



3.3 ghz mikroşerit anten tasarımı ve farklı besleme yöntemleri için analizi

Haydar Kütük¹, Ahmet Y. Teşneli¹, N. Berna Teşneli^{2*}

¹ Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya

² İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Bilgi İşlem Müdürlüğü, İstanbul

03.05.2012 Geliş/Received, 05.09.2012 Kabul/Accepted

ÖZET

Bu çalışmada yakın gelecekte yaygınlaşması beklenen WiMax ve benzeri yeni nesil kablosuz haberleşme teknolojisinde kullanılacak 3.3 GHz frekanslı mikroşerit anten tasarlanmış ve beş temel besleme yöntemi için bu antenin analizi yapılmıştır. Tasarımda antenin yama boyutları, dielektrik malzeme ve alt tabaka kalınlığı sabit tutularak sadece besleme yöntemleri ve besleme hattı boyutları değiştirilmiştir. Böylece besleme yöntemlerinin performansları karşılaştırılarak geniş bantlı mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ansoft-HFSS programı kullanılarak antenlerin simülasyonları yapılmış ve bant genişliği %60'lara ulaşan antenler tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikroşerit anten, Dikdörtgensel yama, Geniş bant, Besleme yöntemleri

3.3 ghz microstrip antenna design and analysis for different feeding methods

ABSTRACT

This work presents design of microstrip patch antenna for operation at 3.3 GHz using five basic feeding techniques. The antenna was intended for use next generation wireless application such as WiMax. When the proposed antenna design, patch size, dielectric material and thickness of substrate were fixed, only feeding techniques and dimensions of transmission line were changed. In this way, performance of feeding techniques was compared and was tried to design of wideband microstrip antenna. Ansoft – HFSS was used for the simulation of antenna and up to %60 wideband microstrip antennas were designed.

Keywords: Microstrip antenna, Rectangular patch, Wideband, Feeding methods

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1. GİRİŞ

Kablosuz iletişim ihtiyacı, özellikle kablosuz veri hizmetleri için, yüksek talep nedeniyle çok hızlı bir şekilde artmaktadır. 2G/3G, Wi-Fi ve WiMax gibi çeşitli teknolojilerin gelişmesiyle birlikte, haberleşme dünyasında farklı frekans bantlarına ihtiyaç duyulacaktır. Yakın gelecekte WiMax teknolojisine (3.3 GHz frekans bandı), kablosuz veri haberleşmesinde önemli bir aday olması gözüyle bakılmaktadır. Bu nedenle 3.3 GHz frekanslı, yüksek bant genişlikli antenlere ihtiyaç vardır [1].

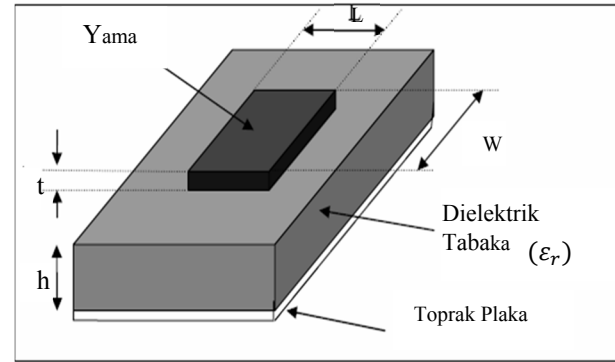
Mikroşerit antenler, hafifliği, uygulandığı yüzeye kolayca uyum sağlamaları, üretim kolaylığı, maliyetinin düşük olması gibi özellikleri sayesinde son yıllarda daha popüler hale gelmiş ve daha çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında dar bant genişliği, düşük kazanç, düşük güç kapasitesi gibi dezavantajları anten performansını düşürmekte ve kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu dezavantajları azaltmaya yönelik olmuş ve bunda da önemli ölçüde başarı sağlanmıştır [2]. Mikroşerit antenlerin en büyük dezavantajlarından olan dar bant genişliği probleminin belli oranlarda üstesinden gelinmiş ve Defense Advanced Research Project Agency (DARPA)'ya göre %25, Federal Communication Commission (FCC)'ye göre %20 olarak kabul edilen geniş bant sınırı, mikroşerit antenler için de aşılmaya başlanmıştır [3].

Mikroşerit antenlerle ilgili ilk fikir 1953'de Deschamp tarafından ortaya atılmıştır [4]. 1955 yılında, Fransa'da Gutton ve Baissinot tarafından patent çalışmaları yapılmıştır [5]. 1970'li yıllarda, kullanılabilir, düşük kayıp tanjantına sahip, iyi alt tabaka ve cazip termal ve mekanik özelliklere sahip anten çalışmaları hız kazanmıştır [4]. Pratikte ilk anten Howel ve Munson tarafından üretilmiştir [6]. Bütün bu çalışmalar neticesinde düşük maliyetli, çok hafif, düşük hacimli, buldukları yüzeylere kolayca entegre olabilen, uyumlu görünüme sahip mikroşerit antenler üretilmeye başlanmıştır.

Şekil 1'de ışınım tabakası, dielektrik tabaka ve toprak plakadan oluşan temel mikroşerit yapısı gösterilmiştir. Altındaki toprak tabakası iletkenidir ve mikroşerit antenlerin tek yönlü ışınım yapmasını sağlar. Orta tabaka dielektrik malzemeden oluşur ve idealde dielektrik sabiti 2.5'den küçük olmalıdır. Dielektrik malzeme kalınlığı genellikle 0.05 mm ile 6.35 mm arasında değişmektedir [7]. Bu tabakanın kalınlığı ve dielektrik sabiti, ışınım değerleri ve bant genişliği gibi anten parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Anten performansını artırmak için, düşük dielektrik sabitine sahip, kalın dielektrik tabaka seçilmelidir [3]. Üst

tabaka ise genelde altın, gümüş ya da bakırdan yapılabilen, antenin ışınım yaptığı iletken tabakadır. Kalınlığı 0.035 mm ile 0.070 mm arasında değişir [7]. Antenin beslendiği bu tabaka dikdörtgen, üçgen, daire, çember dilimi gibi farklı geometrilere sahip olabilir. İletken tabakanın alacağı şekil ve besleme farklılıkları, anten parametrelerini doğrudan etkiler ve analiz için farklı varyasyonlar sunar [8].

Mikroşerit antenlerin besleme düzenleri, bant genişliği, anten kazancı, geri dönüş kaybı gibi anten parametrelerini ve anten performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Bundan dolayı birçok besleme yöntemi geliştirilmiştir. Temel olarak; mikroşerit besleme, koaksiyel besleme, koplana dalga kılavuzlu besleme, yakınlık bağlantılı besleme ve açıklık bağlantılı besleme olmak üzere beş çeşit besleme yönteminden bahsedilebilir [9].



Şekil 1. Mikroşerit anten genel yapısı

2. MİKROŞERİT ANTEN TASARIMI

Tasarlanan antenin 3.3 GHz rezonans frekansında çalışması istenmektedir. Bunun için uygun alt tabaka malzemesi olarak, bağıl dielektrik sabiti $\epsilon_r = 4.4$, kayıp tanjantı $\tan\delta = 0.019 \approx 0.02$ olan FR-4 seçilmiş ve dielektrik malzeme kalınlığı 1.588 mm olarak belirlenmiştir. Tasarımın bundan sonraki aşaması, malzemenin dielektrik sabitini, kalınlığını ve kayıp tanjantını kullanarak yama boyutlarını hesaplamaktır. Yama genişliği W, eşitlik (1) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$W = \frac{c}{2f_0} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Burada c ışık hızı ve f_0 merkez frekanstır. $f_0 = 3.3\text{GHz}$ merkez frekans için $W = 27.6$ mm olarak hesaplanır. Eğer $\frac{W}{h} \geq 1$ ise, efektif dielektrik sabiti (ϵ_{ref}) eşitlik (2) ile verilir [10];

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{W}}} \right] \quad (2)$$

$\epsilon_r = 4.4$, $h=1.588$ mm ve $W = 27.6$ mm değerleri için $\epsilon_{ref} = 4.008$ olarak elde edilir.

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o\sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (3)$$

Eşitlik (3) ile verilen efektif uzunluk (L_{eff}) $c = 3 \times 10^8$ m/s, $\epsilon_{ref} = 4.008$ ve $f_o = 3.3$ GHz değerleri kullanılarak, 22.7 mm bulunur. Saçak değeri ΔL ve yama boyu L ise eşitlik (4) ve (5) yardımıyla sırasıyla 0.72 mm ve 21.3 mm şeklinde elde edilir.

$$L = 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{ref} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

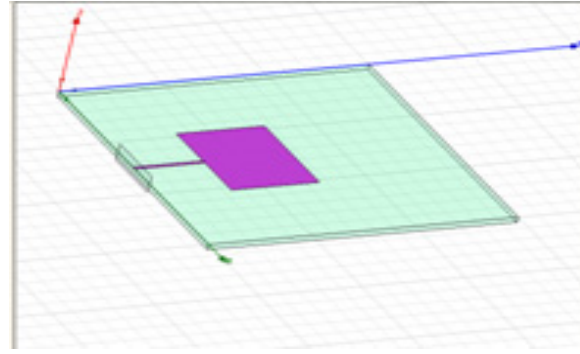
Sonuç olarak yama boyutları $W = 27.6$ mm ve $L = 21.3$ mm olarak belirlenir.

3. BESLEME YÖNTEMLERİ VE ANALİZLERİ

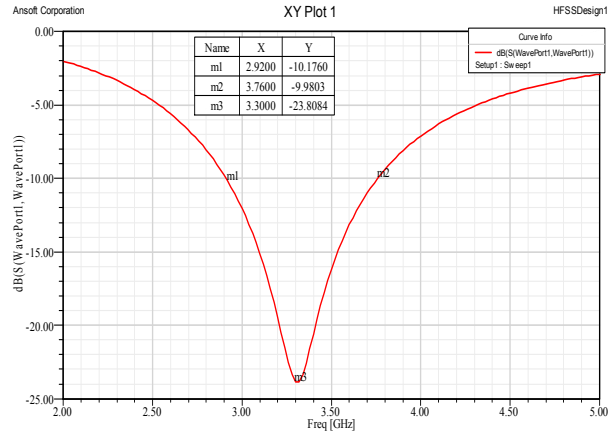
Bu çalışmada tasarlanan anten mikroşerit, koplanar dalga kılavuzlu, koaksiyel, açıklık bağlantılı ve yakınlık bağlantılı besleme olmak üzere beş farklı yöntem ile beslenerek analizler yapılmıştır. Mikroşerit antenler için dielektrik sabiti ($\epsilon_r=4.4$), alt tabaka kalınlığı ($h=1.588$ mm) ve yama boyutları ($W=27.6$ mm, $L= 21.3$ mm) gibi parametreler sabit tutulup sadece besleme çeşidi ve beslemeyle ilgili parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Antenin besleme düzenlerine ait besleme hattı boyutları, açıklık boyutları, ikinci alt tabaka kalınlığı ve ikinci tabakaya ait dielektrik sabiti gibi parametreler belirlenirken simülasyon programında denemeler yapılarak elde edilen en uygun değerler kullanılmıştır.

3.1. Mikroşerit Besleme

İlk uygulanan yöntem mikroşerit beslemedir. HFSS programı kullanılarak tasarlanan anten şekil 2’de gösterilmiştir. Anten için iletim hattı uzunluğu 17 mm ve eni 1 mm olarak belirlenmiştir. S_{11} parametresi grafiği şekil 3’deki gibi elde edilir. Şekilde açıkça görüldüğü gibi, anten 3.3 GHz frekansında rezonansa girmekte olup 2.7-3.74 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. %25.5 bant genişliği ile mikroşerit besleme için iyi bir sonuç elde edilmiştir. Antenin geri dönüş kaybı -22.94 dB ve kazancı -4.6 dB olarak ölçülmüştür.



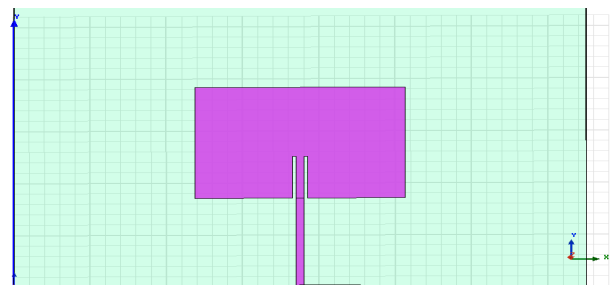
Şekil 2. Tasarlanan antenin HFSS görüntüsü



Şekil 3 Tasarlanan yama antenin S_{11} parametresi grafiği

3.1.1. Yamannın Beslendiği Noktadan Yarıklar Açma

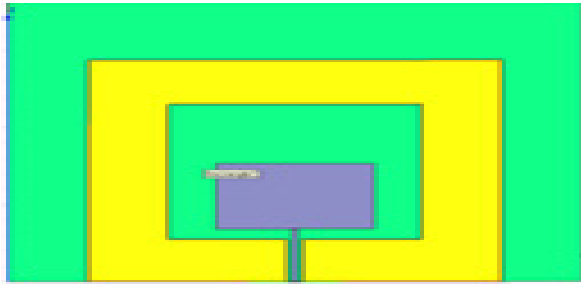
Mikroşerit antenin bant genişliğini artırmak için Şekil 4’te görüldüğü gibi yama ile besleme hattının birleştiği noktadan simetrik olarak yama üzerinde yarıklar açılmıştır. Yarık eni 0.1 mm, yarık boyu 0.5 mm hassasiyetle değiştirilerek anten parametrelerindeki değişim gözlenmiştir. Yarık boyutları 0.5 mm x 8 mm olduğunda, bant genişliğinde artış görülmüş ve bant genişliğinin %28 seviyesine çıktığı gözlenmiştir. Rezonans frekansında ise bir değişiklik olmamış ve anten 3.3 GHz frekansında rezonansa girmiştir. Antende yarık olmadığı duruma göre daha iyi bir geri dönüş kaybı elde edilmiş ve değerin -24.27 dB seviyesine düştüğü görülmüştür.



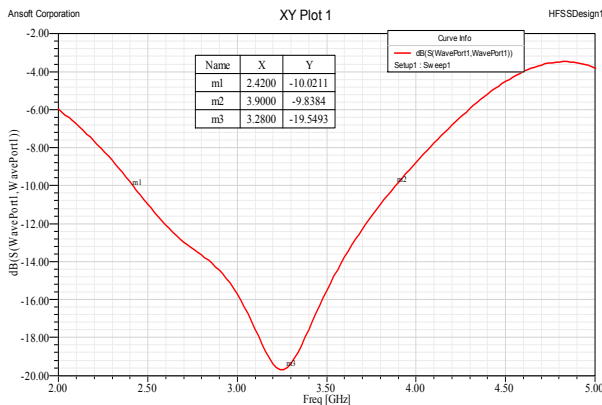
Şekil 4. Besleme noktasından yarık açılmış yama anten

3.2. Koplana Dalgı Kılavuzlu Besleme

Tasarlanan anten için ikinci olarak koplana dalgı kılavuzlu besleme yöntemi incelenmiştir. Koplana dalgı kılavuzu için taban düzlemi kare olarak seçilmiş ve kenar uzunluğu 72 mm olarak belirlenmiştir. Kare düzlem içindeki boşluğun boyutu ise 44 mm olarak belirlenmiştir. Tasarlanan antenin geometrisi şekil 5’de verilmektedir. İletim hattı ile koplana dalgı kılavuzu arasındaki boşluk 0.25 mm olarak seçilmiştir. Antenin S_{11} parametre grafiğı şekil 6’daki gibidir. Anten tasarlandığı gibi 3.3 GHz’ de rezonansa girmekte ve 2.4-3.9 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. Buna göre bant genişliğı %45.6 olarak ölçülmüştür. Bu da yama antenler için çok iyi bir sonuçtur. Tasarlanan anten için sadece besleme yapısı değıştirildiğinde, bant genişliğinin önemli ölçüde değıştığı ve neredeyse iki katına çıktığı görülmektedir. Bu sonuca göre koplana beslemenin mikroşerit beslemeye göre daha iyi olduğı yorumu yapılabilir. Antenin geri dönüş kaybı -18.93 dB, antenin kazançı ise 4.9 dB olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Koplana dalgı kılavuzlu beslenmiş mikroşerit anten



Şekil 6. Tasarlanan antenin S_{11} parametresi grafiğı

3.2.2. İletim Hattı ile Düzlem Arasındaki Boşluğu Değıştirme

Bu bölümde tasarladığımız antenin iletim hattı ile koplana dalgı kılavuzu arasındaki boşluk değıştirilerek, anten parametrelerindeki değışim gözlenmiştir. Boşluk 0.1 mm hassasiyetle artırılarak yapılan simülasyon sonuçları tablo 1’de sunulmaktadır. Boşluktaki küçük

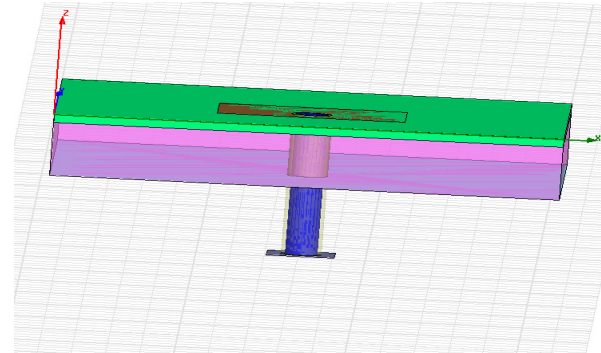
değışiklikler anten parametrelerinde önemli değışimlere sebep olmaktadır. Bu sonuç anten üretim sürecinde hassas davranılması ve antenin sıcaklık değışimlerinin sabit tutulması gerektiğini göstermektedir. Bunun dışında söz konusu boşluk toleransı kullanılarak, anten rezonans frekansında değışiklikler yapılabilir ve anten istenilen çalışma frekansına ayarlanabilir. Yapılan simülasyon sonuçlarına göre Tablo 1’de görülen en önemli değışim %60’lık bant genişliğı değışimidir. Antende boşluk ayarı yapılarak, bant genişliğinin önemli ölçüde değıştirilebileceğı görülmektedir.

Tablo 1. Boşluk boyutu değışen antenin parametre değışim tablosu

Boşluk	f_1	f_2	f_0	Bant Genişliğı	Kazanç	Geri Dönüş Kaybı
0.25	2.40	3.90	3.29	45.6	4.90	-18.93
0.1	3.14	3.92	3.56	21.9	4.83	-29.62
0.2	2.50	3.94	3.46	41.6	4.86	-21.66
0.3	2.36	3.84	3.16	46.8	4.88	-20.09
0.4	2.28	3.96	2.80	60	4.92	-17.73
0.5	2.30	3.48	3.02	39.1	4.96	-53.14
0.6	2.22	3.52	2.88	45.1	5.01	-33.21
0.7	2.32	3.30	3.02	32.5	4.92	-18.03
0.8	2.26	3.28	2.98	34.2	4.92	-17.32
0.9	2.34	3.22	3.00	29.3	4.99	-14.33
1	2.18	3.18	2.48	40.3	5.02	-17.96

3.3. Koaksiyel Besleme

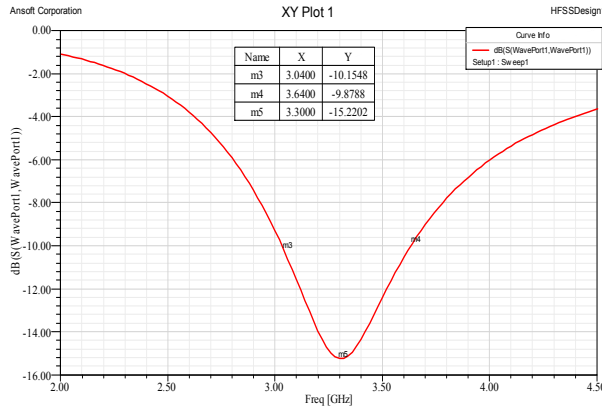
Koaksiyel besleme yöntemi kullanıldığında anteni besleyen sondanın çapı 2.4 mm, uzunluğu 26.5 mm, sondayı saran koaksiyel kablunun çapı 3 mm, boyu ise 26.5 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 7. Koaksiyel beslemeli 3.3 GHz mikroşerit anten geometrisi

Antenin geometrisinin verildiğı Şekil 7’de görüldüğü gibi, toprak plaka ile alt taban arası 10 mm boyunca hava ile doldurulmuştur. Şekil 8’de antenin S_{11} parametresi grafiğı verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi anten 3.3 GHz merkez frekansta ve 3.04-3.64 GHz arasında çalışmaktadır. Bant genişliğı %18.2 olarak bulunmuştur. Ancak besleme noktaları değıştirilerek bant genişliğı izlenmiş ve bu yolla bant genişliğinin

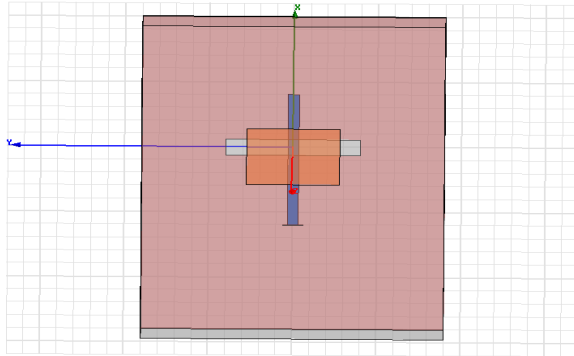
artması sağlanmıştır. Besleme noktası değiştirilerek elde edilebilen en iyi bant genişliği değeri %25.7 olarak belirlenmiştir. Geri dönüş kaybı -15.22 dB, kazancı ise 7.7 dB olarak ölçülmüştür. Mikroşerit anten için optimum besleme noktası belirlenerek ulaşılan %25.7'lik bant genişliğinin iyi bir sonuç olduğu görülmektedir. Bunun yanında mikroşerit antenlerin genel bir eksikliği olan düşük kazanç problemi burada da mevcuttur.



Şekil 8. Tasarlanan antenin S_{11} parametresi grafiği

3.4. Açıklık Bağlantılı Besleme

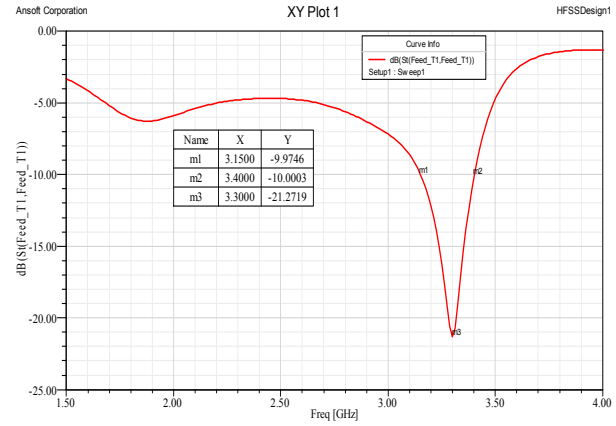
Tasarlanan anten için sonuçları incelenen dördüncü besleme yöntemi açıklık bağlantılı beslemedir. Bu yöntemde ihtiyaç duyulan ikinci taban için de FR-4 malzemesi kullanılmış ve malzeme kalınlığı 17.42 mm olarak seçilmiştir. Kullanılan besleme yöntemi besleme hattının boyutlarının değiştirilmesini gerektirdiğinden



Şekil 9. Açıklık Bağlantılı Mikroşerit Anten Geometrisi

besleme hattı boyutları 50 mm ve 3.2 mm olarak yeniden düzenlenmiştir. Toprak plaka üzerinde açılan açıklığın boyutları ise 40-6 mm olarak belirlenmiştir. HFSS ile tasarlanan antenin geometrisi Şekil 9'da, antenin S_{11} parametresi grafiği ise Şekil 10'da verilmektedir. Anten 3.16 GHz ile 3.40 GHz bandında çalışmakta ve merkez frekansı 3.30 GHz'tedir. Burada kullanılan besleme yöntemi ile istenilen merkez

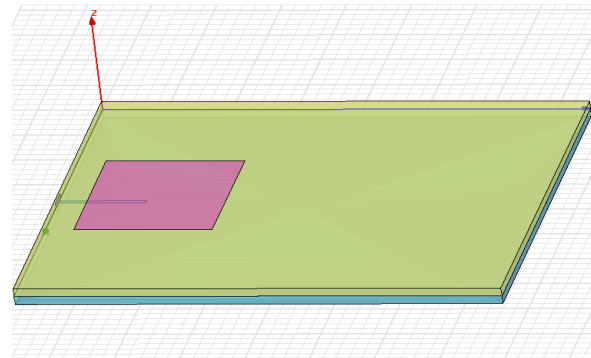
frekansına sahip anten tasarlanmış, fakat bant genişliği %8 civarında elde edilmiştir. Bu değer daha önce uygulanan besleme yöntemlerinde ulaşılan bant genişliklerine göre oldukça düşüktür. Burada da koaksiyel besleme yönteminde yapıldığı gibi besleme noktaları değiştirilerek bant genişliği artırılmaya çalışılmış ve elde edilen %13'lük en iyi bant genişliği değeri için geri dönüş kaybı -21.27 dB ve anten kazancı 2.26 dB olmuştur.



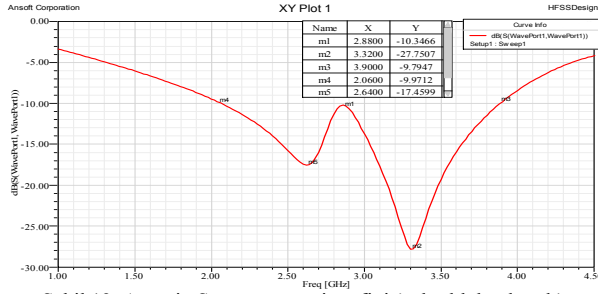
Şekil 10. Tasarlanan antenin S_{11} parametresi grafiği (Açıklık Bağlantılı Besleme)

3.5. Yakınlık Bağlantılı Besleme

Tasarlanan anten için son olarak yakınlık bağlantılı besleme yöntemi incelenmiştir. İletim hattı boyutları için 1 mm ve 13.385 mm değerleri seçilmiş ve ikinci alt tabaka için yine kalınlığı 1.588 mm ve dielektrik sabiti 4.4 olan FR-4 malzemesi kullanılmıştır. Yama, besleme hattının 5 mm noktasından itibaren konumlandırılmıştır. Şekil 12'deki S_{11} parametresi grafiğinde görüldüğü gibi anten 2.68 GHz ve 3.32 GHz olmak üzere iki merkez frekansta çalışmaktadır ve bant genişliği % 28.3'tür. Bant genişliği besleme noktaları değiştirilerek % 37.5'e kadar çıkartılmıştır. Burada elde edilen bant genişliği değeri, uluslararası kriterlere göre oldukça iyidir. Geri dönüş kaybı -27 dB civarı olup anten kazancı ise -3.5 dB civarındadır.

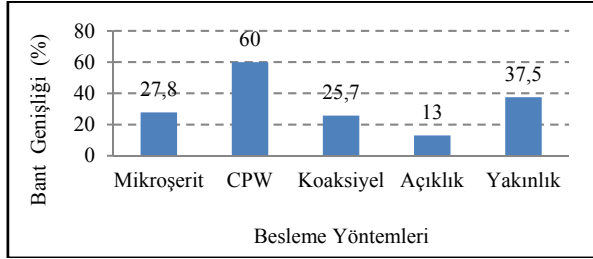


Şekil 11. Yakınlık bağlantılı mikroşerit anten geometrisi

Şekil 12. Antenin S₁₁ parametresi grafiği (yakınlık bağlantılı)

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Mikroşerit antenler için dielektrik sabiti, alt tabaka boyutları ve yama boyutları gibi parametreler sabit tutulup sadece besleme çeşidi ve beslemeyle ilgili parametreler değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 13’de besleme yöntemleri için bant genişliği karşılaştırma grafiği verilmiştir. En yüksek bant genişliği %60 ile koplana dalga kılavuzlu (CPW) beslemeye aittir. Yakınlık bağlantılı besleme için elde edilen %37.52’lik bant genişliği oranı da DARPA’nın ve FCC’nin geniş bant kabul ettiği uluslararası standartlarla kıyaslandığında oldukça iyi bir sonuçtur.



Şekil 13. Besleme çeşitleri bant genişliği karşılaştırması

Bu çalışmada analizi yapılan 5 farklı besleme yönteminden dördünde uluslararası kriterlere göre geniş bant kabul edilen değerlere ulaşılmıştır. Bu kriterler altında kalan tek değer açıklık bağlantılı besleme yöntemi ile ulaşılan %13’lük bant genişliği değeridir. Ancak bu değer de geniş bant olmamasına karşın mikroşerit antenler için kabul edilebilir bir bant genişliği değeridir.

Bant genişliğinde olduğu gibi, kazanç değerlerinde de en iyi sonuca 4.92 dB değeri ile koplana dalga kılavuzlu besleme yönteminde ulaşılmıştır. İkinci olarak ulaşılan en iyi sonuç ise açıklık bağlantılı besleme yöntemi ile elde edilen 1.24 dB kazanç değeridir. Giriş bölümünde belirtildiği gibi mikroşerit antenler -6 dB gibi düşük bir kazançla sahiptirler. Koaksiyel besleme yöntemi dışında kullanılan tüm besleme yöntemleri için tasarlanan antenler, -6 dB’nin üzerinde kazançlara sahiptir. Geri dönüş kaybı için ise tüm besleme

yöntemleri ile elde edilen değerler oldukça düşük kabul edilebilir. En iyi değer yine koplana dalga kılavuzlu besleme ile elde edilmiştir.

Sonuç olarak, en iyi performansı koplana dalga kılavuzlu besleme göstermiştir. Yeni nesil haberleşme için bu besleme yöntemi önerilebilir. Mikroşerit antenlerin dar bant genişliği problemi, büyük oranda aşılmış ve gelecekte daha geniş bantlı antenler üretilebileceği görülmüştür. Ayrıca anten boyutlarındaki küçük değişimlerin, anten performansında önemli değişikliklere neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle mikroşerit antenler için üretim toleransının çok hassas olması gerektiği görülmüştür. Ayrıca antenin, çalışma ortamındaki sıcaklık ve basınç gibi dış etkenlerden etkilenmemesine dikkat edilmelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma SAÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. (Proje no: 2012-50-01-029)

KAYNAKLAR

- [1] KURNIAWAN, A., MUKTI, P.H., A 2.3/3.3 dual band microstrip antenna design for WiMax Applications, ITB J. ICT, Vol. 4, No. 2, 67-78, 2011.
- [2] GARG, R., PRAKASH, B., INDER B., APISAK, I., Microstrip Antenna Design Handbook, Artech House; pages: 1-2, 11.2000.
- [3] SAFRAN, M.I., K, AYDIN, E., Pek Geniş Bant Anten Tasarımı ve İmalatı, Atılım Üniversitesi, Ankara.
- [4] BAZAN, G. A. S., Design of a Circularly Polarized Patch Antenna for Satellite Mobile Communications in I-Band, Polytechnic University of Cataluña, December 2010.
- [5] H. GUTTON AND G. BAISSINOT, Flat Aerial for Ultra High Frequencies, French Patent No. 703113, 1995.
- [6] YILDIRIM, A., YAĞCI, H. B., PAKER S., 2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization, Telenetronics n.p.sh, Mbreti Zog 61, Prizren, Kosova, 2000.
- [7] BALANIS C.A., Antenna Theory Analysis and Design, John Wiley and Sons, Arizona State University, pages: 4-6, 1982.
- [8] SAINATI, R. A., CAD of Microstrip Antenna for Wireless Application, Artech House, London, 1996.
- [9] REDDY, C.V.V., RANA, R., Design of Linearly Polarized Rectangular Microstrip Patch Antenna Using IE3D/PSO, National Institute of Technology, Rourkela, 2009.
- [10] SCHNEIDER, M., Microstrip Lines for Microwave Integrated Circuits, Bell. Syst. Tech. J., 48., 1968.