

PCB Dairesel Yama Anten Tabanlı Etanol ve Metanol Algılayıcı Tasarımı

Oğuzhan AKGÖL^{*1}

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay

Geliş tarihi: 12.02.2018

Kabul tarihi: 29.06.2018

Öz

Bu çalışmada, PCB (Printed Circuit Board - Baskı Devre) dairesel mikroşerit anten kullanılarak etanol+su ve metanol+su karışımlarının miktarlarını algılayabilecek bir algılayıcı tasarlanmıştır. Antenin alt zemini üzerinde tam merkezde açılan dairesel bir boşluk ile birlikte sistemin 3 GHz frekansında çalışabilmesi için optimizasyon yapılmış ve bunun sonucunda geometrik değerler elde edilmiştir. Analizler gerçekleştirilirken dairesel boşluğa, alt iletken yapıya temas etmeden sıvı karışım numunesinin yerleştirilmesi sağlanmış ve rezonans frekansının değişiminin test altındaki numunelerin karışım yüzdeleriyle ilişkisi ortaya konmuştur. Rezonans frekansı etanol su karışımı için 44 MHz'lik bir algılama bandı sunmakta ve bu aralık metanol su karışımı için yaklaşık 38 MHz civarında olmaktadır. Rezonans frekanslarında oluşan değişimler doğrusala çok yakın olup, hem etanol hem de metanol karışımlarının yüzdelerini çok yüksek hassasiyetle ve gerçek zamanlı olarak belirlemeye imkan sağlamaktadır. Tasarlanan anten ve algılayıcı yapı hem düşük profile, düşük maliyete sahip olup hem de yüksek hassasiyetli ve eş zamanlı ölçüm kapasitesine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Anten biyo-algılayıcı, Dairesel anten, Etanol ve metanol algılama, PCB yama anten, Anten tabanlı sensör

PCB Circular Patch Antenna Based Ethanol and Methanol Sensor Design

Abstract

In this study, a sensor that can distinguish ethanol+water and methanol+water mixture amount by using PCB (Printed Circuit Board) circular microstrip antenna is designed. On the ground plane of the antenna, a circular slot was made at the center and it was optimized so that the proposed sensor can work at $f=3$ GHz frequency and the geometrical dimensions are calculated accordingly. While performing the analysis, the placement of the liquid mixture is arranged so that the sample under test does not touch to the ground plane and the correlation between the percentages of the mixtures with the changes in the resonance frequency is determined. The resonance frequency shifts provide a frequency range of 44 MHz and this range is about 38 MHz for methanol mixtures. The changes observed in the resonance frequency

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Oğuzhan AKGÖL, oguzhan.akgol@iste.edu.tr

are very close to linear changes which allow the determination of the percentages of both ethanol and methanol mixtures with very high precision and in real time. The designed antenna and sensor structure has low profile, low cost and also the capacity of real-time and very precise measurement.

Keywords: Antenna bio-sensor, Circular patch antenna, Ethanol and methanol sensing, PCP patch antenna, Antenna based sensor

1. GİRİŞ

Algılayıcı (Sensör) uygulamaları her zaman bilim adamlarının ilgi odağı olmuştur. Bu yüzden gelişen teknoloji ile birlikte, daha hassas ve farklı alanlarda kullanılacak algılayıcılar hem bilim adamları tarafından hem de mühendisler tarafından çalışılmaktadır. Metamalzeme tabanlı mikrodalga sensörler etanol oranı tespitinde 3-5 GHz aralığında yakın zamanda kullanılmıştır [1]. RF tabanlı mikrodalga sensörler ayrıca kutuplu sıvıların belirlenmesi için de denenmiştir [2]. Ayrıca, antenlerde dielektrik özelliğinin tespiti amacı ile kullanımı da yaygındır [3]. Su-etanol bileşimi oranı tespitinde mikroşerit hat tabanlı kimyasal sensörler kullanılmıştır [7]. Kullanılan sensörler eşleştirilmiş özellikli ya da ayrıık halka özelliğine sahip metamalzemelerdir [8]. Ayrıca, yine sıvı etanol tespitinde 70 MHz hassasiyetli 8 modlu antenler minyatür kimyasal sensör olarak ele alınmıştır [9]. Ayrıık halka rezonatörleri ile yüklü yamaların etanol tespitinde kullanıldığı çalışmada kalite faktörü tespiti denenmiştir [12]. Bu çalışmada %10 hassasiyet sağlanmıştır. Yine etanol ve metanolün tespiti amacı ile metamalzeme tabanlı kimyasal sensörler 230 kalite faktörü ile gerçekleştirilmiştir [10]. Etanol miktarı belirlenmesi amacı ile metamalzeme tabanlı sinyal emicilerde kullanılmıştır [11].

Antenlerin çok değişik alanlarda kullanımı mevcut olup algılayıcı olarak kullanımında, gerçek zamanlı ve hassas ölçüm gibi çok önemli avantajlar sunmaktadır. Bu çalışmada farklı elektriksel geçirgenlik (ϵ) ve kayıp tanjant (loss tangent) değerlerine sahip çeşitli su+etanol ve su+metanol karışımlarının (%0-%100) $f=3$ GHz frekansında çalışacak şekilde tasarlanan dairesel mikroşerit anten ile algılanması gerçekleştirilmektedir. Tasarlanan anten yapısı küçük boyutlara sahip olma, gerçek zamanlı ve

hassas duyarlılığa ve düşük profile sahip olma gibi birçok avantaja sahiptir.

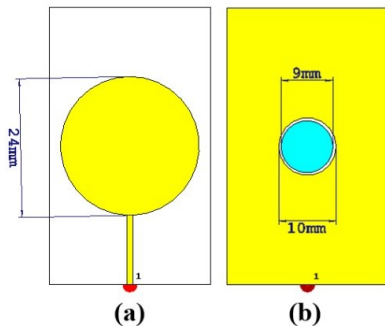
Antenin ön yüzeyinde bir dairesel yama bulunup mikroşerit hat ile ayrıık bir porta bağlanmaktadır. Arka yüzeyinde ise bakır kaplı olup merkezinden algılamanın yapılabilmesi için bir dairesel kesinti alınmıştır. Algılanmak istenen karışımın elektromanyetik özelliklerine göre tasarlanan antenin çalışma frekansı doğrusal bir şekilde kaymaktadır. Saçılım parametreleri olarak da bilinen S-Parametrelerinden S_{11} parametresindeki değişim göz önüne alınarak test için bırakılan sıvının karışım miktarının tespiti kolayca gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde bio-algılayıcı olarak da bilinen bu tür yapılarla çeşitli algılayıcı çalışmaları sunulmaktadır [4-5]. Bunun yanında antenler çok önemli testlerde mikrodalga sensörleri olarak incelenmiştir. Örneğin, çatlak ve dayanıklılık tespiti [6] bunlardan önemli olanlarından biridir. Bununla birlikte, antenler ile etanol ve metanol karışımlarını birlikte inceleyen ve ayrıştırılmasına yönelik çalışmalar fazla değildir ve sunulan model oldukça hassas bir ölçüm sunmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Algılayıcı anten yapısının tasarımı için geri dönüşüm kaybı (S_{11}) parametresinin istenilen frekansta ($f=3$ GHz) rezonansa girmesi sağlanmıştır. Bu frekansta iyi bir uzak alan yayılımı gösterebilecek dairesel bir yapı tercih edilmiş ve geometrik parametreleri buna uygun optimize edilmiştir. Şekil 1'de antenin ön ve arka yüzeyinin yapısı görünmektedir.

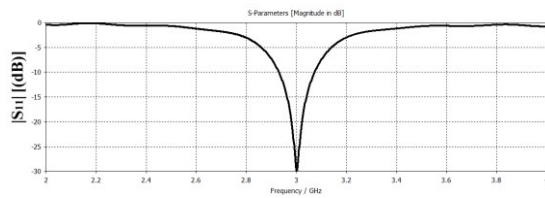
Antenin analizinde ayrıık port kullanılmış ve SMA konektörlere uygun bir bağlantı göz önünde bulundurulmuştur. Böylece pratik uygulamalarda yapının kullanılması daha kolay, düşük boyutlu ve

az maliyetli olacaktır. Şekilden görüldüğü gibi antenin yayılım yapan yama kısmı dairesel şeklinde ve optimizasyon sonucu çapı $D=24$ mm olarak alınmıştır. Beslenme için kullanılan mikroşerit hattın ise 1 mm kalınlıkta olması gerektiği bulunmuştur. Tasarımda $35 \mu\text{m}$ kalınlığında ve $5,80001 \times 10^7$ iletkenliğe sahip bakır cinsi metal tercih edilmiştir. Ara yapı için ise 1,6 mm kalınlığında 0,02 kayıp tanjant ve 4,30 bağıl geçirgenliğe sahip FR4 malzemesi seçilmiştir. 9 mm çapındaki numunenin yerleştirilebilmesi için antenin arka tarafında 10 mm çapında bir boşluk açılmıştır.



Şekil 1. PCB mikroşerit dairesel yama antenin detaylı ön (a) ve Arka Görünümü (b)

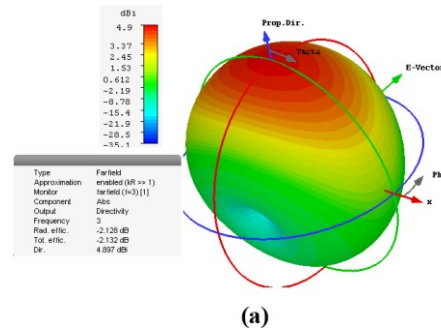
Tasarlanan algılayıcı çalışmasının analizi için FIT (Finite-Integration Technique) tabanlı elektromanyetik simülasyon programı kullanılmıştır. Simülasyon içinde bir tane ayrık port tanımlanmış ve geri dönüşüm kayıplarının rezonans değişimleri incelenmiştir. Optimize edilen antenin geri dönüş kaybı olarak da bilinen S_{11} parametresinin grafiği Şekil 2’de verilmiştir.



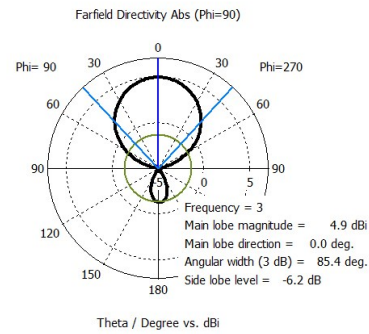
Şekil 2. Antenin geri dönüş kaybı grafiği (S_{11})

Görüleceği üzere, tasarlanan yama anten 3 GHz frekansında rezonansa girmekte ve en fazla enerji iletimi bu frekansta gerçekleşmektedir. Anten endüstrisinde kullanım alanına göre S_{11} değerinin

-10 dB veya -15 dB değerinin altında olması istenmektedir. Şekilden görüldüğü gibi antenin çalışma frekansındaki S_{11} değeri yaklaşık -30 dB seviyesindedir ve bu seviye antenin istenen noktada iyi yayılım yaptığını göstermektedir. Eğer -10 dB seviyesi referans alınırsa, antenin bant genişliği yaklaşık 143 MHz civarında oluşmuştur.



(a)



(b)

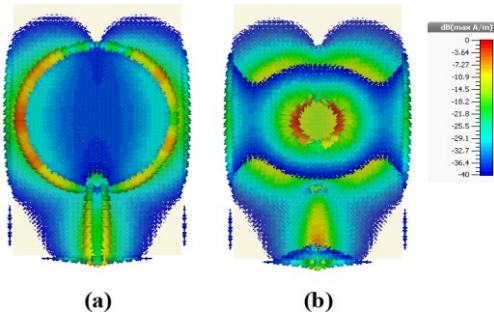
Şekil 3. Dairesel yama antenin uzak alan ışınımının üç boyutlu (a) ve Polar gösterimi (b)

Tasarlanan antenin sensör özelliğinin dışında da iyi yayılım yaptığını göstermek için uzak alan ışınımına da bakılması gerekmektedir. Uzak alan ışınımının üç boyutlu ve polar gösterimleri sırasıyla Şekil 3(a) ve (b)’de verilmiştir. Bu şekillerden görüleceği gibi yayılım ana lob üzerinde yoğunlaşmıştır ve yan loblar yok denecek kadar azdır ve arka lob ise çok düşük seviyededir. Daha sonra yapılacak çalışmalarda, etanol, metanol veya başka sıvıların bulunduğu sıvı sensörleri için veya hareket, basınç ve denge sensörleri gibi uygulamalar için bu parametrelerin değişimleri de kontrol edilip, algılama için kullanılabilir. Diğer bir bakış açısıyla bakılırsa,

senör katmanına bırakılacak malzemeyle antenin temel parametrelerinin iyileştirilmesi veya arzu edilen seviyeye getirilmesi sağlanabilir.

Önerilen antenin polar görüntüsüne bakılırsa antenimizin yönlülüğünün izotropik antene kıyasla 4,9 dB, ışınma açısının 85,4° ve ana lob yönünün istenildiği gibi 0° noktasında olduğu görülebilir. Ayrıca, arka lobun seviyesinin düşük seviyede ve -6,2 dB değerinde olduğu görülmektedir. Anten endüstrisinde önemli parametrelerden olan ön-arka lob oranının bu değerlerin toplamı şeklinde 4,9+6,2=11,1 dB'lik iyi sayılabilecek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Arka lobun biraz yüksek olmasının sebebi ise arka kısımda algılama işlemini yapmak için açtığımız oyukun varlığından kaynaklanmaktadır. Burada bulunan bakır plaka normal şartlarda gelen dalgayı tam yansıtarak ışınmanın yoğunluğunu daha fazla artıracak ve arka lobun değerini daha düşük seviyelere çekecektir. Fakat algılayıcı olarak kullanılması planlanan anten yapısında arka lob ve kazanç değerlerinden ziyade test altındaki numunenin karışım oranına göre rezonans değerinin değişimi gözlemlenmektedir.

Tasarlandığı üzere, dairesel yama antenin arka yüzeyinde oluşturulan oyukta test edilecek karışım yerleştirilmektedir. Yüzey akım dağılımların gösterildiği Şekil 4'ten de görüldüğü gibi bu oyuk oldukça hassas davranmakta ve bu oyuk etrafında yüzey akımları yoğun bir biçimde oluşmaktadır. PCB tekniğiyle tasarlanan anten düşük profil ve düşük maliyete sahip olduğundan oldukça kolay ve mevcut sistemlere de uygulanabilecek pahalı olmayan bir uygulama imkanı sağlamaktadır.



Şekil 4. Antenin ön (a) ve arka (b) yüzeyindeki akım dağılımları

Sunulan dairesel tabanlı anten algılayıcının amacı saf su içine katılan etanol ve metanol miktarlarının tespitini yapmaktır. Tasarlanan algılayıcının sıvı karışım miktarını algılama kapasitesini kontrol etmek için farklı oranlardaki etanol ve metanol ve su karışımları kullanılmıştır. Dikkatlice oluşturulan bu karışımların dielektrik sabitlerini (ϵ') ve kayıp tanjant değerlerini bulmak için laboratuvarımızda bulunan Agilent 85070E dielektrik probe ve bu aparatın bağlı bulunduğu PNA-L Agilent vektör network analizör cihazı (VNA) kullanılmıştır. Bu analizörün çalışma bandı 43,5 GHz frekansına kadar olan geniş bir spektrumu kapsamaktadır.

Dielektrik prob seti kullanılmadan önce elektromanyetik özellikleri bilinen ve sistemde kayıtlı olan saf su, hava ve kalibrasyon setinde bulunan kısa devre aparatı ile sistem kalibre edilmiş ve saf su ile ilk ölçüm alınarak kalibrasyon kontrol edilmiştir. Tüm ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra yapılan ölçümler sonucunda bulunan değerler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelge 1 ve 2'den görüleceği gibi dielektrik katsayısının gerçel kısmı seçilen frekansta neredeyse mükemmel oranda doğrusal değişmektedir. Tasarım için $f=3$ GHz'lik çalışma frekansının seçilmesinin önemli bir sebebi de budur.

Çizelge 1. 3 GHz frekansında etanol içeriğine bağlı olarak laboratuvarında ölçülen dielektrik ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerleri

Etanol İçeriği (%)	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$
0 (Saf Su)	78,65	11,16	0,141
10	74,15	10,52	0,141
20	70,32	9,99	0,142
30	64,8	8,91	0,137
40	55,17	8,74	0,158
50	48,69	8,09	0,166
60	41,5	7,56	0,182
70	36,21	7,12	0,196
80	29,07	6,89	0,237
90	18,17	6,23	0,343
100	10,14	5,97	0,588

Çizelge 2. 3 GHz frekansında metanol içeriğine bağlı olarak laboratuvarında ölçülen dielektrik ve kayıp tanjant ($\tan\delta$) değerleri

Metanol İçeriği (%)	ϵ'	ϵ''	$\tan\delta$
0 (Saf Su)	78,65	11,16	0,141
10	66,90	7,42	0,110
20	62,70	8,58	0,136
30	58,40	10,10	0,172
40	54,80	10,20	0,186
50	49,10	14,60	0,297
60	42,70	15,30	0,358
70	38,10	15,50	0,406
80	30,20	15,90	0,526
90	25,20	15,00	0,595
100	20,90	12,90	0,617

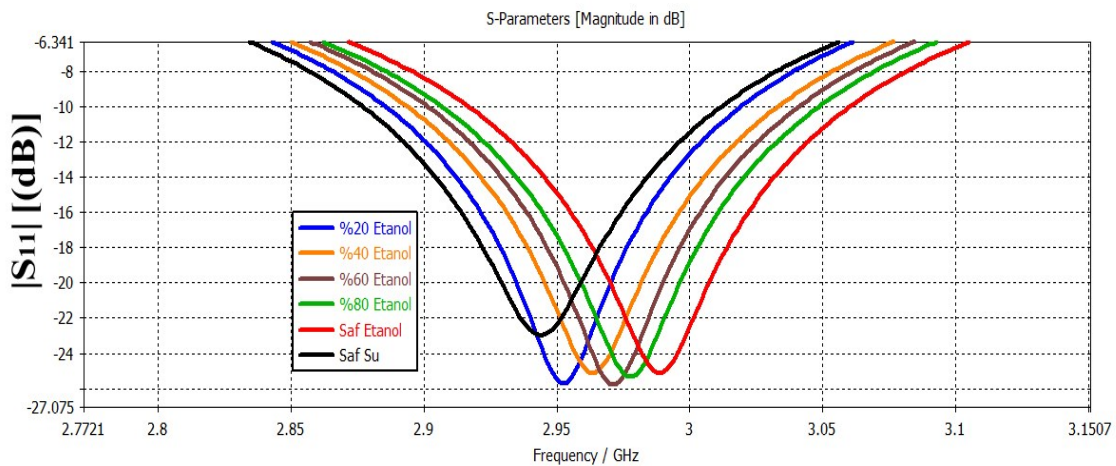
Çizelge 1 ve 2’de network analizör cihazına bağlı dielektrik prob ile ölçülen çeşitli oranlardaki metanol+saf su ve etanol+saf su karışımlarının dielektrik sabitlerinin değişimi görülmektedir. Kompleks dielektrik sabiti değerleri oda sıcaklığında ölçülmüştür. Çizelge 1 ve 2 hem gerçel kısmı (ϵ'), hem sanal kısmı (ϵ'') ve her ikisinin oranı olan kayıp tanjant değerlerini ($\tan\delta=\epsilon''/\epsilon'$) içermektedir. Burada kayıp tanjant değeri iletim boyunca kaybolan elektromanyetik dalga enerjisini ölçmektedir. Bu çizelgeler oluşturulurken algılama yapısı vakum seçildiğinde elde edilen çalışma frekansı olan $f=3$ GHz ele

alınmıştır. Çizelge 1 ve 2’den görüldüğü üzere, hem etanol hem de metanolün kullanıldığı karışımlarda su oranı düşüktüçe elektromanyetik geçirgenliğin gerçel değerleri giderek azalmakta buna karşılık kayıp tanjant değerleri ise giderek artmaktadır.

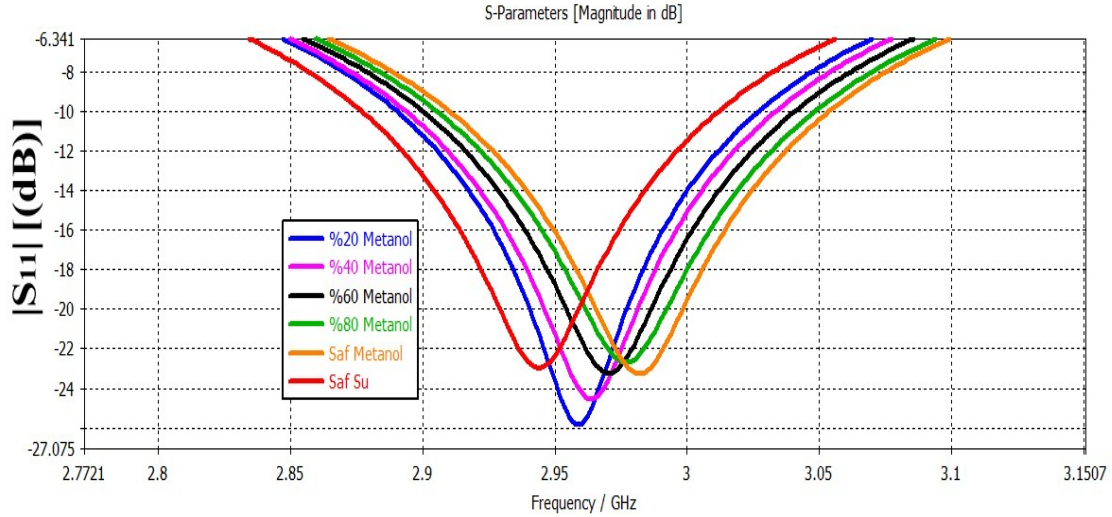
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elde edilen elektromanyetik katsayı değerleri yani dielektrik katsayısı ve kayıp tanjant değerleri kullanılarak simülasyonda yeni malzemeler tanımlanmıştır. Tasarlanan antenin arka kısmında açılan oyuk üzerinde ise silindir tanımlanarak karışımlar test edilmiştir. Etanol ve metanol ile saf su karışım yüzdelereine bağlı olarak algılayıcı tasarımında oluşan rezonans frekansı kaymaları Şekil 5 ve Şekil 6’da gösterilmiştir. Karışımlar hazırlanırken %10’luk eklemeler yapılmış ve ölçümler buna uygun olarak bulunmuştur. Fakat grafikte karmaşıklığı önlemek için sadece %20’lik adımlar gösterilmiştir. Tüm karışım numunelerine karşılık gelen sonuçlar Çizelge 3 ve Çizelge 4’te gösterilmiştir.

Etanol ve saf su karışımının konsantrasyon değişimine karşılık gelen rezonans frekansındaki değişimler Şekil 5’te görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi değişimler doğrusala çok yakın olup toplamda 44 MHz’lik bir algılama bandını kapsamaktadır.



Şekil 5. Saf su ve etanol karışımındaki konsantrasyon yüzdesine bağlı rezonans frekansı değişimleri



Şekil 6. Saf su ve metanol karışımındaki konsantrasyon yüzdesine bağlı rezonans frekansı değişimleri

Test edilen karışımların ve bunlara karşılık gelen rezonans frekansı değişimleri ve geri dönüşüm değerleri (S_{11}) Çizelge 3 ve Çizelge 4’de detaylarıyla verilmiştir. Şekil 5 ve 6’da çizilen değerlere ek olarak her %10’luk değişime karşılık gelen değerler bu çizelgelerde bulunmaktadır.

Çizelge 3. Etanol içeriğine bağlı olarak değişen rezonans frekansı ve S_{11} değerleri

Etanol + Su İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S_{11} Değeri (dB)
0 (Saf Su)	2,944	-22,970
10	2,948	-24,464
20	2,952	-25,695
30	2,958	-26,596
40	2,964	-25,132
50	2,968	-25,241
60	2,972	-25,769
70	2,974	-25,837
80	2,978	-25,328
90	2,984	-25,365
100 (Saf Etanol)	2,988	-25,125
Hava	3,002	-29,898

Çizelge 4. Metanol içeriğine bağlı olarak değişen rezonans frekansı ve S_{11} değerleri

Metanol + Su İçeriği (%)	Rezonans Frekansı (GHz)	S_{11} Değeri (dB)
0 (Saf Su)	2,944	-22,970
10	2,956	-28,020
20	2,958	-25,832
30	2,962	-24,591
40	2,964	-24,536
50	2,966	-23,061
60	2,970	-23,234
70	2,972	-23,187
80	2,976	-22,673
90	2,980	-22,824
100 (Saf Metanol)	2,982	-23,281
Hava	3,002	-29,898

Sonuçların geniş bantta elde edilmesi ara değerleri kolaylıkla ve çok hassas bir biçimde tahmin edebilme olanağı sağlamaktadır. Saf su kullanıldığında rezonansın 2,944 GHz’de gerçekleştiği ve etanol yüzdesi arttıkça maksimum enerji transferinin gerçekleştiği rezonans frekansının giderek daha yüksek değerlere çıktığı ve saf etanol için 2,988 GHz frekansına eriştiği görülmektedir. Buna karşılık geri dönüş kaybı veya diğer ismiyle S_{11} saçılım parametresinin genliğinin çok fazla değişmediği de not edilmeye değerdir.

PCB dairesel mikroşerit yama anten tabanlı sıvı algılayıcı tasarımı etanol ve saf su karışımında olduğu gibi metanol su karışımında da algılama işlemini başarıyla gerçekleştirmektedir. Metanol ve saf su karışımındaki konsantrasyon oranına bağlı olarak sistemin rezonans frekansındaki değişimler Şekil 6'da verilmiştir. Ölçümler her %10 değişim için yapılmış olsa da şeklin daha anlaşılır olması için %20'lik aralıklar seçilmiştir. Şekil 6'dan görüldüğü gibi saf su karışımında $f=2,944$ GHz frekansında oluşan rezonans noktası, saf metanol kullanıldığında $f=2,982$ GHz değerine ulaşmış ve yaklaşık 38 MHz'lik bir algılama bandı gözlemlenmiştir.

Literatürde bulunan çalışmaların [4] aksine bu yapının düşük konsantrasyonlarda bile hassas bir ölçüme imkan sağlaması çalışmanın bir başka pozitif yönünü oluşturmaktadır. Çizelge 3 ve 4 incelendiğinde, %10'luk konsantrasyon değişimlerinde etanol için en az 4MHz'lik değişimler gözlenmekte ve bu değişimler metanol için 2 MHz civarında gerçekleşmektedir. Bu değerler, karışım oranı bilinmeyen sıvıların ölçümünde son derece hassas tahmin gücü sağlayacaktır. Buna karşılık, S_{11} değerlerinde genel itibarıyla çok fazla bir değişim görülmemektedir. Bunun sonucunda, antenin enerji iletimini sıvı karışımının çok fazla bozmadığı ve etkin bir şekilde kullanılabilceği söylenebilir.

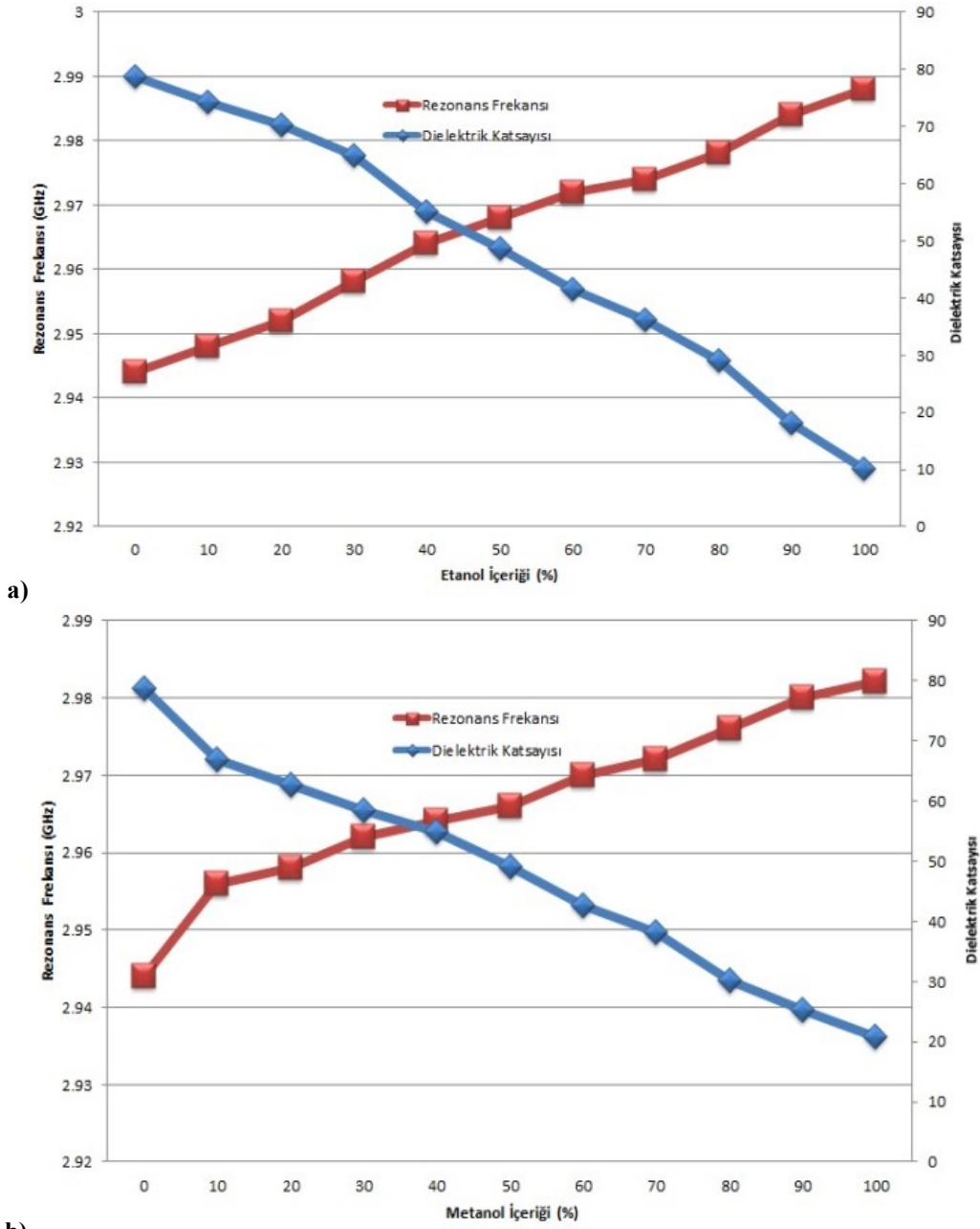
Seçilen çalışma frekansının uygunluğunu ve bulunan rezonans değerlerinin karışımların konsantrasyonları ile korelasyon içinde olduğunu göstermek için karışım oranlarına bağlı olarak rezonans frekansı ve dielektrik katsayısı değişimleri hem etanol için (Şekil 7.a.) hem de metanol için (Şekil 7.b) grafik şeklinde verilmiştir. Şekil 7'den görüldüğü gibi hem etanol hem de metanol karışımları için dielektrik katsayısı ve rezonans frekansı arasında güçlü bir bağlantı mevcuttur.

Etanol ve metanol katkılarının sebep olduğu rezonans değişimleri dielektrik sabiti değerleriyle ters orantılı olup aradaki değişimin doğrusal bir değişime çok yakın olduğu Şekil 7'den açıkça görülmektedir. Her bir basamakta oluşan değişimin bize sağladığı aralık ara değerlerin

tahmini için yeterlidir ve ileriki çalışmalarda küçük bir eğitim algoritması aracılığıyla bulunan değerlerin kullanılması ile yüksek hassasiyetli tahminlerin yapılması mümkündür. Şekil 7'deki eğrilerin sunduğu değişimler ölçülen karışımındaki yüzdelik katkı miktarlarını verecek büyüklüktedir. Frekansa bağlı olarak elektriksel boyutun bu karışımları algılamaya yetecek kadar küçük olması tasarlanan anten tabanlı algılayıcının hem etanol hem de metanol kullanılarak oluşturulan karışımları algılamada kullanılmaya uygun olduğu görülmektedir. Bu yönden bakılınca da seçilen çalışma frekansının biyo-algılama uygulaması için uygun olduğu söylenebilir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, PCB dairesel yama anten tabanlı sıvı algılayıcı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin biyokimyasal algılayıcı olarak ve etanol/metanol+su karışımlarından oluşan numunelerin hızlı, gerçek zamanlı ve doğru şekilde algılanması işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Algılayıcının hızı, farklı bir laboratuvar ortamına ihtiyaç duyulmadan numune alınan ortamda sonuç vermesini, ayrıca uzun ve detaylı kimyasal analizlere ihtiyaç duyulmamasını ifade etmektedir. %10'luk değişimlerle oluşturulan etanol ve metanol katkılarının su içerisindeki konsantrasyonuna bağlı olarak rezonans frekansının doğrusal bir şekilde değiştiği gösterilmiş ve bu değişimin hassas bir algılama için kullanılabilceği gösterilmiştir. Katkı madde miktarındaki ufak değişimler rezonans frekansında doğrusal değişimlere sebep olacak ve bu kaymalar sayesinde katkının miktarını tespit edilmesini sağlanacaktır. Tasarlanan sistem birçok avantajlar sunmaktadır. Örneğin, PCB (Baskı Devre) tekniği ile tasarlanmış olduğundan düşük maliyet ve profile sahiptir, başka bir aparata gerek duymamaktadır ve daha küçük miktarda numune ile ölçüm alabilmektedir. Bütün bu sonuçlar göz önüne alındığında, tasarlanan anten tabanlı algılayıcı sisteminin etanol+su ve metanol+su karışımlarını tahmin etmede çok hassas sonuçlar verebileceği ispatlanmış olup başka sıvı karışımları için bu yapı ve bulunan değerler referans alınarak yeni algılayıcıların geliştirilmesi mümkündür.



b) Şekil 7. Rezonans frekansı, dielektrik katsayısı ile Etanol (a) ve metanol (b) konsantrasyonları dağılımları

Her ne kadar etanol ve metanolün oranının belirlenmesine yönelik ayrı ayrı çalışmalar

literatürde bulunmasına rağmen, bu çalışma önemli yenilikler içermektedir. İlk olarak literatürde etanol ve metanolün mikrodalga teknikleri ile her ikisinin

oransal tespitine yönelik çok az sayıda çalışma bulunması, bu çalışmayı farklı kılmaktadır. Ayrıca, bu amacı gerçekleştirmek için anten kullanımı literatürde ilktir. İki sıvının birlikte algılanmasının zorluğu dielektrik katsayılarının birbirlerine çok yakın olmasıdır (Çizelge 3 ve Çizelge 4). Bu yakınlığa rağmen tespit ise çalışmayı önemli kılmaktadır.

5. KAYNAKLAR

1. Altıntaş, O., Aksoy, M., Akgöl, 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.
2. 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.
3. Akhavan, H.G., Mirshekar-Syahkal, D., 1999. Slot Antennas for Measurement of Properties of Dielectrics at Microwave Frequencies, Antennas and Propagation, 8-11.
4. Chang, F.C., Shiu, J., Yin, Y.Z., Lin, C.W., 2012. A Novel Design of Antenna for Biosensing Applications, IMCS, 407-410.
5. 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.
6. Yi, X., Cho, C., Cooper, J., Wang, Y., Tentzeris, M.M., Leon, R.T., 2013. Passive Wireless Antenna Sensor for Strain and Crack Sensing-Electromagnetic Modeling, Simulation and Testing, Smart Materials and Structures, 22,085009, 1-17.
7. Ebrahimi, A., Withayachumnankul, W., Al-Sarawi, S., Abbott, D., 2014. High-Sensitivity Metamaterial-Inspired Sensor for Microfluidic Dielectric Characterization. IEEE Sens. J. 14, 1345-1351.
8. Kim, H.K., Yoo, M., Lim, S., 2015. Novel Ethanol Chemical Sensor using Microfluidic Metamaterial. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USN National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, Canada, 19-24 July 2015; 1358-1359.
9. Seo, Y., Memon, M.U., Lim, S., 2016. Microfluidic Eighth-mode Substrate-integrated- Waveguide Antenna for Compact Ethanol Chemical Sensor Application. IEEE Trans. Antennas Propag. 64, 3218-3222.
10. Bakir, M., 2017. Electromagnetic-based Microfluidic Sensor Applications. J. Electrochem. Soc. 164, B488-B494.
11. Ling, K., Yoo, M., Su, W., Kim, K., Cook, B., Tentzeris, M.M., Lim, S., 2015. Microfluidic Tunable Inkjet-printed Metamaterial Absorber on Paper. Opt. Express, 23, 110-120.
12. Salim, A., Lim, S., 2016. Complementary Split-ring Resonator-loaded Microfluidic Ethanol Chemical Sensor. Sensors, 16, 1802.

