423	3.97821

Not: Toprak dielektrik ölçümler, Karaman Mehmetbey Ün. Müh. Fak. Elk.-Elt. Müh. Böl. Lab. yapılmıştır.



Şekil 3.3. Killi, kumlu, kırmızı ve tuzlu toprağın dielektrik (ϵ_r) ölçüm grafiği

Mayın varken ve mayın yokken tekrarlanan bu deneylerde, mayın toprak yüzeyinin altına 15 cm mesafede konumlandırılmıştır. Deney sürecinde alınan elektriksel sonuç verileri ise S_{11} ve S_{21} saçılma verileridir.

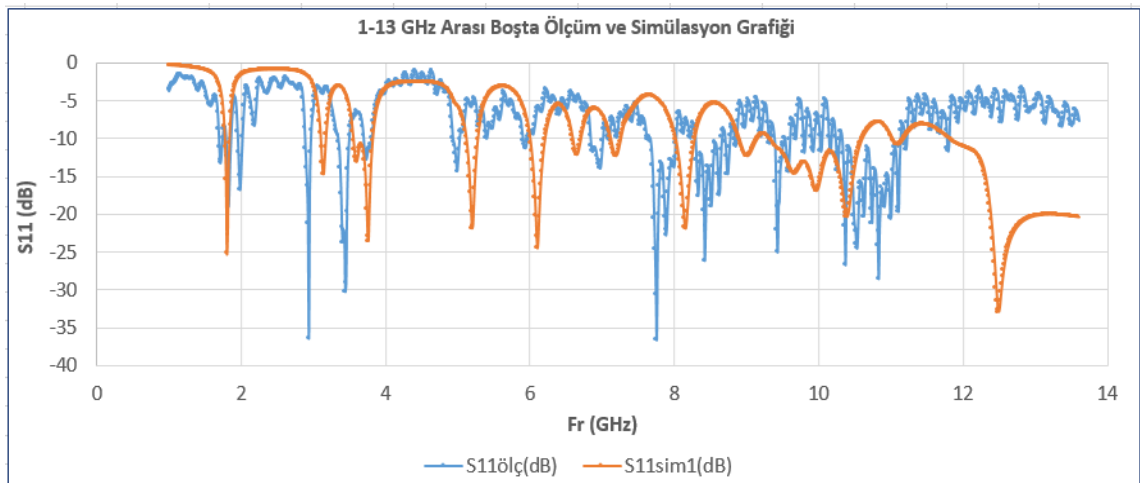
3.4. Deney Yöntemleri ve Sonuçlar

Deney kayıt sonuçlarına göre 4 farklı toprak için S_{11} ve S_{21} sonuçları 7 farklı rezonans bölge (Çizelge 3.1) için VNA'da ölçülerek elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. 1–13 GHz arası rezonans bölgeleri

1.Bölge	2.Bölge	3.Bölge	4.Bölge	5.Bölge	6.Bölge	7.Bölge
1.7223	2.8917	3.3732	5.8841	7.7070	9.3924	10.4471
1.7338	2.9032	3.3847	5.8955	7.7185	9.4038	10.4586
1.7452	2.9146	3.3962	5.9070	7.7299	9.4153	10.4701
1.7567	2.9261	3.4076	5.9185	7.7414	9.4268	10.4815
1.7682	2.9376	3.4191	5.9299	7.7529	9.4382	10.4930
1.7796	2.9490	3.4306	5.9414	7.7643	9.4497	10.5045
1.7911	2.9605	3.4420	5.9529	7.7758	9.4611	10.5159
1.8025	2.9720	3.4535	5.9643	7.7873	9.4726	10.5274
1.8140	2.9834	3.4650	5.9758	7.7987	9.4841	10.5389
--	--	3.4764	5.9873	7.8102	9.4955	10.5503
--	--	3.4879	5.9987	7.8217	9.5070	10.5618
--	--	3.4994	6.0102	7.8331	9.5185	10.5732
--	--	--	6.0217	--	--	10.5847
--	--	--	6.0331	--	--	10.5962
--	--	--	6.0446	--	--	10.6076
--	--	--	--	--	--	10.6191
--	--	--	--	--	--	10.6306
--	--	--	--	--	--	10.6420
--	--	--	--	--	--	10.6535
--	--	--	--	--	--	10.6650

1-13 GHz arası mikroşerit yama anten boşta S_{11} simülasyon ve ölçüm verileri Çizelge 3.2’de grafiği Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. 1-13 GHz arası mikroşerit yama anten boşta S_{11} simülasyon ve ölçüm grafiği

Çizelge 3.2. 1-13 GHz arası mikroşerit yama anten boşta S_{11} simülasyon ve ölçüm verileri

Fr (GHz)	S_{11} ölç (dB)	S_{11} sim (dB)
1.000000000	-3.686784117	-0.304022459
1.011464968	-3.438663896	-0.312399017
...	...	...
...	...	...
1.722292994	-12.796002461	-3.832830981
1.733757962	-11.329450181	-4.526484687
...	...	...
1.802547771	-12.360181929	-25.18754971
1.814012739	-15.970537184	-22.72975625
...	...	...
2.880254777	-8.642016215	-1.43863202
2.891719745	-11.372604086	-1.502472174
2.903184713	-13.906461114	-1.574769928
...	...	...
2.971974522	-8.834958733	-2.297091188
2.983439490	-7.243596636	-2.495857278
3.006369427	-5.143080331	-3.01197327
...	...	...
3.361783439	-11.556305283	-3.088775989
3.373248408	-13.926522092	-3.116729788
3.384713376	-17.307714482	-3.168328717
...	...	...
...	...	...
3.487898089	-11.426459730	-5.189876797
3.499363057	-9.663818233	-5.715934061
3.522292994	-7.828585387	-7.111068954
...	...	...
5.884076433	-8.529449870	-5.177742188
5.895541401	-9.423481305	-5.43956124
...	...	...
...	...	...
6.033121019	-9.356039659	-12.77420761
6.044585987	-9.422772728	-14.14939947
6.067515924	-8.155771755	-17.82208834
...	...	...
7.707006369	-16.414492850	-4.415013954
7.718471338	-20.521088045	-4.462383797
...	...	...
...	...	...
7.821656051	-13.137622681	-5.286152812
7.833121019	-13.574946809	-5.424998488
7.856050955	-17.782456317	-5.736070973
...	...	...
9.392356688	-10.989819676	-10.93254979
9.403821656	-15.816248545	-11.04909604
...	...	...
...	...	...
9.507006369	-10.555611999	-11.92584955
9.518471338	-10.021168687	-12.09029151
9.529936306	-9.941716454	-12.27980586
...	...	...
10.447133758	-13.204323669	-16.91822341
10.458598726	-14.708698697	-16.06395419
...	...	...
...	...	...
10.653503185	-12.948668481	-9.075467266
10.664968153	-11.658880477	-8.918056731
...	...	...
13.588535032	-7.011068816	-20.40764525
13.600000000	-7.633801310	-20.42324682

7 farklı rezonans bölgede her bir toprak için elde edilen deney kayıt sonuçları
Çizelge 3.3, Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Havada Kuru (%1.41) nemlilikte kumlu toprak için 7 rezonans bölgesinde mayın varken ve yokken 2, 5, ve 10 cm mesafelerde ölçülen S_{11} ve S_{21} sonuçları

	Fr (GHz)	Kum MYok 2cm S11	Kum MYok 2cm S21	Kum MVar 2cm S11	Kum MVar 2cm S21	Kum MYok 5cm S11	Kum MYok 5cm S21	Kum MVar 5cm S11	Kum MVar 5cm S21	Kum MYok 10cm S11	Kum MYok 10cm S21	Kum MVar 10cm S11	Kum MVar 10cm S21
	1.00	-3.50	-69.74	-2.99	-60.16	-3.04	-66.61	-1.11	-81.36	-1.06	-75.93	-2.92	-60.99
	1.01	-3.15	-65.41	-2.64	-58.90	-2.77	-67.12	-1.04	-82.92	-1.01	-69.06	-2.63	-63.17
	1.02	-2.78	-65.40	-2.38	-59.70	-2.46	-65.65	-1.02	-74.82	-1.02	-71.41	-2.38	-63.52
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1. Bölge	1.72	-9.09	-51.45	-9.86	-54.03	-11.67	-52.59	-10.28	-43.56	-10.82	-47.58	-12.79	-57.62
	1.73	-12.41	-49.31	-13.19	-52.69	-11.05	-49.22	-8.93	-43.35	-9.67	-45.49	-19.21	-55.20
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1.80	-12.15	-46.14	-12.65	-45.48	-10.22	-43.43	-14.70	-41.09	-12.84	-40.58	-15.12	-53.37
	1.81	-9.20	-49.07	-9.57	-50.44	-8.70	-48.27	-10.10	-46.28	-9.06	-44.34	-12.48	-57.51
	1.83	-7.53	-56.83	-7.72	-53.16	-7.72	-50.83	-7.83	-49.17	-7.08	-45.79	-10.78	-64.06
	1.84	-6.31	-53.44	-6.46	-53.08	-7.04	-49.70	-6.40	-50.62	-5.72	-48.71	-9.69	-63.11
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2. Bölge	2.89	-10.65	-51.85	-10.44	-63.44	-10.46	-49.98	-7.99	-43.32	-7.98	-48.79	-11.17	-41.85
	2.90	-12.80	-50.06	-12.24	-62.39	-13.17	-49.09	-7.98	-41.02	-8.01	-46.14	-13.12	-39.21
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2.97	-11.93	-53.06	-12.38	-53.37	-9.58	-50.42	-16.57	-40.04	-18.47	-44.03	-10.24	-38.45
	2.98	-9.45	-54.29	-9.71	-52.38	-7.60	-52.58	-13.12	-40.18	-14.01	-45.35	-8.23	-39.59
	2.99	-8.16	-57.96	-8.34	-52.48	-6.61	-56.49	-11.30	-42.53	-11.81	-47.66	-7.16	-41.95
	3.01	-7.10	-52.91	-7.13	-50.51	-5.62	-58.04	-8.34	-38.19	-8.58	-42.76	-6.16	-37.35
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3. Bölge	3.37	-10.27	-40.84	-9.91	-41.07	-12.13	-32.69	-8.32	-33.59	-8.21	-28.16	-10.81	-35.35
	3.38	-11.85	-38.57	-11.93	-40.63	-14.49	-31.74	-10.22	-32.64	-9.83	-27.28	-12.86	-33.69
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	3.49	-12.84	-39.62	-12.37	-38.37	-12.22	-36.44	-6.51	-36.87	-6.86	-31.81	-11.07	-33.48
	3.50	-10.47	-40.49	-10.14	-38.39	-10.06	-37.62	-5.85	-37.45	-6.19	-31.94	-9.41	-33.76
	3.51	-9.16	-41.49	-8.92	-38.83	-8.75	-38.59	-5.58	-38.52	-5.78	-32.22	-8.23	-34.26
	3.52	-8.33	-43.76	-7.86	-40.34	-7.90	-40.77	-5.59	-39.89	-5.65	-32.98	-7.42	-35.76
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4. Bölge	5.88	-12.04	-60.32	-12.09	-60.32	-9.26	-44.00	-11.14	-43.36	-10.69	-39.35	-11.44	-42.51
	5.90	-13.55	-59.92	-13.66	-57.29	-10.73	-44.61	-12.22	-43.72	-11.98	-40.00	-12.73	-41.51
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	6.03	-13.86	-56.12	-13.68	-53.70	-12.45	-48.13	-15.54	-43.64	-16.72	-43.67	-13.02	-37.84
	6.04	-12.62	-57.29	-12.29	-55.32	-11.10	-48.97	-13.68	-44.47	-14.54	-44.05	-11.95	-38.67
	6.06	-11.70	-57.68	-11.70	-55.37	-10.13	-49.99	-12.68	-45.82	-13.26	-44.10	-11.16	-39.23
	6.07	-10.85	-59.01	-10.88	-56.85	-9.20	-50.17	-11.73	-46.81	-12.25	-44.48	-10.19	-39.92
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5. Bölge	7.71	-15.66	-56.40	-15.59	-65.22	-14.77	-45.72	-15.44	-44.11	-14.93	-47.12	-15.23	-39.99
	7.72	-20.08	-56.53	-18.88	-66.19	-18.12	-45.66	-18.91	-44.60	-18.38	-48.54	-18.49	-39.99
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	7.82	-14.83	-57.67	-14.89	-54.08	-15.37	-52.01	-15.20	-48.41	-15.42	-49.92	-15.09	-40.75
	7.83	-15.24	-55.88	-15.17	-53.89	-15.73	-51.36	-15.41	-48.71	-15.78	-47.46	-15.49	-40.82
	7.84	-16.55	-56.19	-16.57	-53.37	-16.98	-51.07	-16.93	-48.08	-17.21	-46.43	-16.55	-40.92
	7.86	-18.59	-57.71	-18.74	-52.70	-19.31	-50.21	-19.23	-46.93	-19.34	-46.26	-19.04	-40.72
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6. Bölge	9.39	-10.10	-57.45	-10.31	-43.35	-10.06	-51.70	-10.85	-48.90	-10.20	-55.93	-10.44	-39.78
	9.40	-11.68	-54.35	-12.01	-43.54	-12.29	-48.28	-12.35	-46.76	-12.49	-56.00	-11.77	-38.97
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	9.51	-11.45	-55.67	-12.00	-44.23	-11.52	-45.93	-11.17	-46.56	-11.54	-52.38	-11.54	-36.47
	9.52	-10.56	-55.97	-10.36	-44.30	-10.34	-46.15	-9.96	-47.28	-10.17	-51.92	-10.25	-36.57
	9.53	-10.03	-54.66	-10.10	-44.32	-9.86	-46.84	-9.54	-47.54	-9.83	-53.03	-9.90	-36.67
	9.54	-10.28	-54.64	-10.18	-44.19	-10.14	-46.86	-9.97	-47.48	-10.01	-54.02	-10.00	-36.70
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7. Bölge	10.45	-14.20	-61.47	-14.39	-48.11	-14.63	-43.35	-14.94	-37.50	-14.45	-40.12	-14.27	-50.58
	10.46	-16.95	-59.84	-18.44	-46.87	-17.63	-41.96	-18.39	-36.38	-18.18	-38.37	-17.39	-48.02
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	10.65	-15.72	-46.54	-16.24	-48.00	-16.01	-35.73	-16.06	-34.84	-16.77	-31.81	-16.58	-37.56
	10.66	-14.10	-46.84	-14.29	-46.79	-14.41	-36.43	-14.72	-35.76	-14.80	-32.85	-14.56	-37.83
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	13.59	-7.56	-62.32	-7.74	-61.55	-7.58	-58.68	-7.84	-46.35	-7.89	-69.87	-7.76	-46.78
	13.60	-8.18	-57.68	-8.21	-64.32	-8.03	-56.41	-8.34	-45.64	-8.48	-71.90	-8.48	-46.09

Çizelge 3.4. Havada Kuru (%2.44) nemlilikte killi toprak için 7 rezonans bölgesinde mayın varken ve yokken 2, 5, ve 10 cm mesafelerde ölçülen S_{11} ve S_{21} sonuçları

	Fr (GHz)	Kil MYok 2cm S11	Kil MYok 2cm S21	Kil MVar 2cm S11	Kil MVar 2cm S21	Kil MYok 5cm S11	Kil MYok 5cm S21	Kil MVar 5cm S11	Kil MVar 5cm S21	Kil MYok 10cm S11	Kil MYok 10cm S21	Kil MVar 10cm S11	Kil MVar 10cm S21
	1.00	-2.06	-62.90	-3.06	-60.76	-2.54	-60.52	-2.30	-74.81	-1.04	-69.41	-1.06	-60.19
	1.01	-1.88	-66.49	-2.75	-60.97	-2.26	-60.78	-2.06	-89.51	-1.02	-72.24	-1.02	-64.92
	1.02	-1.70	-61.94	-2.46	-63.63	-1.99	-62.50	-1.90	-84.90	-1.00	-69.47	-1.02	-59.20
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1. Bölge	1.72	-10.22	-48.33	-10.79	-52.97	-9.72	-47.05	-9.56	-43.42	-10.72	-47.26	-10.58	-52.25
	1.73	-12.66	-44.58	-15.96	-50.74	-11.78	-45.24	-11.56	-43.30	-9.16	-47.01	-9.10	-53.28
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1.80	-12.59	-40.66	-12.42	-47.86	-13.22	-39.53	-12.85	-42.67	-13.49	-44.02	-12.35	-42.70
	1.81	-9.54	-45.02	-10.81	-51.10	-9.48	-43.47	-9.10	-45.85	-9.72	-49.57	-8.99	-44.28
	1.83	-7.71	-48.56	-9.66	-51.97	-7.68	-46.31	-7.30	-50.14	-7.71	-50.75	-7.16	-46.64
	1.84	-6.56	-47.58	-8.93	-52.65	-6.44	-46.93	-6.08	-51.14	-6.43	-53.24	-6.00	-46.36
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2. Bölge	2.89	-9.65	-47.53	-9.71	-53.19	-10.88	-44.91	-11.01	-44.28	-7.78	-38.38	-8.00	-45.12
	2.90	-10.70	-44.17	-11.40	-52.37	-12.35	-42.57	-12.58	-44.48	-7.69	-35.78	-8.08	-43.56
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2.97	-14.04	-42.75	-13.51	-47.93	-10.18	-39.61	-10.14	-44.55	-20.16	-33.79	-17.42	-45.69
	2.98	-10.82	-43.20	-10.68	-50.60	-8.10	-40.24	-8.12	-43.95	-15.28	-34.68	-13.49	-46.94
	2.99	-9.23	-46.37	-9.19	-48.85	-7.10	-41.48	-7.06	-49.86	-13.01	-36.02	-11.51	-47.69
	3.01	-7.64	-41.60	-7.76	-45.95	-5.84	-37.84	-6.01	-45.50	-9.29	-32.39	-8.46	-44.75
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3. Bölge	3.37	-9.31	-32.11	-9.72	-38.43	-11.04	-29.75	-10.94	-32.61	-6.97	-33.25	-8.33	-27.77
	3.38	-11.11	-30.93	-11.22	-37.01	-13.56	-29.04	-13.25	-31.50	-8.08	-31.69	-9.95	-26.85
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	3.49	-11.36	-32.22	-13.31	-36.45	-10.72	-33.51	-10.90	-34.99	-5.69	-33.71	-7.01	-29.81
	3.50	-9.58	-32.49	-11.04	-36.74	-9.03	-33.67	-8.96	-34.95	-5.28	-33.76	-6.21	-29.97
	3.51	-8.49	-32.95	-9.63	-36.82	-7.94	-34.01	-8.07	-35.39	-5.02	-34.02	-5.85	-30.44
	3.52	-7.83	-34.44	-8.66	-38.27	-7.43	-35.13	-7.27	-37.01	-4.96	-35.44	-5.85	-31.77
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4. Bölge	5.88	-11.16	-46.52	-11.36	-53.21	-10.88	-44.19	-12.31	-45.69	-10.97	-40.39	-9.41	-44.16
	5.90	-12.20	-46.68	-12.68	-53.12	-12.06	-45.69	-13.71	-45.58	-12.61	-39.18	-10.62	-44.82
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	6.03	-14.87	-47.36	-14.97	-50.59	-14.28	-44.72	-12.37	-42.02	-13.15	-36.28	-22.41	-41.62
	6.04	-13.49	-49.36	-13.46	-52.65	-13.45	-45.12	-11.67	-42.46	-12.18	-36.69	-18.42	-41.55
	6.06	-12.46	-49.40	-12.62	-53.93	-12.26	-45.18	-10.90	-43.05	-11.47	-37.04	-16.51	-41.75
	6.07	-11.57	-50.85	-11.76	-56.36	-11.53	-45.54	-10.29	-43.22	-10.71	-37.47	-15.09	-41.94
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5. Bölge	7.71	-15.53	-48.48	-14.82	-55.44	-14.89	-42.17	-15.55	-43.47	-15.42	-38.47	-15.81	-48.47
	7.72	-18.78	-48.11	-19.08	-55.00	-18.25	-42.56	-19.15	-43.73	-18.98	-38.55	-18.75	-48.99
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	7.82	-14.64	-52.14	-15.36	-54.59	-14.61	-44.62	-15.64	-49.12	-15.80	-39.73	-15.19	-45.43
	7.83	-14.96	-51.60	-15.56	-54.17	-15.22	-44.32	-15.97	-47.74	-16.22	-39.95	-15.66	-44.69
	7.84	-16.23	-52.32	-16.91	-55.93	-16.74	-44.28	-17.50	-47.07	-18.10	-39.62	-16.94	-44.62
	7.86	-18.40	-51.34	-18.81	-55.46	-18.68	-43.85	-19.78	-46.53	-20.22	-39.51	-18.81	-44.46
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6. Bölge	9.39	-10.08	-54.80	-9.94	-57.96	-10.55	-51.97	-10.07	-42.48	-11.24	-35.34	-10.25	-48.20
	9.40	-12.53	-53.03	-12.19	-51.29	-12.71	-49.01	-12.22	-42.50	-13.42	-35.32	-12.40	-46.12
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	9.51	-11.74	-55.20	-11.73	-53.69	-11.52	-49.96	-12.80	-41.86	-11.79	-34.08	-11.65	-49.24
	9.52	-10.24	-55.18	-10.76	-53.24	-10.40	-50.63	-11.32	-41.78	-10.51	-34.18	-10.23	-49.97
	9.53	-9.91	-55.06	-10.25	-54.83	-9.93	-51.58	-10.69	-42.38	-9.71	-34.38	-9.78	-50.47
	9.54	-10.08	-56.75	-10.19	-55.87	-10.07	-54.38	-10.64	-42.48	-9.68	-34.45	-9.88	-50.54
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7. Bölge	10.45	-16.01	-40.54	-13.21	-47.04	-16.08	-36.12	-14.99	-39.68	-14.97	-57.07	-17.04	-38.80
	10.46	-20.60	-39.29	-16.48	-45.68	-21.98	-35.17	-18.74	-38.69	-18.26	-58.14	-22.33	-37.60
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	10.65	-16.15	-37.27	-15.71	-43.17	-16.27	-35.45	-16.84	-35.90	-15.98	-36.47	-16.91	-36.27
	10.66	-15.03	-38.28	-13.60	-43.36	-15.11	-36.36	-14.93	-36.50	-14.47	-35.89	-15.98	-37.59
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	13.59	-8.90	-61.39	-8.37	-57.78	-9.26	-45.43	-7.83	-48.39	-8.30	-51.10	-11.10	-47.51
	13.60	-9.78	-57.42	-8.97	-60.65	-10.04	-45.48	-8.38	-48.15	-8.73	-51.45	-11.66	-48.40

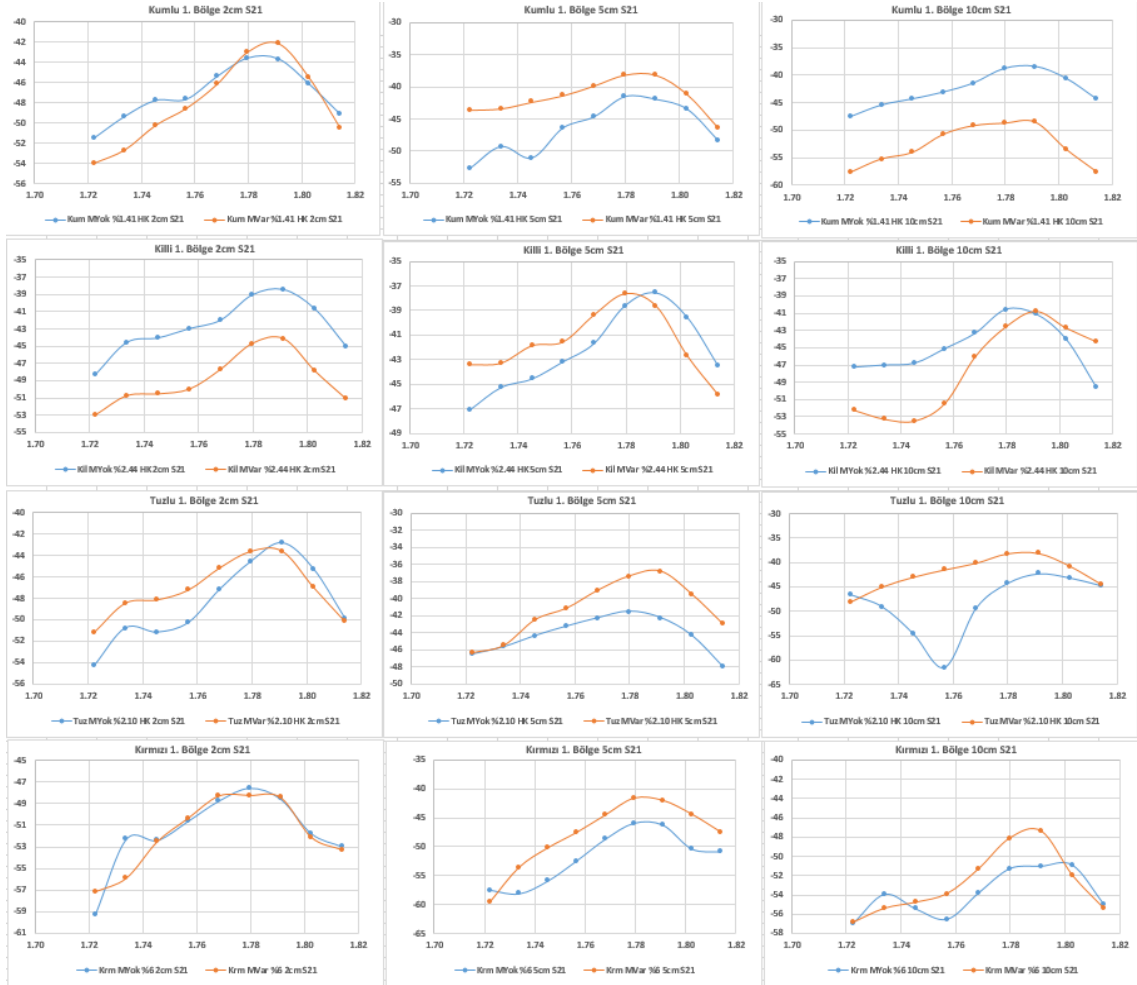
Çizelge 3.5. Havada Kuru (%2.10) nemlilikte Tuzlu toprak için 7 rezonans bölgesinde mayın varken ve yokken 2, 5, ve 10 cm mesafelerde ölçülen S_{11} ve S_{21} sonuçları

	Fr (GHz)	Tuz MYok 2cm S11	Tuz MYok 2cm S21	Tuz MVar 2cm S11	Tuz MVar 2cm S21	Tuz MYok 5cm S11	Tuz MYok 5cm S21	Tuz MVar 5cm S11	Tuz MVar 5cm S21	Tuz MYok 10cm S11	Tuz MYok 10cm S21	Tuz MVar 10cm S11	Tuz MVar 10cm S21
	1.00	-2.38	-62.23	-3.18	-59.40	-1.05	-64.98	-2.91	-59.24	-2.83	-64.48	-1.05	-70.09
	1.01	-2.22	-62.62	-2.99	-59.82	-1.03	-82.89	-2.66	-57.80	-2.54	-64.95	-1.03	-74.29
	1.02	-2.04	-61.97	-2.69	-66.59	-1.01	-72.44	-2.43	-59.13	-2.33	-60.95	-1.01	-64.05
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1. Bölge	1.72	-9.76	-54.32	-10.07	-51.19	-10.21	-46.53	-9.62	-46.33	-9.69	-46.55	-10.65	-48.12
	1.73	-12.53	-50.78	-13.64	-48.43	-9.01	-45.68	-12.57	-45.48	-12.79	-49.02	-9.45	-45.06
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1.80	-12.51	-45.26	-12.44	-46.96	-14.14	-44.34	-13.78	-39.52	-11.32	-43.08	-12.30	-40.76
	1.81	-9.24	-49.88	-9.45	-50.15	-9.48	-48.02	-9.78	-43.00	-8.38	-44.68	-8.71	-44.49
	1.83	-7.35	-53.12	-7.71	-50.85	-7.30	-50.99	-7.87	-43.99	-6.73	-46.03	-6.76	-47.34
	1.84	-6.13	-55.27	-6.48	-52.44	-5.88	-58.16	-6.58	-44.98	-5.63	-48.10	-5.51	-50.54
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2. Bölge	2.89	-10.21	-51.87	-10.50	-52.96	-7.89	-50.10	-11.18	-47.84	-11.50	-48.45	-8.18	-48.12
	2.90	-11.80	-50.53	-12.37	-49.11	-7.91	-47.50	-13.16	-45.27	-13.55	-46.46	-8.12	-45.56
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2.97	-12.95	-51.86	-12.51	-46.34	-17.48	-42.58	-9.75	-41.82	-10.46	-47.19	-18.85	-41.32
	2.98	-10.26	-51.06	-9.82	-48.78	-13.35	-43.54	-7.80	-43.04	-8.40	-48.42	-14.12	-40.56
	2.99	-8.76	-51.78	-8.44	-49.36	-11.30	-44.53	-6.80	-44.24	-7.28	-47.58	-11.93	-42.50
	3.01	-7.37	-46.37	-7.15	-44.23	-8.43	-40.64	-5.86	-39.92	-6.24	-43.83	-8.85	-38.25
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3. Bölge	3.37	-9.72	-36.91	-10.00	-41.59	-8.29	-35.11	-11.27	-29.03	-10.81	-30.02	-8.27	-26.03
	3.38	-11.63	-35.20	-11.67	-40.02	-10.09	-34.23	-13.50	-28.05	-13.26	-29.08	-9.79	-25.22
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	3.49	-12.01	-34.10	-12.67	-34.09	-6.79	-37.84	-11.03	-32.88	-11.33	-31.56	-6.87	-30.69
	3.50	-9.98	-34.59	-10.52	-34.04	-6.07	-37.97	-9.13	-33.65	-9.44	-31.91	-6.14	-31.01
	3.51	-8.53	-35.72	-9.09	-34.54	-5.76	-38.44	-8.01	-34.97	-8.23	-32.51	-5.81	-31.25
	3.52	-7.83	-37.64	-8.20	-36.00	-5.53	-39.67	-7.43	-37.28	-7.56	-34.11	-5.72	-32.27
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4. Bölge	5.88	-11.81	-52.28	-12.29	-49.13	-10.88	-43.75	-11.91	-47.54	-11.66	-45.00	-10.85	-37.89
	5.90	-13.47	-51.81	-13.59	-48.98	-12.01	-43.89	-13.32	-48.57	-12.82	-44.27	-12.06	-38.21
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	6.03	-14.28	-53.55	-13.53	-50.70	-16.86	-46.28	-13.03	-48.02	-14.09	-43.43	-15.69	-40.72
	6.04	-12.89	-54.27	-12.38	-51.92	-14.79	-46.82	-11.86	-48.34	-12.73	-43.31	-13.80	-41.96
	6.06	-11.87	-54.81	-11.55	-53.89	-13.47	-47.62	-11.02	-47.93	-11.79	-44.09	-12.70	-43.17
	6.07	-11.13	-57.81	-10.81	-55.07	-12.43	-47.92	-10.36	-47.37	-11.11	-44.12	-11.61	-43.61
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5. Bölge	7.71	-15.21	-51.73	-15.77	-57.13	-14.62	-43.82	-15.01	-46.27	-14.77	-44.03	-14.71	-46.53
	7.72	-18.68	-52.29	-19.24	-57.86	-18.14	-44.41	-18.35	-46.62	-18.00	-43.82	-17.93	-46.29
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	7.82	-14.96	-53.75	-15.09	-53.79	-15.09	-45.81	-15.08	-49.71	-15.01	-50.47	-15.13	-47.46
	7.83	-15.05	-54.66	-15.24	-53.47	-15.65	-46.11	-15.52	-48.05	-15.29	-49.48	-15.60	-45.52
	7.84	-16.44	-54.11	-16.68	-53.62	-16.88	-45.57	-16.50	-46.93	-16.68	-49.13	-16.88	-43.81
	7.86	-18.57	-52.89	-19.00	-52.06	-19.16	-45.57	-18.96	-45.36	-18.79	-48.12	-19.20	-42.61
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6. Bölge	9.39	-10.27	-52.95	-9.94	-56.07	-10.92	-49.03	-10.13	-54.90	-10.31	-53.69	-10.67	-44.80
	9.40	-12.35	-50.86	-12.05	-56.58	-12.49	-49.47	-12.20	-55.01	-12.22	-57.64	-12.70	-42.55
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	9.51	-12.05	-50.54	-11.84	-54.71	-12.00	-46.36	-11.68	-49.11	-11.82	-64.90	-11.77	-41.60
	9.52	-10.62	-51.47	-10.70	-56.57	-10.58	-46.97	-10.46	-48.82	-10.48	-65.63	-10.58	-41.14
	9.53	-10.38	-50.91	-10.27	-54.46	-9.97	-46.42	-9.99	-51.13	-10.01	-65.40	-10.20	-41.30
	9.54	-10.52	-50.71	-10.32	-54.17	-10.14	-45.85	-10.25	-50.46	-10.24	-69.33	-10.39	-40.92
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7. Bölge	10.45	-14.62	-45.17	-14.35	-46.19	-15.05	-40.29	-14.31	-43.30	-14.54	-41.70	-14.95	-41.93
	10.46	-18.07	-43.34	-17.77	-44.77	-18.87	-38.82	-17.88	-41.95	-17.71	-40.75	-18.29	-39.60
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	10.65	-16.57	-39.44	-16.36	-42.35	-16.65	-38.15	-16.93	-35.68	-16.56	-37.04	-16.65	-31.86
	10.66	-14.87	-40.44	-14.66	-42.43	-15.01	-39.38	-14.46	-36.64	-14.94	-38.11	-15.09	-32.78
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	13.59	-7.76	-54.93	-7.91	-53.44	-8.09	-50.50	-7.92	-53.87	-7.87	-53.23	-7.95	-54.93
	13.60	-8.42	-53.44	-8.45	-52.82	-8.56	-47.78	-8.44	-51.58	-8.40	-51.74	-8.64	-51.60

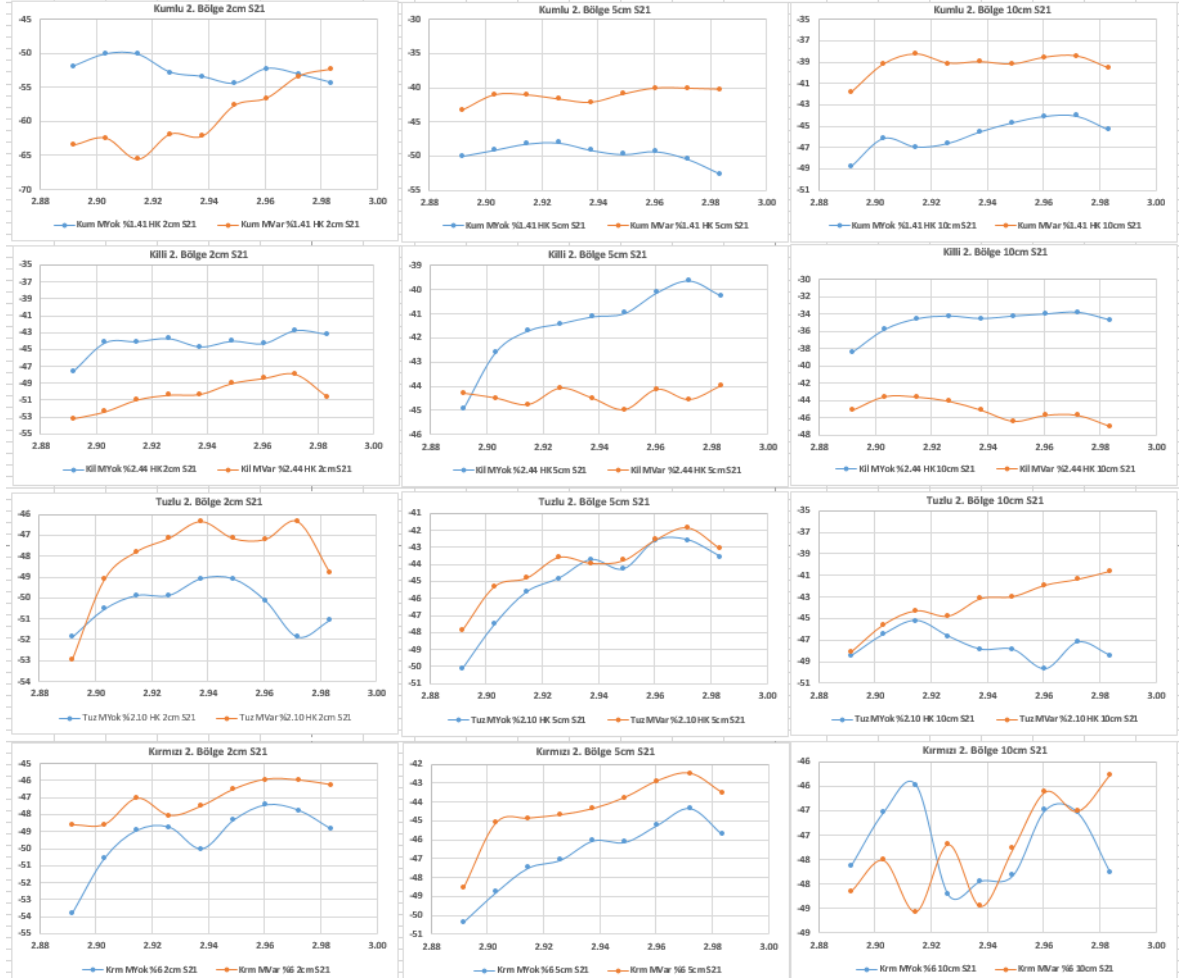
Çizelge 3.6. Havada Kuru (%6) nemlilikte Kırmızı toprak için 7 rezonans bölgesinde mayın varken ve yokken 2, 5, ve 10 cm mesafelerde ölçülen S_{11} ve S_{21} sonuçları

	Fr (GHz)	Krm MYok 2cm S11	Krm MYok 2cm S21	Krm MVar 2cm S11	Krm MVar 2cm S21	Krm MYok 5cm S11	Krm MYok 5cm S21	Krm MVar 5cm S11	Krm MVar 5cm S21	Krm MYok 10cm S11	Krm MYok 10cm S21	Krm MVar 10cm S11	Krm MVar 10cm S21
	1.00	-4.42	-63.66	-3.36	-63.36	-3.89	-63.41	-3.15	-65.38	-1.94	-79.96	-3.00	-63.09
	1.01	-4.07	-81.22	-3.02	-67.73	-3.57	-69.97	-2.94	-66.61	-1.85	-70.40	-2.80	-63.41
	1.02	-3.64	-62.45	-2.74	-62.53	-3.32	-63.89	-2.76	-63.92	-1.79	-70.80	-2.62	-72.60
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1. Bölge	1.72	-10.67	-59.22	-11.87	-57.17	-12.07	-57.46	-11.19	-59.54	-27.75	-56.92	-12.42	-56.85
	1.73	-10.01	-52.26	-11.61	-55.91	-10.45	-58.10	-9.99	-53.59	-16.70	-53.93	-10.65	-55.41
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	1.80	-7.28	-51.75	-8.64	-52.11	-8.51	-50.36	-10.46	-44.33	-10.71	-50.92	-9.01	-51.99
	1.81	-7.08	-52.95	-7.96	-53.28	-8.68	-50.86	-11.39	-47.41	-10.08	-54.94	-9.13	-55.40
	1.83	-7.27	-57.99	-7.30	-54.57	-8.99	-53.74	-12.16	-48.84	-8.98	-53.34	-9.25	-56.45
	1.84	-7.85	-56.74	-7.02	-54.07	-9.32	-53.55	-12.59	-50.17	-8.13	-54.60	-9.30	-57.64
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2. Bölge	2.89	-9.96	-53.83	-9.62	-48.60	-11.62	-50.34	-11.45	-48.54	-10.16	-47.62	-11.22	-48.14
	2.90	-12.40	-50.57	-11.39	-48.59	-14.73	-48.77	-14.20	-45.11	-11.88	-46.53	-13.97	-47.51
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2.97	-10.72	-47.74	-11.36	-45.99	-8.55	-44.32	-8.96	-42.49	-9.89	-46.54	-9.17	-46.50
	2.98	-8.57	-48.86	-8.92	-46.27	-6.90	-45.71	-7.20	-43.53	-7.94	-47.75	-7.44	-45.76
	2.99	-7.38	-51.30	-7.65	-47.98	-6.09	-46.35	-6.35	-45.11	-6.93	-49.18	-6.55	-47.14
	3.01	-6.31	-45.50	-6.46	-44.45	-5.32	-42.23	-5.38	-40.74	-5.77	-45.69	-5.54	-44.50
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3. Bölge	3.37	-11.61	-36.06	-11.01	-34.13	-13.56	-31.67	-13.51	-31.56	-12.23	-27.51	-12.94	-30.08
	3.38	-13.33	-35.47	-13.19	-33.24	-16.03	-31.54	-16.56	-31.41	-15.22	-27.27	-15.40	-29.56
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	3.49	-14.39	-36.12	-13.08	-33.97	-11.96	-37.51	-11.51	-36.54	-11.20	-33.12	-11.95	-34.30
	3.50	-11.75	-36.13	-10.64	-34.21	-9.86	-38.10	-9.62	-36.99	-9.41	-33.79	-9.98	-34.95
	3.51	-9.98	-36.63	-9.25	-34.68	-8.73	-38.60	-8.54	-37.49	-8.40	-34.55	-8.77	-35.83
	3.52	-8.74	-38.30	-8.37	-36.45	-7.89	-39.89	-7.86	-39.17	-7.78	-36.36	-8.05	-38.27
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4. Bölge	5.88	-9.79	-56.29	-6.31	-56.26	-8.06	-42.34	-6.67	-44.46	-9.62	-40.69	-6.43	-48.67
	5.90	-10.64	-54.16	-6.88	-56.27	-8.76	-42.99	-7.37	-45.18	-10.79	-40.29	-7.22	-49.09
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	6.03	-11.84	-51.62	-10.04	-52.56	-10.01	-50.95	-10.97	-47.18	-10.57	-42.59	-10.93	-47.00
	6.04	-10.78	-52.58	-10.73	-52.32	-10.33	-52.66	-11.76	-47.71	-9.85	-42.95	-11.85	-47.32
	6.06	-9.96	-54.65	-11.22	-52.02	-10.50	-56.18	-12.25	-48.67	-9.26	-43.48	-12.30	-47.23
	6.07	-9.14	-55.39	-10.99	-52.00	-10.01	-60.18	-11.98	-50.00	-8.42	-43.72	-12.05	-48.18
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5. Bölge	7.71	-16.35	-49.17	-16.86	-50.56	-16.23	-45.38	-16.18	-45.57	-15.57	-44.37	-16.06	-43.53
	7.72	-19.65	-49.92	-20.09	-50.69	-19.59	-45.80	-19.75	-46.15	-18.69	-45.25	-19.75	-44.51
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	7.82	-14.43	-49.76	-14.24	-50.31	-14.28	-47.21	-14.56	-50.65	-15.02	-48.29	-14.47	-54.42
	7.83	-15.16	-50.03	-14.74	-49.63	-15.13	-47.13	-15.07	-51.12	-15.79	-47.53	-15.14	-56.01
	7.84	-16.90	-49.45	-16.33	-49.75	-16.59	-46.23	-16.48	-50.66	-17.93	-46.23	-16.64	-58.35
	7.86	-19.34	-49.40	-18.66	-49.98	-19.11	-46.30	-19.45	-49.22	-20.51	-44.99	-19.16	-58.93
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6. Bölge	9.39	-9.70	-55.16	-8.95	-52.45	-9.17	-44.93	-9.27	-49.75	-10.74	-43.88	-9.19	-47.14
	9.40	-12.18	-54.55	-11.70	-49.49	-11.24	-46.23	-11.01	-50.65	-12.69	-43.47	-11.42	-47.32
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	9.51	-11.99	-53.04	-11.89	-50.66	-11.71	-44.91	-12.09	-44.29	-12.63	-44.07	-11.91	-50.64
	9.52	-11.07	-52.91	-10.78	-50.78	-10.84	-45.34	-11.06	-44.29	-11.53	-43.35	-10.88	-51.51
	9.53	-10.83	-50.75	-10.68	-49.56	-10.67	-44.80	-10.81	-43.51	-10.99	-43.94	-10.83	-51.30
	9.54	-11.02	-52.41	-11.02	-49.57	-11.20	-44.21	-11.08	-43.49	-11.13	-43.53	-11.15	-50.45
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7. Bölge	10.45	-16.60	-39.66	-15.95	-45.12	-15.83	-43.02	-16.09	-38.63	-16.88	-41.00	-15.50	-40.29
	10.46	-20.50	-39.00	-19.02	-43.47	-19.15	-42.16	-19.50	-37.94	-22.29	-39.67	-18.83	-40.03
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	10.65	-15.58	-43.72	-16.03	-41.61	-15.75	-40.00	-15.58	-37.51	-16.01	-38.50	-15.61	-40.51
	10.66	-13.91	-43.33	-13.84	-42.76	-13.83	-40.90	-13.77	-38.76	-14.62	-39.51	-13.73	-42.04
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	13.59	-7.25	-57.75	-7.31	-51.06	-7.15	-60.73	-7.19	-47.79	-7.74	-46.53	-7.40	-53.73
	13.60	-7.65	-53.10	-7.70	-49.01	-7.60	-60.44	-7.71	-47.79	-8.08	-46.67	-7.62	-59.49

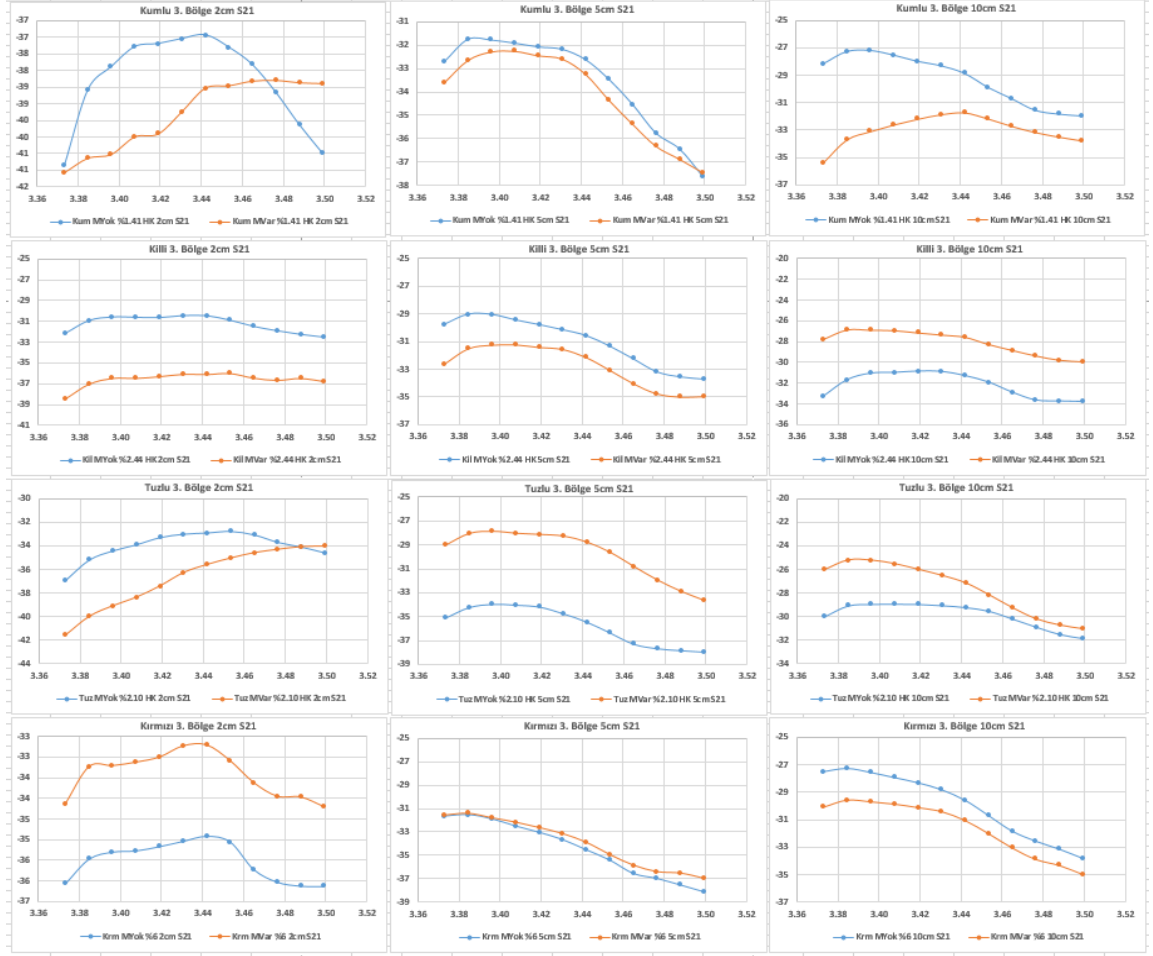
7 farklı rezonans bölgede her bir toprak için elde edilen deney kayıt sonuçları ile Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de verilen S_{21} sonuçlarının grafikleri Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ile verilmiştir.



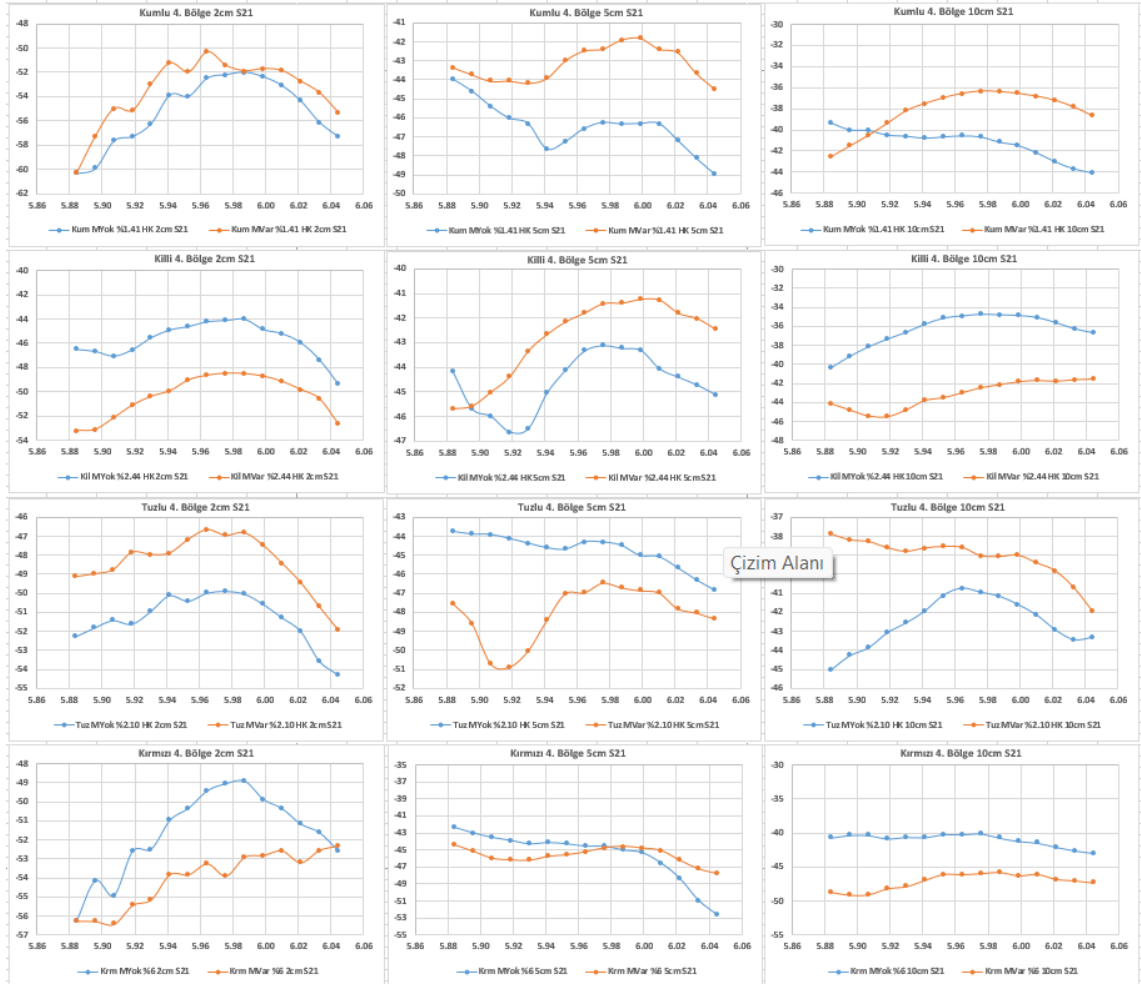
Şekil 3.5. 1. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{21} grafikleri



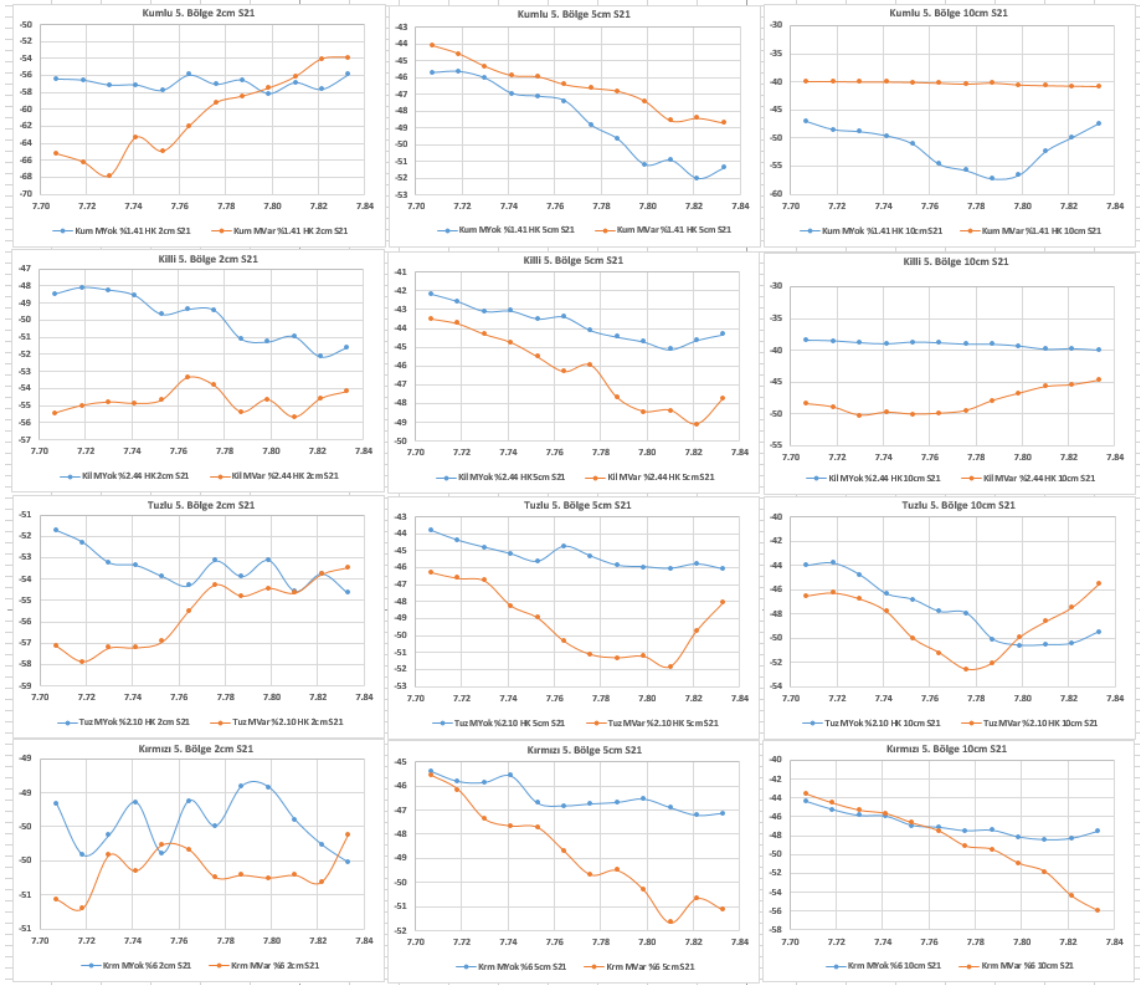
Şekil 3.6. 2. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{21} grafikleri



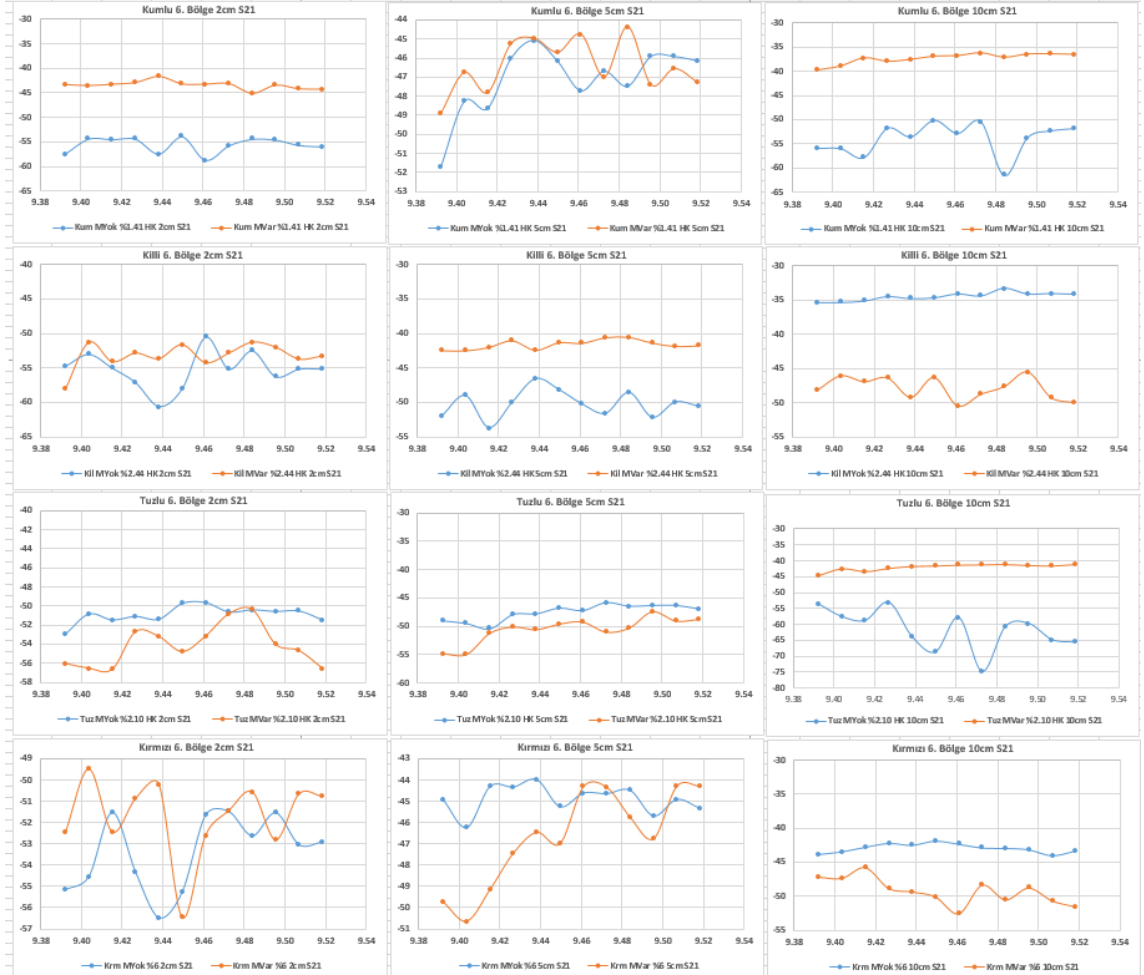
Şekil 3.7. 3. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{21} grafikleri



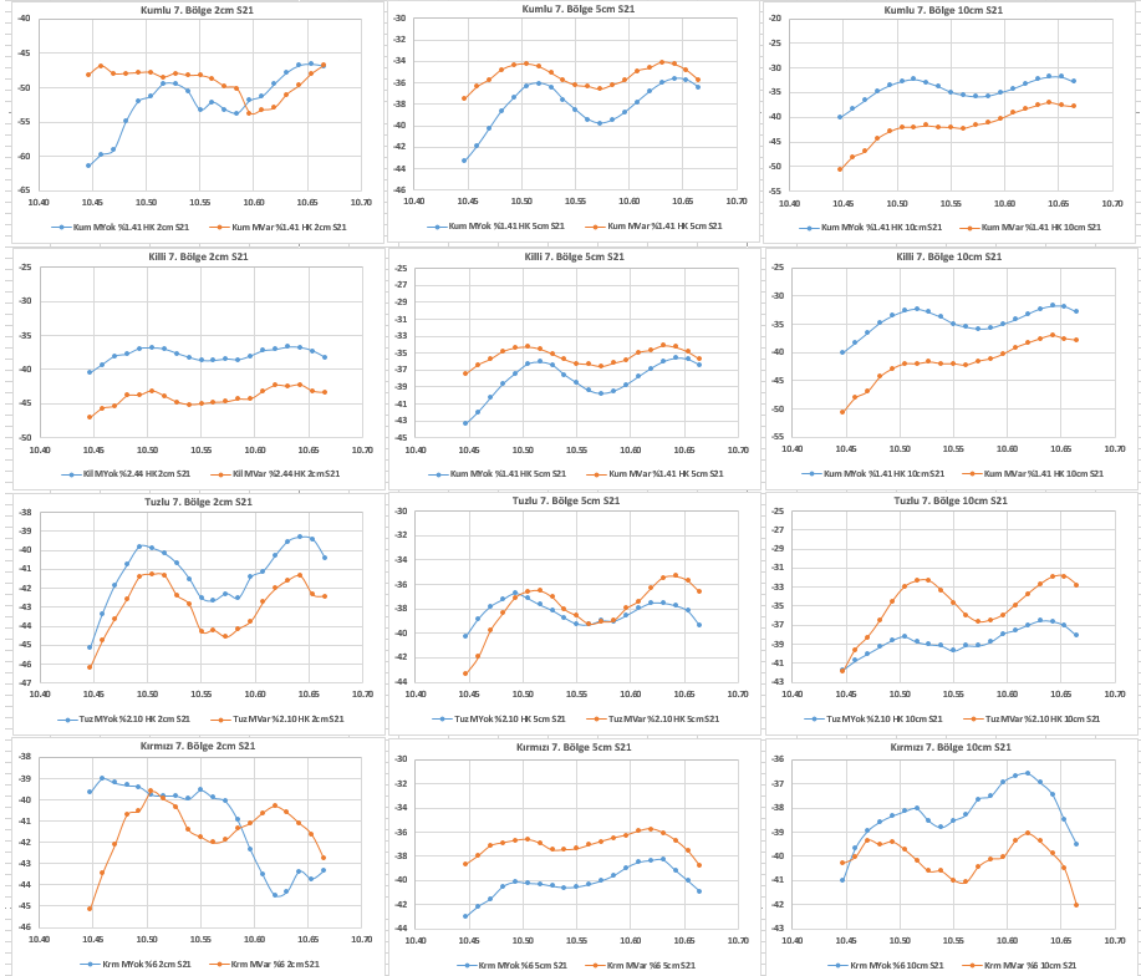
Şekil 3.8. 4. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S₂₁ grafikleri



Şekil 3.9. 5. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{21} grafikleri

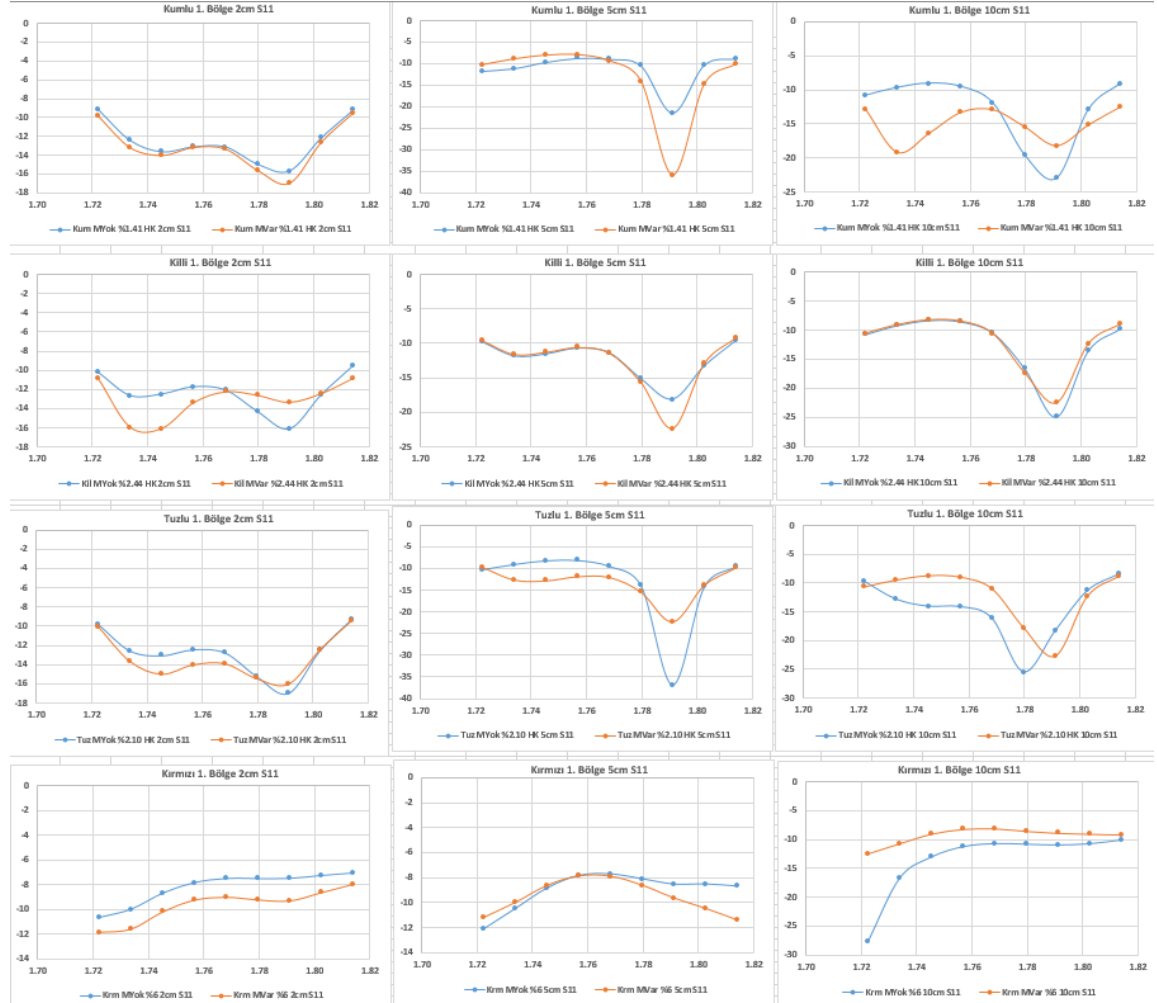


Şekil 3.10. 6. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{21} grafikleri

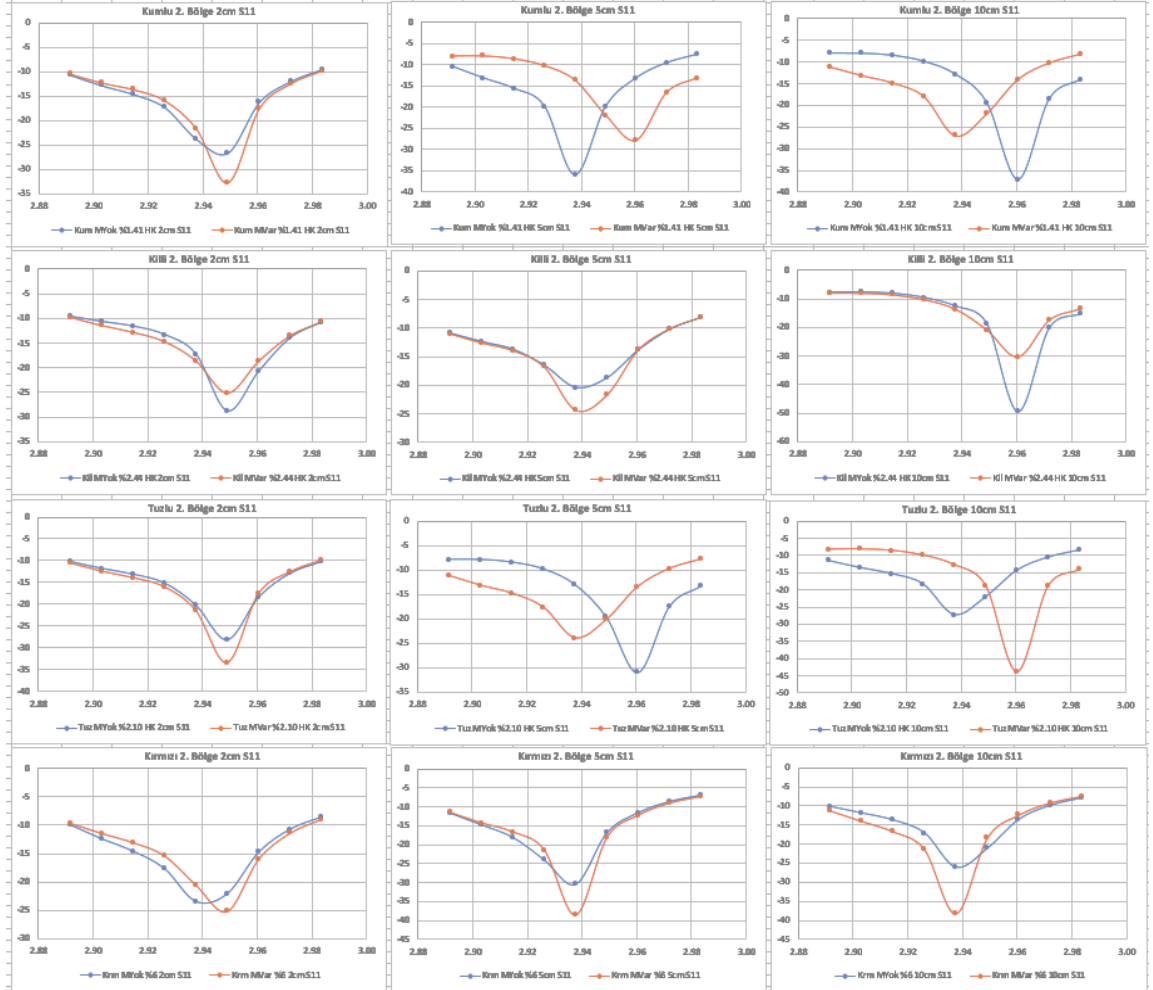


Şekil 3.11. 7. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S₂₁ grafikleri

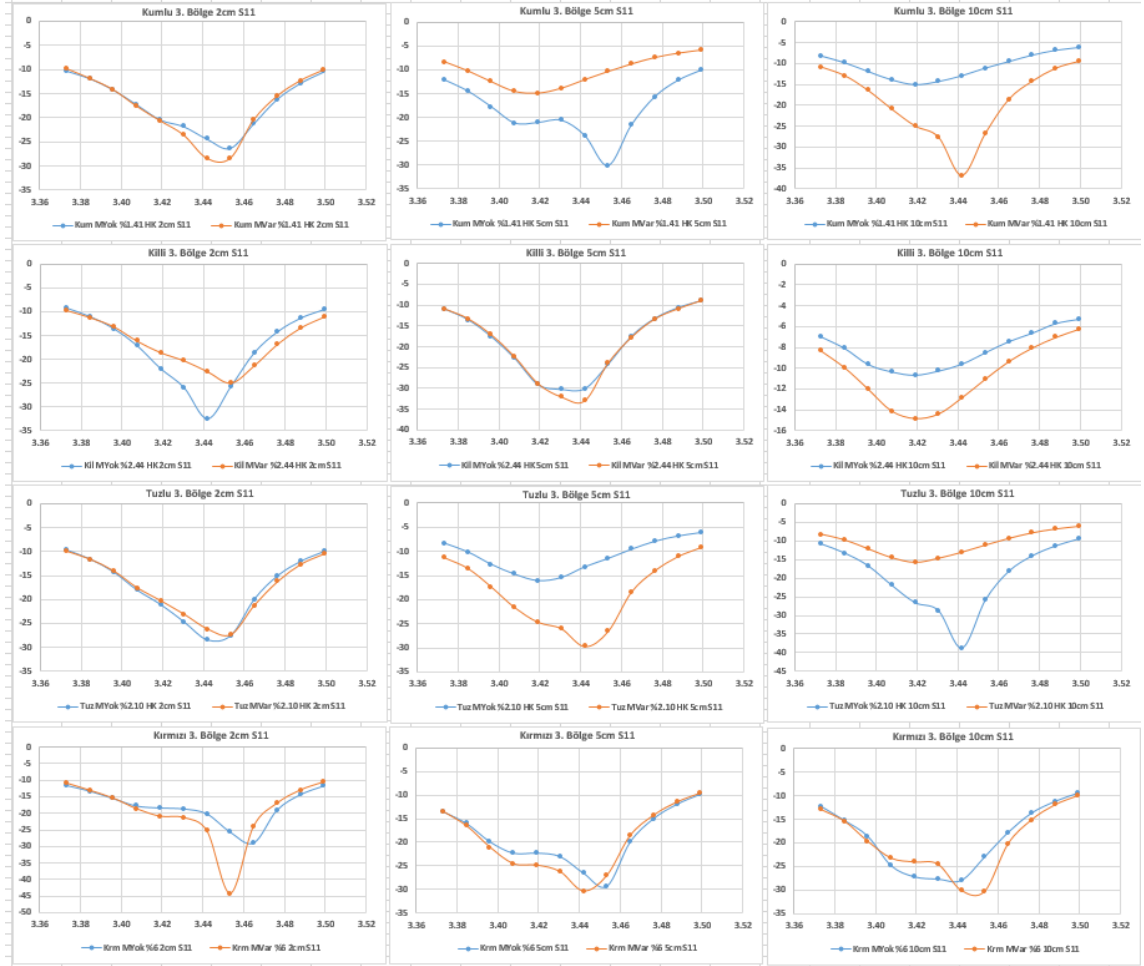
7 farklı rezonans bölgede her bir toprak için elde edilen deney kayıt sonuçları ile Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de verilen S_{11} sonuçlarının grafikleri Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ile verilmiştir.



Şekil 3.12. 1. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{11} grafikleri



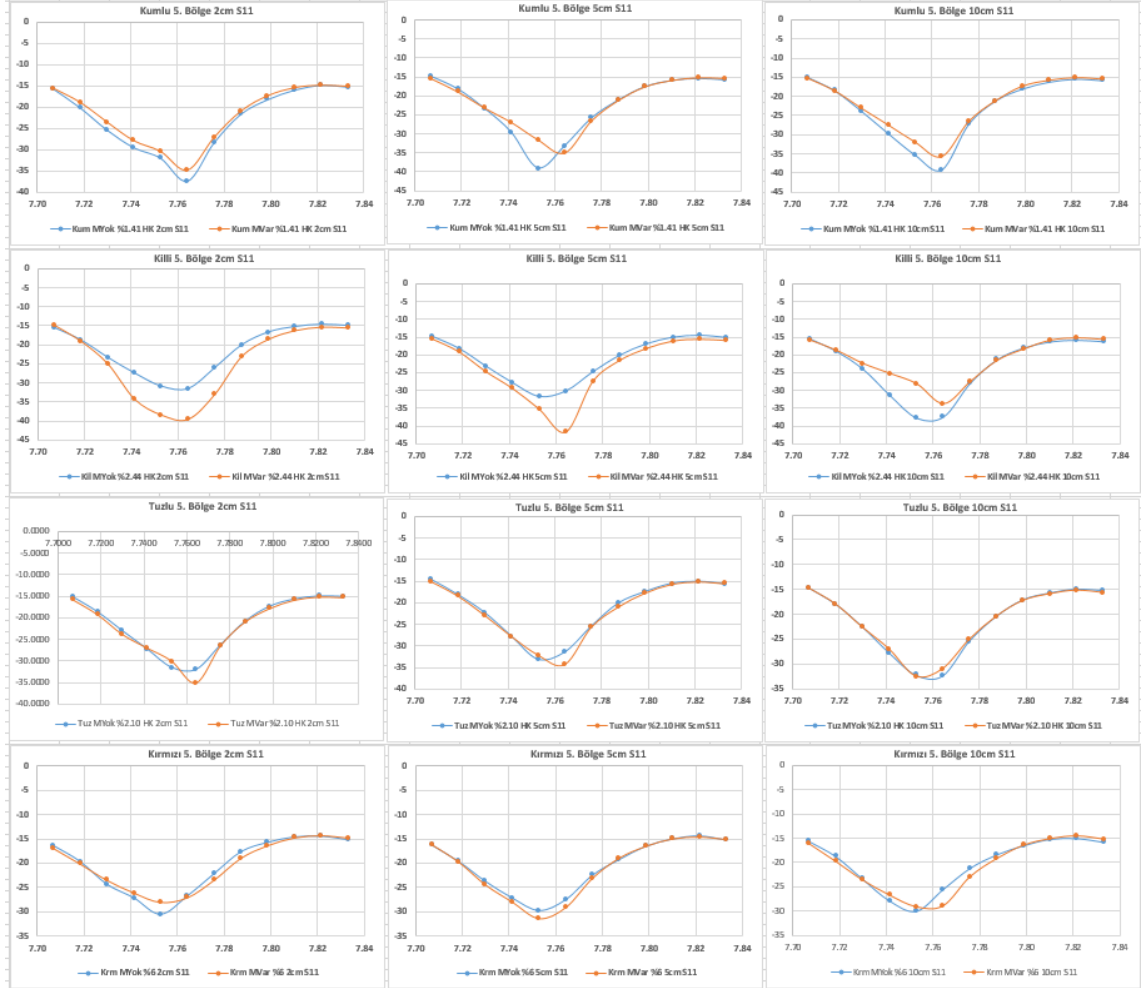
Şekil 3.13. 2. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S₁₁ grafikleri



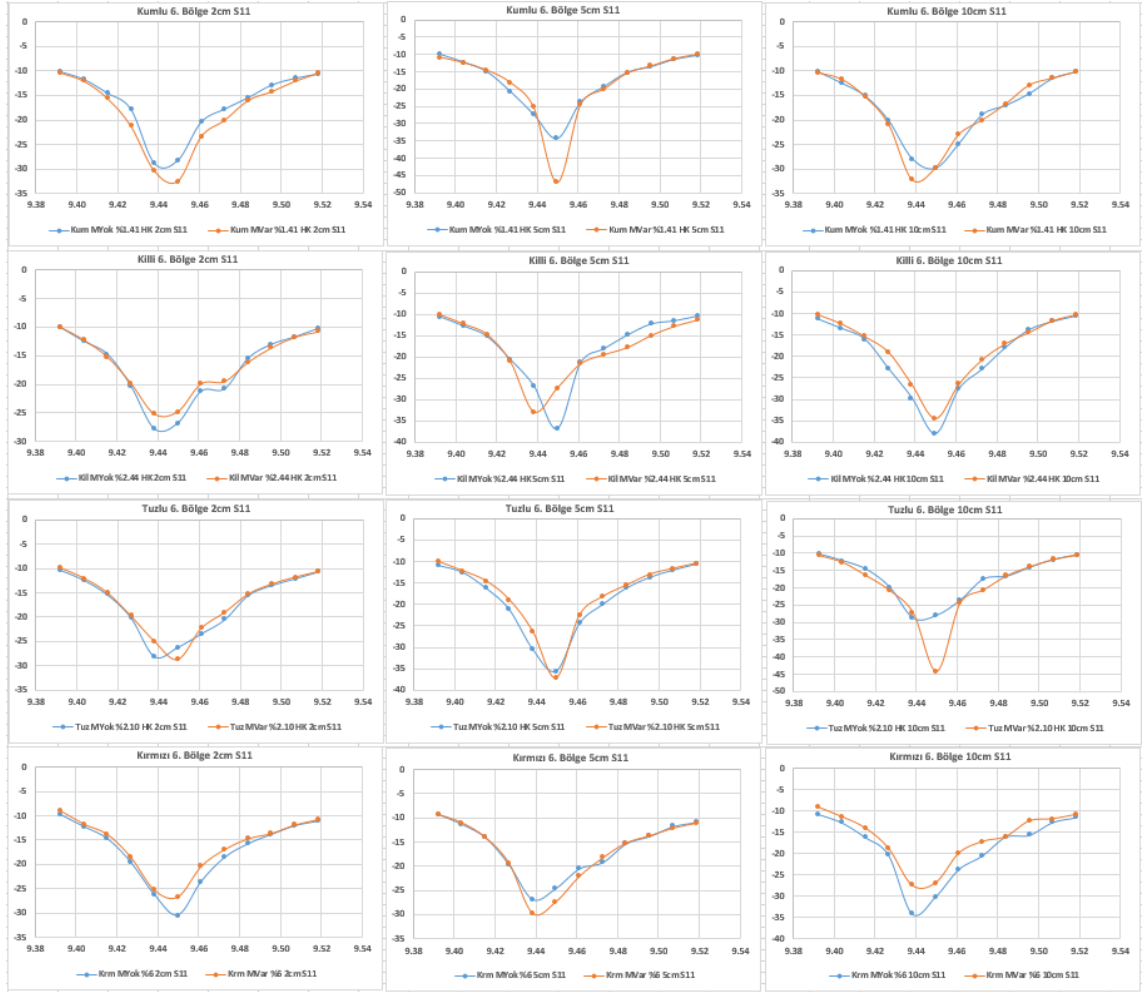
Şekil 3.14. 3. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{11} grafikleri



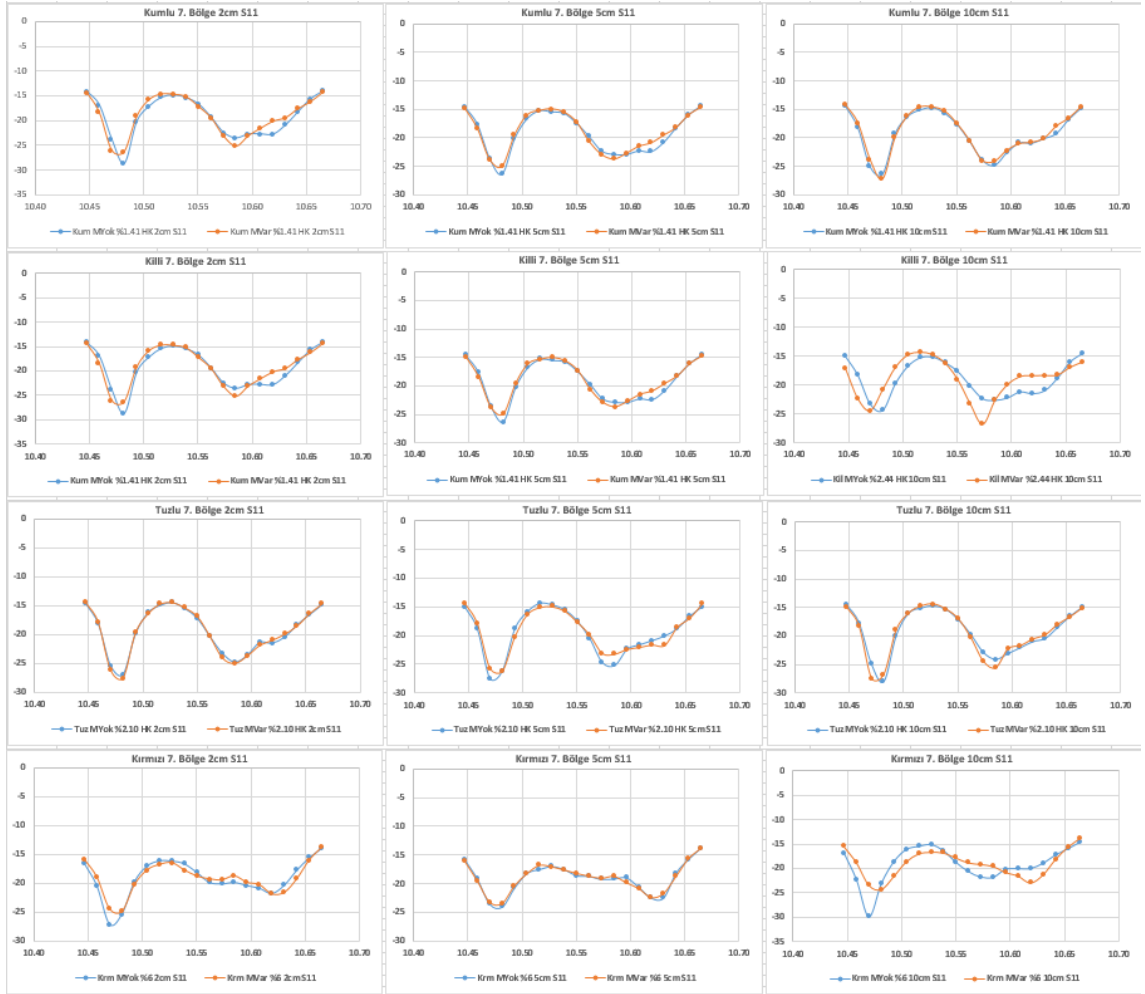
Şekil 3.15. 4. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{11} grafikleri



Şekil 3.16. 5. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S_{11} grafikleri



Şekil 3.17. 6. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S₁₁ grafikleri



Şekil 3.18. 7. Rezonans bölgesi, kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı toprağın 2, 5 ve 10 cm için S₁₁ grafikleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprak ve mayın yapısını birbirinden ayıran önemli parametrelerin başında malzeme ya da yapı dielektriği gelir. Dielektriği belirlenmiş bir yapıya ve ona uygun olarak tasarlanmış bir ışıyıcı antenle gönderilen sinyal elektriksel anlamda farklılıklar oluşturur. Bu yaklaşımın dayanağı günümüzde birçok alanda mikroşerit anten uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç olarak gömülü ve metalik olmayan nesnelerin tespiti için gelecek vaat eden mikroşerit antenler, bir tarayıcı sensör olarak kullanılabilir. Bu antenler, yere nüfuz eden radar sistemlerinde, yere elektromanyetik dalgalar yayarak ve yansıyan sinyalleri analiz ederek mayın gibi yer altı nesnelerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılabilir. Mayın tespitine yönelik mikroşerit antenlerin tasarımı, hassasiyeti ve doğruluğu artıracak şekilde optimize edilerek gömülü tehditlerin etkili bir şekilde tespit edilmesine olanak tanır. Araştırmacılar, gelişmiş sinyal işleme tekniklerini ve hassas anten tasarım parametrelerini kullanarak, mayın tespit sistemlerinin performansını artırabilirler.

Bu tez çalışmasında ise mayın tespitine yönelik kumlu, killi, tuzlu ve kırmızı topraklar üzerinde mayın yapılarının tespiti için mikroşerit anten tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan mayın gerçeğine yakın şekilde epoksi bazlı tasarlanıp üretilmiştir. Bu amaçla bu çalışmada yeni bir mikrodalga mayın tespit sistemi önerilirken mayın tespitinde farklı toprak yapılarının etkisinin araştırılması da gerçekleştirilmiştir.

4.4. Sonuçlar

Mayın tespiti ve toprak yapılarının etkisi için yapılan araştırma çalışmasında oluşturulan deney düzeneği ile ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler mayın varken ve yokken dört farklı toprak için alıcı ve verici antenlerin toprak yüzeyine olan mesafeleri 2, 5, ve 10 cm konumlarında iken tekrarlanmıştır. 2, 5 ve 10 cm mesafeleri, yakın ve uzak alan (Şekil 3.2) koşullarını kapsayacak şekilde seçilmiştir.

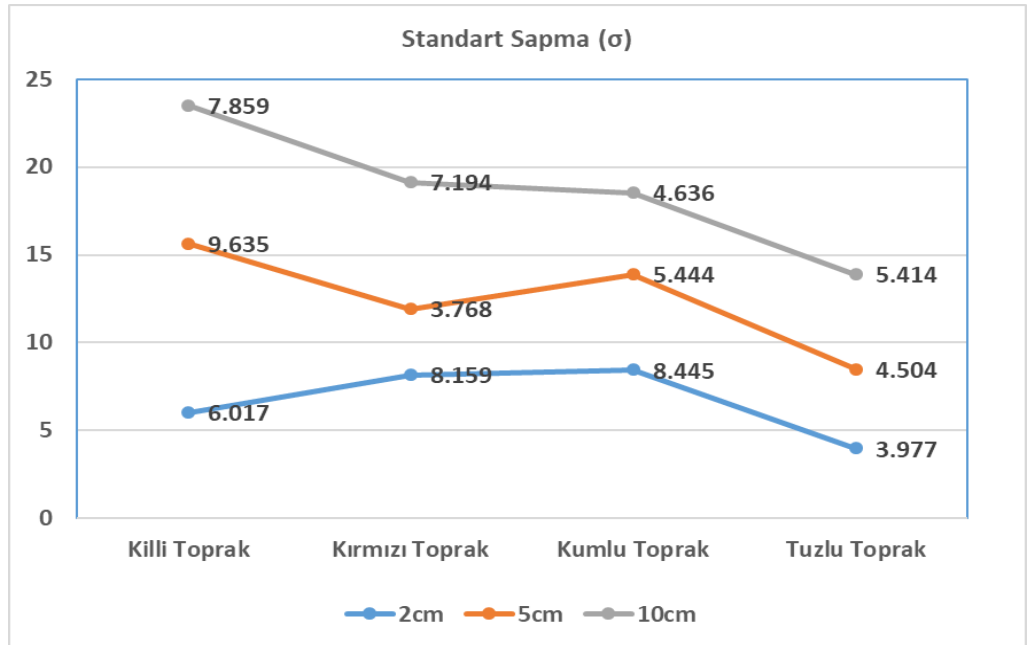
Deney düzeneği için oluşturulan bu şartlar, mayın tespitinde toprağın etkisinin belirlenmesine yönelik senaryoyu içermektedir. Bu etkinin anlamlı olarak verilebilmesi için, mayın varken ve mayın yokken elde edilen S_{21} ölçüm sonuçlarının farklarının ortalama hata değerleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge (Çizelge 4.1) ve grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. 2, 5 ve 10 cm mesafede alınan mayın var ve yok değerlerinin Rezonans Bölgesi Yüzde Ortalama Hata değerleri

%	2	5	10
Kum	9.49	7.50	20.48
Kil	11.13	7.79	21.49
Tuz	5.23	7.50	14.69
Kırmızı	4.20	5.52	6.86

Çizelge 4.2. 2, 5 ve 10 cm mesafede alınan mayın var ve yok değerlerinin Rezonans Bölgesi standart sapma değerleri

	Killi Toprak	Kırmızı Toprak	Kumlu Toprak	Tuzlu Toprak
2cm	6.016878541	8.159372897	8.445398851	3.976859811
5cm	9.63547897	3.767585649	5.443813423	4.503895991
10cm	7.85856107	7.194146578	4.635715952	5.41419204



Şekil 4.1. Toraklardan alınan mayın var mayın yok değerlerinin standar sapma verileri

Çizelge 4.1, 4.2 ve şekil 4.1’de görüleceği gibi 2, 5 ve 10 cm mesafeler arasında en iyi Yüzde Ortalama Hata değerleri 10 cm mesafede ve killi toprakta **%21.49** olarak, standart sapması ise yine killi toprakta, 5 cm mesafede **9.635** olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlara göre ölçümleri yapılarak mayın tespiti yapılan 4 farklı tipteki topraklar üzerinde, mayının killi toprakta diğer 3 toprağa göre daha iyi tespit edilebildiği ve sonuçların 2 cm’e göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

4.5. Öneriler

Deneylerden elde edilen sonuçlar, mayının tespitini ve toprakların özelliklerine göre mayın tespitindeki etkinliklerini ortaya koymuştur. Bu etkinlik, mayının varlığı ve yokluğu arasındaki S_{11} farklılıklarının grafikleri çıkarılarak gösterilmiştir. Sonuç olarak farklı toprakların mayın tespitinde etkisi araştırılmıştır. Bu etkinin daha açık ve belirgin olması için sonraki çalışmalarda toprak sayısı artırılabilir. Toprağın diğer bazı özellikleri tespit probleminde kullanılabilir. Toprağın farklı nem değerlerinde tüm bu deneyler tekrarlanarak farklı hava şartlarında sonuçlar incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Azeem M.H. and Elbakly A.M., (2013), "Using TLM Method For Simulation a New Mine Detection Technique", 2013 The International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE).
- Amiri A., (2016), "Multi-Band and Dual-Polarised Ultra-Wide Band Horn Antenna for Landmine Detection Using Ground Penetrating Radar Technique", Conference, University College London, 2016.
- Attia H. and Boybay M.S., (2014), "Patch Antennas with Superstrates for Landmine Detection", 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI).
- Balanis C.A. and Sevgi L., (2013), "Fifty years of high frequency diffraction", Wiley Periodicals, Inc. Int J RF and Microwave CAE. 29 Sept.-1 Oct. 1997, Zagreb, Croatia, pp. 6.18/6.27.
- Baligar V.C., Fageria N.K., Eswaran H., Wilson M.J., He Z., Wilson M.J., Yang X., (2004), "Nature and Properties of Red Soils of the World", The Red Soils of China: Their Nature, Management and Utilization, Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 7-27, doi:10.1007/978-1-4020-2138-1_2, ISBN 978-90-481-6597-1.
- Bresler E., G. Dagan, R. J. Hanks, "Statistical Analysis of Crop Yield Under Controlled Line-source Irrigation", Soil Science Society of America Journal, <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600040035>.
- Briqech Z. and Sebak A., (2012), "60 GHz Microstrip-Fed High Gain Dielectric Lens Antenna", 2012 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE).
- Bruschini C. and Gros B., (1997), "A Survey of Current Sensor Technology Research for the Detection of Landmines", Proceedings of the International Workshop on Sustainable Humanitarian Demining (SusDem'97, Zagreb, Croatia, pp. 6.18/6.27).
- Bruschini C. and Gros B., (1998), "A Survey of Research on Sensor Technology for Landmine Detection", The Journal of Conventional Weapons Destruction.
- Carver K. and Mink J., (1981), "Microstrip antenna technology" IEEE Transactions on Antennas and Propagation Vol. 29, Issue: 1.
- Chu P.C., Cornelius M. and Wegstaff M., (2005), "Effect Of Suspended Sediment On Acoustic Dedection Using The Navy's CASS-GRAB Model", Ocean 2005 MTS/IEEE Conf, Page:1-7.
- Cicchetti R, Faraone A, Caratelli D, Simeoni M, (2013), "Wideband, Multiband, Tunable, and Smart Antenna Systems for Mobile and UWB Wireless Applications", International Journal of Antennas and Propagation, Published

by Wiley, ISSN: 1687-5869.

Çakır G. and Sevgi L., (2005), "Design of a novel microstrip electromagnetic bandgap (EBG) structure", *Microwave and Optical Technology Letters*, V.46, 4, pp.399-401.

Çakır T., KY. Arga, MM. Altıntaş, KÖ. Ülgen, (2004), "Flux analysis of recombinant *Saccharomyces cerevisiae* YPB-G utilizing starch for optimal ethanol production", *Process biochemistry*, Elsevier.

Das, B., "Principles of foundation engineering", Cengage learning, 2015.

D. Guha, S. Biswas, Yahia M. and Antar M., (2010), "Defected Ground Structure for Microstrip Antennas", <https://doi.org/10.1002/9780470973370.ch12>, Cited by: 4, First published.

D. Guha, S. Biswas, Yahia M. and Antar M., (2010), "Microstrip and Printed Antennas: New Trends, Techniques And Applications", First published.

Finch H.J.S., Samuel A.M., Lane G.P.F., (2014), "Soils and soil management", *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, Pages 37-62.

Garg S., Vermani K., Garg K., Anderson RA., Rencher WB., Lourens JD., Zaneveld LJ. (2005), "Development and characterization of bioadhesive vaginal films of sodium polystyrene sulfonate (PSS)", *A novel contraceptive antimicrobial agent. Pharmaceutical Research*, ; 22:584-595.

Hall PS, Dahele JS, James JR, 1989. Design Principles of Sequentially Fed, Wide Bandwidth, Circularly Polarized Microstrip Antennas. *Iee Proceedings-H Microwaves Antennas and Propagation*, 136, 5, 381-9.

Harrington R.F., (1993), "Field Computation by Moment Methods", Hardcover.

Hartemink A.E., Huang J., (2023), "Sandy Soil", *Progress in Soil Science*.

HFSS, (2024), "Ansys 3D electromagnetic simulation software for designing and simulating high-frequency electronic products such as antennas", 024 Copyright ANSYS, Inc.

Hadalgi PM, Madhuri RG, Marrikarjun SR, (2010), "Slot-fed wideband dielectric resonator antenna for wireless applications", *Indian Journal of Radio and Space Physics*, 39, 372-5.

<http://www.importantindia.com/12596/red-soil-in-india/>

https://www.ankara.bel.tr/files/6614/3695/0175/TOPRAK__BLGS_SUNUM.pdf

https://www.ankara.bel.tr/files/7715/8814/0609/2-toprakvegubre_compressed.pdf

James JR. and Hall PS., (1989), "Handbook of Microstrip Antennas", IEE

Electromagnetic Waves.

- James JR., Hall PS., Wood C., (1981), "Microstrip Antenna: Theory and Design", Stevenage, Hertfordshire, Peter Peregrinus/Institution of Electrical Engineers.
- Jardón-Aguilar H., Golovin OV., Repinsky VN., Linares R., Miranda Y., (1998), "High-frequency sinusoidal triplers without filtering", *Microwave Opt Technol Lett* 19: 296–301.
- Jayanthy T. and Rexiline I.S., (2017), "Design and Analysis of Biquad Patch Antenna with Different Hard Substrates for UWB Applications", *International Journal of Wireless and Microwave Technologies* 7(3):58-66.
- Jidi L., Cao X., Zhu X., and Zhu B., (2018), "Printed Frequency Scanning Antenna Array with Wide Scanning Angle Range", *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 77, 117–122.
- Keren R. and Miyamoto S., (1990), "Reclamation of saline, sodic and boron affected soils", In: *Agricultural Salinity Assessment and Management Manual*. K.K. Tanji (ed.). ASCE, pp. 410-431.
- Khaleel H., Delgado M., Pastrone C., Spirito MA., Tchabou S., Garelo R., (2013), "Multi-access interface selection based on data mining algorithm", 2013 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC).
- Kobayashi T., Feng X. and Sato M., (2005), "FDTD Simulation on Array Antenna SAR-GPR for Land Mine Detection", *Systems and Human Science, For Safety, Security, and Dependability*, Pages 309-319.
- Kolba M.P. and Jouny I.I., (2003), "Clutter Suppression And Feature Extraction For Land Mine Detection Using Ground Penetrating Radar", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE Conf*, Vol: 2, Page: 203-206, 21-25.
- Langer K., (1996), "A Guide To Sensor Design For Land Mine Detection", "Detection of abandoned land mines" *Conference Publication IEEE*, No.431, Page:30-32.
- Lee, C. P., (2001), "Mine Detection Techniques Using Multiple Sensors", *Electrical and Computer Engineering The University of Tennessee at Knoxville*
- Linderhed A., Sjökvist S., Nyberg S., Uppsall M., Grönwall C., Andersson P. and Letalick D., (2005), "Temporal Analysis For Land Mine Detection", *Proceedings Of The 4th International Symposium On Image And Signal Proccessing And Analysis*", Page: 389-394.
- Lo YT., Solomon D. and Richards WF., (1979), "Theory and Experiment on Microstrip Antennas", *IEEE T Antenn Propag*, AP-27, 137-49.
- Matthew Sadiku N.O., (2000), "Elements of Electromagnetics", Hardcover Hardcover.
- Microwave Studio 2014.

- Mithari A., and Patil U.,(2016), "Efficiency and Bandwidth Improvement Using Metamaterial of Microstrip Patch Antenna", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- Munson R., (1974), "Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays", IEEE T Antenn Propag, AP-22, 74-8.
- Olyphant M. JR., Nowicki TE., (1980), "Microwave substrates support MIC technology", MicroWaves, vol. 19, Nov. 1980, p. 74-76, 79, 80.
- Paz A.M., Amezketa E., Canfora L., Castanheira N., Falsone G., Gonçalves M.C., Gould I., Hristov B., Mastroilli M., Ramos T., Thompson R., Costantini E.A.C., (2023), "Salt-Affected Soils: Field-Scale Strategies for Prevention, Mitigation, and Adaptation to Salt Accumulation", Italian Journal of Agronomy; volume 18:2166.
- Richards WF., Lo YT. and Harrison D., (1981), "An improved theory for microstrip antennas and applications", IEEE Transactions on antennas,
- Richards, L.A., (1954), "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils", USD A Handbook No: 60.
- Rosengard U., Dolan T., Miklush D. and Massoud S., (2001), "Humanitarian Demining, Nuclear Techniques may help the search for Landmines", BULLETIN, 43, 2.
- Sainati RA., "CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications," Artech House, Norwood, 1996.
- Sato M., (2000), "Bistatic GPR System For Landmine Detection Using Optical Elektric Field", Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE Conf, Vol: 1, Page: 207-210, 21-25.
- Schaubert DH., Pozar DM., (1995), "Microstrip Antennas; The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays", IEEE Antennas and Propagation Society, Wiley.
- Singh V., Kuchroo P., Bhatia H. and Sidhu E., (2016), "Flexible FR-4 based Novel Ultra-Wide Band Microstrip Patch Antenna for Buried Landmine Detection applications", 2016 International Conference on Global Trends in Signal Processing, Information Computing and Communication (ICGTSPICC).
- Sirivitmaitrie, C., Puppala, A. J., Chikyala, V., Saride, S. & Hoyos, L. R., "Combined lime and cement treatment of expansive soils with low to medium soluble sulfate levels", American Society of Civil Engineers, Proceedings of the Geo Congress, pp. 646-653, 2008.
- Sirivitmaitrie, C., Puppala, A. J., Saride, S. & Hoyos, L., "Combined lime-cement stabilization for longer life of low-volume roads", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2204(1): pp. 140-147, 2011.

- Svensson L., Lundberg M., (2002), "Dual-Band Land Mine Detection Using A Bayesian Approach", Acoustic, Speech and Signal Processing, IEEE Conf., Vol: 2, Page: 12971300.
- Tobely T.E. and Salem A., (2005), "Position Detection of Unexploded Ordnance From Airborne Magnetic Anomaly Data Using 3-D Self Organized Feature Map", IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology, Page: 322-327.
- Traut H., (1980) "A method for determining the statistical significance of mutation frequencies", Wiley.
- Uzer D., Gultekin SS., (2015), "An Investigation of Shorting Pin Effects on Circular Disc Microstrip Antennas", International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, DOI:10.18100/ijamec.39970.
- Volakis J.L. and Peters J.L., (1983), "Improved Identification Of Underground Targets Using Video Pulse Radars By Elimination Of Undesired Natural Rezonans", IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. AP-31, No.2, Page:334-340.
- Wojtara T. and Nonami K., (2004), "Hand Posture Detection By Neural Network And Grasp Mapping For A Master Slave Hand System", Proceedings Of 2004 IEEE/RSJ International Conference On Intelligent Robots And Systems, Page:866-871.
- www.ansys.com/HFSS (2015).
- www.figes.com (2015).
- www.soils.org
- Yee K., (1966), "Numerical solution of initial boundary value problems involving maxwell's equations in isotropic media", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, V. 14, Issue: 3.
- Zainud-Deen S.H., Badr M.E., Awadalla K.H., and Sharshar H.A., (2006), "Microstrip Antenna for Detecting Buried Land Mines", Proceedings of the Twenty Third National Radio Science Conference (NRSC'2006)
- Zainud-Deen S.H., Badr M.E., Awadalla K.H., and Sharshar H.A., (2007), "Microstrip Antenna with Shorting Pins As A sensor for Landmines Detection", 24th National Radio Science Conference (NRSC 2007), March 13-15.
- Zainud-Deen S.H., Badr M.E., El-Deen E., Awadalla K.H., and Sharshar H.A., (2008), "Microstrip Antenna With Corrugated Ground Plane Surface as a Sensor for Landmines Detection", Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 2, 259–278.
- Zainud-Deen S.H., Badr M.E., Ali E.M., Awadalla K.H., and Sharshar H.A., (2009), "Effects of Soil Physical Properties on Landmines Detection using Microstrip

Antenna as a Sensor”, 2009 National Radio Science Conference.

Zainud-Deen S.H., El-Hadad E.S., Awadalla K.H., and Sharshar H.A., (2009), “Landmines Discrimination Using Scattering Parameters and an Artificial Neural Network”, It'th National Radio Science Conference (NRSC2009).

Zeng Y.Q., (2001), “Acoustic Detection Of Buried Object In 3-D Fluid Saturated Porous Media: Numerical Modeling”, IEEE Transaction On Geoscience And Remote Sensing, Vol.39, No.6, Page:1165-1173.

Zhanga W.Y., Haoa T., Changa Y., Zhaob Y.H., (2017), “Time-Frequency Analysis of Enhanced GPR Detection of RF Tagged Buried Plastic Pipes” NDT & E International, Volume 92, Pages 88-96.

