

Cumali KOPMAZ



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**ANTEN TABANLI
MİKRODALGA SENSÖRLERİN
ÇEŞİTLİ ALANLARDAKİ
UYGULAMALARI**

Cumali KOPMAZ

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

EYLÜL 2020

EYLÜL 2020





**ANTEN TABANLI MİKRODALGA SENSÖRLERİN ÇEŞİTLİ
ALANLARDAKİ UYGULAMALARI**

Cumali KOPMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2020

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Cumali KOPMAZ

15/09/2020

ANTEN TABANLI MİKRODALGA SENSÖRLERİN ÇEŞİTLİ ALANLARDAKİ
UYGULAMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)

Cumali KOPMAZ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2020

ÖZET

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte Metamalzeme (MTM) veya anten tabanlı sensörlere olan ilgi artmıştır. Günümüzde metamalzemeler ve antenler birçok alanda ölçüm, algılama ve tespit amaçlı sensör olarak kullanılabilir. Metamalzemeler, doğadaki malzemelerin sahip olmadığı elektromanyetik özelliklere sahiptirler. Metamalzemeler negatif kırılma indisine sahip olabilen ve doğada bulunmayan yapay malzemelerdir.

Bu tez çalışmasının ilk aşamasında metamalzeme veya anten tabanlı sensörlerin endüstriyel ve tıbbi alanlardaki sıvıların ölçüm uygulamaları yapılmıştır. İkinci aşamasında yüksek kazançlı geniş bantlı horn antenler ile toprak altındaki tünel ve boşluk tespiti gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle tıbbi alanda serumlardaki dekstroz yüzdesi ölçümü, endüstriyel alanda ise motor yağının ömrünün ve miktarının ölçümü amaçlanmıştır. Her iki alandaki sıvıların numunelerinin ölçümleri laboratuvarında Agilent 85070E dielektrik probe kiti ve N5234A PNA-L Agilent Network Analizör cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin sonucunda %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının ve 0 km, 5 000 km ve 10 000 km kullanılmış motor yağlarının dielektrik sabitleri belirlenmiştir. Dielektrik sabitleri değerleri sonlu integrasyon tekniği (Finite Integration Technique-FIT) tabanlı mikrodalga simülasyon programına aktarılmışlardır. Bu simülasyon programı yardımıyla meta yapı ve antenlerimizin tasarımları ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Belirleyici parametre olarak S_{11} saçılma parametresi seçilmiştir. Motor yağı sensörü için günümüz araçlarına montajı en kolay hale getirmek amacıyla monopollü anten tasarlanmıştır. Serumlardaki dekstroz oranı ölçümü için metamalzeme tabanlı yama anten tasarlanmıştır. Son olarak mikrodalga simülasyon programının kütüphanesi referans alınarak horn antenler ile toprak altındaki boşluk ve tünel tespitinin simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Belirleyici parametre olarak S_{21} saçılma parametresi seçilmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları neticesinde rezonans frekansındaki doğrusal değişimler sayesinde gerekli algılama ve ölçümler yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler : Metamalzeme, Anten Sensör, Motor Yağı

Sayfa Adedi : 53

Danışman : Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL

APPLICATIONS OF ANTENNA BASED MICROWAVE SENSORS IN VARIOUS FIELDS
(M. Sc. Thesis)

Cumali KOPMAZ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

September 2020

ABSTRACT

In recent years, with the developing technology, interest in Metamaterial (MTM) or antenna based sensors has increased. Nowadays, metamaterials and antennas can be used as sensors for measurement, perception and detection in many areas. Metamaterials have electromagnetic properties that natural materials do not normally have. Metamaterials are artificial materials that can have a negative refractive index and not available in nature.

In the first step of this thesis, the measurement applications of metamaterial or antenna based sensors for liquids in industrial and medical fields are made. In the second step, detection of tunnel and space under the ground performed by using high gain wideband horn antenna.

Firstly, it is aimed to measure the percentage of dextrose in serums in the medical field, and to measure lifetime and amount of motor oil in the industrial field. The measurements of the samples of the liquids in both areas have been realized with the Agilent 85070E dielectric probe kit and N5234A PNA-L Agilent Network Analyzer in the laboratory. As a result of these measurements, the dielectric constants of 5%, 10% and 20% dextrose serums and 0 km, 5 000 km and 10 000 km used motor oils have been determined. Dielectric constants values have been transferred into the finite integration technique (FIT) based microwave simulation program. With the help of this simulation program, the designs and simulations of our meta-structures and antennas have been realized. The scattering parameter, S_{11} , have been chosen as the determining parameter. A monopole antenna was designed for the motor oil sensor to make it easier to integrate into the vehicles currently used today. A metamaterial based patch antenna has been designed for the measurement of dextrose ratio in the serum. Lastly, with reference to the library of the microwave simulation program, simulation studies of the detection of space and tunnels under the ground with horn antennas have been realized. The scattering parameter S_{21} have been chosen as the determining parameter. At the end of the obtained the simulation results, the necessary detection and measurements are made through the linear changes in the resonance frequency.

Key Words : Metamaterial, Antenna Sensor, Motor Oil
Page Number : 53
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan AKGÖL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yardımcı ve destek olan, gerektiğinde beni motive eden, bilgi ve tecrübelerini paylaşan değerli danışman hocam ve aynı zamanda akıl hocam Doç. Dr. Oğuzhan AKGÖL'e saygı ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışması süresi boyunca birçok alanda yardım ve bilgilerini esirgemeyen Prof. Dr. Emin ÜNAL, Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN ve Arş. Gör. Şekip DALGAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
3. ANTENLER	7
3.1. Monopol Anten	8
3.2. Mikroşerit Yama Anten.....	9
3.3. Horn Anten.....	10
4. MATERYAL VE YÖNTEM	12
4.1. Maxwell Denklemleri	12
4.1.1. Gauss yasası.....	13
4.1.2. Manyetizma için gauss yasası	13
4.1.3. Faraday yasası.....	13
4.1.4. Amper-Maxwell yasası.....	13
4.2. Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT).....	14
4.3. Ayrık Halka Rezonatör (SRR).....	14
4.4. Nicolson Ross Weir (NRW) Metodu	15

5. ARAŞTIRMA BULGULARI	17
5.1. Numunelerin Dielektrik Karakterizasyonunun Elde Edilmesi	17
5.1.1. Numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar	17
5.1.2. Dekstroz serumlarından alınan numunelerin dielektrik sabitleri	18
5.1.3. Motor yağlarından alınan numunelerin dielektrik sabitleri	19
5.2. Serumlardaki Dekstroz İçeriklerinin Metamalzeme Anten Tabanlı Sensör ile Tespiti.....	20
5.2.1. Dekstroz serumlarının eş değer modellerinin tasarımı	20
5.2.2. Metamalzeme birin hücrenin tasarımı.....	22
5.2.3. Metamalzeme tabanlı mikroşerit yama anten tasarımı	23
5.2.4. Simülasyon çalışmaları ve sonuçları	25
5.3. Anten Tabanlı Sensör ile Motor Yağlarının Ömürlerinin ve Miktarlarının Ölçülmesi	28
5.3.1. Monopol anten tasarımı	29
5.3.2. Monopol anten ile motor yağı simülasyon çalışmaları ve sonuçları.....	30
5.3.3. Anten tabanlı sensör tasarımı	34
5.3.4. Anten tabanlı sensörün simülasyon çalışmaları ve sonuçları	35
5.4. Horn Anten ile Tünel Tespiti	40
5.4.1. Horn anten tasarımı.....	40
5.4.2. Simülasyon çalışmaları ve sonuçları	41
6. SONUÇ	44
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	52
DİZİN	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Maxwell Denklemleri.....	12
Çizelge 5.1. Dekstroz serumlarının rezonans frekansları	28
Çizelge 5.2. Motor yağlarının bant genişlikleri (-12dB) ve rezonans frekansları.....	40



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Metamalzemelerin ve normal malzemelerin kırılmalarının karşılaştırılması [1]	1
Şekil 2.1. Metamalzeme CSRR tabanlı sensör ve merkezine yerleştirilen cam tüp [26]	4
Şekil 3.1. a) Monopol antenin ve b) eş değeri dipol antenin 2 boyutlu gösterimi	8
Şekil 3.2. a) Geleneksel monopol anten tasarımı ve b) yaptığı yayılımın 3 boyutlu gösterimi	8
Şekil 3.3. Geleneksel mikroşerit yama anten tasarımı 3 boyutlu gösterimi.....	9
Şekil 3.4. Geleneksel horn anten tasarımlarının 3 boyutlu gösterimi	11
Şekil 4.1. Ayırık halka rezonatör (SRR) çeşitleri	14
Şekil 4.2. a) Temel ayırık halka rezonatör (SRR) ve b) eş değer devresi [55, 56]	15
Şekil 5.1. Dekstroz serumlarından alınan numunelerin 1-8 GHz aralığındaki dielektrik değerleri	19
Şekil 5.2. Motor yağı numunelerinin 0-10 GHz aralığındaki dielektrik değerleri.....	20
Şekil 5.3. Tasarlanan eş değer serum modellerinin boyutları a) 1 000 ml'lik serum b) 500 ml'lik serum c) 150 ml'lik serum	21
Şekil 5.4. Tasarlanan metamalzeme birim hücre yapısı.....	22
Şekil 5.5. Tasarlanan metamalzeme birim hücrenin saçılma parametreleri	23
Şekil 5.6. Tasarlanan mikroşerit yama antenin a) ön b) arka görünümü	23
Şekil 5.7. Mikroşerit yama antene açılan oyuklar.....	24
Şekil 5.8. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin a) ön b) arka görünümü	24
Şekil 5.9. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin uzak alan ışımalarının 3D gösterimi.	25
Şekil 5.10. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin yansıma katsayısı ($S_{1,1}$) grafiği.....	25

Şekil	Sayfa
Şekil 5.11. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin serumların eş değer modelleri üzerine konumlandırılış	26
Şekil 5.12. 150 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları	26
Şekil 5.13. 500 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları	27
Şekil 5.14. 1 000 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları.....	27
Şekil 5.15. Monopol anten tasarımı	29
Şekil 5.16. Monopol antenin boyutları	30
Şekil 5.17. Monopol anten ve 0 km motor yağı.....	30
Şekil 5.18. Monopol anten ve 5 000 km motor yağı.....	31
Şekil 5.19. Monopol anten ve 10 000 km motor yağı.....	31
Şekil 5.20. 0 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları.....	32
Şekil 5.21. 5 000 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları.....	32
Şekil 5.22. 10 000 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları.....	32
Şekil 5.23. Tam miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları	33
Şekil 5.24. -%1 miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları	33
Şekil 5.25. -%3, -%5 ve -%7 miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları	33
Şekil 5.26. Anten tabanlı sensör ve motor yağı çubuğu borusunun eş değer model tasarımları	35
Şekil 5.27. Anten tabanlı sensör tasarımının izolasyon kaplamasız görünümü.....	35
Şekil 5.28. Anten tabanlı sensör ile 5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları.....	36
Şekil 5.29. Anten tabanlı sensör ile 4,5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları	37
Şekil 5.30. Anten tabanlı sensör ile 4 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları.....	38
Şekil 5.31. Anten tabanlı sensör ile 3,5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları.....	39
Şekil 5.32. Horn antenlerin, toprak zeminin ve tünelin boyutları yan görünüm	41

Şekil	Sayfa
Şekil 5.33. Horn antenlerin ve toprak zeminin boyutları a) üst görünüm b) ön görünüm.....	41
Şekil 5.34. Sadece toprak zemin için simülasyon sonuçları	42
Şekil 5.35. Tünel için simülasyon sonuçları	42
Şekil 5.36. Simülasyon sonuçları kıyaslaması.....	42



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçümü.....	17
Resim 5.2. 500 ml'lik %5 Dekstroz serumu	18
Resim 5.3. Motor yağı numuneleri	20
Resim 5.4. 1 000 ml'lik dekstroz serumun ölçülen a) Boyu b) Eni c) Yüksekliği.	21
Resim 5.5. Motor yağı çubuğu.....	34
Resim 5.6. Motor yağı çubuğu borusu	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

B	Manyetik Akı yoğunluğu
dB	Desibel
E	Elektrik Alan Şiddeti
Hz	Hertz
ϵ	Elektrik Geçirgenlik (Dielektrik Sabiti)
μ	Manyetik Geçirgenlik
km	Kilometre
n	Kırılma İndisi
$S_{1,1}$	Yansıma Katsayısı
$S_{2,1}$	İletim Katsayısı

Kısaltmalar

Açıklamalar

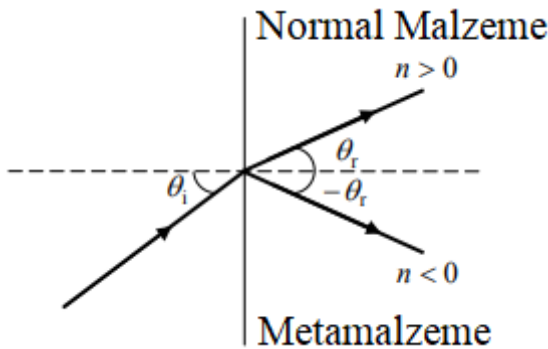
BW	Bant Genişliği
CSRR	Tamamlayıcı Ayrık Halka Rezonatör
DSRR	Çift Ayrık Halka Rezonatör
EBG	Elektromanyetik Bant Aralığı
FIT	Sonlu İntegrasyon Yöntemi
MTM	Metamalzeme
NRW	Nicolson Ross Weir Metodu
OSRR	Omega Ayrık Halka Rezonatör
PCB	Baskı Devre
PEC	Mükemmel Elektrik İletken
SRR	Ayrık Halka Rezonatör

1. GİRİŞ

Metamalzemeler, insanlar tarafından laboratuvar ortamında üretilen yapay malzemelerdir. Metamalzemeler alaşımların aksine meydana geldikleri malzemelerin özelliklerini almazlar. Şekil 1.1.'de gösterildiği gibi metamalzemelerin doğadaki malzemelerin aksine hem elektrik geçirgenliği (ϵ) hem de manyetik geçirgenliği (μ) negatif olabilmektedir. Bu özellikleri sayesinde metamalzemeler negatif kırılma indisine (n) sahip olabilmektedir [1-4]. Kırılma indisi;

$$n^2 = \epsilon \cdot \mu \quad (1.1)$$

şeklinde görüldüğü gibi elektrik geçirgenliğinin (ϵ) ve manyetik geçirgenliğinin (μ) pozitif olmasına bağlı olarak kırılma indisi pozitif ele alınmıştır. Kırılma indisinin negatif olabileceği fikrini yani metamalzemeleri teorik olarak ilk defa 1967 yılında V. G. Veselago ele almıştır. Veselago ters doppler etkisi, zıt Cherenkov yayılımları ve ters kırılma kanunu gibi olayları ortaya koymasına rağmen gerek o günün teknoloji şartlarında bu olayın uygulamasının yapılamaması gerekse metamalzemelerin doğada bulunmamasından dolayı 2000'li yıllara kadar pek ilgi görmemiştir [5, 6]. Veselago' dan yaklaşık 30 yıl sonra ayrık halka rezonatörleri (SRR) ile önceleri elektrik geçirgenlik (ϵ) sonra manyetik geçirgenlik (μ) daha sonraki dönemde eş zamanlı olarak hem manyetik geçirgenlik (μ) hem de elektrik geçirgenlik (ϵ) negatif yapılmıştır [7-10]. Bu gelişmeler sayesinde ilerleyen zamanda metamalzemeler kendilerine birçok çalışma alanında yer bulmuştur [11-17].



Şekil 1.1. Metamalzemelerin ve normal malzemelerin kırılmalarının karşılaştırılması [1]

Bu tez çalışmasında anten tabanlı mikrodalga sensörlerin potansiyellerini göstermek için üç farklı alan seçilmiştir. Bu alanlar endüstriyel sıvı sensörü, tıbbi sıvı sensörü ve toprak

altındaki tünel tespitidir. Çalışmada tıbbi uygulama için günümüzde hastanelerde en çok kullanılan serum çeşidi olan Dekstroz serumlar seçilmiştir. Dekstroz bir monosakkarit bir başka deyişle basit şekerdir. Dekstroz serumları ameliyat öncesi ve sonrası, çeşitli sebepler nedeniyle ağızdan su ve besinlerin alınmaması gerektiği durumlarda ve bazı ilaçların verilmesinde taşıyıcı olarak hastanelerde yaygın bir biçimde kullanılırlar. Bu çalışmada hastanelerde en çok kullanılan %5, %10 ve %20 serumları kullanılmıştır. Bu sensörümüzün amacı bu serumları üreten firmaların ürettikleri serumlarda taahhüt ettikleri dekstroz oranına uyup uymadıklarının kontrolünü yapmak ve hastanelerde olası insan hatalarından dolayı hastaya yanlış dozda uygulanmalarını önlemektir. Serumlardaki Dekstroz oranı ölçümü için metalmalzeme tabanlı mikroşerit yama anten tasarlanmıştır.

Endüstriyel uygulama için günümüz araçlarında kullanılan motor yağları seçilmiştir. Günümüz araçlarının motor yağları ortalama km hesabına veya süreye göre değiştirilmektedir fakat araçlar motor yağlarını şehir içi ve şehir dışında farklı oranlarda eskitmektedir ve bu motor yağlarının büyük bir çoğunluğu ömrünü bitirmeden değiştirilmektedir. Günümüz araçlarında motor yağı miktarını öğrenmek için kullanılan meşakkatli manuel ölçüm yerine bu çalışma önerilmiştir. Tasarlanan bu sensörün amacı hem motor yağı ömrünün süresini gerçek zamanlı ölçerek motor yağı kullanımını arttırmak ve milyonlarca araçta erken atılan motor yağlarının israfının önüne geçmek hem de motor yağı miktarını ölçerek servislerde ve kullanım alanlarında olası insan hatalarının önüne geçmektir. Bu çalışmada motor yağı ölçümü için araçlardaki motor yağı çubuğu yerine monte edilebilecek nitelikte monopol anten uygulaması yapılmıştır.

Son olarak yüksek kazançlı geniş bantlı horn antenler ile toprak altındaki boşluk ve tünellerin tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kum malzemesi olarak mikrodalga simülasyon programının kütüphanesindeki sandy soil materyali referans alınmıştır. Bu kum materyalinin içinde açılan tünelin tespiti horn antenler ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada antenlerin ve elektromanyetik dalgaların toprak altındaki etkileri, boşlukları algılama ve tespitini yapma konusundaki potansiyellerini gösterilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sensörler ya da diğer adıyla algılayıcılar, fiziksel ve kimyasal değişimleri elektrik sinyallerine çeviren cihazlardır. Sensörleri basit bir deyişle anlatmak gerekirse makinelerin duyu organlarıdır. Veselago'nun teorik olarak ele aldığı çalışma yani metamalzemeler önce Pendry ve arkadaşlarının çalışmaları sonraki dönemde Smith ve arkadaşlarının çalışmaları ile geliştirilen ve elde edilen metamalzemelerin birçok alanda yer bulduğundan giriş bölümünde bahsedilmiştir [5-10]. Bu çalışma alanlarından biri de sensörlerdir. Metamalzeme ve anten tabanlı sensörler hakkında literatüre bakıldığında birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır;

Altıntaş ve arkadaşları [18], saf su-etanol karışımındaki etanol oranını ölçen metamalzeme tabanlı sıvı sensörü üzerine bir çalışma sunmuştur. Aynı çalışmada rotasyon ve gerilim üzerine de bir çalışma önerilmiştir [18].

Altıntaş ve arkadaşları [19], atık su arıtma uygulamaları için çift ayırık halka rezonatör (DSRR) tabanlı mikroakışkan sensörü ile 3 farklı arıtma aşamasından elde edilen sıvılardan alınan numunelerin dielektrik sabitleri arasındaki farklardan yararlanılarak 1,5-2 GHz arasında tespitlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada atık su tesislerindeki ölçüm maliyetini düşürecek ve güvenliği arttıracak nitelikte bir sensör tasarlamışlardır [19].

Akgöl [20], baskı devre (Printed Circuit Board-PCB) dairesel mikroşerit yama anten ile metanol-su ve etanol-su karışımlarının oranlarının ölçümlerini yaklaşık 3 GHz'de gerçekleştirmiştir. Önerilen tasarımın alt zemininin merkezinde açılan dairesel boşluğa %10'luk eklemelerle oluşturulan karışımlar konulmuştur ve ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucunda karışım miktarına göre rezonans frekansı doğrusal olarak kaymaktadır. Bu sayede metanol-su ve etanol-su karışımlarının ölçümleri anten tabanlı sensör yardımıyla hassas, hızlı ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmiştir [20].

Chang ve arkadaşları [21], etanol-su karışımlarının madde miktarlarını PCB yama anten tabanlı biyosensör kullanılarak ölçmüşlerdir. Yaptıkları bu çalışmada etanol-su karışımlarının yoğunlukları değiştikçe karışımında dielektrik katsayı değeri değişmektedir ve buna bağlı olarak $S_{1,1}$ saçılma parametresinde rezonans frekansının 1,69 – 1,63 GHz'ler

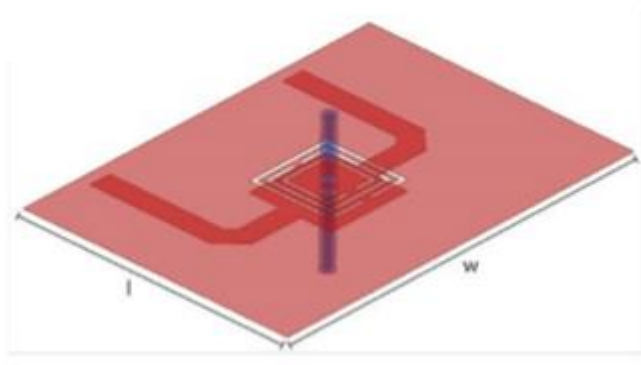
arası kayması ile ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir [21].

Dinçer ve arkadaşları [22], metamalzeme tabanlı sensör ile kaçak akaryakıt tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Önerilen bu çalışmada markalı ve kaçak benzin ve mazotların dielektrik değerleri farklarını tespit etmişler ve bu sayede $S_{2,2}$ parametreleri arasındaki fark ile tespitlerini gerçekleştirmişlerdir [22].

Withayachumnankul ve arkadaşları [23, 24], önce metamalzeme tabanlı 4 ayrı halka rezonatörlü (Split Ring Resonator-SRR) ile algılama [23], daha sonra etanol-su karışımı ölçümü için metamalzeme SRR tabanlı mikroakışkan sensörü tasarlamışlardır [24].

HJ. Lee ve arkadaşları [25], tasarladıkları iki çift SRR tabanlı biyosensör ile biyotin (vitamin-kimyasal bileşen) ve streptavidin (protein) algılaması yapmışlardır. Bu çalışmada yapılan testler sonucunda $S_{2,1}$ parametresindeki rezonans frekansı kayması ile yeterli hassasiyette algılamalar yapılmıştır, SRR'lerin biyosensör alanındaki potansiyellerini ispatlamışlardır ve gelecekte SRR'lerin biyosensör alanında kullanımına ışık tutmuşlardır [25].

Chuma ve arkadaşları [26], Şekil 2.1.'deki metamalzeme tamamlayıcı ayrı halka rezonatör (Complementary Split Ring Resonator-CSRR) tabanlı mikrodalga sensörü tasarlamışlardır ve sıvıların dielektrik karakteristiği hakkında çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada meta yapının merkezine bir delik açılmıştır ve bu deliğe cam kılcal tüpler yerleştirilmiştir. Etanol-su karışımından alınan numuneler bu tüp içerisine konularak $S_{2,1}$ parametresindeki rezonans frekansı kayması ile temassız bir şekilde ölçümleri gerçekleştirilmiştir [26].



Şekil 2.1. Metamalzeme CSRR tabanlı sensör ve merkezine yerleştirilen cam tüp [26]

Abdulkarim ve arkadaşları [27], omega ayırık halka rezonatör (OSRR) ve iletim hattı ile yeni bir metamalzeme tabanlı hassas sıvı sensörü tasarlamışlardır. İletim hattı teorisi kullanılarak tasarlanan bu sensör 3 ana katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlardan ilki omega ayırık halka rezonatör (OSRR) ve omeganın iç kısmı numunelerin konulması için ayarlanmıştır, ikinci katman iletim hattıdır, üçüncü katman ise antenin arka yüzü bakırla kaplanmıştır. Bu sensör ile kimyasal sıvıların (temiz ve kirli transformator yağı, amonyak, izopropil, PEG 300, metanol-su ve etanol-su karışımlarının vb.) hassas ölçüm ve algılamalarını gerçekleştirmişlerdir [27].

Tamer ve arkadaşları [28], kaçak ve orijinal benzin tespiti yapmak amacıyla X-bandında çalışan iletim hattına entegre edilmiş metamalzeme tabanlı sıvı sensörü önermişlerdir [28].

Karatepe ve arkadaşları [29], yaptıkları bu çalışmada şaraplardaki etanol alkol oranını ve dezenfektanlardaki izopropil alkol oranını tespit etmek amacıyla baskı devre (PCB) mikroşerit yama anten tabanlı sıvı sensörü tasarlamışlardır. Şarap ve dezenfektandan alınan numunelerin dielektrik sabitlerini ölçmüşlerdir ve bu dielektrik farkından yararlanarak $S_{1,1}$ parametresi ile tespitlerini gerçekleştirmişlerdir [29].

Bakır ve arkadaşları [30], X- bandında yaptıkları bu çalışmada üçlü halka rezonatör tipi metamalzeme tabanlı sensör önermişlerdir. Tasarladıkları bu sensör ile yakıtta (petrol) başka kimyasal maddeler (kerosen/gazyağı ve etanol vb.) karıştırarak yapılan hilelerin tespitini yapmışlardır [30]. Bakır ve arkadaşları [31], benzer bir çalışmayı kiral metamalzeme tabanlı sensör ile 8-12 GHz arasında mikroakışkan ve yakıtta hile algılama uygulamalarını gerçekleştirmişlerdir [31]. Bakır ve arkadaşları [32], önerdikleri bu çalışmada ayırık halka rezonatör metamalzeme tabanlı mikroakışkan sensörü ile 4-6 GHz arasında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada metamalzeme tabanlı mikroakışkan sensörlerinin aseton, amonyak, PEG 300, PEG 400, etanol-su ve metanol-su gibi birçok alanda kullanılabileceğini göstermişlerdir [32].

Karaaslan ve Bakır [33], X-bandında yaptıkları bu çalışmada kiral metamalzeme tabanlı çok fonksiyonlu sensör önermelerini gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu sensör ile metamalzeme tabanlı sensörlerin termal algılama gibi birçok farklı alanda kullanılabileceğini göstermişlerdir [33].

Soffiatti ve arkadaşları [34], Metamalzeme tabanlı sensörler ile 1-4 GHz arasında asetik asit, sodyum klorür gibi kimyasal sıvıların su ile oluşturdukları karışımların oranın, tasarladıkları antenler arası mesafenin ve antenler arası açının dielektrik karakterizasyonu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [34].

Arif ve arkadaşları [35], tasarladıkları 2,45 GHz'de çalışan elektromanyetik bant aralığı (Electromagnetic Band Gap-EBG) tabanlı sensörü kullanarak antenin geri dönüş kaybındaki değişim ile sıvıların dielektrik karakterizasyonunu incelemişlerdir [35].

K. Lee ve arkadaşları [36], yaptıkları bu çalışmada 2,5-3,2 GHz arasında deniz suyundaki tuzluluk oranını ölçmek amacıyla mikroşerit yama anten tabanlı sıvı sensörü önermişlerdir. Tasarladıkları antende yama ile toprak yüzey arasına sıvılardan alınan numuneler için hazne oluşturmuşlardır. Bu yöntemle yapılan testler sonucunda deniz suyundaki tuz oranına bağlı olarak rezonans frekansının doğrusal bir biçimde sonuç verdiğini saptamışlardır [36].

Literatürde mikrodalga tabanlı sensörler ile biyo sensör [37-41], sıcaklık sensörü [42, 43], giyilebilir solunum sensörü [44], gaz sensörü [45], endüstriyel sıvı sensörü [46], topraktaki nem algılayıcılar [47], çatlak ve hasar sensörü [48-50] gibi birçok alanda çalışmalar mevcuttur.

Önerilen tez çalışmasında tasarlanan her üç tip sensör de uygulama alanlarındaki kullanımları ve hassas ölçüm yapabilmeleri için uygun özelliklerde tasarlanmıştır. Bu tez çalışmasının literatürdeki birçok sıvı sensöründen farkı ve özgünlüğü: Endüstriyel uygulaması için hem motor yağı ömrünü hem de miktarını ölçmek ayrıca uygulama alanına uygun ve bir araca montajı kolayca gerçekleştirilebilecek nitelikte olmasıdır, tıbbi uygulaması için dekstroz serumlarının kalite kontrolünü yapmak ayrıca hassas, temassız ve kullanım alanları için kolay ölçüm yapabilecek nitelikte olmasıdır. Literatürde birçok sıvı sensörü olmasına rağmen bu tezde ele alınan her iki sıvı ve uygulama alanları hakkında yeterli çalışma bulunmamaktadır. Önerilen bu tez çalışması her iki alan için de gelecekte yeni metotlarla geliştirilebilecek metamalzeme veya anten tabanlı sensörlere örnek olabilecek ve mikrodalga sensörlerin bu uygulama alanları hakkındaki potansiyellerine ışık tutabilecek niteliktedir.

3. ANTENLER

Antenler elektromanyetik dalgaları boşluktan alan veya boşluğa gönderen cihazlardır. Antenler temel kullanımlarına göre alıcı ve verici olarak ikiye ayrılırlar. İletim hatlarındaki sinyalleri boşluğa elektromanyetik dalga olarak gönderen antenlere verici antenler, boşluktaki elektromanyetik dalgaları toplayıp iletim hattına ileten antenlere alıcı antenler denir.

Antenler karşılıklılık (reciprocity) özelliğine sahiptirler. Karşılıklılık özelliği, alıcı ve verici antenlerin aynı özelliklere sahip olmasına denir. Bu özellik sayesinde alıcı ve verici antenler birbirlerinin yerine kullanılabilirler veya aynı anten hem alıcı hem de verici olarak kullanılabilir. Radar ve haberleşme alanlarında kullanılan antenler bu durumun en genel örneğini oluşturmaktadırlar.

19. yüzyılda elektromanyetik, radyo frekansı ve radyo dalgaları gibi alanlarda birçok çalışma yürütülmüştür. 1864'te James Clerk Maxwell Gauss, Faraday ve Amper denklemlerini düzenleyerek Maxwell Denklemlerini açıklamıştır. 1888'de Heinrich Hertz radyo dalgalarının üretilebileceğini ispatlamıştır. 1890'lı yıllarda Nikola Tesla radyo sinyallerinin kablosuz iletebilmesi hakkında çalışmalar yapmıştır ve patentler almıştır. Bu gibi gelişmelerden de faydalanarak İtalyan fizikçi Guglielmo Marconi 1895 yılında monopol anteni üretmiş, 1896 yılında radyonun patentini almış ve 1901 yılında kıtalar arası kablosuz ilk sinyali göndermiştir.

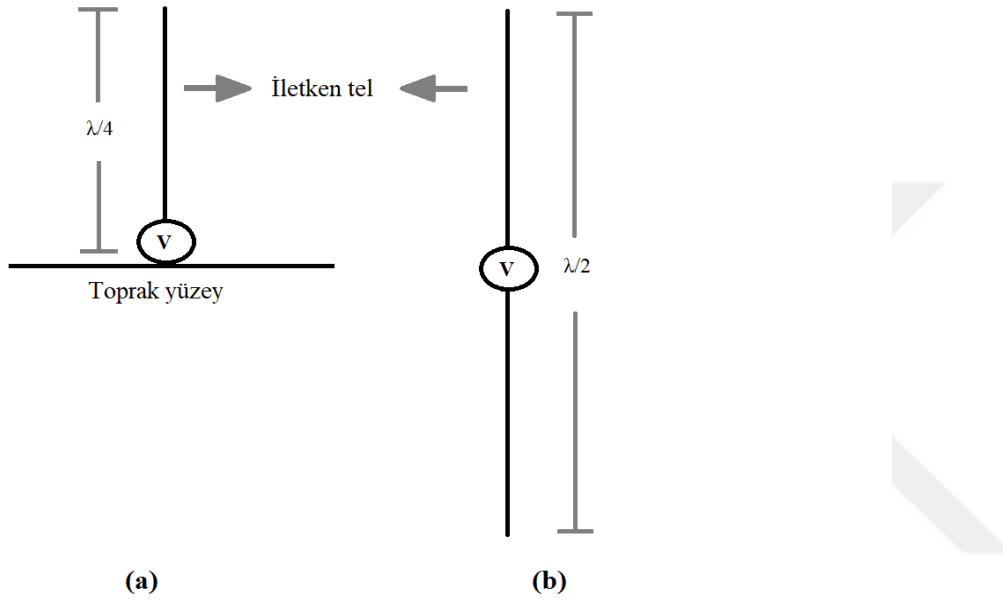
Başlıca anten çeşitleri;

- Monopol Anten
- Dipol Anten
- Döngü Anten
- Yagi-Uda Anten
- Huni Anten
- Mikroşerit Yama Anten
- Horn Anten
- Dizi Anten

Bu tez çalışmasında Monopol, Horn ve Mikroşerit yama anten çeşitleri kullanılmıştır.

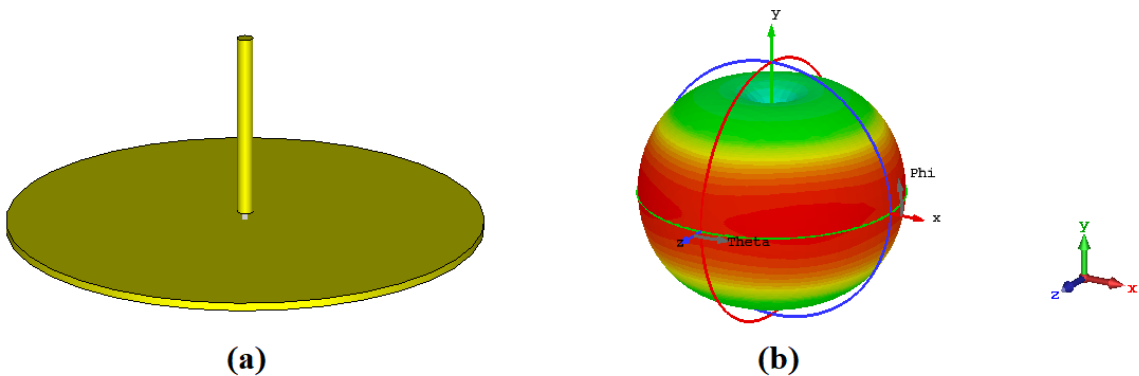
3.1. Monopol Anten

Monopol anten, bir dipol antenin yarısı boyundaki (çeyrek dalga boyunda- $\lambda/4$) iletken telin düz iletken bir yüzeye (toprak yüzey) dik açıyla elektriksel olarak temas etmeden birleştirilmesiyle oluşan bir çok yönlü anten türüdür. Şekil 3.1.'de bir monopol anten ve eşdeğeri olduğu dipol anten gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Monopol antenin ve b) eş değeri dipol antenin 2 boyutlu gösterimi

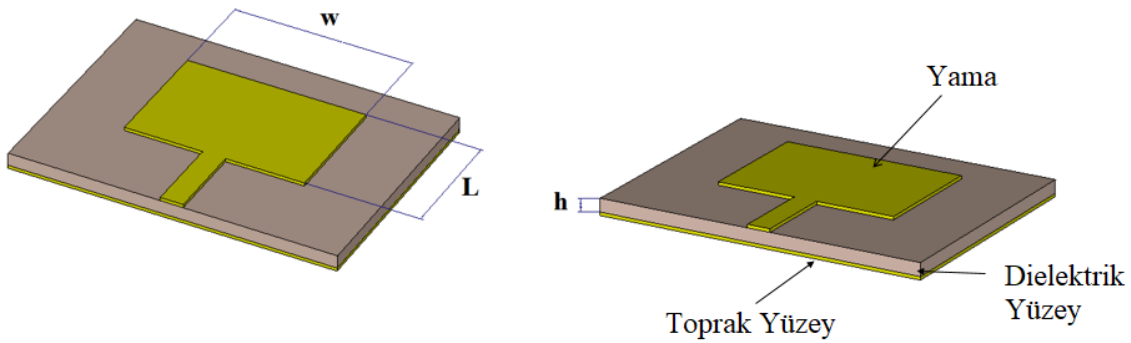
Monopol antenler bir iletken tel ve toprak yüzeyden oluşurlar. Teorik olarak toprak yüzey bir ayna gibi görev görür ve monopol anteni dipol antene tamamlar. Bu sayede monopol antenlerde dipol antenler gibi çok yönlü yayılım yaparlar. Şekil 3.2.'de geleneksel monopol anten ve yaptığı 3 boyutlu yayılım gösterilmiştir.



Şekil 3.2. a) Geleneksel monopol anten tasarımı ve b) yaptığı yayılımın 3 boyutlu gösterimi

3.2. Mikroşerit Yama Anten

Mikroşerit yama antenler, dielektrik (yalıtkan) yüzey üzerinde ışımaya yapan yama ve dielektrik yüzeyin diğer tarafında bulunan toprak yüzeyden meydana gelmektedir. Düşük maliyetli ve işlenmesinin kolay olması gibi avantajlı sayesinde yama ve toprak yüzey için iletken madde olarak bakır, dielektrik (yalıtkan) yüzey için FR-4 yaygın bir biçimde tercih edilmektedir.



Şekil 3.3. Geleneksel mikroşerit yama anten tasarımı 3 boyutlu gösterimi

Şekil 3.3.'te verilen L uzunluğu (yama uzunluğu) çalışma frekansının belirleyici faktörüdür.

$$f_0 \approx \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r\epsilon_0\mu_0}} \quad (3.1)$$

Şekil 3.3.'te verilen W uzunluğu (yama genişliği) bant genişliğini belirleyici faktörlerdendir. W uzunluğu arttıkça antenin bant genişliği de artar. W uzunluğu aynı zamanda antenin giriş empedansını kontrol eder.

Şekil 3.3.'te verilen h uzunluğu dielektrik yüzeyin kalınlığıdır ve antenin bant genişliğini belirleyici faktörlerdendir. h uzunluğu arttıkça antenin bant genişliği de artar.

$$B \propto \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \frac{W}{L} h \quad (3.2)$$

Mikroşerit yama antenlerin avantajları;

- Hafif ve küçük boyutlu olması
- Düşük profilli olması
- Üretiminin kolay olması
- Güç tüketiminin düşük olması
- Maliyetinin düşük olması
- Güvenirlilik

Mikroşerit yama antenlerin dezavantajları;

- Dar bant genişliğine sahip olması
- Kazancının düşük olması
- Kayıplarının fazla olması

Mikroşerit yama antenler hafif, küçük boyutlu ve montajlarının kolay olması gibi özellikleri sayesinde kullanıldıkları cihazların aerodinamik yapılarını bozmadıkları için askeri ve uzay endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadırlar.

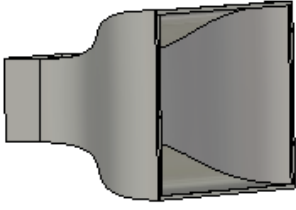
3.3. Horn Anten

Horn anten, Yüksek frekanslarda ve mikrodalga frekanslarda radyo dalgalarını yönlendirmek amacıyla kullanılan metal bir materyalden oluşan korna şeklindeki anten türüdür. Dış görünüşleri kornaya benzediği için ismini İngilizcede korna anlamına gelen horndan almıştır.

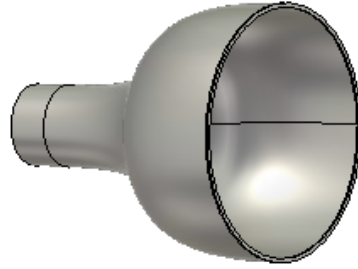
Horn antenlerin avantajları;

- Yönlülük
- Kazanç
- Verim
- Geniş bantlı
- Maliyeti düşük
- Üretimi kolay

Bu avantajları sayesinde horn antenler uzay endüstrisi, askeri endüstri ve haberleşme alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Horn antenlerin boyutları ve şekilleri kullanıldıkları alana ve yere göre değişiklik gösterebilmektedir. Şekil 3.4.'de geleneksel piramit ve konik horn anten türleri gösterilmiştir.



a) Piramit Horn Anten



b) Konik Horn Anten

Şekil 3.4. Geleneksel horn anten tasarımlarının 3 boyutlu gösterimi



4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Maxwell Denklemleri

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi İskoç fizikçi James Clerk Maxwell Gauss, Faraday ve Amper denklemlerini düzenleyerek Çizelge 4.1.'de gösterilen Maxwell Denklemlerini oluşturmuştur.

Çizelge 4.1. Maxwell Denklemleri

Yasa Adı	İntegral Form	Diferansiyel Form
Gauss Yasası	$\oint E \cdot dA = \frac{q}{\epsilon_0}$	$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Manyetizma İçin Gauss Yasası	$\oint B \cdot dA = 0$	$\nabla \cdot B = 0$
Faraday Yasası	$\oint E \cdot dS = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	$\nabla \times E = -\frac{dB}{dt}$
Amper Yasası (Maxwell'in Düzenlemesiyle)	$\oint B \cdot dS = I\mu_0 + \epsilon_0\mu_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$	$\nabla \times B = J\mu_0 + \epsilon_0\mu_0 \frac{dE}{dt}$

dA: Yüzey alanını ifade ediyor

dS: Uzunluğu ifade ediyor

\oint : Kapalı yüzeyi ifade ediyor

J: Akım yoğunluğunu ifade ediyor

Φ : Akıyı ifade ediyor

4.1.1. Gauss yasası

Kapalı bir yüzey içinde net bir elektrik yükü var ise yüzeyden bir elektrik alan akısı geçer ve kapalı yüzey içindeki net elektrik yükü ile yüzeyden geçen elektrik alan akısı birbiri ile doğru orantılı olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte bu denklem elektrik alanın kaynağının elektrik yükleri olduğunu açıklamaktadır.

4.1.2. Manyetizma için gauss yasası

Manyetik alan için gauss yasasının uygulanmış halidir. Kapalı bir yüzeydeki manyetik alan akısının sıfır olduğunu açıklamaktadır. Bununla birlikte bu denklem manyetik yüklerin var olmadığını da açıklamaktadır.

4.1.3. Faraday yasası

Faraday yasası manyetik akı veya manyetik alandaki değişimin bir elektrik alan oluşturduğunu açıklamaktadır. Gauss yasası ve Faraday yasasına göre elektrik alan kaynağının elektrik yükü veya manyetik alan olduğu ifade edilmektedir.

4.1.4. Amper-Maxwell yasası

Maxwell faraday denkleminin sağ tarafındaki manyetik akı türevinin bir benzerini Amper denkleminin sağına elektrik akı olarak eklemiştir bu nedenle bu yasaya Amper-Maxwell yasası denilmektedir. Amper-Maxwell yasası elektrik akı veya elektrik alandaki değişimin bir manyetik alan oluşturduğunu açıklamaktadır.

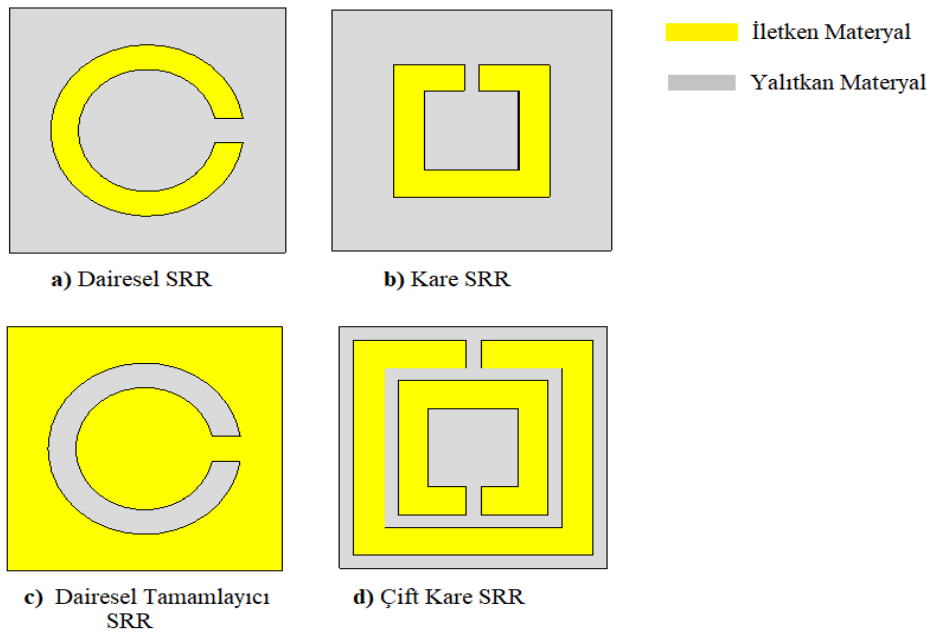
Faraday yasası, değişken manyetik alan değişken elektrik alan oluşturduğunu açıklamıştır. Amper-Maxwell yasası, değişken elektrik alan değişken manyetik alan oluşturduğunu açıklamıştır. Bu nedenle Faraday yasası Amper-Maxwell yasasının tam tersidir anlamı çıkarılabilmektedir.

4.2. Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT)

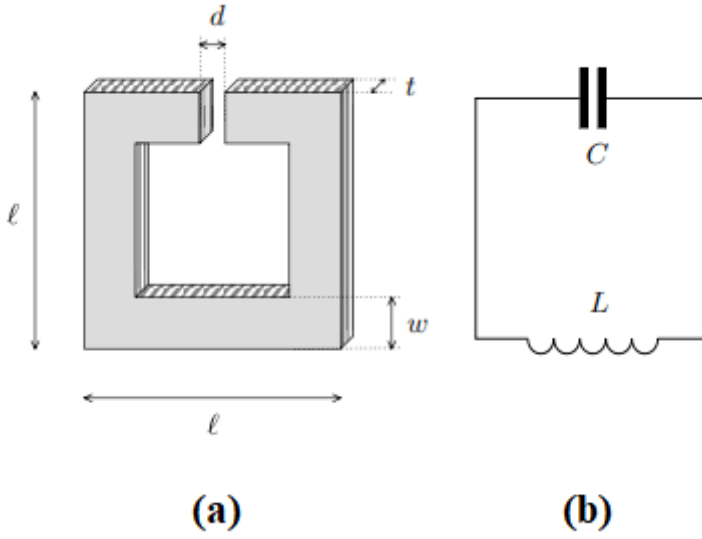
Sonlu integrasyon tekniği (FIT) ilk kez 1977 yılında Alman fizikçi ve mühendis Prof. Thomas Weiland tarafından ortaya konulmuştur. Bu teknik yıllar içinde sürekli olarak geliştirilmiştir ve günümüzde birçok simülasyon programının temelini oluşturmaktadır. Geliştirilen bu teknik önceki bölümlerde bahsedilen integral formdaki karmaşık Maxwell Denklemlerini doğrusal forma dönüştürerek daha kolay, verimli ve doğru bir çözüm sunmaktadır [51-53].

4.3. Ayrık Halka Rezonatör (SRR)

Önceki bölümlerde ayrık halka rezonatörün (SRR) ilk olarak Smith ve arkadaşları tarafından dielektrik sabitini negatif yapmak sonraki çalışmalarında manyetik geçirgenliği negatif yapmak daha sonraki dönemde ise eş zamanlı olarak hem dielektrik sabitini hem de manyetik geçirgenliği negatif yapmak için tasarlanmış bir metamateryal türü olduğundan bahsedilmiştir [5-10]. Temel olarak ayrık halka rezonatörler (SRR) eş merkezli birbirine zıt yönlü iki iletken ve aralarındaki boşluktan meydana gelmektedir. Bu iletkenler kare, dikdörtgen, dairesel, çokgen gibi birçok geometrik yapıda SRR'ler tasarlanmıştır [54]. Şekil 4.1.'de SRR türleri gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Ayrık halka rezonatör (SRR) çeşitleri



Şekil 4.2. a) Temel ayırık halka rezonatör (SRR) ve b) eş değer devresi [55, 56]

Şekil 4.2.'deki kapasitansı ayırık halka rezonatördeki boşluk oluşturur. İndüktans ℓ^2 ile doğru t ile ters orantılıdır. Rezonans frekansı (f_0) devredeki indüktans (L) ve kapasitansa (c) bağlıdır [55, 56].

$$C = \epsilon_0 \epsilon_C \frac{\omega t}{d} \quad (4.1)$$

$$L = \mu_0 \frac{\ell^2}{t} \quad (4.2)$$

$$f_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4.3)$$

Şekil 4.2.'deki eş değer devrenin empedansı;

$$Z = \frac{1}{j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} = j \frac{\omega L}{1 - \omega^2 CL} \quad (4.4)$$

4.4. Nicolson Ross Weir (NRW) Metodu

Nicolson ve Ross 1970, Weir 1974'deki çalışmalarında materyallerin elektromanyetik karakterizasyonlarını bir başka deyişle dielektrik sabitlerini ve manyetik geçirgenliklerini $S_{1,1}$ ve $S_{2,1}$ parametreleri yardımıyla bulunabileceğini ortaya koymuşlardır [57, 58].

Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayarlara ve simülasyon programlarına en uygun yöntem olmasından dolayı Nicolson Ross Weir (NRW) metodu materyallerin elektromanyetik karakterizasyonun tespiti amacıyla günümüzde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında numunelerin dielektrik sabitlerini hesaplamak için Nicolson Ross Weir (NRW) metodundan yararlanılmıştır. Bu metotla hesaplama yapılırken manyetik olmayan materyaller için $\mu_r \approx 1$ olarak alınır, L numunelerin kalınlığını, λ_0 boşluktaki dalga boyunu, λ_c kesim frekansındaki dalga boyunu belirtmektedir [57, 58].

$S_{1,1}$ parametresinin hesaplanması için kullanılan denklem;

$$S_{1,1} = \Gamma \frac{1-T^2}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (4.5)$$

$S_{2,1}$ parametresinin hesaplanması için kullanılan denklem;

$$S_{2,1} = T \frac{1-\Gamma^2}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (4.6)$$

T iletim katsayısının hesaplanması için kullanılan denklem;

$$T = \frac{S_{1,1} + S_{2,1} - \Gamma}{1 - (S_{1,1} + S_{2,1})\Gamma} \quad (4.7)$$

Γ yansımaya katsayısının hesaplanması için kullanılan denklemler;

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1} \quad (4.8)$$

$$K = \frac{S_{1,1}^2 - S_{2,1}^2 + \Gamma}{2S_{1,1}} \quad (4.9)$$

Numunelerin bağlı elektrik geçirgenliği (dielektrik sabiti- ϵ_r) hesaplanırken kullanılan denklem;

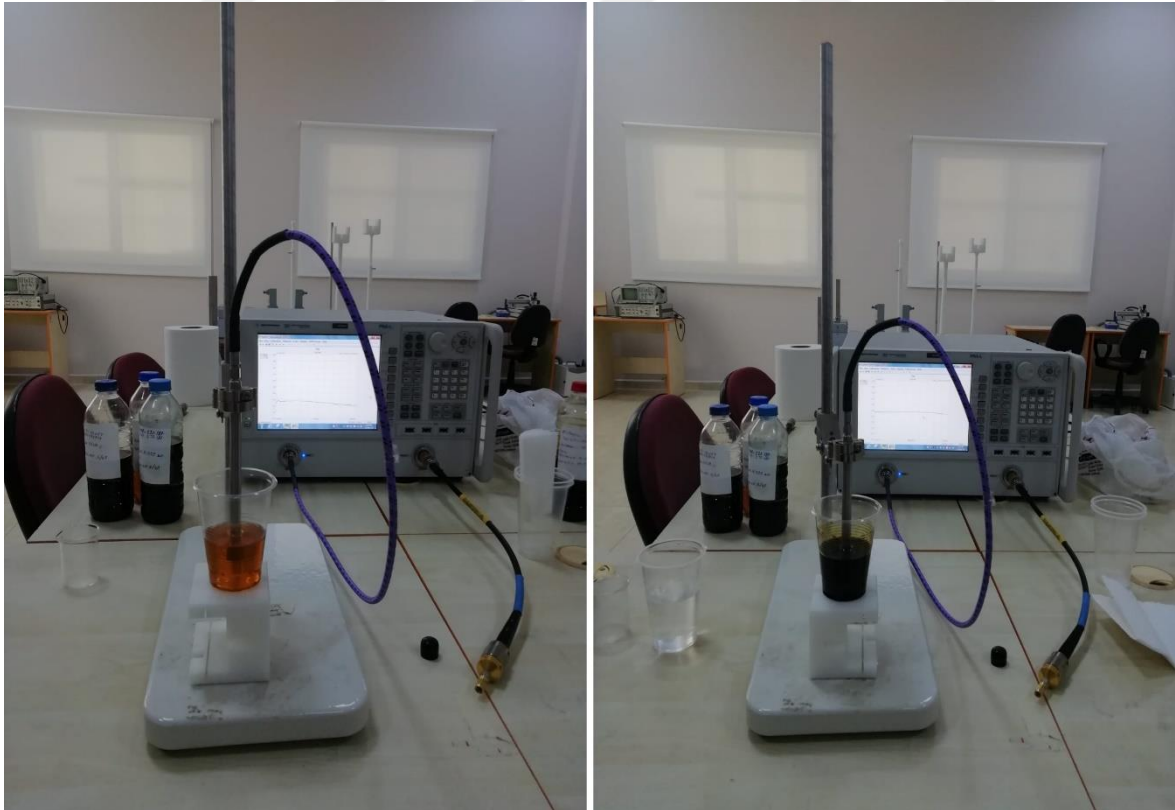
$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left(\frac{1}{\lambda_c^2} - \left[\frac{1}{2\pi L} \ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right) \quad (4.10)$$

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Numunelerin Dielektrik Karakterizasyonunun Elde Edilmesi

5.1.1. Numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar

Sıvılardan alınan numunelerin ölçümleri laboratuvarda N5234A PNA-L Agilent Network Analizör cihazı ve bu cihaza bağlı olan Agilent 85070E dielektrik probe kiti ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler laboratuvar ortamında ve oda sıcaklığında yapılmıştır. Ölçümler gerçekleştirilmeden önce Network Analizör cihazı ve dielektrik probe kiti ölçüm yapılacak frekans aralığında kalibre edilir. Bu frekans aralığı dekstroz serumları için 1-8 GHz, motor yağları için 0-10 GHz'dir. Kalibrasyon işlemi kalibre aparatının dielektrik probe kitine bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Kalibrasyon işlemi bittikten sonra işlemin doğruluğunu teyit etmek için ilk olarak dielektrik sabitleri bilinen hava ve su ölçülür daha sonra numunelerin ölçümleri Resim 5.1.'de gösterildiği gibi gerçekleştirilir.



Resim 5.1. Numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçümü

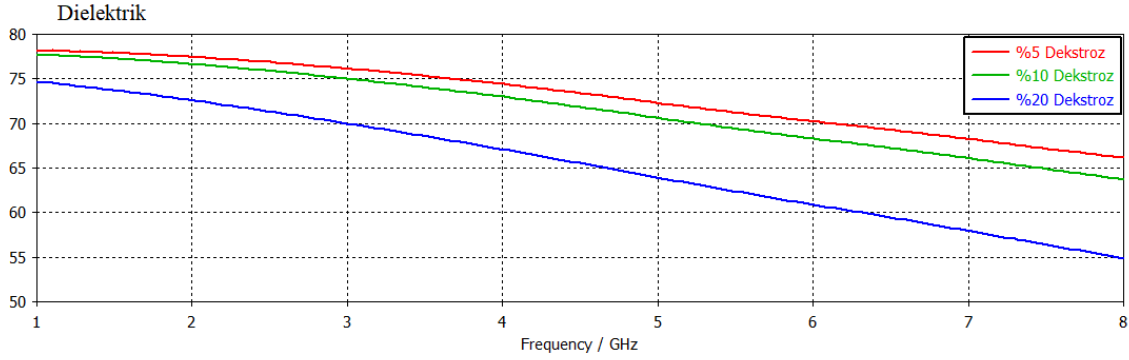
Bu ölçümler ile %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarından ve 0 km, 5 000 km ve 10 000 km kullanılmış motor yağlarından alınan numunelerin dielektrik sabitleri belirlenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler sonlu integrasyon tekniği (Finite Integration Technique-FIT) kullanan mikrodalga simülasyon programına aktarılmışlardır. Bu simülasyon programı yardımıyla ilk olarak serumların eş değer modelleri daha sonra ölçümleri yapabilecek en uygun sensörler tasarlanmıştır. Son olarak da simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

5.1.2. Dekstroz serumlarından alınan numunelerin dielektrik sabitleri

Bu tez çalışmasında günümüzde hastanelerde en çok kullanılan %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik modellerinde dekstroz oranı tespiti için numuneler alınmıştır. Alınan bu numunelerin Resim 5.1. ve numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar kısmında anlatılan yöntemler ile dielektrik sabiti değerleri belirlenmiştir. Resim 5.2.'de numune alınan 500 ml'lik %5 dekstroz serumu, Şekil 5.1.'de dielektrik sabiti değerleri simülasyon programı aracılığıyla gösterilmiştir.



Resim 5.2. 500 ml'lik %5 Dekstroz serumu



Şekil 5.1. Dekstroz serumlarından alınan numunelerin 1-8 GHz aralığındaki dielektrik değerleri

5.1.3. Motor yağlarından alınan numunelerin dielektrik sabitleri

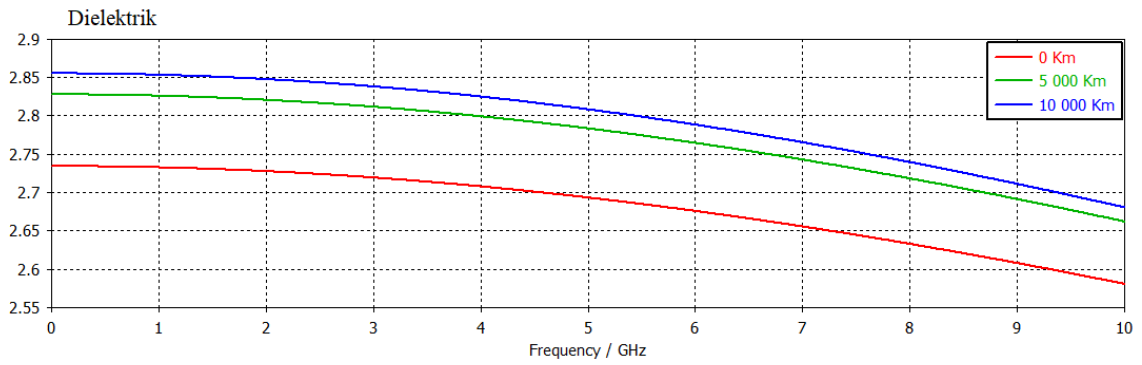
Bu tez çalışmasında günümüz araçlarında kullanılan motor yağlarının ömrünün ve miktarının tespiti için numuneler alınmıştır. Bu çalışma için Elf 5w-30 markalı motor yağı tercih edilmiştir. Bu çalışmada tek bir kap Elf 5w-30 kullanılmıştır. Çalışma süresince araca başka bir kaptan herhangi bir motor yağı veya numunelerin değerlerini değiştirebilecek herhangi bir sıvı eklenmemiştir. Çalışma boyunca tek bir araç kullanılmıştır. Elde edilen numuneler belirtilen ölçümlerin gerçekçiliği ve doğruluğu açısından yeterli kalitededir. Numunelerin elde edilme aşamaları;

- 01.10.2019 tarihinde araca 0 km Elf 5w-30 markalı motor yağı katılmıştır ve aynı kaptan bir miktar numune alınmıştır.
- 21.10.2019 tarihinde araç motor yağı ile 5 000 km mesafeyi tamamlamıştır ve araçtaki motor yağından araca zarar veremeyecek bir miktar kadar daha numune alınmıştır.
- 09.11.2019 tarihinde araç motor yağı ile 10 000 km mesafeyi tamamlamıştır ve araçtaki motor yağı ömrünü doldurmuştur bunun üzerine bu motor yağından da bir miktar numune alınmıştır.

Bu yöntemler ile elde edilen numunelerin Resim 5.1.'de ve numunelerin dielektrik sabitlerinin ölçülmesinde kullanılan ekipmanlar kısmında anlatılan yöntemler ile dielektrik sabiti değerleri belirlenmiştir. Resim 5.3.'de ölçümleri yapılan motor yağı numuneleri gösterilmektedir. Şekil 5.2.'de aktarılan ölçüm sonuçlarının simülasyon programından faydalanılarak düzenlenmiş değerlerinin grafiksel gösterimi verilmiştir.



Resim 5.3. Motor yağı numuneleri



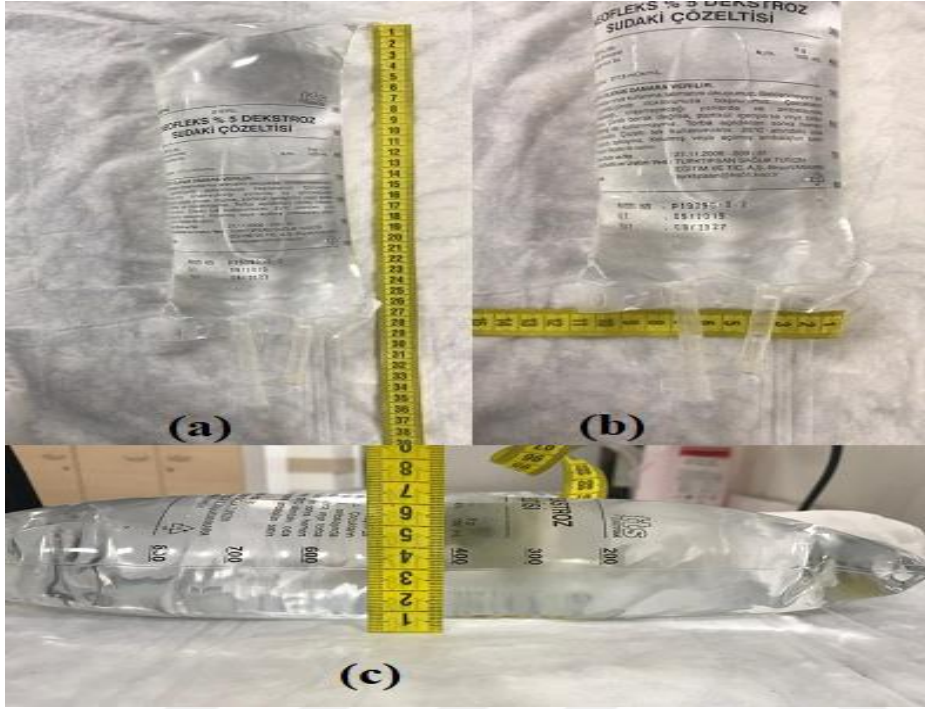
Şekil 5.2. Motor yağı numunelerinin 0-10 GHz aralığındaki dielektrik değerleri

5.2. Serumlardaki Dekstroz İçeriklerinin Metamalzeme Anten Tabanlı Sensör ile Tespiti

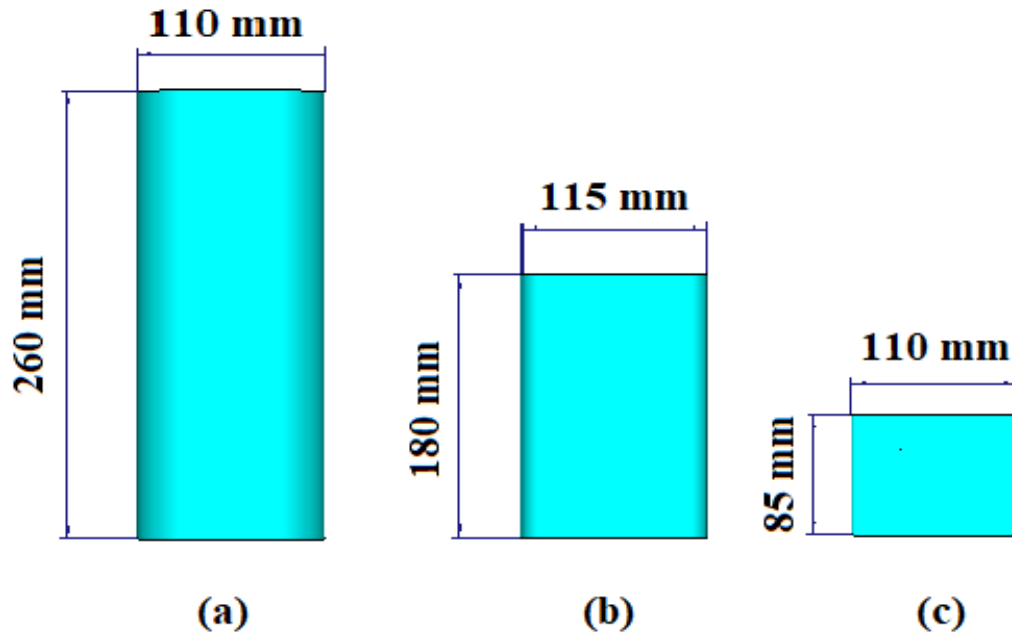
5.2.1. Dekstroz serumlarının eş değer modellerinin tasarımı

%5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumlardan alınan numunelerin laboratuvarında ölçülen dielektrik katsayı değerleri elektromanyetik simülasyon programına aktarılmıştır. Resim

5.4.'de görüldüğü gibi 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumların boyutları ölçülmüştür. Elektromanyetik simülasyon programında bu ölçülen serumların her birinin eş değer modelleri Şekil 5.3.'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



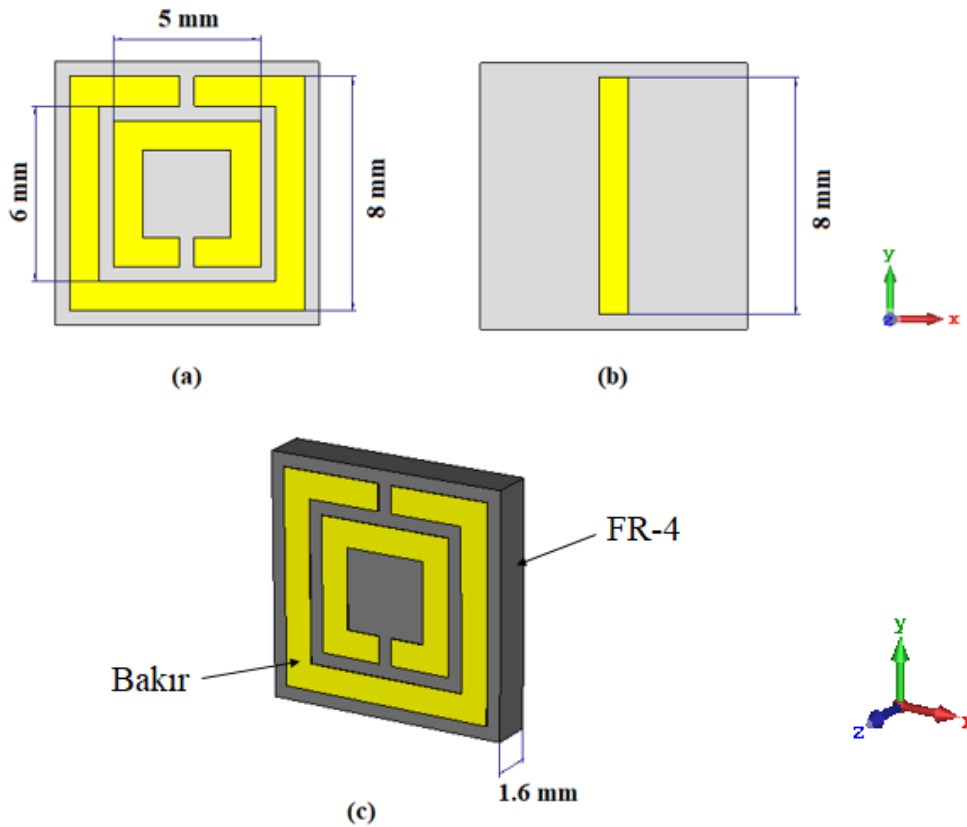
Resim 5.4. 1 000 ml'lik dekstroz serumun ölçülen a) Boyu b) Eni c) Yüksekliği



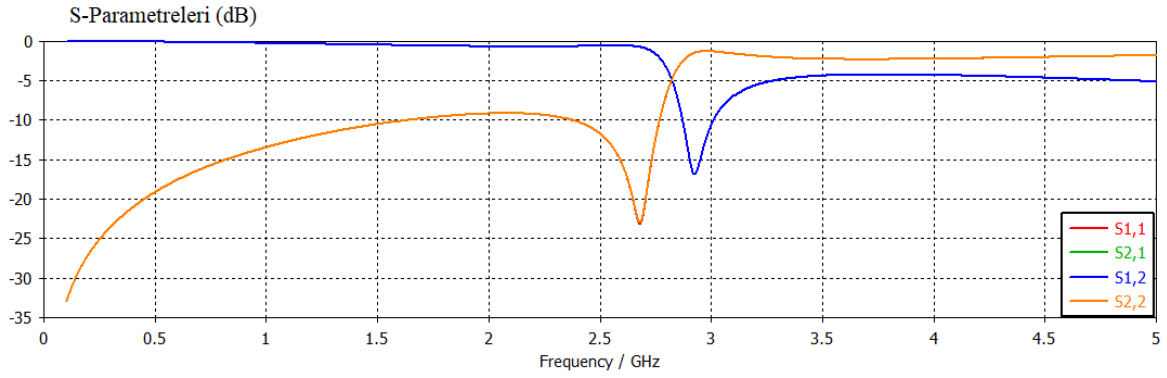
Şekil 5.3. Tasarlanan eş değer serum modellerinin boyutları a) 1 000 ml'lik serum b) 500 ml'lik serum c) 150 ml'lik serum

5.2.2. Metamalzeme birim hücrenin tasarımı

Önceki bölümlerde ayırık halka rezonatörlerinin (SRR) birçok alanda algılama ve ölçüm amacıyla yer buldukları açıklanmıştır ve örnekleri verilmiştir. Bu çalışmada ölçüm hassasiyetini ve anten kazancını arttırmak amacıyla ayırık halka rezonatör (SRR) tipi metamalzeme yapı tasarlanmıştır. Bu meta yapı yaklaşık 2,8 GHz’de çalışması için tasarlanmıştır. Tasarlanan metamalzeme yapıda iletken materyal olarak bakır yalıtkan materyal olarak FR-4 kullanılmıştır. Tasarlanan metamalzeme yapı FR-4 yalıtkan tabakasının ön yüzeyindeki SRR yapı ve arka yüzeyindeki bakır yamadan meydana gelmektedir. Tasarlanan meta yapının arka yüzeydeki meta yapının boyu 8 mm’dir. Ön yüzeydeki SRR yapı 2 adet kare rezonatörden oluşmaktadır. Bu kare rezonatörlerden büyük olanın kenar boyu 8 mm küçük kare rezonatör ise 5 mm kenar boyuna sahiptir. Kare rezonatörlerin eni 2 mm’dir. FR-4 yalıtkan tabakanın kalınlığı 1,6 mm’dir. Ayırık halka rezonatör (SRR) bölümünde bahsedildiği gibi kapasitansı arttırmak için rezonatörler arasında 180° fark (zıt yönlü) olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5.4.’de tasarlanan metamalzeme birim hücre yapısı ve Şekil 5.5.’de saçılma parametreleri gösterilmiştir.



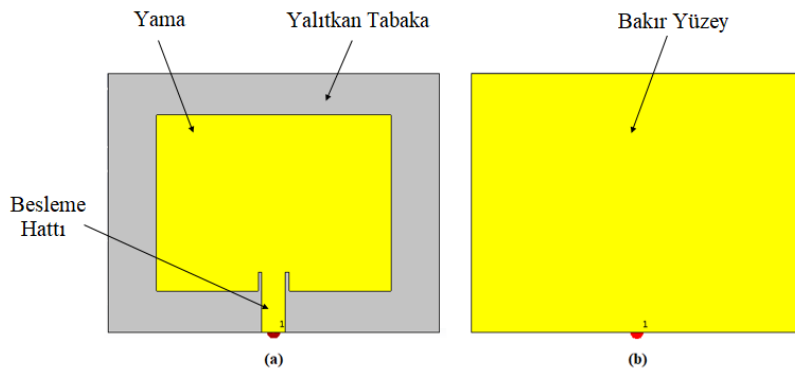
Şekil 5.4. Tasarlanan metamalzeme birim hücre yapısı



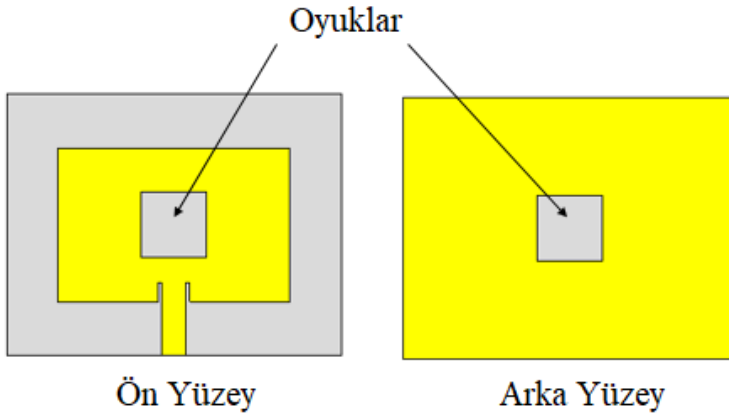
Şekil 5.5. Tasarlanan metamalzeme birim hücrenin saçılma parametreleri

5.2.3. Metamalzeme tabanlı mikroşerit yama anten tasarımı

Bu çalışmada tasarlanan metamalzeme tabanlı mikroşerit yama antende iletken materyal olarak bakır yalıtkan materyal olarak FR-4 kullanılmıştır. Tasarlanan mikroşerit yama anten FR-4 yalıtkan tabakanın ön yüzeyinde dikdörtgen şeklinde bir bakır yamadan, arka yüzeyi tamamen bakır kaplı yüzeyden meydana gelmektedir. Anten kazancı, ölçümlerin doğruluğunu ve hassasiyetini arttırmak amacıyla tasarladığımız SRR tabanlı metamalzeme yapıyı kullanılmıştır. SRR yapı için yama antenin ön yüzeyindeki dikdörtgen bakır yama kare şeklinde FR-4 yalıtkan tabakasına kadar oyulmuştur. Kare şeklindeki oyukların kenar boyları 9 mm'dir. Bu oyuk içerisine tasarlanan SRR yapı yerleştirilmiştir. Arka yüzey yine ön yüzeyle aynı büyüklükte FR-4 yalıtkan tabakaya kadar oyulmuştur. Arka yüzeydeki bu oyuk içerisine meta yapı yerleştirilmiştir. Şekil 5.6.'da ilk başta tasarlanan geleneksel mikroşerit yama anten, Şekil 5.7.'de mikroşerit yama antene açılan oyuklar ve Şekil 5.8.'de bu oyuklara meta yapı yerleştirildikten sonra oluşan metamalzeme tabanlı mikroşerit yama anten gösterilmiştir.



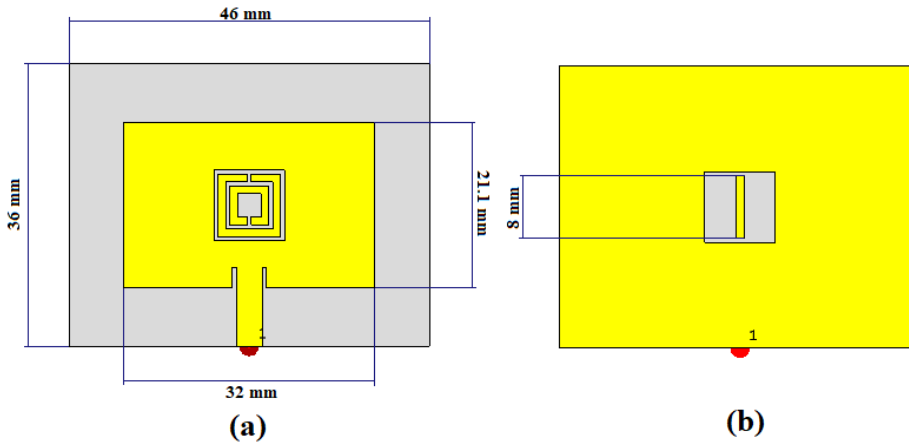
Şekil 5.6. Tasarlanan mikroşerit yama antenin a) ön b) arka görünümü



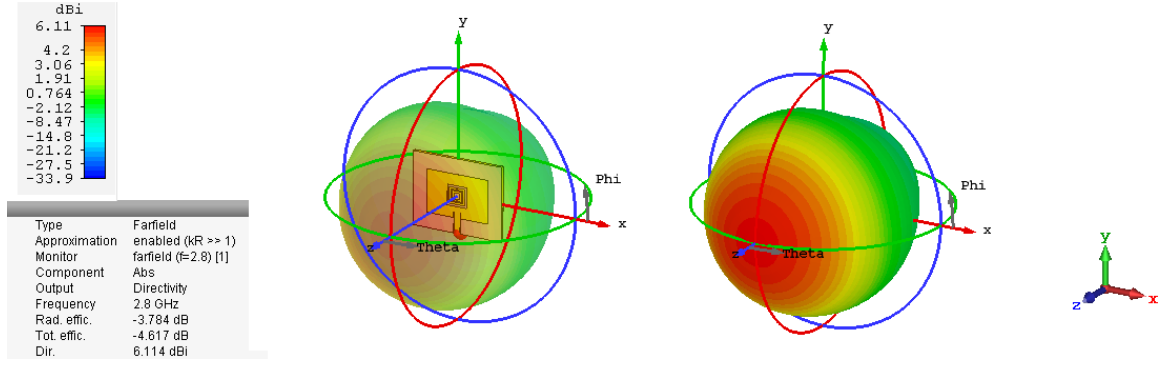
Şekil 5.7. Mikroşerit yama antene açılan oyuklar

Meta yapılar yerleştirildikten sonra anten 2,8 GHz'de çalışması için optimize edilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda tasarlanan metamalzeme tabanlı mikroşerit yama antenin ön yüzeydeki yamanın boyu 21,1 mm ve eni 32 mm'dir. Yamanın ve SRR yapısının üzerine yerleştirildiği yalıtkan tabakanın boyu 36 mm ve eni 46 mm'dir.

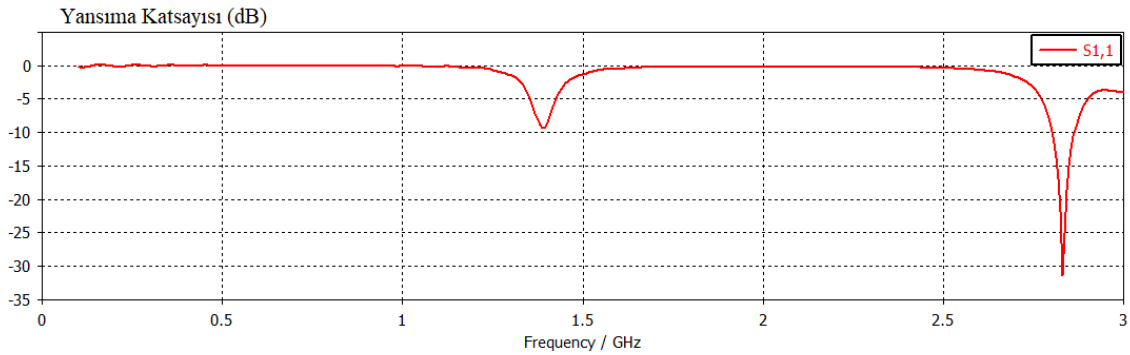
Tasarlanan metamalzeme tabanlı mikroşerit yama antenin ön yüzeyindeki bakır yama ve SRR yapı mikroşerit besleme hattıyla ayrı bir porta bağlıdır. Arka yüzeyde aynı ayrı portla bağlıdır. Baskı devre (PCB) tekniğine uygun mikroşerit yama anten ve ayrı port kullanılmasından dolayı sensörümüzün üretimi kolay, boyutları küçük ve maliyeti düşük hale gelmiştir. Anten verimini arttırmak amacıyla besleme hattının yamaya bağlandığı noktada oyuklar açılmıştır. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin uzak alan ışınması Şekil 5.9.'da ve yansırma katsayısı grafiği Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin a) ön b) arka görünümü



Şekil 5.9. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin uzak alan ışınmasının 3D gösterimi



Şekil 5.10. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin yansıma katsayısı ($S_{1,1}$) grafiği

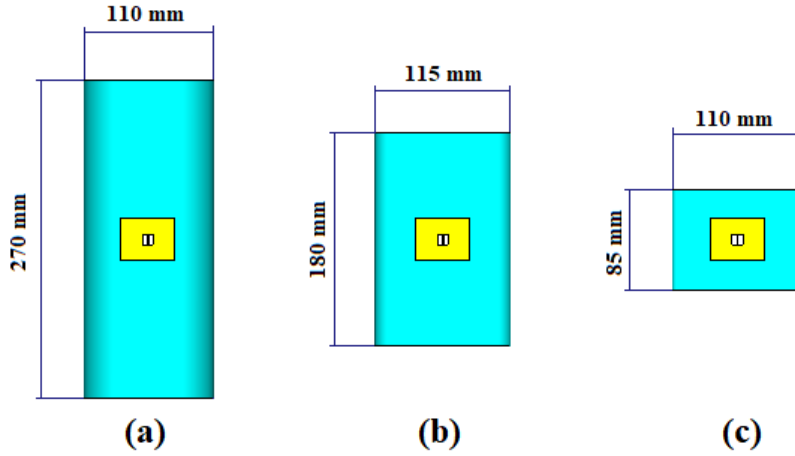
5.2.4. Simülasyon çalışmaları ve sonuçları

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi %5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumların laboratuvarda ölçülen dielektrik katsayı değerleri ve 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumların boyutları ölçülmüştür ve elde edilen veriler elektromanyetik simülasyon programına aktarılmıştır. Aktarılan bu verilerin doğrultusunda 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik serumların her birinin eş değer modelleri simülasyon programında tasarlanmıştır.

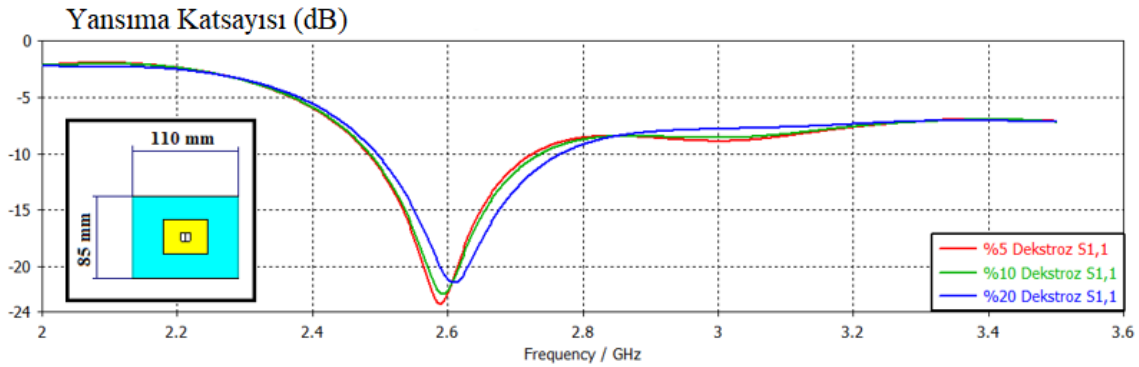
Ölçüm için tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama anten tasarlanan dekstroz serumlarının eş değer modellerinin üzerine Şekil 5.11.'deki gibi konumlandırılmıştır. 3 farklı tip dekstroz serum eş değer modeli için de ayrı ayrı simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile dekstroz serumlarının kullanıldığı hastane ve üretildiği fabrikalarda kolay, hassas ve temassız kalite kontrolünün yapılabilmesi amaçlanmıştır. Tasarlanan MTM anten tabanlı sensör boyutlarının küçük olması ve ölçüm için laboratuvar ortamına gerek duymaması gibi

avantajları sayesinde hastane ve fabrikalarda hassas ve doğru ölçüm gerçekleştirebilecek niteliktedir.

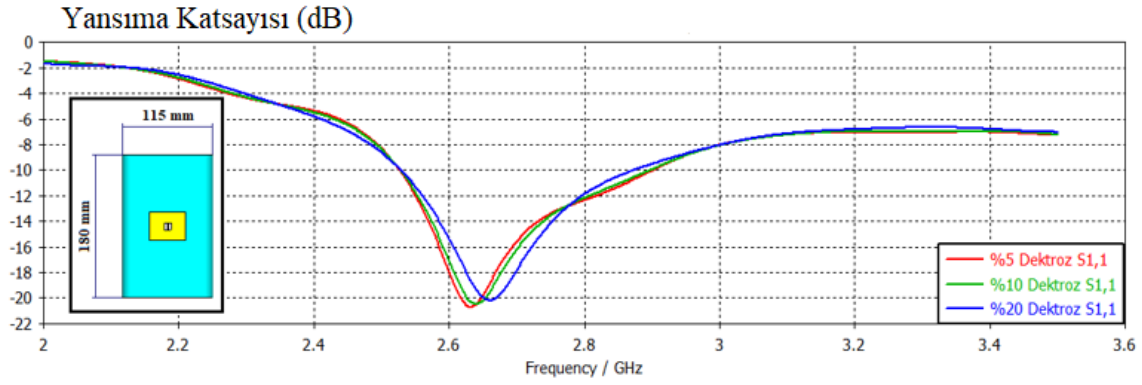
Simülasyon için sonlu integrasyon tekniği (FIT) kullanan mikrodalga simülasyon programını kullanılmıştır. Serumlardaki dekstroz oranı algılama için belirleyici parametre olarak $S_{1,1}$ saçılma parametresi seçilmiştir. Tasarlanan MTM tabanlı yama antenin çalışma frekansı 2,8 GHz'dir. Serumların üzerine konulduğu zaman serumların içerisindeki sıvıların elektromanyetik özelliklerine bağlı olarak bu çalışma frekansında ($S_{1,1}$ saçılma parametresi) bir kayma meydana gelmesi beklenen bir etkidir.



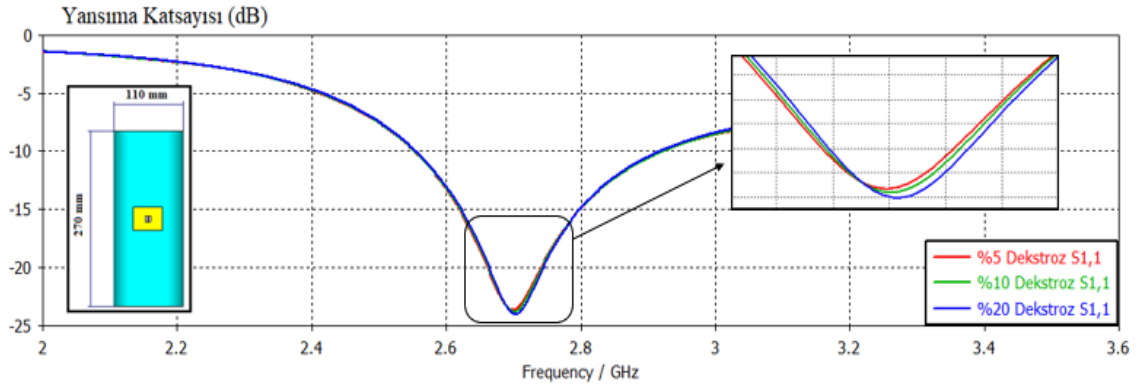
Şekil 5.11. Tasarlanan MTM tabanlı mikroşerit yama antenin serumların eş değer modelleri üzerine konumlandırılışı



Şekil 5.12. 150 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları



Şekil 5.13. 500 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları



Şekil 5.14. 1 000 ml'lik dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları

Şekil 5.12.'de 150 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. S_{1,1} parametresinde 150 ml %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının rezonans frekansları sırasıyla 2,589 GHz, 2,592 GHz ve 2,609 GHz'dir.

Şekil 5.13.'de 500 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. S_{1,1} parametresinde 500 ml %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının rezonans frekansları sırasıyla 2,631 GHz, 2,639 GHz ve 2,660 GHz'dir.

Şekil 5.14.'de 1 000 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının simülasyon sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. S_{1,1} parametresinde 1 000 ml %5, %10 ve %20 dekstroz serumlarının rezonans frekansları sırasıyla 2,699 GHz, 2,701 GHz ve 2,704 GHz'dir.

Çizelge 5.1. Dekstroz serumlarının rezonans frekansları

% Dekstroz içeriği	150 ml serum	500 ml serum	1 000 ml serum
%5 Dekstroz	$f_0 = 2,589$ GHz	$f_0 = 2,631$ GHz	$f_0 = 2,699$ GHz
%10 Dekstroz	$f_0 = 2,592$ GHz	$f_0 = 2,639$ GHz	$f_0 = 2,701$ GHz
%20 Dekstroz	$f_0 = 2,609$ GHz	$f_0 = 2,660$ GHz	$f_0 = 2,704$ GHz
Tespit Aralığı	2,589-2,609 GHz	2,631-2,660 GHz	2,699-2,704 GHz

Çizelge 5.1.'de görüldüğü gibi serum içerisindeki dekstroz miktarı arttıkça rezonans frekansı ileri yönde kaymaktadır. Çizelge 5.1.'de anlaşıldığı gibi dekstroz serumlarının hacmi arttıkça tespit aralığı da yüksek frekanslara kaymaktadır ve bu aralıklar birbirleriyle çakışmamaktadır. Bu sayede serumlardaki dekstroz içeriği tespiti yapılmasının yanı sıra serum tiplerinin de tespiti yapılmaktadır.

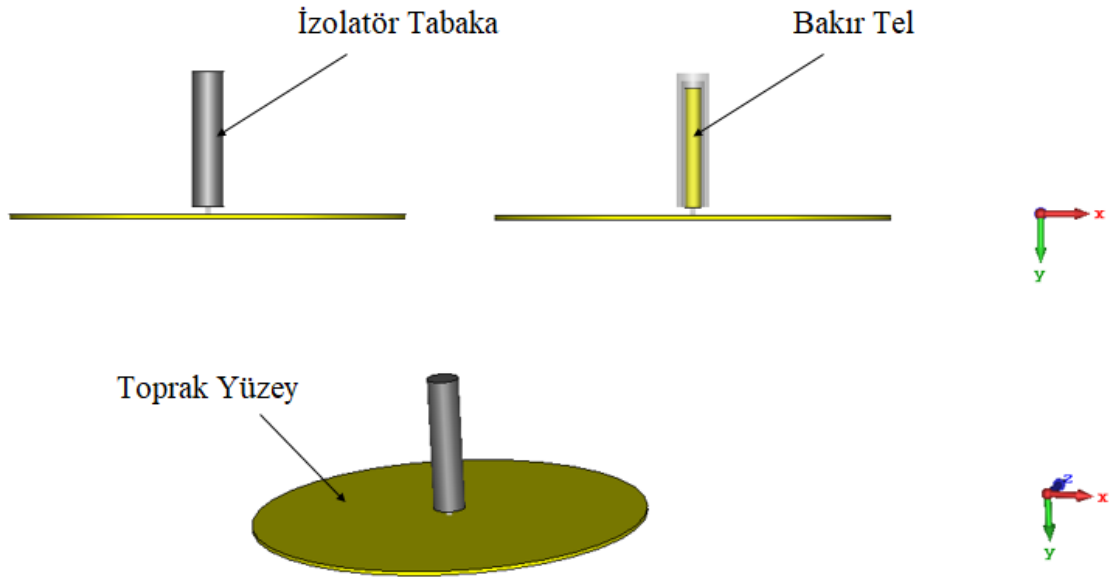
5.3. Anten Tabanlı Sensör ile Motor Yağlarının Ömürlerinin ve Miktarlarının Ölçülmesi

Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi 0 km, 5 000 km ve 10 000 km mesafe kateden Elf 5w-30 motor yağından alınan numunelerin dielektrik sabiti değerleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler sonlu integrasyon tekniği (FIT) kullanan mikrodalga simülasyon programına aktarılmıştır. Bu simülasyon programında anten tabanlı sensörün tasarımı, motor yağlarının ömürlerinin ve miktarlarının ölçümünün simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle optimum değerlere sahip bir monopol anten tasarlanmıştır. Bu monopol anten çok küçük boyutlarda olmasıyla gelecekteki araçlara montajı çok kolaydır fakat günümüz araçlarına montajı zordur. Bu nedenle günümüz araçlarında kullanılan bir motor yağı çubuğunun birebir boyutlarında ikinci bir sensör daha tasarlanmıştır. Bu tasarlanan ikinci sensörün montajı günümüz araçlarının motor yağı çubuğu yerine kolayca gerçekleştirilebilir.

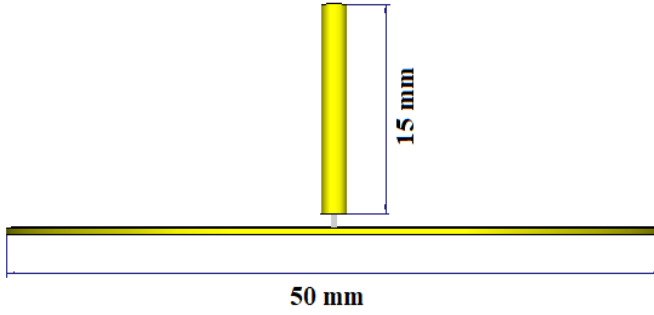
5.3.1. Monopol anten tasarımı

Önerilen çalışmada optimum değerlere sahip Şekil 5.15. ve Şekil 5.16.'da gösterilen monopol anten tasarlanmıştır. Monopol anten için bakır materyali tercih edilmiştir. Tasarlanan monopol antenin motor yağı ile olası temasında meydana gelebilecek sorunların önüne geçebilmek amacıyla monopol antenin bakır teli yalıtkan izolatör ile kaplanmıştır.



Şekil 5.15. Monopol anten tasarımı

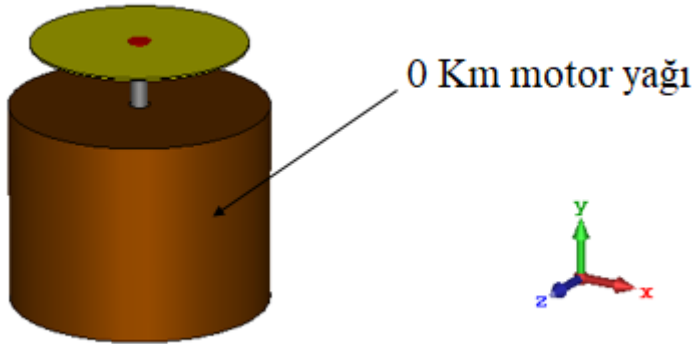
Tasarlanan monopol anten 50 mm çapındaki toprak yüzeyden ve toprak yüzeye dik 15 mm boyundaki bakır telden meydana gelmektedir. Monopol anten önceki bölümlerde belirtildiği gibi geleneksel biçimde tel ile toprak yüzeyin kesiştiği noktadan ayrık port ile beslenmektedir. Tasarlanan antenin üretimi kolaydır, maliyeti düşüktür ve doğru ölçümleri yapabilmek için laboratuvar ortamına gerek duymayacak niteliktedir.



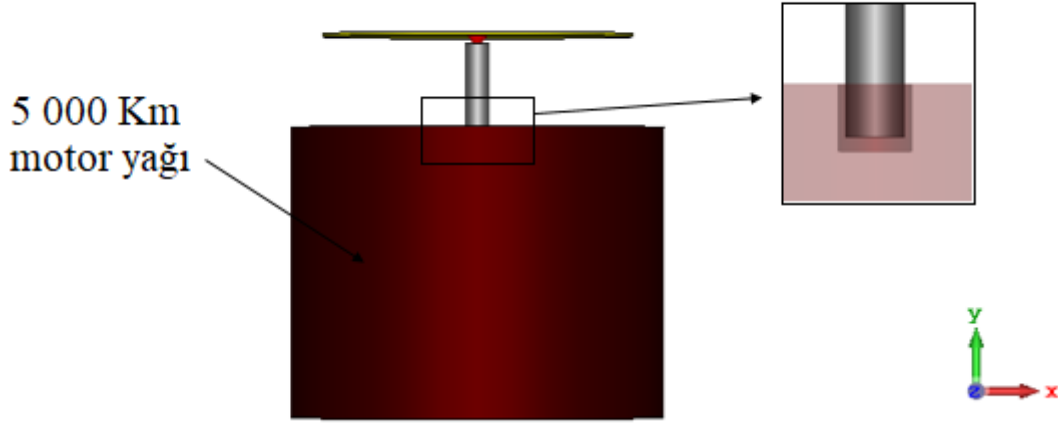
Şekil 5.16. Monopol antenin boyutları

5.3.2. Monopol anten ile motor yağı simülasyon çalışmaları ve sonuçları

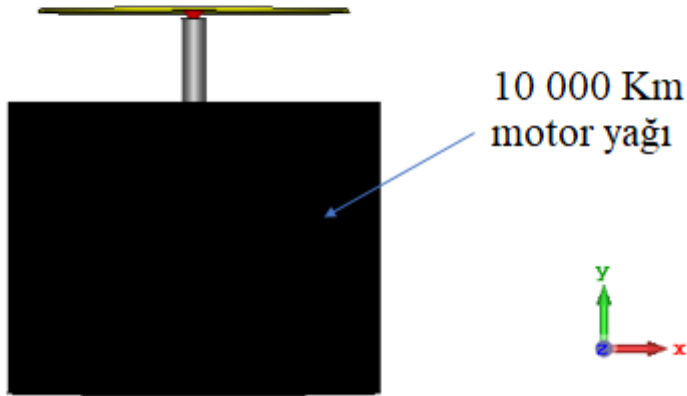
Önerilen monopol anten ile motor yağlarının ömürlerinin ve miktarlarının ölçümü için monopol antenin yalıtkan malzeme ile izole edilmiş bakır teli motor yağına daldırılmıştır ve bu yöntemle simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu metot ile yapılan ölçümlerde belirleyici parametre olarak $S_{1,1}$ saçılma parametresi seçilmiştir. Şekil 5.17.'de 0 km motor yağının, Şekil 5.18.'de 5 000 km motor yağının ve Şekil 5.19.'da 10 000 km motor yağının ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Monopol anten ve 0 km motor yağı

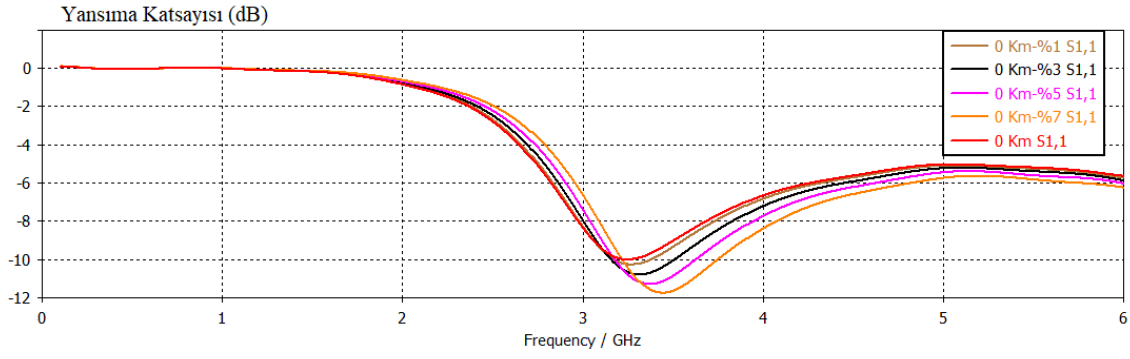


Şekil 5.18. Monopol anten ve 5 000 km motor yağı

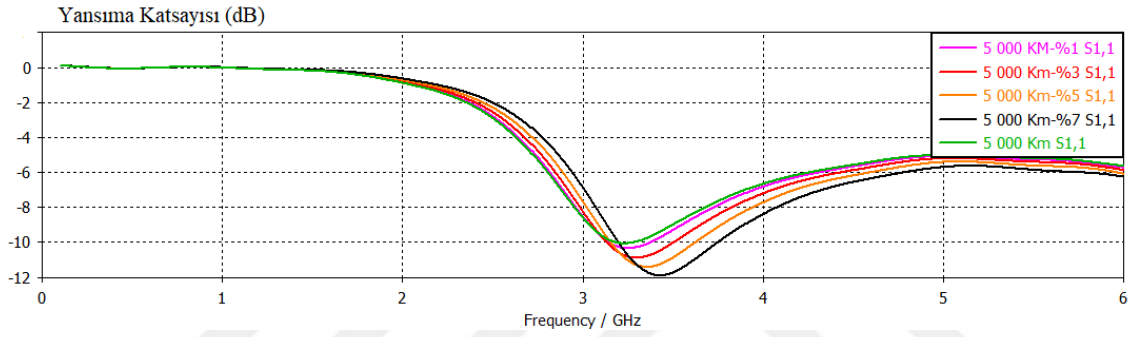


Şekil 5.19. Monopol anten ve 10 000 km motor yağı

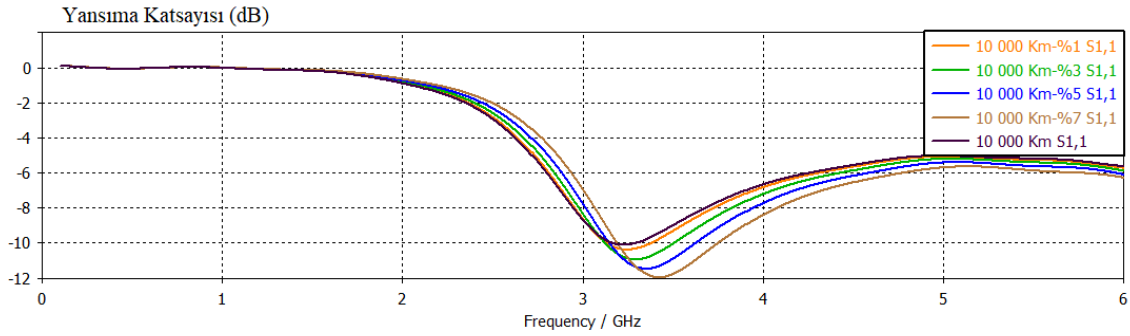
Şekil 5.20'de 0 km, Şekil 5.21.'de 5 000 km ve Şekil 5.22.'de 10 000 km motor yağlarının miktar tespiti için yapılan simülasyonların sonuçları grafiksel olarak verilmiştir. Motor yağı miktarları kademeli bir şekilde (%1-%3-%5-%7) azaltılmıştır. Bu eşlem sonucunda $S_{1,1}$ saçılma parametresindeki rezonans frekansında doğrusal bir kayma meydana gelmektedir. Motor yağı miktarı azaldıkça rezonans frekansı ileri yönde kaymaktadır.



Şekil 5.20. 0 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları



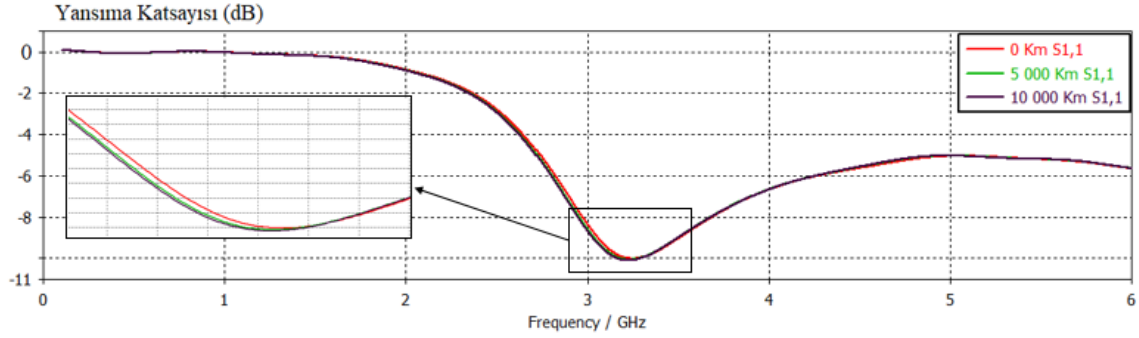
Şekil 5.21. 5 000 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları



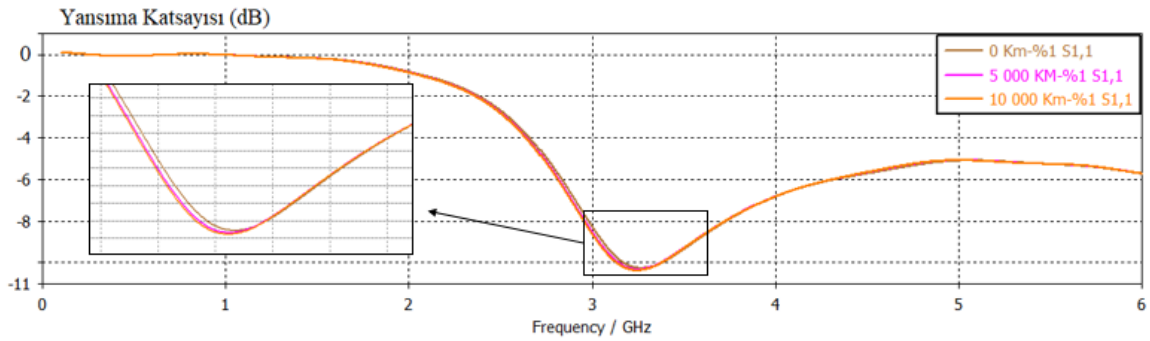
Şekil 5.22. 10 000 km motor yağı miktar tespiti simülasyon sonuçları

Bu çalışmada motor yağı miktarları kademeli bir şekilde -%1, -%3, -%5 ve -%7 olarak azaltılmıştır ve her kademedeki miktar için motor yağlarının ömürlerini ölçmek amaçlanmıştır. Şekil 5.23. ve Şekil 5.24.'de tam miktarda ve -%1 miktardaki motor yağlarının 0 km, 5 000 km ve 10 000 km kullanımlarına göre yansıma katsayısı ($S_{1,1}$) sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere motor yağı kullanıldıkça rezonans frekansı geri yönde kaymaktadır.

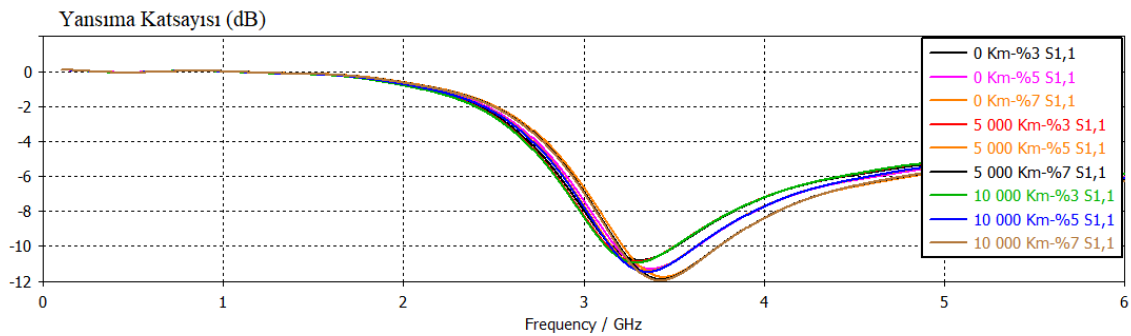
Şekil 5.25.'de -%3, -%5 ve -%7 oranında azaltılmış motor yağlarının yansımaya katsayısı ($S_{1,1}$) grafiksel sonuçları belirtilmiştir. Şekil 5.25.'de belirtilmek istenen miktar tespitinde rezonans frekansı ileri yönde, ömür ölçümünde geri yönde kayma yapmaktadır. Belirtilen frekans kaymaları kesişmemektedir ve bu sayede motor yağlarının aynı anda hem ömürleri hem de miktarları ölçülebilmektedir.



Şekil 5.23. Tam miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları



Şekil 5.24. -%1 miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları



Şekil 5.25. -%3, -%5 ve -%7 miktardaki motor yağlarının ömür süreleri tespiti simülasyon sonuçları

5.3.3. Anten tabanlı sensör tasarımı

Bu çalışmada daha önce motor yağlarının ömür sürelerini ve miktarlarını ölçmek için tasarlanan monopollü antenin günümüzde kullanılan bir motor yağı çubuğu boyutlarındaki sensör uygulaması yapılmıştır. Ölçüleri alınan motor yağı çubuğunun ve borusunun eşdeğer modelleri simülasyon programında tasarlanmıştır. Eşdeğer modeli tasarlanan motor yağı çubuğumuzun boyu 26 cm'dir. Motor yağı çubuğu boyutlarında tasarlanan monopollü anten teli bakırdan olmaktadır ve motor yağı ile teması sırasındaki oluşacak problemlerin önüne geçebilmek amacıyla yalıtkan madde ile izole edilmiştir. Resim 5.5.'de eşdeğer modelleri tasarlanan motor yağı çubuğu ve Resim 5.6.'da motor yağı çubuğu borusu gösterilmiştir.

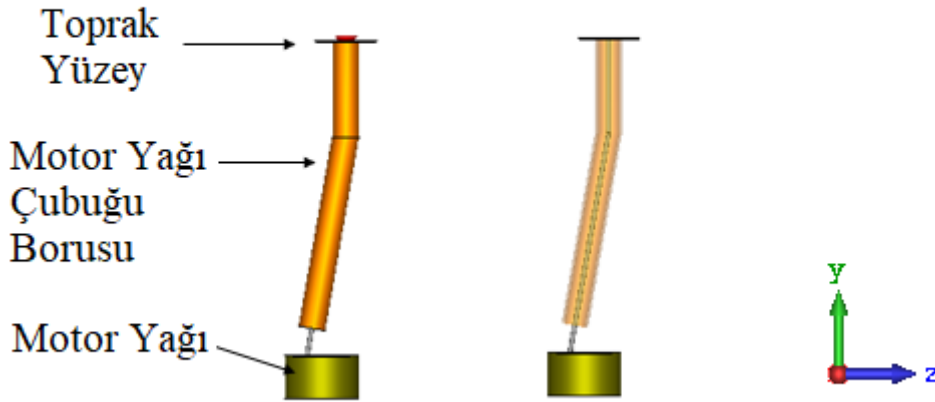


Resim 5.5. Motor yağı çubuğu

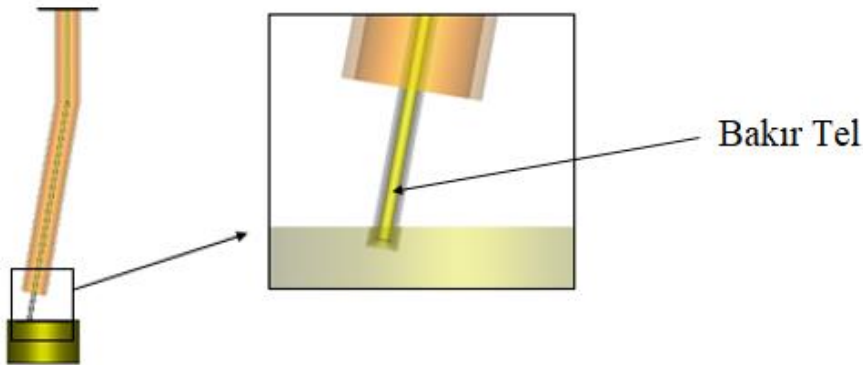


Resim 5.6. Motor yağı çubuğu borusu

Tasarlanan monopol anten ölçüm için motor yağı çubuğu gibi boru içerisinden geçmektedir. Motor yağı miktarı normal şartlarda bu çubuğun yaklaşık 2,5 ve 5 cm'leri arasında değişim göstermektedir. Yapılan çalışmada da motor yağı miktarı monopol antenin benzer noktaları arasında değişim göstermektedir. Şekil 5.26. ve Şekil 5.27.'de anten tabanlı sensör, motor yağı çubuğu ve motor yağı çubuğu borusunun tasarlanan eş değer model gösterilmiştir.



Şekil 5.26. Anten tabanlı sensör ve motor yağı çubuğu borusunun eş değer model tasarımları



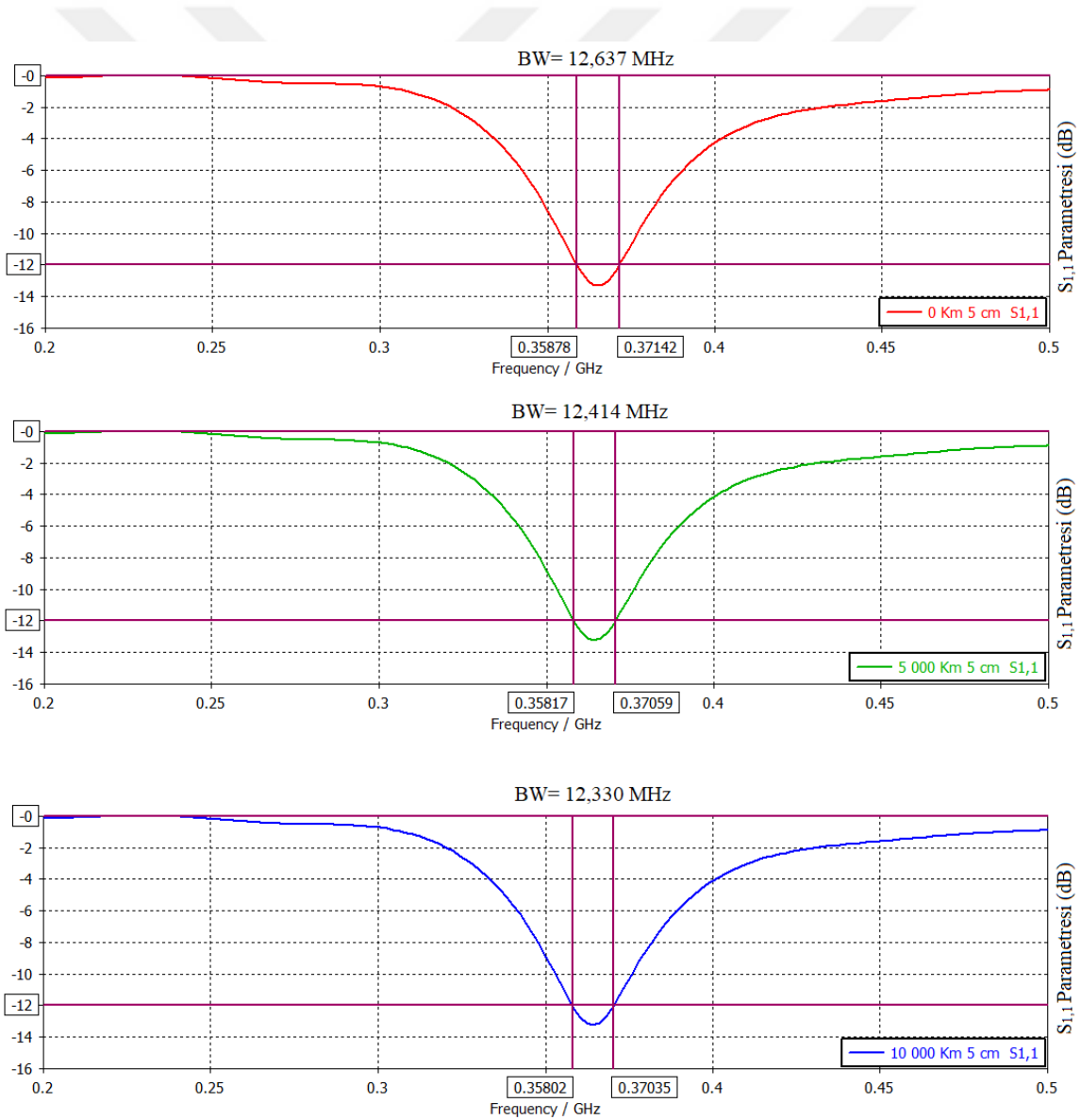
Şekil 5.27. Anten tabanlı sensör tasarımının izolasyon kaplamasız görünümü

5.3.4. Anten tabanlı sensörün simülasyon çalışmaları ve sonuçları

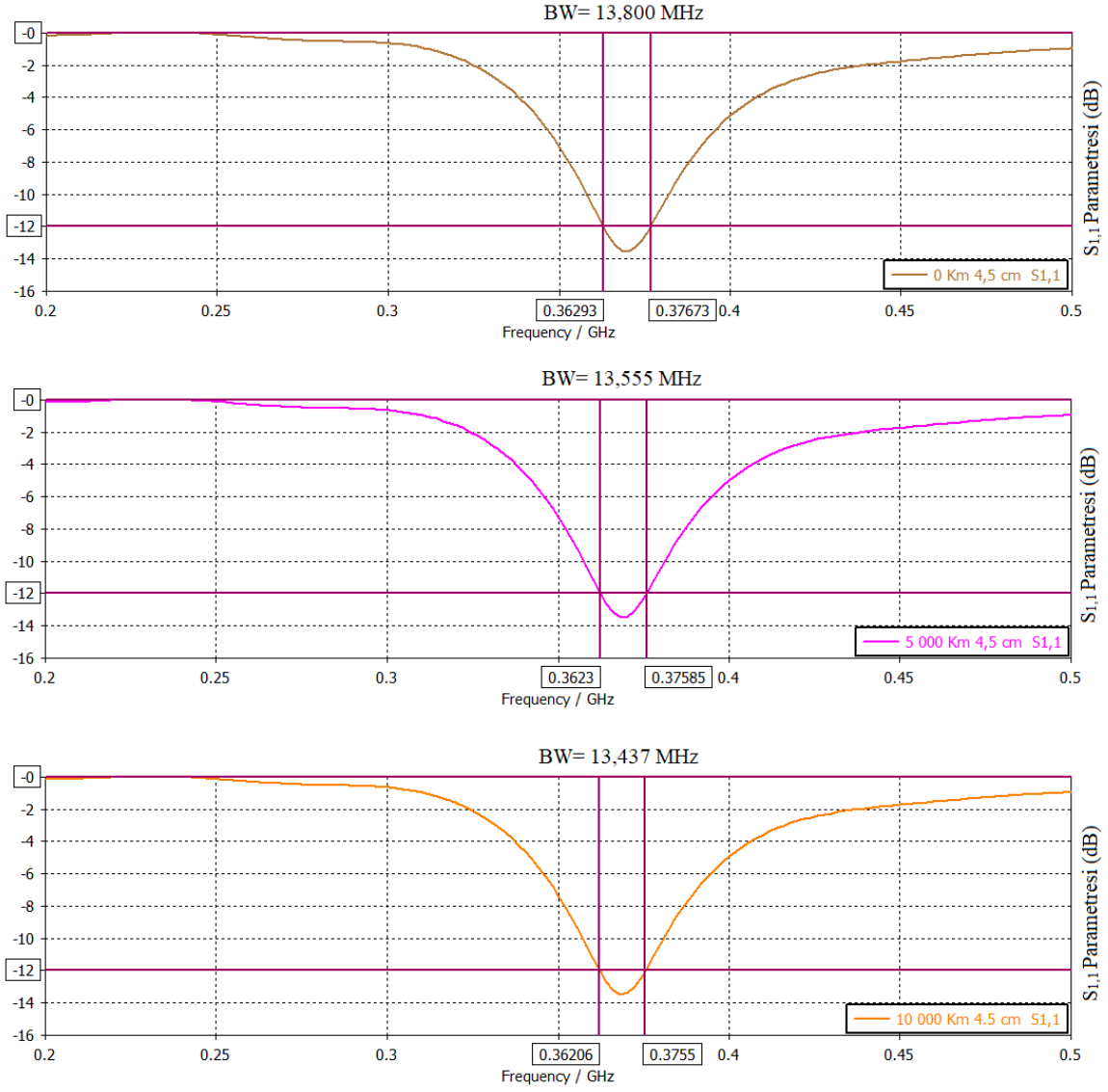
Motor yağı çubuğu boyutlarında tasarlanan monopol anten aynı motor yağı çubuğu gibi araçlarda kullanılan motor yağı çubuğu borusu içerisinden geçirilmiştir ve montajı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede günümüzde kullanılan araçlara montajı için ek bir çalışmaya

gerek duymadan montajı kolayca gerçekleştirilebilir. Motor yağı seviyesi normal şartlarda çubuktaki değişim aralığı ile benzer aralıkta değiştirmiştir ve bu değişim sonucunda $S_{1,1}$ saçılma parametresindeki rezonans frekansında doğrusal bir kayma meydana gelmektedir. Normal şartlarda motor yağı çubuğunda olduğu gibi monopollü antenin 5, 4,5, 4, 3,5 cm'lerine denk gelecek şekilde motor yağı miktarı değiştirilmiştir.

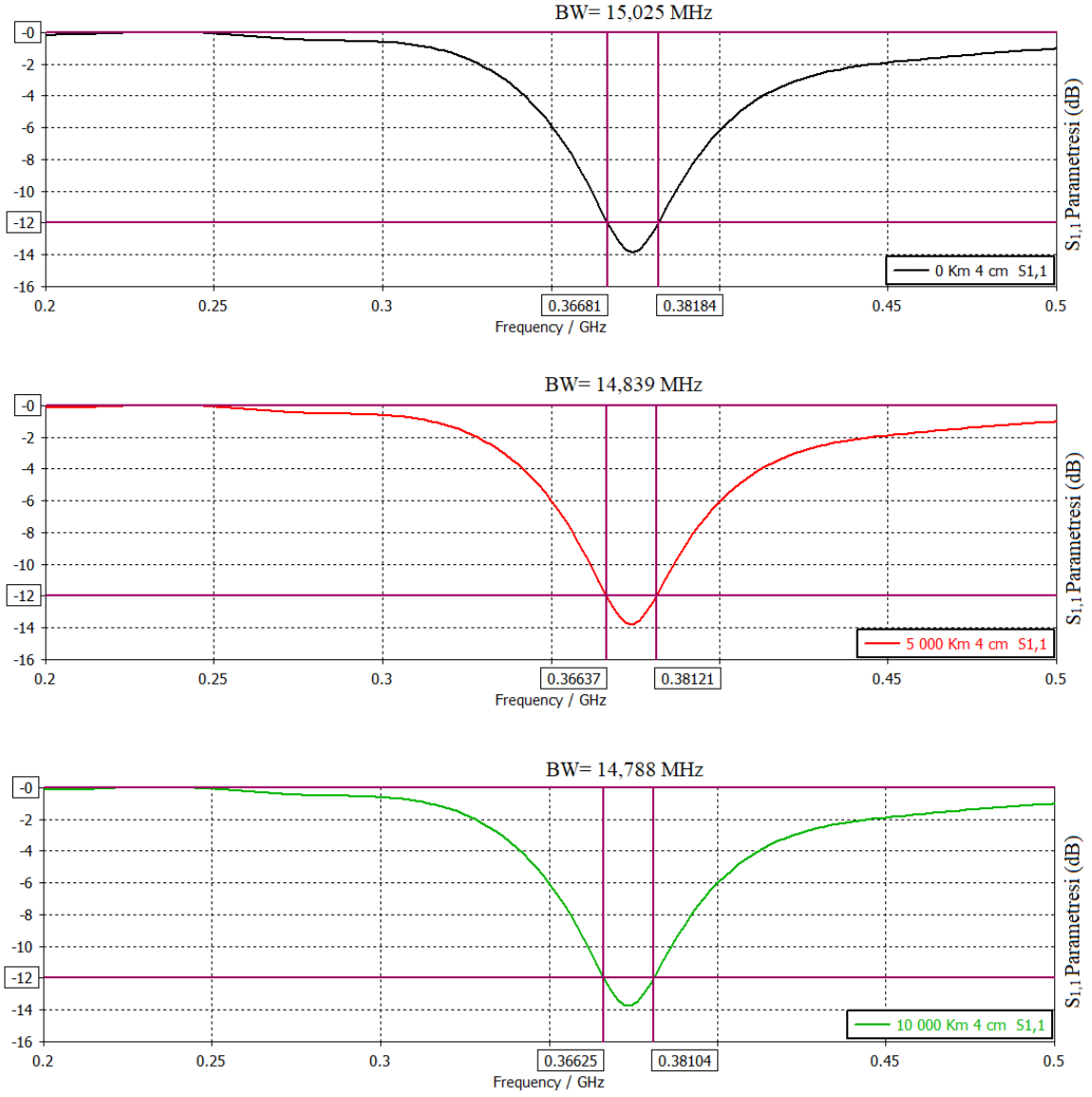
İkinci olarak motor yağlarının ömür süreleri ölçmek amaçlanmıştır. Bunun için 0 km, 5 000 km ve 10 000 km mesafe katetmiş motor yağları kullanılmıştır. f_0 (rezonans frekansı) motor yağının miktarı, -12 dB' deki bant genişliği (BW) ömrü hakkında bize bilgi veriyor. Motor yağı miktarı azaldıkça f_0 artmaktadır, kullanım ömrü arttıkça BW azalmaktadır.



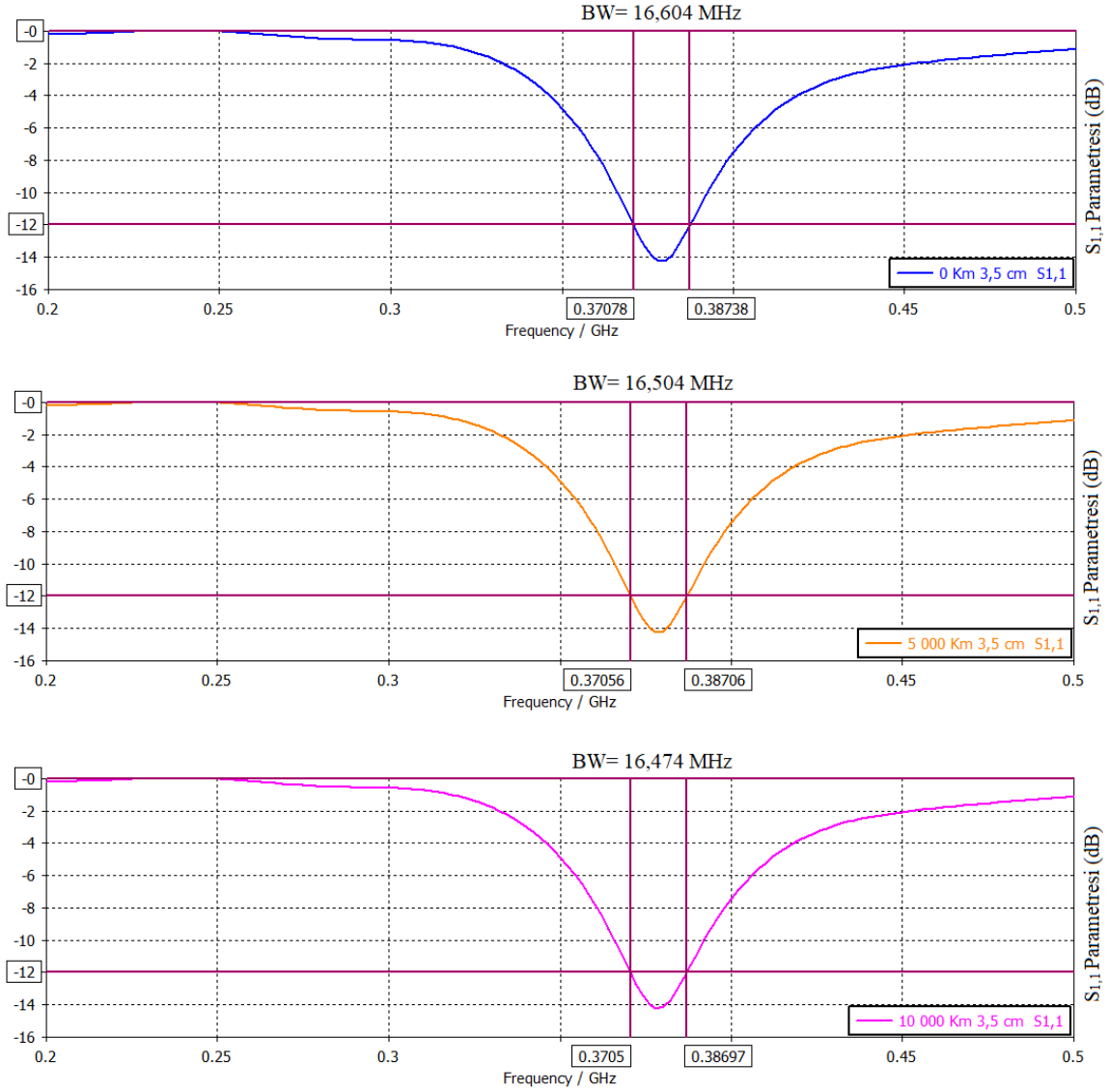
Şekil 5.28. Anten tabanlı sensör ile 5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları



Şekil 5.29. Anten tabanlı sensör ile 4,5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları



Şekil 5.30. Anten tabanlı sensör ile 4 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları



Şekil 5.31. Anten tabanlı sensör ile 3,5 cm'deki motor yağı simülasyon sonuçları

Şekil 5.28., Şekil 5.29., Şekil 5.30. ve Şekil 5.31.'de motor yağlarının -12 dB' deki bant genişliğinin grafiksel gösterimi verilmiştir.

5 cm miktarındaki motor yağının rezonans frekansı değeri 364 MHz, 4,5 cm miktarındaki motor yağının rezonans frekansı değeri 370 MHz, 4 cm miktarındaki motor yağının rezonans frekansı değeri 374 MHz ve 3,5 cm miktarındaki motor yağının rezonans frekansı değeri 378 MHz'dir. Rezonans frekansındaki bu doğrusal kayma sayesinde motor yağlarının miktarları hassas ve doğru bir şekilde tespit edilebilmektedir.

Çizelge 5.2. Motor yağlarının bant genişlikleri (-12dB) ve rezonans frekansları

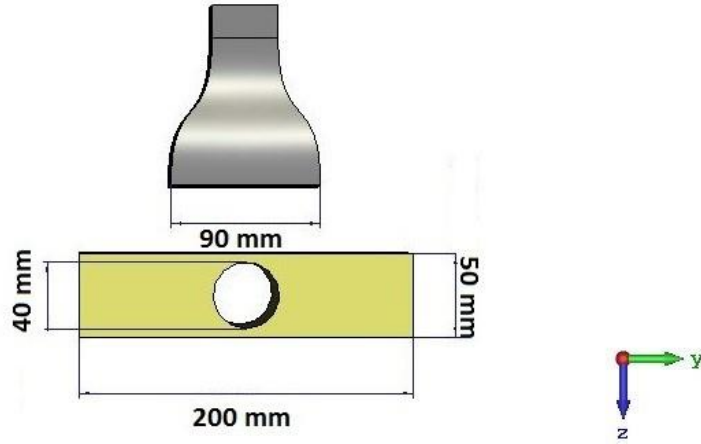
Motor yağı miktarı	0 km	5 000 km	10 000 km	Rezonans frekansı
5 cm	BW = 12,637 MHz	BW = 12,414 MHz	BW = 12,330 MHz	$f_0 = 364$ MHz
4,5 cm	BW = 13,800 MHz	BW = 13,555 MHz	BW = 13,437 MHz	$f_0 = 370$ MHz
4 cm	BW = 15,025 MHz	BW = 14,839 MHz	BW = 14,788 MHz	$f_0 = 374$ MHz
3,5 cm	BW = 16,604 MHz	BW = 16,504 MHz	BW = 16,474 MHz	$f_0 = 378$ MHz

Çizelge 5.2.'de motor yağlarının ömür sürelerine göre $S_{1,1}$ parametresinde -12 dB'deki bant genişliği değerleri ve motor yağlarının miktarlarına göre rezonans frekansı değerleri verilmiştir. Aynı miktardaki farklı ömürlü motor yağlarının rezonans frekansı sabittir fakat -12 dB'deki bant genişlikleri ömürlerine göre değişim göstermektedir. Bu sayede motor yağı çubuğu boyutlarında tasarladığımız ve motor yağı çubuğu içine konumlandırdığımız sensörümüz motor yağlarının hem miktarını hem de ömürlerinin algılamasını yapabilmektedir.

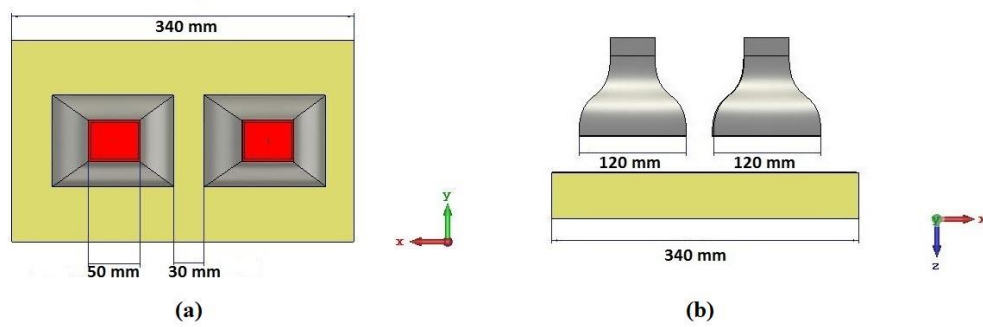
5.4. Horn Anten ile Tünel Tespiti

5.4.1. Horn anten tasarımı

Bu çalışmada sonlu integrasyon tekniği kullanan mikrodalga simülasyon programında birbirine paralel ve aynı boyutlara sahip 2 adet horn anten tasarlanmıştır. Paralel horn antenlerin altına kum zemin tasarlanmıştır. Horn antenler için mikrodalga simülasyon programının kütüphanesinde mevcut olan PEC (Perfect Electric Conductor) materyali referans alınarak tasarımları gerçekleştirilmiştir. Toprak zemin için mikrodalga simülasyon programının kütüphanesinde mevcut olan sandy soil materyali referans alınmıştır. Daha sonra toprak zemin içerisinde bir tünel açılmıştır. Şekil 5.32. ve Şekil 5.33'de horn antenlerin, toprak zeminin ve tünelin boyutları verilmiştir.



Şekil 5.32. Horn antenlerin, toprak zeminin ve tünelin boyutları yan görünüm



Şekil 5.33. Horn antenlerin ve toprak zeminin boyutları a) üst görünüm b) ön görünüm

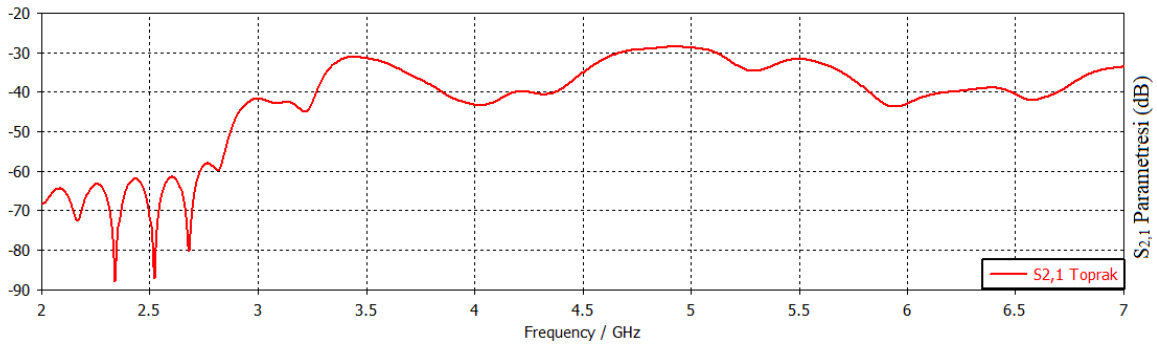
Antenlerin reciprocity özelliği vardır bu sayede tasarlanan horn antenler yer değiştirebilirler.

1. anten alıcı 2. anten verici ya da 1. anten verici 2. anten alıcı olarak kullanılabilir.

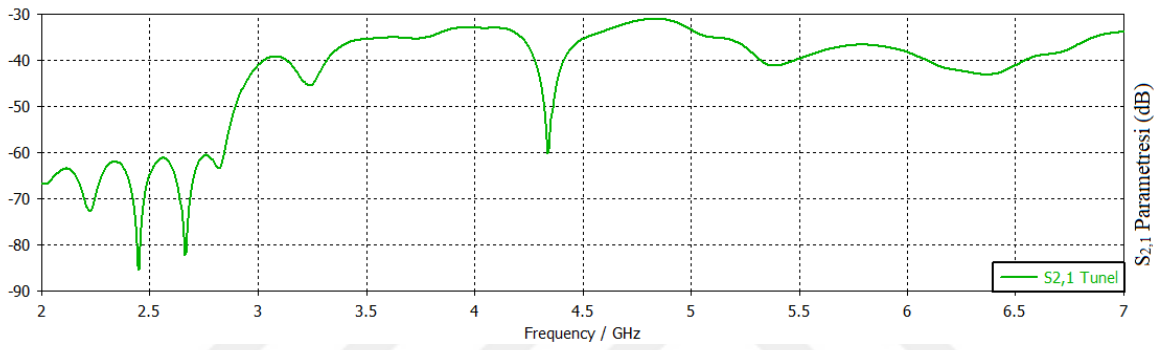
5.4.2. Simülasyon çalışmaları ve sonuçları

Önerilen çalışmada belirleyici parametre olarak $S_{2,1}$ saçılma parametresi seçilmiştir. $S_{2,1}$ parametresi verici antenden (1. anten) alıcı antene (2. anten) iletilen gücün katsayısıdır. Bu çalışmada $S_{2,1}$ verici horn antenden boşluğa gönderilen sinyallerin toprak zeminden yansyıp alıcı horn antene iletilme katsayısını gösteren bir saçılma parametresidir.

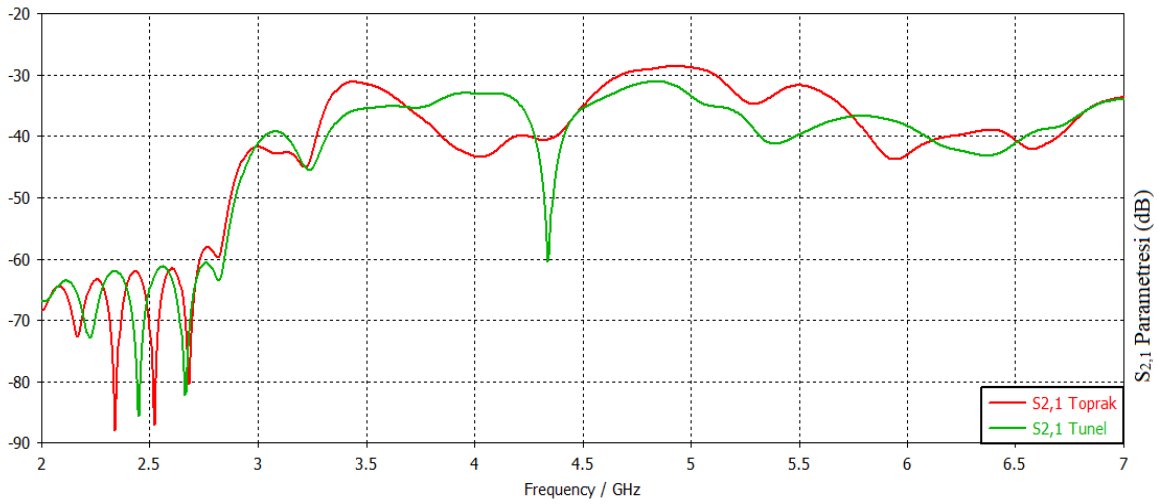
Bu çalışmada paralel horn antenlerin altına 200 mm x 340 mm boyutlarında 50 mm derinliğinde toprak zemin tasarlanmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra toprak zeminin içerisine 40 mm çapında bir tünel açılmış ve tekrar simülasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.34. Sadece toprak zemin için simülasyon sonuçları



Şekil 5.35. Tünel için simülasyon sonuçları



Şekil 5.36. Simülasyon sonuçları kıyaslaması

Şekil 5.34.'de paralel horn antenlerin altındaki toprak zemin için $S_{2,1}$ parametresi simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 5.35.'de Toprak zeminin içine tünel açılmıştır ve tünel için $S_{2,1}$ parametresi simülasyon sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 5.36.'da Toprak zemin ve tünel için elde edilen $S_{2,1}$ parametresi simülasyon sonuçları kıyaslanmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen parametrelerin arasındaki farkın tünel tespiti için yeterli olduğu Şekil 5.36.'da görülmektedir.



6. SONUÇ

Önerilen tez çalışmasında anten tabanlı mikrodalga sensörlerin seçilen üç ayrı alandaki potansiyelleri ortaya konulmuştur. Çalışılan bu üç alan sıvı sensörlerinin tıbbi ve endüstriyel uygulamaları, horn antenler ile toprak altındaki boşluk tespittir. Tıbbi alandaki çalışmamızda metamalzeme tabanlı mikroşerit yama anten ile günümüz hastanelerinde en çok kullanılan dekstroz içeren serumlarının model ve dekstroz içeriklerinin tespitleri yapılmıştır. Endüstriyel alandaki çalışmamızda ise monopol anten ile günümü araçlarında kullanılan motor yağlarının ömür süreleri ve miktarlarının algılaması yapılmıştır. Sonraki aşamada ise günümüz araçlarında kullanılan bir motor yağı çubuğu boyutlarında olacak şekilde monopol anten tabanlı sensör tasarlanmıştır. Toprak altındaki tünel ve boşluk tespiti çalışmamızda eş model 2 horn anten tasarlanmıştır. Bu horn antenler ile toprak atındaki tünel ve boşluk tespiti gerçekleştirilmiştir.

Tıbbi aladaki sıvı sensörümüz ile yaptığımız çalışmada günümüz hastanelerinde en çok kullanılan 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumlarının dielektrik katsayı değerleri 0-8 GHz arasında ölçülmüştür. Bu veriler simülasyon programını aktarılmıştır ve 150 ml, 500 ml ve 1 000 ml'lik %5, %10 ve %20 dekstroz içeren serumlarının eşdeğer modelleri tasarlanmıştır. Bu çalışmada simülasyon programında ayırık halka rezonatör tipi metamalzeme yapı ve mikroşerit yama anten tasarlanmıştır. Yaman antenin ön ve arka yüzeyi oyulmuş ve bu oyuklara metamalzeme yapı yerleştirilmiştir. Önerilen sensörümüz ayırık bir port ile beslenmiştir. Bu sensör dekstroz serumlarının eşdeğer modelleri üzerine konumlandırılmıştır. Bu yöntem ile 2 GHz ve 3,5 GHz arasında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarında dekstroz serumlarının dielektrik katsayı değerlerindeki değişime bağlı olarak yansıma katsayısı olarak bilinen $S_{1,1}$ parametresindeki rezonans frekansında doğrusal bir değişim meydana gelmiştir. Rezonans frekansındaki bu kayma sayesinde dekstroz serumlarının modelleri (150 ml, 500 ml ve 1 000 ml) ve dekstroz içeriklerinin (%5, %10 ve %20) algılaması gerçekleştirilmiştir.

Endüstriyel alandaki sıvı sensörümüz ile yaptığımız çalışmada günümüz araçlarında kullanılan motor yağlarının ömür süreleri ve miktarlarının tespiti gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada öncelikle aynı araç ve aynı kaptaki 0 km, 5 000 km ve 10 000 km mesafe kateden Elf 5w-30 motor yağından alınan numunelerin dielektrik sabiti değerleri 0 GHz ve 10 GHz

arasında belirlenmiştir. Daha sonra motor yağlarının ömür sürelerinin ve miktarlarının tespiti için optimum değerlere sahip bir monopul anten tasarlanmıştır. Bu monopul anten çok küçük boyutlarda olması sayesinde gelecekteki araçlarda yapılacak ufak değişimlerle montajı çok kolaydır fakat günümüz araçlarına montajı zor ve pahalıdır. Bu nedenle günümüz araçlarına uygun bir sensör tasarlamak amacıyla günümüz araçlarında kullanılan bir motor yağı çubuğunun birebir boyutlarında ikinci bir sensör ve motor yağı çubuğu borusu tasarlanmıştır. Bu tasarlanan ikinci sensörün montajı günümüz araçlarının motor yağı çubuğu yerine motor yağı çubuğu borusu içerisine konumlandırılacak şekilde kolayca gerçekleştirilebilir.

İlk çalışmadaki optimum değerlere sahip monopul anten yalıtkan materyal ile izole edilmiştir. Bu izolasyonun amacı monopul anten motor yağına daldırıldığında monopul antenin bakır çubuğu ile motor yağının teması sırasındaki olası sorunların önüne geçebilmektir. Monopul antenin izole edilmiş bakır çubuğu motor yağına daldırılmıştır. Bu ölçüm metodu ile 0 GHz ve 6 GHz arasında simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları dielektrik katsayı değerlerindeki değişime bağlı olarak yansıma katsayısı olarak bilinen $S_{1,1}$ parametresindeki rezonans frekansında doğrusal bir kayma oluşmuştur. Rezonans frekansındaki bu doğrusal kaymalar sayesinde motor yağlarının hem miktarı hem de ömür süreleri tespit edilebilmektedir.

Önerilen ikinci çalışmada günümüz araçlarında kullanılan motor yağı çubuğunun boyutlarında (26cm boyunda) monopul anten tabanlı sıvı sensörü önerilmiştir. Bu monopul anteninde bakır çubuğu yalıtkan materyal ile izole edilmiştir. Bilindiği üzere antenlerin boyutları ile frekansları ters orantılıdır, antenin boyutu arttıkça çalışma frekansı azalır. Motor yağı çubuğu boyutları (26 cm) bir monopul anten için çok büyük olduğundan monopul antenimiz düşük frekanslarda çalışmaktadır. Bu nedenle yaptığımız ölçümler düşük frekanslarda gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sensörümüz motor yağı çubuğu borusu içerisine konumlandırılmıştır. Sensörümüz gerçek hayatta motor yağı çubuğunun motor yağına battığı noktalarla aynı noktalar arasında batırılmış ve motor yağı miktarı yaklaşık olarak aynı noktalar arası değiştirilmiştir. Bu şekilde simülasyonları 0,2 GHz ve 0,5 GHz arasında gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları motor yağlarının dielektrik katsayı değerleri arasındaki farka bağlı olarak $S_{1,1}$ parametresinde bazı doğrusal değişimler meydana getirmiştir. Motor yağı miktarı değiştikçe rezonans frekansında doğrusal bir kayma gerçekleşmiştir fakat aynı miktardaki motor yağlarının rezonans frekansları farklı ömürlü motor yağları içinde aynıdır. Buradan da anlaşıldığı üzere rezonans frekansı sadece miktara

göre değişim göstermektedir. Motor yağlarının ömür sürelerine bağlı olarak $S_{1,1}$ parametresinde -12 dB'deki bant genişliği doğrusal sonuçlar vermektedir. Sonuç olarak motor yağı miktarı azaldıkça rezonans frekansı ileri yönde kaymaktadır. Motor kullanım ömrü arttıkça -12 dB'deki bant genişliği azalmaktadır. Bu sayede tasarlanan sıvı sensörü ile motor yağlarının hem ömür sürelerinin hem de miktarlarının ölçümleri gerçekleştirilebilmiştir.

Toprak altındaki tünel tespiti çalışmamızda birbirine paralel eş model 2 horn anten ve antenlerin altına 200 mm x 340 mm boyutlarında 50 mm derinliğinde bir toprak yüzey tasarlanmıştır ve simülasyonları 0-7 GHz aralığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra toprak yüzey içerisinde 40 mm çapında bir tünel açılmıştır ve tekrar simüle edilmiştir. Elde edilen $S_{2,1}$ parametrelerinin rezonans frekanslarındaki değişim sayesinde toprak altındaki tünel ve boşluk tespiti gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında anten tabanlı veya metamalzeme anten tabanlı mikrodalga sensörlerinin tıbbi ve endüstriyel alanlardaki, elektromanyetik dalgaların toprak altındaki boşlukları algılama konusundaki potansiyelleri gösterilmiştir. Önerilen çalışmalar gelecekte geliştirilen teknoloji ve metotlarla bu alanlarda tasarlanacak sensörlere örnek teşkil edecek ve ışık tutacak niteliktedir.

KAYNAKLAR

1. Sabah, C. ve Uckun, S. (2005). Negatif elektriksel ve manyetik geçirgenliğe sahip metamateriyaller ve iletim hattı yaklaşımı. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, İstanbul.
2. Hoffman, A. J., Alekseyev, L., Howard, S. S., Franz, K. J., Wasserman, D., Podolskiy, V. A., ... & Gmachl, C. (2007). Negative refraction in semiconductor metamaterials. *Nature materials*, 6(12), 946-950.
3. Holloway, C. L., Kuester, E. F., Gordon, J. A., O'Hara, J., Booth, J., & Smith, D. R. (2012). An overview of the theory and applications of metasurfaces: The two-dimensional equivalents of metamaterials. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 54(2), 10-35.
4. Akgol, O., Unal, E., Bağmancı, M., Karaaslan, M., Sevim, U. K., Öztürk, M., & Bhadauria, A. (2019). A nondestructive method for determining fiber content and fiber ratio in concretes using a metamaterial sensor based on a v-shaped resonator. *Journal of Electronic Materials*, 48(4), 2469-2481.
5. Veselago, V. G. (1968). The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ . *Soviet physics uspekhi*, 10(4), 509.
6. Karaaslan, M. (2009). Negatif kırılma indisli metamalzemelerin elde edilmesi. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, 128 s, Adana.
7. Pendry, J. B., Holden, A. J., Robbins, D. J., & Stewart, W. J. (1999). Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 47(11), 2075-2084.
8. Smith, D. R., Padilla, W. J., Vier, D. C., Nemat-Nasser, S. C., & Schultz, S. (2000). Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity. *Physical review letters*, 84(18), 4184.
9. Smith, D. R., Pendry, J. B., & Wiltshire, M. C. (2004). Metamaterials and negative refractive index. *Science*, 305(5685), 788-792.
10. Shelby, R. A., Smith, D. R., & Schultz, S. (2001). Experimental verification of a negative index of refraction. *science*, 292(5514), 77-79.
11. Chen, T., Li, S., & Sun, H. (2012). Metamaterials application in sensing. *Sensors*, 12(3), 2742-2765.
12. Melik, R., Unal, E., Perkgoz, N. K., Puttlitz, C., & Demir, H. V. (2009). Metamaterial-based wireless strain sensors. *Applied Physics Letters*, 95(1), 011106.
13. Yang, J. J., Huang, M., Tang, H., Zeng, J., & Dong, L. (2013). Metamaterial sensors. *International Journal of Antennas and Propagation*, 2013.
14. Ishimaru, A., Jaruwatanadilok, S., & Kuga, Y. (2005). Generalized surface plasmon resonance sensors using metamaterials and negative index materials. *Progress In Electromagnetics Research*, 51, 139-152.

15. Scarborough, C. P., Jiang, Z. H., Werner, D. H., Rivero-Baleine, C., & Drake, C. (2012). Experimental demonstration of an isotropic metamaterial super lens with negative unity permeability at 8.5 MHz. *Applied Physics Letters*, *101*(1), 014101.
16. Sabah, C., Turkmen-Kucuksari, O., Turhan-Sayan, G. (2014). Metamaterial absorber-based sensor embedded into X-band waveguide. *Electronics letters*, *50*(15), 1074-1076.
17. Gordon, J. A., Holloway, C. L., Booth, J., Kim, S., Wang, Y., Baker-Jarvis, J., & Novotny, D. R. (2011). Fluid interactions with metafilms/metasurfaces for tuning, sensing, and microwave-assisted chemical processes. *Physical Review B*, *83*(20), 205130.
18. Altintas, O., Aksoy, M., Akgol, O., Unal, E., Karaaslan, M., & Sabah, C. (2017). Fluid, strain and rotation sensing applications by using metamaterial based sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, *164*(12), B567-B573.
19. Altıntaş, O., Aksoy, M., Ünal, E., & Karaaslan, M. (2019, November). Double split ring resonator based microfluidic sensor for wastewater treatment applications. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2178, No. 1, p. 030011). AIP Publishing LLC.
20. Akgöl, O. (2018). PCB Dairesel Yama Anten Tabanlı Etanol ve Metanol Algılayıcı Tasarımı. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *33*(2), 287-296.
21. Chang, F. C., Yin, Y. Z., Lin, C. W., & Shiu, J. (2012). 4.5. 3 A Novel design of Antenna for biosensing applications. *Tagungsband*, 407-410.
22. Dinçer, F., Delihacıoğlu, K., Tümkaya, M. A., Karaaslan, M., & Sabah, C. (2017). Akaryakıt sektörü için metalmalzeme tabanlı sensör tasarımı ve uygulaması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, *9*(2), 86-91.
23. Withayachumnankul, W., Jaruwongrungee, K., Fumeaux, C., & Abbott, D. (2011). Metamaterial-inspired multichannel thin-film sensor. *IEEE Sensors Journal*, *12*(5), 1455-1458.
24. Withayachumnankul, W., Jaruwongrungee, K., Tuantranont, A., Fumeaux, C., & Abbott, D. (2013). Metamaterial-based microfluidic sensor for dielectric characterization. *Sensors and Actuators A: Physical*, *189*, 233-237.
25. Lee, H. J., Lee, H. S., Yoo, K. H., & Yook, J. G. (2008, October). On the possibility of biosensors based on split ring resonators. In *2008 38th European Microwave Conference* (pp. 1222-1225). IEEE.
26. Chuma, E. L., Iano, Y., Fontgalland, G., & Roger, L. L. B. (2018). Microwave sensor for liquid dielectric characterization based on metamaterial complementary split ring resonator. *IEEE Sensors Journal*, *18*(24), 9978-9983.
27. Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Karaaslan, M., Altıntaş, O., Awl, H. N., Muhammadsharif, F. F., ... & Luo, H. (2020). Novel metamaterials-based hypersensitized liquid sensor integrating omega-shaped resonator with microstrip transmission line. *Sensors*, *20*(3), 943.

28. Tamer, A., Alkurt, F. O., Altintas, O., Karaaslan, M., Unal, E., Akgol, O., ... & Sabah, C. (2018). Transmission line integrated metamaterial based liquid sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(7), B251.
29. Karatepe, A., Akgöl, O., Abdulkarim, Y. I., Dalgac, Ş., Muhammadsharif, F. F., Awl, H. N., ... & Huang, S. (2020). Multipurpose chemical liquid sensing applications by microwave approach. *PloS one*, 15(5), e0232460.
30. Bakır, M., Dalgac, Ş., Karaaslan, M., Karadağ, F., Akgol, O., Unal, E., ... & Sabah, C. (2019). A comprehensive study on fuel adulteration sensing by using triple ring resonator type metamaterial. *Journal of the Electrochemical Society*, 166(12), B1044.
31. Bakır, M., Karaaslan, M., Unal, E., Karadağ, F., Alkurt, F. Ö., Altıntaş, O., ... & Sabah, C. (2018). Microfluidic and fuel adulteration sensing by using chiral metamaterial sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(11), B475.
32. Bakır, M. (2017). Electromagnetic-based microfluidic sensor applications. *Journal of the electrochemical society*, 164(9), B488.
33. Karaaslan, M., & Bakır, M. (2014). Chiral metamaterial based multifunctional sensor applications. *Progress In Electromagnetics Research*, 149, 55-67.
34. Soffiatti, A., Max, Y., G Silva, S., & M de Mendonça, L. (2018). Microwave metamaterial-based sensor for dielectric characterization of liquids. *Sensors*, 18(5), 1513.
35. Arif, A., Zubair, A., Khaliq, H. S., Zubair, M., Riaz, K., & Mehmood, M. Q. (2020, January). EBG-based Sensor for Dielectric Characterization in Liquids. In *2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST)* (pp. 633-636). IEEE.
36. Lee, K., Hassan, A., Lee, C. H., & Bae, J. (2017). Microstrip patch sensor for salinity determination. *Sensors*, 17(12), 2941.
37. Kausar, A. S. M. Z., Reza, A. W., Latef, T. A., Ullah, M. H., & Karim, M. E. (2015). Optical nano antennas: state of the art, scope and challenges as a biosensor along with human exposure to nano-toxicology. *Sensors*, 15(4), 8787-8831.
38. Yuan, M., Alocilja, E. C., & Chakrabarty, S. (2016). Self-powered wireless affinity-based biosensor based on integration of paper-based microfluidics and self-assembled RFID antennas. *IEEE transactions on biomedical circuits and systems*, 10(4), 799-806.
39. Camli, B., Kusakci, E., Lafci, B., Salman, S., Torun, H., & Yalcinkaya, A. D. (2017). Cost-effective, microstrip antenna driven ring resonator microwave biosensor for biospecific detection of glucose. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 23(2), 404-409.
40. Green, R. B., & Topsakal, E. (2019, March). Biocompatible Antennas for Implantable Biosensor Systems. In *2019 International Workshop on Antenna Technology (iWAT)* (pp. 70-72). IEEE.

41. RoyChoudhury, S., Rawat, V., Jalal, A. H., Kale, S. N., & Bhansali, S. (2016). Recent advances in metamaterial split-ring-resonator circuits as biosensors and therapeutic agents. *Biosensors and Bioelectronics*, 86, 595-608.
42. Sanders, J. W., Yao, J., & Huang, H. (2015). Microstrip patch antenna temperature sensor. *IEEE sensors journal*, 15(9), 5312-5319.
43. Cheng, H., Ebadi, S., Ren, X., & Gong, X. (2015). Wireless passive high-temperature sensor based on multifunctional reflective patch antenna up to 1050 degrees centigrade. *Sensors and Actuators A: Physical*, 222, 204-211.
44. Guay, P., Gorgutsa, S., LaRochelle, S., & Messaddeq, Y. (2017). Wearable contactless respiration sensor based on multi-material fibers integrated into textile. *Sensors*, 17(5), 1050.
45. Wu, B., Zhang, X., Huang, B., Zhao, Y., Cheng, C., & Chen, H. (2017). High-performance wireless ammonia gas sensors based on reduced graphene oxide and nano-silver ink hybrid material loaded on a patch antenna. *Sensors*, 17(9), 2070.
46. Bakır, M., Karaaslan, M., Karadag, F., Dalgac, S., Ünal, E., & Akgöl, O. (2019). Metamaterial Sensor for Transformer Oil, and Microfluidics. *Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, 34(5).
47. Pichorim, S. F., Gomes, N. J., & Batchelor, J. C. (2018). Two solutions of soil moisture sensing with RFID for landslide monitoring. *Sensors*, 18(2), 452.
48. Cho, C., Yi, X., Li, D., Wang, Y., & Tentzeris, M. M. (2016). Passive wireless frequency doubling antenna sensor for strain and crack sensing. *IEEE Sensors Journal*, 16(14), 5725-5733.
49. Zhang, J., Huang, B., Zhang, G., & Tian, G. Y. (2018). Wireless passive ultra high frequency RFID antenna sensor for surface crack monitoring and quantitative analysis. *Sensors*, 18(7), 2130.
50. Liu, Z., Chen, K., Li, Z., & Jiang, X. (2017). Crack monitoring method for an FRP-strengthened steel structure based on an antenna sensor. *Sensors*, 17(10), 2394.
51. Weiland, T. (1977). A discretization model for the solution of Maxwell's equations for six-component fields. *ArEIU*, 31, 116-120.
52. Weiland, T. (1996). Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 9(4), 295-319.
53. Clemens, M., & Weiland, T. (2001). Discrete electromagnetism with the finite integration technique. *Progress In Electromagnetics Research*, 32, 65-87.
54. DALKILINÇ SAÇAN, E. (2017). Metamalzeme sinyal emici tabanlı mikrodalga sensörler. Yüksek lisans tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, 67s, Hatay.
55. Markos, P. and Soukoulis, C.M. 2008. *Wave Propagation*. Princeton University Press, 367s., United States of America.

56. Linden, S., Enkrich, C., Dolling, G., Klein, M. W., Zhou, J., Koschny, T., ... & Wegener, M. (2006). Photonic metamaterials: magnetism at optical frequencies. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 12(6), 1097-1105.
57. Nicolson, A. M., & Ross, G. F. (1970). Measurement of the intrinsic properties of materials by time-domain techniques. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 19(4), 377-382.
58. Weir, W. B. (1974). Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies. *Proceedings of the IEEE*, 62(1), 33-36.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOPMAZ, Cumali
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.02.1994, Adana
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (555) 687 25 01
 e-mail : cumalikopmaz01@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2018
Lise	Mehmet Kemal Tuncel Lisesi	2012

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

KOPMAZ, C., AKGÖL, O., Karaaslan, M., & Ünal, E. (2019). Yüksek Kazançlı Geniş Bantlı Horn Anten ile Tünel Tespiti. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 126-129.

KOPMAZ, C., AKGÖL, O., ÖZKANER, V. (2020). Serumlardaki Dekstroz İçeriklerinin Metamalzeme Anten Tabanlı Sensör ile Tespiti, *Uluslararası 5 Ocak Uygulamalı Bilimler Kongresi*, Adana.

Hobiler

Yüzme, Formula 1, Sinema, Müzik

DİZİN

A

anten · iv, viii, x, xi, 1, 2, 3, 5, 6, 7,
8, 9, 10, 11, 22, 23, 24, 25, 28,
29, 30, 31, 34, 35, 40, 41, 44,
45, 46

B

bant genişliği · 9, 36, 40, 46

D

dekstroz · iv, xi, xiii, 2, 6, 17, 18,
20, 21, 25, 26, 27, 28, 44
dielektrik sabiti · 16, 18, 19, 28,
44

F

FR-4 · 9, 22, 23
frekans · 17, 33

G

geçirgenlik · 1

H

horn anten · 44

K

kırılma indisi · 1

M

materyal · 22, 23, 45
metamalzeme · iv, x, 1, 3, 4, 5, 6,
14, 22, 23, 24, 44, 46, 48
Metamalzeme · iv, viii, x, xiv, 3, 4,
6, 20, 22, 23, 50
monopol anten · 28, 44, 45
Monopol Anten · vii, 7, 8
motor yağı · viii, xi, 2, 6, 19, 28,
29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37,
38, 39, 40, 44, 45, 46

N

numune · 19

R

rezonans frekansı · 3, 4, 28, 31,
32, 33, 36, 39, 40, 46

S

$S_{1,1}$ parametresi · 5
 $S_{2,1}$ parametresi · 41, 42, 43
sensör · iv, viii, x, xi, 3, 4, 5, 6, 26,
28, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 44,
45, 48
simülasyon · iv, viii, xi, xii, 2, 14,
16, 18, 20, 25, 26, 27, 28, 30,
32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,
40, 42, 43, 44

T

tespit · iv, 4, 5, 6, 28, 39, 45
tünel · iv, 40, 41, 43, 44, 46

Y

yama anten · iv, 2
yansımaya katsayısı · x, 25, 32, 33,
44, 45



TEKNOVERSİTE



teknoversite AYRICALIĞINDASINIZ

İSTE

