

# Metamalzeme Tabanlı Sensör İle Sahte Rakıdaki Metanol Tespiti

Program Kodu: 1002

Proje No: 119E034

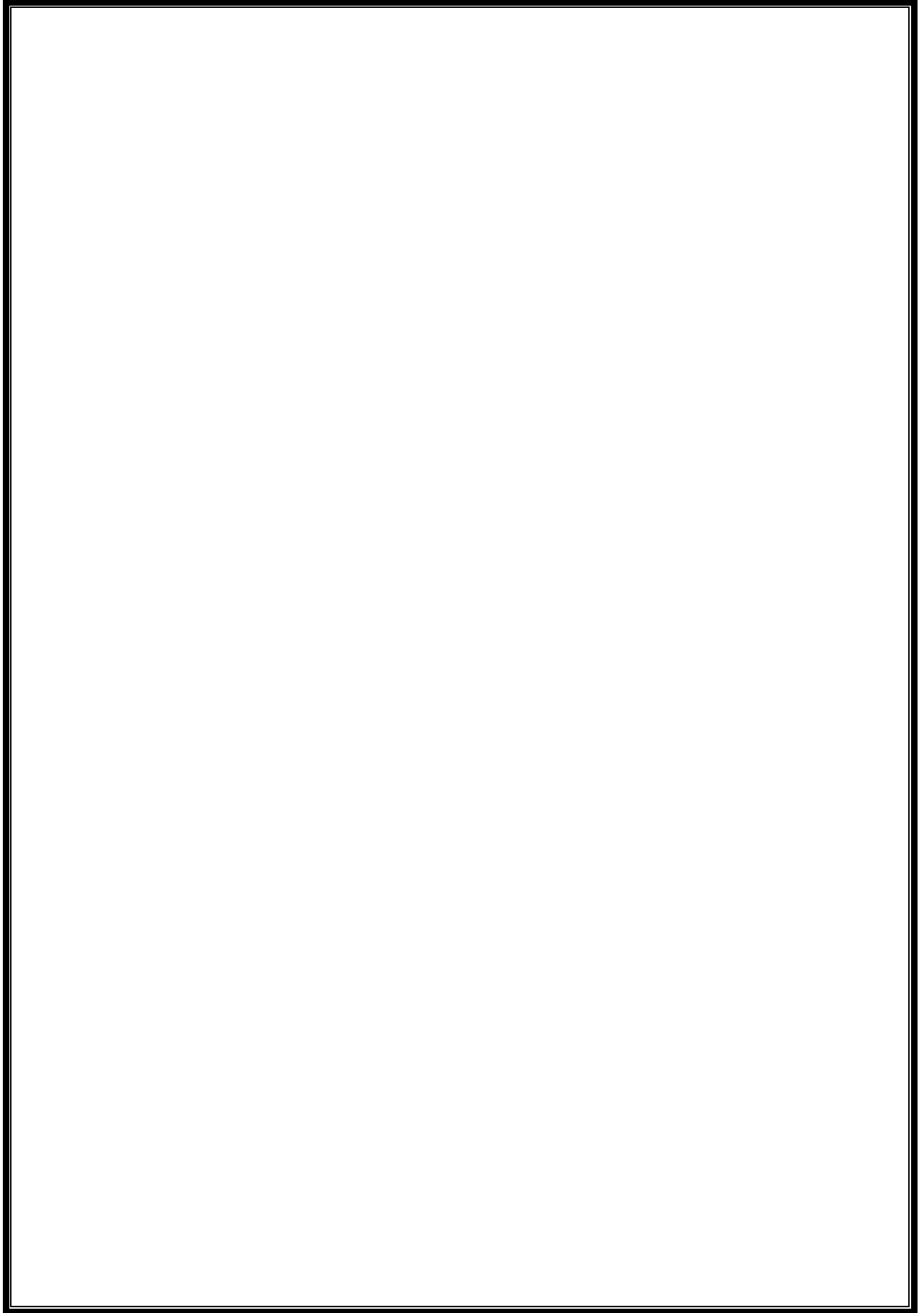
## SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:  
Doç. Dr. OĞUZHAN AKGÖL

Bursiyer(ler):

ŞEKİP DALGAÇ  
MUSTAFA TUNAHAN BAŞAR  
SERAP KİRİŞ

AĞUSTOS 2020  
HATAY



## ÖNSÖZ

Bu proje kapsamında ülkemizde sık sık görülen kaçak rakı üretiminin önüne geçmek için metalmalzeme tabanlı bir iletim hattı sensör tasarımı gerçekleştirilmiştir. Öncelikle sıvıların dielektrik sabitleri prob kit yardımıyla ölçülmüş ve en iyi hassaslığa sahip sensör tasarlanmıştır. Sensör tasarımından sonra önerilen sensör yapısı PCB cihazıyla üretilmiş sonra numerik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre simülasyon ve deneysel sonuçlar birbiriyle uyumludur. Ayrıca bu proje 119E034 nolu proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## BİLİMSEL SONUÇ RAPORU EK SAYFASI

(Proje No:119E034)

**(Her madde için gerektiği kadar alan ve ek sayfa kullanabilirsiniz)**

**ÖZET:** Gerçekleştirilen bu projede ülkemizde yaygın olan kaçak rakı üretiminin tespitine dayalı metamalzeme tabanlı iletim hattı sensör tasarımları ortaya konulmuştur. Tasarlanan bu sensörlerde kullanılan yöntem ise dielektrik sabiti değişimine bağlı olarak sensörün kapasitif değerinde değişimlerin meydana gelmesiyle rezonans frekanslarında lineer kaymalar meydana getirmesiyle açıklanabilir. Kaçak rakı tespitine ve proje hedeflerine bağlı kalınarak 2 farklı çalışma yapılmıştır. İlk çalışmada ülkemizde en çok tüketilen orijinal bandrollü 4 farklı rakı çeşidinin elektriksel açıdan benzer özellik gösterdiğini kanıtlamak için dielektrik sabiti değerleri ölçülmüştür. Buna ek olarak orijinal marka 1 isimli rakı numunesinin içerisine metanol katılarak metanol-orjinal rakı karışımları oluşturulmuş böylelikle rakı numuneleri içerisindeki metanol derişimi tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Böylelikle orijinal bandrollü rakıların elektriksel açıdan benzer özellik taşıdığına ve içerisine methanol eklenmesi durumunda bunun sensör yardımıyla tespit edilebileceği ortaya konulmuştur. 2.çalışmada ise belirli oranda etanol-su ve metanol-su derişimleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu karışımların dielektrik sabitleri ölçülmüş ve derişim tespit eden bir sensör tasarımı yapılmıştır. Bir diğer çalışmada ise evlerde amatörce üretilen boğma rakılarıdaki metanol zehirlenmesini önüne geçebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Boğma rakıyı temsil etmesi açısından alkol miktarı %45'te tutularak su-etanol karışımı içerisine çok küçük miktarlarda metanol katılarak karışımlar oluşturulmuş ve oluşan bu karışımındaki metanol miktarı tespit edilmiştir. Ve buna ek olarak methanol zehirlenmesinin tespit etmek amacıyla etanol içerisine çok düşük oranlarda metanol katılmış, etanol içerisinde metanol tespiti yapılmıştır.

**ABSTRACT:** In this study, a metamaterial based transmission line sensor was designed to determine the amount of methanol in the methanol-contaminated raki samples. The method used in these designed sensors can be explained by the fact that the capacitive value of the sensor changes due to the variation of the dielectric constant, causing linear shifts in resonance frequencies. In the first study, the dielectric constant of four different original raki brand, which are the most consumed in our country, were measured to prove showing similar electrical properties. In addition, methanol-original raki mixtures were prepared by adding methanol to the raki sample and a study was conducted to determine the concentration of methanol in the raki samples. Thus, it has been demonstrated that the original banded raki has similar properties electrically and if methanol is added to it, it can be detected with the help of a sensor. In the second study, ethanol-water and methanol-water solution with the different ratios are prepared and dielectric constants of these mixtures were measured. In order to achieve project goal, a sensor was designed in order to detect concentration of ethanol-water and methanol-water solution. In another study, a study was conducted to prevent methanol poisoning in home distilled raki samples (boğma raki). In order to represent Boğma raki, the alcohol content was kept at 45%, and the mixtures were formed by adding very small amounts of methanol into the water-ethanol mixture, and the amount of methanol in this mixture was determined by the help of proposed sensor. Also, very low amounts of methanol were added to ethanol in order to detect methanol poisoning.

## İÇİNDEKİLER

<b>1.Orijinal Rakı Numunelerinin İçerisine Katılmış Metanol Tespiti için Sensör Uygulamaları</b>	<b>1</b>
1.1 Giriş	1
<b>1.2 Sensör Yapısı ve Boyutları</b>	<b>1</b>
<b>1.3 S12 iletim katsayısı ve elektrik alan dağılımı</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Üretim ve ölçüm düzeneği</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Orijinal Rakı Örnekleri için Sensör Uygulaması</b>	<b>4</b>
<b>1.6 Rakı-Metanol Karışımları için Sensör Uygulaması</b>	<b>5</b>
<b>2. Çok Amaçlı Metamalzeme Tabanlı İletim Hattı Sensör Uygulaması</b>	<b>8</b>
2.1 Giriş	8
<b>2.2 Tasarlanan sensör yapısı ve boyutları</b>	<b>8</b>
<b>2.3 S12 iletim katsayısı ve elektrik alan dağılımı</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Üretim ve ölçüm düzeneği</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Etanol-Su karışımı için sensör uygulaması</b>	<b>10</b>
<b>2.6 Metanol-Su karışımı için sensör uygulaması</b>	<b>12</b>
<b>2.7 Etanol-Metanol karışımı için sensör uygulaması</b>	<b>14</b>
<b>2.8 Su-Etanol-Metanol karışımı için sensör uygulaması</b>	<b>16</b>

## TABLO VE ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.1</b> Önerilen sensör yapısının önden görünümü (a) ve boyutları (b)	2
<b>Şekil1.2</b> Sıvı haznesi saf rakı ile doldurulduğunda elde edilen S parametresi grafiği (a) ve elektrik alan dağılımı (b)	2
<b>Şekil 1.3.</b> Markalı rakı - metanol karışımlarının dielektrik sabitinin belirlenmesi için deneysel çalışma(a), numune tutucu ile üretilmiş sensör yapısı(b), iletim parametresinin ölçümü için deneysel kurulum (c)	3
<b>Şekil 1.4.</b> Farklı markalı orijinal Raki örneklerinin dielektrik sabit değerlerinin reel (a) ve imajiner (b) kısımları	4
<b>Şekil 1.5.</b> Farklı markalı orijinal Rakı örneklerinin S12 iletim katsayısı sonuçları	5
<b>Şekil 1.6.</b> Markalı rakı-metanol karışım numunelerinin farklı yoğunluktaki dielektrik sabit değerlerinin reel (a) ve imajiner (b) kısımları	6
<b>Şekil 1.7.</b> Markalı rakı-metanol karışım numunelerinin farklı konsantrasyonları için sayısal (a) ve deneysel (b) sonuçlar	7
<b>Şekil 1.8.</b> Rezonans frekansı- dielektrik sabiti lineerlik grafiği(a) ve rezonans frekansı-yoğunluk lineerlik grafiği(b)	7
<b>Şekil 2.1.</b> Tasarlanan sensörün önden görünümü(a) ve boyutları(b)	9
<b>Şekil 2.2.</b> Malzeme tutucu hava ile dolu olduğunda iletim katsayısı(a) ve 3.36 GHz'deki elektrik alan dağılımı	9
<b>Şekil 2.3.</b> Dielektrik sabiti ölçmek için prob kit(a),PCB tarafından üretilen sensör yapısı(b) ve deneysel ölçüm ortamı için kullanılan vektör analizör(c)	10
<b>Şekil 2.4.</b> Su-etanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri	11
<b>Şekil 2.5.</b> Su-etanol karışımı için elde edilen numerik ve deneysel S11 yansıma katsayısı sonuçları	12
<b>Şekil 2.6.</b> Su-metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri	13
<b>Şekil 2.7.</b> Su-metanol karışımı için elde edilen numerik S11 yansıma katsayısı sonuçları	14
<b>Şekil 2.8.</b> Etanol-metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri	15
<b>Şekil 2.9.</b> Etanol-metanol karışımı için elde edilen numerik(a) ve deneysel(b) S11 yansıma katsayısı sonuçları	16
<b>Şekil 2.10.</b> Su-Etanol-Metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri	17
<b>Şekil 2.11.</b> Su-etanol-metanol karışımı için elde edilen numerik(a) ve deneysel(b) S11 yansıma katsayısı sonuçları	18

# 1.ORJİNAL RAKI NUMUNELERİNİN İÇERİSİNE KATILMIŞ METANOL TESPİTİ İÇİN

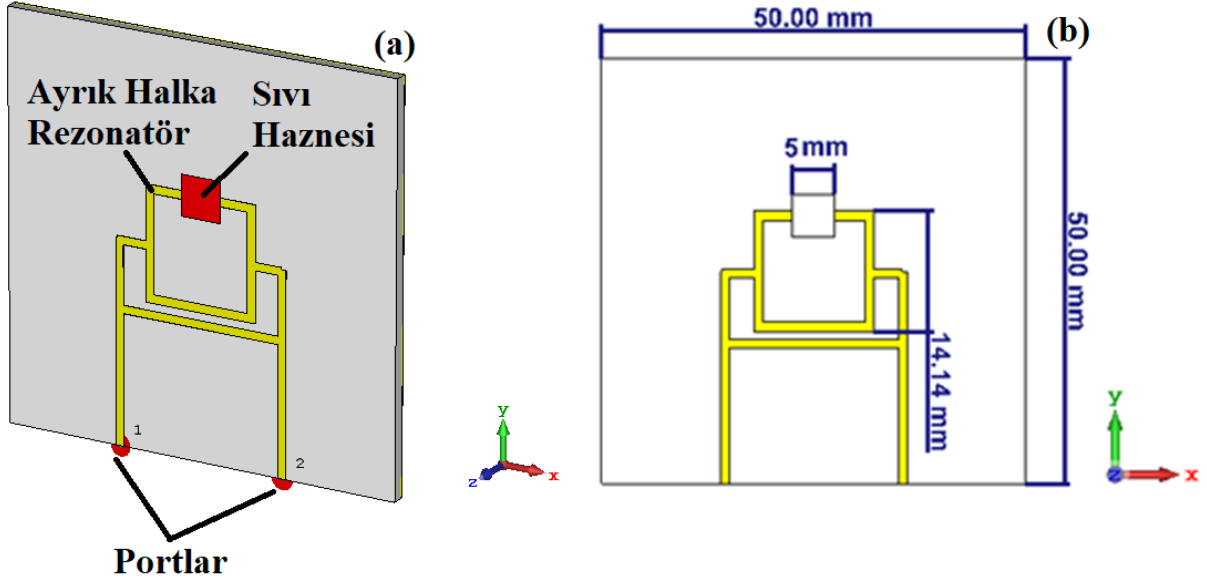
## 1.1 Giriş

Bu çalışmada, metanolla karıştırılmış orijinal rakı örneğinde metanol miktarını belirlemek için metamalzeme tabanlı bir iletim hattı sensör üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sensör çalışmalarını yapmak için ilk olarak, Türkiye'de en çok talep edilen ve en çok tüketilen 4 farklı orijinal ve markalı rakı örneği alınmış ve bir prob kit ile dielektrik sabiti değerleri ölçülmüştür. Daha sonra numerik ve deneysel çalışmalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. İkinci sensör uygulamasında, seçilen orijinal markalı rakı örneklerine farklı oranlarda metanol eklenerek karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımların dielektrik sabiti değerleri incelenmiş, karışımlar üzerinde numerik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre rakı çözeltisinde metanol oranı arttıkça dielektrik sabit değerlerinin azaldığını ve rezonans frekansında kaymaların meydana geldiğini göstermektedir. Buradan hareketle önerilen sensörün markalı rakıdaki meydana gelen metanol zehirlenmesini tespit edebilmektedir.

## 1.2 Sensör Yapısı ve Boyutları

Markalı rakıda metanol miktarını tespit etmek için önerilen yapı, Şekil 1a'da gösterilmiştir. Sayısal analizler yapmak için Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT) tabanlı yüksek frekanslı elektromanyetik tabanlı simülasyon programı kullanılmıştır. Tasarlanan sensör yapısı, 3 farklı malzemenin üst üste binmesiyle oluşturulmuştur. Katmanın arka ve ön tarafı 0.035 mm kalınlığında ve  $5.8 \times 10^6$  S/m iletkenlikte olan bakır ile kaplanmıştır. Ara yüz malzemesi olarak adlandırılan orta katman, Isola 680 tipi bir substrattır. Dielektrik sabiti ve kayıp teğet sırasıyla 2.8 ve 0.0025'tir. Isola 680 ara katmanını seçmenin temel nedeni düşük kayıp, yüksek mekanik mukavemet ve daha düşük maliyet sağlamaktır. Tasarım yapılırken, Şekil 1.1.a'da gösterildiği gibi, ayrık halka rezonatör (SRR) metamalzeme tabanlı iletim hattı sensör yapılarından esinlenilmiştir. Ayrıca, sıvıların yerleştirilmesi için bir sıvı haznesi kısmı tasarlanmıştır. İletim hattının her iki tarafına dalga yayılımı için 2 tane port bağlanmıştır. TEM dalga modu, port 1 ve port 2'nin uyarılması sırasında yayılmaktadır. Bu sensör uygulaması için sınır koşulları, x, y ve z yönlerinde açık uzay ortamı olarak ayarlanmıştır. Bunlara ek olarak tasarlanan sensör yapısının boyutları Şekil 1.1.b'de verilmiştir. Substrate tabakasının ve SRR'nin uzunlukları sırasıyla 50 mm ve 14.14 mm'ye eşittir. Ayrıca, sıvı haznesinin kenar uzunluğu 5 mm olarak ayarlanmıştır. Bu boyutlar, en iyi hassasiyetle sensörü elde etmek için parametrik çalışmalarla elde edilmiştir.

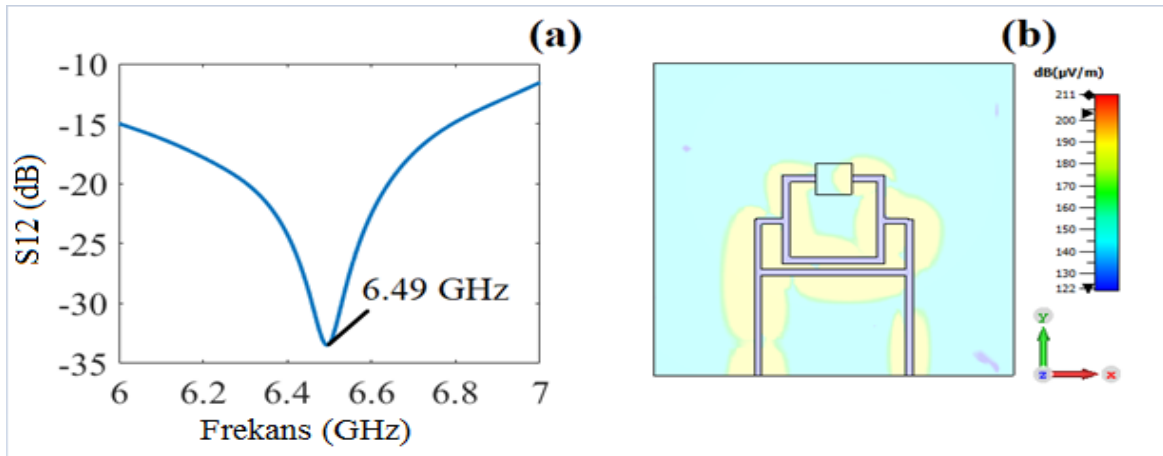




**Şekil 1.1** Önerilen sensör yapısının önden görünümü (a) ve boyutları (b)

### 1.3 S12 iletim katsayısı ve elektrik alan dağılımı

S11, S22, S12 ve S21 gibi saçılma parametreleri çoğunlukla metamalzeme tabanlı sensör çalışmalarının çoğunda kullanılmaktadır. S11, S22 yansıma katsayısını temsil ederken, S12 ve S21 ise iletim katsayısını temsil etmektedir. Bu çalışmada, S12 iletim katsayısı, port 2'den port 1'e iletilen gücü belirlemek için kullanılır. Elektrik alan dağılımı, rezonatör katmanları üzerindeki elektromanyetik gücün ilerleyişi ile ilgilidir. Şekil 1.2.a'da görüldüğü gibi, numune tutucu markalı katkısız saf rakı numunesi ile doldurulduğunda S12 iletim katsayısı verilir. Verilen malzemeye ait S12'ye ait rezonans frekansı değeri 6.49GHz ve -33' dB'ye eşittir. Ayrıca, sensör mekanizmasını anlamak ve iletilen güç oranını göstermek için elektrik alan dağılımı Şekil 1.2.b'de gösterilmektedir.

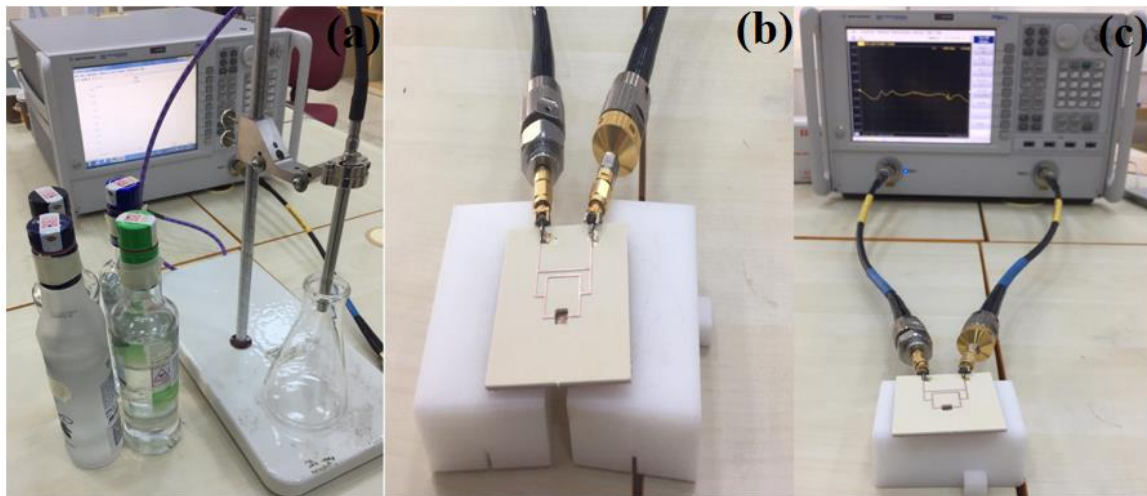


**Şekil 1.2.** Sıvı haznesi saf rakı ile doldurulduğunda elde edilen S parametresi grafiği (a) ve elektrik alan dağılımı (b)

Şekil 1.2.b'de Port 1'den gönderilen enerjinin hemen hemen hepsinin rezonatörler üzerinde harcanması ve enerjinin çok azının port 2'ye ulaştığı görülmektedir. Benzer şekilde, elektrik alanının özellikle rezonatör katmanlarında şiddetli hale geldiği açıktır. Bu nedenle sensör yapımız, sıvı haznesine yerleştirilen rakı-metanol karışımlarının dielektrik sabitindeki küçük değişiklikleri tespit edebilme kapasitesine sahiptir.

#### 1.4 Üretim ve ölçüm düzeneği

Sensör uygulamasını gerçekleştirmek için markalı rakı-metanol karışımları hazırlanmış, numerik ve deneysel doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Deneysel kısım iki bölümden oluşmaktadır. İlk olarak, Şekil 1.3.a'da gösterildiği gibi, 85070 dielektrik prob kiti ile birlikte Network analizörü kullanarak hazırlanan karışımların dielektrik sabit değerlerini ölçme anına ait bir figür bulunmaktadır. Ölçüm başlamadan önce 85070 dielektrik prob bir kısa devre kiti, su ve açık hava ile kalibre edilmiştir. Böylece, ölçüm sırasında oluşabilecek hatalar en aza indirilmiştir. Ek olarak, ölçüm anında sıcaklığın karışımlar üzerindeki istenmeyen etkilerini önlemek için oda sıcaklığı koşullarında ( $25^{\circ}\text{C}$ ) gerçekleştirilmiştir. Numunelerin dielektrik sabiti değerleri elde edildikten sonra, numerik çalışmalar yapmak için veriler simülasyon programına yüklenmiştir. En iyi sonuçlar ve hassasiyete sahip sensör tasarlandığında, önerilen sensör LPKF Proto MAT E33 prototipleme Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) makinesi tarafından Şekil 1.3.b gösterildiği gibi üretilmiştir. Üretilen sensör yapısına iki adet port dalga iletimi için lehirlenerek eklenmiştir. Böylece, Enine Elektromanyetik (TEM) dalga modu, iletim hattı tabanlı sensör boyunca yayılabilir. TEM, elektrik ve manyetik alan çizgilerinin ve dalganın yayılma yönünün birbirine dik (enine) olduğu bir yayılma modudur. Sonraki aşamada deneysel çalışmalar, Şekil 1.3.c' de gösterildiği gibi Agilent PNA-L serisi vektör network analizör (VNA) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, frekans aralığı 1 GHz'den 8 GHz'e ayarlanmıştır ve cihazın hata kaybını en aza indirmek için açık ve kısa devre ve 50 yüklük kalibrasyon kitleri ile kalibre edilmiştir. Sensör yapısına iki koaksiyel test kablosu bağlanarak iletim katsayıları ( $S_{12}$ ) ölçülmüştür.

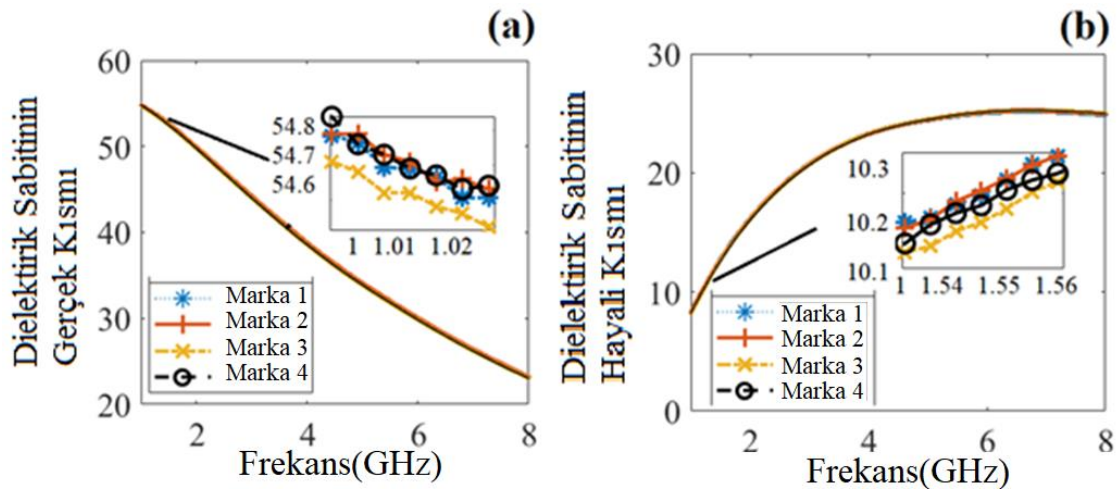


**Şekil 1.3.** Markalı rakı - metanol karışımlarının dielektrik sabitinin belirlenmesi için deneysel çalışma(a), numune tutucu ile üretilmiş sensör yapısı(b), iletim parametresinin ölçümü için deneysel kurulum (c)

Bu çalışmanın temel amacı, orijinal markalı rakı örneklerinin içerisine belirli oranlarda karıştırılmış metanolu tespit etmektir. Metanol katkılı markalı rakıda metanol yüzdesini tespit etmek için iletim hattı tabanlı metamalzeme sensör tasarlanmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, farklı orijinal rakı numunelerinin dielektrik sabiti ve rezonans frekansı bakımından aynı özelliklere sahip olduklarını göstermek için aynı alkol oranına (% 45) sahip, en çok talep edilen ve tüketilen dört farklı markalı rakı örneği kullanılmıştır. İkinci bölümde, orijinal markalı rakı örneklerinden biri seçilmiş ve rakı örneğindeki metanol oranını saptamak için farklı oranlarda metanol içeriğiyle karıştırılmıştır.

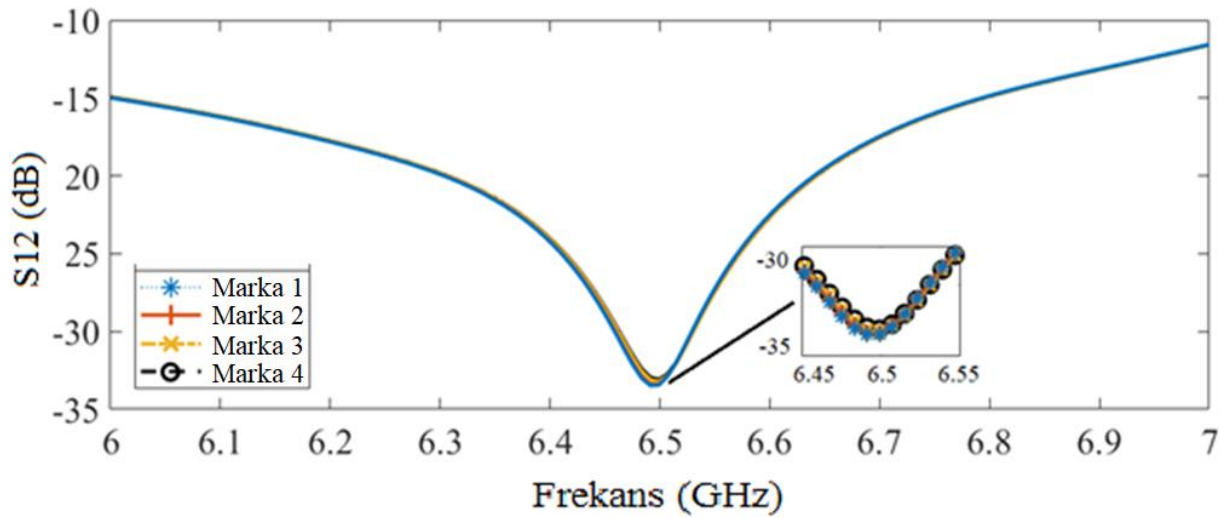
### 1.5 Orijinal Rakı Örnekleri için Sensör Uygulamaları-

Çalışmanın bu bölümünde türkiyede en çok talep edilen ve tüketilen birbirinden farklı 4 orijinal rakı örneklerinin elektriksel özellikler olarak neredeyse aynı olduğu ve birbirinden ayırt etmenin tasarlanan sensörle mümkün olmadığı gösterilmek istenmiştir. Bu yapılan yöntemle eklenen metanolün katkısının elektriksel olarak rakıda yaptığı etkiyi daha açık bir şekilde görmemiz sağlanacaktır. Türkiye'de rakı üreten çeşitli şirketler olmasına rağmen, bu şirketleri seçmenin temel nedeni, bunların ülkemizdeki en çok talep edilen ve tüketilen rakı markaları olmasıdır. Bu markalar Türk Standartları Enstitüsü kurallarına göre rakı üretimi yapmaktadırlar. Ayrıca, bu çalışmanın en önemli kısmı orijinal rakı örneklerinin ölçülen dielektrik sabitli değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu ve 4 farklı markalı rakı örneğini 1 GHz-8 GHz arasında birbirinden ayırmanın mümkün olmadığını göstermektir. Bu çalışma için ilk olarak 85070 dielektrik prob kiti kullanılarak 4 farklı markaya ait saf rakı örneklerinin karmaşık dielektrik sabit değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar şekil 1.4.a ve şekil 1.4.b'de verilmektedir. Şekil 1.4.a' da verildiği gibi, marka 1, marka 2, marka 3, marka 4 isimli orijinal rakı örneklerinin dielektrik sabitleri% 99 benzerlikle elde edilmiştir. Orijinal rakı markalarının dielektrik sabitlerinin gerçek kısmı 28.16, 28.12, 27.94, 27.96'ya eşitken, imajiner kısımları 25.03 25.01 24.94 24.90 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara bakıldığında, elde edilen değerlerin %99 benzerlikle elde edildiği ve markalı rakı örneklerinin dielektrik sabitlerinin neredeyse birbirine eşit olduğu kanıtlanmıştır.



**Şekil 1.4.** Farklı markaların orijinal Rakı örneklerinin dielektrik sabit değerlerinin reel (a) ve imajiner (b) kısımları

Rakı örneklerinin karmaşık dielektrik özellikleri hakkında veriler elde edildikten sonra, bilgisayar tabanlı simülasyon programına veriler yüklenerek numerik bir çalışma yapılmış ve sonuçlar Şekil 1.5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, dört farklı markalı orijinal rakı numunelerinin rezonans frekans değerleri, hemen hemen aynı dielektrik sabit değerlerine sahip oldukları için % 99 benzerlikle elde edilmiştir. Marka 1 rakı numunesi için elde edilen rezonans frekansı 6.4911 GHz'e eşitken, diğer markalı rakı numuneleri 6.4990 GHz'de elde edilir, bu da elde edilen rezonans frekans değerlerinin hemen hemen aynı olduğu anlamına gelmektedir. Buradan hareketle, dört farklı markalı rakı örneğini 1 GHz ile 8 GHz arasında elde edilen elektriksel özelliklerine bağlı kalarak hemen hemen aynı özellik sergiledikleri vurgulanmak istenmiştir.

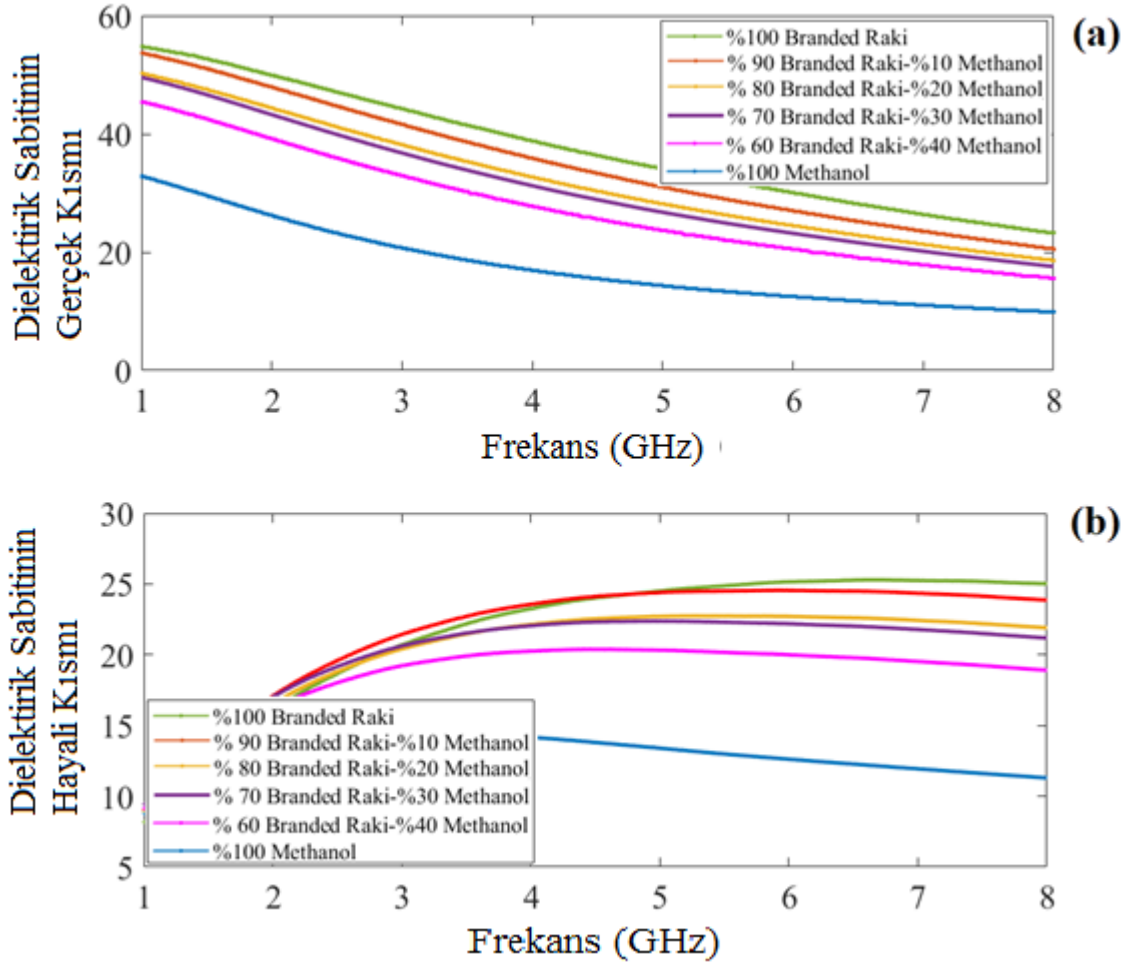


**Şekil 1.5.** Farklı markalı orijinal Rakı örneklerinin S12 iletim katsayısı sonuçları.

### 1.6 Rakı-Metanol Karışımları için Sensör Uygulaması-

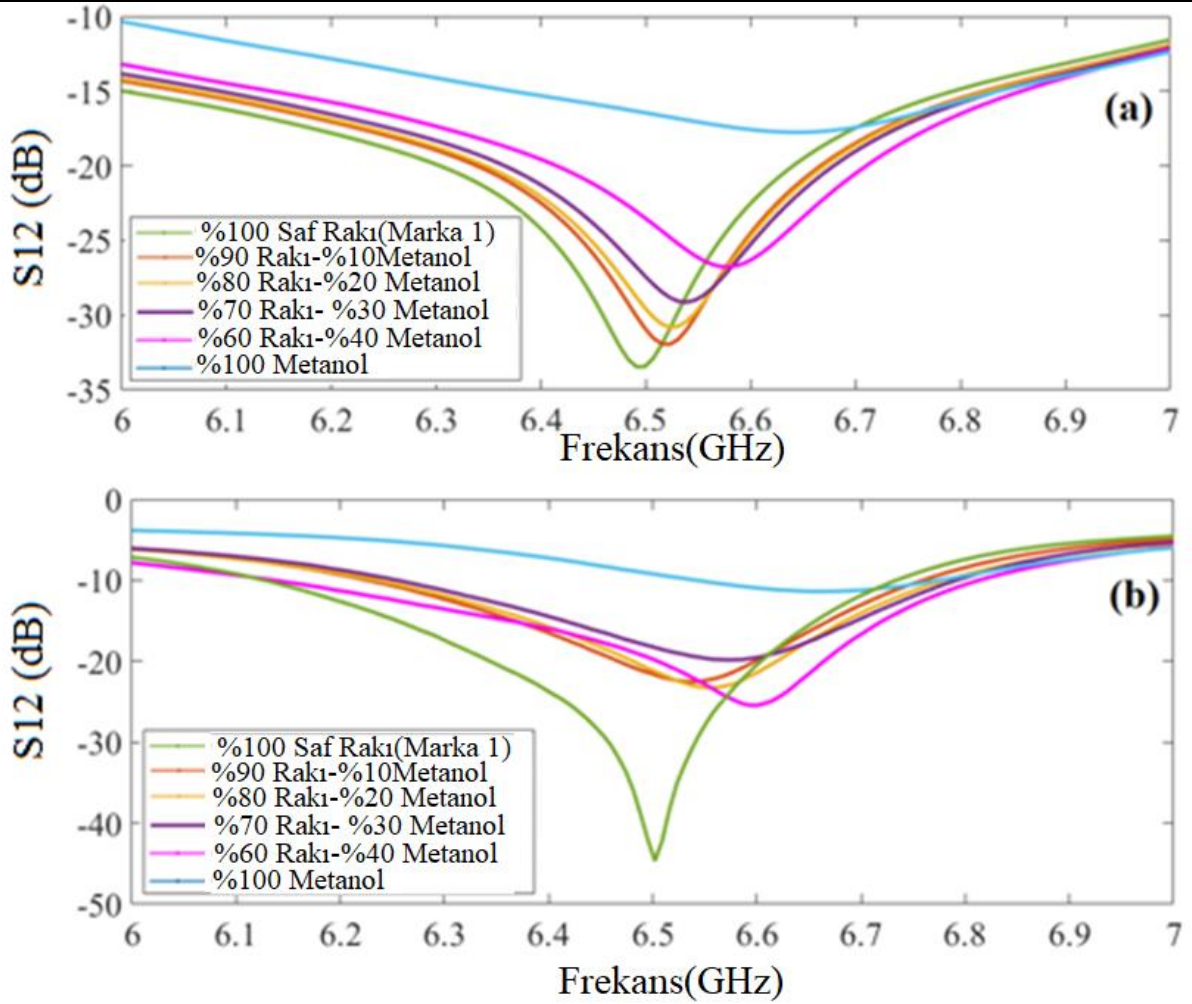
Bu bölümünde, orijinal rakı-metanol karışımındaki metanol içeriğinin önerilen sensör yapısı ile tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmayı gerçekleştirmek için ilk olarak marka 1 tip rakı numunesi seçilmiş ve % 90 markalı rakı -% 10 metanol, % 80 markalı rakı-% 20 metanol, % 70 markalı rakı-% 30 metanol, % 60 markalı rakı -% 40 metanol numuneleri marka 1 isimli orijinal rakı numunelerinin içerisine metanol eklenerek hazırlanmıştır.

Daha sonra hazırlanan bu karışımların karmaşık dielektrik özellikleri prob kit yardımıyla ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 1.6.a ve Şekil 1.6.b'de verilmektedir. Marka 1 isimli rakı numunesinin ve saf metanolün metanolün dielektrik sabiti değerleri, 28.16 ve 11.52 olarak ölçülmüştür. Buna ek olarak ve % 90 markalı rakı -% 10 metanol, % 80 markalı rakı-% 20 metanol, % 70 markalı rakı-% 30 metanol, % 60 markalı rakı -% 40 metanol numunelerinin 1-8 GHz aralığında dielektrik sabiti değerleri sırasıyla 25.13, 22.75, 21.45 ve 18.93 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, markalı rakı numunesi içerisindeki metanol oranı arttıkça dielektrik sabiti değerlerinin reel kısmında lineer olarak bir azalma söz konusudur.

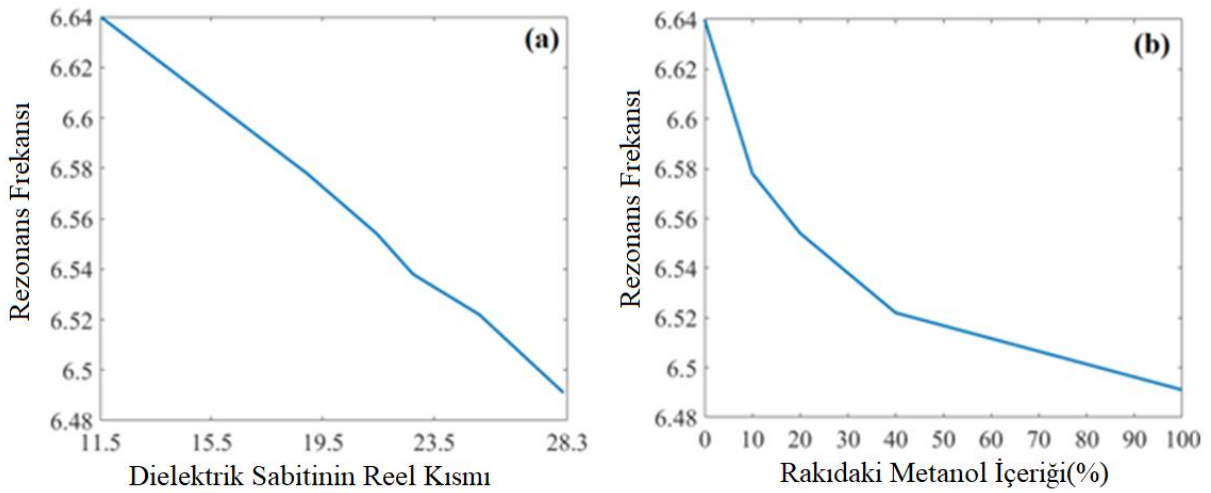


**Şekil 1.6.** Markalı rakı-metanol karışım numunelerinin farklı yoğunluktaki dielektrik sabit değerlerinin reel (a) ve imajiner (b) kısımları.

Önerilen sensör yapısı ile numerik ve deneysel sonuçlar elde etmek için öncelikle dielektrik sabitleri değerleri simülasyon programına tanımlanmıştır ve numerik çalışmalar simülasyon programı tarafından yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 1.7.a' da verilmiştir. Şekilde verildiği gibi her bir numune için elde edilen rezonans frekansları birbirinden farklıdır. Marka 1 tip rakı numunesi ve % 100 saf metanol için rezonans frekansları 6.49 GHz ve 6.64 GHz'de elde edilirken, karışımların rezonans frekansları 6.522 GHz, 6.538 GHz, 6.554 GHz ve 6.578'e eşittir. Ayrıca, rezonans frekans değerlerine bakıldığında, rezonans frekanslarındaki kaymanın lineer olduğu şekil 1.8.a ve şekil 1.8.b' de gösterildiği gibidir. Şekil 1.7.a'da görüldüğü üzere, markalı rakı içerisindeki metanol oranı arttıkça rezonans frekansı ileri yönde kaymaktadır. Toplam bant genişliği yaklaşık 150 MHz'e eşittir. Numerik analizi doğrulamak için deneysel çalışmalar yapılmıştır ve sonuçlar Şekil 1.7.b'de verilmektedir. Numerik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum vardır. İletim büyüklüklerindeki uyumsuzluk üretim lehimleme hataları, mükemmel olmayan test ekipmanı, kalibrasyon hataları ve kablolardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak önerilen sensör yapısının markalı rakıda metanol katkıntısını tespit edebildiği sonucuna varılmıştır.



**Şekil 1.7.** Markalı rakı-metanol karışım numunelerinin farklı konsantrasyonları için sayısal (a) ve deneysel (b) sonuçlar.



**Şekil 1.8.** Rezonans frekansı- dielektrik sabiti lineerlik grafiği(a) ve rezonans frekansı-yoğunluk lineerlik grafiği(b) .

## **2.ÇOK AMAÇLI METAMALZEME TABANLI İLETİM HATTI SENSÖR UYGULAMASI**

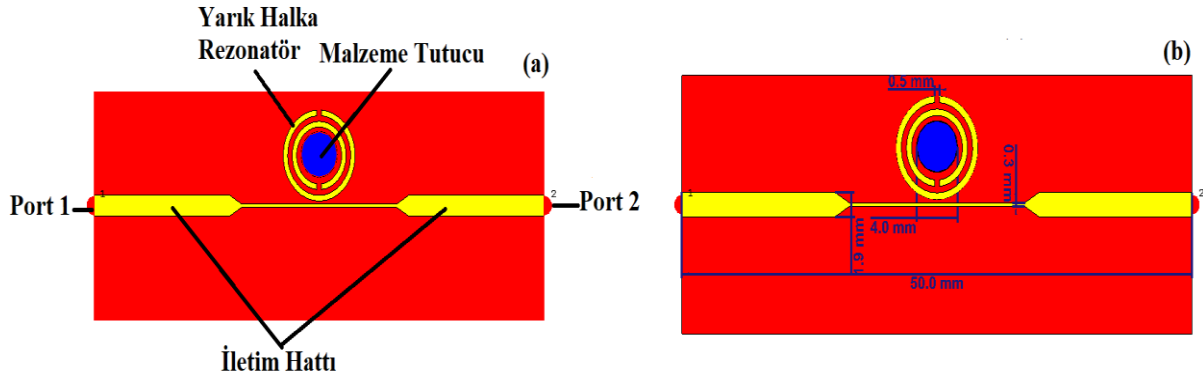
### **2.1 Giriş**

Bu çalışmada, öncelikle proje hedeflerinden biri olan farklı derişimlerdeki etanol-su ve metanol-su karşımalarının dielektrik sabiti değerleri prob kit ile ölçülmüş ve hazırlanan karşımalarının tespit eden bir sensör tasarlanmıştır. Buna ek olarak tasarlanan sensör su-eta-meta ve eta-su karşımları içerisindeki küçük miktarda bulunan metanol derişiminide tespit edebilmektedir. Öncelikle oluşturulan karşımaların dielektrik sabitleri prob kit yardımıyla ölçülmüş ve elde edilen dielektrik sabitleri değerlerine göre en iyi hassaslıkta bir iletim hattı tabanlı bir metamalzeme sensör tasarlanmıştır. Tasarım aşaması tamamlandıktan sonra elde edilen dielektrik sabiti değerleri simulasyon programına tanımlanarak öncelikle numerik sonuçlar ve ardından laboratuvar ortamında deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre etanol-su ve metanol-su karşımalarının rezonans frekasında kaymalar, su-eta-meta ve eta-su karşımları için ise dB değerlerinde lineer değişimler elde edilmiştir. Burdan hareketle tasarlanan sensör yapısının etanol, metanol derişim tespiti ve rakı içerisinde bulunan düşük miktardaki metanol derişimini tespit edebildiği görülmüştür.

### **2.2 Tasarlanan sensör yapısı ve boyutları**

Tasarlanan sensör yapısı aşağıda bulunan şekil 2.1.a'da gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere yapı boyunca uzanan bir iletim hattı bulunmakta ve onun hemen üstüne bir ayrık halka rezonatörü yerleştirilmiştir. Sayısal analizler yapmak için Sonlu İntegrasyon Tekniği (FIT) tabanlı yüksek frekanslı elektromanyetik çözücü simülasyon programı kullanılmıştır. Tasarlanan sensör yapısı, 3 farklı malzemenin üst üste binmesiyle oluşturulmuştur. Katmanın arka ve ön tarafı 0.035 mm kalınlığında ve  $5.8 \times 10^6$  S/m iletkenlikte bakır ile kaplanmıştır. Ara katman malzemesi olarak, Isola 680 kullanılmıştır. Kullanılan bu malzemenin dielektrik sabiti ve kayıp teğet sırasıyla 2.8 ve 0.0025'tir. Tasarım yapılırken, Şekil 1.a'da gösterildiği gibi, ayrık halka rezonatör (SRR) metamalzemeleri esaslı iletim hattı sensöründen esinlenilmiştir.

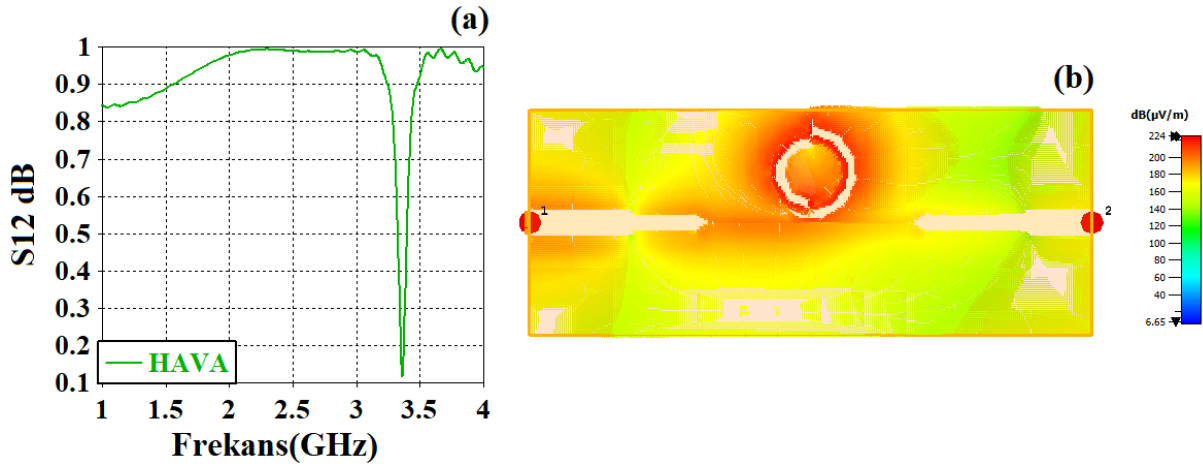
Buna ek olarak oluşturulan karşımları ölçüm esnasında yerleştirmek için arayüz tabakası oyularak bir malzeme tutucu tasarlanmıştır. Ayrıca, İletim hattının her iki tarafına port 1 ve port 2 tanımlanmıştır. Bu portlar üzerinde TEM dalga modu aktif edilerek portlar arasında iletilen ve yansıyan güç ölçülmüştür. Bu sensör uygulaması için sınır koşulları, x, y ve z yönlerinde açık ekleme alanı olarak ayarlanmıştır. Şekil 2.1.b de tasarlanan sensör yapısının boyutları verilmiştir. Burdan hareketle iletim hattının kalın kısmı 1.9 mm ince kısmı ise 0.3 mm olarak tasarlanmıştır. Malzeme tutucunun çapı 4mm ve halka rezonatör üzerindeki yarığın ise 0.5mm olarak ayarlanmıştır. Tüm bu değerler parametrik çalışmalar sonucunda en iyi hassaslığı veren sensör tasarımı için elde edilmiştir.



**Şekil 2.1.**Tasarlanan sensörün önden görünümü(a) ve boyutları(b)

### 2.3 S12 iletim katsayısı ve elektrik alan dağılımı

Tasarlanan sensör yapısının sensör kısmı hava ile doluyken elde edilen S12 iletim parametresi değeri büyüklük olarak şekil 2.2.a verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere rezonans frekansı 3.36 GHz'de elde edilmiştir.S12 iletim parametresi 1 numaralı porttan gönderilen enerjinin ne kadarının port 2'ye aktarıldığını temsil etmektedir. Buradan hareketle, gönderilen enerjinin sadece çok az bir kısmının port 2'ye ulaştığı şekil 2.2.a da S12 iletim parametresi değerinden açıkça belli olmaktadır. Bunu kanıtlamak için tasarlanan sensör yapısının 3.36 GHz' deki elektrik alan dağılımı şekil 2.2.b'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere elektrik alan yoğunluğu port 1 kısmında ve ayırık halka rezonatör çevresinde fazlayken, 2.port kısmında bu enerji yok denecek kadar azdır. Burdan hareketle gönderilen enerjinin büyük oranda rezonatörler üzerinde harcadığı açıktır.



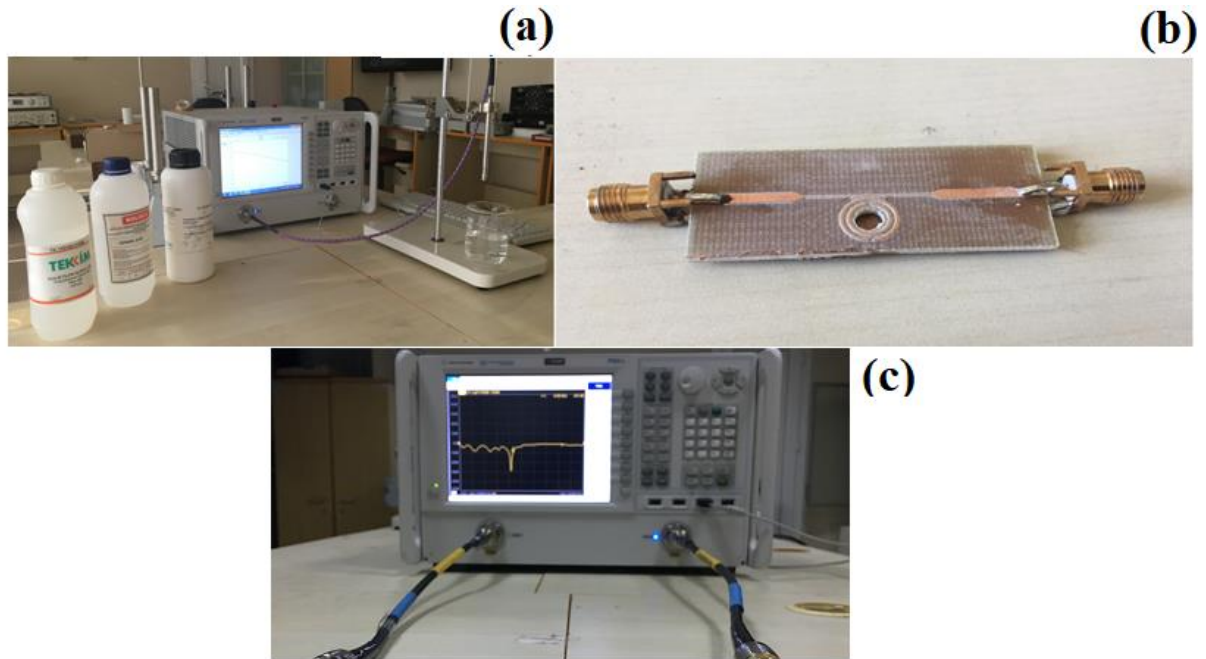
**Şekil 2.2.**Malzeme tutucu hava ile dolu olduğunda iletim katsayısı(a) ve 3.36 GHz'deki elektrik alan dağılımı

### 2.4 Üretim ve ölçüm düzeneği

Sensör uygulamasını gerçekleştirmek için , vector network analizöre koaksiyel kablo ile bağlı 85070 dielektrik prob kit ile dielektrik sabit değerleri şekil 2.3.a'da gösterildiği gibi ölçülmüştür. Tam ve kesin sonuç almak için ölçüme başlamadan önce 85070 dielektrik prob kiti kısa devre kiti, su ve açık hava ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilir.



Oluşturulan karışımların dielektrik sabit değerleri elde edildikten sonra, sayısal çalışmalar yapmak için veriler simülasyon programına yüklenmiştir ve en iyi hassasiyete sahip sensör tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sensör yapısı LPKF Proto MAT E33 prototipleme Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (CNC) makinesi tarafından şekil 2.3.b gösterildiği üzere üretilmiştir. Şekil 2.3.b görüldüğü üzere sensörün her iki kısmına enerji iletimini sağlamak için SMA port bağlanmıştır. Böylece, Enine Elektromanyetik (TEM) mod dalgası, iletim hattı tabanlı sensör yapısı üzerinde iletim hattı boyunca rahatlıkla ilerleyebilmektedir. Son aşama olarak deneysel çalışmalar, Şekil 2.3.c'de gösterildiği gibi Agilent PNA-L serisi vektör ağ analizörü (VNA) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, frekans aralığı 1GHz-4GHz olarak ayarlanmıştır ve vektör network analizör daha sonra açık devre, kısa devre ve 50 ohm'luk yük gibi kalibrasyon kitleri ile kalibre edilmiştir. Tasarlanan yapıya yapısına iki koaksiyel test kablosu bağlanarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın karışımlar üzerindeki istenmeyen etkilerini önlemek en aza indirmek için oda sıcaklığı koşullarında (25 ° C) gerçekleştirilmiştir. Böylece, ölçüm sırasında oluşabilecek hatalar en aza indirilmiştir.

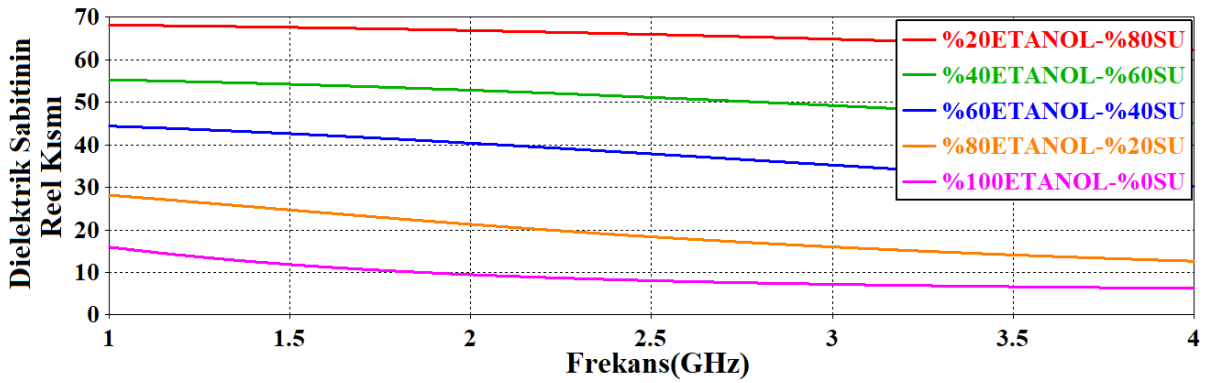


**Şekil 2.3.**Dielektrik sabiti ölçmek için prob kit(a),PCB tarafından üretilen sensör yapısı(b) ve deneysel ölçüm ortamı için kullanılan vektör analizör(c)

### 2.5 Etanol-Su karışımı için sensör uygulaması:

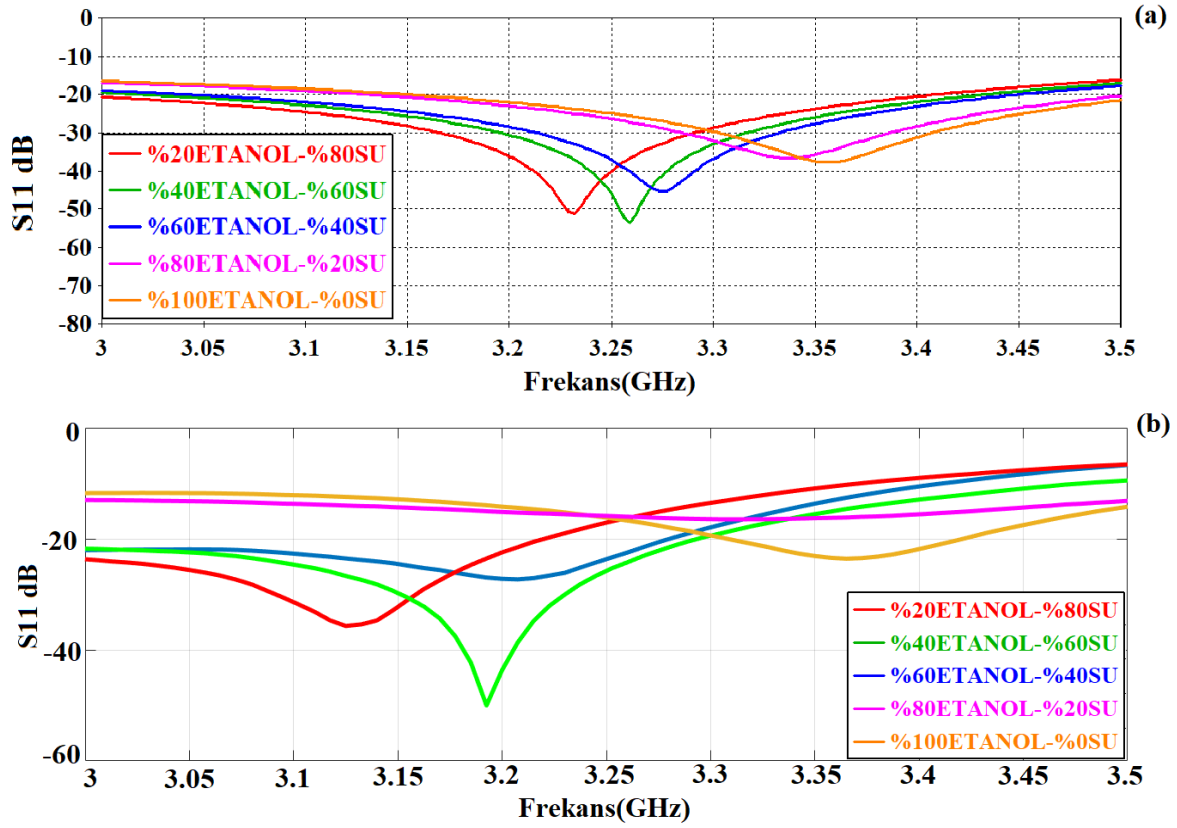
Çalışmanın bu bölümünde tasarlanan yapı ile gerçekleştirilen sensör uygulamaları anlatılacaktır. Öncelikle projenin hedeflerinden biri olan etanol-su derişiminin dielektrik sabiti değerlerinin elde edilmesi için gerçekleştirilen çalışma bu kısımda anlatılacaktır. Bunun için öncelikle belirlenen %20,%40, %60, %80 ve %100 derişime sahip numuneler saf etanol ve saf su numuneleri kullanılarak laboratuvar ortamında hazırlanmıştı ve elde edilen dielektrik sabiti değerleri ölçülerek şekil 2.4'te verilmiştir.

Elde edilen %20,%40, %60, %80 ve %100 gibi derişime sahip numunelerin dielektrik sabiti değerleri 1GHz'de sırasıyla 68,55,44,28 ve 15'e ,4 GHz'de 62,44,30,12 ve 6 gibi değerleri eşittir. Buradan hareketle artan etanol miktarına karşılık dielektrik sabiti değerlerinde lineer olarak azalma meydana gelmiştir.



**şekil 2.4.**Su-etanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri

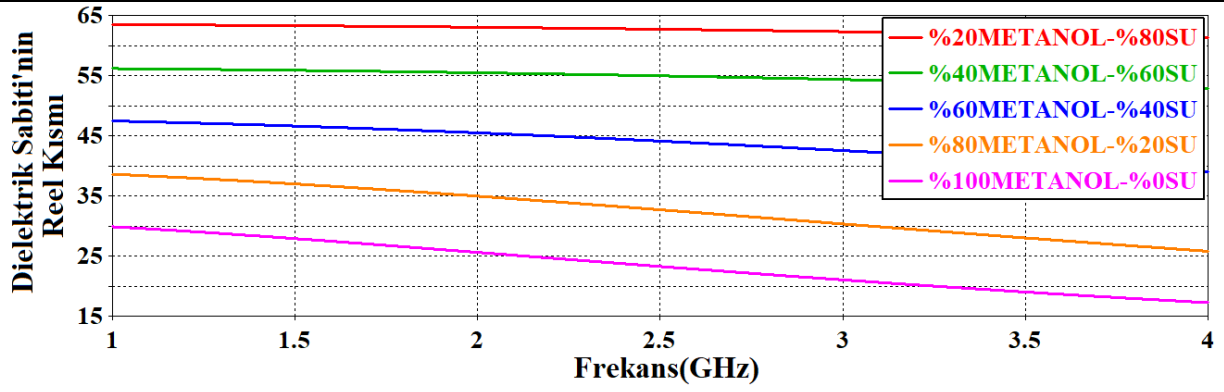
Dielektrik sabiti değerleri elde edildikten sonra, elde edilen datalar simulasyon programına tanımlanır ve numerik çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 2.5.a'da gösterilmiştir. Elde edilen %20,%40, %60, %80 ve %100 gibi derişime sahip numunelerin rezonans frekansları sırasıyla 3.23, 3.25,3.27,3.33,3.35 GHz olarak elde edilmiştir. Toplam band genişliği yaklaşık olarak 130 MHz olarak elde edilmiştir. Artan etanol miktarına bağlı olarak rezonans frekansında ileri yönde lineer olarak kaymalar meydana gelmiştir. Simulasyon çalışmalarından sonra deneysel sonuçları elde etmek için laboratuvar ortamında etanol-su derişimleri hazırlanmış ve numuneler malzeme tutucu kısmına yerleştirilerek S11 yansıma parametresi sonuçları şekil 2.5.b' de olduğu gibi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre rezonans frekansında simulasyon çalışmasında olduğu gibi artan etanol miktarına bağlı olarak lineer değişimler elde edilmiştir. Simulasyon ve deneysel sonuçlar arasında üretim, ortam vb. gibi nedenlerden dolayı azda olsa farklılıklar mevcuttur.



**Şekil 2.5.** Su-etanol karışımı için elde edilen numerik ve deneysel S11 yansımaya katsayısı sonuçları

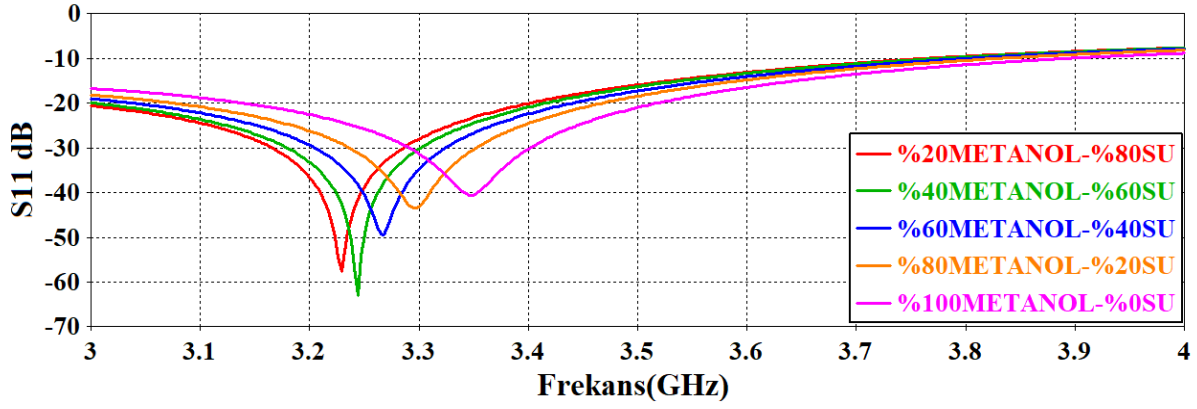
## 2.6 Metanol-Su karışımı için sensör uygulaması:

Yazılan projede gerçekleştirilmesi düşünülen bir diğer çalışma ise metanol-su karışımının dielektrik sabiti grafiklerinin elde edilmesi ve derişim tespiti yapan bir sensör tasarımıdır. Buradan hareketle, %20,%40, %60,%80 ve %100 derişime sahip numuneler saf metanol ve saf su numuneleri kullanılarak laboratuvar ortamında hazırlanmıştır ve elde edilen dielektrik sabiti değerleri şekil 2.6'da verilmiştir. Verilen grafikten de görüldüğü üzere %20,%40, %60,%80 ve %100 metanol derişimine sahip numunelerin dielektrik sabiti değerleri birbirinden farklı olarak elde edilmiştir. Bu değerler sırasıyla 1 GHz'de 63,56,47,38 ve 29 olarak 4 GHz'de ise 61,52,39,25 ve 17 olarak elde edilmiştir. Buradan hareketle %20 oranında artan metanol miktarına bağlı olarak dielektrik sabiti değerinde lineer olarak azalmalar meydana geldiği açıktır.



**Şekil 2.6.** Su-metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri

Dielektrik sabiti değerleri elde edildikten sonra simulasyon ve deneysel çalışmalar birbirini takip ederek devam etmiştir. Öncelikle tasarlanan sensör yapısındaki numerik sonuçları elde etmek için prob kitten alınan frekans bağımlı dielektrik sabiti değerleri sonlu integrasyon programına tanıtılarak simulasyon çalışmalar başlatılmış ve elde edilen sonuçlar şekil 2.7.a'da verilmiştir. %20,%40, %60,%80 ve %100 metanol derişimine sahip numunelerin rezonans frekansları sırasıyla 3.22, 3.244, 3.268, 3.295 ve 3.349 GHz de elde edilmiştir. Toplam band genişliği ortalama 125 MHz olarak elde edilmiştir. Artan metanol miktarına bağılı olarak rezonans frekansı değerlerinde ileri yönde lineer bir değişim vardır. Bu kısımda deneysel çalışmalar elimizde saf metanol çözeltisi kalmadığından ve pandemi sürecinden ötürü sipariş verilemediğinden dolayı yapılamamıştır.

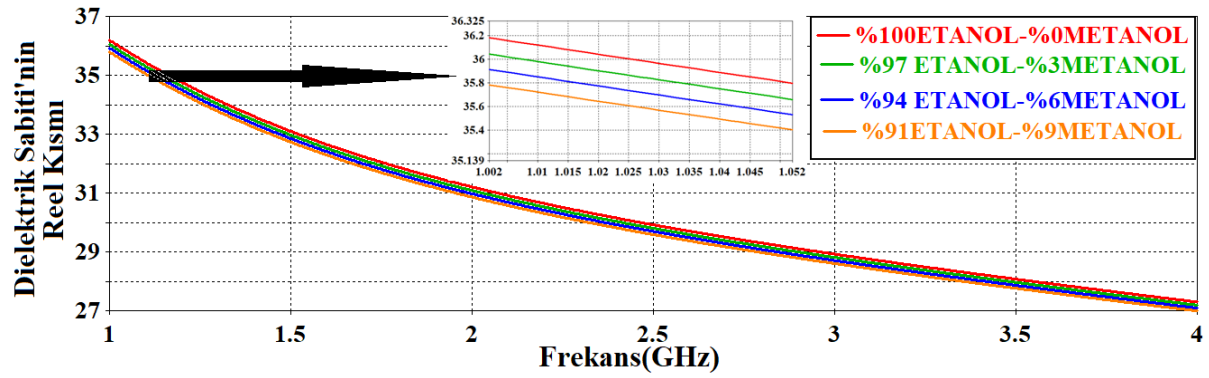


**Şekil 2.7.** Su-metanol karışımı için elde edilen numerik S11 yansımaya katsayısı sonuçları

## 2.7 Etanol-Metanol karışımı için sensör uygulaması:

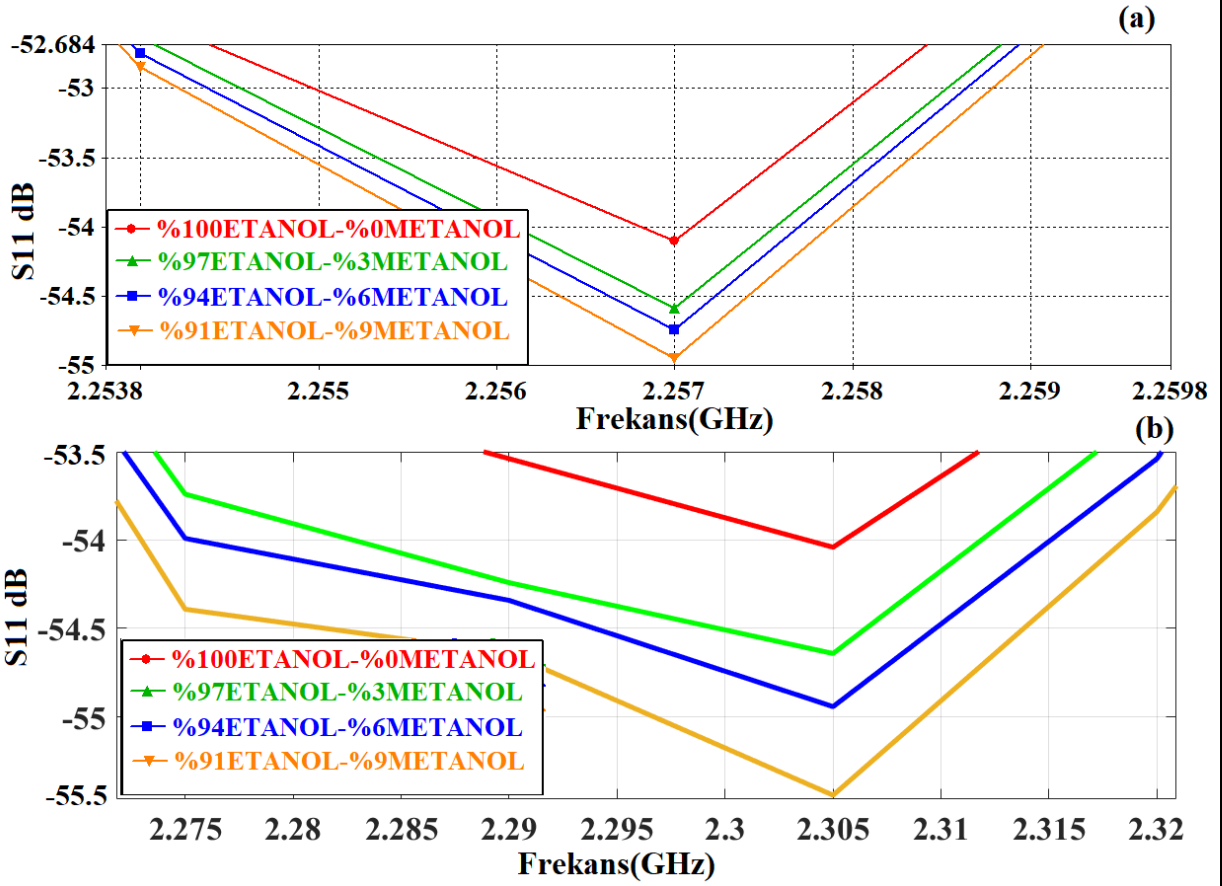
Metanol zehirlenmesi günümüzde en tehlikeli zehirlenmelerin başında gelmektedir. Metanol yapısı itibariyle formaldehit ve formic aside ayrılır ve baş ağrısı, yorgunluk, bulantı, bulanık görme ve hatta ölüm gibi sağlık sorunlarına neden olur. Bu yüzden günümüzde dünya üzerindeki bir çok ülke metanol zehirlenmelerini önlemek için içeceklerde metanol limiti uygulamasına gitmişlerdir. Dünya sağlık örgütü tarafından 1 litre etanolde kullanılan metanol miktarı 10 mg ve üzerinde olmaması gerektiğini belirtmektedir. DSÖ, kandaki 500 mg / l metanol konsantrasyonunun zehirlenmeye yol açarken, 1500-2000 mg / l'nin ölüme neden olabileceğini bildirmiştir. Bu sebepten ötürü metanol zehirlenmelerin önüne geçmek için bir çok sensör tasarımı yapılmıştır. Bu çalışmada iletim hattı tabanlı metamalzeme sensör uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen sensör en önemli avantajı her hangi bir lavaratuar incelemesine gerek kalmadan anında ve tam sonuç verebilme özelliğine sahip olmasıdır. Ayrıca bu alanda kullanılan sensörler çok pahalı olmakla birlikte tasarımı yapılan bu sensörün çok ucuz maliyetle üretim yapılabilir. Buda bir diğer avantajdır. Çalışmada öncelikle etanol içine çok düşük oranlarda metanol katılarak %100 etanol-%0metanol,%97etanol-%3metanol, %94 etanol-%6 metanol ve %91 etanol-%9 metanol gibi çok düşük oranlarda metanol içeren karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımların dielektrik sabiti değerleri prob kit yardımıyla ölçülerek frekans bağımlı değerleri şekil 2.8'deki gibi elde edilmiştir.1 GHz'de %100 etanol-%0metanol, %97etanol-%3metanol, %94 etanol-%6 metanol ve %91 etanol-%9 metanol karışımları için dielektrik sabiti değerleri sırasıyla 36.2, 36.06, 35.93, 35.79 değerlerine eşittir.

4 GHz'de bu değerler 27.30,27.18, 27.05 ve 26.93 gibi değerlere eşittir. Elde edilen sonuçlara göre etanol miktarı içinde metanol miktarı arttıkça dielektrik sabiti değerlerinde lineer olarak azalma meydana gelmektedir.



Şekil 2.8. Etanol-metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri

Frekans bağımlı dielektrik sabiti değerleri elde edildikten sonra elde edilen datalar simülasyon programına aktararak simülasyon çalışmaları tamamlanmıştır sonuçlar şekil 2.9.a'da gösterilmektedir. Buradan hareketle farklı derişime sahip etanol-metanol karışımlarının rezonans frekansı dielektrik sabiti değerlerinin birbirine çok yakın olmasından dolayı aynı kalmıştır fakat elde edilen dB değerleri farklılık göstermiştir. %100 etanol-%0metanol, %97etanol-%3metanol, %94 etanol-%6 metanol ve %91 etanol-%9 metanol karışımları için elde edilen dB değerleri sırasıyla -54.09 Db,-54.58Db,-54.74 dB ve -54.87 dB olarak elde edilmiştir. Etanol içerisindeki metanol miktarı arttıkça db değerinde lineer bir yükselme meydana gelmiştir. Simülasyon sonuçlarını doğrulamak için laboratuvar ortamında deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar şekil 2.9.b verilmiştir. Numerik ve deneysel sonuçlar birbirine çok yakın olmakla beraber üretim hatalarından dolayı farklılıklar mevcuttur.

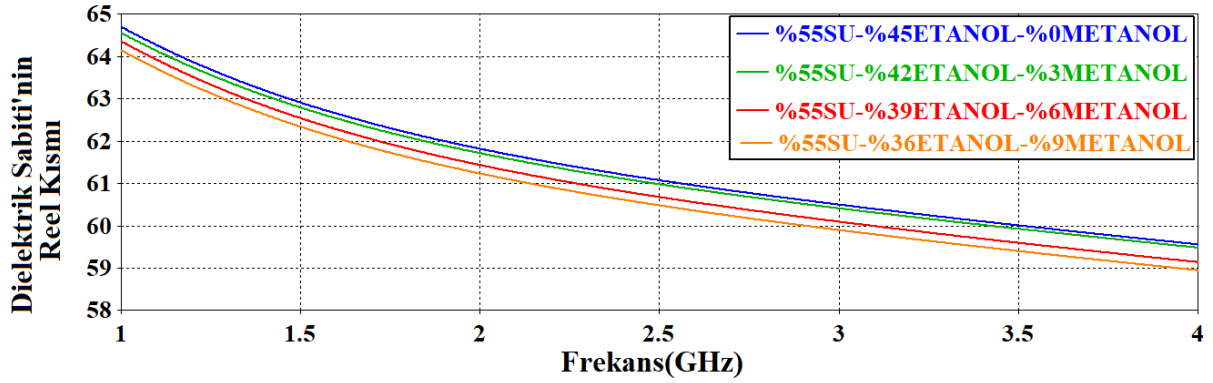


**Şekil 2.9.** Etanol-metanol karışımı için elde edilen numerik(a) ve deneysel(b) S11 yansımaya katsayısı sonuçları

## 2.8 Su-Etanol-Metanol karışımı için sensör uygulaması:

Rakı yapımında suma ve anason kullanılarak üretilen bir alkollü içecektir. Ülkemizde alkollü içecek olarak yaygın olarak kullanılan rakı içerisinde büyük miktarda etil alkol ve çok küçük miktarlar da metil alkol,asetat, vb. gibi bir çok alkol bileşenini barındırmaktadır.Türk gıda codexine göre rakı içerisindeki alkol içeriği toplam hacmin %40'ının altında olmaması gerekmektedir.Ülkemizde yasal olarak bandrollü şekilde üretilen rakıların yanında,ev ortamında üretilen 'boğma rakı' olarakta adlandırılan rakılarda vardır.KontROLSÜZ olarak üretilen bu rakı,fermantasyon sürecinde ortaya çıkan metanol içeriğinin alınmamasından dolayı zaman zaman ülkemizde ölümlere sebep olmaktadır.Bu çalışmamızda boğma rakılarda ortaya çıkan metanol miktarını belirlemek için bir sensör yapısı geliştirilmiştir.Rakı içerisinde yüksek miktarda etanol ve çok az miktarda metanol bulunduğundan, laboratuvar ortamında alkol miktarı %45'te sabit kalacak şekilde,su-etanol karışımı içerisine çok az miktarda metanol eklenerek,boğma rakıda içerisinde metanol miktarını bulmaya yönelik bir ön çalışma yapılmak istenmiştir.Öncelikle %55su-%45etanol-%0metanol, %55 su - %42 etanol- %3 metanol, %55su-%39etanol-%6metanol, %55su-%436etanol-%9metanol karışımları oluşturularak dielektrik sabiti değerleri prob kit yardımıyla ölçülmüştür ve sonuçlar şekil 2.10'da verilmiştir.1 GHz'de 64.69,69.55,64.34,64.14 gibi değerler elde edilirken 4 GHz'de 59.55,59.47,59.13 ve 58.94

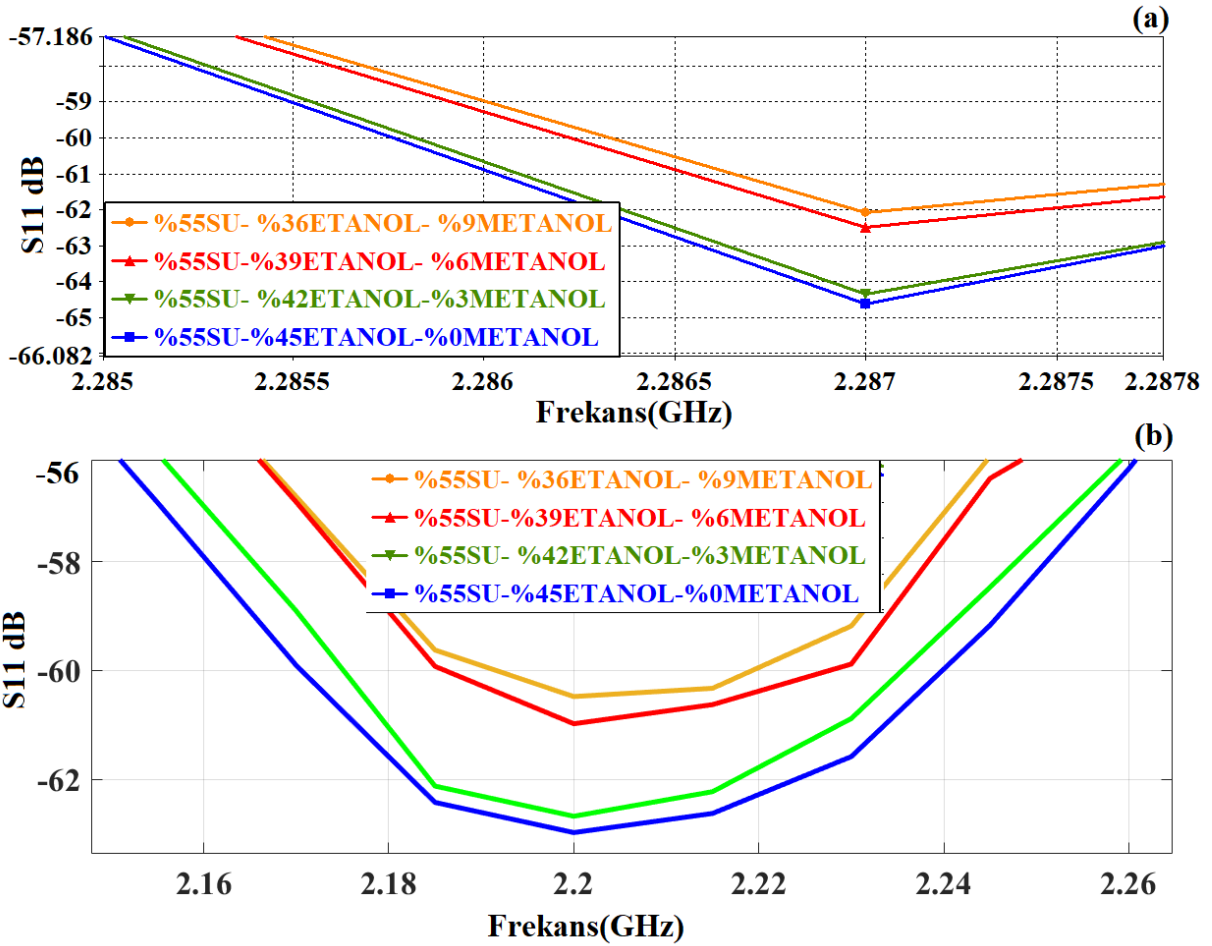
değerlerine eşittir. Artan metanol miktarına oranla dielektrik sabiti değerinde lineer bir azalma meydana gelmiştir.



**Şekil 2.10.** Su-Etanol-Metanol karışımının 1-4 GHz aralığındaki ölçülen dielektrik sabiti değerleri

Dielektrik sabiti grafikleri elde edildikten sonra tasarlanan sensörün sıvı haznesi kısmına hazırlanan karışımlar sırasıyla eklenerek numerik çalışmalar için S11 yansımaya katsayısı grafiği şekil 2.11.a gösterildiği gibi elde edilmiştir. Rezonans frekansı 2.28 GHzde sabit olmakla beraber malzemelerin yansımaya katsayısı db değerleri birbirinden farklılık göstermiştir. %55su-%45etanol-%0metanol, %55 su - %42 etanol- %3 metanol, %55su-%39etanol-%6metanol, %55su-%436etanol-%9metanol karışımları için db değerleri sırasıyla -64.51,-64.34,-62.50,-62.06 olarak elde edilmiştir. Karışım içerisindeki metanol miktarı arttıkça dB değerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Simulasyon sonuçları elde edildikten karışımlar laboratuvar ortamında hazırlanarak üretilen sensörün sıvı haznesi kısmına yerleştirilip deneysel ölçümler alınmış ve sonuçlar şekil 2.11.b de verilmiştir.





**Şekil 2.11.** Su-etanol-metanol karışımı için elde edilen numerik(a) ve deneysel(b) S11 yansıma katsayısı sonuçları

## SONUÇ VE ÖNERİLER

119E034 nolu ve "Metamalzeme Tabanlı Sensör İle Sahte Rakıdaki Metanol Tespiti" isimli proje kapsamında 2 ayrı çalışma yapılarak proje hedeflerine ulaşılmaya çalışılmıştır. 1.çalışmada ilk kısmında ülke genelinde en çok satılıp tüketilen 4 farklı rakı çeşidinin öncelikle dielektrik sabiti değerleri ölçülmüştür ve elektriksel özellikler açısından hemen hemen yakın özellikler ortaya koyduğu gösterilmiştir. İkinci kısımda ise,orijinal marka 1 isimli rakı numunesinin içerisine farklı derişimlerde metanol ekleyerek,rakı numuneleri içerisindeki metanol derişimi tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır.Öncelikle frekans aralığı 1-8 GHz olarak ayarlanmış ve oluşturulan karışımların dielektrik sabiti değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bu datalar simulyon programına tanımlanarak numerik sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre,% 100 markalı rakı ve % 100 metanolün rezonans frekansları 6.49GHz ve 6.64 GHz'de elde edilip, belirli oranda yapılan karışımların rezonans frekansları sırasıyla 6.522 GHz, 6.538 GHz, 6.554 GHz ve 6.578'e eşittir. Burdan hareketle markalı rakı içerisindeki rmetanol miktarı arttıkça rezonans frekansında lineer bir kayma meydana gelmiştir.

2.çalışmada ise öncelikle projenin hedeflerinden birini gerçekleştirmek için belirli oranda etanol-su ve metanol-su derişimleri oluşturulmuştur. Oluşturulun bu karışımların dielektrik sabitleri ölçülmüş ve derişim tespit eden bir sensör tasarımı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre,tasarlanan sensör yapısı farklı derişimlerdeki etanol-su ve metanol su karışımlarının yoğunluğunu tespit edebilmektedir. İkinci çalışmada ise evlerde amatörce üretilen boğma rakılarıdaki metanol zehirlenmesini önüne geçebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Boğma rakıyı temsil etmesi açısından alkol miktarı %45'te tutularak su-etanol karışımı içerisine çok küçük miktarlarda metanol katılarak, oluşan bu karışimdaki metanol miktarı tespit edilmiştir.Ayrıca bir diğer çalışmadada etanol içerisine çok düşük oranlarda metanol katılarak, etanol içerisinde metanol tespiti yapılmıştır

Bu çalışmaların yenilikçi tarafı bundan önce metamalzeme tabanlı sensör ile böyle bir çalışmanın yapılmamış olmasıdır. Böylelikle literatüre yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Ayrıca, tasarlanan sensörün taşınabilir olmaya aday olması, üretimi ucuz ve anında sonuç vermesi, diğer avantajlarından biridir. Bu tasarlanan sensörle kaçak rakı tespiti yapılmak istenen durumlarda laboratuvar ölçümüne gerek kalmadan olay yerinde ölçüm yapabilme şansı ortaya çıkmıştır. Bu çalışma diğer çalışmalar için bir ön çalışma niteliğindedir.İlerleyen zamanlarda tasarlanan sensörü taşınabilir duruma getirmek amacıyla bir vektör analizörün yerine geçecek bir baskı devre kartı tasarlanması hedeflenmektedir.

Bu proje sonucunda 1. Çalışmanın makale yazımı tamamlanmış olup SCI indeksli bir dergiye gönderilmiştir. 2. çalışmasının ise makale yazımı devam etmektedir. Pandemiden dolayı konferans bildirisi yapılamamıştır. İlerleyen zamanlarda ilk fırsatta bir kongre bildiri yapılması düşünülmektedir.

## 2.Dönem İçinde İdari Gelişmeler

İdari gelişme bulunmamaktadır

## 3.Proje Çalışma Takvimine Uygun Yürümüyorsa Gerekçeleri

Proje İş-Zaman çizelgesine uygun olarak yürütülmüştür.

## 4.Bir Sonraki Dönemde Yapılması Planlanan Çalışmalar

Proje Tamamlanmıştır

## 5.Destekleyen Diğer Kuruluşlarla İlgili Sorunlar Varsa Ayrıntıları ve Çözüm Önerileri

Projeyi destekleyen bir başka kurum yoktur.

## 6.Dönem İçinde Proje Kapsamında Yapılan veya hazırlanan Yayınlar ve Toplantılarda Sunulan Bildiriler

Sıra	Çıktı türü	Yazarlar	Başlık	Yayın yeri	Durumu*
	MAKALE	Sekip Dalgac, Serap Kiris, Ayse Incesu, Oguzhan Akgol, Muharrem Karaaslan, Emin Unal, Cumali Sabah, Mustafa Tunahan Basar	Investigation of Methanol Contaminated Raki Using Metamaterial Based Transmission Line Sensor		Hakem Değerlendirmesinde

\* Hakem değerlendirmesinde, Yayınlanmaya kabul edildi, Yayınlandı

<b>Proje Hedefi</b>	<b>Gerçekleştirilen Hedef</b>
Metamalzeme tabanlı sıvı sensör tasarımı için <b>300MHz-43.5GHz</b> frekans aralığında etanol-su ve metanol-sukarışımı sıvılarının <b>koaksiyel prob yöntemi</b> kullanarak dielektrik katsayılarının belirlenmesi <b>projenin ilk hedefidir.</b>	2.çalışmada farklı derişimlerde etanol-su ve metanol-su karışimleri oluşturularak malzemelerin dielektrik sabiti değerleri 1-4 GHz aralığında ölçülmüştür.
Dielektrik katsayıları belirlenen etanol ve metanol karışimleri ile iletim hattı temelli metamalzeme tabanlı sıvı sensörlerin tasarımının, karakterizasyonunun ve üretiminin yapılması <b>projenin ikinci hedefidir</b>	Dielektrik sabiti değerleri ölçülen etanol-su ve metanol-su karışimleri için 2.çalışmada bir sensör tasarımı yapılmıştır.Elde edilen band genişlikleri sırasıyla 130 MHz ve 125 MHz'dir.Yeterli hassaslıkta sensör tasarımı yapıldıktan sonra üretim aşamasına geçilmiş ve PCB cihazıyla 2. Çalışmada görülen sensör üretilmiştir.
Tasarlanan metamalzeme tabanlı mikroakışkan sensörler ile farklı sahte/gerçek rakı numunelerinin özelliklerinin tespit edilmesi ve bu tespitlerin yorumlanıp sonuca varılması <b>projenin son hedefidir</b>	Bu hedefi gerçekleştirmek için 1.çalışmada orijinal rakı içerisine belirli oranlarda metanol karıştırılarak, rakı içerisindeki metanol miktarını algılayabilen bir sensör tasarlanmıştır ve üretimi yapılmıştır. Böylelikle metanol katkıntılı kaçak rakı tespiti yapılmıştır. Buna ek olarak 2.çalışmada rakıdaki metanol zehirlenmesinin önüne geçebilmek için bir sensör tasarımı yapılmıştır.Böylelikle 2 çalışmayla hedefe açık bir şekilde ulaşılmıştır.
Projenin genel olarak baktığımızda en önemli hedefi ise bu konu ile ilgili ilk özgün çalışmaların ortaya konulacak olması ve <b>sonraki çalışmalar için kaynak oluşturacak olmasıdır</b>	Tasarlanan yenilikçi sensörlerle literatüre yeni bir bakış açısı getirilmiştir. Tasarlanan sensör metamalzeme tabanlı olması ve literatürde önceden yapılmış böyle çalışmaların olmaması konunun özgünlüğünü ortaya koymaktadır. Ayrıca tasarlanan sensör yeni bir bakış açısı getirdiğinden dolayı gelecek çalışmalar için bir kaynak olacaktır.

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Doç. Dr. OĞUZHAN AKGÖL
Proje No:	119E034
Proje Başlığı:	Metamalzeme Tabanlı Sensör İle Sahte Rakıdaki Metanol Tespiti
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSKENDERUN TEKNİK Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/08/2019 - 15/08/2020
Onaylanan Bütçe:	39600.0
Harcanan Bütçe:	27850.0
Öz:	<p>Gerçekleştirilen bu projede ülkemizde yaygın olan kaçak rakı üretiminin tespitine dayalı metamalzeme tabanlı iletim hattı sensör tasarımları ortaya konulmuştur. Tasarlanan bu sensörlerde kullanılan yöntem ise dielektrik sabiti değişimine bağlı olarak sensörün kapasitif değerinde değişimlerin meydana gelmesiyle rezonans frekanslarında lineer kaymalar meydana getirmesiyle açıklanabilir. Kaçak rakı tespitine ve proje hedeflerine bağlı kalınarak 2 farklı çalışma yapılmıştır. İlk çalışmada ülkemizde en çok tüketilen orijinal bandrollü 4 farklı rakı çeşidinin elektriksel açıdan benzer özellik gösterdiğini kanıtlamak için dielektrik sabiti değerleri ölçülmüştür. Buna ek olarak orijinal marka 1 isimli rakı numunesinin içerisine metanol katılarak metanol-orijinal rakı karışımları oluşturulmuş böylelikle rakı numuneleri içerisindeki metanol derişimi tespit edilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Böylelikle orijinal bandrollü rakıların elektriksel açıdan benzer özellik taşıdığına ve içerisine methanol eklenmesi durumunda bunun sensör yardımıyla tespit edilebileceği ortaya konulmuştur. 2.çalışmada ise belirli oranda etanol-su ve metanol-su derişimleri oluşturulmuştur. Oluşturulun bu karışımların dielektrik sabitleri ölçülmüş ve derişim tespit eden bir sensör tasarımı yapılmıştır. Bir diğer çalışmada ise evlerde amatörce üretilen boğma rakıdaki metanol zehirlenmesini önüne geçebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Boğma rakıyı temsil etmesi açısından alkol miktarı %45'te tutularak su-etanol karışımı içerisine çok küçük miktarlarda metanol katılarak karışımlar oluşturulmuş ve oluşan bu karışımdaki metanol miktarı tespit edilmiştir. Ve buna ek olarak methanol zehirlenmesinin tespit etmek amacıyla etanol içerisine çok düşük oranlarda metanol katılmış, etanol içerisinde metanol tespiti yapılmıştır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Elektromanyetik, Metamalzeme, Sensör, İletim Hattı
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Evet