



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

X ve Ku Bandı İçin Dikdörtgen Ve Simetrik L-Şekilli Yarıklara Sahip Çoklu Bant Yama Antenlerde Malzeme Etkileri

 Kübra SARIKAYA ^a,  Barış Gürçan HAKANOĞLU ^{b, *},  Serkan KESER ^c

^a Elektrik-Elektronik Müh. Bl., Mühendislik Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, TÜRKİYE

^b Elektronik ve Otomasyon Bl., Ostim Teknik Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Ankara, TÜRKİYE

^c Elektrik-Elektronik Müh. Bl., Mühendislik Fakültesi, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: barisgurcan.hakanoglu@ostimteknik.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1115619

ÖZ

Bu çalışmada içeriden beslemeli X bandında çalışan yeni bir dikdörtgen yama anten yapısı önerilmiştir. Üzerinde yapılan tasarım işlemleri ile antenin, tek bantta çalışan geleneksel mikroşerit yama antenden X bandı ve Ku bandında çalışan bir çoklu frekans antene dönüştürülmesi anlatılmıştır. Önerilen yapı dielektrik sabiti 2,2 olan RT5880 ve dielektrik sabiti 4,3 olan FR4 alt tabakalar üzerinde tasarlanmış ve farklı malzemelerde tasarımın geçerliliği gösterilmiştir. Ayrıca önerilen yapının farklı malzemeler için nasıl cevap verdiği araştırılmış, FR4 malzemesi için 8 GHz bandında 183 MHz'lik bir band genişliği artışına ilaveten daha yüksek frekans bölgelerinde ek rezonanslar ile uyarıldığı görülürken, RT5880 malzemesi için ise sadece 8 GHz bandına ek rezonansların uyarıldığı bulunmuş fakat bütün frekans bölgesi için anten kazancı bakımından daha kararlı bir çalışma sergilediği sonucuna varılmıştır. Yeni anten modeli FR4 tabanı ile tasarlandığında 8,52 GHz, 11,42 GHz ve 13,44 GHz frekanslarında rezonansa sahipken RT5880 tabanı ile tasarım yapıldığında rezonansların 8,51 GHz, 10,53 GHz ve 11,57 GHz frekanslarında sadece X bandında kaldığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışma frekansları için anten kazançları FR4 tabanı için 8,52 GHz'de 7,16 dBi, 11,42 GHz'de 3,70 dBi ve 13,44 GHz'de 7,09 dBi; RT5880 tabanı için 8,51 GHz'de 8,07 dBi, 10,53 GHz'de 7,55 dBi ve 11,57 GHz'de 7,38 dBi olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çoklu bant çalışma, Ku bandı, L-şekilli yarıklar, mikroşerit yama antenler, X bandı

Material Effects for Multiband Patch Antennas With Rectangular and Symmetrical L-Shaped Slots For X And Ku Bands

ABSTRACT

In this study, a new inset fed rectangular patch antenna structure operating at X and Ku bands is proposed. Conversion from a conventional microstrip patch antenna operating in a single band to a multi-frequency antenna operating in X band and Ku band is explained with the design processes on it. The proposed structure is designed on RT5880 with a dielectric constant of 2.2 and FR4 with a dielectric constant of 4.3. So it is achieved to demonstrate the validity of the design in different materials. For the FR4 material, in addition to a bandwidth increase of 183 MHz in the 8 GHz band, additional resonances are induced in the higher frequency regions. For the RT5880 material, it is found that only additional resonances are excited in the 8 GHz band, but it is concluded that it has showed a more stable operation in terms of antenna gain for the whole frequency region. The new antenna model which is designed with the FR4 dielectric has resonances at 8.52 GHz, 11.42 GHz and 13.44 GHz frequencies and the antenna with the RT5880 dielectric has resonances only within the X range at 8.51 GHz, 10.53

GHz and 11.57 GHz. In addition, antenna gains for these operating frequencies are 7.16 dBi at 8.52 GHz, 3.70 dBi at 11.42 GHz and 7.09 dBi at 13.44 GHz for the FR4 dielectric; for the RT5880 dielectric, it is found to be 8.07 dBi at 8.51 GHz, 7.55 dBi at 10.53 GHz, and 7.38 dBi at 11.57 GHz.

Keywords: Multiband operation, Ku band, L-shaped slots, microstrip patch antennas, X band

I. GİRİŞ

Günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinde bir cihazda bulunan anten yapısının birden çok frekansta çalışması önem kazanmıştır. Çünkü farklı uygulamalar aynı cihazda farklı bantlarda çalışabilmektedir. Bu alanda en çok kullanılan anten çeşidi mikroşerit yama antenlerdir. Bu antenler maliyet, tasarım kolaylığı ve birçok cihazla uyum konusunda avantaj sunmalarına rağmen dar bant genişliği ve kazanç konularında bazı dezavantajlara sahiptirler. Bu eksikliklerin giderilmesi için antenler üzerinde farklı çalışmalar yapılmış ve değişik geometriler literatüre sunulmuştur. Kare zemin düzleminde iki açık uçlu yuvarlak ters L şeklinde yarık kazınarak bir kompakt ultra geniş bant anten 50 Ω mikroşerit hat ile beslenmiş ve $28 \times 28 \times 1,6 \text{ mm}^3$ lük bir boyutla, antenin 2,7 ila 12,55 GHz arasında %129'dan fazla bant genişliğine ulaşması sağlanmıştır [1]. İki açık uçlu çeyrek dalga boylu yarığa sahip kompakt bir eş düzlemlı dalga kılavuzu (CPW) beslemeli ultra geniş bant (UWB) baskılı monopoll bir anten, WiMAX için 3,3 - 3,6 GHz ve WLAN için 5,15 - 5,825 GHz'de çift bantlı çalışma özellikleri oluşturmuştur [2]. Ek olarak, bir çift ters çevrilmiş L-şekilli yarık ile gömülü dikdörtgen şeklinde bir yamadan oluşacak şekilde tasarlanan anten, yansıtıcı diziler için geleneksel eleman düzenlemesinden farklı olarak, bu yapıda çapraz polarizasyon (cross-pol) seviyesini önemli ölçüde azaltmak için özel bir eleman düzeni ile önerilmiştir. Ölçüm sonuçları, 10 GHz'de %67 açıklık verimliliği ve 26 dB çapraz kutup seviyesi ile %23'lük geniş bir kazanç bant genişliği elde edildiğini göstermektedir [3]. Bant genişliğini artırmak için yapılan bir diğer çalışmada polarizasyonla yeniden yapılandırılabilen bir dikdörtgen yama anten üzerinde merdiven şekilli yarıklar açılmış ve antenin polarizasyonunu değiştirmek için iki pin diyot kullanılmıştır [4]. Değiştirilmiş bir toprak zemin düzlemi ile çift bantlı ultra geniş bant monopoll antenin konu edildiği çalışmada tek ve çift bant çalışma özellikleri oluşturmak için, yama veya besleme hattı şekillerini değiştirmek yerine sırasıyla ters U ve çatal şeklindeki parazitik yapılar kullanılmıştır. Ölçülen sonuçlar, önerilen çift bant monopoll antenin, tüm 5,2/5,8 GHz WLAN'ı kapsayan, 2,2 GHz ila 13,4 GHz arasında %143 gibi çok geniş bir bant genişliği sunduğunu göstermektedir [5]. L- ve U-şekilli yarıklara ve yer düzlemine sahip dikdörtgen bir yamadan oluşturulan anten WLAN ve WiMAX bantları için tasarlanmıştır. Antenin, 2,25–2,85 GHz, 3,4–4,15 GHz ve 4,45–8 GHz frekans bantları üzerinde çalışabildiği gösterilmiştir.

Çalışma bantları üzerinde çok yönlü radyasyon modeli ve kabul edilebilir anten kazancı elde edilebildiği de ispatlanmıştır [6]. WiMAX uygulaması için bir diğer çalışmada dört adet L-şekilli yarığa gömülü, yeni bir eş düzlemlı dalga kılavuzu beslemeli dikdörtgen yama anten önerilmiştir [7]. Bir tür çift bantlı mikroşerit yama yarıklı yapıdaki çift bantlı anten hakkında yapılan tasarım, ışıma ve empedans uyumu açısından iki noktada WLAN'a büyük ölçüde yetebilmiştir [8]. L-şekilli probun kullanıldığı bir diğer çalışmada, bu düzenlemenin kalın mikroşerit anten için verimli bir besleme olduğu gösterilmiştir ve dikdörtgen yama anten üzerinde parametrik bir çalışma sunulmuştur [9]. İki ortogonal L-şekilli değiştirilebilir yarık tarafından derecelendirilen bir mikroşerit yama anten dairesel polarizasyon elde etmek için tasarlanmış [10], ayrıca kompakt ultra geniş bant (UWB) tek kutuplu antenin yeni bir tasarımı hakkındaki araştırmada L-şekilli yarık çiftleri ve parazitik yapılardan oluşan bir yer düzleminden faydalanılmıştır [11]. Antenin kullanılabilir üst frekansı 10,3 GHz ve 18,31 GHz arasındadır. Yapılan anten tasarımı ile 3,09 GHz-18,31 GHz frekans aralığının kapsanması sağlanmış ve %140'tan fazla bir bant genişliğine ulaşılmıştır. L- ve U-şekilli yarıkların kullanımı toprak düzlemi üzerinde de önerilmiştir [12]. Çok bantlı uygulamalar için kompakt bir üç bantlı mikroşerit yama antenin geliştirildiği çalışmada antenin sırasıyla 2,4 GHz, 5,5 GHz ve 3,5 GHz'de Bluetooth, WLAN ve WiMAX kablosuz iletişim uygulamaları için kullanılabilceği önerilmiştir [13]. Geniş bant dairesel polarize çalışma ise yine L-şekilli yarığa sahip anten tasarımı ile elde edilmiştir [14].

Bahsedilen bütün çalışmalarda tasarımlar tek bir malzeme için araştırılmış ve o malzeme için sonuçlar sunulmuştur. Fakat yama antenlerin çalışma koşulları kullanılan dielektrik malzeme ile büyük farklar gösterebilir.

Bu çalışmada X ve Ku bandı için hem yeni bir yama anten geometrisi önerilmiş hem de yeni tasarımın iki farklı dielektrik malzeme için geçerliliği gösterilmiştir. Tasarımlarda FR4 ve RT5880 olmak üzere iki farklı dielektrik alt taban kullanılmıştır. Önerilen yapı ile anten çoklu band özelliği kazanmış ve tasarım parametrelerinin çokluğu ile istenen bantta frekansın hassas bir şekilde ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Her iki dielektrik malzeme ile antenin üç bantta çalışması sağlanmıştır. FR4 ile yapılan tasarımda çoklu band çalışmaya ilaveten birinci rezonans için 184 MHz'lik bir band genişliği artışı elde edilmiştir. RT5880 ile yapılan tasarımda ise antenin kazancının çalışma frekansı bölgesinde daha kararlı olduğu bulunmuştur.

II. MATERYAL VE METOT

Çoklu bant özellikli antenler CST MWS (Computer Simulation Technology Microwave Studio) bilgisayar simülasyonu yardımıyla modellenmişlerdir [15]. Yeni tasarım antenler için RT5880 ve FR4 olmak üzere iki farklı dielektrik malzeme seçilmiştir. Bu malzemelerin dielektrik sabitleri sırasıyla 2,2 ve 4,3'tür. Yükseklikleri ise aynı olacak şekilde her iki malzeme için de 1,6 mm alınmıştır. Bu yükseklikler bu tabanlar için piyasada bulunabilecek değerlerdir. Seçilen malzemelerin dielektrik katsayıları biri diğerinin yaklaşık iki katı olacak şekildedir. Böylece aynı taban yüksekliği için dielektrik katsayısının etkisi önerilen anten modelinde açık bir şekilde anlaşılmıştır. RT/duroid 5880 malzemesi cam mikrofiber takviyeli PTFE (Politetrafloroetilen) kompozittir. Verilen dielektrik sabitini 8-40 GHz bölgesinde koruması en büyük avantajdır. Ayrıca kayıp tanjant değeri 0.0009'dur [16]. FR-4 cam epoksi ise, çok yönlü bir yüksek basınçlı termoset plastik laminattır. Malzemenin hem kuru hem de nemli koşullarda yüksek mekanik değerlerini ve elektriksel yalıtım özelliklerini koruduğu bilinmektedir. Bunlara ilaveten kayıp tanjant değeri 0.025'dir [17]. Referans antenler dikdörtgen mikroşerit yama antenlerin iletim hattı modeli temel alınarak tasarlanmışlardır [18]. Eşitlik 1-4 bu modele göre yapılacak hesaplamaları göstermektedir. Bu ifadelerde f çalışma frekansını, c ışık hızını, W_{yama} yama antenin genişliğini, L_{yama} yama antenin uzunluğunu, ϵ_r kullanılan malzemenin dielektrik sabitini, h kullanılan malzemenin yüksekliğini göstermektedir. Çalışma frekansı, dielektrik taban yüksekliği ve dielektrik sabiti belirlendikten sonra antenin genişliği Eşitlik 1'e göre bulunmuştur. Daha sonra Eşitlik 2 ve Eşitlik 3 ile saçılmadan kaynaklı uzama miktarları hesaba katılmış ve son olarak Eşitlik 4 ile antenin uzunluğu hesaplanmıştır.

$$W_{yama} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W_{yama}} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L_{yama}}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W_{yama}}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W_{yama}}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

$$L_{yama} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L_{yama} \quad (4)$$

Bu işlemler 8 GHz’de çalışacak RT5880 ve FR4 dielektrik tabanlara sahip antenler için ayrı ayrı yapılmış ve önerilen antenleri tasarlayabilmek için referans modelleri oluşturmuştur. Her anten için hesaplanan ve optimize edilen tasarım parametreleri Tablo1 ve Tablo 2’de verilmiştir. Dielektrik taban malzemesinin boyutları için kesin bir kural olmamakla birlikte en için $W_{taban}=6h+W_{yama}$, boy için $L_{taban}=6h+L_{yama}$ alınmıştır. Işıyan kısmı oluşturan bakır kalınlığı ise t ile gösterilmiştir ve 0,035 mm kalınlığa sahiptir.

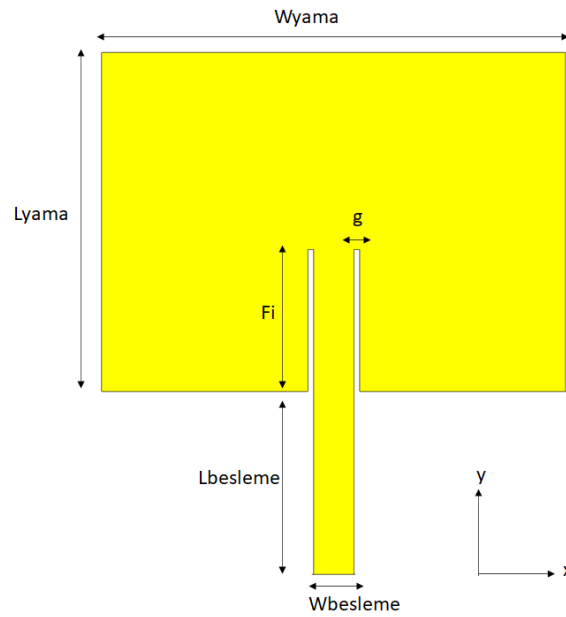
Tablo 1. RT5880 tabanlı anten için tasarım parametreleri (mm).

W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
14,81	11,61	24	20	0,14
F_i	$W_{besleme}$	$L_{besleme}$	t	h
4,7	2,2	6,32	0.035	1,6

Tablo 2. FR4 tabanlı anten için tasarım parametreleri (mm).

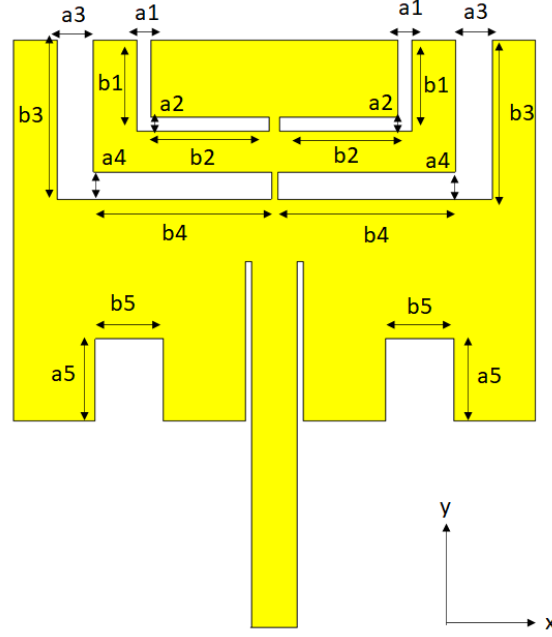
W_{yama}	L_{yama}	W_{taban}	L_{taban}	g
11,45	8,36	17	16	0,14
F_i	$W_{besleme}$	$L_{besleme}$	t	h
3,5	1	4,52	0.035	1,6

Bu değerlere göre simulasyon programında tasarlanan referans anten modeli Şekil 1’de görülmektedir. Şekil 1’deki anten her iki dielektrik malzeme ile tasarlanan anten için ortak yapıyı göstermektedir. Boyutlar için x-ekseni doğrultusundaki parametreler en ile ilişkili değerleri, y-ekseni doğrultusundaki parametreler ise boy ile ilişkili değerleri göstermektedir. Besleme yöntemi olarak mikroşerit besleme hattı ve içerden besleme yöntemi kullanılmıştır. Burada F_i ve g sırasıyla içerden besleme yapısının boy ve enini göstermektedir. Ayrıca $W_{besleme}$ mikroşerit besleme hattının enini, $L_{besleme}$ ise mikroşerit besleme hattının boyunu göstermektedir. Bu parametreler 50 ohm’luk SMA konnektör ile empedans uyumu sağlanacak şekilde optimize edilmişlerdir. X ve Ku bandlarında çoklu band çalışma için önerilen anten modeli ise Şekil 2’de görülmektedir. Nihai anten yapısına ulaşmak için üç basamakta tasarım yapılmıştır. Referans antende olduğu gibi önerilen antende de işlemler her iki malzeme için ayrı ayrı yapılmıştır. Birinci aşamada bir çift simetrik L-şekilli yarık antenin üst kenarında oluşturulduktan sonra, onlardan eşit uzaklıkta ikinci çift L-şekilli yarık oluşturulmuş ve son olarak alt kenarda dikdörtgen şekilli yarıklar anten üzerine kazınmıştır.



Şekil 1. Referans anten modeli.

Önerilen anten modeli için birinci çift L-şekilli yarığın düşey bölümündeki en a_1 ile, boy b_2 ile; yatay bölümündeki en a_2 ile boy b_2 ile gösterilmiştir. İkinci çift L-şekilli yarığın düşey bölümündeki en a_3 ile, boy b_3 ile; yatay bölümündeki en a_4 ile, boy b_4 ile gösterilmiştir. Son olarak alt kenarda kazınan dikdörtgen şekilli yarıkların eni b_5 ile ve boyu ise a_5 ile gösterilmiştir.



Şekil 2. Önerilen anten modeli.

Yapılan simülasyonlar sonucunda önerilen anten yapısının tasarım parametreleri Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3. RT5880 tabanlı önerilen anten için tasarım parametreleri (mm).

a_1	b_1	a_2	b_2	a_3
0,5	1,6	0,3	3	0,2
b_3	a_4	b_4	a_5	b_5
4	0,6	5	3	1

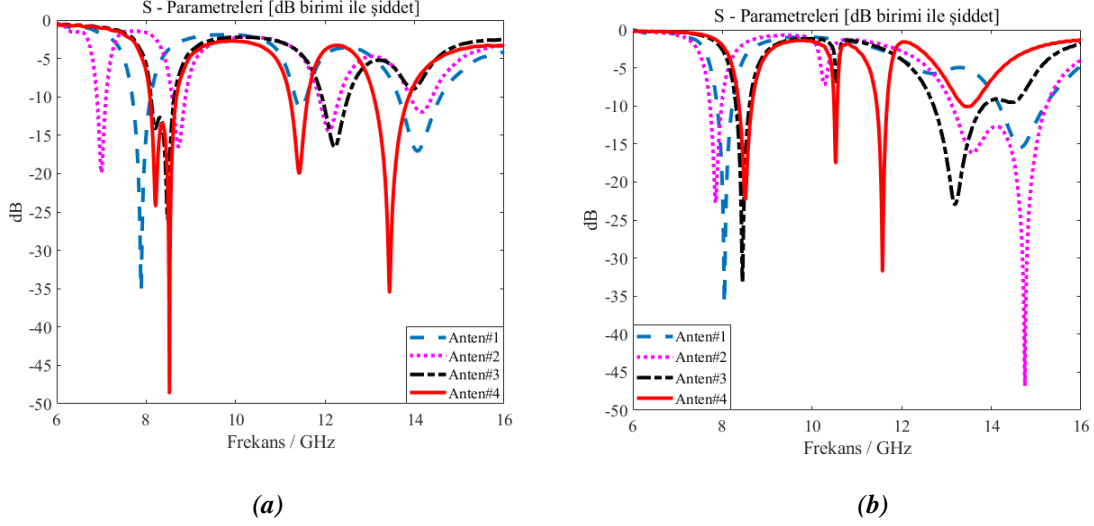
Tablo 4. FR4 tabanlı önerilen anten için tasarım parametreleri (mm).

a_1	b_1	a_2	b_2	a_3
0,3	2	0,3	2,6	0,8
b_3	a_4	b_4	a_5	b_5
3,8	0,6	3,9	1,8	1,5

III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

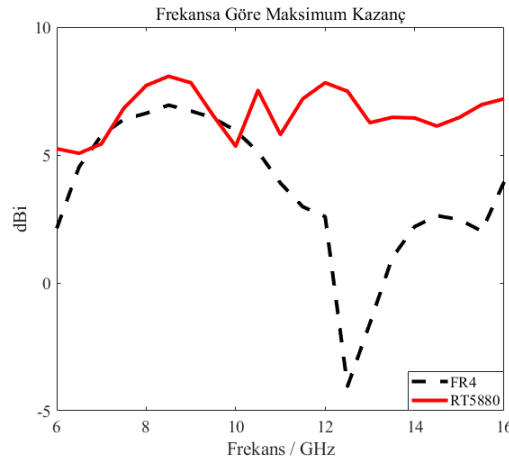
Referans antenler ve önerilen antenlerin parametrik analizler yapılarak en az geri dönüş kaybına ulaşılan tasarım değerleri için yansımaya katsayısı grafikleri alınmıştır. Şekil 3a ve Şekil 3b sırasıyla FR4 ve RT5880 alt tabanlı antenlerde tüm tasarım aşamaları için yansımaya katsayısı frekans değişimi grafiklerini göstermektedir. Bu aşamalardan Anten#1 referans anteni, Anten#2 bir çift L-şekilli yarıklı anteni, Anten#3 iki çift L-şekilli yarıklı anteni ve Anten#4 ise önerilen anten modelini temsil etmektedir. FR4 tabanlı malzeme ile tasarlanan anten için birinci rezonansta bant genişliğinin artışı dikkat çekmektedir. Referans anten 8 GHz bandında 412 MHz bant genişliğine sahipken önerilen yapıya sahip anten aynı bantta 597 MHz bant genişliğine sahiptir, bu da %5,22 den %7,12'ye olan bir band genişliği artışı anlamına gelmektedir. FR4 ile tasarlanan referans antende diğer bantlarda verimli bir ışıma yokken önerilen modelle birlikte geri dönüş kaybı seviyelerinde önemli ölçüde iyileşme sağlanmıştır.

Grafiklerden de görülebileceği gibi 11,42 GHz frekansında -20 dB ve 13,44 GHz frekansında -35,50 dB lik düşük geri dönüş kaybı seviyelerine ulaşılmıştır. RT5880 dielektrik malzemesi ile yapılan tasarımda antenin çalışma bölgesi tamamen X bandında kalmıştır. Bütün rezonans frekansları için geri dönüş kayıplarında önemli derecede iyileşme sağlanmıştır. Anten 8,51 GHz'de -22,32 dB, 10,53 GHz'de -17,43 dB, 11,57 GHz'de ise -31,78 dB'lik geri dönüş kaybına sahiptir.



Şekil 3. (a) FR4 alt taban için anten tasarım aşamaları frekans cevabı, (b) RT5880 alt taban için anten tasarım aşamaları frekans cevabı (Her tasarım aşaması Anten#1, Anten#2, Anten#3 ve Anten#4 ile isimlendirilmiştir).

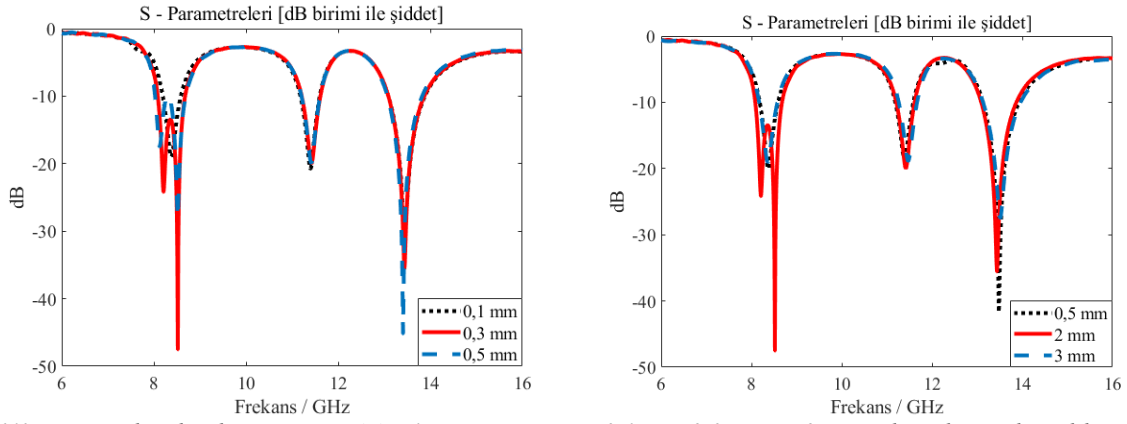
Şekil 3a ve Şekil 3b'deki grafikler incelendiğinde mavi kesikli çizgi ile gösterilen referans antenin frekans cevabı, tasarımın yapıldığı 8 GHz için verimli bir ışımaya sahipken diğer bantlarda gerekli ışıma koşulları oluşmamıştır. Tasarımın ikinci aşamasında antenin üst kenarına kazınan bir çift L-şekilli yarıklı çoklu bantlarda ışıma sağlanmıştır fakat rezonanslar tam istenen bölgede oluşmamıştır. Bu durum Şekil 3a ve Şekil 3b'de pembe noktalı çizimle gösterilmiştir. Üçüncü aşamada antenin üst kenarındaki bir çift L-şekilli yarıktan eşit uzaklıkta kazınan ikinci çift L-şekilli yarığın etkisi Şekil 3a ve Şekil 3b'de siyah kesikli çizimlerde görülmektedir. Bu aşamada FR4 tabanlı anten için hedef frekans bölgesinde ışıma elde edilmiş fakat geri dönüş kayıpları istenen seviyelerde olmamıştır. Tasarımın üçüncü aşamasında RT5880 tabanlı anten için de benzer frekans cevapları gözlenmiştir. X ve Ku bandı için istenen frekans bölgesinde gerekli ışıma koşullarında rezonanslar elde etmek için son olarak antenlerin alt kenarında bir çift simetrik dikdörtgen şekilli yarıklar kazınmıştır. Bu tasarım için frekans cevabı Şekil 3a ve Şekil 3b'deki kırmızı düz çizimlerle gösterilmiştir. Yapılan bu son tasarım işlemiyle her iki dielektrik taban malzemesi kullanılarak oluşturulan antenler X ve Ku bandı için çoklu bantta çalışma sergilemişlerdir.



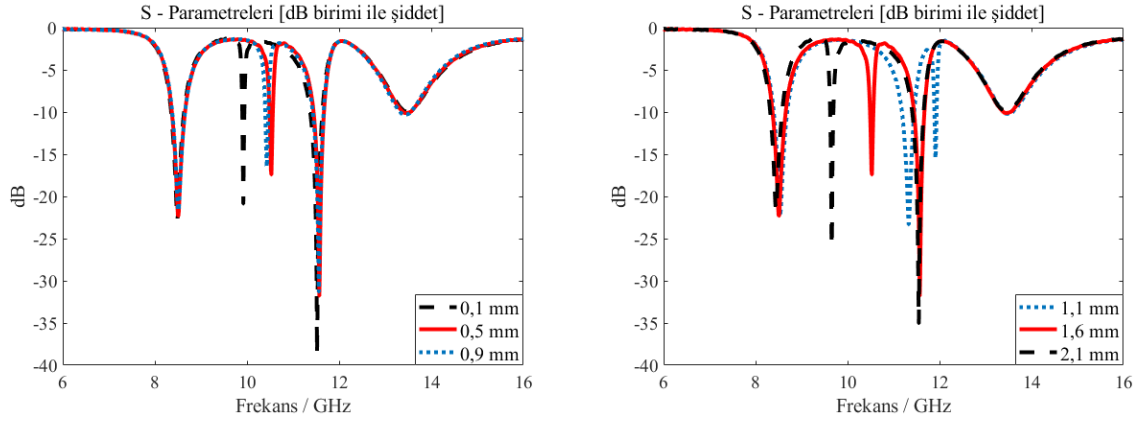
Şekil 4. FR4 ve RT5880 alt tabanlı antenler için maksimum kazancın frekansa bağlı cevabı.

Her iki dielektrik malzeme ile tasarlanan antenler için frekansa göre kazanç değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Bu grafikten görüldüğü üzere her iki anten için de aynı mimari kullanıldığı halde çalışma frekansı bölgesindeki kazanç eğrileri farklı yapıdadır. RT5880 ile tasarlanan antende kazanç eğrisi tüm frekans bölgesi için daha kararlı bir değişim göstermiştir. FR4 ile tasarlanan antende ise frekans artışıyla kazançta bir miktar düşme görülmüş fakat 12 GHz bandından sonra Ku bandı bölgesinde tekrar artış eğiliminde olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6 sırasıyla FR4 ve RT5880 tabanlı önerilen anten modelleri için, a1 ve b1 tasarım parametrelerinin farklı değerlerinde frekans tepkilerini göstermektedir. Grafiklerde kırmızı düz çizgi ile gösterilen değişim antenlerin önerilen son hallerindeki frekans cevabı olup, diğer iki değişim örnek olarak seçilen parametre değerleridir. FR4 tabanlı antende a1 ve b1 parametrelerinin değişimleri rezonans frekanslarında büyük bir etkiye neden olmazken, antenin geri dönüş kaybı seviyelerinde etkileri vardır. RT5880 tabanlı antende ise a1 ve b1 parametrelerinin değişimi ikinci rezonans frekansında kaymalara neden olurken, birinci ve üçüncü frekans noktalarına çok büyük bir etkisi olmamıştır.



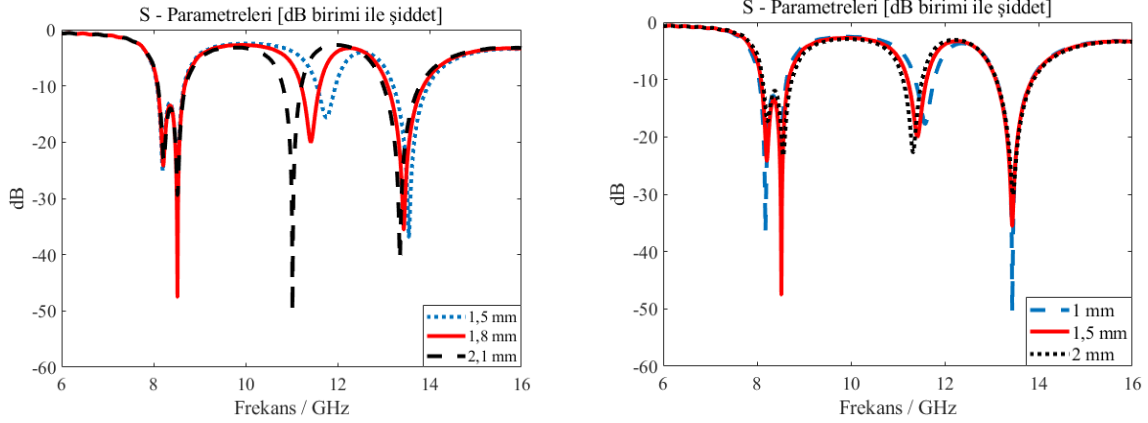
Şekil 5. FR4 alt tabanlı anten için (a) a1 parametresinin 0,1mm, 0,3mm ve 0,5mm değerlerine karşılık frekans cevabı, (b) b1 parametresinin 0,5mm, 2mm ve 3mm değerlerine karşılık frekans cevabı.



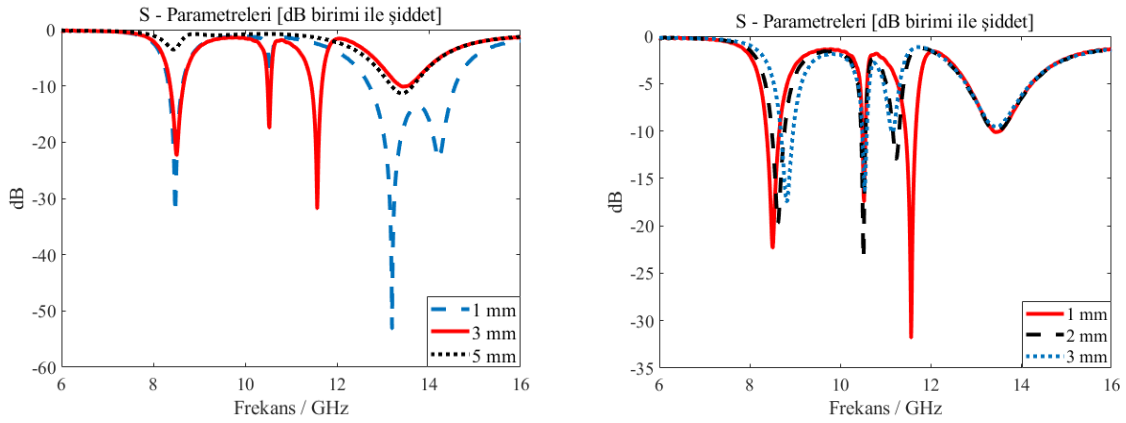
Şekil 6. RT5880 alt tabanlı anten için (a) a1 parametresinin 0,1mm, 0,5mm ve 0,9mm değerlerine karşılık frekans cevabı, (b) b1 parametresinin 1,1mm, 1,6mm ve 2,1mm değerlerine karşılık frekans cevabı.

Şekil 7 ve Şekil 8 sırasıyla FR4 ve RT5880 tabanlı önerilen anten modelleri için, a5 ve b5 tasarım parametrelerinin farklı değerlerinde frekans tepkilerini göstermektedir. Grafiklerde kırmızı düz çizgi ile gösterilen değişim antenlerin önerilen son hallerindeki frekans cevabı olup, diğer iki değişim örnek olarak seçilen parametre değerleridir. FR4 tabanlı antende a5 parametresinin değişimi ikinci rezonans frekansı için hem geri dönüş kaybı seviyelerini hem de frekans noktasını etkilerken b5 parametresi genel olarak her üç frekansta sadece geri dönüş kaybı seviyelerini etkilemiştir. RT5880 tabanlı antende ise a5 parametresinin değişimi en büyük etkiye sebep olmuştur. 1mm uzunluk için antenin ikinci rezonans frekansı kaybolmuş, üçüncü rezonans için ise geniş bant yayılmaya sebep olmuştur. RT5880 tabanlı

antende b_5 parametresinin değişimi genel olarak birinci ve üçüncü rezonanslarda hem frekans noktalarını değiştirmiş hem de geri dönüş kaybı seviyelerini etkilemiştir.



Şekil 7. FR4 alt tabanlı anten için (a) a_5 parametresinin 1,5mm, 1,8mm ve 2,1mm değerlerine karşılık frekans cevabı, (b) b_5 parametresinin 1mm, 1,5mm ve 2mm değerlerine karşılık frekans cevabı.



Şekil 8. RT5880 alt tabanlı anten için (a) a_5 parametresinin 1mm, 3mm ve 5mm değerlerine karşılık frekans cevabı, (b) b_5 parametresinin 1mm, 2mm ve 3mm değerlerine karşılık frekans cevabı.

Önerilen anten modelleri için diğer tasarım parametrelerinin FR4 tabanı için farklı değerlerinin frekanslara etkisi Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de, RT5880 tabanı için Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10’da gösterilmiştir. Tablolarda f_1 , 8GHz bandındaki rezonansı, f_2 , 10 GHz bandındaki rezonansı, f_3 ise 12GHz ve 13GHz bandındaki rezonansları göstermektedir.

Tablo 5. FR4 tabanlı önerilen anten için a_2 ve b_2 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a_2 (mm)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	b_2 (mm)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)
0,1	8,36	11,46	13,48	1,4	8,38	11,72	13,59
0,3	8,52	11,42	13,44	2	8,37	11,50	13,51
0,5	8,43	11,41	13,42	2,6	8,52	11,42	13,44

Tablo 6. FR4 tabanlı önerilen anten için a_3 ve b_3 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a_3 (mm)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	b_3 (mm)	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)
0,1	8,59	11,38	13,50	3,4	8,60	11,31	13,23
0,4	8,52	11,43	13,48	3,8	8,52	11,42	13,44
0,8	8,52	11,42	13,44	4,2	8,50	11,52	13,73

Tablo 7. FR4 tabanlı önerilen anten için a4 ve b4 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a4 (mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)	b4(mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)
0,2	8,27	11,5	13,51	3,1	8,22	11,57	13,58
0,6	8,52	11,42	13,44	3,5	8,21	11,50	13,53
1	8,46	11,37	13,37	3,9	8,52	11,42	13,44

Tablo 8. RT5880 tabanlı önerilen anten için a2 ve b2 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a2 (mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)	b2(mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)
0,1	8,53	11,19	11,85	2	8,55	11,31	-
0,3	8,51	10,53	11,57	2,5	8,54	11,13	11,88
0,5	8,49	10,25	11,54	3	8,51	10,53	11,57

Tablo 9. RT5880 tabanlı önerilen anten için a3 ve b3 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a3 (mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)	b3(mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)
0,2	8,51	10,53	11,57	3	8,70	10,35	11,56
0,5	8,70	10,67	11,56	4	8,51	10,53	11,57
0,8	8,79	10,79	11,54	5	8,27	10,56	11,61

Tablo 10. RT5880 tabanlı önerilen anten için a4 ve b4 tasarım parametrelerinin frekans cevabı.

a4 (mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)	b4(mm)	f1(GHz)	f2(GHz)	f3(GHz)
0,2	8,58	10,56	11,59	1	7,66	9,03	11,34
0,6	8,51	10,53	11,57	3	6,52	8,53	11,65
1	8,48	10,49	11,55	5	8,51	10,53	11,57

Tasarım parametrelerinin rezonans frekanslarına etkileri incelendiğinde, her parametrenin iki farklı dielektrik malzeme için farklı miktarlarda frekans kaymalarına sebep olduğu görülmektedir. Ek olarak bazı parametre değerlerinde, örneğin RT5880 tabanında b2=2mm için, üçüncü rezonans frekansının kaybolduğu görülmektedir. Bu sonuçlara bakarak anten tasarım parametrelerinin çokluğunun her frekans için ince ayarlama yapma imkanını getirdiği ve istendiği takdirde antenin ikili veya üçlü frekansta çalışacak şekilde tasarlanabileceği yorumları yapılabilir.

IV. ÇIKARIM

Bu çalışmada X ve Ku bantları için çoklu bantta çalışan yeni bir yama anten tasarımı önerilmiştir. Çoklu bant çalışmayı elde edebilmek için yama üst kenarında simetrik iki çift L-şekilli yarık ve alt kenarında simetrik bir çift dikdörtgen şeklinde yarık kazınmıştır. Üst kenarda kazınan yarıklar antenin çoklu bantta çalışmasına katkı sağlarken alt kenarda kazınan dikdörtgen yarıklar ise antenin çalışma frekans bölgesinde geri dönüş kaybının azalmasını sağlamıştır. Bu yeni mimarinin farklı malzemelerdeki etkisinin araştırılması için aynı yapı FR4 ve RT5880 olmak üzere iki farklı dielektrik malzeme kullanılarak tasarlanmıştır. Aynı taban yüksekliğine sahip bu iki malzemeden FR4'ün dielektrik sabiti 4,3, RT5880'in dielektrik sabiti ise 2,2'dir. Böylece aynı taban yüksekliğinde dielektrik malzemenin antenin yayılım karakteristiklerine olan etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucu FR4 malzemeli anten için X ve Ku bantlarında çoklu bant çalışmaya ek olarak bant genişliği artışı elde edilirken, RT5880 malzemeli antende çalışma frekans bölgesinde kazanç eğrisinin daha kararlı olduğu bulunmuştur. Her iki malzeme de mikrodalga frekanslarından daha yüksek frekans bölgelerine kadar olan uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Literatürde yer alan anten tasarım çalışmalarında düşünülen yeni mimari genelde tek bir malzeme için doğrulanmakta fakat aynı alanda kullanılan farklı bir malzeme için tasarımın frekans cevabı ve diğer karakteristik özellikler üzerinde fazla durulmamaktadır. Bu çalışmada ortaya konan yeni mimari iki farklı malzeme için de çoklu frekansta yayılmaya neden olmuştur ve yapılan analizlerde anten kazancının frekans bölgesindeki değişimi malzemeye göre oldukça farklı özellikler göstermiştir. Yeni bir tasarım yaparken düşünülen mimari için farklı malzemelerin frekans yanıtlarının bilinmesi bu konuda yapılan araştırmalar için de referans olacaktır.

V. KAYNAKLAR

- [1] A. Dastranj, F. Bahmanzadeh, "A Compact UWB Antenna Design Using Rounded Inverted L-Shaped Slots and Beveled Asymmetrical Patch," *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 80, pp. 131–140, 2018.
- [2] J. W. Wang, J. Y. Pan, X. N. Ma, Y. Q. Sun, "A Band-Notched UWB Antenna with L-Shaped Slots and Open-Loop Resonator," *2013 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices*, 2013, pp. 312-315.
- [3] L. Guo , H. Yu, W. Che, W. Yang, "A Broadband Reflectarray Antenna Using Single-Layer Rectangular Patches Embedded With Inverted L-Shaped Slots," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 67, no. 5, pp. 3132-3139, 2019.
- [4] Z. X. Yang, H. C. Yang, J. S. Hong, Y. Li "Bandwidth Enhancement of a Polarization Reconfigurable Patch Antenna With Stair-Slots on the Ground," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 579-582, 2014.
- [5] R. Zaker, C. Ghobadi, J. Nourinia "Bandwidth Enhancement of Novel Compact Single and Dual Band-Notched Printed Monopole Antenna With a Pair of L-Shaped Slots," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 12, pp. 3978-3983, 2009.
- [6] M. Moosazadeh, S. Kharkovsky "Compact and Small Planar Monopole Antenna With Symmetrical L- and U-Shaped Slots for WLAN/WiMAX Applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 388-391, 2014.
- [7] H. Nornikman, F. Malek, N. Saudin, M. Md. Shukor, N. A. Zainuddin, M. Z. A. Abd Aziz, B. H. Ahmad, M. A. Othman "Design of Rectangular Stacked Patch Antenna with Four L-Shaped Slots and CPW-Fed for WiMAX Application," *2013 3rd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology and Biomedical Engineering (ICICI-BME)*, 2013, pp. 39-43.
- [8] Y. S. Zheng, S. J. Fang "Dual-band rectangular patch antenna with a pair of L-shaped slots for WLAN for application," *2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications*, 2005, pp. 185-187.
- [9] C. L. Mak, K. M. Luk, K. F. Lee and Y. L. Chow "Experimental study of a microstrip patch antenna with an L-shaped probe," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 48, no. 5, pp. 777-783, 2000.
- [10] S. Raghavan, T. Shanmuganatham, M. S. Kishore Kumar "Reconfigurable Patch Antenna with Switchable L-Shaped Slots for Circular Polarization Diversity," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 9, pp. 2348-2350, 2008.
- [11] N. Ojaroudi "Compact UWB monopole antenna with enhanced bandwidth using rotated L-shaped slots and parasitic structures," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 56, no. 1, pp. 175-178, 2014.
- [12] S. I. H. Shah, S. Bashir, A. Altaf "Miniaturization of microstrip patch antenna by using various shaped slots for wireless communication systems," *2014 XIXth International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)*, 2014, pp. 92-95.
- [13] M. Nirmen, E. K. Hamad "Tri-band microstrip antenna with L-shaped slots for bluetooth/WLAN/WiMAX applications," *2016 33rd National Radio Science Conference (NRSC)*, 2016, pp. 73-80.

- [14] A S. L. S. Yang, A. A. Kishk, K. F. Lee “Wideband circularly polarized antenna with L-shaped slot,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 56, no. 6, pp. 1780-1783, 2008.
- [15] Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio, Ver. 2016, Framingham, MA, USA, 2016.
- [16] Rogers Corporation RT/duroid 5880 High Frequency Laminates Datasheet, Rogers Corp., Chandler, AZ, USA, 2017.
- [17] Laminated Plastics FR4 Technical Datasheet, Laminated Plastics Corp., Billierica, MA, USA, 2017.
- [18] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed., New Jersey, USA, J. Wiley&Sons, 2005, ch. 14, pp. 811-826.