



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

**MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**PCB DİK DÖRTGEN YAMA ANTEN VE  
MONOPOL ANTEN TABANLI ÇOK  
AMAÇLI SIVI SENSÖRÜ  
UYGULAMALARI**

**Ayşegül KARATEPE**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**MAYIS 2019**





**PCB DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN VE MONOPOL ANTEN TABANLI  
ÇOK AMAÇLI SIVI SENSÖRÜ UYGULAMALARI**

**Ayşegül KARATEPE**

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

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

**HAZİRAN 2019**

Ayşegül KARATEPE tarafından hazırlanan "PCB DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN VE MONOPOL ANTEN TABANLI ÇOK AMAÇLI SIVI SENSÖRÜ UYGULAMALARI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Dr.Öğr.Üyesi Oğuzhan AKGÖL  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



**Başkan:** Dr.Öğr.Üyesi Oğuzhan AKGÖL  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



**Üye:** Prof. Dr. Faruk KARADAĞ  
Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Çukurova Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



**Üye:** Dr.Öğr.Üyesi Vedat ÖZKANER  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi  
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.



Tez Savunma Tarihi: 31/05/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fılgın DEPCI  
Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

  
Ayşegül KARATEPE

31/05/2019

PCB DİKDÖRTGEN YAMA ANTEN VE MONOPOL ANTEN TABANLI ÇOK AMAÇLI  
SIVI SENSÖRÜ UYGULAMALARI  
(Yüksek Lisans Tezi)

Ayşegül KARATEPE

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Bu çalışmada, şarap içerisindeki etanol alkol oranını ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol oranını tespit etmek için çalışma frekansı  $f=2$  GHz olan PCB (Printed Circuit Board - Baskı Devre) mikroşerit monopol anten ve çalışma frekansı  $f=4.656$  GHz olan PCB (Printed Circuit Board - Baskı Devre) mikroşerit dikdörtgen yama anten tabanlı algılayıcı(sensör) tasarlanmıştır. Her iki sensör de geri dönüşüm kaybı değerleri üzerinden şarap içerisindeki etanol alkol oranını ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol oranını tespit edebilmiştir. Monopol anten ve yama anten tasarımı yapılırken, numunelerin etanol alkol oranı ve izopropil alkol oranı değişikliklerine karşılık gelen elektromanyetik geçirgenlik oranları göz önünde bulundurulmuş ve çalışma frekansı ile beraber anten boyutları optimize edilmiştir. İlgili frekans bandında etanol alkol oranına ve izopropil alkol oranına karşılık gelen geçirgenlik değerleri doğrusal bir değişim göstermekte ve algılayıcı tasarımını mümkün kılmaktadır. Monopol anten ile ölçümler yapılırken antenin kutup kısmının yalıtımlı bir şekilde numunelere daldırıldığı düşünülmüş ve test kurulumu bunun üzerine optimize edilmiştir. Yama antende ise anten boyutuna göre tanımlanmış dikdörtgen hazne yapısı içerisine karışımlar küçük miktarlarda dökülerek sonuçlar alınmıştır. Alınan sonuçlara göre rezonans frekansındaki değişimlerin numunelerin içeriğindeki etanol alkol ve izopropil alkol oranı ile ilişkilendirilebileceği bulunmuştur. Monopol ve yama anten için rezonans frekansında test edilen numunelerdeki etanol alkol miktarının ve izopropil alkol miktarının değişimi rezonans frekansındaki değişimle orantılı ve doğrusala çok yakın bir karakteristik özellik sergilemektedir. Algılayıcıların bu özelliği ile karışımların yüzdelerini belirlemeye imkân sağladığı görülmektedir. Çalışmada kullanılan numunelerin kayıp tanjant değerleri ve dielektrik sabitleri KEYSIGHT markalı PNA-L N5234A Network Analyzer ve dielektrik prob ile ölçülmüştür. Nümerik çalışmalarda sonlu integrasyon (FIT) tabanına sahip simülatör programı kullanılmıştır. Her iki algılayıcıda düşük maliyete ve yüksek hassasiyete sahiptir. Küçük yapılı ve entegre edilebilir bir yapıya sahip olmaları da başka bir avantajdır.

Anahtar Kelimeler : PCB anten, PCB monopole anten, Sıvı sensör, İzopropil sensör, Anten Tabanlı sensör, Biyosensör anten

Sayfa Adedi : 54

Danışman : Dr.Öğr.Üyesi Oğuzhan AKGÖL

PCB RECTANGULAR PATCH ANTENNA AND MONOPOLE ANTENNA BASED  
MULTIPURPOSE LIQUID SENSOR APPLICATIONS

(M. Sc. Thesis)

Ayşegül KARATEPE

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2019

ABSTRACT

In this study, two sensor structures based on a PCB (Printed Circuit Board) microstrip monopole antenna with working frequency of  $f=2$  GHz and a PCB microstrip rectangular patch antenna with the working frequency of  $f=4.656$  GHz were designed in order to determine the ethanol alcohol ratio in wine and isopropyl alcohol ratio in sanitizers. Both sensors were able to determine the ethanol alcohol content in the wine and the isopropyl alcohol content in the sanitizer through the return loss values. When designing the monopole antenna and patch antenna, the electromagnetic permittivity ratios of the samples corresponding to the alcohol ratio and isopropyl ratio are considered and the antenna dimensions along with the working frequency were optimized. In the related frequency band, permittivity values corresponding to the ethanol alcohol and isopropyl alcohol ratios exhibit a linear change and make the sensor design possible. While performing the measurement with monopole antenna, the radiating part of the antenna was thought to be immersed in the samples and the test setup was optimized on this. In the patch antenna, the mixtures were poured in small amounts into the rectangular chamber structure defined by the antenna size and the results were obtained. According to the obtained results, it was found that the changes in the resonance frequency can be associated with ethanol alcohol and isopropyl alcohol ratio inside the samples. The change of ethanol alcohol amount and isopropyl alcohol in the samples tested at the resonance frequency for monopole and patch antenna is proportional to the change in the resonance frequency and they are very close to a characteristic close to linear. With this feature of the sensors, it is seen that it allows determining the percentages of the mixtures. The loss tangent values and dielectric constants of the samples used in the study were obtained with KEYSIGHT brand PNA-L N5234A Network Analyzer that can operate at the frequencies up to 43.5 GHz and the dielectric probe compatible with this device. Simulation of the targeted sensor structures in the computer environment were conducted in an electromagnetic simulation program based on Finite Integration Method (FIT). Both sensors have low cost and high sensitivity. In addition, they have small structure that can be integrated which can also be counted as another advantage of the design.

Key Words : PCB antenna, PCB monopole antenna, Liquid sensor, İzopropil sensor, Antennabased sensor, Antennabio-sensor

Number of pages : 54

Supervisor : Asistant Professor Oğuzhan AKGÖL

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimde, konumun belirlenme aşamasından, araştırma ve yazım aşamasına kadar bütün süreç boyunca engin bilgisi ve tecrübesi ile çalışmamı yönlendiren ve her zaman sabırla yardımcı olan danışman hocam sayın Dr.Öğr.Üyesi Oğuzhan AKGÖL'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tez konumun seçiminde ve tüm bu meşakkatli süreçte hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Muharrem KARAASLAN'a ve yüksek lisans arkadaşarımdan Şekip DALGAÇ'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmaları sırasında desteklerini esirgemeyen başta abim öğretim görevlisi Hasan KUZU'ya, eşim Serhat KARATEPE'ye, aileme ve en çok da biricik kızım Begüm KARATEPE 'ye sevgilerimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Antenler.....	1
1.2. Anten Çeşitleri .....	2
1.3. Mikroşerit Antenler.....	4
1.3.1. Mikroşerit Anten Tipleri.....	6
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. Dielektrik Sabiti ve Manyetik Geçirgenlik Katsayılarının Elde Edilmesi .....	15
3.1.1. Nicolson Ross Weir (NRW) Metodu.....	16
3.2. Elektromanyetik Dalga Yayılımlarında Kullanılan Nümerik Metotlar .....	18
3.2.1. Zaman Domainde Sonlu Farklar (FDTD) Metodu .....	18
3.2.2 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM) .....	20
3.2.3 Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT) .....	20
3.3. CST Yazılımı .....	21



4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	22
4.1 Numuneler İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi .....	22
4.1.1. Şarap-Etanol İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi.....	23
4.1.2. Dezenfektan-İzopropil İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi	25
4.2. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sensör ve Monopol Anten Yapılı Sensör Tasarımı.....	27
4.3. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sıvı Sensör Yapısı.....	28
4.4. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sıvı Sensör Numune Hazne Yapısı.....	30
4.5. PCB Dikdörtgen Yama Anten ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar .....	31
4.5.1. PCB Dikdörtgen Yama Anten Şarap-Etanol Simülasyonu .....	32
4.5.2. PCB Dikdörtgen Yama Anten Dezenfektan-İzopropil Simülasyonu ....	34
4.6. PCB Dikdörtgen Yama Anten ile Gerçekleştirilen Ölçümler .....	36
4.7 PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör Yapısı.....	37
4.8 PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör Numune Hazne Yapısı.....	40
4.9. PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar..	40
4.9.1. PCB Monopol Anten Şarap-Etanol Simülasyonları .....	41
4.9.2. PCB Monopol Anten Dezenfektan-İzopropil Simülasyonları.....	43
5. SONUÇ .....	46
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	53
DİZİN.....	54

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Şarap-etanol için dielektrik ve kayıp tanjant değerleri .....	24
Çizelge 4.2 Şarap-etanol için 1-5 GHz'deki dielektrik katsayısı değerleri .....	25
Çizelge 4.3. Dezenfektan-izopropil için dielektrik ve kayıp tanjant değerleri .....	26
Çizelge 4.4. Dezenfektan-izopropil için 1-5 GHz'deki dielektrik katsayısı değerleri.	27
Çizelge 4.5. Yama anten etanol miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik.	33
Çizelge 4.6. Yama anten izopropil miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik .....	35
Çizelge 4.7. Monopol anten etanol miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik .....	42
Çizelge 4.8. Monopol anten izopropil miktarına bağlı rezonans frekansı S11 ve dielektrik .....	44

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Mikroşerit yama anten (Keskin,2017) .....	4
Şekil 1.2. Mikroşerit yama anten çeşitleri .....	6
Şekil 1.3. Mikroşerit yürüyen dalga anten şekilleri (Kuş, 2010).....	7
Şekil 1.4. Mikroşerit yarık anten örnekleri (Kuş, 2010).....	7
Şekil 3.1. Yee gridinde EM alan bileşenleri (Yee, 1997) .....	19
Şekil 4.1. Dielektrik Ölçüm Kurulumu ve Numuneler .....	23
Şekil 4.2. Şarap-etanol için 1-5 GHz aralığındaki dielektrik değerleri.....	25
Şekil 4.3. Dezenfektan-izopropil için 1-5 GHz aralığındaki dielektrik değerleri.....	27
Şekil 4.4. PCB dikdörtgen yama antenin detaylı ön (a) ve arka (b) görünümü.....	29
Şekil 4.5. PCB dikdörtgen yama antenin üretimine ait genel ve arkadan görünümü ....	29
Şekil 4.6. PCB dikdörtgen yama antenin geri dönüşüm kaybı grafiği (S11).....	30
Şekil 4.7. PCB dikdörtgen yama antenin numune haznesi görünümü.....	31
Şekil 4.8. PCB dikdörtgen yama anten simülasyonları.....	31
Şekil 4.9. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol simülasyon grafiği.....	32
Şekil 4.10. Rezonans frekansı, dielektrik katsayısı, etanol konsantrasyon dağılımı ....	33
Şekil 4.11. PCB dikdörtgen yama anten dezenfektan-izopropil simülasyon grafiği ....	34
Şekil 4.12. Rezonans frekans, dielektrik katsayı, izopropil konsantrasyon dağılımı. ...	35
Şekil 4.13. PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensöre ait ölçümler .....	36
Şekil 4.14. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol ölçüm grafiği.....	37
Şekil 4.15. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol ölçüm grafiği.....	37
Şekil 4.16. PCB monopol antenin detaylı görünümü .....	38

Şekil 4.17. PCB monopol antenin geri dönüşüm kaybı grafiği (S11) .....	39
Şekil 4.18. PCB monopol antenin yayılım deseni .....	39
Şekil 4.19. PCB monopol antenin plastik kaplamasız (a) ve kaplamalı (b) .....	40
Şekil 4.20. PCB monopol anten şarap-etanol simülasyon grafiği .....	41
Şekil 4.21. Rezonans frekans, dielektrik katsayı, etanol konsantrasyon dağılımı. ....	42
Şekil 4.22. PCB monopol anten dezenfektan-izopropil simülasyon grafiği.....	43
Şekil 4.23. Rezonans frekans, dielektrik katsayı izopropil konsantrasyon dağılımı. ....	44



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgelerin ve kısaltmaların, açıklamaları aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklamalar

$\epsilon$	Dielektrik sabiti
$\mu$	Manyetik geçirgenlik
$E$	Elektrik alan şiddeti
$H$	Manyetik alan şiddeti
$n$	Kırılma indisi
$Z$	Empedans
$\Gamma$	Yansımaya katsayısı
$S_{ij}$	Saçılma parametresi
$t$	Zaman sabiti
$\lambda$	Dalga boyu
$\epsilon_r$	Dielektrik geçirgenlik katsayısı
$B$	Bant genişliği

### Kısaltmalar

### Açıklamalar

<b>CST</b>	Bilgisayar Simülasyon Teknolojisi
<b>EM</b>	Elektromanyetik
<b>FDTD</b>	Zaman Domaininde Sonlu Farklar
<b>FEM</b>	Sonlu Elemanlar Metodu
<b>FIT</b>	Sonlu İntegrasyon Tekniği
<b>MWS</b>	Mikrodalga Stüdyosu
<b>NRW</b>	Nicolson Ross Weir Metodu
<b>PCB</b>	Baskı Devre
<b>EBG</b>	Elektromanyetik bant boşluğu

## 1.GİRİŞ

Sensör (Algılayıcı) uygulamaları her zaman teknolojik araştırmalarda ilgi odağı olmuştur. Bilim adamları çeşitli sorunların çözümü için sensör tasarımı çalışmaktadır. Yapılan çalışmalardan yola çıkılarak farklı iki sıvı karışımında da işlevsellik gösterebilen PCB mikroşerit dikdörtgen yapılı yama anten ve mikroşerit monopol anten tabanlı pratik, gerçek zamanlı ve yüksek hassasiyetli iki adet çok amaçlı sıvı sensör (algılayıcı) üretilmiştir. Tasarlanan her iki algılayıcı şarap içeriğindeki etanol alkol ve dezenfektan içeriğindeki izopropil alkol oranlarını tespit etmektedir.

Çalışmada tasarlanan PCB mikroşerit dikdörtgen yapılı yama anten ve mikroşerit monopol anten algılayıcı çalışmaları için öncelikle CST yazılımı kullanılarak şarap içerisindeki etanol alkol ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol tespiti için simülasyonlar oluşturulmuştur. En etkin çalışma frekansına uygun boyutlarda algılayıcılar üretilmiştir. Daha sonra PCB mikroşerit dikdörtgen yapılı yama anten ve mikroşerit monopol anten algılayıcı ile oluşturulmuş belirli oransal değişikliklerle hazırlanan numuneler ile simülasyon çalışmaları yapılmış ve her iki sensöründe iyi birer algılayıcı olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasının amaçları;

- Mikroşerit yama anten ve monopol anten tasarımı yapmak,
- Tasarlanan anten ile farklı sıvılar içerisindeki alkol oranını tespit etmek,
- Yapısal küçüklük fakat işlevsel büyüklük gösterebilecek bir bio-algılayıcı tasarlamak,
- Düşük maliyetli, yüksek hassasiyetli entegre edilebilir bir yapı tasarlamak,

gibi sıralanabilir.

### 1.1. Antenler

Antenlerin temel görevi elektromanyetik dalgaları çevreden almak veya sinyal vermek yani elektromanyetik dalgaları yaymaktır. Elektromanyetik dalga yayan antenlere verici anten denir. Bu antenler çevreye elektromanyetik dalga yayarlar, tam tersi görevi üstlenen

antennelere ise alıcı antenler denilmektedir. Her iki görevi de üstlenen yani hem elektromanyetik dalga alıcı ve verici antenler ise radar olarak isimlendirilmektedir.

19.yüzyılın sonuna doğru manyetik kuvvetler ve elektrik alan ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Elektrik alan  $\vec{E}$  ve manyetik alan  $\vec{H}$  ifadelerine yorumlar yapılmıştır. Bu yıllarda bu iki kavram arasında bağlantı kurulamamıştır. Ancak 1864 yılında İngiliz fizikçi J.C. Maxwell tarafından bu iki yapı arasında bağlantı kurulmuş ve bugün elektromanyetikte kullanılan Maxwell denklemleri oluşturulmuştur.

Elektromanyetiği (EM) ortama yayılarak enerji aktaran ve içerisinde elektrik alan  $\vec{E}$  ile manyetik alan  $\vec{H}$  vektör bileşenlerini barındıran dalgalardır. Elektromanyetik dalgalar olan elektrik alan  $\vec{E}$  ve manyetik alan  $\vec{H}$  vektör bileşenleri birbirine dik olacak şekilde bir yayılma gerçekleştirirler. Elektromanyetik dalganın en önemli parametreleri olan dielektrik geçirgenlik katsayısı  $\epsilon$  ile manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu$  değerlerine göre malzeme sınıflandırılmaları yapılmaktadır.

Antenler kılavuz dalgaları yayan cihaz ile çevresi arasındaki iletimi sağlarlar. Farklı işlevsellik ve kullanım durumlarına göre birçok anten modeli vardır. Antenleri basitçe sınıflandırmak gerekirse genel karakteristik özelliklerine, ışımaya özelliklerine, yapısal özelliklerine, frekans bantlarına ve uygulama alanlarına göre gruplandırabiliriz. Genel özelliklerine göre; küçük antenler, açıklık antenler, yansıtıcı antenler, geniş bantlı antenler olarak gruplama yapılabilir. Bu tez çalışmasında mikroşerit antenler üzerinde analizler yapılmıştır. Diğer yapısal antenleri ise dikdörtgen yama antenler, dipol ve monopol antenler, helis antenler, horn antenler ve düzlemsel antenler gibi sıralamak mümkündür. Uygulama alanlarına göre ise radyo, haberleşme, radar, yön tayini ve daha birçok alan sıralanabilir.

## 1.2. Anten eşitleri

Anten tipleri çok geniş bir çeşitlilik göstermektedir. Bu nedenle tez çalışmamızda kullanmış olduğumuz anten yapılarını merkeze alarak en bilindik antenler hakkında bilgi verecek olursak.

Tel Antenler; Çok geniş bir kullanım alanı olan fakat genellikle bina çatılarında, gemi ve otomobillerde kullanım sıklığı görülen anten tipleridir. Düz tel yapılı monopol ve dipol antenler, daire, dikdörtgen, kare, elips, kıvrımlı şekle sahip helisel tipi antenler, halkalı antenler tel antenler grubunun en yaygın modelleridir.

Horn Antenler (Açıklık Antenler); Yüksek frekanslarda çalışabilen bir yapıya sahip olan horn antenlerin kullanım alanları oldukça geniştir. Uçakta ve uydu uygulamalarında sık kullanılmaktadır. Dikdörtgen ağızlı piramit horn anten, dairesel ağızlı konik horn anten ve dalga kılavuzlu horn anten yapıları gibi yapılar horn anten çeşitlerindedir.

Dizi Antenler; İsminden de anlaşıldığı gibi birden fazla antenin bir araya getirilmesi ile oluşturulmuş antenlerdir. Bazı durumlarda tek bir antenin gerçekleştiremediği ışınma özelliğini birden fazla anteni beraber kullanarak ışınma gerçekleştiren modellerdir ki bu nedenle dizi halinde bir kullanıma sahiptir. Dizi anten modellemeleri yapılırken belirli yönlerde ışınmanın minimum alması belirli yönlerde ise maximum olması amaçlanarak tasarlanan antenlerdir.

Yansıtıcı (Reflektör) Antenler; Gök cisimlerinin tespiti için kullanılan antenlerdir. Çok uzak mesafelerdeki sinyallerin alınması veya işaretlerin yollanmasını sağlayan yüksek kazançlı sahip antenlerdir. Yüksek kazançlı sahip olmaları gerektiği için çapları büyük olmak zorundadır.

Lens (Mercek) Antenler; Lens antenler istenmeyen enerjinin yayılmasını engelleyebilen antenlerdir. Bunun için enerjiyi paralel duruma getirirler. Uygun olan malzeme ile uygun geometriye sahip şekillerde mercekler enerjiyi topraklayarak düzlemsel dalga formuna dönüştürebilirler. Lens antenlerin geometrik yapıları kırılma indislerinin bir den küçük ya da büyük olması durumuna göre ince ve kalın mercek olarak isimlendirilirler.

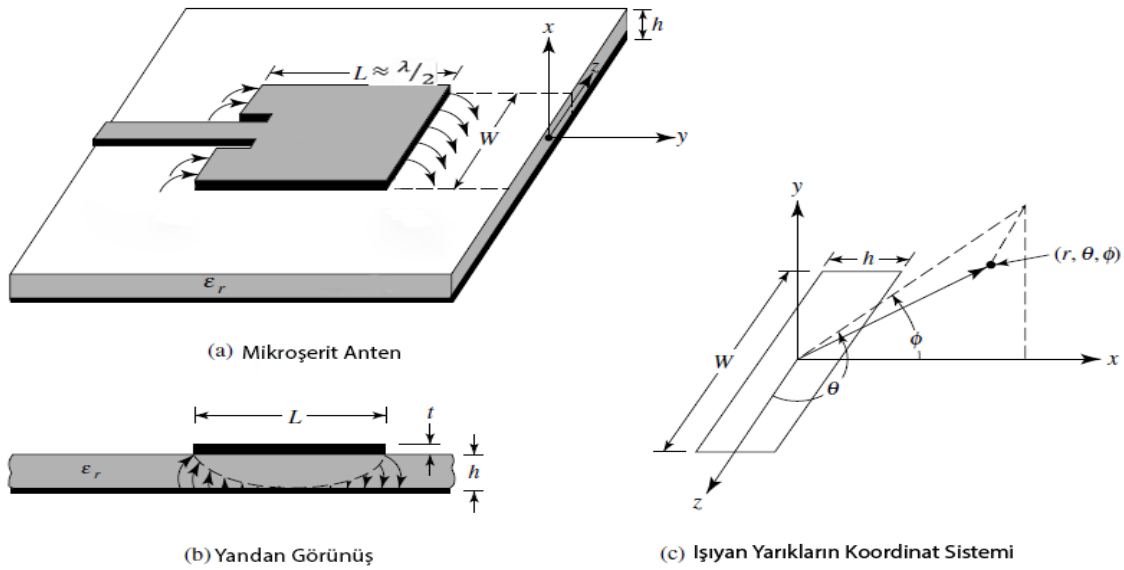
Mikroşerit Antenler; Haberleşmede kullanılan anten tipleri bu grupta yer almaktadır. Çok tercih edilmesinin en önemli nedenleri boyutlarının küçük olması, maliyetinin uygun ve geometrik şekillerinin dikdörtgen, daire gibi basit şekillerle sağlanıyor olmasıdır.



### 1.3. Mikroşerit Antenler

Mikroşerit anten kavramından ilk defa 1953 yılında Deschamps tarafından yayımlanmış olan “Microstrip Microwave Antennas” adlı çalışmasında bahsedilmiştir (Deschamps, 1953). Munson tarafından 1972 yılında bir sempozyumda yama antenlerden bahsedildi ve 1974’te bu anten ile ilgili çalışmasını yayınladı (Munson, 1974). Gutton ile Baissinot sonraları mikroşerit bir anten ile patent almışlardır. 1970’lerin başlarında, Howel ve Munson tarafından ilk pratik antenler geliştirilmiştir. O zamandan beri, mikroşerit antenler avantajları kullanılarak yapılan araştırmalarda; mikrodalga antenlerin geniş alanda uygulamalara kılavuzluk etmesine öncü olmuştur (Keskin 2017).

Mikroşerit anten; toprak yüzeyi üzerinde bulunan yalıtkan tabaka üzerine yerleştirilen iletken bir tabakadan oluşur. Şekil 1.1’de dikdörtgen bir mikroşerit yama antenin fiziksel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Mikroşerit yama anten (Keskin,2017)

L uzunluğu antenin çalışma frekansını belirlemektedir. Frekans formülü L uzunluğuna bağlı olarak ayarlanır.

$$f_0 = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0}} \quad (1.1)$$

Giriş empedansını W uzunluğu kontrol etmektedir. W uzunluğu artıça band genişliği de artar. h uzunluğu ise dielektrik malzemenin kalınlığıdır. h uzunluğu band genişliğini

kontrol eder ve artıkça band genişliği de artar. Dielektrik malzemenin dielektrik geçirgenlik katsayısı olarak tanımladığımız  $\epsilon_r$  değeri arttıkça band genişliği de artış gösterir. Dielektrik geçirgenlik katsayısı ( $\epsilon_r$ ) değeri azaldıkça saçılma artar ve böylece antenin daha iyi ışınım yapmasını sağlar. Band genişliği; W, h ve  $\epsilon_r$  parametreleri arasındaki bağlantı ile ilişkilidir.

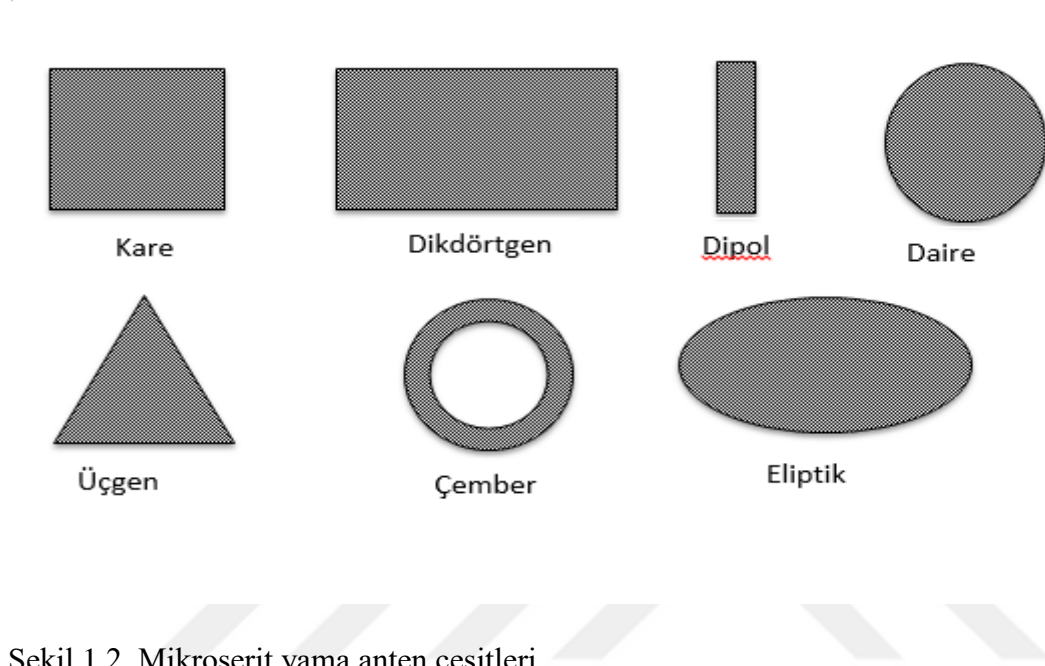
$$B \propto \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \frac{W}{L} h \quad (1.2)$$

Anten yapıları arasında; mikroşerit yama antenlerinin getirdikleri yenilikte asıl etken elektriksel olmayan özellikleri ile olmuştur. Mikroşerit yama antenlerin özelliği diğerlerine nazaran ağırlığının daha düşük olmasıdır. Küçük olması ve devre elemanları ile aynı dielektrik katmanda bulunabilmesi sebebiyle devre yapılarına uyum sağlamaları kolaydır ve taşınabilir cihazlarda boyutu büyütmez, kolay entegre edilebilirler. Düşük profil form faktörünün olması, ağırlığının az olması, maliyetinin düşük olması, yerleşme yapısındaki uyumluluğu, düzlemsel devrelere kolay entegre edilebilmesi, dairesel polarizasyon ve doğrusal ikili yeteneği ve çok yönlü besleme geometrileri yama antenlerinin temel özelliklerinden bazılarıdır. Tüm bu artılarına rağmen yama antenlerinin en kısıtlayıcı tarafı temel mikroşerit elemanlarının bant genişliği olarak belirtilebilir (Tansarıkaya, 2007; Şencan, 2012).

Sahip olduğu özellikler sayesinde 100 MHz - 50 GHz gibi geniş bir frekans aralığında kullanılabilen mikroşerit antenler, diğer antenlere göre bazı üstünlükleri ve dezavantajları sahiptir. Hacminin küçük olması, hafif olması, üretim maliyetinin düşük olması, düzlemsel biçimlilik ve kullanışlılığı, düşük saçılma kesit alanına sahip olması ve kolay entegre edilebilir olması gibi avantajları vardır. Bu avantajların yanında dar band genişliğine sahip olması, mikroşerit anten tiplerinin çoğunun yarı düzlem içinde ışınması, çeşitli kayıplar neticesinde düşük kazançlı olması ve düşük güç kapasitesine sahip olması gibi bir takım dezavantajları da vardır.

### 1.3.1. Mikroşerit Anten Tipleri

Mikroşerit antenler sınıflandırılırken iletken tabakanın aldığı şekil göz önüne alınır. Sıklıkla kullanılan geometrik yapılar Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Mikroşerit yama anten çeşitleri.

İletken tabakanın aldığı şekillere göre mikroşerit antenler üç ana alt başlıkta incelenebilir.

- Mikroşerit Yama Antenler

Mikroşerit yama antenler toprak düzlemdaki dielektrik tabakanın üzerindeki iletken tabakanın farklı geometrik yapılarda oluşturulması ile meydana gelen antenler olarak adlandırılırlar. Şekil 1.2’de yaygın olarak kullanılan yama anten şekilleri gösterilmiştir.

- Mikroşerit Yürüyen Dalga Antenler

Mikroşerit antenlerin bu tiplerinde ışınım elemanı, zincir şeklinde tekrarlayan iletkenlerden ya da açık uç uyumlu bir dirençle hattın sonlandırılmasıyla oluşur. Antenin yapısında yapılacak değişiklik ile ana hüzmeye yatay-düşey konum arasında herhangi bir açıya yönlendirilebilir. Aşağıda bu tipteki antenlere örnek Şekil 1.3’te görülmektedir.



koaksiyel besleme, yakınlık kuplajlı besleme ve açıklık kuplajlı besleme gibi dört adet mikroşerit besleme tekniği bulunmaktadır.



## 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Mikroşerit yama anten tanımı ele alınacak olursa; bu kavramı ilk 1953 yılında Deschamps kullanmıştır. Ancak teorikteki modellerin pratiğe yansması ancak yirmi yıl sonra mümkün olmuştur. Bu sürecin temel sebebi iyi dielektrik tabanlarının bulunmamasıdır. Bu tabanlardaki gelişim mikroşerit antenlerin gelişimini doğru orantılı olarak etkilemiştir. Pratik antenleri ilk olarak 1970' li yılların başında, Howel ve Munson geliştirmiştir. O günden bu yana, mikroşerit antenlerin avantajlarından yararlanılarak yapılan araştırmalarda; mikrodalga antenleri içerisinde mikroşerit yama antenleri ayrı bir dal şeklinde yer almış ve farklı uygulamalarda kılavuzluk etmesini sağlamıştır (Balanis, 1997). Yama antenler, geometrik yapısı, hafifliği, ekonomik maliyeti ve kolay uygulanabilirliği nedeniyle sık kullanılan anten tiplerinde biridir.

Mikroşerit yama antenlerinin bu kadar hızlı bir gelişime destek olmasının ve getirdiği yeniliğin asıl sebebi anten yapısının elektriksel olmayan özellikleri ile meydana gelmiştir. Düşük profile sahip olması ve hafifliği, mikrodalga tümleşik devrelerinde uyum sağlamasını kolaylaştırmaktadır. Küçüklüğü ve devre elemanları ile aynı dielektrik katmanı paylaşabilmesi ile kolay bir şekilde entegre devre yapıları ile uyum sağlar ve taşınabilir cihazın boyutlarında büyümeye neden olmazlar (Tansarıkaya, 2007). Günümüzde mikroşerit yama antenleri ile uydu (Kouhalvandi, Ceylan, Paker ve Yağcı, 2017), telekomünikasyon (Yıldırım 2017), giyilebilir elektronik uygulamalar (Lingnan ve Rahmat-Samii, 2018), görüntüleme cihazları (Islam, Samsuzzaman ve Rahman, 2017) ve sensör (Mohammad, Gowda, Zhai, Huang, 2011) gibi pek çok alanda çalışmalar yapılmaktadır.

Mikroşerit yama antenler zamanla farklı bir uygulama alanı bulmuştur. Bu uygulama alanı; sensörlere entegre edilerek, sensörlerin algılama hassasiyetini ve kazancını arttırmaya yöneliktir. Teknolojinin gelişmesi ve hızlanması ile birlikte, daha hassas ve farklı alanlarda kullanılacak algılayıcılar (sensör) bilim adamları ve mühendisler tarafından çalışılmaktadır. Antenlerin sıvıların dielektrik özelliğinin tespiti amacı ile kullanımı yaygındır (Akhavan ve Mirshekar-Syahkal, 1999).

Literatür incelendiğinde Soffiatti, Max, Silva ve Mendonça (2018) sıvıların dielektrik karakterizasyonu belirlemek amacı ile yaptıkları çalışmalarında, sinyallerin ve antenlerin arasındaki mesafeyi saptamak için, sensörler arasındaki iletimin analizi yapılmıştır. Sensör, 1,8-4,1 GHz aralığında frekanslar test edilmiş ve farklı hassasiyet değerlerine varılmıştır (Soffiatti ve diğerleri, 2018). Liu, Sun ve Xu (2018) metamaterial tabanlı sensör kullanılarak küçük sıvıların dielektrik karakterizasyonunu belirlemek amacıyla yaptıkları diğer bir çalışmada ise 1,9 GHz de rezonansa giren mikroşerit besleme yöntemi ile oluşturulan sensör, etanolün ve metanolün, sudan ayrıştırılmasını oldukça hassas bir şekilde gerçekleştirmiştir (Liu ve diğerleri, 2018).

Altıntaş, Aksoy, Akgol, Unal, Karaaslan ve Sabah'ın yaptıkları bir çalışmada yoğunluk, rotasyon ve gerilim algılama olmak üzere üç önemli alan incelenmiş, metamalzeme tabanlı mikrodalga sensörler etanol alkol oranı tespitinde 3-5 GHz aralığında hassas sonuçlar vermiştir (Altıntaş ve diğerleri, 2017). Gregory ve Clarke RF ve mikrodalga frekanslarında kompleks geçirgenliklerinin ölçülmesi için mevcut olan teknikleri araştırdıkları derlemede, RF tabanlı mikrodalga sensörlerin kutuplu sıvıların belirlenmesi için denendiği görülmektedir (Gregory ve Clarke, 2006). Yapılan bir çalışmada, su-etanol bileşimi oran tespitinde mikroşerit hat tabanlı kimyasal sensörler kullanılmıştır (Ebrahimi, Withayachumnankul, AlSarawi ve Abbott, 2014). Ayrıca yine sıvı etanol tespitinde 8 modlu antenler kimyasal sensör olarak ele alınmıştır ve önerilen antenin kullanılabilirliği, rezonans frekansı ve etanol konsantrasyonu arasındaki ilişkiden ortaya çıkmaktadır (Seo, Memon ve Lim, 2016). Etanol, metanol ve asetonun tespiti amacı ile kullanılan metamalzeme tabanlı kimyasal sensörlerin, diğer algılama araçlarına yapılandırılabilmesi ve uygulanabileceği vurgulanmaktadır (Bakir, 2017). Yapılan başka bir çalışmada, frekansları 4,42-3,97 GHz arasında değişkenlik gösteren, her iki durumda da absorpsiyonu % 90'ın üzerinde kalan, etanol miktarı belirlenmesi amacı ile metamalzeme tabanlı sinyal emicilerde kullanılmıştır (Ling, Yoo, Su, Kim, Cook, Tentzeris ve Lim, 2015).

Mikroşerit yama antenlerden biri olan monopol antenler günümüzde sağlık, jeofizik ve teknolojik cihazlar gibi farklı kullanım alanlarında algılayıcı olarak kendini göstermektedir. Sill ve Fear' nin yaptıkları bir çalışmada, mikrodalga yol ile meme kanseri tespitinde sağlıklı ve kötü huylu dokular arasındaki elektriksel özellik farklarına dayanan yeni bir model sunmuşlardır (Sill ve Fear, 2005). Denoth 1997 de yaptığı bir çalışmada, toprak ve kar ıslaklığı ölçümlerinde kullanılan kapasitif sensörlere bir alternatif olarak,

hem toprak hem de kardaki sıvı su içeriğinin alan ölçümleri için 100 MHz ila 2 GHz aralığında çalışan tek kutuplu (monopol) anten tasarlamıştır. Bu çalışmada, tek kutuplu probun, toprak veya kar gibi farklı gözenekli taneli jeofizik malzemelerin ıslaklık ölçümleri için çok uygun ve pratik bir dielektrik sensör olduğu vurgulanmaktadır (Denoth, 1997). 2019 yılında yapılmış yeni bir monopol anten çalışmasında ise Cruz, Serres, Oliveira, Xavier, Albuquerque, Costa ve Freire yüksek voltajlı ekipmanın yalıtımı, yoğun elektrik alanları, kimyasal reaksiyonlar, mekanik baskılar, sıcaklık değişimleri ve çeşitli çevresel olaylar gibi stresli koşullara maruz kalması nedeni ile elektriksel deşarj olarak tanımlanan kısmi boşalmaların oluşabileceğini belirtmişlerdir ve bu nedenle yüksek voltajlı yalıtım sistemlerinde kısmi boşalma aktivitesini izlemek için yeni, biyo-ilham baskılı tek kutuplu (monopol) anten modeli uygulamışlardır (Cruz ve diğerleri, 2019).

Mikroşerit monopol anten parametrelerini iyileştirmek için Elsheakh, Elsadek, Abdallah, Elhenawy ve Iskander EBG (Elektromanyetik bant boşluğu) yapısını anten düzlemine entegre etmişlerdir (Elsheakh ve diğerleri, 2009). Son yıllarda yapılan başka bir çalışmada Altıntaş ve diğerleri iletim hattı üzerine kurulu metamalzeme tabanlı sıvı sensörü uygulaması ile etanol oranının tespitini de içeren çok amaçlı bir algılayıcı tasarlamıştır (Altıntaş ve diğerleri, 2017). 2018 yılında yayınlanan bir başka çalışmada ise Tamer ve diğerleri rafine edilmiş ve rafine edilmemiş petrol ürünlerini algılayabilecek X-bandında çalışabilen bir sıvı algılayıcı üzerinde çalışmışlardır (Tamer, Alkurt, Altintas, Karaaslan, Unal, Akgol, Karadag ve Sabah, 2018).

Biyosensörler, bir biyolojik yanıtı elektriksel sinyale dönüştüren analitik cihazlara verilen teknik bir terimdir. “Biyosensör” terimi genellikle, doğrudan biyolojik bir sistemden yararlanılmayan durumlarda da maddelerin biyolojik konsantrasyonunu ve diğer parametrelerin konsantrasyonunu belirlemek için kullanılan sensör cihazlarını içermektedir. Biyosensörler, gıda endüstrisi, tıp, denizcilik sektörü gibi birçok alanda uygulanmakta ve geleneksel yöntemlere göre daha iyi stabilite ve hassasiyet sağlamaktadır (Mehrotra, 2016). Spektroskopi ve kimyasal deneyleri içeren geleneksel teknikler, insan gücünü gerektiren pahalı ve zaman alıcı çalışmalardır. Gıda endüstrisi için gıdaların doğru ve tarafsız bir şekilde ölçülebilmesi için geliştirilen alternatif yöntemlerin uygun maliyetli olması tercih edilen bir durumdur. Böylelikle, basit, gerçek zamanlı, seçici ve ucuz tekniklere olan talebe cevaben biyosensörlerin gelişmesi kaçınılmaz olmuştur (Scognamiglio, Arduini, Pallechi ve Rea, 2014). Chang, Shiu, Yin ve Lin biyosensör



uygulamaları için yeni bir anten tasarımını ele aldıkları çalışmalarında, rezonans frekansı 1,69 -1,63 GHz'e farklı konsantrasyonlarda su-etanol çözeltileri (% 3 ila % 100) altında 14 ile 79 arasında değişen dielektrik katsayısıdır ve bu sonuçlara göre, anten biyosensörü küçük boyutlu, düşük rezonans frekansının avantajlarına sahiptir. Gerçek zamanlı, etiketsiz, hassas, düşük profilli ve pratik uygulamalar için baskılı devre kartları (PCB) ile entegrasyonunun kolay olduğu sonucuna varılmıştır (Chang ve diğerleri 2012). Pal, Teng, Marhic, Chan ve Mehta biyomateryallerin küçük boyutlu örneklerini tespit etme ve tanımlama potansiyeline sahip yeni bir mikroresonator anten yapısının tasarımı üzerine yaptıkları diğer bir çalışmada ise algılayıcı etkinin, algılanan malzemenin çeşitli olası dielektrik sabiti değerleri için antenin yansımasındaki değişiklik ile tespit edilebileceği vurgulanmaktadır (Pal ve diğerleri 2011).

Biyosensörlerin kullanım alanlarından biri de şarap üretimindeki etanol miktarının ölçümüdür. Etanol, tıp, biyoteknoloji ve gıda endüstrisinde yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Etanol konsantrasyonu fermantasyon ve damıtma sırasında toksik seviyelere ulaştığında, burun mukozasında enfeksiyon, konjonktiva ve cildin tahriş olmasına neden olur. Ek olarak, alkol zehirlenmesi daha yüksek etanol konsantrasyon seviyelerinde gerçekleşebilir. Bu nedenle, toksikolojik ve psikolojik etkileri nedeniyle etanol analizi büyük önem taşımaktadır. Etanol ve diğer alifatik alkollerin belirlenmesi için şimdiye kadar birçok analitik yöntem geliştirilmiştir (Alpat ve Telefoncu, 2010). Ancak, söz konusu metotların pahalı olması, uzun analiz süresi ve oldukça karmaşık sistemler gerektirmesi gibi bazı dezavantajları vardır.

Etanolün hassas ve hızlı belirlenmesi için alternatif bir yol, PCB tabanlı mikroşerit beslemeli antene dayalı sıvı sensörlerini kullanmaktır. Şarap üretiminde de fermentasyon süreci boyunca glikoz ve etanolün izlenmesi, şarabın kalitesini, özel tadını ve lezzetini kontrol etmek için önemlidir (Samphao, Butmee, Saejueng, Pukahuta, Švorc ve Kalcher, 2018). Fermantasyon işleminin ana ürünü olan etanol miktarı, şarap kalitesinin önemli bir kontrol parametresidir (Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliği, 2008). Normal olarak, konsantrasyonda fermantasyon ile üretilen etanol içeriği, yüzde 9 ile yaklaşık % 14-15 arasında değişir. Bu konsantrasyonun üstündeki etanol, enzimleri inhibe ederek fermantasyonun durmasına neden olur (Samphao ve diğerleri 2018, Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliği, 2008). Bu nedenle, glikoz ve etanolün sürekli, eşzamanlı ve seçici bir şekilde izlenmesi, şarap endüstrisinde fermantasyon sürecini ve ürün kalitesini kontrol

etmek için alkolik fermantasyonda temel faktörlerdendir. Samphao ve diğerlerinin biyozimatik biyosensör ile şarap fermantasyonu sırasında glikoz ve etanolün değerlendirilmesini içeren çalışmalarında, biyosensörün glikoz ve etanol için 0,3 ile 7,8 mM ve 0,1 ile 0,7 mM arasında iyi bir doğrusal tepki gösterdiği ve bu sonuçların biyosensörün şarap üretimi sırasında şarap üreticilerine yardımcı olacak bir araç olma potansiyeline sahip olduğunu gösteren referans yöntemleri (ticari glikoz metre ve gaz kromatografisi) ile elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu saptanmıştır (Samphao ve diğerleri, 2018). Goriushkina, Soldatkin ve Dzyadevych'nin yaptıkları şarapta etanol, glikoz ve laktat analizi için amperometrik biyosensörlerin uygulanmasına ilişkin çalışmalarında ise cihazların etanol, glukoz ve laktat için sırasıyla 0,3–20 mM, 0,04–2,5 mM ve 0,008–1 mM konsantrasyon aralığında doğrusal tepki gösterdiği saptanmıştır (Goriushkina ve diğerleri, 2009). Literatür incelendiğinde, şarabın içerisindeki çeşitli materyalleri ölçen biyosensörler (Goriushkina ve diğerleri 2009; Mentana, Palermo, Nardiello, Quinto ve Centonze, 2012; Li ve diğerleri, 2013; Samphao ve diğerleri, 2018) ve farklı sıvılardaki etanol miktarını ölçen çeşitli anten türleri (Ebrahimi ve diğerleri, 2014; Seo ve diğerleri, 2016; Altıntaş ve diğerleri, 2017) mevcuttur.

Biyosensörlerin bir diğer kullanılabileceği alanı ise dezenfektanların içerisindeki izopropil alkol oranlarının ölçümüdür. Dezenfektanları sınıflandıracak olursak; etki seviyesine göre yüksek, orta ve düşük seviyeli dezenfektan şeklinde üç grupta sınıflandırılabilir. Orta seviye olanlar, bakterilerin sporları üzerine etkisi yoktur, fakat mikrobakteri, zarfı olmayan virüslere etki ederler. Etanol/izopropil alkol (%60-90), fenol ve fenol bileşikleri (%0,4-5) ve iyodoforlar (30-50 ppm serbest iyot) bu grup içinde bulunurlar (Gorman ve Scott, 2004; Abbasoğlu, 2009). Dezenfektandaki veya antiseptikteki alkol oranı artarsa etkiledikleri mikroorganizmaların sayısı artmakla birlikte, etkilenen mikroorganizmaların gördükleri zararın şiddeti de alkol yoğunluğu ile doğru orantılı olarak yükselmektedir. İçerikteki izopropil yoğunluğu optimum değerinin üzerine çıksa da mikroorganizmalar üzerindeki etkisinde anlamlı bir değişim olmaz. Tüm dezenfektanlar ve antiseptikler en etkili oldukları bir optimum yoğunluğa sahiptir ve amaç bu yoğunlukta kullanılmalarıdır (Gorman ve Scott, 2004; Tünger ve diğerleri, 2005; Bilgehan ve diğerleri, 2002; Kılıçturgay ve diğerleri, 1996). Ortamın pH değeri optimum değerden ne kadar uzaklaşırsa mikroorganizmaların dezenfektana karşı direnci azalır ve dezenfektanın mikroorganizmalara karşı etkinliğinde artış görülür (Gorman ve Scott, 2004; Tünger, Çavuşoğlu ve Korkmaz, 2005; Bilgehan, 2002; Kılıçturgay, Gökırmak, Töre, Gedikoğlu,

Göral ve Helvacı, 1996). İzopropil ve etanol dezenfeksiyon için dezenfektanlarda sıklıkla kullanılan alkol türleridir. Mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiyi en iyi %60-90 aralığındaki oranlarda gösterirler. Konsantrasyondaki miktarın azalması ile dezenfektanın etkisinde azalma görülür (Gorman ve Scott, 2004; Nakipoğlu ve Gürler 2004; Purohit, Saluja ve Kakranı, 2003). Alpat ve Telefoncu'nun alkol dehidrojenezi ile ilgili biyosensörün geliştirilmesini kapsayan çalışmalarında, etanol, metanol, n-bütanol ve izopropil alkol sıvıları incelenmiş, geliştirilen biyosensörün, duyarlı ve seçici etanol tayini sergilediği saptanmıştır (Alpat ve Telefoncu, 2010). Bununla birlikte, antenler ile etanol ve izopropil alkol karışımlarını birlikte inceleyen ve ayrıştırılmasına yönelik çalışmalar fazla değildir. Bu tez çalışmasında sunulan her iki algılayıcı modeli de etanol ve izopropil alkol için oldukça hassas bir yapı sergilemektedir.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

Elektromanyetik problemlerin çözümlenmesinde pek çok sayısal yöntemden faydalanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları problemi zaman bazında, bazıları ise frekans bazında çözer. Her yöntem belirli koşullar olmadıkça doğru sonuç veremeyeceğinden, elektromanyetik problemlerin çözümünde kullanılabilecek tek bir yöntemden bahsedilemez. Elektromanyetik problemlerinde kullanılan sayısal yöntemlerden bazıları bu bölümde sunulmuştur.

Bu tez çalışmasında, elektromanyetik parametrelerin elde edilmesinde ve model benzetimlerinde FIT yani sonlu integrasyon metoduyla yapılmıştır. Sonlu integrasyon metodu; karmaşık olan problemleri nispeten daha basit alt problemlere ayırarak, bu basit problemlerin kendi içlerinde çözümlenmesiyle sonuca ulaşılan bir çözüm metodudur. Bu metot, uzay koordinatlarına bağlı ayırık tabanlı bir metot olup zaman ve frekans bölgesinde elektromanyetik alan problemlerini sayısal olarak çözer. Sonlu integrasyon metodu, ilk kez 1977 yılında Thomas Weiland tarafından ortaya konulmuş ve araştırmacılar tarafından geliştirilmeye devam eden bir metottur (Weiland 1977, Weiland 1996, Clemens ve diğerleri, 2001). Bu yaklaşımın temel metodu integral formda yaklaşım yaparak Maxwell denklemlerini ortama uygulamaktır. Çalışmalarda en önemli iki yapı olan elektrik ve manyetik alan belirlemesi için Maxwell denklemleri kullanılmaktadır. Sonlu integrasyon metodu, her malzeme dağılımları ve yön bağımlı, lineer olmayan ve frekans bağımlı malzeme özelliklerinin birleştirilmesi için yapılan geometrik modelleme ve sınır koşullarında yüksek esnekliğinden dolayı yaygın olarak kullanılır (Weiland, 1977; Greengard ve Rokhlin, 1987; Mohammadian ve diğerleri, 1991;Thoma ve Weiland 1995). Sonlu integrasyon metodu, integral durumundaki Maxwell denklemlerinin tutarlı şekilde ayrıştırılmasından düzenlenmiştir.

#### 3.1.Dielektrik Sabiti ve Manyetik Geçirgenlik Katsayılarının Elde Edilmesi

Dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenlik katsayılarının elde edilmesinde kullanılan birçok metot vardır. Sıklıkla kullanılan metotlar aşağıda sıralanmıştır.

- Nicolson Ross Weir (NRW) Metodu

- Sabit Referans Düzlem Algoritması
- Tekrarlı (Iterative) Çözümler
- Açık (Explicit) Çözüm Yöntemi
- Negatif İndisli Malzeme (NIM) Parametrelerinin Çıkartılması

### 3.1.1. Nicolson Ross Weir (NRW) Metodu

NRW metodu saçılma parametresi de denilen Sij parametrelerinden iletim ve yayılım özelliklerini tanımlayan S11 ve S21 değerlerinin 1970 yıllarında Nicolson'un oluşturduğu nümerik hesaplamalarda kullanılan yöntemler olup dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  ile manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu_r$  değerlerinin bulunması yöntemidir. (Nicolson, 1970). Ancak dielektrik sabiti  $\epsilon_r$  ile manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu_r$  sadece NRW metoduyla sınırlı değildir sadece kullanılan metotlardan birisidir.

Bu yöntem sayesinde öncelikle S11 ile S21 parametrelerinin,  $\Gamma$  yansıma katsayısının, T iletim katsayısının,  $\mu$  manyetik geçirgenlik katsayısının ve  $\epsilon$  dielektrik katsayısının hesaplanması sağlayan denklemler aşağıda sıralanmıştır.

$$S_{11} = \frac{\Gamma(1-T^2)}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (3.1)$$

$$S_{21} = \frac{T(1-\Gamma^2)}{1-\Gamma^2 T^2} \quad (3.2)$$

- *İletim Katsayısı;*

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21})\Gamma} \quad (3.3)$$

- *Yansıma Katsayısı;*

$$\Gamma = X + \sqrt{X^2 - 1} \quad (3.4)$$

$$X = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \quad (3.5)$$

Nicolson Ross Weir metodunda dielektrik sabiti ve manyetik geçirgenlik katsayısını veren eşitlikleri ise;

- *Dielektrik sabiti;*

$$\epsilon_r = \frac{\lambda_0^2}{\mu_r} \left( \frac{1}{\lambda_c^2} - \left[ \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right]^2 \right) \quad (3.6)$$

- *Manyetik geçirgenlik katsayısı;*

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma_1}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (3.7)$$

$\lambda_0$  Boşluktaki dalga boyunu,  $\lambda_c$  kesim dalga boyunu  $\Lambda$  akı bağlaşımını ifade etmektedir.

$$\frac{1}{\Lambda^2} = \left( \frac{\epsilon_r \mu_r}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2} \right) = - \left( \frac{1}{2\pi L} \ln \left( \frac{1}{T} \right) \right)^2 \quad (3.8)$$

3.7 eşitliğinde S parametrelerinin bulunması için  $|\Gamma_1| < 1$  olmalıdır.

Tez çalışmasında, empedans değeri ile kırılma indisi arasındaki ilişki aşağıdaki 3.9 ve 3.11'de gösterildiği gibidir.

- *Dalga empedansı (z) 'nin S11 ve S21 ile ilişkisi;*

$$Z = \pm \sqrt{\frac{(1 + S_{11})^2 - S_{21}^2}{(1 - S_{11})^2 - S_{21}^2}} \quad (3.9)$$

$$e^{ink_0 d} = \frac{S_{21}}{1 - S_{11} \frac{Z-1}{Z+1}} \quad (3.10)$$

$$n = \frac{1}{k_0 d} \left\{ \left[ \ln(e^{ink_0 d}) \right]'' + 2m\pi \right\} + i \left[ \ln(e^{ink_0 d}) \right]' \quad (3.11)$$

Kırılma indisi  $n$  değerini veren 3.11 eşitliğinde gösterilen çift tırnaklı ( $''$ ) kısım reel değeri bulmayı sağlamaktadır. Tek tırnaklı ( $'$ ) kısım ise sanal değerleri bulmayı sağlamaktadır. Buradan kırılma indisi  $n$  ile dalga empedansı  $Z$  değerlerinin oranlanması ile dielektrik sabiti  $\epsilon$ 'nin bulunması sağlanır. Bu iki değer çarpılması ile de manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu$ 'nin bulunması sağlanmaktadır. 3.13 ve 3.14 eşitliklerinde görülmektedir.

Aşağıda verilen kırılma indisi formülü 3.12 ise reel kısmı temsil edecek şekilde  $\epsilon_r$  ve  $\mu_r$  parametrelerin çarpımının karekökü olarak da ifade edilmektedir.

- *Kırılma indisi ise ;*

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (3.12)$$

- *Dielektrik sabiti  $\epsilon$ ;*

$$\epsilon = n / Z \quad (3.13)$$

- *Manyetik geçirgenlik katsayısı  $\mu$ ;*

$$\mu = nZ \quad (3.14)$$

### 3.2. Elektromanyetik Dalga Yayımlarında Kullanılan Nümerik Metotlar

Elektromanyetik problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılan metotlar olan sonlu farklar metodu (FDTD), sonlu integrasyon tekniği (FIT) ve sonlu elemanlar metodu (FEM) anlatıma sunulmuştur. Sayısal çözümleme yöntemleri bir takım hiperbolik ve kısmi diferansiyel denklemler olan Maxwell denklemlerinin çözümünün yapılması elektrik ve manyetik alan tespit edilmesi ile çalışmaktadır.

#### 3.2.1. Zaman Domainde Sonlu Farklar (FDTD) Metodu

Zaman domainde sonlu farklar metodu 1966 yılında Kane Yee tarafından oluşturulmuştur (Yee, 1966). İlerleyen yıllarda araştırmacılar tarafından geliştirilerek elektromanyetiğin sıklıkla kullanılan bir yöntemi olmuştur. Günümüzde de kullanımı çok yaygındır. FDTD yöntemi Maxwell'in diferansiyel biçimli dönele (curl) denklemlerinin çözümü için

kullanılan bir metottur. Maxwell denklemlerinin uzaysal ve zamansal türevlerini temsil etmektedir.

Bu metotta sonlu fark ifadesi kullanılmıştır. Bu ifade Maxwell denklemlerinin uzaysal ve zamansal türevlerini temsil etmesinden dolayı kullanılmaktadır. Yee algoritmasındaki orjinal ızgara elektrik ve manyetik alan bileşenleri çapraz ayarlı bir mimariye yerleştirilen, yapısal hücrelerin bir kartezyen ızgarasıdır (Tümkaya, 2017).

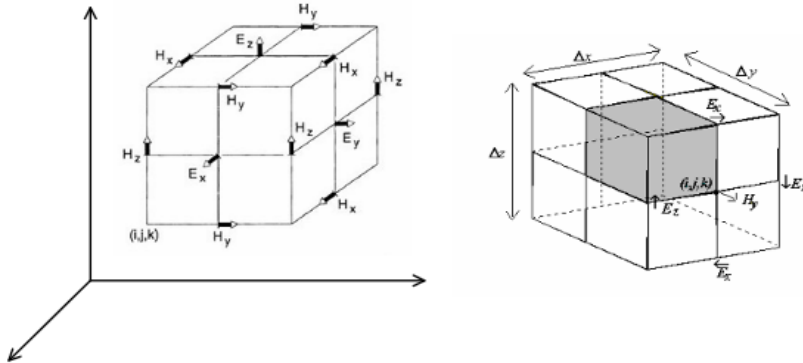
FDTD metodunun EM bileşenlerinin gösterimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bu gösterim Kane Yee tarafından oluşturulmuş ızgara (gridler) şeklindedir. Bu gösterim şekli Yee gridi olarak bilinmektedir. Açık ve kolay bir şekilde elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerinin koordinat eksenindeki yönleri belirlenmektedir.

Şekil 3.1’de belirtilen birim uzay noktası;

$$(i, j, k) = (i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z) \quad (3.15)$$

- *Uzaydaki bu durum için konum ve zaman bir fonksiyonu;*

$$u(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z) = u_{i,j,k}^n \quad (3.16)$$



Şekil 3.1. Yee gridinde EM alan bileşenleri (Yee, 1997).



Şekil 3.16'daki fonksiyon ifadesini uzay ve zaman türevleri için FDTD metotlarından ileri, geri ve merkezi farklar yöntemi kullanılarak zamandan ve konumdan ayrıştırılmış olmaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial x}(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta_z, n\Delta_t) = \frac{u_{i+\frac{1}{2},j,k}^n - u_{i-\frac{1}{2},j,k}^n}{\Delta x} + O[(\Delta x)^2] \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta_z, n\Delta_t) = \frac{u_{i,j,k}^{n+\frac{1}{2}} - u_{i,j,k}^{n-\frac{1}{2}}}{\Delta t} + O[(\Delta t)^2] \quad (3.18)$$

### 3.2.2 Sonlu Elemanlar Metodu (FEM)

Sayısal bir teknik olan FEM metodu sınır değer problemlerini çözümlmek için uygun bir metottur. FEM metodu ilk kez 1940' lı yıllarda Courant tarafından sunulmuştur (Courant, 1943). Mekaniksel yapı problemlerinde ve farklı alanlarda uygulanmakta olan metot ilerleyen yıllarda gelişmeye devam etmiştir.

FEM metodu karmaşık denklemlerin ya da zaman domeninde hassas kısmi farklar denklemlerinin fiziksel ifadelerini matematiksel olarak ifade etmeyi sağlamaktadır. Matris denklemlerine dayandığından gerekli algoritma yöntemleriyle kolay analiz sağlayıp hızlı bir şekilde sonuca ulaşmayı sağlar (Greengard ve Rokhlin, 1987; Manzanares-Martinez ve Gaspar-Armenta, 2007). FEM tekniği dielektirik yapılarının oluşturulması için de uygun bir yöntemdir. FDTD ve FEM yöntemlerinin hesaplama hassasiyetleri oldukça yüksektir. Bu özelliklerinden ötürü gerçek değerlere yakın sonuçlar üretirler.

### 3.2.3 Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT)

İlk kez 1977 yılında Weiland tarafından çalışılmış bir tekniktir (Weiland, 1977). İlerleyen yıllarda farklı elektromanyetik dalga problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Bir iterasyon tekniği olan sonlu integrasyon tekniği (FIT) Maxwell'in integral halindeki karmaşık denklemlerini doğrusal forma dönüştürerek daha kolay analiz etmeyi sağlamaktadır. Bu formülleştirme işlemi bilgisayar ortamında oluşturulmuş karmaşık yapıların

elektromanyetik alanlarının daha kolay çözümlenmesini sağlamaktadır (Clemens ve Weiland, 2001).

Homojen ortamlar için kullanılan FIT ve FDTD metotları benzerlikler gösteren iki metottur. Ancak FIT'nin farklılığı transfer biçimlerinde Maxwell denklemlerini lineer sistem denklem formuna dönüştürmektedir. Ara yüzler ve farklı ortamlar arasındaki ilişkiyi daha hassas bir şekilde ele alan bir tekniktir. Geometrik model olarak esnektir. Kavisli sınırlarda ve karmaşık şekillerde daha doğru sonuç vermektedir (Clemens ve Weiland, 2001; Rahimi, 2011).

### **3.3. CST Yazılımı**

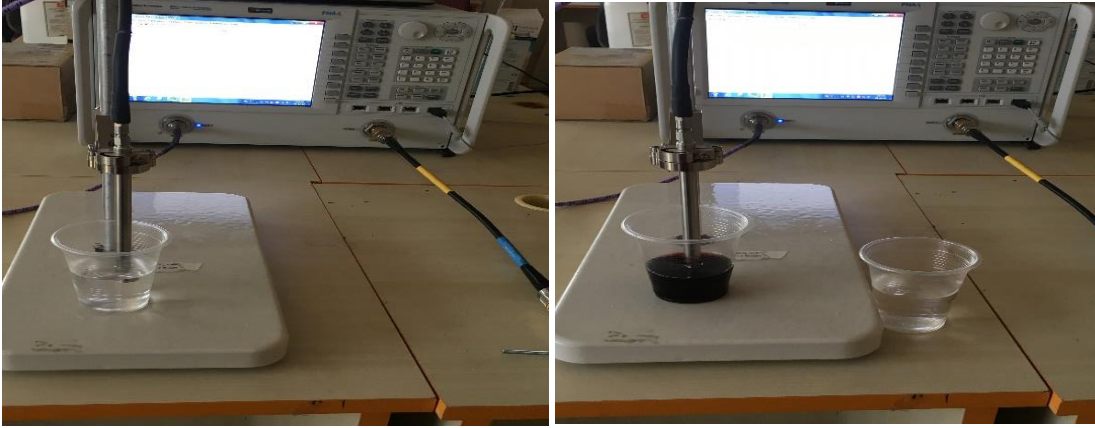
Bu tez çalışmasında anten gibi birçok EM problemlerinin tasarımını yapan ve analizler ile gerekli parametrelerin sonuçlarını sunan CST yazılımı kullanılmıştır. CST yazılımı FDTD ve FIT yöntemlerini kullanan bir yazılımdır. Birçok antenin olduğu gibi mikroşerit antenlerinde tasarımları ve yapılarının analizleri için CST Mikrodalga Stüdyosu (CST MWS) ve CST EM çalışma ortamları kullanılmaktadır. CST EM çalışma ortamı düşük frekans ile analizi yapılması gereken tasarımların kullanımı için uygundur. CST MWS ise düşük dalga boyu ve yüksek frekans gerektiren tasarımların çalışıldığı bir ortamdır. Telekomünikasyon alanlarda anten yapılarının tasarımları da analizleri de karmaşıktır. Birçok anten tasarımına elverişli olan CST MWS çalışma ortamı bu analizlerin daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında EM özellikteki parametre çözümlenmeleri simülasyonu sağlayan esnek kullanım kolaylığından ötürü CST programı kullanılmıştır.

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında PCB anten tabanlı çok amaçlı sıvı sensörleri tasarımı konusu ele alınmıştır. Tasarlanan Printed Circuit Board (PCB) tabanlı dikdörtgen yama anten ve monopol anten yapılı sensörlerin temel hedefi farklı yapılar içerisindeki alkol oranını tespit etmektir. Her iki sensörde de dezenfektan-izopropil ve şarap-etanol numuneleri üzerinde çalışılmış ve izopropil alkol ve etanol alkol oranlarını tespit eden algılayıcılar oluşturulmuştur. Bu tespit içerisindeki alkol oranına göre numunelerin farklı dielektrik ve kayıp tanjant değerlerindeki değişimlere göre yapılmaktadır. Çalışmada ilk olarak numunelerin X bandı aralığında dielektrik değerleri ve kayıp tanjant değerleri her oran için ayrıca ölçülür. Ölçüm sonuçlarındaki değerler baz alınarak PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sensör ve monopol sensör yapısı ile birlikte çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde her oransal değişimde farklı rezonans frekans değerleri olduğu görülmüştür. Özgün olarak tasarlanmış olan PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sensör ve monopol sensör yapısı elimizdeki numunelerle hazırlanmış olduğumuz homojen numuneler içerisindeki farklı oranlardaki alkol miktarını tespit edebilmektedir. Çalışmalarımızı yaptığımız numuneler şarap içerisindeki etanol alkol miktarının oransal değişimi ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol miktarının oransal değişimi olmak üzere 2 farklı numune grupları için yapılmıştır.

### 4.1 Numuneler İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi

Oransal değişiklikler gösterecek şekilde hazırladığımız numunelerin kayıp tanjant değerleri ve dielektrik sabitleri ve KEYSIGHT markalı PNA-L N5234A Network Analyzer ve dielektrik prob cihazı aracılığı ile ölçüldü. Hazırlanmış olduğumuz numune örnekleri içerisindeki şarap içerisindeki etanol oranını ve dezenfektan içerisindeki izopropil oranını bulmaya yönelik hazırlanmış numunelerin hepsinin oransal olarak dielektrik sabitleri ve her oranın kayıp tanjant değerleri frekans değişimine bağlı olarak ölçülür. Cihaz test edilen numunelerdeki oranlar için dielektrik sabiti ve kayıp tanjant olarak bilinen bağlı geçirgenlik değerinin gerçek ve sanal kısımlarını da tespit eder. Dielektrik sabiti, bir dış elektrik alanına göre materyal de depolanan enerji olarak ifade edilebilir. Dielektrik sabitinin sanal bölümü enerji kaybı sebebi ile elektrik alanların malzemenin dış kısmında meydana gelmektedir. Sistemin önemli bir parametresi olan kayıp tanjant değeri dielektrik sabitinin gerçek ve sanal kısmın oranlanması ile bulunur.



Şekil 4.1. Dielektrik Ölçüm Kurulumu ve Numuneler

Şekil 4.1’de analizör kullanılarak numunelerin farklı oranlardaki dielektrik ölçüm düzeneği gösterilmiştir. Ölçüm yapılmadan önce analizör kalibre edilir. Ölçüm yapılmak istenen frekans aralığı analizöre tanımlanır. Kullandığımız uygun frekans aralığı 1-5 GHz olarak analizöre tanımlanmıştır. İlk olarak kalibrasyonda kullanacağımız yaklaşık 22 C deki oda sıcaklığındaki suyun değeri analizöre girilir. Daha sonra dielektrik prob boşa iken hava ölçülür. Bir sonraki aşama olarak prob suya daldırılır ve suyun kalibrasyonu da yapılmış olur. Su kalibrasyonu yapıldıktan sonra ise son olarak kalibrasyon aparatı takılır ve kalibrasyon tamamlanır. Cihazın doğru kalibrasyonu sağlaması amacıyla suyun dielektrik sabitini bildiğimiz için düzenekte suyu kullanarak prob yardımı ile suyun ölçümü yapılır. Dielektrik sabitinin 80 olduğunu bildiğimiz suyun değerini cihaz tarafından da 80 olarak ölçtüğümüzde kalibrasyonumuzun doğru yapıldığından emin olunur. Ön hazırlıkların tamamlanmasından sonra bir sonraki aşamaya geçilerek farklı oranlarda homojen numuneler hazırlanarak, numune ölçümlerine başlanır. Şarap içerisindeki etanol alkol miktarı ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol miktarlarının ölçüm sonuçlarına göre verileri çizelgelerde gösterilmiş ve dielektrik grafikleri de sunulmuştur.

#### 4.1.1. Şarap-Etanol İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi

Çizelge 4.1’de Network analizör cihazına bağlı dielektrik prob ile ölçülen şarap-etanol numuneleri içerisindeki belirtilen oranlarda etanol miktarı değişimi % ‘lik oranlarına bağlı olarak dielektrik sabitlerinin optimum çalışma frekansındaki değerleri görülmektedir. Ölçüm sonucu alınmış olan dielektrik sabiti değerleri oda sıcaklığında ölçülmüştür.

Çizelgelerde gerçel kısmı ( $\epsilon'$ ), sanal kısmı ( $\epsilon''$ ) ve birbirlerine oranlanması ile bulunan kayıp tanjant ( $\tan\delta=\epsilon''/\epsilon'$ ) olmak üzere 3 değer içeriği görülmektedir. Çizelge 4.1 tasarlanmış olduğumuz yama anten tabanlı sensörün en fazla enerji iletimi sağladığı 4,656 GHz frekansındaki veriler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Sensör 4,656 GHz frekansında rezonansa girmektedir. Çizelge 4.2’de ise 1-5 GHz olarak belirlediğimiz çalışma frekansı aralığında dielektrik sabitinin frekanslara göre değişim verileri yer almaktadır.

4,656 GHz frekansında etanol içeriğine bağlı olarak laboratuvar ölçüm sonuçlarına göre dielektrik ve kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) değerleri Çizelge 4.1’ de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Şarap-etanol için dielektrik ve kayıp tanjant değerleri

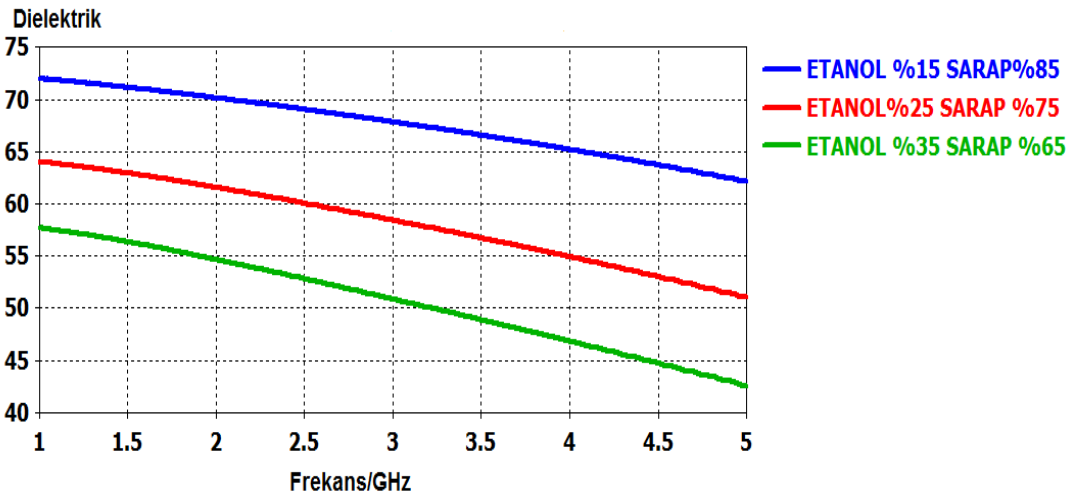
Şarap+Etanol İçeriği (%)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
15	63,18	23,84	0,377
25	52,33	24,96	0,476
35	43,97	24,63	0,560

Çizelge 4.1 incelendiğinde, şarap içerisinde oransal olarak artış gösteren etanol içerikli numunelerin aynı frekans aralıklarında farklı dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerlerine sahip olduğu görülür. Örneğin, optimum %15 etanol ve %25 etanol içerikli numunelerin dielektrik sabitleri 4,656 GHz frekansında gerçel değerleri sırasıyla 63,18 ve 52,33 değerlerini göstermektedir. Numune içeriğindeki etanol miktarı arttıkça gerçel değerde ( $\epsilon'$ ) doğrusal bir azalma, iletim boyunca kaybolan elektromanyetik dalga enerjisinin ifadesi olan kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) değerinin ise şarap içerisindeki etanol oranı arttıkça doğrusal bir artış gösterdiği görülmektedir.

Buna ek olarak 1-5 GHz çalışma frekans aralığındaki değerlere göre hazırlanan Çizelge 4.2 incelendiğinde uygulanan frekans değerinde artma olunca dielektrik sabiti değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Şekil 4.2’de şarap içerisinde belirtilen oranlarda etanol içeren numunelerinin 1-5 GHz frekans aralığındaki dielektrik eğrileri de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2 Şarap-etanol için 1-5 GHz'deki dielektrik katsayısı değerleri

Frekans (GHz)	Reel Dielektrik Katsayıları ( $\epsilon'$ )		
	%15	%25	%35
1	71,98	64,04	57,72
2	70,12	61,53	54,62
3	67,82	58,40	50,85
4	65,18	54,89	46,80
5	62,12	51,01	42,54



Şekil 4.2. Şarap-etanol için 1-5 GHz aralığındaki dielektrik değerleri

#### 4.1.2. Dezenfektan-İzopropil İçin Elektromanyetik Özelliklerinin Elde Edilmesi

Çizelge 4.3'te Network analizör cihazına bağlı dielektrik prob ile ölçülen dezenfektan-izopropil numuneleri içerisindeki belirtilen oranlarda izopropil alkol miktarı değişimi %'lik oranlarına bağlı olarak dielektrik sabitlerinin optimum çalışma frekansındaki değerleri görülmektedir. Ölçüm sonucu alınmış olan dielektrik sabiti değerleri oda sıcaklığında ölçülmüştür. Çizelgelerde gerçel kısım ( $\epsilon'$ ), sanal kısım ( $\epsilon''$ ) ve birbirlerine oranlanması ile bulunan kayıp tanjant ( $\tan\delta=\epsilon''/\epsilon'$ ) olmak üzere 3 değer içeriği görülmektedir. Çizelge 4.3'te tasarlanmış olduğumuz yama anten tabanlı sensörün en fazla enerji iletimi sağladığı 4,656 GHz frekansındaki veriler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Sensör 4,656 GHz

frekansında rezonansa girmektedir. Çizelge 4.3'te ise 1-5 GHz olarak belirlediğimiz çalışma frekansı aralığında dielektrik sabitinin frekanslara göre değişim verileri yer almaktadır.

4,656 GHz frekansında izopropil içeriğine bağlı olarak laboratuvar simülasyon çalışması sonuçlarına göre dielektrik ve kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) değerleri Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Dezenfektan-izopropil için dielektrik ve kayıp tanjant değerleri

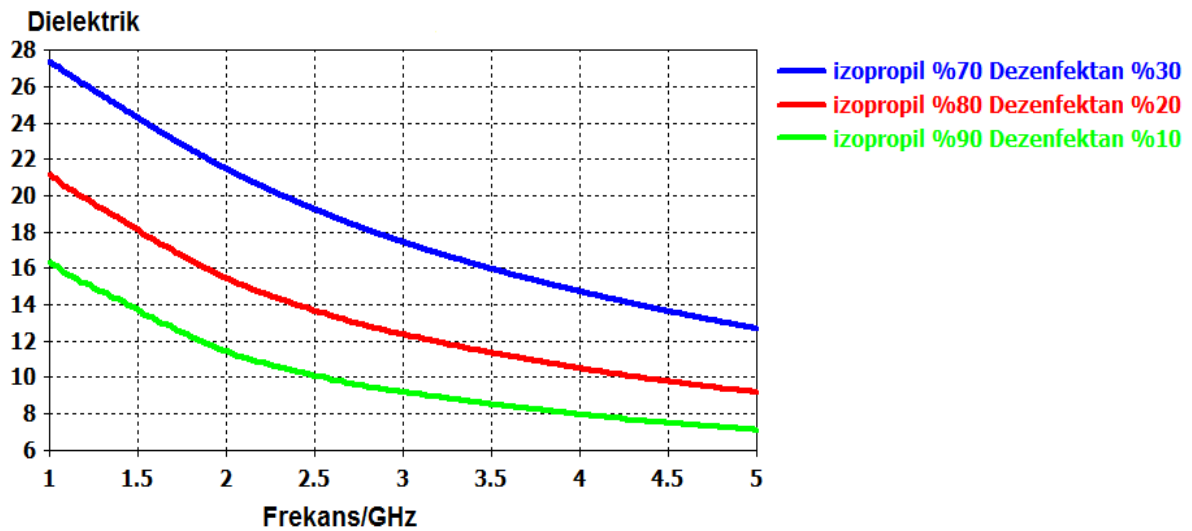
Dezenfektan+ İzopropil İçeriği (%)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
70	13,33	11,57	0,867
80	9,59	8,35	0,870
90	7,37	6,09	0,826

Çizelge 4.3 incelendiğinde, dezenfektan içerisinde oransal olarak artış gösteren izopropil içerikli numunelerin aynı frekans aralıklarında farklı dielektrik sabiti ve kayıp tanjant değerlerine sahip olduğu görülür. Örneğin, %70 izopropil ve %80 izopropil içerikli numunelerin dielektrik sabitlerinin optimum çalışma frekansı olan 4,656 GHz'deki gerçel değerleri ( $\epsilon'$ ) sırasıyla 13,33 ve 9,59 değerlerini göstermektedir. Numune içeriğindeki izopropil miktarı arttıkça gerçel değerde ( $\epsilon'$ ) doğrusal bir azalma, iletim boyunca kaybolan elektromanyetik dalga enerjisinin ifadesi olan kayıp tanjant ( $\tan\delta$ ) değeri ise numune içerisindeki izopropil oranı arttıkça kaymalar göstermektedir.

Buna ek olarak 1-5 GHz çalışma frekans aralığındaki değerlere göre hazırlanan Çizelge 4.4 incelendiğinde uygulanan frekans değerinde artma olunca dielektrik sabiti değerlerinde azalma olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'te dezenfektan içerisinde belirtilen oranlarda izopropil içeren numunelerinin 1-5 GHz frekans aralığındaki dielektrik eğrileri de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Dezenfektan-izopropil için 1-5 GHz'deki dielektrik katsayısı değerleri

Frekans (GHz)	Reel Dielektrik Katsayıları ( $\epsilon$ )		
	%70	%80	%90
1	27,38	21,16	16,37
2	21,48	15,48	11,42
3	17,45	12,37	9,20
4	14,73	10,50	7,95
5	12,68	9,16	7,09



Şekil 4.3. Dezenfektan-izopropil için 1-5 GHz aralığındaki dielektrik değerleri.

#### 4.2. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sensör ve Monopol Anten Yapılı Sensör Tasarımı

Bu tez çalışmasında kullanılan PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör yapısının tasarımı ve monopol anten yapılı sıvı sensör tasarımı CST simülasyon programında gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör ve monopol anten yapılı sıvı sensör yapılarının tasarımı FIT tabanlı olan simülasyon programında gerçekleştirilmiştir. Bu teknik yüksek frekanslarda üç boyutlu elektromanyetik çözüm yapmaktadır. Weiland tarafından 1977 yılında geliştirilen FIT yani sonlu integrasyon tekniği integral formundaki denklemleri bilgisayarlarda



kullanılabilmek için formülize edilmesini sağlar. Karmaşık yapılı elektromanyetik alan problemlerini simüle etmeyi sağlar. FIT tabanlı teknik karmaşık denklemleri doğrusal bir denklem sistemine dönüştürmektedir. Geometrik esneklik sağlayan FIT tekniği farklı ortamlar arasındaki ara yüzleri modellememizi sağlar.

Oluşturmuş olduğumuz PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör ve monopol anten yapıları sıvı sensörlerin yapısı FR4 cinsi malzeme ile tasarlanmıştır. Seçmiş olduğumuz FR4 cinsi malzeme kalınlığı 1,6 mm, dielektrik geçirgenliği 4,2, manyetik geçirgenliği 1 ve kayıp tanjant değeri ise 0,02 özelliğindedir. X banda uygun olarak tasarlanmış olan rezonatörün ön yüzeyi bakır cinsi metal yapıdan meydana gelmektedir. Bu yapı 0,035 mm kalınlığında ve  $5,8001 \cdot 10^7$  S/m elektriksel iletkenliğe sahiptir. Sensörlerin imalatı LPKF protomat cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Belirtilen özelliklerde oluşturmuş olduğumuz sensör aracılığı ile elde ettiğimiz sonuçlar teker teker incelenmiştir.

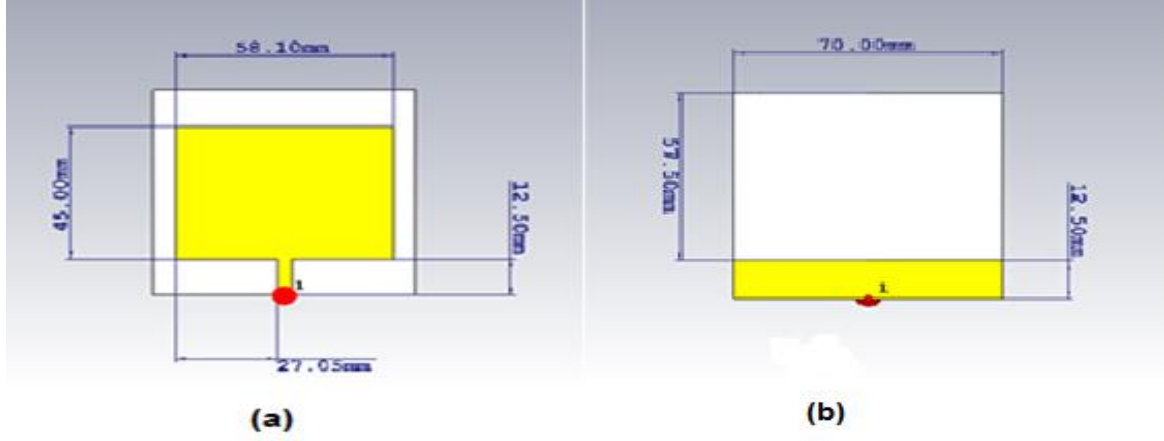
### **4.3. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sıvı Sensör Yapısı**

Oluşturulan PCB dikdörtgen yama anten tabanlı çok amaçlı sıvı sensör rezonatör kısmının geometri boyutları sayısal ve parametrik çalışma sonuçlarına göre belirlenir. Parametrik çalışma CST simülasyon yazılımı tarafından, oluşan sensör rezonatörünün optimum yapı değerlerini elde etmek için yapılmaktadır.

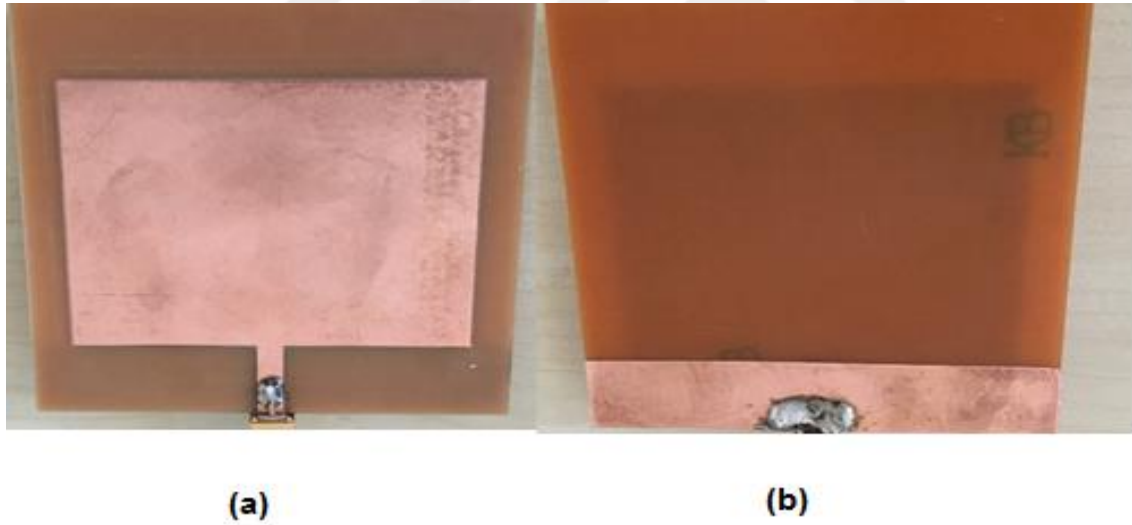
Sensör yapısının tasarımı için geri dönüşüm kaybı olarak nitelendirdiğimiz S11 parametresinin istenilen frekansta rezonansa girmesi sağlanmıştır. Bu değer  $f=4,656$  GHz'dir. Bu frekansta iyi bir uzak alan yayılımı gösterebilecek dikdörtgen bir yapı tercih edilmiş ve geometrik parametre değerleri buna uygun olarak belirlenmiştir. Antenin ön ve arka yüzeyinin yapısı Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te sunulmuştur. Anten analizi yapılırken anten yapısında ayrık port tanımlanmıştır. SMA konektörlere uygun bir bağlantı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının düşük boyutlu ve az maliyetli olacak şekilde tasarlanmış olması yapının kullanımını pratikleştirmektedir.

Şekil 4.4'te de gözlendiği gibi antenin yayılım yapan yama kısmı dikdörtgen şeklinde ve optimizasyon sonucu boyutları 45,00 mm ve 58,10 mm olarak belirlenmiştir. Beslenme için kullanılan mikroşerit hat ise 4mm kalınlıkta olmak üzere 58,10 mm enleminin orta

noktasındadır. Arka yüzey resminde de görüldüğü gibi numunenin yerleştirilebilmesi için antenin arka tarafında 57,5 mm uzunluğunda boşluk açılmıştır.

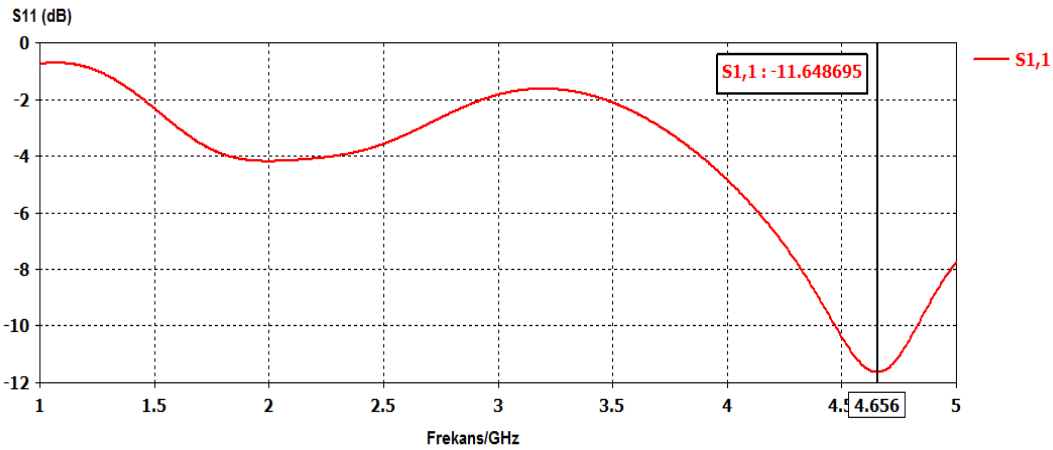


Şekil 4.4. PCB dikdörtgen yama antenin detaylı ön (a) ve arka (b) görünümü



Şekil 4.5. PCB dikdörtgen yama antenin üretimine ait genel ve arkadan görünümü

Tasarlanan algılayıcı çalışmasının analizi için CST simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon programı içerisinde bir ayrık port tanımlanmıştır. Antenimizi optimize ederek almış olduğumuz sonuçlarda geri dönüşüm kaybı olarak tanımladığımız S11 parametresinin grafiği Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

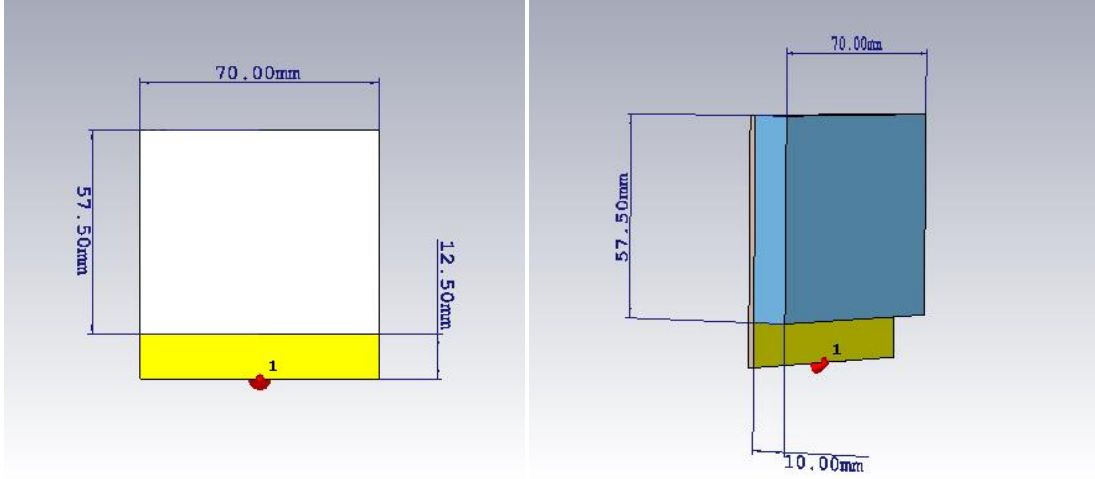


Şekil 4.6. PCB dikdörtgen yama antenin geri dönüşüm kaybı grafiği (S11)

Görüldüğü gibi tasarlanan yama anten 4,656 GHz frekansında rezonansa girmektedir. En fazla enerji iletimi bu frekansta gerçekleşmiştir. S11 değerinin anten endüstrisindeki kullanım alanına göre -15 dB veya -10 dB değerinin altında bir değer olması istenilmektedir. Şekilde 4.6’da da görüldüğü gibi S11 değeri yaklaşık olarak -12 dB değerindedir. Bu değer antenimizin istenilen noktada iyi bir yayılım yaptığını göstermektedir. Antenin bant genişliğini hesaplamak için -10 dB seviyesini referans aldığımızda, antenin bant genişliği yaklaşık 355 MHz civarında oluşmuştur.

#### 4.4. PCB Dikdörtgen Yama Anten Tabanlı Sıvı Sensör Numune Hazne Yapısı

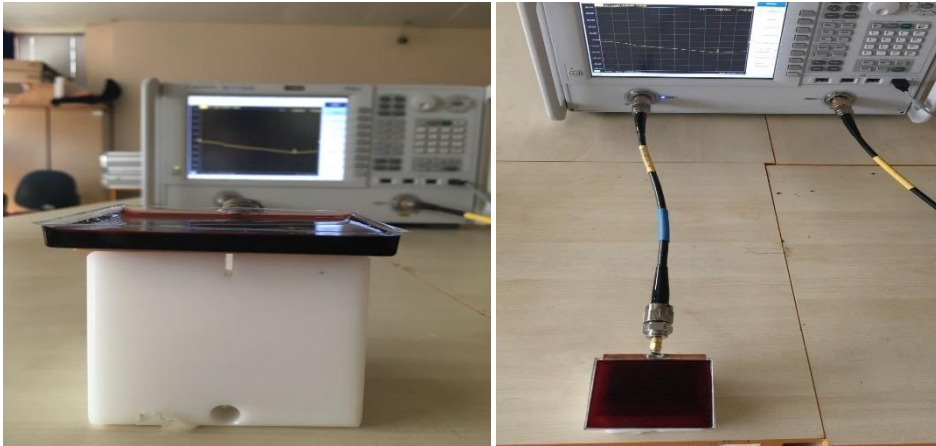
Oluşturulan PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör rezonatör kısmının geometri boyutları sayısal ve parametrik çalışma sonuçlarına göre belirlenmiştir. Parametrik çalışma CST simülasyon yazılımı tarafından yapıldıktan sonra uygun boyutlarda numune haznesi yerleştirilmiştir. Şekil 4.7’de antenin arka kısmında açılmış olan kısma 57,5 mm, 70 mm boyutlarında ve 10 mm yükseklikte bir hazne yerleştirilmiştir. Tasarlanan antenin arka kısmında açılan boşluk üzerine ideal boyutlarda oluşturmuş olduğumuz hazne tanımlanmış ve şarap içerisindeki etanol alkol ve dezenfektan içerisindeki izopropil alkol oranları simülasyon çalışmaları ve ölçüm için sensör hazır duruma gelmiştir.



Şekil 4.7. PCB dikdörtgen yama antenin numune haznesi görünümü

#### 4.5. PCB Dikdörtgen Yama Anten ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar

Elde edilen dielektrik katsayı değerleri ve kayıp tanjant değerleri kullanılarak simülasyonda numune hazne yapısı da tanımlanmıştır. Tasarlanan dikdörtgen yama antenin arka kısmında açılan oyuk üzerine ise belirli boyutlarda tanımlanmış olduğumuz hazne ile sonrasında karışımlar Şekil 4.8’de gösterildiği gibi test edilmiştir. Oransal değişimler gösterecek şekilde hazırlanmış numunelerin kayıp tanjant değerleri ve dielektrik sabitleri ve KEYSIGHT marka PNA-L N5234A Network Analyzer ve dielektrik prob cihazı aracılığı ile ölçülmüştür.



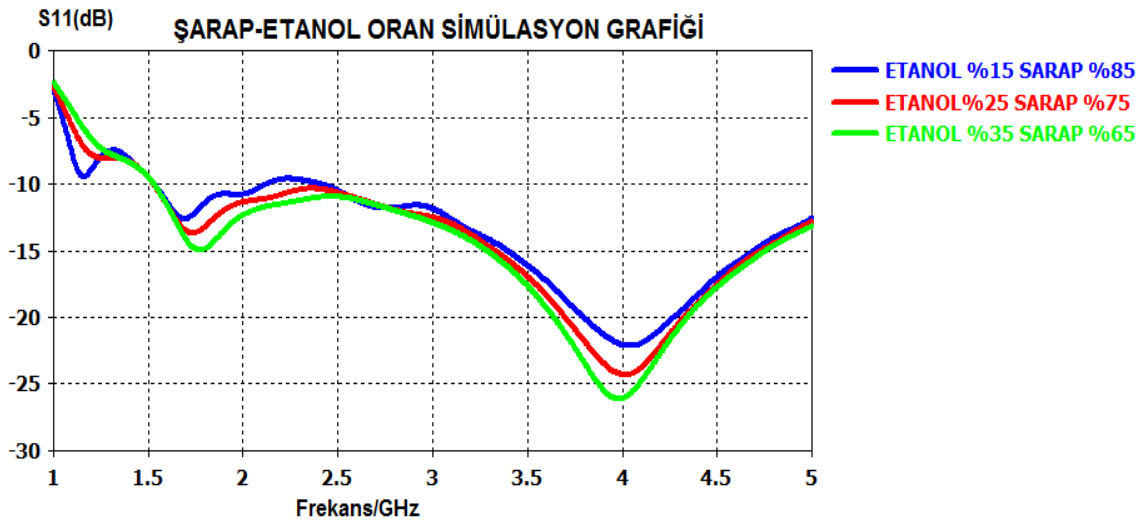
Şekil 4.8. PCB dikdörtgen yama anten simülasyonları

Şarap içerisindeki etanol alkol ve dezenektan içerisindeki izopropil alkol içeren karışımları yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaların

çizelgesi ve S11 grafiği verilmiştir. Karışımların çizelgelerde yansıtılan değerlerinin grafikleri de verilmiştir. Çizelgedeki değerleri elde etmiş olduğumuz S11 grafikleri ve rezonans frekansı, dielektrik katsayısı konsantrasyon dağılımı grafiği de aşağıda alt başlıklar içeriğinde yer almaktadır.

#### 4.5.1. PCB Dikdörtgen Yama Anten Şarap-Etanol Simülasyonu

Şarap içerisindeki etanol miktarı %10 oranlarda artırılarak oluşturulmuş %15, %25, %35 etanol alkol içerikli numunelerin ölçümleri karışımların yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaları çizelge 4.5'te gösterilmiştir. %15 etanol içerikli şarap ile ölçüme başlanmış numunelere etanol alkol eklemesi yapılarak etanol oranı arttırılmıştır. Karışımların çizelgelerde yansıtılan değerlerinin grafikleri ve çizelgedeki değerleri elde etmiş olduğumuz S11 grafiği de Şekil 4.9'da görülmektedir.



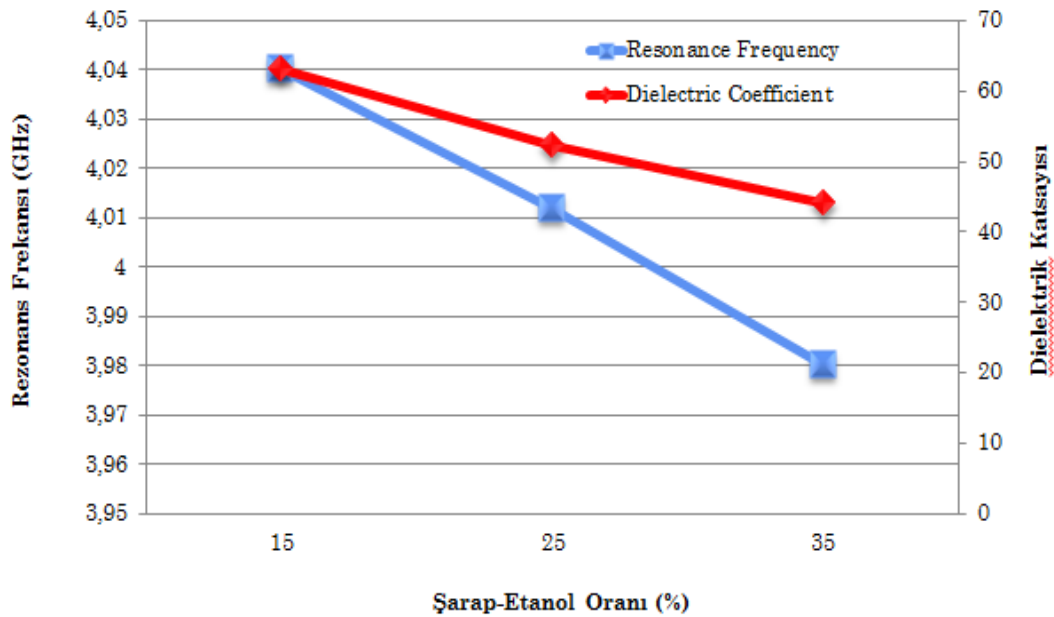
Şekil 4.9. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol simülasyon grafiği

Çizelge 4.5'teki değerler incelendiğinde değişimlerin belirgin bir doğrusallık gösterdiği görülmektedir. Bu doğrusallık sonucunda toplamda 60 MHz'lik bir algılama bandı genişliği değerine ulaşılmaktadır. 60 MHz değeri bize algılama bandı genişliği üzerindeki ara değerler kolaylıkla ve hassas bir şekilde tahmin edebilme olanağını sağlamaktadır. Şarap yapımında kontrol parametresi olarak %14-15 etanol alkol içermesi baz alınarak hazırlanmış düzeneğimizde %15'lik bir içerikle ölçüme başlanmıştır. %15'lik oran için

rezonans değeri 4,040 GHz değerini göstermektedir. İçerikteki etanol oranı arttıkça en derişik numunemiz olan %35 etanol içeriğinde ise rezonans değerinin 3,980 GHz'e kaydığı gözlenmektedir. Çizelge 4.5'teki değerlere baktığımızda hazırlamış olduğumuz içerikler içerisindeki etanol oranı arttıkça rezonans değerimiz belirgin bir kayma göstermektedir. Bu değerleri elde etmiş olduğumuz S11 grafiğinin değerleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Yama anten etanol miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik

Şarap+Etanol İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S11 Değeri (dB)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
15	4,040	-22,163	63,18	23,84	0,377
25	4,012	-24,317	52,33	24,96	0,476
35	3,980	-26,121	43,97	24,63	0,560



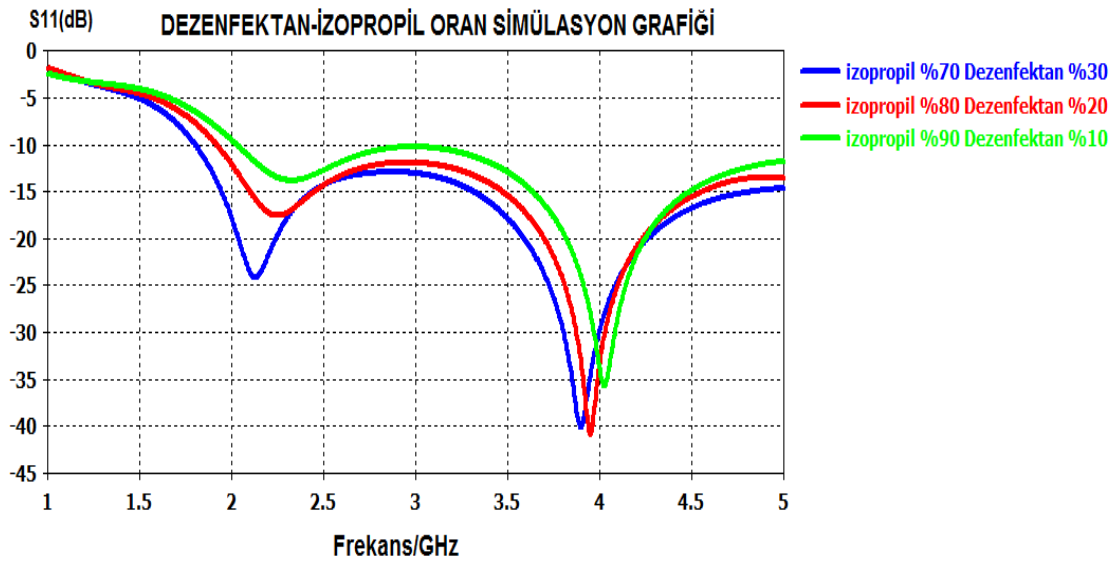
Şekil 4.10. Rezonans frekansı, dielektrik katsayısı, etanol konsantrasyon dağılımı

Şekil 4.10'a bakıldığında numunelerdeki etanol alkol oranındaki artışın sebep olduğu rezonans frekansı değişimleri dielektrik sabiti değerleriyle orantılı olduğu ve değişimin doğrusal yapı sergilediği grafikte görülmektedir. %10 oranındaki etanol artışı ile değişim gösteren yapıdaki basamaklar arasındaki aralık bize ara değerlerin tahmin edilebileceğini

göstermektedir. Şekil 4.10'daki eğrilerin göstermiş olduğu değişimler ölçülen bir karışımdaki katkı miktarını yani şarap içerisindeki etanol alkol miktarını gösterebilecektir. Frekans artışına göre değişim gösteren elektiriksel boyutu bu karışımları algılamaya yetecek kadar küçüktür. Bu da tasarlamış olduğumuz anten tabanlı algılayıcının şarap içerisindeki etanol oranını algılamaya uygun bir biyo-algılayıcı olduğunu göstermektedir.

#### 4.5.2. PCB Dikdörtgen Yama Anten Dezenfektan-İzopropil Simülasyonu

PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör şarap içerisindeki etanolu algılayabildiği gibi dezenfektan içerisindeki izopropil alkolü de algılayabilmektedir. Dezenfektan içerisindeki izopropil miktarı %10 oranlarda artırılarak oluşturulmuş numunelerin ölçümleri karışımların yüzdelereine bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaları çizelgeler halinde gösterilmiştir. İzopropil yoğunluğuna bağlı olarak göstermiş olduğu rezonans frekansındaki değişimler ve S11 parametre grafiği ve değerleri Şekil 4.11 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.



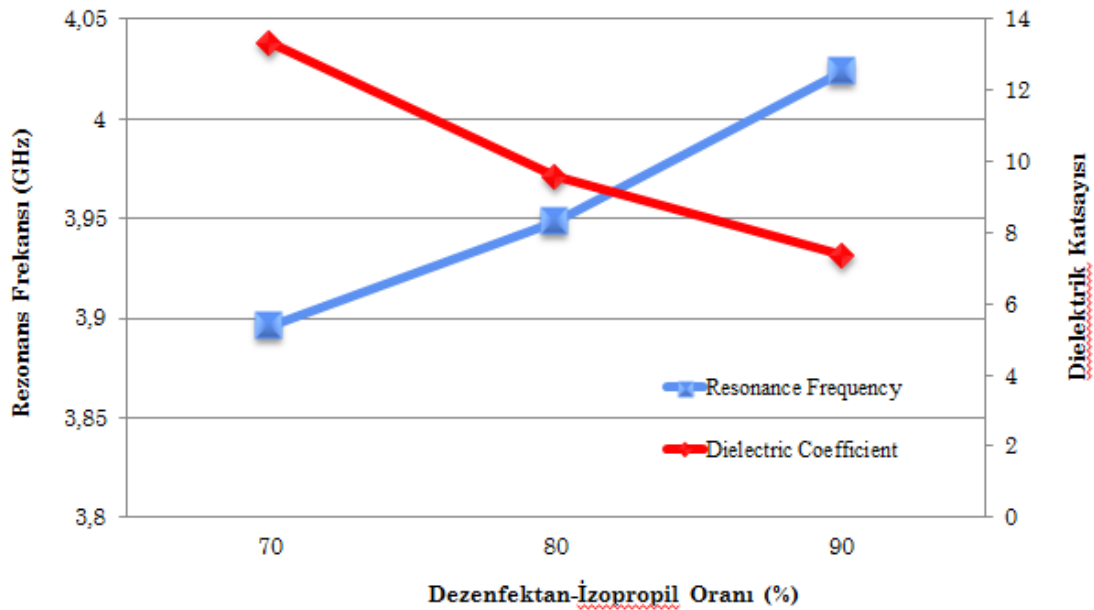
Şekil 4.11. PCB dikdörtgen yama anten dezenfektan-izopropil simülasyon grafiği

Ölçümlere %70 izopropil alkol içeren el dezenfektanı ile başlanmıştır. Çizelge 4.6'da belirtilen oranlarda izopropil oranının artışı sağlanmıştır. Çizelge 4.6'da gözlendiği gibi başlangıç değerimiz olan %70 izopropil içerikli numunede  $f=3,896$  GHz olan rezonans frekansı içerikteki izopropil miktarı arttıkça %90 izopropil alkol içeren numunede  $f=4,024$

GHz değerini göstermektedir. Bu değerlere göre 128 MHz'lik bir algılama bandı oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Yama anten izopropil miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik

Dezenfektan + İzopropil İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S11 Değeri (dB)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
70	3,896	-40,165	13,33	11,57	0,867
80	3,948	-40,882	9,59	8,35	0,870
90	4,024	-35,705	7,37	6,09	0,826



Şekil 4.12. Rezonans frekans, dielektrik katsayısı, izopropil konsantrasyon dağılımı.

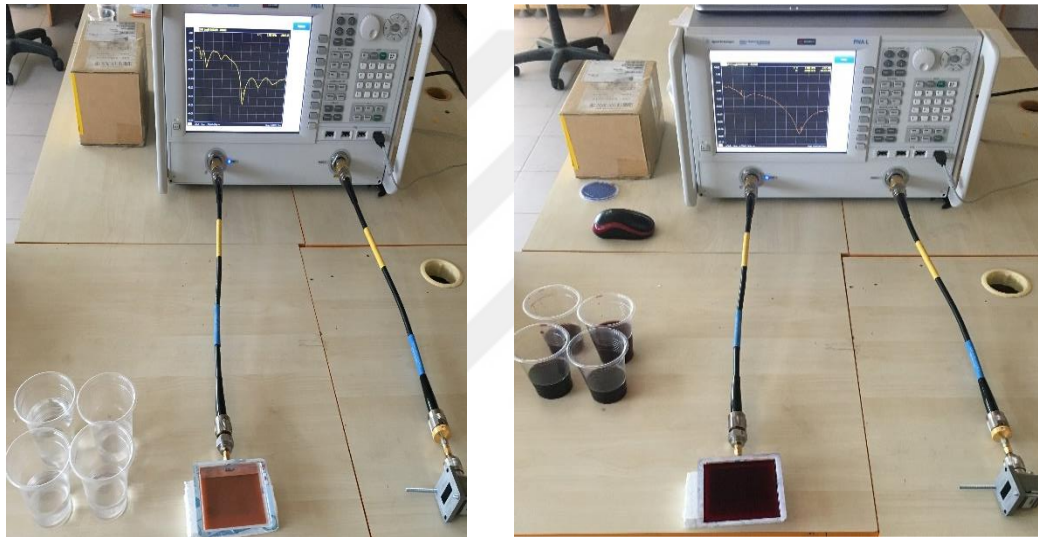
Numunelerdeki izopropil alkol oranındaki artışın sebep olduğu rezonans frekansı değişimleri dielektrik sabiti değerleriyle orantılı olduğu ve değişimin doğrusal yapı sergilediği grafikte görülmektedir. %10 oranındaki izopropil alkol artışı ile değişim gösteren yapıdaki basamaklar arasındaki aralık bize ara değerlerin tahmin edilebileceğini göstermektedir. Şekilde 4.12'deki eğrilerin göstermiş olduğu değişimler ölçülen bir karışımdaki katkı miktarını yani dezenfektan içerisindeki izopropil alkol miktarını gösterebilecektir. Frekans artışına göre değişim gösteren elektrikselsel boyutu bu karışımları



algılamaya yetecek kadar küçüktür. Bu da tasarlamış olduğumuz anten tabanlı algılayıcının dezenfektan içerisindeki izopropil alkol oranını algılamaya uygun bir biyo- algılayıcı olduğunu göstermektedir.

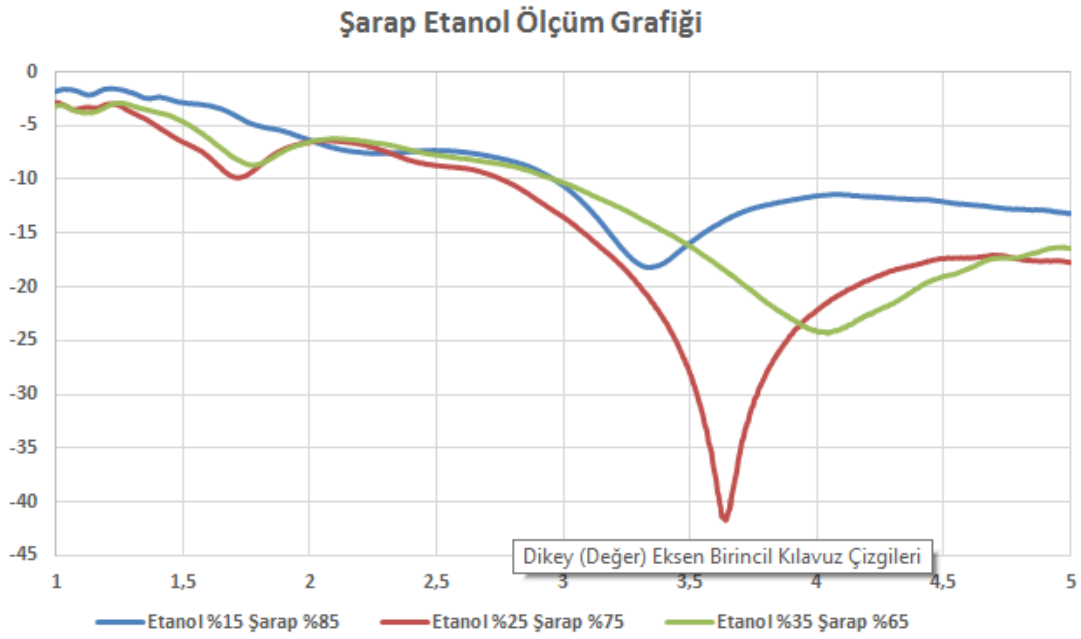
#### 4.6. PCB Dikdörtgen Yama Anten ile Gerçekleştirilen Ölçümler

%10'luk artış oranı olacak şekilde hazırladığımız şarap-etanol ve dezenfektan-izopropil numunelerin kayıp tanjant değerleri ve dielektrik sabitleri ve KEYSIGHT marka PNA-L N5234A Network Analyzer ve dielektrik prob cihazı aracılığı ile ölçülmüştür.

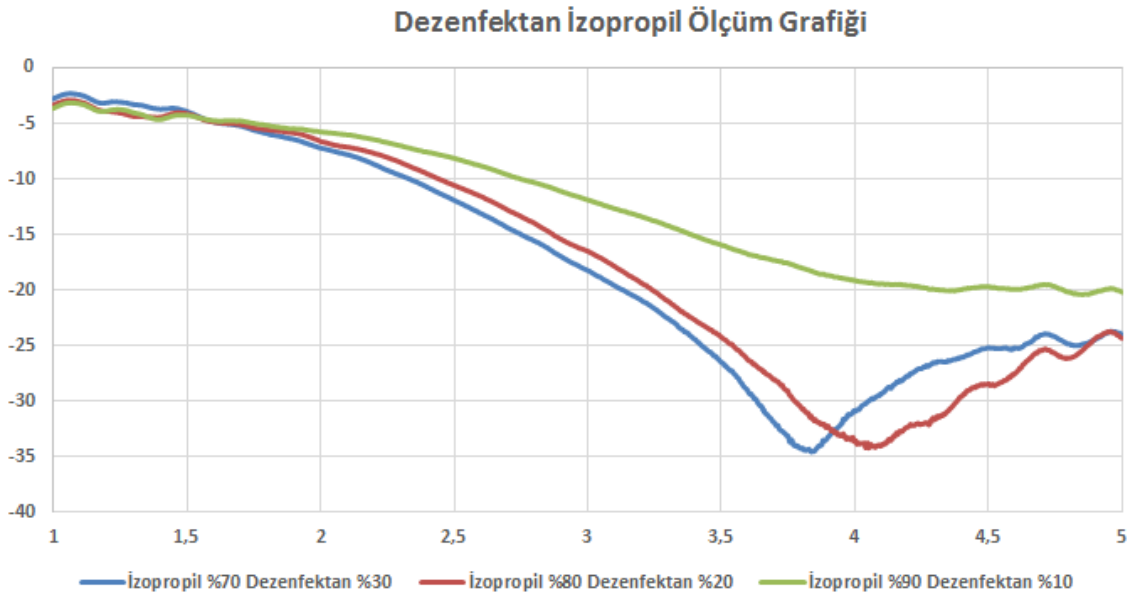


Şekil 4.13. PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensöre ait ölçümler

Ölçüm sonuçları verileri kullanılarak Office Microsoft Excel programı ile Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'teki grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen veriler kullanılarak oluşturulan bu grafik CST Simülasyon programı aracılığı ile almış olduğumuz simülasyon grafiklerindeki gibi benzer kaymalar göstermektedir.



Şekil 4.14. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol ölçüm grafiği



Şekil 4.15. PCB dikdörtgen yama anten şarap-etanol ölçüm grafiği

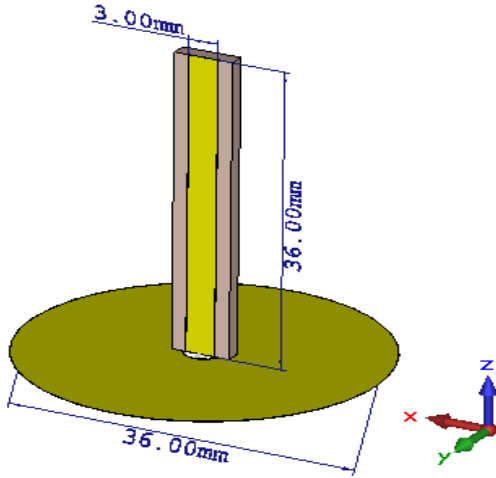
#### 4.7 PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör Yapısı

Oluşturulan PCB Monopol anten tabanlı sıvı sensör rezonatör kısmın geometrik boyutları sayısal ve parametrik çalışma sonuçlarına göre belirlenir. Parametrik çalışma CST

simülasyon yazılımı tarafından, oluşan sensör rezonatörünün optimum yapı değerlerini elde etmek için yapılmaktadır.

Sensör yapısının tasarımı için geri dönüşüm kaybı olarak nitelendirdiğimiz S11 parametresinin istenilen frekansta rezonansa girmesi sağlanmıştır. Bu değer  $f=2$  GHz'dir. Bu frekansta iyi bir uzak alan yayılımı gösterebilecek monopol bir yapı tercih edilmiş ve geometrik parametre değerleri buna uygun olarak belirlenmiştir. Anten analizi yapılırken anten yapısında ayırık port tanımlanmıştır. SMA konektörlere uygun bir bağlantı oluşturulmuştur. Oluşturulan yapının düşük boyutlu ve az maliyetli olacak şekilde tasarlanmış olması yapının kullanımını pratikleştirmektedir.

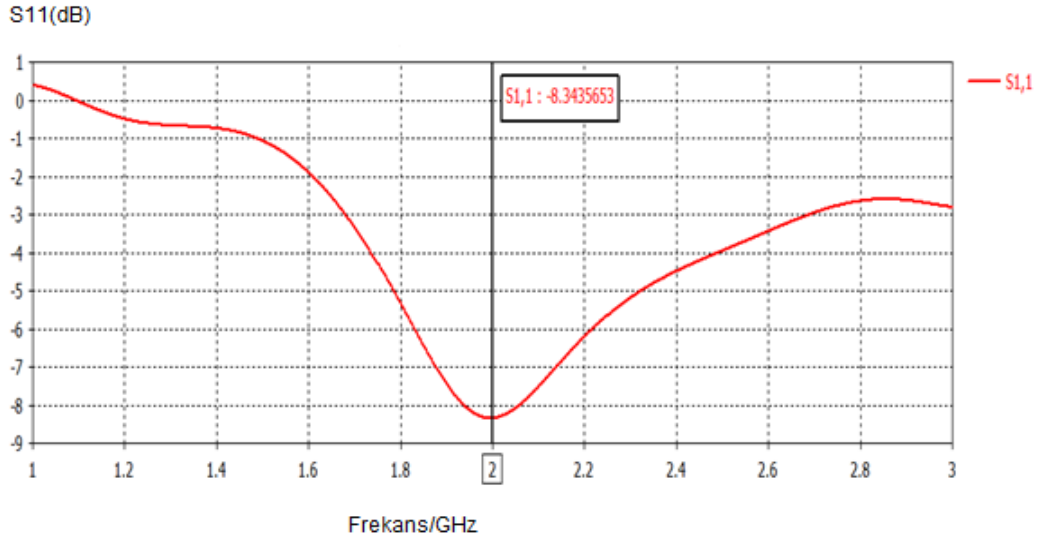
Tasarlanan antenin boyutlarının detaylı görünümü Şekil 4.16'te görülmektedir. Şekil 4.16'te görüldüğü üzere antenimizin boyu 36 mm mikroşerit hat kalınlığı ise 3 mm dir. Kullanılan bakır zeminin yarıçapı ise  $r=18$  mm olarak seçilmiştir.



Şekil 4.16. PCB monopol antenin detaylı görünümü

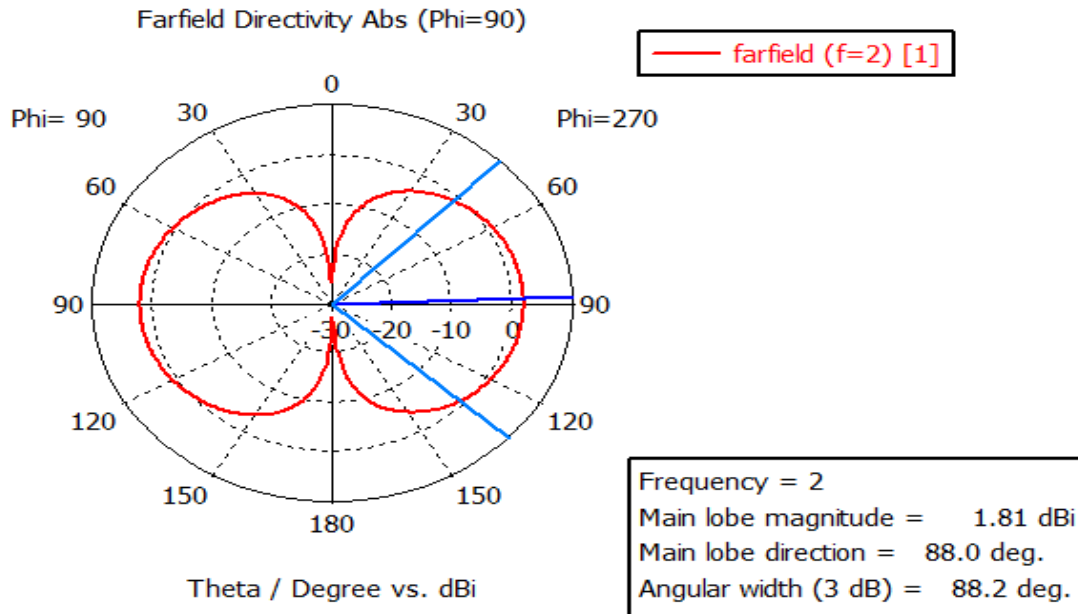
Antenimizin saçılım parametresinin en iyi olduğu değer  $f=2$  GHz olarak tasarlanmıştır. Antenimizi optimize ederek almış olduğumuz sonuçlarda geri dönüşüm kaybı olarak

tanımladığımız S11 parametresinin grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. PCB monopol antenin geri dönüşüm kaybı grafiği (S11)

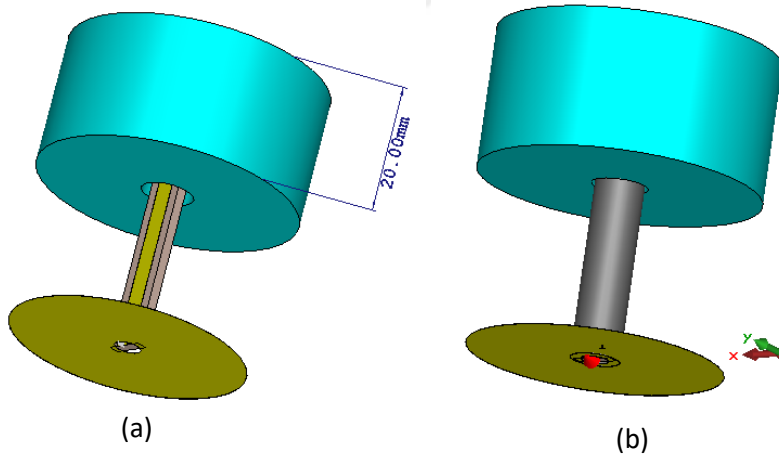
Görüldüğü gibi tasarlanan monopol anten  $f=2$  GHz frekansında rezonansa girmektedir. En fazla enerji iletimi bu frekansta gerçekleşmiştir. Buna ek olarak uzak alan kazancı Şekil 4.18'deki polar grafikten  $G=1,81$  dBi ve HPBW=88,2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.18. PCB monopol antenin yayılım deseni

#### 4.8. PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör Numune Hazne Yapısı

Oluşturulan PCB monopol anten tabanlı sıvı sensör rezonatör kısmının geometri boyutları sayısal ve parametrik çalışma sonuçlarına göre belirlenmiştir. Tasarlanmış olduğumuz monopol anten  $f=2$  GHz frekansında rezonansa girmektedir. Bu frekans aralığında saçılım parametresinin minimum olması enerji iletiminin en fazla olduğunu göstermektedir. Parametrik çalışma CST simülasyon yazılımı tarafından yapıldıktan sonra uygun boyutlarda numune içeriklerine daldırılacak kısmın son hali oluşturulmuştur. Antenin numune ile birlikte gösterimi Şekil 4.19(a)'da gösterilmiştir. Antenin uç kısmı numuneye daldırılarak ölçüm gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.19(b)'de görüldüğü gibi üst kısmın sıvı ile temas etmemesi için plastik bir katmanla kaplanmıştır. Anten yöneliminin daha iyi anlaşılabilmesi için ölçümün hem plastik kaplamalı hem de kaplamasız sürümleri Şekil 4.19(a),(b)'de gösterilmiştir. Şarap-etanol ve dezenfektan-izopropil karışımından oluşan numunelerin içine antenin 20 mm daldırıldığı göz önünde bulundurulmuş ve sonuçlar buna göre alınmıştır.



Şekil 4.19. PCB monopol antenin plastik kaplamasız (a) ve kaplamalı (b)

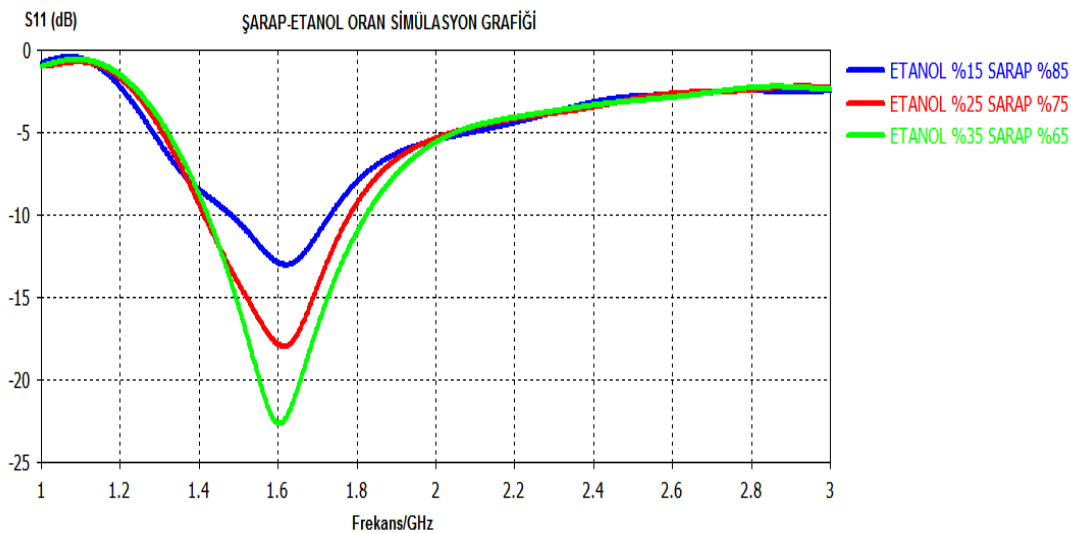
#### 4.9. PCB Monopol Anten Tabanlı Sıvı Sensör ile Gerçekleştirilen Simülasyonlar

Elde edilen dielektrik katsayı değerleri ve kayıp tanjant değerleri kullanılarak tasarlanan monopol antenin uç kısmı numuneye daldırılarak çalışmalar gerçekleştirilmek üzere simülasyonda yeni malzemeler tanımlanmıştır. Simülasyonlar bu yeni malzeme üzerinden yapılmıştır. Tasarlanan anten farklı oranlarda etanol içeren numunelerin içerisine 20 mm

daldırılarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Simülasyon çalışmaları esnasında antenin sıvı ile temasını engellemek için plastik bir kaplama ile kaplanmıştır. Oransal değişimler gösterecek şekilde hazırlanmış numunelerin kayıp tanjant değerleri ve dielektrik sabitleri ve KEYSIGHT marka PNA-L N5234A Network Analyzer ve dielektrik prob cihazı aracılığı ile bulunmuştur. Şarap içerisindeki etanol alkol ve dezenektan içerisindeki izopropil alkol içeren karışımları yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaların çizelgeleri ve S11 grafikleri verilmiştir. Çizelgedeki değerleri elde etmiş olduğumuz S11 grafikleri ve rezonans frekansı, dielektrik katsayısı konsantrasyon dağılımı grafiği de aşağıda alt başlıkların içerisinde yer almaktadır.

#### 4.9.1. PCB Monopol Anten Şarap-Etanol Simülasyonları

İçeriğinde %15 etanol içeren numune ile simülasyon çalışmalarına başlanmış ve %10'luk artışlar gösterecek şekilde numunelere etanol eklemesi yapılmıştır. Şarap içerisindeki etanol miktarı %10 oranlarda artırılarak oluşturulmuş numunelerin ölçümleri karışımların yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaları ve dielektrik değerleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir. Şarap- etanol numunelerindeki etanol yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansı kaymaları Şekil 4.20'de verilmiştir.

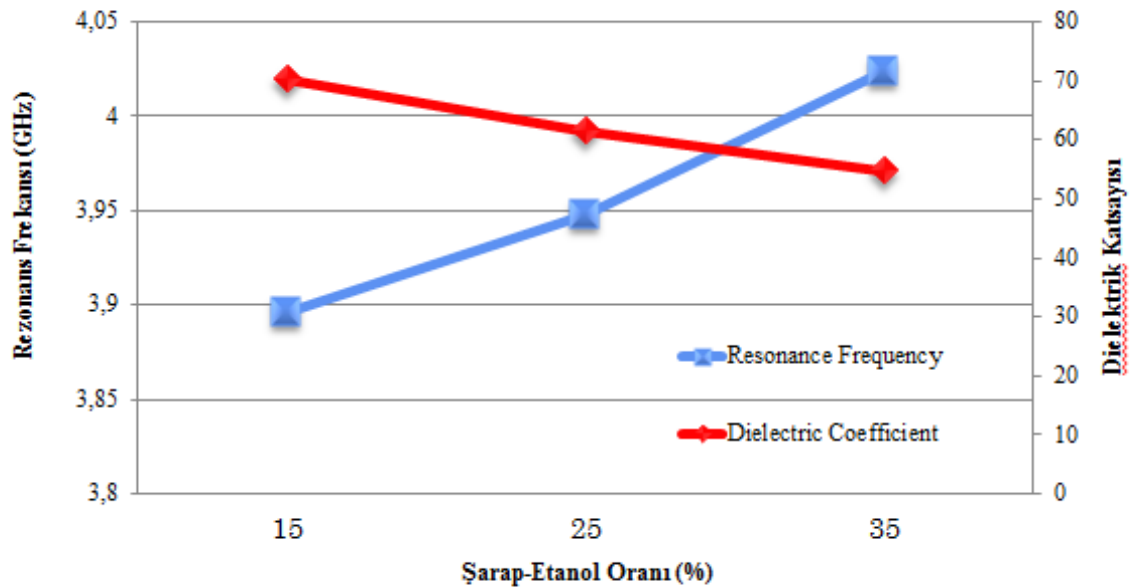


Şekil 4.20. PCB monopol anten şarap-etanol simülasyon grafiği

Çizelge 4.7’de numunelerin etanol alkol oranlarına göre değişim gösteren rezonans frekansındaki değişimler incelendiğinde bu değişimin belirgin bir doğrusallık gösterdiği görülmektedir. Bu doğrusallık sonucunda toplamda 16 MHz’lik bir algılama bandı genişliği değerine ulaşılmaktadır. 16 MHz değeri bize algılama bandı genişliği üzerindeki ara değerler kolaylıkla ve hassas bir şekilde tahmin edebilme olanağını sağlamaktadır. %15 oranda etanol içeren numune için rezonans değeri  $f=1,620$  GHz değerini göstermektedir. İçerikteki etanol oranı arttıkça en derişik numunemiz olan %35 etanol içeriğinde ise rezonans değerinin  $f=1,604$  GHz’e kaydığı gözlenmektedir. Buna ek olarak genlik değerleri de belirgin bir biçimde doğrusala yakın bir değişim göstermektedir.

Çizelge 4.7. Monopol anten etanol miktarına bağlı rezonans frekansı, S11 ve dielektrik

Şarap+Etanol İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S11 Değeri (dB)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
15	1,620	-13,025	70,12	13,36	0,190
25	1,614	-17,985	61,53	14,14	0,229
35	1,604	-22,661	54,62	14,62	0,267

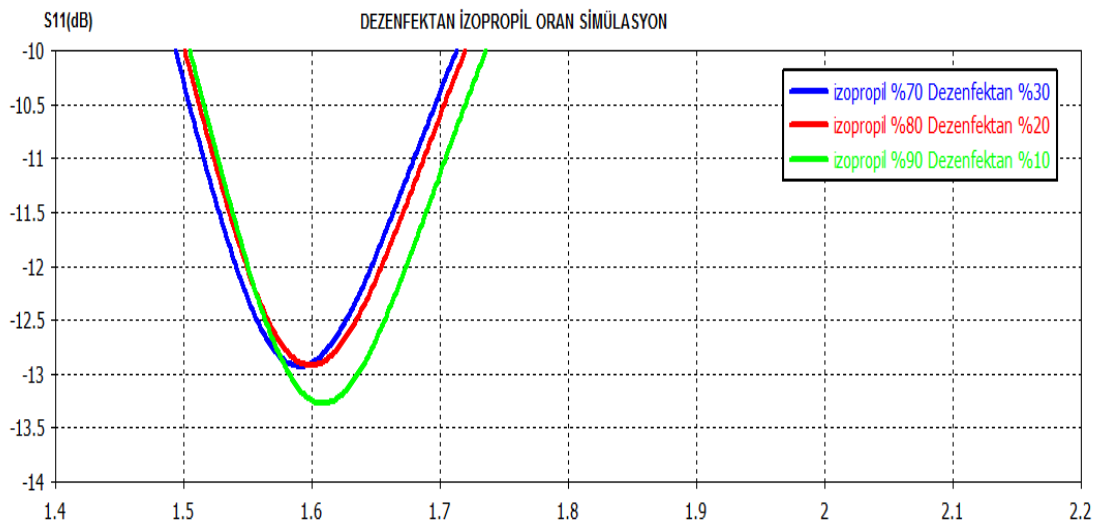


Şekil 4.21. Rezonans frekans, dielektrik katsayısı, etanol konsantrasyon dağılımı.

Numunelerdeki etanol alkol oranındaki artışın sebep olduğu rezonans frekansı değişimleri dielektrik sabiti değerleriyle orantılı olduğu ve değişimin doğrusal yapı sergilediği Şekil 4.21'deki konsantrasyon dağılım grafiğinde de görülmektedir. %10 oranındaki etanol artışı ile değişim gösteren yapıdaki basamaklar arasındaki aralık bize ara değerlerin tahmin edilebileceğini göstermektedir. Frekans artışına göre değişim gösteren elektrikselsel boyutu bu karışımları algılamaya yetecek kadar küçüktür. Bu da tasarlanmış olduğumuz anten tabanlı algılayıcının şarap içerisindeki etanol oranını algılamaya uygun bir biyo-algılayıcı olduğunu göstermektedir.

#### 4.9.2. PCB Monopol Anten Dezenfektan-İzopropil Simülasyonları

İçeriğinde %70 izopropil içeren numune ile simülasyon çalışmalarına başlanmış ve %10'luk artışlar gösterecek şekilde eklemeler yapılmıştır. Dezenfektan içerisindeki izopropil miktarı %10 oranlarda artırılarak oluşturulmuş numunelerin simülasyon sonuçlarına göre karışımların yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansındaki kaymaların değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Dezenfektan-izopropil numunelerindeki izopropil yüzdelere bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansı kaymaların grafiği Şekil 4.22'de verilmiştir.



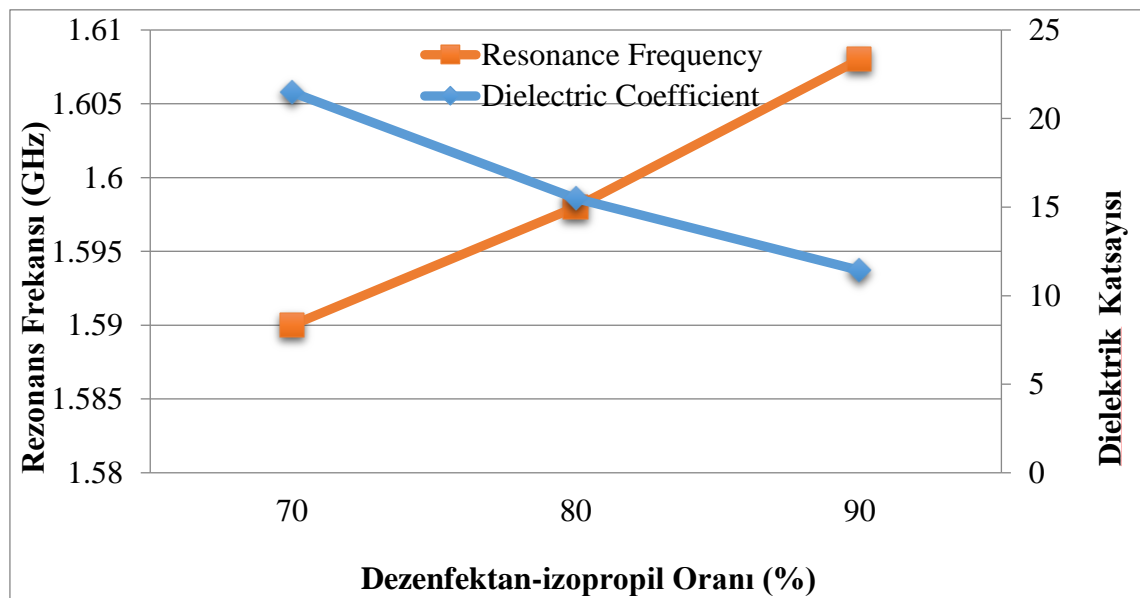
Şekil 4.22. PCB monopol anten dezenfektan-izopropil simülasyon grafiği.



Çizelge 4.8’de numunelerin izopropil alkol oranlarına göre değişim gösteren rezonans frekansındaki değişimler incelendiğinde bu değişimin belirgin bir doğrusallık gösterdiği görülmektedir. Bu doğrusallık sonucunda toplamda 18MHz’lik bir algılama bandı genişliği değerine ulaşılmaktadır. 18 MHz değeri bize algılama bandı genişliği üzerindeki ara değerler kolaylıkla ve hassas bir şekilde tahmin edebilme olanağını sağlamaktadır. %70 oranda izopropil içeren numune için rezonans değeri  $f=1,590$  GHz değerini göstermektedir. İçerikteki izopropil oranı arttıkça en düşük numunemiz olan %90 izopropil içeriğinde ise rezonans değerinin  $f=1,608$ GHz’e kaydığı gözlenmektedir.

Çizelge 4.8. Monopol anten izopropil miktarına bağlı rezonans frekansı S11 ve dielektrik

Dezenfektan +izopropil İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S11 Değeri (dB)	$\epsilon'$	$\epsilon''$	$\tan\delta$
70	1,590	-12,929	21,48	11,70	0,544
80	1,598	-12,919	15,48	9,94	0,642
90	1,608	-13,274	11,43	8,17	0,714



Şekil 4.23. Rezonans frekans, dielektrik katsayı, izopropil konsantrasyon dağılımı.

Numunelerdeki izopropil alkol oranındaki artışın sebep olduğu rezonans frekansı değişimleri dielektrik sabiti değerleriyle orantılı olduğu ve değişimin doğrusal yapı sergilediği Şekil 4.23'teki konsantrasyon dağılım grafiğinde de görölmektedir. %10 oranındaki izopropil artışı ile değişim gösteren yapıdaki basamaklar arasındaki aralık bize ara değerlerin tahmin edilebileceğini göstermektedir. Frekans artışına göre değişim gösteren elektiriksel boyutu bu karışımları algılamaya yetecek kadar küçüktür. Bu da tasarlamış olduğumuz anten tabanlı algılayıcının şarap içerisindeki etanol oranını algılamaya uygun bir biyo-algılayıcı olduğunu göstermektedir.



## 5.SONUÇ

Tasarlamış olduğumuz PCB tabanlı dikdörtgen yama anten ve monopol anten yapılı sensör yapısı için sonuçlar incelenmiştir. Simülasyon çalışma sonuçlarının incelenmesi sonucu tasarlamış olduğumuz iki sensörün de şarap-etanol ve dezenfektan-izopropil karışımları için yapılan ölçümlerde biyokimyasal algılayıcı olarak gerçek zamanlı, hızlı ve doğru olarak etanol ve izopropil alkol algılama işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini görüyoruz.

PCB tabanlı dikdörtgen yama anten için şarap-etanol alkol sonuçları incelendiğinde %10'luk etanol alkol artışı sağlanarak oluşturulan numunelere göre rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Bu doğrusallık sonucunda 60 MHz'lik bir algılama bandı genişliği olduğu görülmektedir. Bu değişimlere ek olarak, alınan sonuçlara göre geri dönüş kaybı olan S11 parametresinin genlik değerlerinin de yaklaşık 4 dB'lik doğrusala yakın bir değişimle şarap numuneleri içindeki etanol miktarını belirlemede kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu değişimin hassas bir algılama için kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Şarap içerisindeki etanol miktarının yani katkı alkol miktarındaki küçük oranlı değişimler rezonans frekansında doğrusal değişimlere neden olacak. Bu değişim sonucunda gerçekleşecek olan kayma miktarı katkı miktarının tespitini yapmamızı sağlayacaktır.

PCB tabanlı dikdörtgen yama anten için dezenfektan-izopropil alkol sonuçları incelendiğinde %10 izopropil alkol artışı sağlanarak oluşturulan numunelere göre rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Numunelerdeki izopropil alkol yani katkı miktarının artırımı ile alınan sonuçlara göre rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Bu doğrusallık sonucunda 128 MHz'lik bir algılama bandı genişliği olduğu görülmektedir. Bu değişimlere ek olarak, alınan sonuçlara göre geri dönüş kaybı olan S11 parametresinin genlik değerlerinin de yaklaşık 4,5 dB'lik doğrusala yakın bir değişimle dezenfektan numuneleri içindeki izopropil miktarını belirlemede kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu değişimin hassas bir algılama için kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Dezenfektan içerisindeki izopropil miktarının yani katkı alkol miktarındaki küçük oranlı değişimler rezonans frekansında doğrusal değişimlere neden olacak. Bu

değişim sonucunda gerçekleşecek olan kayma miktarı katkı miktarının tespitini yapmamızı sağlayacaktır.

PCB dikdörtgen yama anten tabanlı sıvı sensör yapısı PCB (Baskı Devre) tekniği ile tasarlandığından düşük maliyetli bir profile sahiptir. Başka bir parçaya gerek duymadan küçük miktarda numuneler ile ölçüm yapabilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde şarap-etanol ve dezenfektan-izopropil karışımları içerisindeki etanol ve izopropil miktarlarını tahmin etmede çok hassas sonuçlar verdiği görülmektedir.

PCB monopol anten tabanlı sıvı sensör yapısı için sonuçlar incelenmiştir. Tasarlanmış olduğumuz yapının şarap-etanol karışımları için yapılan simülasyon çalışmalarında biyokimyasal algılayıcı olarak gerçek zamanlı, hızlı ve doğru olarak etanol algılama işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini görmekteyiz. Monopol anten tabanlı sıvı sensör için şarap-etanol alkol sonuçları incelendiğinde %10'luk etanol alkol artışı sağlanarak oluşturulan numunelere göre rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Bu doğrusallık sonucunda 16 MHz'lik bir algılama bandı genişliği olduğu görülmektedir. Bu değişimin hassas bir algılama için kullanılabileceğini söyleyebiliriz. Bu değişimlere ek olarak, alınan sonuçlara göre geri dönüş kaybı olan S11 parametresinin genlik değerlerinin de yaklaşık 9 dB'lik doğrusala yakın bir değişimle şarap numuneleri içindeki etanol miktarını belirlemede kullanılabilceği belirlenmiştir. Şarap içerisindeki etanol miktarının yani katkı alkol miktarındaki küçük oranlı değişimler rezonans frekansında doğrusal değişimlere neden olacak. Bu değişim sonucunda gerçekleşecek olan kayma miktarı katkı miktarının tespitini yapmamızı sağlayacaktır.

PCB monopol anten tabanlı algılayıcı yapısı için sonuçlar incelenmiştir. Tasarlanmış olduğumuz yapının dezenfektan-izopropil karışımları için yapılan simülasyon çalışmalarında biyokimyasal algılayıcı olarak gerçek zamanlı, hızlı ve doğru olarak izopropil algılama işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirdiğini görmekteyiz. Monopol anten tabanlı algılayıcı için dezenfektan-izopropil alkol sonuçları incelendiğinde %10'luk izopropil alkol artışı sağlanarak oluşturulan numunelere göre rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Bu doğrusallık sonucunda 18 MHz'lik bir algılama bandı genişliği olduğu görülmektedir. Bu değişimin hassas bir algılama için kullanılabilceğini söyleyebiliriz. Bu değişimlere ek olarak, alınan sonuçlara göre geri dönüş kaybı olan S11 parametresinin genlik değerlerinin de yaklaşık 0,5 dB'lik doğrusala

yakın bir değişimle dezenfektan numuneleri içindeki izopropil miktarını belirlemede kullanılabilceği belirlenmiştir. Dezenfektan içindeki izopropil miktarının yani katkı alkol miktarındaki küçük oranlı değişimler rezonans frekansında doğrusal değişimlere neden olacak. Bu değişim sonucunda gerçekleşecek olan kayma miktarı katkı miktarının tespitini yapmamızı sağlayacaktır.

Literatürde sıvılar içerisinde alkol oranının belirlenmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmayı farklı kılan literatürde etanol ve izopropilin her ikisinin oransal tespitine yönelik çalışmaların az olmasıdır. Bu çalışmadaki her iki sensör de etanol ve izopropil tespitinde olumlu sonuçlar vermiştir. Her iki sıvı yapısını birlikte algılayabiliyor olması çalışmanın en büyük farklılığıdır. Diğer yandan iki sıvının birlikte algılanmasının zorluğu dielektrik katsayılarının birbirine yakın değerler olmasıdır.

## KAYNAKLAR

- Abbasoğlu, U., (2009), Dezenfektanlar: Sınıflama ve Amaca Uygun Kullanım Alanları, 6. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi Kitabı, p.109-120
- Akhavan, H.G., Mirshekar-Syahkal, D., (1999), Slot Antennas for Measurement of Properties of Dielectrics at Microwave Frequencies, *Antennas and Propagation*, 8-11.
- Alpat, Ş., & Telefoncu, A., (2010), Development of an alcohol dehydrogenase biosensor for ethanol determination with toluidine blue O covalently attached to a cellulose acetate modified electrode, *Sensors*, 10(1), 748-764.
- 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: B567-B573
- 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: B567-B573.
- Bakir, M., (2017), Electromagnetic-based Microfluidic Sensor Applications, *J. Electrochem. Soc.* 164, B488–B494.
- Balanis C.A., (1997), *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley and Sons, Arizona State University
- Bilgehan, H., (2002), *Temel Mikrobiyoloji ve Bağışıklık Bilimi*, Barış Yayınları Fakülteler Kitabevi, İzmir, p.213-219
- Chang, F. C., Yin, Y. Z., Lin, C. W., & Shiu, J., (2012), A Novel design of Antenna for biosensing applications, *Proceedings IMCS*, 407-410.
- Chang, F.C., Shiu, J., Yin, Y.Z., Lin, C.W., (2012), A Novel Design of Antenna for Biosensing Applications, *IMCS*, 407-410.
- Clemens, M. ve Weiland, T., (2001), Sonlu entegrasyon tekniği ile ayırık elektromanyetizma, *Elektromanyetik Araştırmalarında İlerleme* , 32 , 65-87.
- Cruz, J. D. N., Serres, A. J. R., de Oliveira, A. C., Xavier, G. V. R., de Albuquerque, C. C. R., da Costa, E. G., & Freire, R. C. S., (2019), Bio-inspired Printed Monopole Antenna Applied to Partial Discharge Detection, *Sensors*, 19(3), 628.
- Denoth, A., (1997), The monopole-antenna: a practical snow and soil wetness sensor, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 35(5), 1371-1375.
- Deschamps, G. A., (1953), Microstrip microwave antennas. In *Proceedings of the Third Symposium on the USAF Antenna Research and Development Program*, October pp. 18-22
- Diñer, F., Delihacıoğlu, K., Tmkaya, M. A., Karaaslan, M., & Sabah, C.,(2017), Akaryakıt Sektr için Metamalzeme Tabanlı Sensör Tasarımı ve Uygulaması, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliřtirme Dergisi*, 9(2), 86-91.
- Ebrahimi, A., Withayachumnankul, W., AlSarawi, S., Abbott, D., (2014), High-Sensitivity Metamaterial-Inspired Sensor for Microfluidic Dielectric Characterization, *IEEE Sens. J.* 14, 1345–1351.

- Elsheakh, D. N., Elsadek, H. A., Abdallah, E. A., Elhenawy, H., & Iskander, M. F., (2009), Enhancement of microstrip monopole antenna bandwidth by using EBG structures, *IEEE antennas and wireless propagation letters*, 8, 959-962.
- Goriushkina, T. B., Soldatkin, A. P., & Dzyadevych, S. V., (2009), Application of amperometric biosensors for analysis of ethanol, glucose, and lactate in wine, *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 57(15), 6528-6535.
- Gorman, S., Scott, E., Denyer, SP., Hodges, NA., Gorman, SP., (2004), *Chemical disinfectants, antiseptics and preservatives*, Hugo and Russell's *Pharmaceutical Microbiology*", Wiley-Blackwell, Oxford, p.285–305
- Greengard, L., Rokhlin, V., (1987), A fast algorithm for particle simulations, *J. Computational Physcis*. 73:325-348.
- Gregory, A.P., Clarke, R.N., (2006), A Review of RF and Microwave Techniques for Dielectric Measurements on Polar Liquids, *IEEE Trans. Dielectr. Insul.* 13, 727-743.
- Gutton, H., Baissinot, G., (1955), Flat aerial for ultra high frequencies, French Patent, No. 703113
- Islam, M. T., Samsuzzaman, M., Rahman, M. N., & Islam, M. T., (2018), A compact slotted patch antenna for breast tumor detection, *Microwave and Optical Technology Letters*, 60(7), 1600-1608.
- Keskin, U., Döken, B., & Kartal, M., (2017), Bandwidth improvement in microstrip patch antenna, In *2017 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 215-219). IEEE.
- Kılıçturgay, K., Gökırmak, F., Töre O., Gedikoğlu, S., Göral G., Helvacı, S., (1996), *Temel Mikrobiyoloji ve Parazitoloji*, Bursa Güneş & Nobel Tıp Kitabevleri, Bursa, p.117-138
- Koçer, D., (2009), Daire ve dikdörtgen geometrik yapılı mikroşerit antenlerin simülasyonu ve rezonans frekanslarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi, *Doctoral dissertation*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Kouhalvandi, L., Ceylan, O., Paker, S., & Yağcı, H. B., (2017), Design and realization of a novel planar array antenna and low power LNA for Ku-band small satellite communications, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(2), 1394-1403.
- Kuş, A., (2010), Dikdörtgen mikroşerit antenlerin bilgi-tabanlı destek vektör analizi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Li, Z., Huang, Y., Chen, L., Qin, X., Huang, Z., Zhou, Y., Wang, W., (2013), Amperometric biosensor for NADH and ethanol based on electroreduced graphene oxide-polythionine nanocomposite film, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 181, 280-287.
- Ling, K., Yoo, M., Su, W., Kim, K., Cook, B., Tentzeris, M. M., & Lim, S., (2015), Microfluidic tunable inkjet-printed metamaterial absorber on paper, *Optics express*, 23(1), 110-120.

- Liu, W., Sun, H., & Xu, L., (2018), A Microwave Method for Dielectric Characterization Measurement of Small Liquids Using a Metamaterial-Based Sensor, *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(5).
- Mehrotra, P., (2016), Biosensors and their applications—A review, *Journal of oral biology and craniofacial research*, 6(2), 153-159.
- Mentana, A., Palermo, C., Nardiello, D., Quinto, M., & Centonze, D., (2012), Simultaneous and accurate real-time monitoring of glucose and ethanol in alcoholic drinks, must, and biomass by a dual-amperometric biosensor, *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(1), 61-68.
- Mohammad, I., Gowda, V., Zhai, H., & Huang, H., (2011), Detecting crack orientation using patch antenna sensors, *Measurement Science and Technology*, 23(1), 015102.
- Mohammadian, A. H., Shankar, V., Hall, W. F., (1991), Computation of electromagnetic scattering and radiation using a time-domain finite-volume discretization procedure, *Computer Physics Communications*. 68:175-196.
- Munson, R., (1974), Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays, *IEEE Transactions on Antennas and propagation*, 22(1), 74-78.
- Nakipoğlu, Y., Gürler, B., (2004), Çeşitli Dezenektan ve Antiseptik Maddelerin Antibakteriyal Etkinliğinin Araştırılması, *Ankem Derg*, 18(4),220-223
- Pal, A.A., Mehta, A., Marhic, M.E., Chan, K.C., Teng, K.S., (2011), Microresonator Antenna for Biosensing Applications, in *IET Micro & Nano Letters*, 6(8),665-667.
- Purohit, S.S., Saluja, A.K., Kakrani, H.N., (2003), *Pharmaceutical Microbiology*, Agrobios, India, p.325-334
- Rahimi, Z., (2011), The finite integration technique (FIT) and the application in lithography simulations, *Der Technischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg zur Erlangung des Grades*
- Samphao, A., Butmee, P., Saejueng, P., Pukahuta, C., Švorc, L., & Kalcher, K., (2018), Monitoring of glucose and ethanol during wine fermentation by bienzymatic biosensor, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 816, 179-188.
- Scognamiglio, V., Arduini, F., Palleschi, G., & Rea, G., (2014), Biosensing technology for sustainable food safety, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 62, 1-10.
- Seo, Y., Memon, M.U., Lim, S., (2016), Microfluidic Eighth-mode Substrateintegrated-Waveguide Antenna for Compact Ethanol Chemical Sensor Application, *IEEE Trans. Antennas Propag.* 64, 3218–3222.
- Seo, Y., Memon, M.U., Lim, S., (2016), Microfluidic Eighth-mode Substrateintegrated-Waveguide Antenna for Compact Ethanol Chemical Sensor Application, *IEEE Trans. Antennas Propag.* 64, 3218–3222.
- Sill, J. M., & Fear, E. C., (2005), Tissue sensing adaptive radar for breast cancer detection- Experimental investigation of simple tumor models, *IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques*, 53(11), 3312-3319.
- 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.



- Song, L., & Rahmat-Samii, Y., (2018), A Systematic Investigation of Rectangular Patch Antenna Bending Effects for Wearable Applications, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 66(5), 2219-2228.
- Tamer, A., Alkurt, F. O., Altintas, O., Karaaslan, M., Unal, E., Akgol, O., Karadag, F., Sabah, C. (2018), Transmission Line Integrated Metamaterial Based Liquid Sensor, *Journal of The Electrochemical Society*, 165(7), B251-B257.
- Tansarıkaya, İ., (2007), Geniş Bandlı Yama Anten Tasarımı, Doctoral dissertation, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Thoma, P., Weiland, T., (1995), A subgridding method in combination with the finite integration technique, *Microwave Conference*
- Tünger, A., Çavuşoğlu, C., Korkmaz M., (2005), *Asya Mikrobiyoloji, Asya Kitabevi, İzmir*, p.6070
- Türk Gıda Kodeksi Şarap Tebliği, (2008),  
[http://www.gidamo.org.tr/mevzuat/mevzuat\\_detay.php?kod=76](http://www.gidamo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=76), Erişim tarihi: 22.04.2019
- Weiland, T., (1977), A discretization model for the solution of maxwell's equations for six-component fields, *Electron. Commun.* 31:116-120.
- Weiland, T., (1996), Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods. *International Journal of Numerical Modelling, Electronic Networks, Devices and Fields.* 3:295-319.
- Yee, K. S., & Chen, J. S., (1997), The finite-difference time-domain (FDTD) and the finite-volume time-domain (FVTD) methods in solving Maxwell's equations, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 45(3), 354-363.
- Yıldıran, Ü., & Başdemir, H. D., (2017), Wideband hexagonal type antenna design for 5G networks, In *Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 10th International Conference on* (pp. 959-963). IEEE.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı :KARATEPE, Ayşegül  
 Uyruğu :T.C.  
 Doğumtarihiveyeri :19.07.1986, İskenderun  
 Medenihali :Evli  
 Telefon :0(507)120 47 86  
 e-mail :aysegul\_kuzu@hotmail.com



### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Mersin Üniversitesi/ Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı Bölüm Bilgisayar Öğretmenliği	2009
Lise	İskenderun İbni Sina Anadolu Lisesi	2004

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-2013	Ağrı Eleşkirt Teknik Endüstri Meslek Lisesi	M.E.B Öğretmen
2013-2016	Hatay Akbez ve Kız Teknik Meslek Lisesi	M.E.B Öğretmen
2016-Halen	İzmit Kılıçarslan Ortaokulu	M.E.B Öğretmen

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayımlar

Karatepe A., Dalgaç Ş., Akgöl O., Karaaslan M., Ünal E., “*Determination of Ethanol Ratio in Wine with a PCB Monopole Antenna Based Sensor*”, International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019-25-27 April 2019), Alanya/Turkey,

Karatepe A., Dalgaç Ş., Akgöl O., Karaaslan M., Ünal E., “*PCB Rectangle Patch Antenna Based Isopropyl Alcohol Sensor Design*”, International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2019-25-27 April 2019), Alanya/Turkey,

## DİZİN

### A

anten · 2, 3, 4, 5, 10, 12, 19, 20,  
22, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 32,  
33, 35  
algılayıcı · 1, 9, 10, 12, 22, 29,  
31, 36

### B

bakır zemin · 38  
biyosensör · 11, 12, 13

### D

dipol · 2, 3  
dielektrik sabiti · 12, 15, 16, 17,  
18, 22, 23, 24, 25, 33, 45  
dezenfektan · 1, 13, 14, 22, 23,  
25, 26, 27, 30, 34, 35, 40, 43,  
44, 48

### E

etanol · 1, 10, 11, 12, 22, 23, 25,  
30, 31, 33, 34, 36, 37, 41, 43,  
45, 46  
empedans · 4, 7, 17

### F

frekans · 10, 12, 15, 21, 22, 23,  
24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32,  
34, 35, 37, 38, 39, 40  
fermantasyon · 12

### G

geçirgenlik · 2, 5, 10, 15, 16, 18,  
22

### H

homojen · 21, 22, 23

### i

iletken · 4, 6, 28  
izopropil · 1, 13, 14, 22, 23, 25,  
27, 30, 31, 34, 36, 40, 41, 43

### K

konektör · 28, 38  
kayıp tanjant · 22, 24, 25, 26, 28,  
31, 36, 40  
kayıp tanjant değeri · 22, 28  
kırılma indisi · 17, 18

### M

malzeme · 4, 10, 11, 12, 15, 16  
28, 40  
manyetik geçirgenlik · 15, 16, 17,  
18  
metamalzeme · 10, 11  
metanol · 10, 14  
monopol · 3, 10, 11, 22, 27, 37,  
38, 39, 40, 42, 43, 46

### N

numune · 22, 23, 25, 28, 29, 30,  
31, 32, 35, 36, 40, 41, 42, 44

### O

optimum · 13, 23, 24, 26, 38

### P

polarizasyon · 5

### R

rezonans frekansı · 10, 12, 31, 32,  
33, 34, 35, 40, 43, 44  
rezonatör · 28, 30, 37, 38, 40

### S

sensör · 1, 9, 10, 11, 12, 22, 24,  
25, 27, 30, 34, 36, 37, 38, 40,  
46  
simülasyon · 1, 21, 27, 28, 30,  
31, 32, 34, 36, 38, 40, 43, 46  
sinyal emici · 10

### Ş

şarap · 1, 12, 13, 20, 22, 23, 24,  
30, 32, 33, 34, 36, 37, 40, 41,  
42, 43  
şekil · 2, 3, 9, 10, 15, 18, 19, 20,  
21, 27, 30, 32, 37, 39, 40, 42

### T

tekrarlı çözümler · 16

### Y

yoğunluk · 10, 13  
yansıma katsayısı · 16  
yama · 5, 6, 9, 10, 22, 24, 25, 27,  
28, 32, 37, 43, 47

### Z

zaman domaini · 18



**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

