



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 29.12.2024
Kabul Tarihi : 02.02.2026

Received Date : 29.12.2024
Accepted Date : 02.02.2026

MİKRODALGA FREKANSLARDA YAKIT İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN KARAKTERİZASYONU

CHARACTERIZATION OF CHANGES IN FUEL CONTENT AT MICROWAVE FREQUENCIES

*Hüseyin KORKMAZ*¹ (ORCID: 0000-0002-3518-1943)
*Uğur Cem HASAR*² (ORCID: 0000-0002-6098-7762)
*Kemal DELİHACIOĞLU*¹ (ORCID: 0000-0002-5837-1862)

¹ Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis, Türkiye
² Gaziantep Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Hüseyin KORKMAZ, huseyin.korkmaz@kilis.edu.tr

ÖZET

Motorlu araçlarda yakıt kalitesi verimliliğin sürdürülebilirliği açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, tekrarlanabilir ve uygulanabilir olup dielektrik parametrelerdeki değişimlere yüksek duyarlılık gösteren bir mikrodalga sensör önerilmiş ve özellikle mazot içerisinde gaz yağna bağlı bileşim değişimlerinin tespiti amacıyla tasarlanarak ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Önerilen yansıma tabanlı sensör, 4,74 GHz rezonans frekansında -64,96 dB'lik bir yansıma tepki değerine ulaşarak yüksek bir performans göstermektedir. Sensörün performansı, numunelerin sensör yüzeyinin tamamını doğrudan kaplayacak şekilde yerleştirilerek test edilmiştir. Saf mazot numunesine farklı oranlarda gaz yağı eklenerek önerilen sensörün yansıma tepkisi belirlenmiştir. Önerilen sensör ile sırasıyla %10, %20 ve %30 katkılı numuneler için 93 MHz, 189 MHz ve 234 MHz rezonans frekans kaymaları gözlemlenmiş olup, bu sonuçlar sensörün bu katkıları etkin bir şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir. Önerilen mikrodalga sensör, 4740 kalite faktörü, %6,33 normalleştirilmiş hassasiyet ve 30004,2 başarımlı ölçümü ile literatürdeki mevcut sensörlere kıyasla daha yüksek bir performans göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mazot, gaz yağı, mikrodalga sensör, karakterizasyon, yüksek kalite

ABSTRACT

Fuel quality is critical to maintaining efficiency in motor vehicles. In this study, a microwave sensor that is repeatable and applicable, exhibiting high sensitivity to changes in dielectric parameters, was proposed and examined in detail, particularly for the detection of compositional changes in diesel fuel due to kerosene. The proposed reflection-based sensor performs well by achieving a reflection response value of -64.96 dB at the 4.74 GHz resonance frequency. The performance of the sensor was tested by placing samples directly covering the entire sensor surface. The reflection response of the proposed sensor was determined by adulterating the pure diesel sample with different rates of kerosene. The proposed sensor observed resonance frequency shifts of 93 MHz, 189 MHz, and 234 MHz for 10%, 20%, and 30% doped samples, respectively, indicating that the sensor can effectively distinguish these adulterations. The proposed microwave sensor shows higher performance compared to existing sensors in the literature, with a quality factor of 4740, a normalized sensitivity of 6.33%, and a Figure of Merit value of 30004.2.

Keywords: Diesel, gas oil, microwave sensor, characterization, high quality

GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacı tüm insanlığın ortak problemlerinden biri olmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yapılan çalışmalar (Hasırcı & Çelik, 2019; Farsakoğlu vd., 2018; Farsakoglu & Hasırcı, 2015) verimliliğin yeterli düzeyde olmadığını göstermekte ve dolayısıyla motorlu taşıtlarda yakıt kullanımı hala devam etmektedir. Otomobillerdeki yakıtların kalitesi aracın düzgün çalışmasını, motor verimliliğini, kullanım süresini ve araç emisyonlarını etkilediği için kritik öneme sahiptir. Otomobil motorlarında karşılaşılan en önemli sorunlardan biri motor yakıtlarına gaz yağı karıştırılmasıdır. Bazı akaryakıt depoları, maddi kazanç elde etmek amacıyla akaryakıtlarını düşük maliyetli petrol ürünleriyle karıştırmaktadır (Kanyathare & Peiponen, 2018; Liang vd., 2012; Knittel, 2012; Shukla & Venkatasubramanian, 2011). Gaz kromatografisi (Hashempour-baltork vd., 2024) ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi (Menegoz & Moret, 2024), diferansiyel taramalı kalorimetri (Islam vd., 2022) yöntemleri (ince tabaka kromatografisi (Khurshed vd., 2024) gibi modern teknikler ve kızılötesi spektroskopi (Yılmaz-Düzyaman vd., 2024), ultraviyole spektroskopisi (Musa, 2024) ve floresans spektroskopisi (Rueda vd., 2024) yakıt numunelerinin kalite analizinde kullanılmaktadır.

Bu analiz teknikleri, genellikle yüksek maliyetli altyapılar gerektirmeleri ve karmaşık yapıları nedeniyle eleştirilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, yüksek doğruluk, kompakt boyut ve üstün hassasiyet gibi özelliklere sahip sensörlerin geliştirilmesine yoğunlaşmıştır (Hasar vd., 2024; Wu vd., 2024; Korkmaz vd., 2023; Korkmaz & Hasar, 2021; Alahnomi vd., 2021; Obaidullah vd., 2021; Shi vd., 2020; Krödel vd., 2015; Ergin vd., 2010). Mikrodalga (MD) sensörler, algılama işlemlerinde elektromanyetik alanları kullanarak çalışır ve genellikle 300 MHz ile THz arasındaki frekanslarda işlem yapar (Hasar vd., 2025; Khalil vd., 2023; Mehrotra vd., 2019). MD sensörleri, diğer alternatiflere göre düşük maliyet, kompakt yapı, yüksek doğruluk, kolay üretim ve test edilebilirlik gibi birçok avantaj sunmaktadır (Hasar vd., 2023; Hasar vd., 2022). Bu belirgin avantajlar, MD sensörlerinin sağlık (Korostynska vd., 2014), gıda endüstrisi (Hasar vd., 2024), savunma sanayi (Hudec vd., 2009) ve genel sanayi (Nyfors, 2000) gibi farklı sektörlerde önemli bir rol oynamasına olanak sağlamaktadır. Son dönemde araştırmacılar, MD sensörlerini kullanarak gıda katkılamasını tespit etmeye yönelik birçok çalışma yapmıştır. Yapılan araştırmalar, MD sensörlerinin çeşitli malzeme (özellikle sıvıların) özelliklerinin belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir (Bakır vd., 2019). Örneğin, kirli ve temiz transformatör yağları arasındaki rezonans frekans kayması yaklaşık 70 MHz olarak tespit edilirken, zeytinyağı ve mısır yağlarında bu kayma değeri yaklaşık 50 MHz'e düşmektedir. Markalı ve markasız yakıt numunelerini tespit etmek için yüksek verimli ve taşınabilir bir sensör önerilmiştir (Tümkiye vd., 2018). Yapılan ölçümler, markalı ve markasız motorin için rezonans frekans kaymasınının 72 MHz, markalı ve markasız benzin için ise 12 MHz olduğunu göstermektedir. Orijinal ve katkı benzin numunelerini ayırt etmek için iletim hattı tabanlı bir metamalzeme (MM) sensörü geliştirilmiştir (Tamer vd., 2018). Bu sensör, 50 MHz'lik bir frekans kayması ile orijinal ve katkı dizel numunelerini ayırt edebilmektedir. Literatür incelemeleri, MM tabanlı sensörlerin geniş bir frekans aralığında, katı dielektrik malzemelerden sıvılara, gazlara (Bakır vd., 2019; Tümkiye vd., 2018; Tamer vd., 2018; Lee vd., 2017) ve biyomoleküllere kadar çeşitli malzemelerin tespitinde etkin bir şekilde kullanılabilirdiğini ortaya koymaktadır (Mohd Bahar vd., 2019; Vélez vd., 2017; Lee & Yook, 2008). Orijinal ve katkı yakıt numunelerini ayırt etmek amacıyla yüksek hassasiyetli bir MM sensörü geliştirilmiştir (Tümkiye vd., 2017). Bu çalışmada, rezonans frekansı 100 MHz'e kadar kayma göstermiştir. Akış algılama amacıyla Rhombus MM sensörü önerilmiş olsa da (Tümkiye vd., 2019), bu çalışmada sensörün hassasiyetinin ve kalite faktörünün düşük olduğu tespit edilmiştir. Başka bir çalışmada, polipropilen tespiti amacıyla kullanılan kavisli çizgi MM tabanlı sensörün orta düzeyde bir performans gösterdiği belirtilmiştir (Islam vd., 2021). Değişen elektriksel özelliklere sahip sıvı kimyasalların tespiti amacıyla, MM soğurucu prensibine dayanan bir sensör tasarlanmıştır (Abdulkarim vd., 2019). Sensörün kalite faktörünün ve hassasiyetinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu eksiklikleri gidermek amacıyla, endüstriyel uygulamalara uygun omega formatında yeni bir sensör geliştirilerek piyasaya sunulmuştur (Altıntaş vd., 2020). Sensör, 8–12 GHz frekans aralığında çalışacak şekilde tasarlanmış olup, temiz ve atık transformatör yağları için 70 MHz'lik frekans kaymasını elde etmek amacıyla optimize edilmiştir. Sıvı kimyasalların tespiti için geliştirilen yeni bir MM sensörü de tanıtılmıştır (Abdulkarim vd., 2020). Çalışmada, kalite faktörü ve hassasiyetin orta seviyede olduğu belirlenmiştir. MD tamamlayıcı bölünmüş halka rezonatörlerinin, zeytinyağı taşımasını tespit etme konusundaki algılama yetenekleri araştırılmıştır. Zeytinyağı, mısır yağı ve soya yağı gibi farklı türdeki yenilebilir yağların elektromanyetik tepkileri, 2-9 GHz frekans aralığında araştırılmıştır. Bununla birlikte, hesaplanan kalite faktörü, hassasiyet ve başarımlar ölçüm değerlerinin yeterli seviyede olmadığı belirlenmiştir (Viskadourakis vd., 2024). Saf ve katkı yakıt ve yağ türlerini tespit edebilmek için bir MM sensörü geliştirilmiştir. Sensörün yüksek kalite faktörüne sahip olduğu, ancak hassasiyet ve başarımlar ölçüm değerlerinin düşük seviyelerde kaldığı tespit edilmiştir (Islam vd., 2023). Yaklaşık 3 GHz frekansında çalışan PCB kartlarıyla, mineral yağların özelliklerini tespit etmek için bir mikrodalga aktif anten

sensörü tasarlanıp üretilmiştir. Tasarlanan antenin üst yüzeyine temas edecek şekilde, mikroskop cam slaytı üzerine 150 µL kapasitesine sahip M şeklinde bir kanal inşa edilmiştir. Kanala orijinal ve katkılı trafo yağı enjekte edilerek sensör test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen sensörün hassasiyetinin düşük olduğunu göstermektedir (Al-Mudhafar & Ra'ed, 2022). Motor yağının kullanım süresini ve seviyesini tespit etmek için iki farklı yağ numunesine yerleştirilen anten aracılığıyla geri dönüş kaybı grafiğinde rezonans frekansı ve bant genişlikleri analiz edilmiştir. Bu çalışma, önerilen tasarım sayesinde motor yağının kullanım süresini mikrodalga frekanslarında gerçek zamanlı olarak tespit edilmesini mümkün kılmaktadır. Ancak, hassasiyet, kalite faktörü ve başarımları ölçümleriyle ilgili herhangi bir analiz gerçekleştirilmemiştir (Yildirim & Gözel, 2023). MM tabanlı bir sensör tasarımı, TE polarizasyon modunda 8-12 GHz frekans aralığında gerçekleştirilmiştir. Önerilen yapı, ön yüzeyinde dört ayrı dikdörtgen ve halka tabanlı rezonatörler barındırırken, arka yüzeyde ise bu rezonatörlerin açıları 180° oranında değiştirilmiştir. Ayrıca, yapının arka kısmına 10 mm kalınlığında WR90 dalga kılavuzuyla uyumlu boyutlarda bir örnek tutucu entegre edilerek, test edilecek malzemenin bu tutucuya yerleştirilmesi sağlanmıştır. Önerilen sensörün kalite faktörü yeterli düzeyde olmasına rağmen, hassasiyet ve başarımları ilişkin herhangi bir hesaplama yapılmamıştır (Bakır & Yasar, 2022).

Literatür araştırmamız, önerilen sensörlerin hassasiyet (S), kalite faktörü ve başarımları ölçümü gibi performans parametrelerinin önemli olduğunu, bu parametrelerin potansiyel sınırlamalar oluşturabileceğini ve literatürdeki sensörlerin bu yönleriyle dezavantajlı olduğunu ortaya koymaktadır (Khalil vd., 2023). Bu sınırlamaları ve dezavantajları aşmak için, bu çalışma, mazotaki değişimleri tespit edebilen, yüksek hassasiyetle dielektrik parametrelerdeki değişimlere tepki veren ve tekrarlanabilir-uygulanabilir bir MD sensör önermektedir. Önerilen sensör, saf mazotaki %10 oranındaki gaz yağını tespit etme konusunda başarılı bir performans göstermektedir. Önerilen sensör, literatürdeki diğer sensörlerle kıyaslandığında daha yüksek bir performans sergileyerek, 4,74 GHz frekansında %6,33 hassasiyet, 4740 kalite faktörü ve 30004,2 başarı ölçümü değeriyle dikkat çekmektedir. Ayrıca, önerilen sensör, yüksek hassasiyet, kompakt tasarım, düşük ölçüm maliyetleri ve az miktarda test numunesi gerektirmesi gibi avantajlarıyla, MD algılama uygulamaları için potansiyel bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

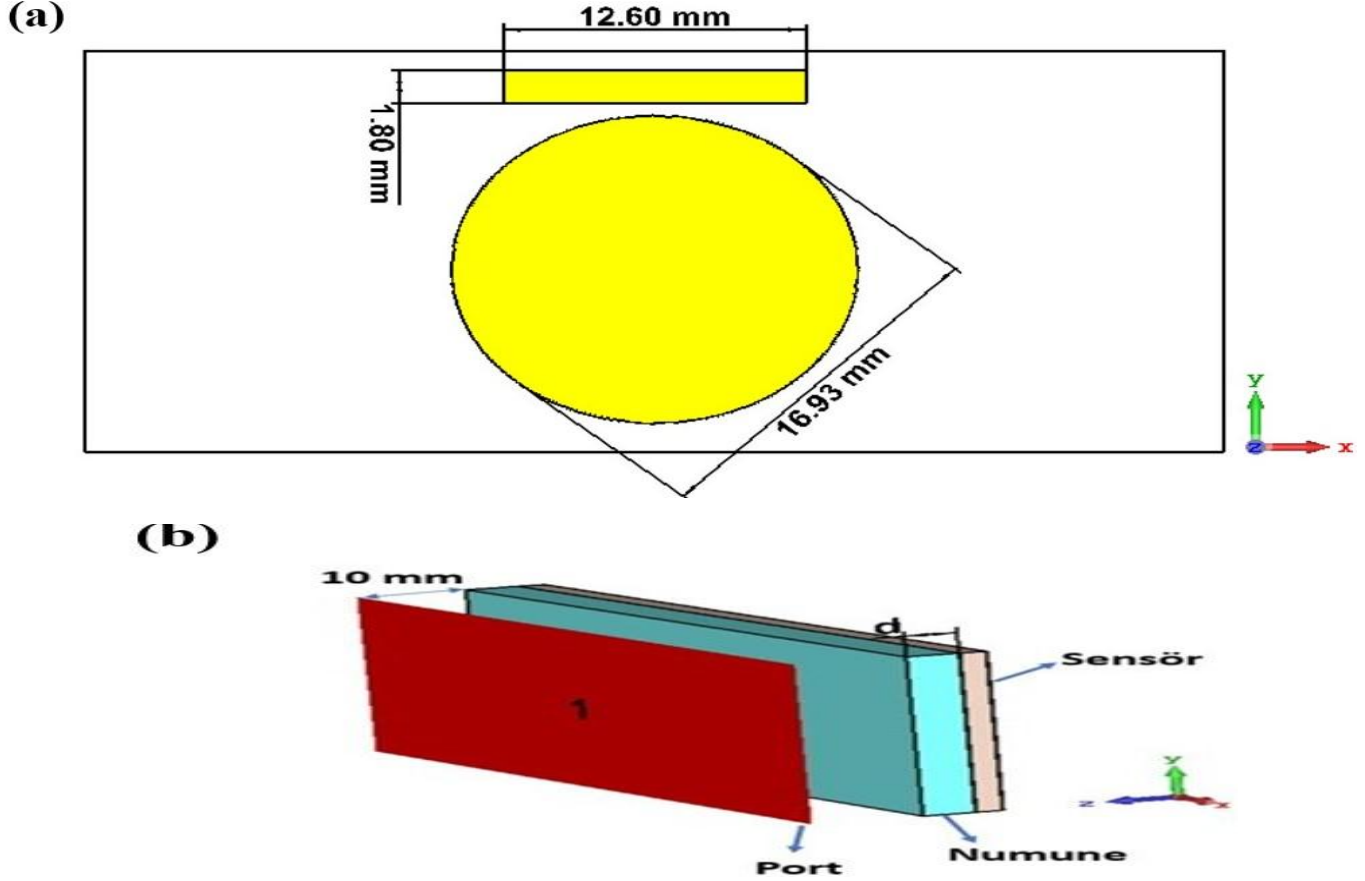
MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Bu bölümde, bu çalışma çerçevesinde geliştirilen ve analiz edilen MD sensör detaylı bir şekilde incelenmiştir. Önerilen sensörün boyutları dikkatle değerlendirilmiş ve en uygun tasarım elde edilmiştir. Sıvıların, özellikle mazotun, MD teknikleriyle tespitine yönelik geliştirilen sensörün son versiyonu, boyutlarıyla birlikte Şekil 1(a)'da sunulmuştur. Simülasyonlar, Sonlu Entegrasyon Tekniği tabanlı Computer Simulation Technology (CST) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Frekans alanı çözücüsü, en yüksek çözünürlük (3. derece) ve 10^{-12} doğruluk seviyesinde kullanılmıştır. S-parametrelerinin doğru bir şekilde simüle edilmesi için, dalga boyu başına düşen hücre sayısı otomatik olarak ayarlanmıştır. Tasarlanan sensör, üst katmanda bakır rezonatör, ortada FR-4 dielektrik katman ve altta bakır topraklama katmanından meydana gelmektedir. Önerilen tasarımda, FR-4 malzemesinin kayıp tanjant değeri 0,025, bağıl geçirgenliği 4,3 ve kalınlığı ise 1,6 mm olarak belirlenmiştir. Z eksenine dik bir elektromanyetik dalga durumunda, x ve y eksenlerinde mükemmel elektrik iletkeni (PEC) sınır koşulları kullanılmıştır. Tasarlanan sensörün geometrik özellikleri Şekil 1(a)'da gösterilmektedir. Şekil 1(b)'de ise, numune katmanının (d=3 mm) önerilen sensörün tüm üst yüzeyini kaplayacak şekilde sensör üzerine yerleştirildiği görülmektedir. Dalga kılavuzu, numuneye 10 mm uzaklıkta yerleştirilmiş olup, frekans alanı çözücüsü en yüksek çözünürlük seviyesinde çalıştırılmıştır. CST programında tasarlanan yansıma tabanlı sensörün $|S_{11}|_{dB}$ değeri, Şekil 2(a)'da görüldüğü üzere 4,74 GHz frekansında rezonans göstermekte olup yaklaşık -64,96 dB yansıma büyüklüğüne sahiptir.

Önerilen sensörün çalışma prensibini daha iyi anlayabilmek amacıyla, elektrik alan dağılımları da ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Elektrik alandaki değişiklikler, sensörün enerji depolama kapasitesini değerlendirirken önemli bir faktör oluşturmaktadır (Alahnomi vd., 2021). Önerilen sensörün elektrik alan dağılımları Şekil 2(b)'de görüldüğü üzere rezonans frekansında (4,74 GHz) simüle edilerek incelenmiştir. Rezonatörü oluşturan bileşenlerde elektrik alan şiddetinin belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 2(c), önerilen sensörün yüzey akımının rezonans frekansındaki dağılımını göstermektedir. Yüzey akımının, rezonatörler üzerinde belirgin bir yoğunlukla yayıldığı tespit edilmiştir. Önerilen yapı için, rezonans olayını tetikleyen bir elektrik dipolünün varlığı, simüle edilen yüzey akım dağılımıyla doğrulanmıştır. Sonuç olarak, önerilen yapı rezonatörün üst bölgesinde numunenin elektriksel özelliklerinde meydana gelen minimal değişiklikleri dahi hassas bir şekilde tespit etme yeteneğine sahiptir. Rezonatör, etkili kapasitansın yanı sıra etkili bir endüktansa da sahip olup bu iki bileşenin birleşimi rezonans frekansını (f_r) belirler.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eff}C_{eff}}} \quad (1)$$

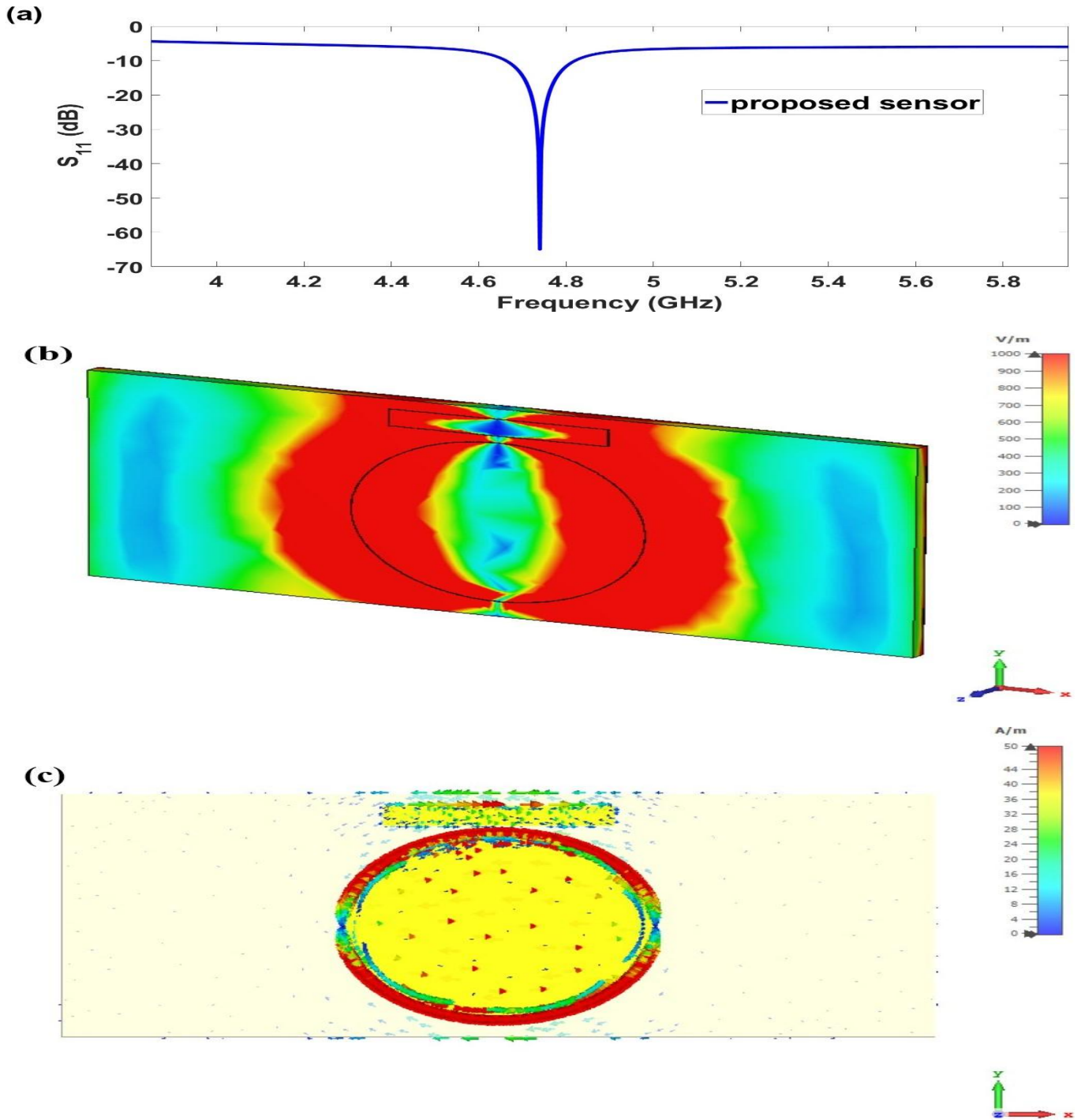
Burada L_{eff} ve C_{eff} sırasıyla önerilen sensörün etkin endüktansını ve etkin kapasitansını temsil etmektedir.



Şekil 1. a. Önerilen MD Sensör Ve Boyutları b. Önerilen Sensör Ve Numune Ölçüm Düzenegi

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

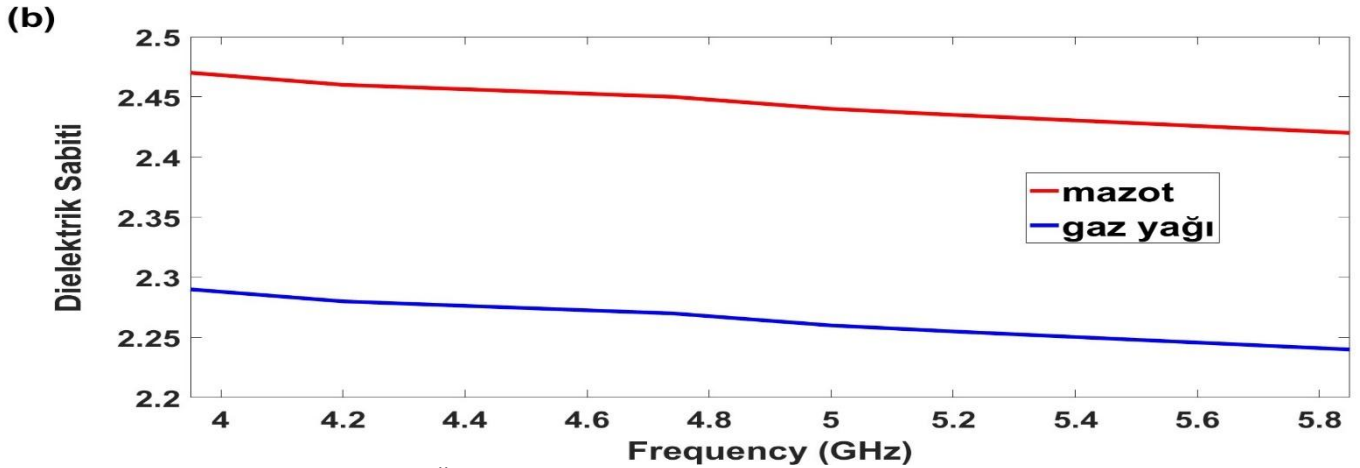
Önerilen yansıma tabanlı sensörün, farklı yüzdelerde hazırlanan numunelere verdiği tepkiyi simüle edebilmek için her bir numunenin dielektrik özelliklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda temin edilen mazot ve gaz yağı farklı oranlarda karıştırılmıştır. Numunelerin dielektrik sabitleri, Şekil 3(a)'da sunulan dielektrik prob ölçüm düzeneği kullanılarak belirlenmiştir. Hazırlanan numunelerin dielektrik sabitleri, Keysight Technologies'e ait açık uçlu koaksiyel dielektrik prob kiti (Model numarası: N1501A) kullanılarak ölçülmüş ve kalibrasyon işlemleri, kısa devre, açık devre ve damıtılmış su gibi referans standartlarla gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonun doğruluğunu teyit etmek amacıyla, literatürde sıklıkla referans olarak kullanılan damıtılmış su, etanol ve metanol gibi sıvıların ölçümleri, kalibrasyon işleminin ardından gerçekleştirilmiştir. Sonrasında, her bir numuneden yeterli miktarda alınarak 200 ml kapasiteli cam beherlere aktarılmış ve doğru sonuçlar elde etmek amacıyla prob ucu numune yüzeyinden yaklaşık 15 mm derinliğe yerleştirilmiştir. Her bir numune için ölçümler beş kez tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınarak dielektrik katsayısı hesaplanmıştır (toplamda 1001 veri). Ayrıca, numunelerin hazırlanması ve dielektrik prob ile ölçüm işlemleri, 23°C sıcaklık ve yaklaşık %55 bağıl nem içeren standart oda koşullarında gerçekleştirilmiştir. Yansıma tepkisi, yaklaşık 90 dB dinamik aralık ve 30 dB yönlülük sunan Keysight (Model: N9918A) vektör ağ analizörü (VNA) kullanılarak analiz edilmiştir. Bu ölçümler, her biri 1 metre uzunluğunda ve 3,5 mm faz kararlı koaksiyel kablo ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için, yerleşik yazılım kullanılarak göreceli karmaşık geçirgenlik ($\epsilon = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$) hesaplanmış ve buradan dielektrik sabiti (ϵ'_r) değerleri türetilmiştir (1001 veri).



Şekil 2. a. Önerilen Sensörün Hava Ortamındaki Saçılma Parametresi ($|S_{11}|_{dB}$), Rezonans Frekansındaki (4,74 GHz) **b.** E-Alanı Ve **c.** Yüzey Akım Dağılımı

Şekil 3(b)'de, saf mazot ve gaz yağı numunelerinin gerçek dielektrik sabiti (ϵ'_r) değerlerini gösteren grafikler sunulmaktadır. Grafikler, mazotun gerçek dielektrik sabiti değerinin gaz yağından daha yüksek olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, ölçülen gerçek dielektrik sabiti (ϵ'_r) değerlerinin, literatürde yer alan verilerle uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Moolat vd., 2022). Dielektrik özellikleri belirlenerek CST simülasyon yazılımı kütüphanesine entegre edilen tüm numune verileri, rezonatör yüzeyini tamamen kaplayacak şekilde konumlandırılmış ve simülasyon işlemleri bu şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, önerilen sensörün farklı oranlardaki numunelere karşı gösterdiği tepki, simülasyon ortamında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mazot, gaz yağı ve karışım numunelerinin dielektrik özellikleri dikkate alınarak, 3,95-5,85 GHz frekans aralığında yapılan

simülasyon sonuçları Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4'teki verilere göre, önerilen sensör, mazota eklenen gaz yağı oranındaki değişikliklere bağlı olarak farklı rezonans frekansları ve değişken yansıma büyüklükleri sergilemektedir. Mazot ve gaz yağı numuneleri rezonatörün üst yüzeyine yerleştirildiğinde, tüm simülasyon parametreleri sabit tutulduğunda, gözlemlenen rezonans frekansları ($|S_{11}|_{dB}$) sırasıyla 4,305 GHz (-16,55 dB) ve 4,602 GHz (-37,02 dB) olarak belirlenmiştir. Simülasyon sonuçları doğrultusunda, %10, %20 ve %30 oranında gaz yağı eklenen mazot numuneleri için elde edilen rezonans frekansları ($|S_{11}|_{dB}$) sırasıyla 4,398 GHz (-18,36 dB), 4,494 GHz (-20,87 dB) ve 4,539 GHz (-22,81 dB) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, saf mazota kıyasla katkılı numunelerde gözlemlenen rezonans frekans kaymaları sırasıyla 0 MHz, 93 MHz, 189 MHz, 234 MHz ve 297 MHz olarak belirlenmiştir.

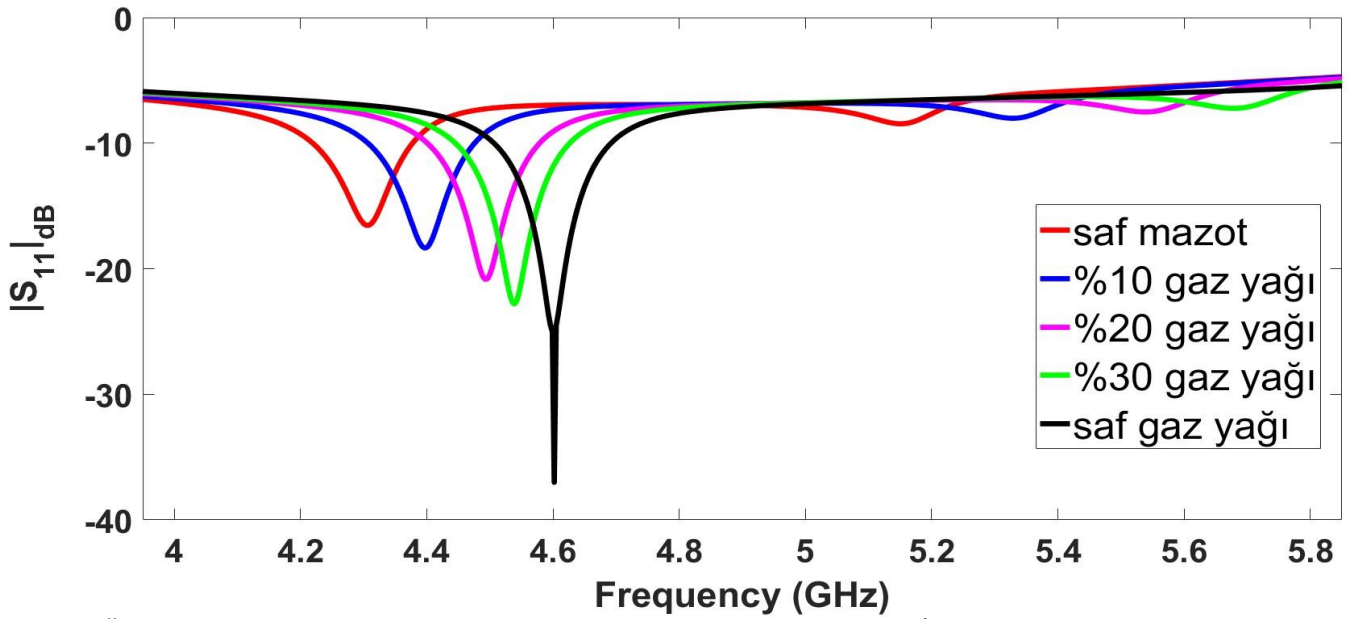


Şekil 3. a. Koaksiyel Prob Deneysel Ölçüm Düzenegi, b. Mazot Ve Gaz Yağı Numunelerinin Dielektrik Sabiti (ϵ'_r)

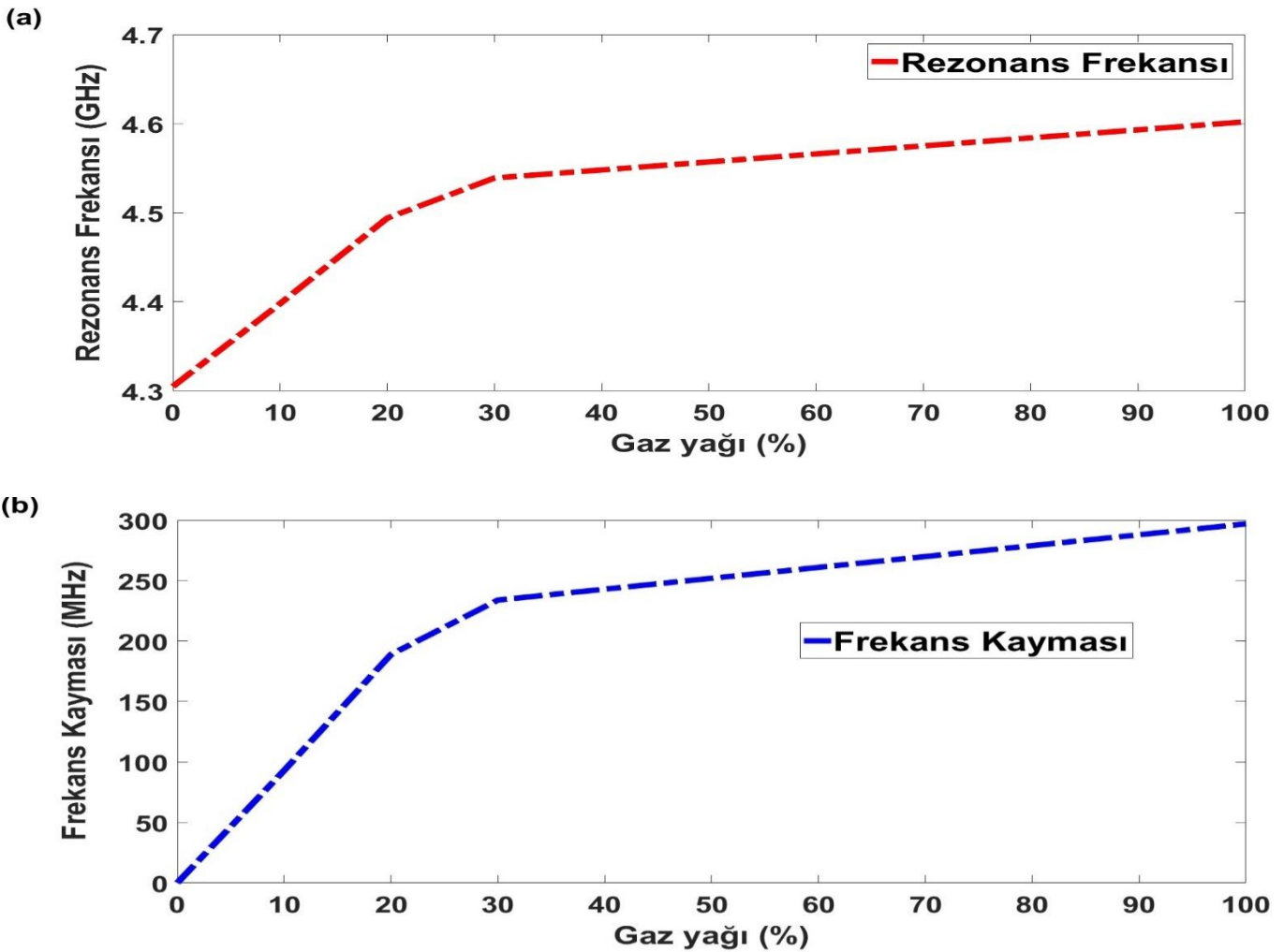
Tablo 1, numunelerin rezonans frekansları (f_r), $|S_{11}|_{dB}$ değerleri ve saf mazota kıyasla numunelerin rezonans frekans kaymalarını içeren mazot-gaz yağı taşıması sonuçlarını sunmaktadır. Gaz yağı oranı arttıkça, rezonans frekansının arttığı ve buna paralel olarak numunelerin rezonans frekans kaymalarının saf mazota kıyasla arttığı gözlemlenmiştir. Son olarak, gaz yağı oranı arttıkça $|S_{11}|_{dB}$ değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Sensör performansı genellikle hassasiyet, kalite faktörü ve başarımlı ölçümü gibi boyutsuz parametrelerle değerlendirilmektedir (Alahnomi vd., 2021). Önerilen sensörün kalite faktörü ve bant genişliği frekansı, (2) ve (3) numaralı ifadeler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Q = \frac{f_c}{f_b} \quad (2)$$

$$f_b = f_h - f_l \quad (3)$$



Şekil 4. Önerilen Sensörün Saf Mazot, Saf Gaz Yağı Ve Karışım Numuneleri İçin Benzetim Ortamındaki $|S_{11}|_{dB}$ Tepkileri



Şekil 5. a. Rezonans Frekansının Gaz Yağı Konsantrasyonuna Göre Değişim Grafiği Ve b. Frekans Kaymasının Gaz Yağı Konsantrasyonuna Göre Değişim Grafiği

Burada, f_c , f_b , f_h , ve f_l sırasıyla merkez rezonans frekansı, bant genişliği frekansı ile merkez frekansının -3 dB'lik sınırları içindeki daha yüksek ve daha düşük frekansları ifade etmektedir. Bu parametreler, sensörün performansının

değerlendirilmesinde kritik rol oynamaktadır. Önerilen sensör, numune ile yüklendiğinde ve elektrik alanının en yoğun olduğu bölgede test edildiğinde, rezonans frekansının, test edilen malzemenin dielektrik geçirgenliğine doğrudan bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bu ilişki, sensörün malzeme özelliklerini doğru bir şekilde tespit etme kabiliyetini gösterir. Bu durum, sensörün malzeme özelliklerindeki küçük değişikliklere karşı yüksek duyarlılığa sahip olduğunu ve bu değişikliklerin rezonans frekansındaki etkisini ortaya koymaktadır. Bu ilişki, göreceli geçirgenlik ($\Delta\epsilon_r$) değişikliklerinin, rezonans frekansındaki (Δf_r) doğrusal bir değişikliğe neden olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, önerilen sensörün hassasiyeti (S), (4) numaralı ifade kullanılarak hesaplanabilir.

$$S = \frac{\Delta f_r}{\Delta \epsilon_r} = \frac{f_{\text{empty}} - f_{\epsilon_r}}{\epsilon_r - 1} \quad (4)$$

Burada, ϵ'_r numunenin dielektrik sabitini, f_{empty} önerilen sensörün havadaki rezonans frekansını ve f_{ϵ_r} ise numunenin yerleştirildiği durumdaki sensörün rezonans frekansını temsil etmektedir. Bu parametreler, sensörün malzeme üzerindeki etkisini ve rezonans frekansındaki değişimi belirleyerek sensörün hassasiyetinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. S (%), önerilen sensörün normalleştirilmiş hassasiyetini ifade etmektedir (Alahnomi vd., 2021). Önerilen sensörün normalleştirilmiş hassasiyeti ve başarımlı ölçümü değeri sırasıyla (5) ve (6) ile hesaplanabilmektedir.

$$S(\%) = \frac{f_{\text{empty}} - f_{\epsilon_r}}{f_{\text{empty}}(\epsilon_r - 1)} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Başarımlı ölçümü} = \text{Hassasiyet}(\%) \times \text{Kalite Faktörü} \quad (6)$$

Tablo 1. Mazot-Gaz Yağı Numuneleri İçin Rezonans Frekansı (f_r), $|S_{11}|_{\text{dB}}$ Değerleri Ve Rezonans Frekansı Kaymaları (Δf_r)

Numuneler	f_r	$ S_{11} _{\text{dB}}$	Δf_r
Saf gaz yağı	4,602 GHz	-37,02 dB	297 MHz
%30 gaz yağı	4,539 GHz	-22,81 dB	234 MHz
%20 gaz yağı	4,494 GHz	-20,87 dB	189 MHz
%10 gaz yağı	4,398 GHz	-18,36 dB	93MHz
Saf mazot	4,305 GHz	-16,55 dB	0 MHz

Önerilen sensör, literatürdeki mevcut sensörlerle karşılaştırmalı bir değerlendirme yapmak amacıyla kalite faktörü, kullanılan malzeme, çalışma frekansı, hassasiyet ve başarımlı ölçümü gibi kriterler göz önünde bulundurularak Tablo 2'de analiz edilmiştir. Tablo 2'yi incelediğimizde, bu çalışmada önerilen sensörün 4740 kalite faktörü, %6,33 hassasiyet değeri ve 30004,2 başarımlı ölçümü değeri ile oldukça dikkat çekici bir performans sergilediği görülmektedir. Önerilen sensör, literatürdeki diğer çalışmalara göre daha yüksek kalite faktörü ve başarımlı ölçümü değerlerine sahip olup önerilen sensörün algılama uygulamaları için uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Önerilen Sensörün Literatürde Mevcut Diğer Sensörlerle Karşılaştırılması

Kaynak	Malzeme	f_r (GHz)	Kalite Faktörü	S (%)	Başarımlı ölçümü
(Altıntaş vd., 2019)	Motor yağı	2-6	60	-	34
(Tamer vd., 2020)	Dizel	8-12	110	-	37
(Abdulkarim vd., 2020)	Dizel	8-12	105	-	41
(Bakır vd., 2019)	Motor yağı	8-12	100	-	48
(Tümkaya vd., 2018)	Dizel	10-12	90	-	52
(Tamer vd., 2018)	Dizel	8-12	95	-	38
(Tümkaya vd., 2019)	Dizel	8-12	105	-	43
(Islam vd., 2022)	Zeytinyağı ve Mısır yağı	8-12	135	0,56	76
(Viskadourakis vd., 2024)	Yemeklik yağlar	2-9	24,3	2,24	8,82
(Islam vd., 2023)	Benzin ve etanol	8-12	430	1,99	855,70
(Al-Mudhafar & Ra'ed, 2022)	Petrol yağı ve kimyasal sıvılar	2-4	-	3,25	-
(Bakır & Yasar, 2022)	Süt	8-12	288	-	-
Önerilen sensör	Mazot ve gaz yağı	3,95-5,85	4740	6,33	30004,2

SONUÇ

Yakıt kalitesi motorlu araçlarda verimliliğin sürdürülebilmesi açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Ancak, yüksek maliyeti nedeniyle üretim süreçlerinde gaz yağı ile karıştırılabilmektedir. Bu çalışmada, mazot ile karıştırılmış gaz yağının tespitine yönelik dielektrik parametrelerdeki değişikliklere yüksek hassasiyetle tepki verebilen, tekrarlanabilir ve uygulanabilir bir mikrodalga (MD) sensörü önerilmektedir. Önerilen yansıma tabanlı sensör, 4,74 GHz frekansında rezonans göstermekte olup, $|S_{11}|_{dB}$ değeri yaklaşık -64,96 dB olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, sensörün elektrik alan ve yüzey akım dağılım analizleri de yapılmıştır. Ayrıca, saf mazot ve saf gaz yağı numunelerinin dielektrik sabitleri, dielektrik ölçüm probu düzeneği kullanılarak ölçülmüş ve ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Önerilen sensör, sırasıyla %10, %20 ve %30 katkılı numuneler için 93 MHz, 189 MHz ve 234 MHz rezonans frekans kaymaları gözlemlenmiş olup bu sonuçlar sensörün farklı yüzdeliklerdeki karışımları etkin bir şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir. Son olarak, önerilen sensörün performansı kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bu analizler neticesinde sensörün kalite faktörü, hassasiyet değeri ve başarımlı ölçümü hesaplanmıştır. Önerilen sensör, 4740 kalite faktörü, %6,33 normalleştirilmiş hassasiyet ve 30004,2 başarımlı ölçümü değeri ile literatürdeki diğer sensörlerle karşılaştırıldığında daha üstün bir performans sergilemektedir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular ve performans analizleri ışığında, önerilen MD sensör, rezonans frekansındaki kaymalar aracılığıyla mazot numunelerinde %10 oranında gaz yağı katkılmasını yüksek doğrulukla tespit etme kapasitesine sahiptir. Gaz yağı oranının artışı ile birlikte rezonans frekansında bir artış gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, gaz yağı oranının artmasıyla birlikte, numunelerin rezonans frekansı kaymalarının saf mazot numunesine kıyasla belirgin bir şekilde arttığı tespit edilmiştir. Gaz yağı oranının artışıyla birlikte, $|S_{11}|_{dB}$ değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, yüksek hassasiyet, üstün kalite faktörü, gelişmiş performans, düşük maliyet ve minimum numune tüketimi gibi önemli avantajlara sahip olan önerilen sensör, frekans tabanlı yansıma katsayısı tepkisi dikkate alındığında yakıt katkılama tespiti uygulamaları için uygun bir seçenek olarak değerlendirilebilir.

Yapay Zeka Katkı Beyanı

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zeka aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

KAYNAKLAR

- Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Karaaslan, M., & Unal, E. (2019). Determination of the liquid chemicals depending on the electrical characteristics by using metamaterial absorber based sensor. *Chemical Physics Letters*, 732, 136655. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136655>
- Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Karaaslan, M., Altıntaş, O., Awl, H. N., Muhammadsharif, F. F., ... & Luo, H. (2020). Novel metamaterials-based hypersensitized liquid sensor integrating omega-shaped resonator with microstrip transmission line. *Sensors*, 20(3), 943. <https://doi.org/10.3390/s20030943>
- Alahnomi, R. A., Zakaria, Z., Yussof, Z. M., Althuwayb, A. A., Alhegazi, A., Alsariera, H., & Rahman, N. A. (2021). Review of recent microwave planar resonator-based sensors: Techniques of complex permittivity extraction, applications, open challenges and future research directions. *Sensors*, 21(7), 2267. <https://doi.org/10.3390/s21072267>
- Al-Mudhafar, A. A., & Ra'ed, A. M. (2022). High-precise microwave active antenna sensor (MAAS) formulated for sensing liquid properties. *Sensors and Actuators A: Physical*, 341, 113567. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113567>
- Altıntaş, O., Aksoy, M., Ünal, E., & Karaaslan, M. (2019). Chemical liquid and transformer oil condition sensor based on metamaterial-inspired labyrinth resonator. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(6), B482. <https://doi.org/10.1149/2.1101906jes>
- Altıntaş, O., Aksoy, M., & Ünal, E. (2020). Design of a metamaterial inspired omega shaped resonator based sensor for industrial implementations. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 116, 113734. <https://doi.org/10.1016/j.physe.2019.113734>
- Bakır, M., Karaaslan, M., Karadag, F., Dalgac, S., Ünal, E., & Akgöl, O. (2019). Metamaterial sensor for transformer oil, and microfluidics. *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, 799-806. <https://aperta.ulakbim.gov.tr/records/70849>

- Bakır, M., & Yasar, İ. (2022). Metamalzeme Tabanlı Hassas Süt ve Sıvı Sensörü Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10-16. <https://doi.org/10.31590/ejosat.778770>
- Ergin, T., Stenger, N., Brenner, P., Pendry, J. B., & Wegener, M. (2010). Three-dimensional invisibility cloak at optical wavelengths. *science*, 328(5976), 337-339. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1186351>
- Farsakoglu, O. F., & Hasirci, H. Y. (2015). Energy optimization of low power LED drivers in indoor lighting. *J. Optoelectron. Adv. Mater.*, 17(5-6), 816-821. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:218175154>
- Farsakoğlu, Ö. F., Aksoy, N., Hasirci, H. Y., & Adam, A. (2018, May). Design and application of solar dish-gamma type stirling system. In *2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE)* (pp. 242-246). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEEE2.2018.8391339>
- Hasar, U. C., Ozturk, H., Korkmaz, H., Izginli, M., & Karaaslan, M. (2022). Improved line-line method for propagation constant measurement of reflection-asymmetric networks. *Measurement*, 192, 110848. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.110848>
- Hasar, U. C., Ozturk, H., Korkmaz, H., Tasdemir, A., Bute, M., Nis, A., ... & Ozkaya, M. A. (2023). Detection and quantification of alkali-silica-reaction (ASR) gel in cement-based mortars using microwave spectral and temporal transmission properties. *Measurement*, 214, 112800. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112800>
- Hasar, U. C., Hasar, H., Ozturk, H., Korkmaz, H., Kaya, Y., Ozkaya, M. A., ... & Ramahi, O. M. (2024). Simple and inexpensive microwave setup for industrial based applications: Quantification of flower honey adulteration as a case study. *Scientific Reports*, 14(1), 8847. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59346-3>
- Hasar, H., Hasar, U. C., Kaya, Y., Ozturk, H., Korkmaz, H., Yuzgulec, K., ... & Ramahi, O. M. (2025). Sensitive microwave sensor for detection and quantification of water in adulterated honey. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. <https://doi.org/10.1109/TIM.2025.3545196>
- Hashempour-baltork, F., Zade, S. V., Mazaheri, Y., Alizadeh, A. M., Rastegar, H., Abdian, Z., ... & Damirchi, S. A. (2024). Recent methods in detection of olive oil adulteration: State-of-the-Art. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101123. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101123>
- Hasırcı, H. Y., & Çelik, İ. (2019). Hydrogen Production by Artificial Leaf and Influence of Artificial Leaf on Renewable Energy. *International Journal of Innovative Research and Reviews*, 3(2), 35-38. <https://dergipark.org.tr/en/pub/injirr/article/699549>
- Hudec, P., Raboch, J., Randus, M., Hoffmann, K., Holub, A., Svanda, M., & Polivka, M. (2009, September). Microwave radar sensors for active defense systems. In *2009 European Radar Conference (EuRAD)* (pp. 581-584). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/5307180>
- Islam, M. T., Islam, M. R., Islam, M. T., Hoque, A., & Samsuzzaman, M. (2021). Linear regression of sensitivity for meander line parasitic resonator based on ENG metamaterial in the application of sensing. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 1103-1121. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.12.092>
- Islam, M., Bełkowska, L., Konieczny, P., Fornal, E., & Tomaszewska-Gras, J. (2022). Differential scanning calorimetry for authentication of edible fats and oils—What can we learn from the past to face the current challenges?. *Journal of Food and Drug Analysis*, 30(2), 185. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.3402>
- Islam, M. R., Islam, M. T., Hoque, A., Alshammari, A. S., Alzamil, A., Alsaif, H., ... & Soliman, M. S. (2023). Star enclosed circle split ring resonator-based metamaterial sensor for fuel and oil adulteration detection. *Alexandria Engineering Journal*, 67, 547-563. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.01.001>
- Kanyathare, B., & Peiponen, K. E. (2018). Hand-held refractometer-based measurement and excess permittivity analysis method for detection of diesel oils adulterated by kerosene in field conditions. *Sensors*, 18(5), 1551. <https://doi.org/10.3390/s18051551>
- Khalil, M. A., Yong, W. H., Islam, M. T., Hoque, A., Islam, M. S., Leei, C. C., & Soliman, M. S. (2023). Double-negative metamaterial square enclosed QSSR for microwave sensing application in S-band with high sensitivity and Q-factor. *Scientific Reports*, 13(1), 7373. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34514-z>

- Khursheed, M., Ahmad, A., Noor, S. E., García del Moral, L. F., & Martos Núñez, V. (2024). Chromatographic Techniques for the Detection and Identification of Olive Oil Adulteration. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación y docencia creativa*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/86578>
- Knittel, C. R. (2012). Reducing petroleum consumption from transportation. *Journal of Economic Perspectives*, 26(1), 93-118. <https://doi.org/10.1257/jep.26.1.93>
- Korkmaz, H., & Hasar, U. (2021). Wide band metamaterial absorber with lumped element. *The International Journal of Materials and Engineering Technology*, 4(1), 61-66. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tijmet/article/876664>
- Korkmaz, H., Hasar, U. C., & Ramahi, O. M. (2023). Thin-film MXene-based metamaterial absorber design for solar cell applications. *Optical and Quantum Electronics*, 55(6), 530. <https://doi.org/10.1007/s11082-023-04810-z>
- Korostynska, O., Mason, A., & Al-Shamma'a, A. (2014). Microwave sensors for the non-invasive monitoring of industrial and medical applications. *Sensor Review*, 34(2), 182-191. <https://doi.org/10.1108/SR-11-2012-725>
- Krödel, S., Thomé, N., & Daraio, C. (2015). Wide band-gap seismic metastructures. *Extreme Mechanics Letters*, 4, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.eml.2015.05.004>
- Lee, H. J., & Yook, J. G. (2008). Biosensing using split-ring resonators at microwave regime. *Applied Physics Letters*, 92(25). <https://doi.org/10.1063/1.2946656>
- Lee, Y., Kim, S. J., Park, H., & Lee, B. (2017). Metamaterials and metasurfaces for sensor applications. *Sensors*, 17(8), 1726. <https://doi.org/10.3390/s17081726>
- Liang, F. Y., Ryvak, M., Sayeed, S., & Zhao, N. (2012). The role of natural gas as a primary fuel in the near future, including comparisons of acquisition, transmission and waste handling costs of as with competitive alternatives. *Chemistry Central Journal*, 6, 1-24. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-S1-S4>
- Mehrotra, P., Chatterjee, B., & Sen, S. (2019). EM-wave biosensors: A review of RF, microwave, mm-wave and optical sensing. *Sensors*, 19(5), 1013. <https://doi.org/10.3390/s19051013>
- Menegoz Ursol, L., & Moret, S. (2024). Evaluation of the impact of olive milling on the mineral oil contamination of extra-virgin olive oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 126(3), 2300123. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202300123>
- Mohd Bahar, A. A., Zakaria, Z., Md. Arshad, M. K., Isa, A. A. M., Dasril, Y., & Alahnomi, R. A. (2019). Real time microwave biochemical sensor based on circular SIW approach for aqueous dielectric detection. *scientific reports*, 9(1), 5467. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41702-3>
- Moolat, R., Mani, M., Viswanathan, A. P., & Pezholil, M. (2022). Compact microwave sensor for monitoring aging of oil and fuel adulteration. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, 32(5), e23095. <https://doi.org/10.1002/mmce.23095>
- Musa, I. (2024). Investigation the optical properties of Palestinian olive oils for different geographical regions by optical spectroscopy technique. *Food Chemistry Advances*, 4, 100584. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100584>
- Nyfors, E. (2000). Industrial microwave sensors—A review. *Subsurface Sensing Technologies and Applications*, 1(1), 23-43. <https://doi.org/10.1023/A:1010118609079>
- Obaidullah, M., Esat, V., & Sabah, C. (2021). Multi-band (9, 4) chiral single-walled carbon nanotube based metamaterial absorber for solar cells. *Optics & Laser Technology*, 134, 106623. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2020.106623>
- Rueda, M. P., Domínguez-Vidal, A., Llorent-Martínez, E. J., Aranda, V., & Ayora-Cañada, M. J. (2024). Monitoring organic matter transformation of olive oil production residues in a full-scale composting plant by fluorescence spectroscopy. *Environmental Technology & Innovation*, 103695. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103695>
- Shi, Q., Dong, B., He, T., Sun, Z., Zhu, J., Zhang, Z., & Lee, C. (2020). Progress in wearable electronics/photonics—Moving toward the era of artificial intelligence and internet of things. *InfoMat*, 2(6), 1131-1162. <https://doi.org/10.1002/inf2.12122>
- Shukla, A., Pekny, J., & Venkatasubramanian, V. (2011). An optimization framework for cost effective design of refueling station infrastructure for alternative fuel vehicles. *Computers & Chemical Engineering*, 35(8), 1431-1438. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.03.018>

- Tamer, A., Alkurt, F. O., Altintas, O., Karaaslan, M., Unal, E., Akgol, O., ... & Sabah, C. (2018). Transmission line integrated metamaterial based liquid sensor. *Journal of The Electrochemical Society*, 165(7), B251. <https://doi.org/10.1149/2.0191807jes>
- Tamer, A., Karadağ, F., Ünal, E., Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Altintas, O., ... & Karaaslan, M. (2020). Metamaterial based sensor integrating transmission line for detection of branded and unbranded diesel fuel. *Chemical Physics Letters*, 742, 137169. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2020.137169>
- Tümkiye, M. A., Dinçer, F., Karaaslan, M., & Sabah, C. (2017). Sensitive metamaterial sensor for distinction of authentic and inauthentic fuel samples. *Journal of Electronic Materials*, 46, 4955-4962. <https://doi.org/10.1007/s11664-017-5485-x>
- Tümkiye, M. A., Karaaslan, M., & Sabah, C. (2018). Metamaterial-based high efficiency portable sensor application for determining branded and unbranded fuel oil. *Bulletin of Materials Science*, 41, 1-8. <https://doi.org/10.1007/s12034-018-1605-3>
- Tümkiye, M. A., Ünal, E., & Sabah, C. (2019). Metamaterial-based fuel sensor application with three rhombus slots. *International Journal of Modern Physics B*, 33(24), 1950276. <https://doi.org/10.1142/s021797921950276x>
- Vélez, P., Su, L., Grenier, K., Mata-Contreras, J., Dubuc, D., & Martín, F. (2017). Microwave microfluidic sensor based on a microstrip splitter/combiner configuration and split ring resonators (SRRs) for dielectric characterization of liquids. *IEEE Sensors Journal*, 17(20), 6589-6598. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2017.2747764>
- Viskadorakis, Z., Theodosi, A., Katsara, K., Sevastaki, M., Fanourakis, G., Tsilipakos, O., ... & Kenanakis, G. (2024). Engraved Split-Ring Resonators as Potential Microwave Sensors for Olive Oil Quality Control. *ACS Applied Electronic Materials*. <https://doi.org/10.1021/acsaelm.4c00430>
- Wu, B., Jiang, W., Jiang, J., Zhao, Z., Tang, Y., Zhou, W., & Chen, W. (2024). Wave manipulation in intelligent metamaterials: recent progress and prospects. *Advanced Functional Materials*, 2316745. <https://doi.org/10.1002/adfm.202316745>
- Yıldırım, M., & Gözel, M. A. (2023). Asimetrik eş-düzlemsel şerit beslemeli anten ile motor yağ seviye ve kullanım ömrü tespiti. *SDU Journal of Engineering Sciences & Design/Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 11(3). <https://doi.org/10.21923/jesd.1236041>
- Yılmaz-Düzyaman, H., de la Rosa, R., Velasco, L., Núñez-Sánchez, N., & León, L. (2024). Oil Quality Prediction in Olive Oil by Near-Infrared Spectroscopy: Applications in Olive Breeding. *Agriculture*, 14(5), 721. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050721>