Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 28(2), 215-221, 2022

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

X bant mikroşerit halka yama anten tasarımı ve besleme türlerine göre performanslarının değerlendirilmesi

X band microstrip ring patch antenna design and performance evaluation according to feeding types

Melih HACIMEHMET[1*]

[1]Elektrik-Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Altınbaş Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
melih.hacimehmet@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 02.02.2021 Düzeltme Tarihi/Revision: 22.05.2021 doi: 10.5505/pajes.2021.30632
Kabul Tarihi/Accepted: 30.06.2021 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten tasarımı yapılarak antenin besleme yöntemleri ve boyutları değiştirilerek performansı incelenmiştir. Antenin yama boyutları ve dielektrik taban kalınlıkları sabit tutulmuştur. Simülasyonlar Ansys HFSS programı kullanılarak oluşturulmuştur. Tasarımlarda, FR-4 ve Rogers RT-5880 dielektrik taban malzemeleri tercih edilmiştir. Antenlerin bant genişlikleri 260 ile 1160 MHz arasında ve kazançları ise 4.6 ile 9.35 dB arasında değişmektedir.

Anahtar kelimeler: Mikroşerit anten, Halka yama, Besleme türleri, X bant.

Abstract

In this study, x band microstrip ring patch antenna was designed and its performance was investigated under various types of feeding methods and dimensions. The patch dimensions and dielectric base thickness were kept constant. The simulations were performed by using Ansys HFSS programme. In simulations, FR-4 and Rogers RT-5880 dielectric base materials were preferred. The bandwidth of the antennas changes between 260 to 1160 MHz and the gain of the antennas are between 4.6 and 9.35 dB.

Keywords: Microstrip antenna, Ring patch, Feeding types, X band.

1 Giriş

Genel olarak metal olan anten (çubuk ya da tel), radyo dalgalarını iletmek ya da almak amacıyla kullanılan bir cihazdır [1]. Kablosuz haberleşme teknolojilerindeki gelişme antenlerin daha da ön plana çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde boyut, ağırlık, maliyet, verim ve performans açısından daha elverişli antenler tercih edilmektedir. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek için mikroşerit antenler kullanılabilmektedir [2]. Uydu, uçak, füze gibi uygulamalarda küçük boyutlu antenlere ihtiyaç duyulması sebebiyle bu alanlarda aktif olarak kullanılmaktadırlar [3].

Mikroşerit yama anten fikri ilk 1953 yılında G. A. Deschamps [4] tarafından öne sürülmüş, 1955 yılında Gutton ve Baissinot [5] tarafından patenti alınmış ancak 1970'li yıllardan itibaren büyük ilgi görmeye başlamıştır. İlk mikroşerit anten çalışmaları, Howell'ın 1972'de ve Munson'un 1974'te yapmış oldukları çalışmalarda görülmüştür [6],[7]. Mikroşerit antenler düzlemsel ve düzlemsel olmayan zeminlere monte edildiği zaman fiziksel olarak sağlamdır ve baskı devre teknolojisi kullanılarak üretildikleri için maliyetleri düşüktür [8].

Bu antenler pek çok kez yama anten olarak da adlandırılmaktadırlar. Işıma yapan yama; kare, dikdörtgen, ince şerit (dipol), daire, elips, üçgen veya herhangi bir geometrik yapıda tasarlanabilirler. Işıma yapan yamanın geometrik yapısı ve moduna göre rezonans frekansı, kutuplanma, örüntü ve empedans uyumlandırma yapılan tasarımlara göre değişiklik gösterebilmektedir [9]. Geometrik yapı bakımından kare, dikdörtgen, şerit (dipol) ve daire yapısı analiz, üretim proseslerinin basit olması ve ışıma karakteristiklerinin yüksek olması nedeniyle en çok tercih edilenler arasındadır [10]. Literatür incelemesi yapıldığında besleme türlerinin antenlerin performanslarını doğrudan etkilediği görülmektedir [3],[11]-[14].

2 Amaç ve yöntem

Bu çalışmada öncelikli hedef x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten tasarımı yapmak ve besleme türlerini de tasarlanan anten üzerinde deneyerek bant genişliği, geri dönüş kaybı, kazanç gibi parametrelerin nasıl değiştiğini karşılaştırmak ve tasarlanan anten için besleme türleri arasından en iyi performansı veren anteni bulmaktır. Anten tasarımı ve sayısal sonuçları için Ansys HFSS [15] simülasyon programı kullanılmıştır. HFSS, elektromanyetik yapıları FEM (Sonlu Elemanlar Yöntemi-Finite Element Method) ile çözen simülasyon programıdır. Anten besleme türleri olarak mikroşerit hat besleme, koaksiyel prob besleme, açıklık bağlaşım besleme ve yakınlık bağlaşım besleme yöntemleri ele alınmıştır.

2.1 Anten boyutlarının hesaplanması

Halka yamanın iç yarıçapı (R_1) ve dış yarıçapı (R_2) olarak tanımlanırsa; R_1 ve (R_2) değerlerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki eşitliklerin kullanılması gerekmektedir [16].

$$R = 0.5(R1 + R2) \quad (1)$$

$$kR = 2 \quad (2)$$

$$\frac{R_2 - R_1}{R} = 0.8 \quad (3)$$

[*]Yazışılan yazar/Corresponding author

Denklem 2'de $k = \frac{2\pi}{\lambda_0}$ propagasyon sabitidir ve $\lambda_0 = \frac{c}{f}$ olarak bulunabilir. Burada; boş uzaydaki dalga boyu (λ_0), ışık hızı (c) ve çalışma frekansı (f) olarak tanımlanır. Halka yama boyutları, eşitlikler (1)-(3) kullanılarak elde edilmiş ve en optimum konfigürasyon kullanılmıştır. Tasarlanan halka yamanın iç ve dış yarıçapları sırasıyla $R_1 = 13.2\ mm$ ve $R_2 = 32.8\ mm$'dir.

3 Bulgular

3.1 Anten tasarımı-1

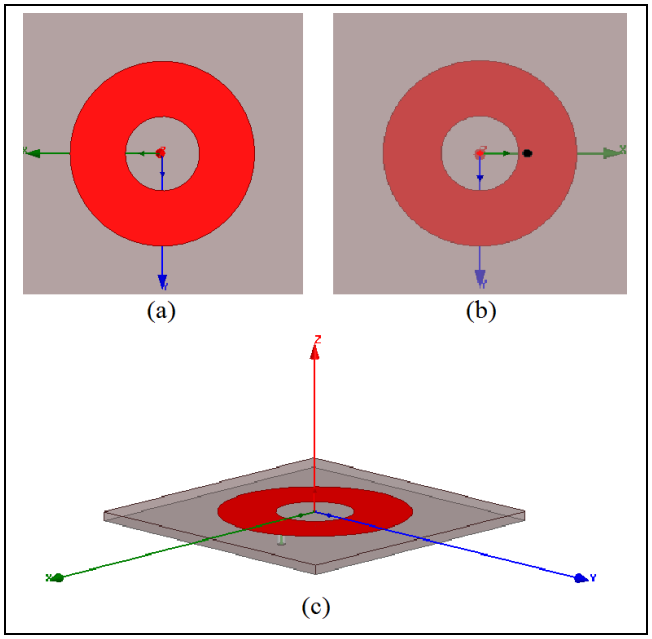
İlk tasarımda, x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten koaksiyel besleme yöntemi ele alınarak modellenmiştir. Tasarımda, Rogers RT-5880 dielektrik taban malzemesi kullanılmıştır. Anten parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. X bandında çalışan koaksiyel beslemeli antenin parametreleri.

Table 1. Parameters of coaxial fed antenna operating in X band.

Parametre	Tanım	Uzunluk
h	Dielektrik tabanın kalınlığı	3.175 mm
X	Besleme noktasının konumu (x, y, z)	(16, 0, 0) mm
r_i	Koaksiyel beslemenin iç yarıçapı	0.56 mm
r_o	Koaksiyel beslemenin dış yarıçapı	1.5 mm
Y	Yamanın konumu (x, y, z)	(0, 0, 0) mm
S	Taban malzemesi ve toprak düzlemi boyutu	100 mm
ε_r	Dielektrik taban malzemesinin dielektrik sabiti	2.2
$tan\,\delta$	Kayıp tanjantı	0.0009

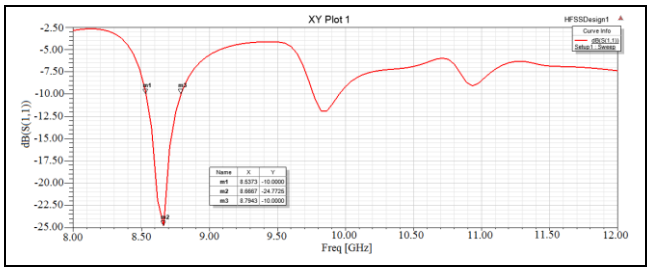
Tasarlanan anten Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tasarlanan koaksiyel beslemeli mikroşerit halka yama anten. (a): Üst, (b): Alt, (c): Yan görünümleri.

Figure 1. Designed coaxially fed microstrip ring patch antenna. (a): Top, (b): Bottom, (c): Side views.

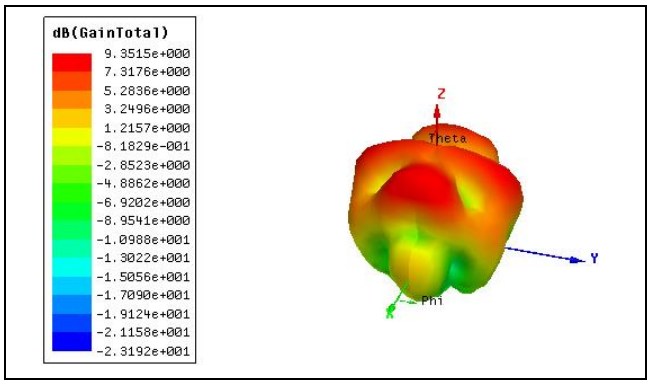
Simülasyon sonucuna göre geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir. Geri dönüş kaybı grafiği incelendiğinde rezonans frekansının 8.66 GHz olduğu görülmektedir. Anten rezonans frekansında -24.77 dB geri dönüş kaybına sahiptir. Tasarlanan antenin -10 dB değerine karşılık gelen frekansları sırasıyla 8.53 GHz ve 8.79 GHz değerindedir. Bant genişliği değeri 260 MHz (%3) olarak hesaplanmıştır. Koaksiyel beslemede bant genişliğinin %2-5 aralığında olması beklenir. Dolayısıyla elde edilen bant genişliği kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.



Şekil 2. Koaksiyel beslemeli antenin geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği.

Figure 2. Return loss (S_{11}) plot of coaxial fed antenna.

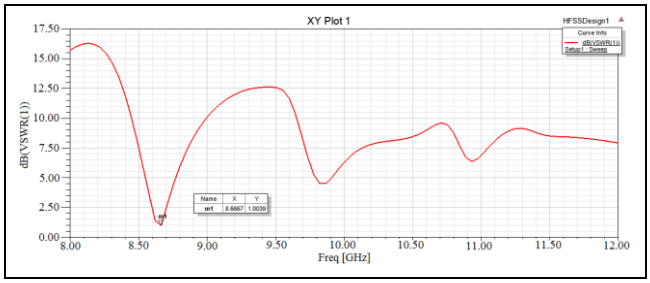
Tasarlanan antenin üç boyutlu kazanç grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. Anten rezonans frekansında z yönünde 9.35 dB maksimum kazanç değerine sahiptir. Mikroşerit antenlerde kazanç değerinin 5-6 dB aralığında olduğu düşünülürse, elde edilen kazanç değerinin yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 3. Koaksiyel beslemeli antenin üç boyutlu kazanç grafiği.

Figure 3. Three-dimensional gain graph of the coaxial fed antenna.

Tasarlanan antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. Antenin rezonans frekansındaki VSWR değeri yaklaşık olarak 1'dir. VSWR değerinin 1'e yakın sonuç vermesi antenin empedans uyumunun iyi bir şekilde sağlandığını göstermektedir.



Şekil 4. Koaksiyel beslemeli antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği.

Figure 4. Voltage standing wave ratio (VSWR) graph of the coaxial fed antenna.

3.2 Anten tasarımı-2

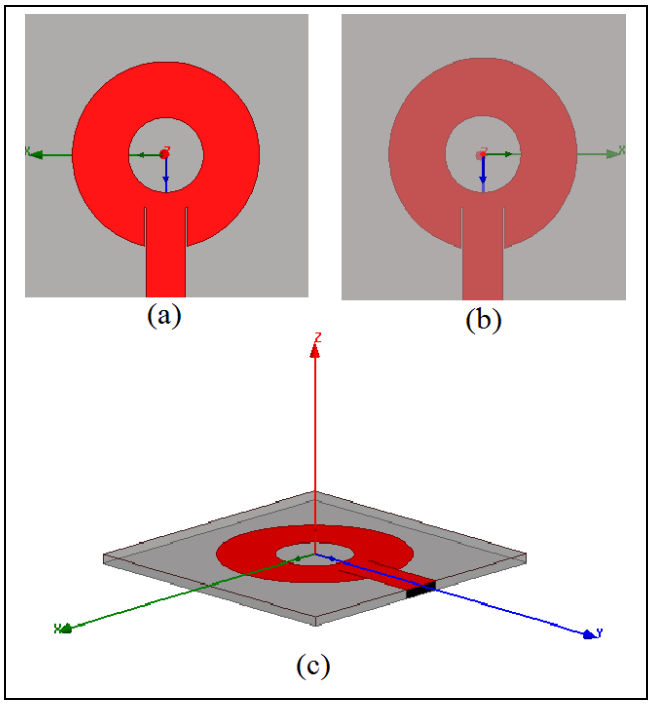
İkinci tasarımda, x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten mikroşerit besleme yöntemi ele alınarak modellenmiştir. Tasarımda, Rogers RT-5880 dielektrik taban malzemesi kullanılmıştır. Mikroşerit yama antenlerde, empedans uyumu, bant genişliği, rezonans frekansı gibi parametreleri iyileştirmek için ışıma yapan yama ile mikroşerit besleme hattının birleştiği nokta arasında yarıklar ve çentikler açılabilmektedir. Bu tasarımda da yama ile besleme hattının birleştiği noktadan simetrik yarıklar açılmıştır. Anten parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. X bandında çalışan mikroşerit beslemeli antenin parametreleri.

Table 2. Parameters of microstrip fed antenna operating in X band.

Parametre	Tanım	Uzunluk
L_s	Yarığın uzunluğu	14.4 mm
W_s	Yarığın genişliği	0.56 mm
L_f	Besleme hattının uzunluğu	17.2 mm
W_f	Besleme hattının genişliği	13.84 mm

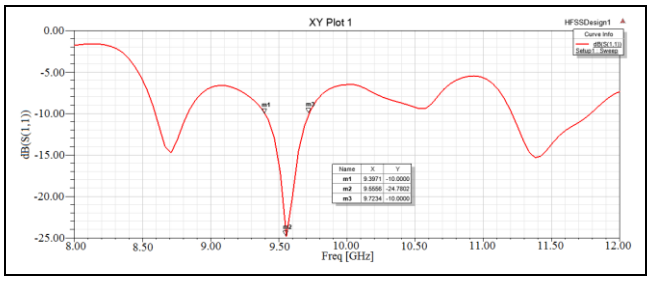
Tasarlanan anten Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Tasarlanan mikroşerit beslemeli mikroşerit halka yama anten. (a): Üst, (b): Alt, (c): Yan görünümleri.

Figure 5. Designed microstrip fed microstrip ring patch antenna. (a): Top, (b): Bottom, (c): Side views.

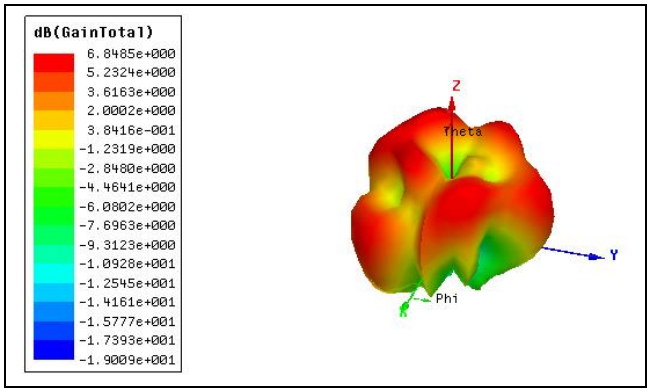
Simülasyon sonucuna göre geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Geri dönüş kaybı grafiği incelendiğinde rezonans frekansının 9.55 GHz olduğu görülmektedir. Anten rezonans frekansında -24.78 dB geri dönüş kaybına sahiptir. Tasarlanan antenin -10 dB değerine karşılık gelen frekansları sırasıyla 9.39 GHz ve 9.72 GHz değerindedir. Bant genişliği değeri 330 MHz (%3.45) olarak hesaplanmıştır. Mikroşerit beslemede bant genişliğinin %2-5 aralığında olması beklenir. Dolayısıyla elde edilen bant genişliği kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.



Şekil 6. Mikroşerit beslemeli antenin geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği.

Figure 6. Return loss (S_{11}) plot of microstrip fed antenna.

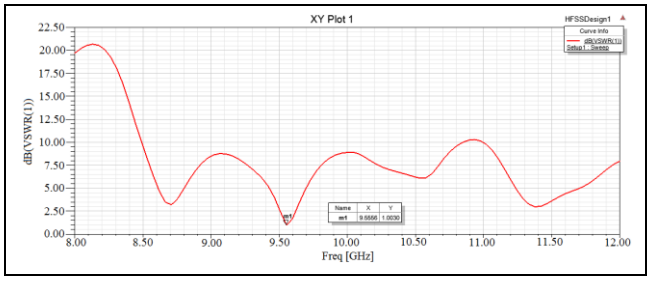
Tasarlanan antenin üç boyutlu kazanç grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir. Anten rezonans frekansında z yönünde 6.84 dB maksimum kazanç değerine sahiptir. Mikroşerit antenlerde kazanç değerinin 5-6 dB aralığında olduğu düşünülürse, elde edilen kazanç değerinin yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Mikroşerit beslemeli antenin üç boyutlu kazanç grafiği.

Figure 7. Three-dimensional gain graph of the microstrip fed antenna.

Tasarlanan antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Antenin rezonans frekansındaki VSWR değeri yaklaşık olarak 1'dir. VSWR değerinin 1'e yakın sonuç vermesi antenin empedans uyumunun iyi bir şekilde sağlandığını göstermektedir.



Şekil 8. Mikroşerit beslemeli antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği.

Figure 8. Voltage standing wave ratio (VSWR) graph of the microstrip fed antenna.

3.3 Anten tasarımı-3

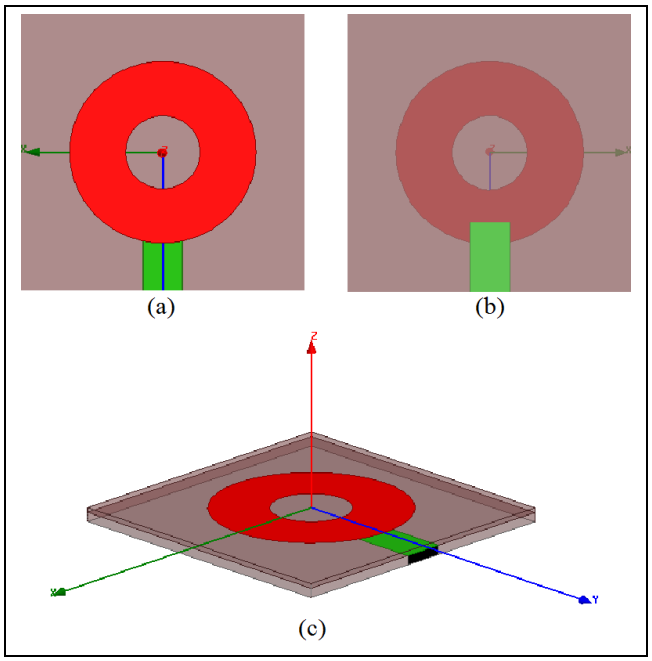
Üçüncü tasarımda, x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten yakınlık besleme yöntemi ele alınarak modellenmiştir. Tasarımda, iki adet dielektrik taban malzemesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki FR-4, ikincisi ise Rogers RT-5880 taban malzemeleridir. Anten parametreleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. X bandında çalışan yakınlık beslemeli antenin parametreleri.

Table 3. Parameters of proximity fed antenna operating in X band.

Parametre	Tanım	Uzunluk
h_1	Birinci dielektrik tabanın kalınlığı	1.6 mm
h_2	İkinci dielektrik tabanın kalınlığı	3.175 mm
L_f	Besleme hattının uzunluğu	25.2 mm
W_f	Besleme hattının genişliği	13.84 mm
ε_{r_1}	Birinci dielektrik taban malzemesinin dielektrik sabiti	4.4
$tan\,\delta_1$	Birinci dielektrik taban malzemesinin kayıp tanjantı	0.02

Tasarlanan anten Şekil 9'da gösterilmiştir.

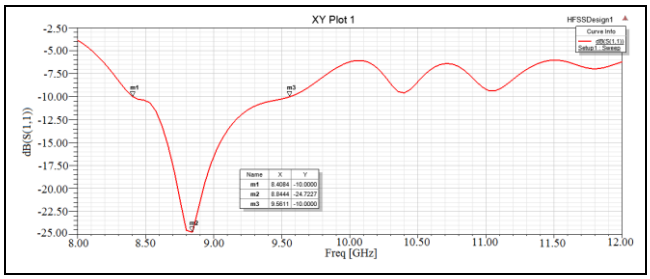


Şekil 9. Tasarlanan yakınlık beslemeli mikroşerit halka yama anten. (a): Üst, (b): Alt, (c): Yan görünümleri.

Figure 9. Designed proximity fed microstrip ring patch antenna. (a): Top, (b): Bottom, (c): Side views.

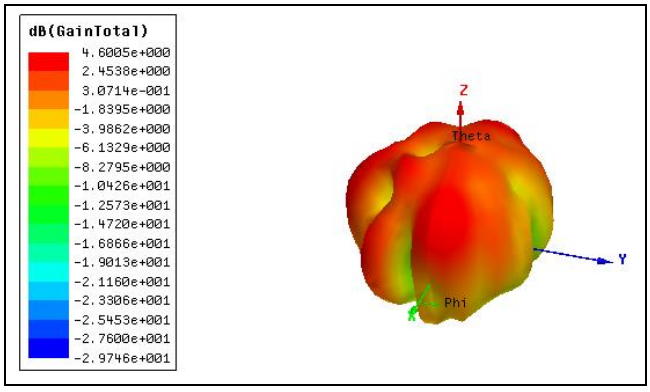
Simülasyon sonucuna göre geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Geri dönüş kaybı grafiği incelendiğinde rezonans frekansının 8.84 GHz olduğu görülmektedir. Anten rezonans frekansında -24.72 dB geri dönüş kaybına sahiptir. Tasarlanan antenin -10 dB değerine karşılık gelen frekansları sırasıyla 8.40 GHz ve 9.56 GHz değerindedir. Bant genişliği değeri 1160 MHz (%13.12) olarak hesaplanmıştır. Yakınlık kuplajlı beslemede bant genişliğinin %13 civarında olması beklenir. Dolayısıyla elde edilen bant genişliği kabul edilebilir bir değerdedir.

Tasarlanan antenin üç boyutlu kazanç grafiği Şekil 11'de gösterilmiştir. Anten rezonans frekansında z yönünde 4.6 dB maksimum kazanç değerine sahiptir. Mikroşerit antenlerde kazanç değerinin 5-6 dB aralığında olduğu düşünülürse, elde edilen kazanç değerinin biraz daha arttırılması gerektiği söylenebilir. Bunun için kullanılan dielektrik taban malzemesinin kalınlığı arttırılabilir ya da dielektrik sabiti daha düşük olan taban malzemesi tercih edilebilir.



Şekil 10. Yakınlık beslemeli antenin geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği.

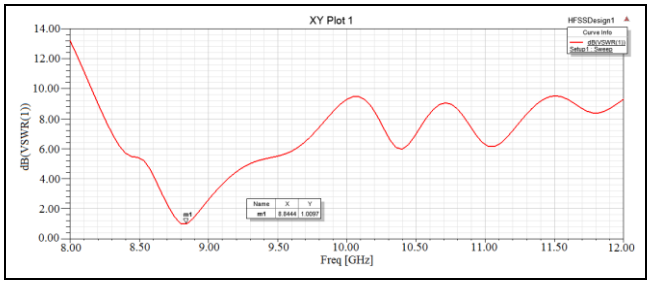
Figure 10. Return loss (S_{11}) plot of proximity fed antenna.



Şekil 11. Yakınlık beslemeli antenin üç boyutlu kazanç grafiği.

Figure 11. Three-dimensional gain graph of the proximity fed antenna.

Tasarlanan antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği Şekil 12'de gösterilmiştir. Antenin rezonans frekansındaki VSWR değeri yaklaşık olarak 1'dir. VSWR değerinin 1'e yakın sonuç vermesi antenin empedans uyumunun iyi bir şekilde sağlandığını göstermektedir.



Şekil 12. Yakınlık beslemeli antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği.

Figure 12. Voltage standing wave ratio (VSWR) graph of the proximity fed antenna.

3.4 Anten tasarımı-4

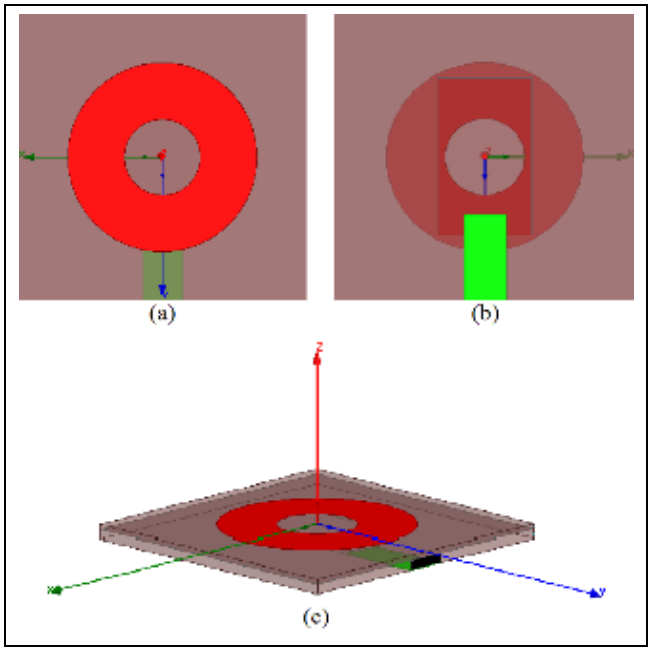
Dördüncü tasarımda, x bandında çalışan mikroşerit halka yama anten açıklık besleme yöntemi ele alınarak modellenmiştir. Tasarımda, iki adet dielektrik taban malzemesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki FR-4, ikincisi ise Rogers RT-5880 taban malzemeleridir. Anten parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. X bandında çalışan açıklık beslemeli antenin parametreleri.

Table 4. Parameters of aperture fed antenna operating in X band.

Parametre	Tanım	Uzunluk
L_o	Açıklığın uzunluğu	54.4 mm
W_o	Açıklığın genişliği	31 mm
L_f	Besleme hattının uzunluğu	30 mm
W_f	Besleme hattının genişliği	13.8 mm

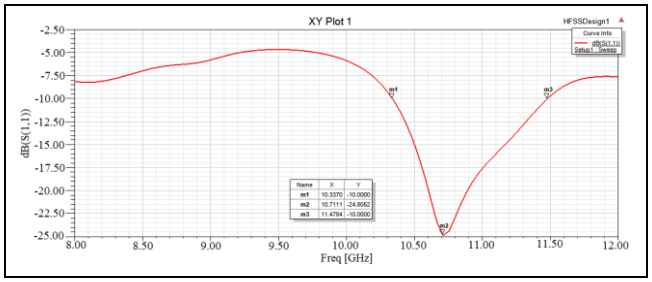
Tasarlanan anten Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Tasarlanan açıklık beslemeli mikroşerit halka yama anten. (a): Üst, (b): Alt, (c): Yan görünümleri.

Figure 13. Designed aperture fed microstrip ring patch antenna. (a): Top, (b): Bottom, (c): Side views.

Simülasyon sonucuna göre geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği Şekil 14'te gösterilmiştir. Geri dönüş kaybı grafiği incelendiğinde rezonans frekansının 10.71 GHz olduğu görülmektedir. Anten rezonans frekansında -24.8 dB geri dönüş kaybına sahiptir.

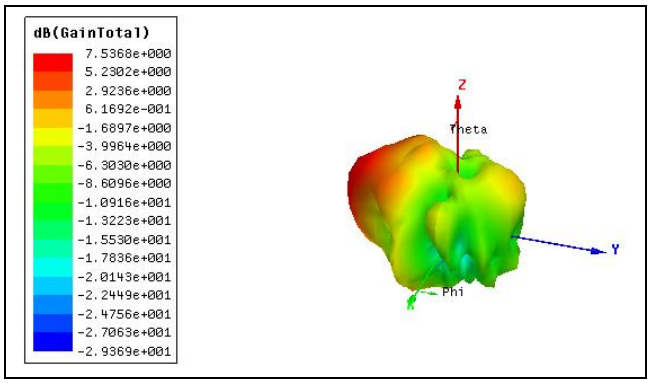


Şekil 14. Açıklık beslemeli antenin geri dönüş kaybı (S_{11}) grafiği.

Figure 14. Return loss (S_{11}) plot of aperture fed antenna.

Tasarlanan antenin -10 dB değerine karşılık gelen frekansları sırasıyla 10.33 GHz ve 11.47 GHz değerindedir. Bant genişliği değeri 1140 MHz (%10.64) olarak hesaplanmıştır. Açıklık kuplajlı beslemede bant genişliğinin %21 civarında olması beklenir. Dolayısıyla elde edilen bant genişliğinin arttırılması gerektiği söylenebilir. Bunun için anten boyutlarında değişiklik yapılabilir.

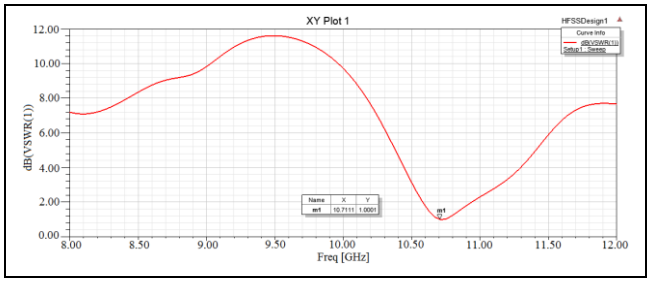
Tasarlanan antenin üç boyutlu kazanç grafiği Şekil 15'te gösterilmiştir. Anten rezonans frekansında z yönünde 7.53 dB maksimum kazanç değerine sahiptir. Mikroşerit antenlerde kazanç değerinin 5-6 dB aralığında olduğu düşünülürse, elde edilen kazanç değerinin yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 15. Açıklık beslemeli antenin üç boyutlu kazanç grafiği.

Figure 15. Three-dimensional gain graph of the aperture fed antenna.

Tasarlanan antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği Şekil 16'da gösterilmiştir. Antenin rezonans frekansındaki VSWR değeri yaklaşık olarak 1'dir. VSWR değerinin 1'e yakın sonuç vermesi antenin empedans uyumunun iyi bir şekilde sağlandığını göstermektedir.



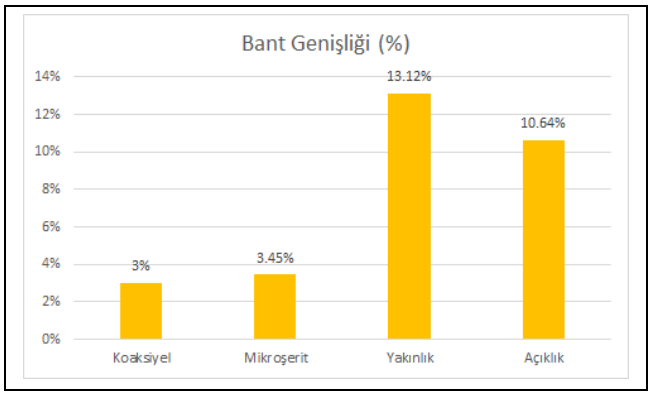
Şekil 16. Açıklık beslemeli antenin gerilim duran dalga oranı (VSWR) grafiği.

Figure 16. Voltage standing wave ratio (VSWR) graph of the aperture fed antenna.

4 Besleme yöntemlerinin karşılaştırılması

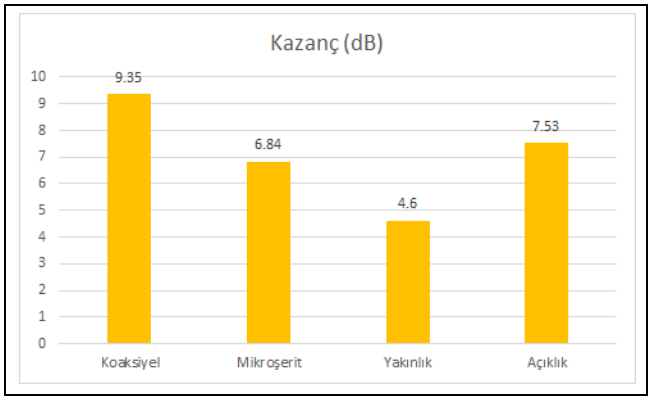
Bu bölümde, tasarlanan antenler için bant genişlikleri ve kazanç değerleri karşılaştırılmıştır. Tasarımda, antenlerin yama boyutları ve dielektrik taban kalınlıkları sabit tutulmuş, sadece besleme yöntemleri ve besleme boyutları değiştirilmiş, bir nevi kontrollü deney yapılmıştır. Şekil 17'de bant genişliklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, yakınlık kuplajlı besleme yönteminin %13.12 oranı ile en iyi sonucu verdiği görülmektedir.

Şekil 18'de kazanç değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, koaksiyel besleme yönteminin 9.35 dB kazanç değeri ile en iyi sonucu verdiği görülmektedir.



Şekil 17. Besleme yöntemlerinin bant genişliklerinin karşılaştırılması.

Figure 17. Comparison of the bandwidths of the feeding methods.



Şekil 18. Besleme yöntemlerinin kazanç değerlerinin karşılaştırılması.

Figure 18. Comparison of the gain values of the feeding methods.

5 Sonuçlar

Bu çalışmada, x bandında çalışabilen mikroşerit halka yama anten tasarımı yapılmıştır. Anten koaksiyel prob, mikroşerit hat, yakınlık kuplajlı ve açıklık kuplajlı besleme yöntemleri kullanılarak beslenmiş ve besleme yöntemlerinin anten performansları üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. En yüksek bant genişliği 1160 MHz ile yakınlık kuplajlı besleme yöntemi olmuştur. Kazanç değerinin en fazla olduğu değer ise koaksiyel besleme yönteminde 9.35 dB elde edilmiştir. Genel olarak değerlendirilirse, bilgi taşıma kapasitesi bakımından yakınlık kuplajlı besleme yöntemi ile daha iyi sonuç alınmıştır.

Açıklık kuplajlı besleme yönteminde beklenen bant genişliği (%21 civarında) elde edilememiştir. Bunun sebebi toprak düzlemindeki açıklığın akım yolunu uzatarak filtre etkisi yapmasıdır. Ancak, genel olarak mikroşerit antenlerde bant genişliğinin %2-5 aralığında olduğu düşünülürse elde edilen bant genişliği iyi bir değerdedir.

Gerilim duran dalga oranları (VSWR) incelendiğinde, 1'e yakın sonuçlar alındığı görülmüştür. Böylelikle antenlerin empedans uyumlarının iyi olduğu anlaşılmaktadır.

6 Conclusions

In this study, a microstrip ring patch antenna that can operate in the x band has been designed. The antenna was fed using coaxial probe, microstrip line, proximity coupled and aperture coupled feeding methods and the effects of feeding methods on antenna performance were compared. The highest bandwidth was the proximity coupled feed method with 1160 MHz. The value with the highest gain value is 9.35 dB in the coaxial feeding method. In general, a better result has been obtained with the proximity coupled feeding method in terms of information carrying capacity.

The expected bandwidth (around 21%) could not be achieved in the aperture coupled feeding method. The reason for this is that the opening in the ground plane extends the flow path and acts as a filter. However, considering that the bandwidth of microstrip antennas is generally in the range of 2-5%, the obtained bandwidth is a good value.

When the voltage standing wave ratios (VSWR) are examined, it was seen that results close to 1 were obtained. Thus, it is understood that the impedance matching of the antennas is good.

7 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Melih HACIMEHMET fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, kullanılan malzemelerin temin edilmesi ve sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuştur.

8 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

9 Kaynaklar

[1] Graf RF. *Modern Dictionary of Electronics*. 7th ed. USA, Newnes, 1999.

[2] Balanis CA. *Anten Teorisi*. 3rd ed. Ankara, Türkiye, Nobel Akademik Yayıncılık, 2013.

[3] Koçer M, Aydemir ME. "Microstrip patch antenna design for military satellite communication". *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 142-147, 2020.

[4] Misra G, Agarwal A, Agarwal K. "Design and performance evaluation of microstrip antenna for ultra-wideband applications using microstrip feed''. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3(4), 93-99, 2015.

[5] Ulu E. Mikrodalga Bölgesinde Süper-Formül Yaklaşımıyla Mikroşerit Anten Tasarımları. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2020.

[6] Howell JQ. "Microstrip antennas". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(1), 90-93, 1975.

[7] Munson R. "Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 22(1), 74-78, 1974.

[8] Oğuz GK. Türkiye'de Yama Anten Üretimi ve Prototiplemedeki Zorluklar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.

[9] Sağık M. Mikroşerit Antenlerin Parametrelerini MTM Yapıları ile İyileştirme ve Parametre Değerlerinin Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye, 2019.

[10] Çodur A. Konformal Yüzeylere Uygun Mikroşerit Yama Anten Tasarımı ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.

[11] Sözen E. 5 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı ve Besleme Çeşitlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2019.

[12] Güngörer B, Tekbaş M, Kayabaşı A. "2.4 GHz frekansında çalışan farklı boyut ve besleme yöntemli dikdörtgen mikroşerit anten tasarımları ve gerçekleştirilmesi". *KMÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 47-55, 2019.

[13] Belen MA. "Ultra geniş band uygulamaları için düzlemsel hat beslemeli mikroşerit anten tasarımı". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C Tasarım ve Teknoloji*, 6(4), 938-946, 2018.

[14] Kütük H. 3.3 GHz Mikroşerit Anten Tasarımı ve Farklı Besleme Yöntemleri için Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2012.

[15] Ansys Corporation. "Ansys HFSS". https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss (15.03.2021).

[16] Döğüşgen Erbaş C, Okatan A. "GSM-1800 için yarıklı toprak düzlemine sahip halka mikroşerit yama anten yapıları". *ELECO Elektrik-Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı*, Bursa, Türkiye, 30 Kasım-1 Aralık 2018.