

5G Üst Bandı 38 GHz’de Çalışan Dikdörtgen Yamalı Mikroşerit Anten

Mustafa MUTLU^{1*}, Mustafa KARA²

^{1,2}Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ordu

¹<https://orcid.org/0000-0001-6756-0668>

²<https://orcid.org/0000-0002-3793-6828>

*Sorumlu yazar: mustafamutlu@odu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 19.11.2022

Kabul tarihi: 24.02.2023

Online Yayınlanma: 04.12.2023

Anahtar Kelimeler:

5G

Mikroşerit anten

Sanal gerçeklik

Nesnelerin interneti

ÖZ

5G sistemi kablosuz iletişime önemli bir ivme kazandırmıştır. Teknolojik gelişmeler ışığında 5G sistemi birçok alt banda bölünerek frekans tahsisi yapılmış ve bu bantların bir kısmı ticari alana sunulmuştur. Bu çalışmada 5G üstbandı 38 GHz’de çalışan içten beslemeli dikdörtgen yamalı mikroşerit anten, Bilgisayar Benzetim Teknolojisi (Computer Simulation Technology, CST) ortamında tasarlanmıştır. Antenin taban kısmı, dielektrik kaybı küçük olan PF-4 ($h:2$ mm, $\epsilon_r:1,06$, $\tan\delta:0,0001$) ten oluşturulmuştur. Antenin yama ve toprak kısmı PF-4’ün alt ve üst yüzeyine yapışacak şekilde bir tarafı yapışkan bakır banttandır seçilmiştir. Tasarımın benzetim sonuçlarından; antenin 35,642 GHz-41,627 GHz bandında çalıştığı, yansıma katsayısı (Γ)’nın 0,16 Gerilim Duran Dalga Oranı (GDDO)’nın 1,239 kazancı (Gain, G)’nin 9,512 dB yöneltim (Directivity, D)’inin 10,47 dBi bant genişliği (Bandwidth, B_w)’nin 5,985 GHz ve 3 dB açıklığı (aperture width)’nin 28,7° olduğu görülmektedir. Bu benzetim sonuçları ışığında tasarlanan mikroşerit antenin 5G üst bandında, alıcı veya verici anten olarak başarılı bir şekilde kullanılabilceğini göstermektedir.

Rectangular Patch Microstrip Antenna Operating at 5G Upper Band 38 GHz

Research Article

Article History:

Received: 19.11.2022

Accepted: 24.02.2023

Published online: 04.12.2023

Keywords:

5G

Microstrip antenna

Virtually reality

IoT

ABSTRACT

The 5G system has given a significant impetus to wireless communication. In the light of technological developments, the 5G system has been divided into many sub-bands and frequency allocation has been made and some of these bands have been offered to the commercial area. In this study, an internally fed rectangular patch microstrip antenna operating at 38 GHz in the 5G upperband is designed in the Computer Simulation Technology (CST). The base of the antenna is made of PF-4 ($h:2$ mm, $\epsilon_r:1.06$, $\tan\delta:0.0001$) with a small dielectric loss. The patch and ground part of the antenna is selected from an adhesive copper tape on one side so that it adheres to the upper and lower surfaces of the PF-4. From the simulation results of the design; It is seen that the antenna operates in the 35.642GHz-41.627 GHz band, its reflection coefficient (Γ) is 0.16, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) 1.239 gain (G), 9.512 dB directivity (D) 10.47 dBi bandwidth (B_w) 5.985 GHz and 3 dB aperture 28.7°. These simulation results show that the designed microstrip antenna can be successfully used as a transmit or receive antenna in the 5G upper band.

To Cite: Mutlu M., Kara M. 5G Üst Bandı 38 GHz’de Çalışan Dikdörtgen Yamalı Mikroşerit Anten. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(3): 2267-2281.

1. Giriş

Haberleşme alanında en önemli gelişmelerden biri de 5G sisteminin ortaya çıkışıdır. Kablosuz iletişimin en önemli uygulayıcısı olan Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications, GSM) 5G ile çok önemli bir aşama kaydetmiştir. İnsanların cep telefonu kullanarak adeta tüm işlerini hallettikleri günümüzde, hızın ne kadar önemli olduğu bilinmektedir. Bu yüzden mevcut klasik yöntemlerin yerine onların yaptığı işi çok daha hızlı yapan ve onların yapamadığı yenilikleri sunan 5G sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, birden çok standardı ve yüksek veri hızını bünyesinde toplayan yeni bir iletişim sistemidir. Tablo 1’de 5G sistemi için tahsis edilmiş frekans bantları gösterilmiştir. 5G üç temel özelliği bakımından diğer teknolojilere üstünlük sağlamaktadır. Bunlar; yüksek hız, çok düşük gecikme ve yüksek yoğunluklu bağlantıdır. Yüksek hızı sayesinde ortalama indirme hızı 10 Gbps’ye kadar çıkmıştır. Bu sayede özellikle canlı yayınlarda görüntü kalitesi 4K ve 8K’ye kadar yükselmiş, canlı bağlantıdaki görüntü ve ses kalitesi artmıştır. Düşük gecikme özelliği sayesinde vericiden gönderilen veriler 1ms’nin altında bir sürede alıcıya ulaşabileceklerdir. Bu özellikten faydalanarak insanlar dünyanın neresinde olurlarsa olsunlar kendi aralarında çevrim içi oyun vb. etkinliklerde bulunabileceklerdir. En önemlisi sanal gerçeklik sayesinde sağlık alanında çeşitli faaliyetler uzaktan gerçekleştirilebilmektedir. Yüksek yoğunluklu bağlantı sayesinde kilometre kare başına milyonlarca cihaz aynı anda bağlantı sağlayabilmekte, nesnelerin interneti (IoT) ile çok yakın bir gelecekte kurmayı düşündüğümüz akıllı şehir, bina ve araç sisteminin tasarımı ve uzaktan kontrolü daha da kolaylaşacaktır. Yine bu yöntem sayesinde ev aletlerine uzaktan erişim imkânı sağlanabilmektedir. Mikroşerit antenler kablosuz iletişimde en çok kullanılan anten türleridir. Özellikle küçük ebatları ve birden çok farklı bantta çalışabilmeleri onları diğer antenlerden üstün kılmaktadır. Aşağıda 5G iletişimde kullanılan mikroşerit antenlerle ilgili çalışmalar özetlenmiştir.

5G uygulamaları için 2x2 E şekilli 8,23 dBi kazançlı lineer mikroşerit anten tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Praveena ve ark., 2022). 2,2 dielektrik sabiti ve 0,254 mm kalınlığa sahip Rogers RT/Duroid 5880 yalıtkan kullanılarak 28 GHz frekansında çalışan 1x4 anten dizisi tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve Geri Dönüşüm Kaybı (Return Loss, RL, S_{11}) Vektör Ağ Analizör (Vector Network Analyzer, VNA)’ü ile ışına yayılımı yankısız oda (Anechoic Chamber)’da ölçülmüştür. Tasarlanan ve gerçekleştirilen antenin karakteristik değerlerinin uyumlu olduğu gözlenmiştir (Gupta ve Gupta, 2022). 5G kablosuz haberleşme sistemi uygulamaları için 28 GHz frekansında bant genişliği (900 MHz), kazancı (6 dB) ve yönlülüğü (7 dBi) olan anten tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir (Ezzulddin ve ark., 2022). 5G için 28 GHz frekansında çalışan, 2 GHz bant genişliğine ve 7,18 dB’lik kazançla sahip anten tasarlanmıştır (Azizi ve Rabaani, 2022). 5G uygulamalarında kullanılmak üzere 0-10 GHz bandında, 9 dB’lik kazançla, 13 dBi’lik yönlülüğe sahip, daire, beşgen, altıgen ve sekizgen gibi yamaya sahip iki katmanlı alt yapı anten tasarlanmıştır (Vishnoi ve ark., 2022). Dielektrik sabiti $\epsilon_r=2,2$ ve kalınlığı $h=1,57$ mm olan RT Duroid 5880 kullanarak, 5G ve Lisanssız Spektrumdaki LTE

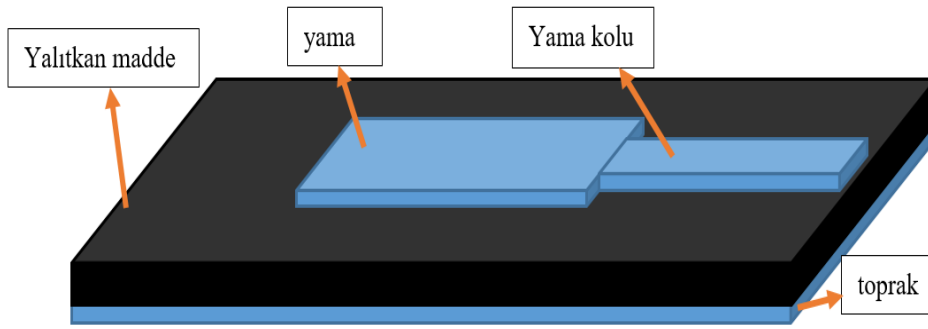
(Long Term Evolution in Unlicensed Spectrum, LTE-U) sistemlerinde, 3,52 GHz ve 5,37 GHz frekanslarında çalışan, geri dönüşüm kayıpları sırasıyla -31,54 dB ve -23,16 dB, kazancı 4,45 dB; bant genişliği 3 GHz ve anten verimi (η) % 80-96,68 aralığında değişen anten tasarlanmıştır (Przesmycki ve Bugaj, 2022). 5G orta bantta (3,58-3,73 GHz) çalışan dairesel polarize 2×2 dizili anten tasarlanmış ve üretilmiştir. Benzetim ve ölçüm sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Falih ve ark., 2022). 5G mobil uygulamalar için altyapısı 1mm kalınlığında RT/Duroid 5880 ve yama boyutları 33 mmx28,8 mm olan 3,5 GHz-11,65 GHz çalışma bandına sahip beş frekansta (3,5 GHz; 5,93 GHz; 7,49 GHz; 10,07 GHz ve 11,65 GHz) çalışan ve GDDO'nı 1,88 olan anten Yüksek Frekanslı Simülasyon Yapısı (High Frequency Simulation Software, HFSS) yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır (Elechi ve John, 2022). 5G kablosuz iletişimi için kullanılmak üzere dielektrik sabiti 4,4 olan bir FR-4 kullanılarak 1,5 GHz ve 8,7 GHz frekanslarında çalışan dikdörtgen yamaya dairesel yuvalar yerleştirilerek anten tasarlanmıştır (Muduli ve ark., 2022). Dielektrik sabiti 4,4; kayıp tanjantı 0,02 olan FR-4 kullanılarak 2,74-76,83 GHz aralığında çalışan anten tasarlanmıştır (Djellid ve ark., 2022). 5G kablosuz iletişim sistemi için dielektrik katsayısı 2,2 olan ile Rogers RT/Duroid5880 alt malzeme kullanılarak 28 GHz'de çalışan MIMO mikroşerit anten tasarlanmıştır. Antenin bant genişliği 3,94 GHz'dir (Choudhary ve ark., 2022). 5G ve modern mobil iletişim teknolojilerinde kullanılmak üzere 26 ve 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır. Yamanın üzerinden iki simetrik L yuvası ve ortasından kare çıkartılarak antenin karakteristik değerlerinde iyileştirmeler yapılmıştır (Nahas, 2022). 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır (Hamzah ve ark., 2022). Dielektrik sabiti 3,55 ve kalınlığı 0,8 mm olan Rogers RO4003C kullanarak 3,3-3,8 GHz bandında 3,5 GHz'de çalışan, 14,9 dB'lik kazançla sahip 4×4 anten dizisi tasarlanmıştır (Bashar ve Elrouby, 2022). Dielektrik sabiti, 2,2, kayıp tanjantı 0,0009 ve kalınlığı, $h:0,787$ mm olan Rogers RT5880 alt malzemesi kullanılarak 28 GHz'de çalışan dikdörtgen yamalı anten tasarlanmıştır (Razak ve Shah, 2022). Dielektrik sabiti 2,2 ve kayıp tanjantı 0,0009 olan $7,8546 \times 9,0356 \times 0,8$ mm boyutlarında RT Rogers 5880 alt malzemesi kullanılarak (36,5-40 GHz) Ka çalışma bandında 32 GHz ve 38 GHz'de çalışan, sırasıyla bant genişlikleri 2,8 ve 2,85 GHz, kazançları 6,27 dB ve 4,73 dB olan anten tasarlanmıştır (Hatte ve ark., 2022). Bu çalışmada, pek çok kanser tümörünün tespitinde kullanılmak üzere giyilebilir bir dikdörtgen mikroşerit anten tasarımı ve gerçekleştirilmesi yapılmıştır. Mikrodalga görüntüleme sistemlerinde hem alıcı hem de verici olarak kullanılacak antenin yama ve toprak kısmı iletken (bakır) banttandır, yalıtkan kısmı ise PF-4 (köpük) malzemedendir oluşturulmuştur. CST programı kullanılarak tasarlanan antenin çalışma frekans aralığı 1,71 GHz ile 8,53 GHz arasında olup bant genişliği 6,82 GHz'dir. Üretilen antenin bant genişliği ise 6,75 GHz'dir (1,6 GHz-8,35 GHz). Anten kazancı 5,31 dB'dir (Mutlu ve Kurnaz, 2020).

Tablo 1. 5G frekansları

Bantlar	Frekans aralığı (GHz)
Düşük bant	1<
Ortabant I	1-2,6
Ortabant II	3,5-6
Üst bant	24-40

2. Materyal ve Metot

5G üst bandı 38 GHz’de çalışacak antenin tasarımına ara malzeme için yalıtkan, yama ve toprak için seçilecek iletken malzemenin belirlenmesiyle başlanır. Mikroşerit antenler dört kısımdan oluşur. Bunlar: yama, yama kolu, yalıtkan malzeme ve topraktır. Yama, yama kolu ve toprak iletken malzemeden, orta kısım ise yalıtkan malzemeden oluşur. Şekil 1’de bir mikroşerit anteni oluşturan kısımlar gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Mikroşerit anteni oluşturan kısımlar

Mikroşerit anteni oluşturan iletken ve yalıtkanın seçimi, antenin karakteristik değerlerini (kazanc, yöneltim, geri dönüş kaybı ve ışıma örüntüsü gibi) değiştirmektedir. Tablo 2’de anten tasarlanırken seçilen yalıtkan ara malzemenin özellikleri verilmiştir. Yalıtkan malzeme (PF-4) seçilirken bu malzemenin dielektrik kaybını temsil eden kayıp tanjantın küçük olmasına dikkat edilmiştir.

Tablo 2. Yalıtkan malzemenin özellikleri

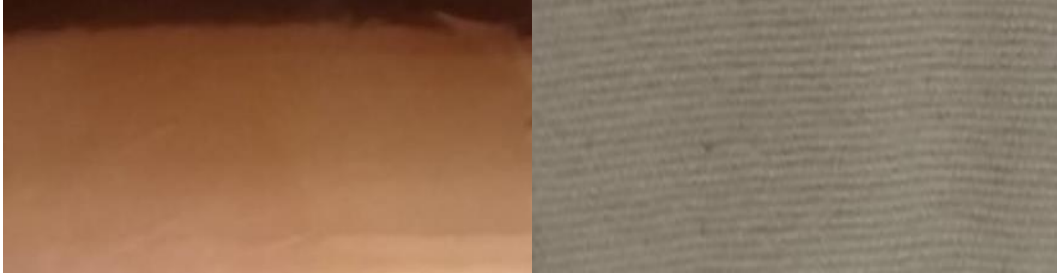
Dielektrik malzemenin türü	Dielektrik katsayısı (ϵ_r)	Kayıp tanjantı ($\tan\delta$)	Yüksekliği (mm)
PF-4	1,06	0,0001	2

Tablo 3’te ise toprak ve yama için seçilen bir tarafı yapışkan bakır bandın özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. İletken malzemenin özellikleri

	Elektriksel iletkenlik σ (MS/m)	Yüksekliği (mm)
Bir tarafı yapışkan bakır bant	59	0,08

Şekil 2-a-’da bir tarafı yapışkan iletken bakır bandın, -b-’de ise yalıtkan malzemenin resmi verilmiştir.



-a-

-b-

Şekil 2. Seçilen -a- iletken, -b- yalıtkanın görüntüsü

Anten için yalıtkan ve iletken malzemeler belirlendikten sonra, antenin çalışacağı frekansa karar verilir, ardından CST ortamında dikdörtgen mikroşerit antenin tasarımına geçilir.

Önce yama kısmın genişliği, uzunluk artışı ve etkin bağıl dielektrik sabiti aşağıdaki bağıntılarda ($f_r:38$ GHz ve $\epsilon_r:1,06$ ve $h:2$ mm) yerine yazılarak bulunur (Balanis, 2005): Yama genişliği (mm):

$$W = \frac{1}{2 \times f_r \times \sqrt{\mu_0 \times \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = 3,887 \text{ mm} \quad (1)$$

bulunur.

Etkin bağıl dielektrik sabiti, ($\frac{W}{h} = 1,943 > 1$) koşulu altında eşitlik (2)'den bulunur.

$$\epsilon_{\text{retkin}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12 \times h}{W} \right]^{-1/2} = 1,0412 \quad (2)$$

Eşitlik (2)'den hesaplanan etkin dielektrik sabiti ve (1) eşitliğinden bulunan yama genişliği kullanılarak, yamanın besleme koluyla birleştiği noktayla yamanın ön kısmında elektriksel olarak meydana gelen saçaklanma etkisiyle oluşan uzunluk artışı eşitlik (3)'ten hesaplanır.

$$\Delta L = \frac{2(0,412) (\epsilon_{\text{retkin}} + 0,3) \left[\frac{W}{h} + 0,264 \right]}{(\epsilon_{\text{retkin}} - 0,258) \left[\frac{W}{h} + 0,8 \right]} = 0,5676 \text{ mm} \quad (3)$$

(2) ve (3) numaralı eşitlikle bulunan ϵ_{retkin} ve ΔL kullanılarak yamanın teorik uzunluğu (L), Eşitlik (4)'ten hesaplanır:

$$L = \frac{c}{2 \times f_r} (\epsilon_{\text{retkin}})^{-1/2} - 2 \times \Delta L = 1,595 \text{ mm} \quad (4)$$

(1) nolu eşitlikle bulunan yama genişliği (W) ve (4) nolu eşitlikle bulunan yama uzunluğu (L)'den yararlanarak (5) ve (6) nolu eşitliklerden sırasıyla dielektrik ve toprak kısmın genişliği (W_g) ve uzunluğu (L_g)

$$W_g = W + 6 \times h = 15,887 \text{ mm} \quad (5)$$

$$L_g = L + 6 \times h = 13,595 \text{ mm} \quad (6)$$

bulunur.

Burada;

W_g : toprak ve dielektrik kısmın genişliği (mm)

L_g : toprak ve dielektrik kısmın uzunluğunu (mm)

h: dielektrik kısmın yüksekliği (mm)

ϵ_r : bağıl yalıtkanlık sabitini

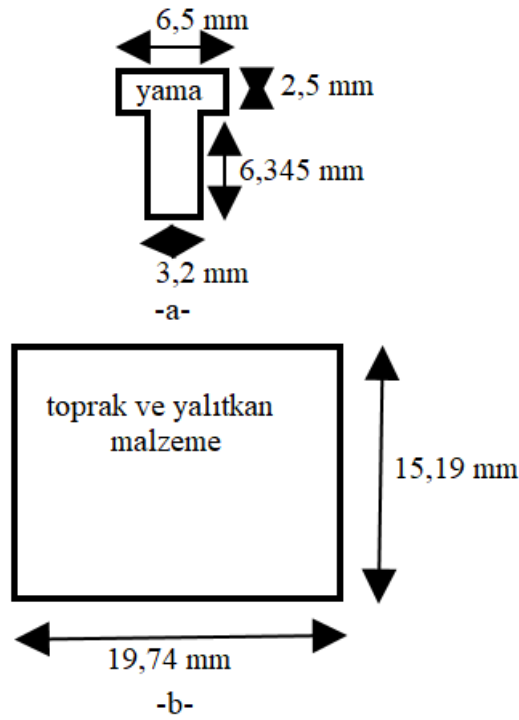
ifade eder.

Teorik olarak yukarıdaki gibi bulunan ebatlarla CST ortamında tasarım yapıldığında çoğunlukla elde edilen geri dönüş kaybı, kazanç, yöneltim gibi karakteristik değerler arzu edilen değerlerin altında olur. Bu yüzden özellikle yama kısmın uzunluk ve genişliği üzerinde değişiklik yapılarak istenilen karakteristik değerler elde edilene kadar program sürekli koşturulur. Tablo 4'te antenin teorik ve gerçek ebatları verilmiştir.

Tablo 4. Antenin teorik olarak bulunan ebatlarıyla gerçek ebatları

	Teorik (W) (mm)	Gerçek (W) (mm)	Teorik (L) (mm)	Gerçek (L) (mm)
Yama	3,887	6,5	1,595	2,5
Toprak	15,887	19,74	13,595	15,19
Yalıtkan	15,887	19,74	13,595	15,19

Şekil 3'te antenin istenilen karakteristik sonuçlarını veren -a-'da yama kısmın, -b-'de ise toprak ve yalıtkan malzemenin ebatları gösterilmiştir.

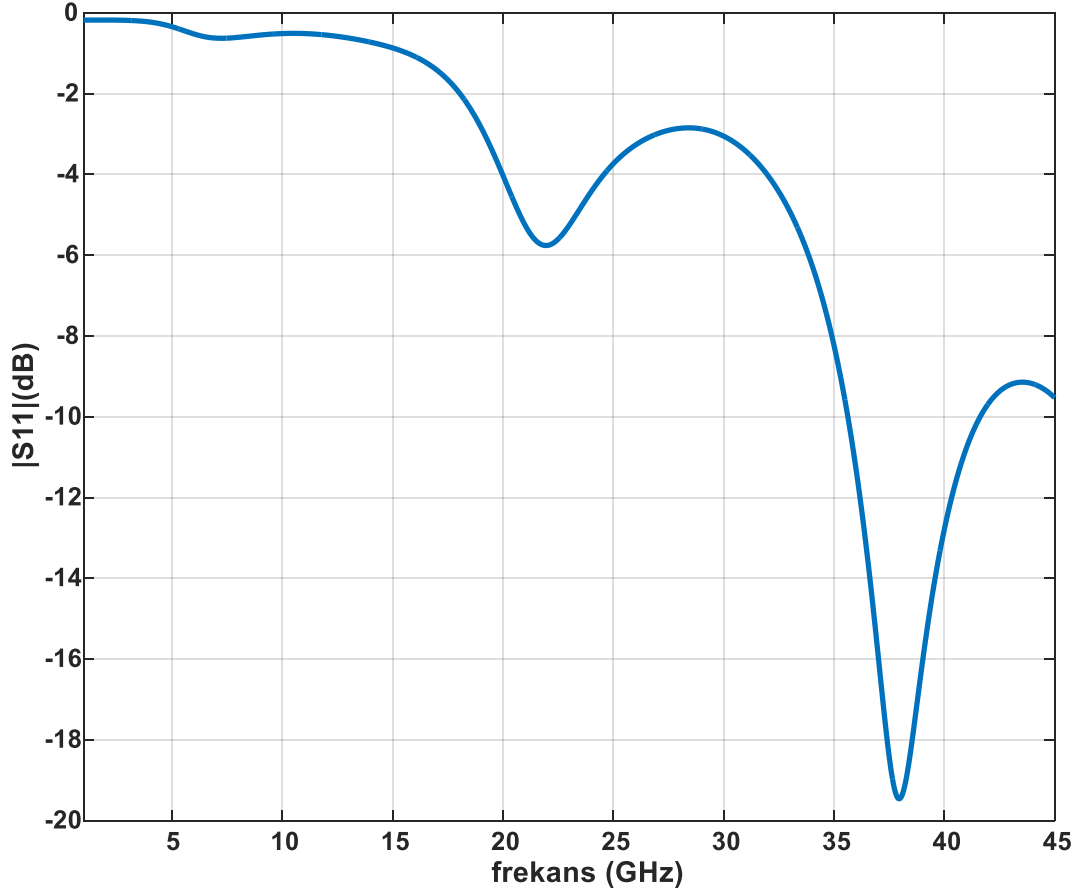


Şekil 3. Tasarlanan antenin -a- yama kısmın, -b- yalıtkan ve toprak kısmın ebatları

3. Bulgular ve Tartışma

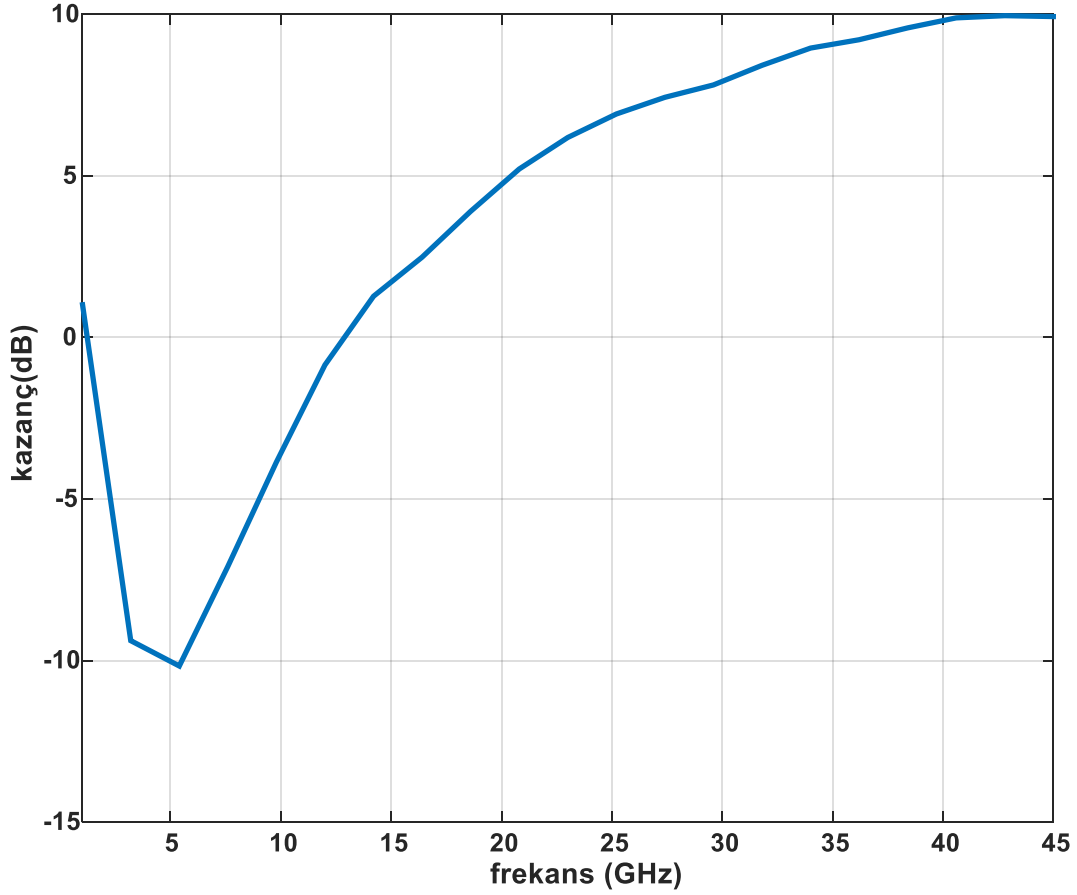
Benzetim sonucunda elde edilen karakteristik değerler, tasarlanan antenin başarısını gösteren önemli kanıtlardır. Tasarlanan antenin geridönüş kaybının frekansla değişimi şekil 4'te gösterilmiştir. Eğrinin -10 dB'i kestiği iki frekans değeri, antenin alt ve üst kesim frekansını verir. Bu iki frekans arasındaki frekans farkı, antenin bant genişliğini ifade eder. S_{11} eğrisinin en düşük değerine karşılık gelen frekans antenin çalışma frekansını verir. S_{11} ne kadar küçük olursa antenin empedans uyumunun o kadar iyi

yapıldığıının ifadesidir. Şekil 4'ten alt kesim frekansının 35,642 GHz, üst kesim frekansının 41,627 GHz ve bant genişliğinin normal bir mikroşerit antenin bant genişliğinden çok daha geniş 5,986 GHz olduğu görülmektedir. Aynı zamanda S_{11} 'in en düşük değerinin -19,452 dB ve bu değere karşılık gelen gerçek çalışma frekansının 37,995 GHz olduğu görülmektedir. Anten tasarlanırken alınan çalışma frekansı (38 GHz) ile tasarlanan antenin benzetim sonucunda bulunan çalışma frekansının (37,995 GHz) birbirine yakın olması anten tasarımının iyi yapıldığını gösterir.



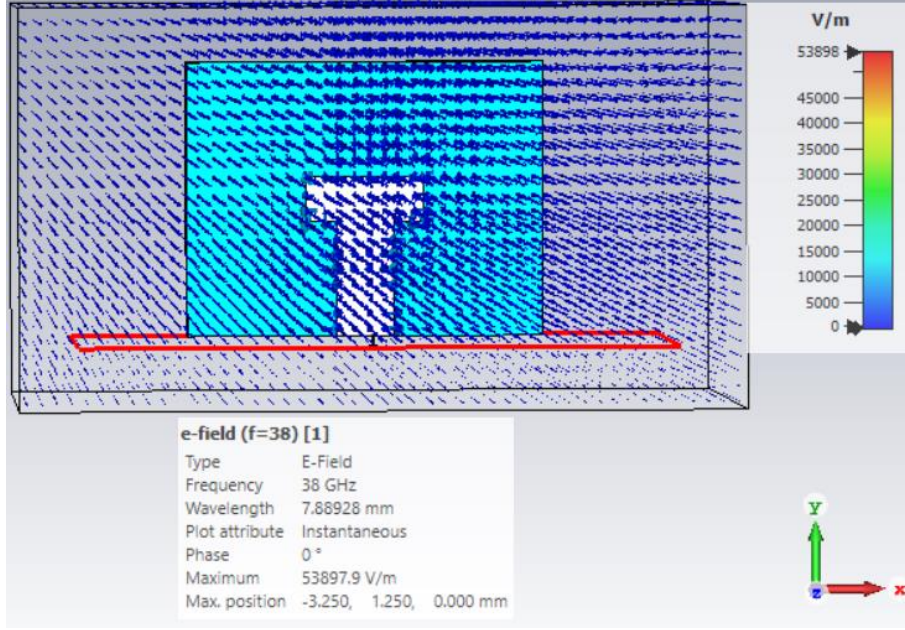
Şekil 4. Geri dönüş kaybının frekansla değişimi

Şekil 5'te antenin önemli parametrik değerlerinden biri olan kazancın frekansla değişimi gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde en yüksek kazanç (9,512 dB) ve bu değere karşılık gelen frekansın, çalışma frekansı olarak seçilen 38 GHz olduğu görülmektedir.



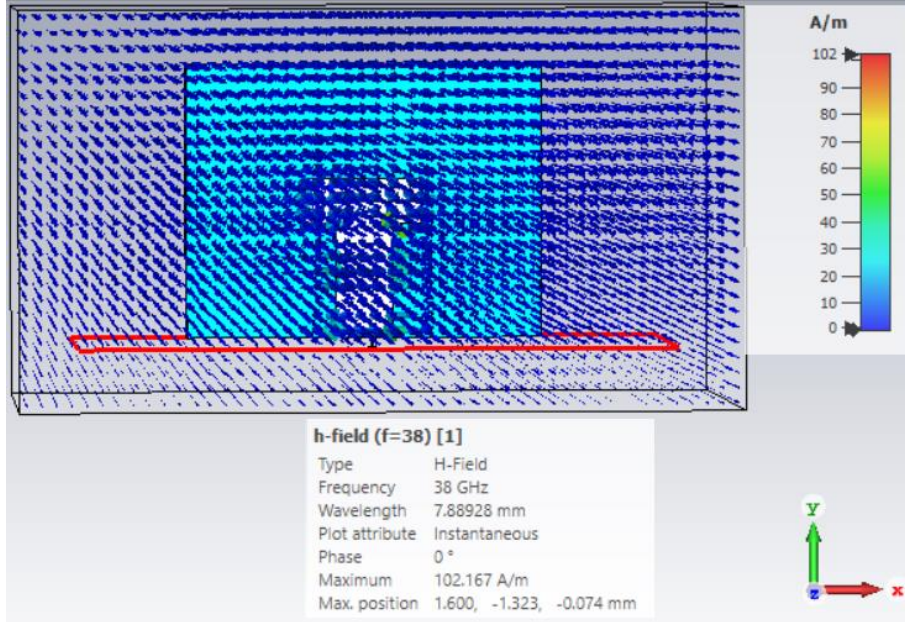
Şekil 5. Kazancın frekansla değişimi

Mikroşerit antenlerde ışınım, yamanın yama koluyla birleştiği noktayla yamanın ön kısmında oluşmaktadır. Şekil 6'da anten üzerindeki elektrik alan değişiminin önden görünümü gösterilmiştir. CST ortamında elektrik alanın phi ve theta'ya bağlı değişiminden antenin polarizasyonu belirlenmektedir. Polarizasyon haberleşmede önemli bir parametredir. Alıcı ve verici anten aynı polarizasyonda olmadığında alıcı antende, alıcı ve verici anten polarizasyonu arasındaki açının cosinüs'ünün karesiyle doğru orantılı olarak ifade edilen polarizasyon kaybı (Polarization Loss Factor, PLF)'ndan dolayı daha düşük bir gerilim elde edilir ($PLF = \cos^2\phi$). Şekil 6'da elektrik alanın +X yönünde olduğu görülmektedir.



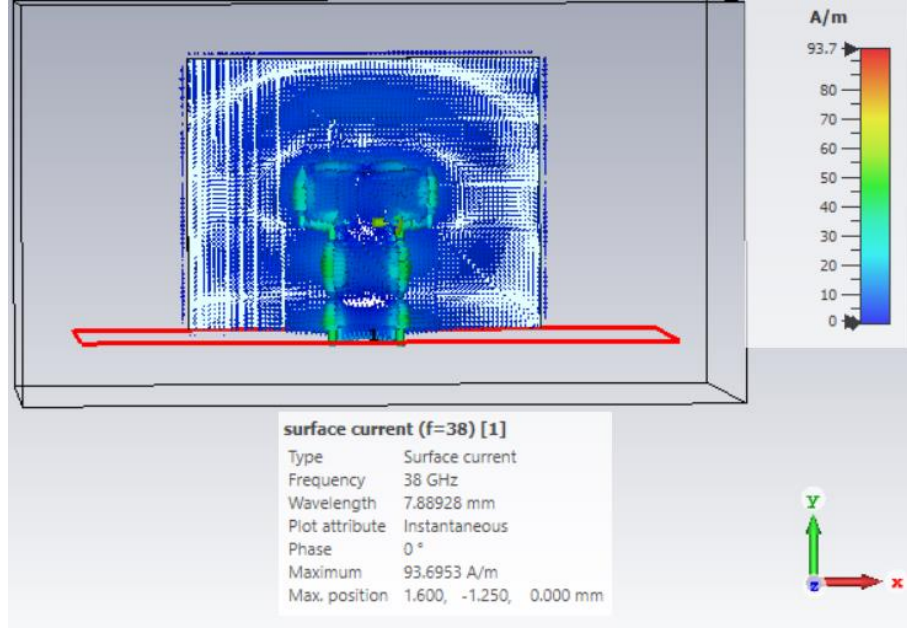
Şekil 6. Anten üzerindeki elektrik alan değişimi

Şekil 7’de anten üzerindeki manyetik alan değişiminin önden görünümü verilmiştir. Şekil 7’de manyetik alan değişimi +Y yönündedir. Anten lineer polarizasyonlu olduğundan elektrik alan değişim yönü +X, manyetik alan değişim yönü +Y ve antenden yayılan elektromanyetik alanın yayılım yönü +Z’dir.



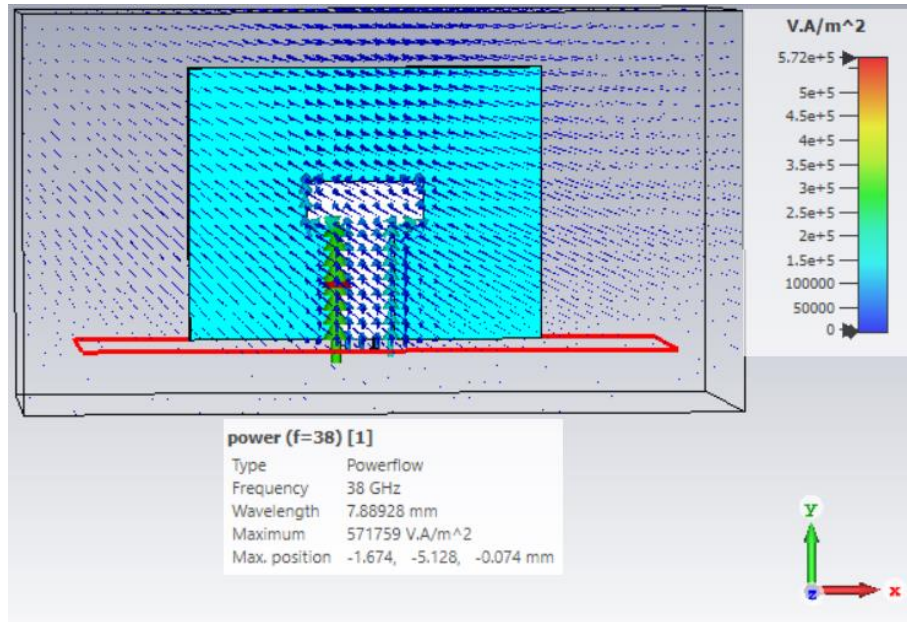
Şekil 7. Anten üzerindeki manyetik alan değişimi

Şekil 8’de anten yüzeyindeki akım değişiminin önden görünümü verilmiştir. CST ortamında yüzey akımının üç boyutlu değişimini görmek mümkündür. Bu değişim anten yüzeyindeki akımın yoğunlaştığı bölgeleri gösterir.



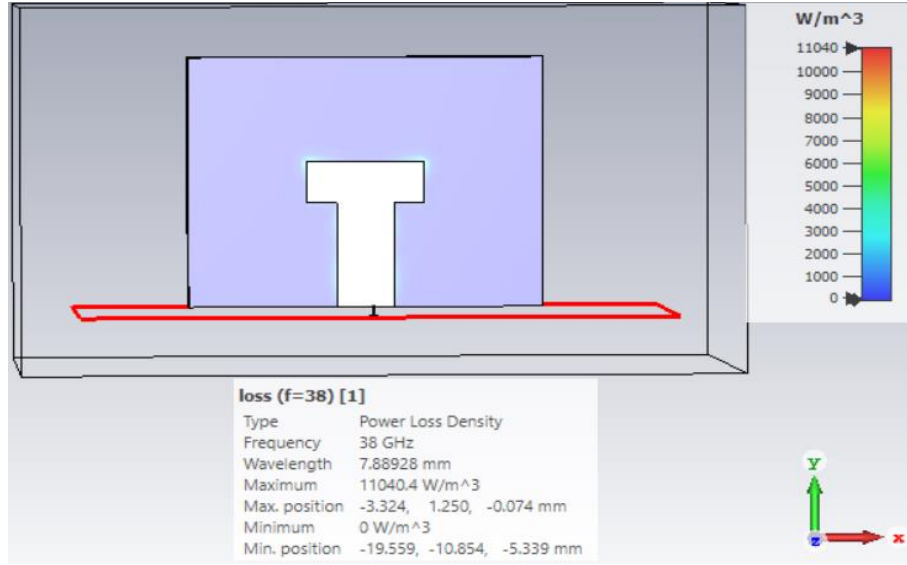
Şekil 8. Anten üzerindeki yüzey akımının değişimi

Şekil 9’da anten yüzeyindeki güç yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir. Şekilden çalışma frekansında yama kısmın; gücü, anten yüzeyinde nasıl yönlendirdiği görülmektedir. Verici antenin güç yoğunluğu değişimi, alıcı antenin verici anten karşısında konumunun ne olması gerektiğinin bilgisini vermektedir.



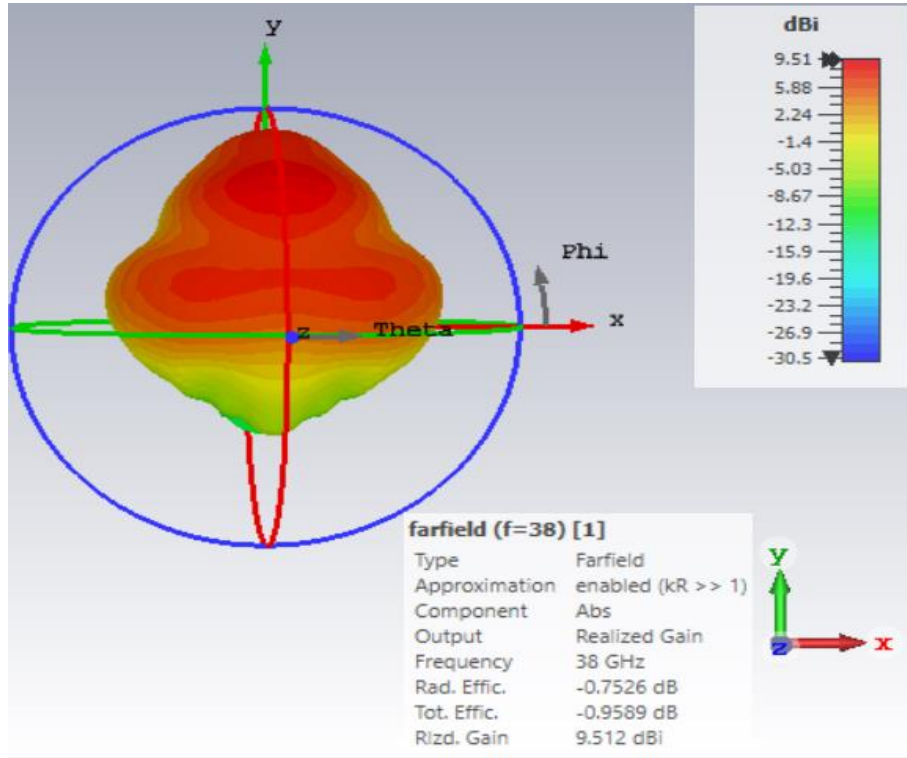
Şekil 9. Anten üzerindeki güç yoğunluğunun değişimi

Şekil 10'da anten üzerindeki hacimsel enerji kaybı değişiminin önden görüntüsü verilmiştir. Çalışma frekansında antenin enerji kaybının hacimsel değişimi, antenin enerji kaybının miktarını ve yoğunlaştığı bölgeleri verir.



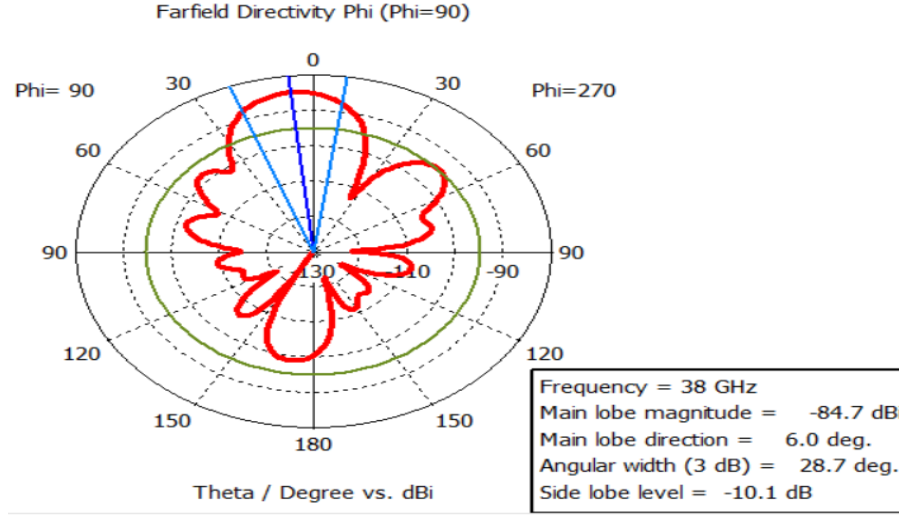
Şekil 10. Anten üzerindeki enerjinin hacimsel değişimi

Şekil 11'de kazancın phi ve theta açısına bağlı olarak üç boyutlu değişimi gösterilmiştir. Şeklin sağ tarafındaki renk yelpazesinden görülebileceği gibi kazanç turuncudan kırmızıya doğru artmaktadır. Şekilde yayılımın +Z yönünde maksimum olduğu görülmektedir. Bu şekil anteni verici olarak kullanacak alıcı antenin hangi bölgede konumlanacağıyla ilgili bize önemli bilgiler verir.



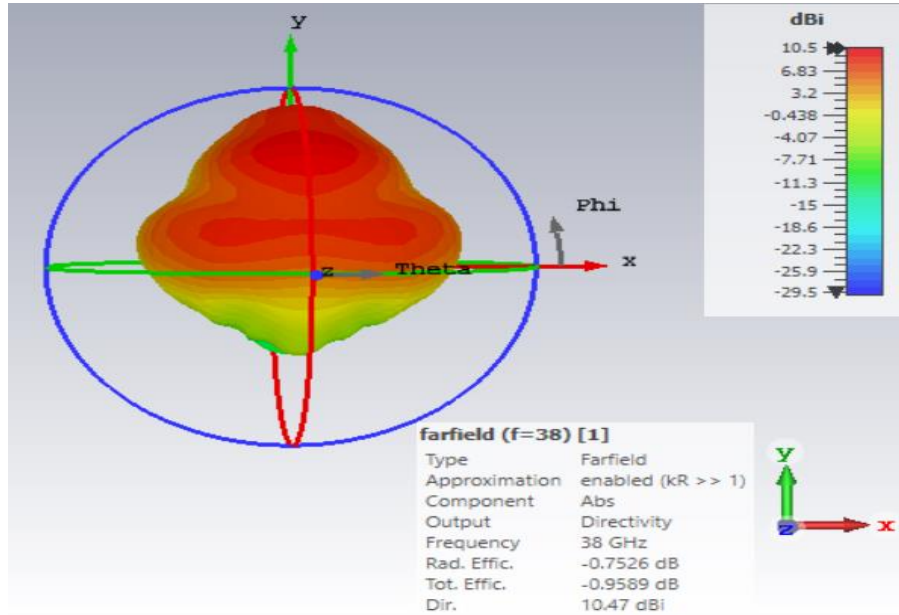
Şekil 11. Kazancın phi ve theta'ya göre üç boyutlu değişimi

Şekil 12’de yönlülüğün iki boyutlu değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden yararlanarak antenin ana lob, yan lob, arka lob’unu ve 3 dB açıklığını bulabiliriz. Ana lob’dan yayılımın yönünü, bu değerlerin en yüksek değerinden 3 dB aşağı düştüğü noktalar arasından antenin kapsam alanını ($28,7^\circ$) buluruz. Aynı zamanda bu grafikten antenin önemli kalite ölçütlerinden biri olan ana lob en yüksek alan değerinin, arka lob en düşük alan değerine bölümünü veren ön/arka oranını da bulmak mümkündür. Antenlerde bu oranın yüksek olması istenir ve bu oran antenin kalitesini göstermesi açısından önemlidir.



Şekil 12. Yönlülüğün phi ve theta’ya göre değişimi

Şekil 13’te anten değerlendirilmesinde en önemli parametrelerinin başında bulunan yöneltimin phi ve theta açısına bağlı değişimi verilmiştir. Şekilden antenin +Z yönünde gücü yoğunlaştırdığını görmek mümkündür. Antenlerin yöneltimi, antenin kazancı ve verimi ($\eta=G/D$) arasındaki ilişkiyi vermektedir.



Şekil 13. Yönlülüğün phi ve theta’ya göre üç boyutlu değişimi

Tablo 5'te literatürde bahsedilen antenlerle tasarlanmış olduğumuz antenin; alt yapı malzemesi, dielektrik katsayısı, yama tipi, kazanç çalışma frekansı gibi birçok yönden karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 5. Literatürdeki bazı antenlerle tasarlanmış olan antenin karşılaştırması

Yazar/ yıl	Çalışma frekansı f_r (GHz)	Bant Genişliği B_w (GHz)	Kazanç G (dB)	Dielektrik katsayısı ϵ_r	Yama tipi/ altyapı
Bashar ve Elrouby, 2022	3,5	0,5	14,9	3,55	Kare tipi yamalı, 4x4 dizi, Rogers RO4003C, h:0,8mm tasarlanmıştır
Razak ve Shah, 2022	28	2	7,639-10,86	2,2	Dikdörtgen yamalı, tek iki ve dört elemanlı dizi, mikroşerit besleme ve içten beslemeli antenin karşılaştırılması yapılmış, Rogers RT5880, h:0,787 mm, $\tan\delta:0,0009$, anten tasarlanmıştır
Hatte ve ark., 2022	32 38	2,8 2,85	6,27 4,73	2,2	RT Rogers 5880, $\tan\delta:0,0009$, tasarlanmıştır
Hamzah ve ark., 2022	28	0,459	6,99	2,2	Dikdörtgen yamalı, h:0,1 mm, tasarlanmıştır
Falih ve ark., 2022	3,5	0,15	3,5	4,3	Dairesel yamalı, dairesele polarize 2x2 dizi anten, FR-4 üretilmiştir
Azizi ve Rabaani, 2022	28	2	7,18	2,94	Dikdörtgen yama, Roger RT 6002, $\tan\delta:0,0012$, h:7,62 mm, tasarlanmıştır
Elechi ve John, 2022	3,5 5,93 7,49 10,07 11,65	0,05 0,09 0,11 0,2 0,28	5,97	2,2	RT/Duroid 5880, h:1mm, 4 farklı dikdörtgen yamalı içten beslemeli, anten tasarlanmıştır
Nahas, 2022	26 28	0,55 1,1	8,63 11,26	2,2	Rogers RT5880,dikdörtgen yamalı, h: 0,508mm, $\tan\delta:0,0009$ içten beslemeli tasarlanmıştır
Gupta ve Gupta, 2022	28	2,64	7,07	2,2	Rogers RT/Duroid 5880, h:0,254 mm, dairesele yamalı 1 ve 4 elemanlı dizi üretilmiştir
Mutlu ve Kara	38	5,98	G: 9,512, Γ : 0,106 GDDO:1,239 3 dB açıklığı 28,7°	1,06	Dikdörtgen yamalı, PF-4, $\tan\delta:0,0001$, h: 2 mm, tasarlanmıştır

4. Sonuç

Bu çalışmada 5G sistemi üst bandında çalışacak şekilde alt tabanı PF-4'ten iletken kısmı, bir tarafı yapışkan bakır banttandır oluşan ve 38 GHz'de çalışan, yamasının boyutları 6,5 mmx2,5 mmx2 mm olan içten beslemeli dikdörtgen mikroşerit anten CST ortamında tasarlanmıştır. Yalıtkan olarak PF-4'ün seçimi, antenin dielektrik kaybını gösteren kayıp tanjantın çok küçük olmasındandır. Aynı zamanda bu

malzeme kolaylıkla tedarik edilebilmektedir. İletken olarak da bir tarafı yapışkan bakır bandın seçimi, antenin pratik olarak gerçekleştirilmesi halinde alt malzeme olarak PF-4 seçilmesi durumunda, PF-4'ün her iki yüzüne (alt yüzeyi toprak, üst yüzeyi yama) rahatlıkla yapıştırılabilmemesindedir. Antenin en önemli kısmı olan yamanın boyutları çok küçük olmasına rağmen, benzetim sonuçlarına bakıldığında belki de sadece mikroşerit antenlere özgü karakteristik değerler elde edilmiştir. Tasarlanan anten 35,642 GHz ile 41,627 GHz aralığında çalışabilmekte dolayısıyla antenin bant genişliği 5,486 GHz gibi normal mikroşerit antenlerin sahip olamayacağı kadar geniş bir bant elde edilmiştir. Antenin; geri dönüş kaybı -19,452 dB, yansıma katsayısı 0,106 ve çalışma frekansı 37,995 GHz, kazancı 9,512 dB, yöneltimi 10,47 dBi ve verimi % 90,8'dir. Antenin 3 dB açıklığı 28,7° olması, gücün çok dar bir alana yayıldığını, yöneltimin çok iyi olduğunu gösterir. Bu çalışmanın 5G üst bandıyla ilgili yapılacak anten tasarımlarına yol göstereceği kanaatindeyim.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye benzer oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

- Azizi MK., Rabaani K. Design of microstrip antenna for 5G applications at 28 GHz. Microwave Mediterranean Symposium (MMS) 2022; 1-3. Italy.
- Balanis AC. Antenna theory analysis and design. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. Published Simultaneously in Canada; 2005.
- Bashar IKK., Elrouby A. Broadband dual-polarized aperture-coupled patch antenna for 5G applications. International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET) 2022; 10(8): 666-671.
- Choudhary S., Jha G., Kumar A., Kumar A. A broadband microstrip mimo antenna for 5G mm-wave applications. Optical and Wireless Technologies. Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE) 2022; 892: 339-344.
- Djellid A., Benmeddour F., Bahri L., Ghodbane A. Novel high-gain and compact UWB microstrip antenna for WiFi, WIMAX, WLAN, X band and 5G applications. Optical and Quantum Electronics 2022; 54: 1-13. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03731-7>.
- Elechi P., John POR. Improved multiband rectangular microstrip patch antenna for 5G application. Journal of Telecommunication. Electronic And Computer Engineering (JTEC) 2022; 14(2): 1-14.

- Ezzulddin SK., Hasan SO., Ameen MM. Microstrip patch antenna design, Simulation and Fabrication for 5G Applications. *Simulation Modelling Practice and Theory* April 2022; 116:1-14.
- Falih MA., Yasir IA., Chan Hwang See CH., Raed A. Single-element and MIMO circularly polarized microstrip antennas with negligible back radiation for 5G mid-band handsets. *Sensors* 2022; 22(8): 1-13.
- Gupta P., Gupta V. Linear 1×4 microstrip antenna array using slotted circular patch for 5G communication applications. *Wireless Personal Communications* 2022; 127: 2709-2725.
- Hamzah M., Basil N., Abdualnabi HA., Ibrahim RA. Simulation and optimization of rectangular microstrip patch antenna for mobile 5G communications. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)* 2022; 8(2): 249-255.
- Hatte J., Mudda S., Gayathri KM., Patil RB. Millimeter-wave dual-band (32/38 GHz) microstrip patch antenna for 5G communication. Part of the Lecture Notes in Electrical Engineering book series (LNEE), *Recent Innovations in Computing* 2022; 855: 225-237.
- Mutlu M., Kurnaz Ç. Mikrodalga Görüntüleme sistemleri için mikroşerit anten tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı Kasım 2020*; 129-137.
- Muduli A., Lalitha MS., Gayatri S. A Modified multiband antenna for 5G communication. *International Conference on Emerging Smart Computing and Informatics (ESCI)* 2022; 1-5. Pune India.
- Nahas M. A super high gain l-slotted microstrip patch antenna for 5G mobile systems operating at 26 and 28 GHz. *Engineering Technology and Applied Science Research* February 2022; 12(1): 8053-8057.
- Praveena R., Ganesh Babu TR., Shenbagadevi K., Punitha S., Priya S., Thiyagarajan N. Design of hybrid coupled microstrip antenna for 5G applications. *8th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)* 2022; 1-6. Chennai India. DOI:10.1109/ICSSS54381.2022.9782242.
- Przesmycki R., Bugaj M. Crescent microstrip antenna for LTE-U and 5G systems. *Electronics* 2022; 11(8): 1-15. Basel Switzerland.
- Razak, NS., Shah SM. Antenna for 5G mobile communication at 28 GHz. *Journal of Electronic Voltage and Application* 2022; 3(1): 33-44.
- Vishnoi V., Singh P., Budhiraja I., Malik PK. Multiband dual-layer microstrip patch antenna for 5G wireless applications. *Proceedings of Third International Conference on Computing, Communications and Cyber-Security*. Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS) 2022; 421: 85-93. India,