KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKIM DAĞILIMININ DEĞİŞTİRİLMESİ VE DİELEKTRİK-İLETKEN PLAKALARIN KULLANIMI İLE ÇİFT BANT MİKROŞERİT ANTENLERDE KAZANÇ ARTIRIMI

MERVE DEMİREL

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKIM DAĞILIMININ DEĞİŞTİRİLMESİ VE DİELEKTRİK-İLETKEN PLAKALARIN KULLANIMI İLE ÇİFT BANT MİKROŞERİT ANTENLERDE KAZANÇ ARTIRIMI

MERVE DEMİREL

Prof.Dr. Gonca ÇAKIR		
Danışman,	**Kocaeli Üniv.**	**.....**
Doç.Dr. Sibel ÇİMEN		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniv.**	**.....**
Dr.Öğr. Üyesi Sibel ÜNALDI		
Jüri Üyesi,	**Bilecik Şeyh Edebali Üniv.**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.05.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Mikroşerit antenler, mikrodalga antenleri arasında, maliyetinin düşük ve üretiminin kolay olması sebebiyle havacılık sistemleri, savunma sistemleri, radarlar, güdümlü teçhizat gibi birçok alanda popüler bir konu haline gelmiştir. En önemli dezavantajları kazançlarının düşük olmasıdır.

Bu tez çalışmasında, mikroşerit çift bant antenin akım dağılımının şekillendirilmesi, dielektrik üst tabaka kullanımı ve metal levhalar ile 2,4 GHz frekansındaki kazancın sabit tutulurken 5 GHz frekansındaki kazancın arttırılması sağlanmıştır.

Tez çalışmamın tamamlanması süresince çalışmamı takip eden ve bana destek olan değerli hocam sayın Prof. Dr. Gonca Çakır'a ve hayatımın her anında beni destekleyen ve yanımda olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Mayıs – 2020 Merve DEMİREL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iii
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vi
ÖZET vii
ABSTRACT viii
GİRİŞ 1
1. MİKROŞERİT ANTENLER 3
1.1. Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları 4
1.2. Mikroşerit Antenlerin Uygulama Alanları 5
1.3. Mikroşerit Anten Çeşitleri 6
1.3.1. Mikroşerit yama antenler 6
1.3.2. Mikroşerit boşluk antenler 7
1.3.3. Mikroşerit yürüyen dalga antenler 7
1.3.4. Mikroşerit dipol antenler 8
1.3.5. Mikroşerit monopol antenler 8
1.3.6. Mikroşerit halka antenler 9
1.3.7. Mikroşerit çift bant antenler 9
2. MİKROŞERİT ANTENLERDE KAZANÇ ARTIRMA YÖNTEMLERİ 13
3. TASARIMLAR 24
3.1. Tasarım Aşamaları ve Simülasyon Sonuçları 24
3.2. Dielektrik Tabaka Kullanımının Anten Kazancına Etkisi 28
3.3. Mikroşerit Antenlerde Kazanca Metal Levhaların Etkisi 30
3.3.1. Metal levhanın uzunluğunun kazanca olan etkisi 30
3.3.2. Metal levhanın yüksekliğin kazanca olan etkisi 32
3.3.3. Metal levha açısının kazanca olan etkisi 33
4. ÖLÇÜM 37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 45
KAYNAKLAR 46
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 48
ÖZGEÇMİŞ 49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Mikroşerit anten genel yapısı 4
Şekil 1.2. Kullanılan temel mikroşerit yama anten şekilleri 6
Şekil 1.3. Işıyan yama anten 6
Şekil 1.4. Mikroşerit hat beslemeli mikroşerit boşluk anten yapısı 7
Şekil 1.5. Mikroşerit yürüyen dalga anten türleri 7
Şekil 1.6. Merkez beslemeli tipik bir mikroşerit dipol anten 8
Şekil 1.7. Çift T şekilli mikroşerit monopol anten örneği 9
Şekil 1.8. Antenin geometrisi 10
Şekil 1.9. Düşük bant(a), yüksek bant(b) anten kazanç-frekans grafikleri 10
Şekil 1.10. Antenin yapısı; şema(a), üretilen antenin üst(b) ve alt(c) görünümü 11
Şekil 1.11. Antenin frekans – kazanç grafiği 11
Şekil 2.1. FSY birim hücre ve FSY katmanı ile anten 14
Şekil 2.2. Anten ve FSY yansıma katsayısı ve kazanç grafikleri 14
Şekil 2.3. Üretilen monopol antenin üstten(sol) ve alttan(sağ) görünüşü 16
Şekil 2.4. EBA'lı ve EBA'sız anten kazanç – verim grafikleri 16
Şekil 2.5. Parazitik yamalar eklenmiş anten yapısı 17
Şekil 2.6. Parazitik yamalar eklenerek antenin kazanç-frekans grafiği 17
Şekil 2.7. Yüzeyine kısa horn yerleştirilmiş mikroşerit anten 18
Şekil 2.8. Hornlu ve hornsuz yapısı ile frekansa göre kazanç grafiği 18
Şekil 2.9. Üzerine MTM eklenmiş antenin görüntüsü 19
Şekil 2.10. MTM yapının antenin üzerine eklenerek kazanç-frekans grafiği 19
Şekil 2.11. FSY kullanılarak kazancı arttırılan anten yapısı 20
Şekil 2.12. FSY yokken (kırmızı ve yeşil) ve varken (siyah ve mavi), ölçüm ve sim. frekans-kazanç grafikleri 20
Şekil 2.13. Arkasına FSY yerleştirilerek kazancı arttırılan UGB anten fotoğrafı 21
Şekil 2.14. FSY varken ve yokken elde edilen frekans-kazanç grafikleri 21
Şekil 2.15. EBA kullanılarak kazancı arttırılmış UGB anten 22
Şekil 2.16. EBA varken ve yokken elde edilen frekans-kazanç grafikleri 22
Şekil 2.17. İki kısa horn ile bütünleşik yarı dairesel açıklık anteni 23
Şekil 2.18. Kısa horn ile yarı dairesel açıklık anteni yansıma katsayısı ve kazanç grafikleri 23
Şekil 3.1. Temel anten yapısı 24
Şekil 3.2. Temel antenin yansıma katsayısı grafiği 25
Şekil 3.3. XZ düzleminde, $\phi=0^o$ için antenin 2,4 ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları 26
Şekil 3.4. Mikroşerit çiftbant antenin rezonans frekanslarındaki akım dağılımları 26
Şekil 3.5. Yarıklı anten yapısı 26
Şekil 3.6. Yarıklı antenin rezonans frekanslarındaki akım dağılımları 27
Şekil 3.7. Yarıklı antenin yansıma katsayısı grafiği karşılaştırılması 27

Şekil 3.8. XZ düzleminde ϕ=0'da temel çift bant ve yarıklı mikroşerit antenlerin 2,33 GHz ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları 27
Şekil 3.9. Farklı dielektrik üst tabakaların anten üzerine etkisi 29
Şekil 3.10. XZ düzleminde ϕ=0'da yarıklı mikroşerit anten ile heterojen dielektrik üst tabakanın 2,3 GHz ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları 29
Şekil 3.11. Metal levhanın "y" uzunluğunun antene konumlandırılması 31
Şekil 3.12. Metal levhanın "y" uzunluğunun değişiminin yansıma katsayısı frekans grafiği 31
Şekil 3.13. Antene uygulanan metal levhanının kazanca olan etkisi ışıma diyagramları 31
Şekil 3.14. Metal levhanın "h" yüksekliğinin antene konumlandırılması 32
Şekil 3.15. Metal levhanın "h" yükseklik değişiminin yansıma katsayısı frekans grafiği 32
Şekil 3.16. Anten ve antene uygulanan metal levhaların ışıma diyagramları 33
Şekil 3.17. Metal levhaların antene yan kenarlarına konumlandırılmas 33
Şekil 3.18. Yarıklı antenin metal levha açısının kazanca olan etkisi yansıma katsayısı frekans grafiği 34
Şekil 3.19. Metal levha açısının kazanca olan etkisinde sırasıyla 2,33 ve 5 GHz ışıma diyagramları 34
Şekil 3.20. Metal levhaların antene açılı konumlanması 34
Şekil 3.21. Metal levha açı etkisinin yansıma katsayısı frekans grafiği 35
Şekil 3.22. Metal levha açı 15^0 (kesikli-kırmızı) ve 90^0 (düz-siyah) iken etkisi ışıma diyagramları 35
Şekil 3.23. Metal levha açı etkisinin yansıma katsayısı frekans grafiği 35
Şekil 3.24. Metal levha açısı ile yükseklik karşılaştırmasının ışıma diyagramları 36
Şekil 4.1. Temel antenin baskı devre görüntüsü 37
Şekil 4.2. Temel antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği 38
Şekil 4.3. Temel antene ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları 38
Şekil 4.4. Yarıklı antenin baskı devre görüntüsü 40
Şekil 4.5. Yarıklı antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği 40
Şekil 4.6. Yarıklı antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları 41
Şekil 4.7. Açılı antenin baskı devre görüntüsü 41
Şekil 4.8. Açılı antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği 42
Şekil 4.9. Açılı antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları 42
Şekil 4.10. Üç antenin 2,33 GHz'de simülasyon (soldaki) ve ölçüm (sağdaki) sonuçlarının ışıma diyagramları 43
Şekil 4.11. Üç antenin 5 GHz'de simülasyon (soldaki) ve ölçüm (sağdaki) sonuçlarının ışıma diyagramları 43

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Temel Antenin Boyutları (mm) 25
Tablo 3.2. Yarıklı Antenin Boyutları (mm) 27
Tablo 3.3. Homojen Dielektrik Üst Tabakanın Özellikleri..... 28
Tablo 3.4. Heterojen Dielektrik Üst Tabakanın Özellikleri..... 29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

λ : Boşluktaki dalga boyu
h : Yalıtkan tabakanın kalınlığı
ε_r : Bağıl dielektrik sabiti

Kısaltmalar

EBA : Elektromanyetik Bant Aralığı
FSY : Frekans Seçici Yüzey
ISM : Industrial Scientific Medical
MTM : Metamalzeme
PTFE : Politetrafloroetilen
TEM : Transverse Electro Magnetic (Tersine Elektromanyetik)
Wi-Fi : Wireless Fidelity (Kablosuz Bağlantı Alanı)
WLAN : Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)
WiMAX : Worldwide Interoperability for Microwave Access

AKIM DAĞILIMININ DEĞİŞTİRİLMESİ VE DİELEKTRİK-İLETKEN PLAKALARIN KULLANIMI İLE ÇİFT BANT MİKROŞERİT ANTENLERDE KAZANÇ ARTIRIMI

ÖZET

Çift bant antenlerde akım dağılımının değiştirilmesi ile istenen rezonans frekansında ışıma diyagramının şekillendirilmesi, dielektrik üst tabaka ve metal levhaların kullanımı ile kazancın arttırılmasına yönelik bir çalışma sunulmuştur. Bu tez çalışmasında, 2,4/5 GHz frekanslarında çalışan dikdörtgen mikroşerit yama anten kullanılmıştır. Işıma diyagramının şekillendirilmesi istenen rezonans frekansında, anten üzerindeki akım dağılımını değiştirmeye yönelik tasarım çalışmaları yapılmış ve istenen rezonans frekansında kazancı arttırmak için dielektrik üst tabaka tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çift bant çalışan antende, rezonans frekanslarından birinde kazancın sabit tutulup ikinci rezonans frekansında kazancın arttırılması hedeflenmiş ve bu amaçla antenin 5 GHz'deki kazancını arttırmaya ve diyagramı şekillendirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında mikroşerit antenlerin birçok avantajına rağmen düşük kazanç ve dar bantlı olması gibi sorunlara sahip olmasından dolayı bu tez çalışmasında mikroşerit anten tasarlayarak kazanç artırımı yapılmıştır. Mikroşerit antenin sağ ve sol yanlarına 15^0 açı ile metal levha eklenerek kazanç yaklaşık %20 oranında iyileştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akım Dağılımı Düzenleme, Dielektrik Üst Tabaka Anten, Kazanç Artırımı, Mikroşerit Çift Bant Anten.

CHANGING CURRENT DISTRIBUTION AND USING DIELECTRIC-CONDUCTOR PLATES AND GAIN INCREASE IN DUAL BAND MICROSTRIP ANTENNAS

ABSTRACT

A study is given regarding upgrading the current distribution to shape the radiation pattern for the desired resonance frequency, and using dielectric superstrate layer to increase gain in dual band antennas. In this study a rectangular microstrip patch antenna with 2,4/5 GHz operating frequencies was used. Studies with the purpose of changing the current distribution were done, and a dielectric superstrate layer was designed, with the purpose of enhancing the gain in the desired resonance frequency. For the dual band operating antenna, increasing the gain and pattern shaping of a single resonance frequency, chosen as 5 GHz, was aimed, while keeping the gain of the second frequency (2,4 GHz). Despite the advantages of microstrip antennas, there are obvious problems such as low gain and narrow band, as such; increasing the gain is the focus in this paper. This gain increase, approximately 20%, was achieved by adding metal plates at 15^0 angles to the left and right sides of the microstrip antenna.

Keywords: Regulating Current Distribution, Dielectric Superstrate Antenna, Gain Enhancement, Microstrip Dual Band Antenna.

GİRİŞ

Kablosuz haberleşme sistemlerinin temel elemanlarından biri olan antenler, elektromanyetik dalgayı göndermek ve almak için kullanılan çift yönlü dönüştürücülerdir. İlk patenti Thomas Edison'a ait olan antenler 1875 yılından beri araştırmacıların ilgi odağı haline gelen konulardan biridir. Antenlerin veriyi daha verimli bir şekilde iletebilmeleri için birçok çeşidi geliştirilmiştir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan anten çeşitlerinden biri olan mikroşerit antenler, 1950'li yıllarda geliştirilmiştir. Mikroşerit antenler konusunda alınan patent bu yıllarda alınmış olsa da, 1970'li yıllarda üretim pratikliği, hafifliği, boyutun büyük olmaması gibi avantajları fark edilmiş olup uçaklar, gezgin haberleşme sistemleri, havacılık sistem uygulamaları gibi pek çok alanda mikroşerit antenler uygulama alanı bulmuştur. Mikroşerit antenler, yaklaşık 100 MHz ile 50 GHz frekans aralığında çalışmakta olup, sık kullanılan bir mikrodalga anten çeşidi haline gelmiştir [1].

Mikroşerit antenler düşük maliyetleri, hafif olmaları, hemen her yüzeye olan uygunluğu ve modern baskı devre teknolojisiyle üretim gibi özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerinin yanında mikroşerit antenlerin; düşük verimlilik, düşük güç, sıcaklık ve neme karşı duyarlı olmaları, dar bant genişliği ve yüksek çapraz polarizasyon gibi dezavantajları vardır. Teknolojinin ilerlemesiyle bu dezavantajlardan bazıları aşılmış ya da bir dereceye kadar hafifletilmiştir.

Teknoloji geliştikçe kablosuz ağ haberleşme uygulamalarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Tek frekansta çalışan antenler bu kapsamdaki modern ihtiyaçları karşılayamamıştır. Bunun sonucunda, araştırmalar birden fazla bantta çalışan antenler üzerine yoğunlaşmıştır.

İlk dönemlerinde yalnızca 2,4 GHz bandında işlevsellik gösteren Wi-Fi antenler bu frekansta yalnız değillerdir. Bu antenler dışında eski kablosuz telefonlar, bebek monitörleri ve diğer cihazlar da aynı frekansta kullanılmaktadır. Çok sayıda cihaz 2,4 GHz frekans bandını kullandığı için, bu frekanstaki yoğunluk bağlantıların kesilmesine ve beklenenden daha yavaş hızlara neden olabilir.

Bu yavaşlıklardan kurtulma amacıyla 5 GHz frekans bandında kullanılacak yeni Wi-Fi antenler geliştirilmiştir. 5 GHz frekansında, daha kararlı bağlantılar ve yüksek hızlar elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasında 2,4 ve 5 GHz frekanslarında çalışan çift bantlı anten tasarlanmıştır. Tasarlanan mikroşerit yama antenin boyutları 40x65 mm'dir. Bu çalışmanın ilk hedefi akım dağılımını şekillendirmek ve ikinci rezonans frekansında kazancı arttırmaktır. Literatürde mikroşerit antenlerin kazancının arttırılmasına yönelik birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalar; antenin ön kısmına parazitik elemanlar eklenerek, anten üzerine horn ilave edilerek, antenin yüzeyine konik horn monte edilerek (hibrit yöntemi) ya da metamalzeme kullanılarak kazanç arttırılmıştır. Fakat bu yöntemler antenin her iki bandında da kazanç artırımına sebep olan tekniklerdir. Rezonans frekanslarına müdahale edebilmek için tercih edilen tekniklerden biri, ilgilenilen rezonans frekansındaki ışıma diyagramını şekillendirmek için, anten üzerindeki akım dağılımını değiştirmeye yönelik yama üzerine yarıklar açmaktır. Bu tez çalışmasında 5 GHz frekansında oluşan çift yönlü ışıma diyagramını, tek yönlü yapabilmek için bu teknik kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bir diğer teknik ise, antenin 5 GHz kazancını artırmak için yama üzerine dielektrik üst tabaka yerleştirmektir. Kazancın bu teknikle artırıldığı görüldükten sonra tasarımı yapılan antenin kenarlarına parametrik çalışmalar yapılarak belirli bir açıyla metal levhalar konulmuştur.

Bu tezin temel hedefi akım dağılımının değiştirilmesi ve dielektrik-iletken plakaların kullanımı ile çift bant mikroşerit antenlerde kazanç artırımıdır. Çift bant mikroşerit antenleri tanıtmak, özgün mikroşerit anten tasarımları yapmak ve tasarımları pratik olarak gerçekleyip ölçüm sonuçlarını değerlendirmektir. Bu kapsamda tasarımların analizlerini yapmak üzere CST Microwave Studio paket programı kullanılmıştır. Ölçümler ise Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Mikrodalga ve Anten Laboratuvarında bulunan tam yansımasız odada alınmıştır.

Ölçüm sonuçları ve CST microwave studio programı sonuçları benzerdir. Antenin ilk frekans bandındaki kazanç sabit tutulurken, 5 GHz'deki kazanç 7.55 dBi seviyelerinden 9.07 dBi seviyelerine taşıdığı görülmektedir.

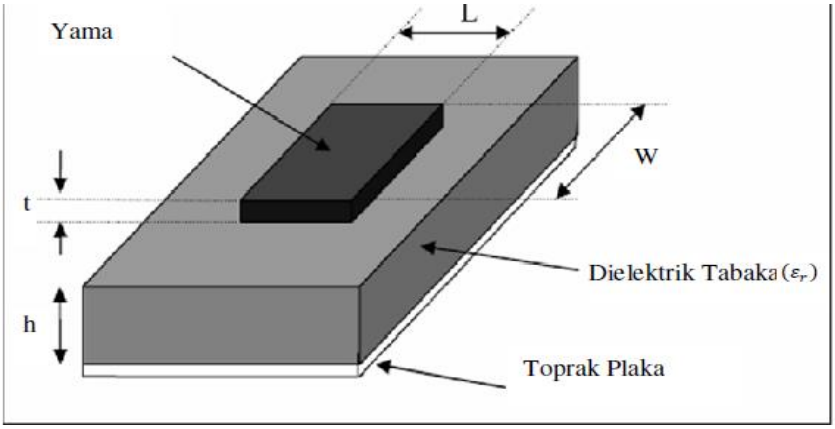
1. MİKROŞERİT ANTENLER

1950'li yıllarda Deschamps tarafından mikroşerit anten tasarlanmıştır [2]. Anten konusunda ilk patent 1955 yılında Gutton ve Baissinot sayesinde alınmıştır [3] fakat uzun yıllar boyunca anten gerçeklenememiştir. Bunun sebebi dielektrik tabakaların değer aralıklarının çok geniş olmasıdır. Dielektrik tabakaların geliştirilmesiyle 1970 senesinde Munson anten tasarımı hazırlarken [4] ve Howell [5] mikroşerit antenin roket vb. yapılara eklenmiştir. Mikroşerit antenler, çift bantta çalışabilmeleri, dar alanlara sığabilmeleri, düşük maliyetli olmaları, kolay üretilebilmeleri ve farklı geometrilere oturabilen yapıda olmaları gibi avantajlarından dolayı araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Günümüzde aktif olarak kullanılan çalışmalara imza atmış, Bahl, Bhartia, James, Hall ve Wood gibi isimler ve araştırmalarıyla alana adını duyurmuş Dubost bu alanın öncülerinden sayılmaktadır [6,7]. Bu çalışmalar neticesinde, Ekim 1979'da, ilk uluslararası toplantı mikroşerit antenlerin tasarımı ve kullanılan dielektrik tabakalar ile ilgili fikirlerini bildirmek ve değerlendirmek amacıyla New Mexico State Üniversitesinde yapılmıştır [8,9]. 1980'in başlarında ise çalışmaların yanı sıra mikroşerit antenlerin gerçeklenmesi ve ölçümlerin yapı taşları bu yıllarda oluşturulmuştur [10].

Küçük boyutlu oldukları için mikroşerit antenler günümüzde de yaygın olarak kullanılmakta olup, haberleşme sistemleri için üretilen cihazlarda sık kullanılan antenler haline gelmiştir.

Mikroşerit antenler, ince bir dielektrik tabaka tarafından ayrılmış birbirine paralel iki iletken plakadan oluşur. Paralel iletkenlerin ışıma amaçlı kullanılanı üst tabaka, topraklama amaçlı kullanılanı ise alt tabaka olarak adlandırılır. Çeşitli antenler elde etmek için, bakır ya da altın gibi yüksek iletkenli malzemeler kullanılarak kare, dikdörtgen ve elips gibi farklı geometrilerde bir araya getirilmektedir [15].

Şekil 1.1'de, mikroşerit antenin en temel görünüşü verilmiştir. Mikroşerit antenin alt kısmında bir toprak plakası olan dielektrik tabaka ve üzerindeki ışınım yapan yamadan oluşur [11].



Şekil 1.1. Mikroşerit anten genel yapısı [11]

Genelde mikroşerit antenlerin yama kısmı bakırdan oluşur. Alttaki toprak plaka iletken olup, mikroşerit antenlerin tek yöne ışıma yapmasını sağlar. Orta kısımda bulunan tabaka yalıtkan bir malzemeden meydana gelir ve optimum şartlarda dielektirik sabiti ε_r, antenin verimli bir şekilde çalışabilmesi için 10'dan küçük 2,2'den büyük seçilmelidir. Dielektrik tabakanın kalınlığı 0,05 mm ile 6,35 mm arasında değişim göstermektedir. Dielektrik tabakanın kalınlığı ve bağıl dielektrik sabiti; antenin verimliliği, bant aralığı gibi antenin çalışmasını doğrudan etkilemektedir. Üst tabaka ise çoğu zaman bakır ya da altından yapılabilen, ışımanın yapıldığı iletken tabakadır. 0,035 mm ile 0,070 mm bandında yamanın kalınlığı değişiklik göstermektedir [4]. Anten farklı geometrik şekillerde olabilir. İletken tabakanın geometrisi ve besleme tekniklerinin farklı olması, anten performanslarını doğrudan değiştirmektedir.

Yama ile toprak plaka birlikte bir iletim hattı oluşturur. Dielektrik tabaka malzemesi olarak alümina ve politetrafloretilen gibi malzemeler kullanılabilmektedir. Bu malzemelerin maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yüzeylere kolayca uyumlu bir biçimde birleştirilmek için çoğu zaman FR-4 kullanılır. Bağıl dielektrik sabitinin düşük olması ($\varepsilon_r < 2.5$) antenin ışıma verimliliğini olumlu etkiler. Öte yandan, aynı frekans cevabının oluşabilmesi için boyutu yüksek olan ışıma birimlerinin kullanmak antenin boyutlarının artmasına sebep olur [6]. Dielektrik tabakanın kalın, bağıl dielektrik sabitinin küçük olması, frekans bant aralığını artırmaktadır.

1.1. Mikroşerit Antenlerin Avantajları ve Dezavantajları

Mikroşerit antenlerin yapılarının minyatürleştirilmiş boyutlara indirilebilmesi sayesinde kablosuz sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Entegre edilmiş devrelere

uyumlu oldukları için, cep telefonları, laptop gibi kablosuz cihazlarda, havacılık sistemlerinde iletişimi sağlayan antenler olarak tercih edilmektedirler. Bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Küçük hacimli ve hafiftirler.
- Radar kesit alanları düşüktür.
- Düzlemsel yapıları nedeniyle iletim hatlarına monte edilmeleri kolaydır.
- Üretimi kolaydır ve maliyetleri pahalı değildir.
- Tek bant dışında, çoklu bant uygulamalarında da ışıyabilmektedirler.
- Besleme noktasında değişiklikler yapılarak doğrusal ya da dairesel polarizasyonlu ışıma yapabilmektedirler.
- İnce yapıları sayesinde uzay araçlarının aerodinamiğini bozmazlar.

Bu avantajların yanı sıra bazı dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanmaktadır:

- Dar bant genişliğine sahiptirler.
- Kayıplar sebebiyle performansları ve kazançları düşüktür.
- Dizi halinde kullanıldıklarında bile yönlendiricilikleri kısıtlıdır.
- Düşük polarizasyon saflığı ve yan lob seviyesi gibi parametrelerin etkili olduğu uygulamalarda bu anten tercih edilmez.

1.2. Mikroşerit Antenlerin Uygulama Alanları

Mikroşerit antenlerin avantajları, dezavantajlarına göre daha çoktur. Arge faaliyetlerinin devam etmesi ve mikroşerit anten kullanımındaki artış sebebiyle mikroşerit antenlerin birden fazla uygulama için sıklıkla kullanılan antenlerin yerine kullanılması beklenmektedir. Mikroşerit antenlerin kullanıldığı uygulamalar şunlardır:

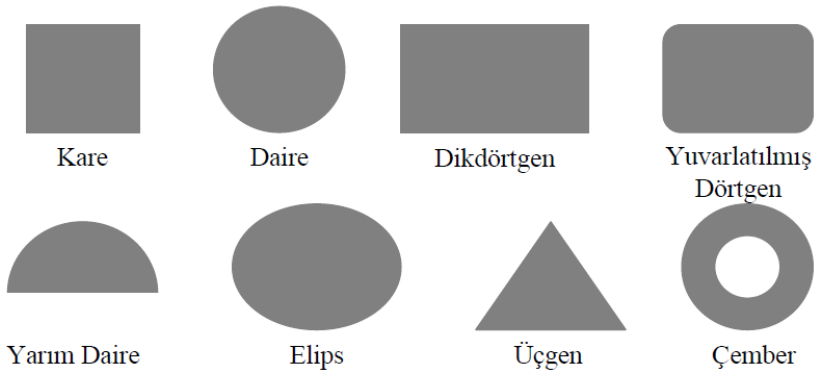
- Kablosuz haberleşme sistemleri,
- Uzaktan algılama sistemleri,
- Radar sistemleri,
- Gezgin haberleşme,
- Askeri sistemler,
- Biyomedikal ölçümler,
- Uydu haberleşmesi [11].

1.3. Mikroşerit Anten Çeşitleri

Mikroşerit antenlerin üretilmesinin pratikliğinden dolayı birbirinden farklı yapılarda tasarlanabilirler. Farklı boyut ve geometrilerine göre çeşitlenebilecekleri gibi besleme yöntemlerine göre de sınıflandırılabilmektedir.

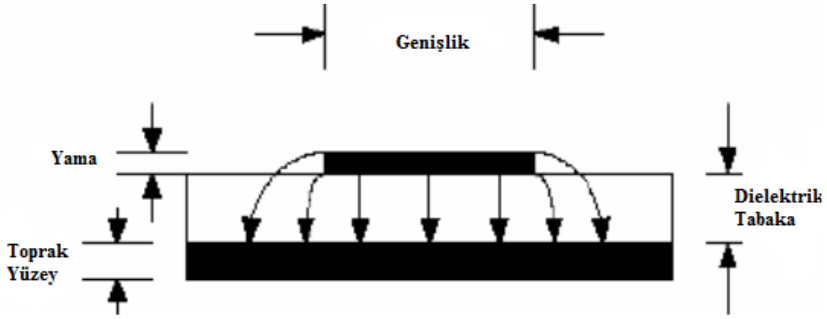
1.3.1. Mikroşerit yama antenler

Mikroşerit yama antenlerde dielektrik tabakanın bir tarafında iletken bir yama bulunmakta iken diğer tarafı komple toprak plaka ile örtülüdür. Yama antenlerde kullanılan yamanın geometrisine bağlı olarak karakteristik özellikleri farklılık göstermektedir. Mikroşerit yama anten tasarımları farklı geometrik yapılarda tasarlanmaktadır. Kare, dikdörtgen, dairesel, eliptik ve üçgen vb. şeklinde yaygın olarak kullanılan yama geometrileri Şekil 1.2'de görülmektedir [6].



Şekil 1.2. Kullanılan temel mikroşerit yama anten şekilleri [15]

Mikroşerit anten yapılarında yamanın kenarları açıklık şeklinde davranır ve bu sınırlarda uyarılır. Şekil 1.3'te gösterildiği gibi yamanın kenarları ve toprak yüzey arasında uyarım sayesinde elektromanyetik sinyaller oluşur ve bu sayede anten ışıma yapar.

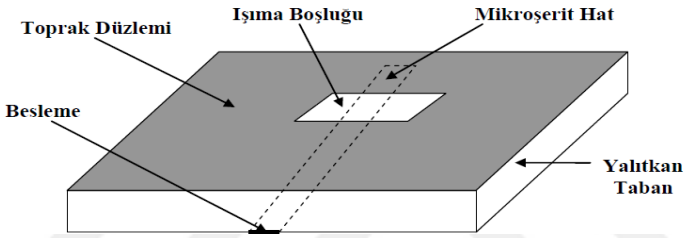


Şekil 1.3. Işıyan yama anten [11]

1.3.2. Mikroşerit boşluk antenler

Mikroşerit boşluk antenlerde, dielektrik tabakanın bir yüzeyinde mikroşerit besleme hattı bulunurken, diğer tarafında üzerinde ışıma boşluğu olan toprak düzlemi bulunmaktadır.

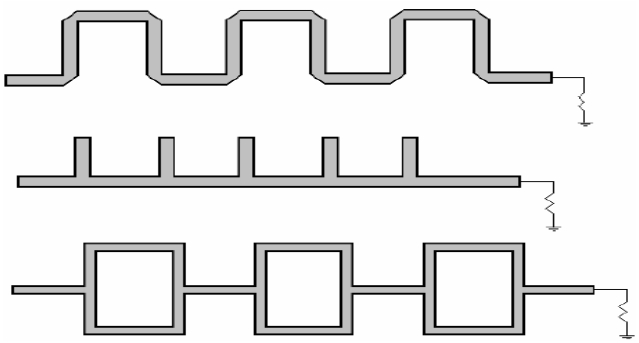
Bu antenlerde ışıma boşluğu farklı birçok şekilde, kare, üçgen veya daire gibi, tasarlanabilmektedir. Mikroşerit hat ya da eş düzlemsel dalga kılavuzu ile beslemeleri yapılabilmektedir. Işıma boşluğun her iki tarafından çift yönlü biçimde yapılmaktadır. Tek yönlü ışıma yapılmak istenirse, boşluğun bir tarafında kullanılacak iletken yansıtıcı yeterli olacaktır. Mikroşerit beslemeli mikroşerit boşluk anten yapısı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Mikroşerit hat beslemeli mikroşerit boşluk anten yapısı [15]

1.3.3. Mikroşerit yürüyen dalga antenler

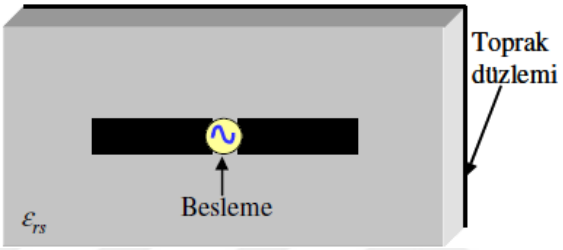
TE modunu sağlamak için, zincir seklinde sıralanmış, yeterli genişliğe sahip uzun bir mikroşerit hattan meydana gelen antenler, mikroşerit yürüyen dalga antenler olarak adlandırılırlar. Antenin bir tarafı, duran dalga oluşumunu engellemek için rezistif bir yük ile sonlandırılmaktadır. Zincir anten, kare döngü anten gibi mikroşerit yürüyen dalga antenler, dairesel polarizasyon için kullanılmaktadır. Mikroşerit yürüyen dalga antenlere örnekler Şekil 1.5'te verilmiştir [6].



Şekil 1.5. Mikroşerit yürüyen dalga anten türleri [6]

1.3.4. Mikroşerit dipol antenler

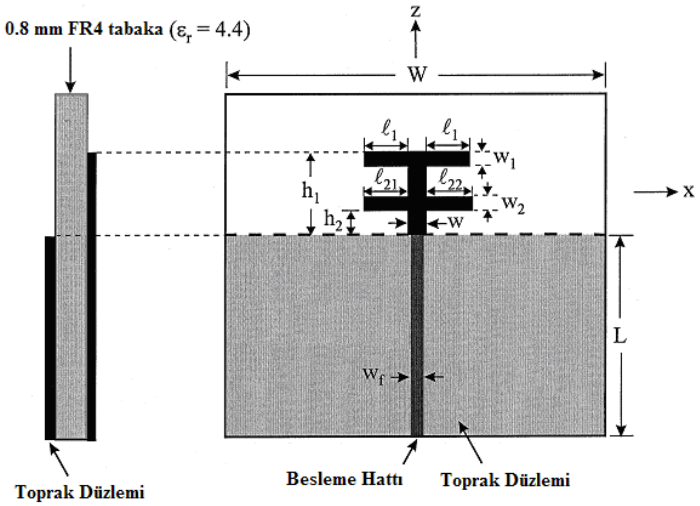
Mikroşerit dipol antenlerin yamaları oldukça dardır. Dipol ve dikdörtgen yama antenlerin akım dağılımları ve ışıma diyagramları birbirine benzemektedir. Fakat ışıma dirençleri ve bant genişlikleri büyük oranda birbirinden farklıdır [6]. Boyutlarının küçük olmasından dolayı özellikle dizi anten uygulamalarında kullanılmaktadır. Çoğunlukla merkez beslemeli olarak tasarlanan mikroşerit dipol anten Şekil 1.6'da gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Merkez beslemeli tipik bir mikroşerit dipol anten [6]

1.3.5. Mikroşerit monopol antenler

Kablosuz haberleşme sistemlerinde birden fazla bantta tek bir anten ile ışıma yapılabilmesi için antenin geniş bantlı ya da çoklu bant performansına sahip olmaları gerekir. Geniş bant aralığında çalışan mikroşerit monopol antenler bu sistemlerde sıklıkla kullanılmaktadır [16]. Bu anten türünde ise, besleme hattı, dielektrik tabakanın bir yüzeyinde bulunan, yamaya direkt olarak bağlanır. Yama antenlerden farklı olarak, mikroşerit besleme hattı toprak düzlemden oluşmaktadır. Bu sayede mikroşerit monopol antenlere her iki düzlemde de ışıma yapabilmektedir. Toprak düzleminin büyük yapıda olması empedans bant genişliğini etkiler iken, rezonans frekansını düşürür. Örnek bir tasarım Şekil 1.7'de yer almaktadır [15].



Şekil 1.7. Çift T şekilli mikroşerit monopol anten örneği [15]

1.3.6. Mikroşerit halka antenler

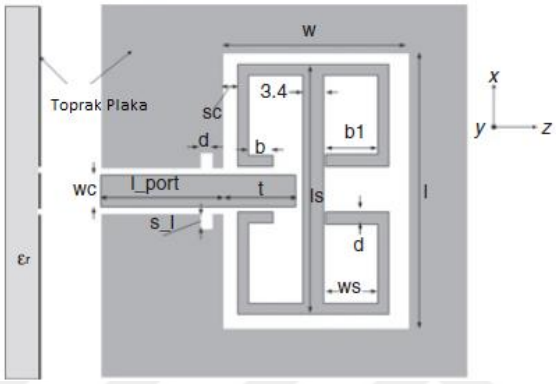
Kablosuz haberleşme sistemlerinde kullanılan cihazların minyatürize edilmesi, bu cihazlara uyumlu olacak özelliklerdeki anten tasarımların da değişikliğe gitmek zorunda bırakmıştır. Yama antenlerin yama boyutları genelde yarım dalga boyudur. Yama boyutları dalga boyunun dörtte birine kadar düşürülebilen mikroşerit halka antenler [12], özellikle taşınabilir cihazlarda olmakla birlikte, boyutu küçük olan anten tasarımlarında ön plana çıkmaktadır. Bu tür antenleri beslemek için halka üzerinde açılan küçük bir yarıktan eş eksenli besleme hattı geçirilir [14].

1.3.7. Mikroşerit çift bant antenler

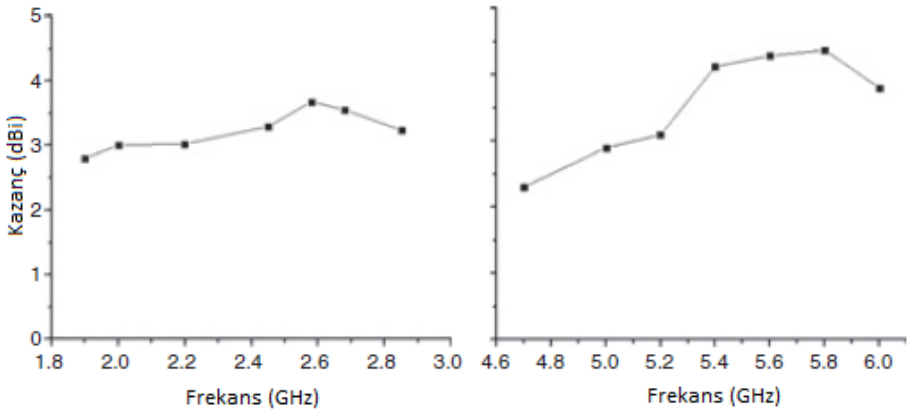
Radyo ağlarının gelişmesi ve kapasite ihtiyacının artmasından kaynaklı olarak antenlerin yeni frekanslara ve çoklu bant ve çoklu mod ağlarına uyum sağlaması gerekmiştir. Tek bir noktadan birden fazla bantta yayın alabilme ve yapabilme ihtiyacından kaynaklı olarak da çoklu bant antenleri geliştirilmeye başlanmıştır. Günümüzde modern kablosuz haberleşme sistemlerinde çift ve çoklu bant anten araştırmalarına büyük ilgi gösterilmektedir. Aralarında, monopol anten, katlanmış yama anten ve papyon tipi anteninlerin de bulunduğu, çift bant antenlerle ilgili çok sayıda tasarım son zamanlarda literatürde sunulmuştur.

Literatürde çift bantlı anten tasarımları ile ilgili birçok örnek yer almaktadır. Aşağıda verilen tek katmanlı dielektirik tabakası olan genişbant çift bantlı koplanar beslemeli

slot anten örnek olarak verilmiştir [17]. Bu anten 1,97 – 2,87 ile 4,78 – 8 GHz arasında çalışmaktadır ancak WLAN bantları olan 2,4/5,2/5,8 GHz için kazançlar dikkate alınmıştır. Alt frekans bandında antenin maksimum kazancı yaklaşık 3,68 dBi ve kazanç değişimi 1 dBi'dan azdır. 4,7-6 GHz frekans bandında ise kazanç 2,3 – 4,37 dBi aralığındadır. Şekil 1.8'de antenin geometrisi, Şekil 1.9'da kazanç grafikleri verilmiştir.

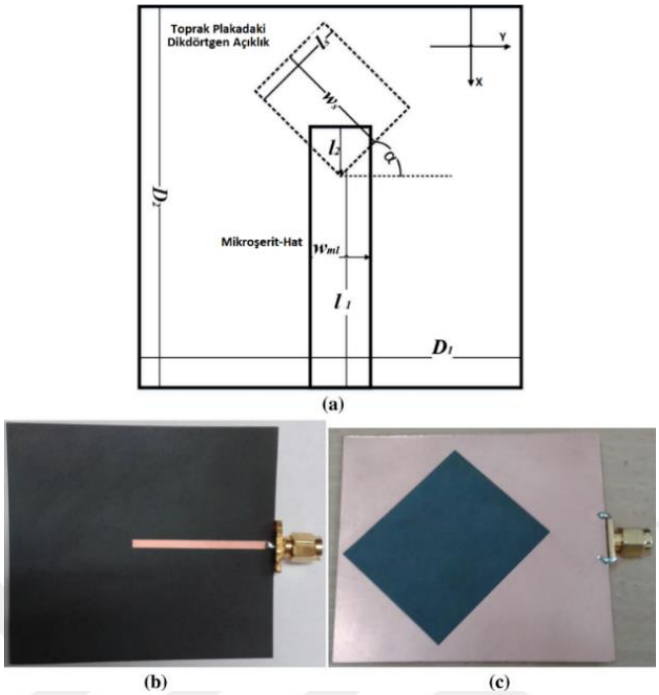


Şekil 1.8. Antenin geometrisi [17]

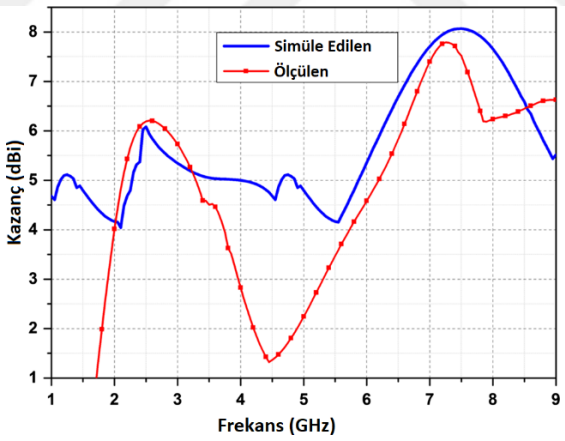


Şekil 1.9. Düşük bant(a), yüksek bant(b) anten kazanç-frekans grafikleri [17]

Bir diğer örnek ise [18]'de sunulan çift bantlı mikroşerit hat beslemeli düşük profil mikroşerit yama anten kablosuz sistemlerde kullanılmaktadır. Çift bant antenin çalışma frekansları 2,55 ve 7,55 GHz'dir. Antenin yapısı Şekil 1.10'da verilmiştir. Antenin kazancı maksimum 8,1 dBi olup Şekil 1.11'de gösterilmiştir, bu antenin tüm yönlü ışıma diyagramları Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) uygulamaları için kullanılması uygundur.



Şekil 1.10. Antenin yapısı; şema(a), üretilen antenin üst(b) ve alt(c) görünümü [18]



Şekil 1.11. Antenin frekans – kazanç grafiği [18]

Günümüzde WLAN (Wireless Local Area Network) uygulaması, özellikle 2,4 GHz ISM(Industrial Scientific Medical) frekansında, popüler hale gelmiştir. WLAN a/b/g frekanslarını bir araya getirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bina içi WLAN uygulaması için iki ayrı frekans bandı ayrılmıştır. Bunlardan biri 2,4 GHz bandı diğeri ise 5,2 GHz bandıdır. İki ayrı frekans için iki ayrı anten gerekmektedir.

Çift bantlı antenler bu sorunu ortadan kaldırdıkları halde dizi uygulamaları için kullanılan besleme yöntemlerinin karmaşıklığından dolayı göz ardı edilmiştir. Fakat yüzey uyumluluğu yüksek ve hafif olan mikroşerit antenler uçak, radar sistemlerinde kullanıma uygundurlar. Bu sebeple yakın zamanda tekrar önem kazanmışlardır. Bu tez çalışmasında 2,4 GHz ve 5 GHz de çalışan mikroşerit çift bant anten tasarlanmıştır.

2. MİKROŞERİT ANTENLERDE KAZANÇ ARTIRMA YÖNTEMLERİ

Literatür incelendiğinde mikroşerit antenlerin kazancını artırmak için çok sayıda çalışma yapıldığı görülebilir. Bu çalışmalarda dar bantlı mikroşerit antenlerin sayısı oldukça fazladır. Aşağıda literatürde yer alan kazanç artırma tekniklerinden bir kısmı özetlenmiştir.

Mikroşerit antenlerin kazancını artırmaya yönelik çalışmalar: Frekans Seçici Yüzeyler (FSY), Elektromanyetik Bant Aralığı (EBA), Metamalzemeler (MTM), antenin yüzeyine metalik levhaların monte edilmesi, antenin ön kısmına parazitik elemanlar eklenmesi gibi içeriklere sahiptirler.

FSY'ler istenilen frekansları geçiren ve istenmeyen frekansları bastıran periyodik yapılardır. FSY'lerde delikli yapılar düşük frekansları yansıtırken, yüksek frekansları iletirler. İki boyutlu olan frekans seçiçi yüzeyler, frekans aralığında elektromanyetik dalgalar için filtre gibi işlev görürler. FSY'ler, kapasitif etkiye ve endüktif etkiye sebep olabilmektedir. Periyodik olarak dizilen iletken yamalar kapasitif etkiye ve bant durdurma özelliğine sahiptir. İletken levhaların üzerinde periyodik olarak oyuklar açılarak frekans seçici yüzeyler endüktif etkiye ve bant geçirme özelliğine sahiptirler.

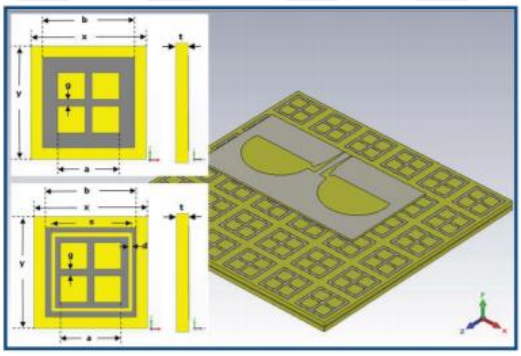
Frekans seçici yüzey özelliklerini belirleyen başlıca faktörler, periyodik yapıyı oluşturan elemanların geometrisi, boyutları, elemanlar arasındaki boşluk, elemanların iletkenliği, dielektrik tabakanın yapısı, gelen dalganın geliş açısı ve polarizasyonu olarak belirtilir.

Literatürde anten kazancını artırımını içeren çalışmalar incelendiğinde, FSY'lerin sıklıkla kullanıldığı ve yüksek kazanç elde edilmeye çalışıldığı görülmektedir. FSY'ler antenlerde genelde yansıtıcı yüzey olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemle, 5-6 dBi'lik kazanç artırımı sağlamak mümkündür. Ancak bu yöntemin en önemli dezavantajı UGB bandının alt frekans bölgelerinde kazancın, yüksek frekans bölgelerine kıyasla 6-10 dBi daha düşük olmasıdır. UGB bant aralığının yüksek frekanslarında FSY ile

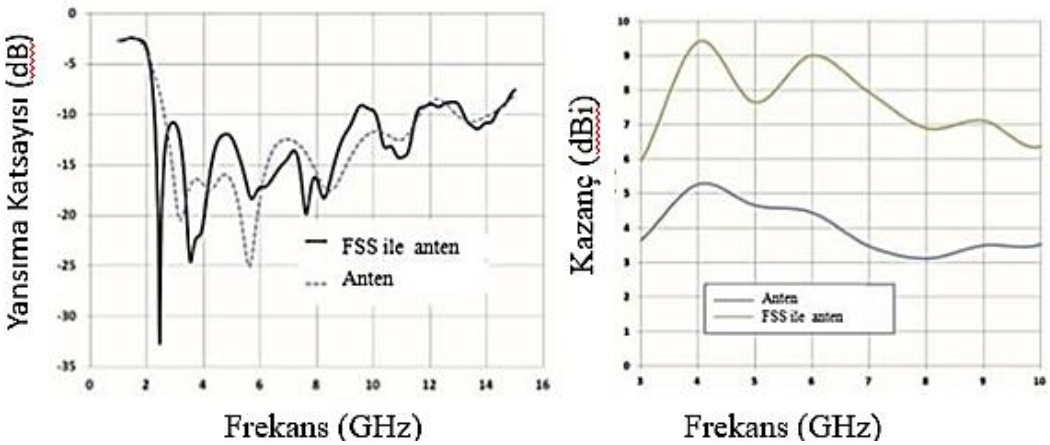
kazanç artışının, düşük frekanslara göre daha az olduğu görülmektedir. Aşağıda FSY kullanılarak kazancın artırıldığı çalışmalara bir örnek verilmiştir.

Ranga ve arkadaşlarının yansıtıcı amaçla kullanılan çok katmanlı FSY yapısı kullanarak UGB bandında kazanç artışı sağlamışlardır [19]. Eş-düzlemsel beslemeli yarı-dairesel açıklık antenin kazancını artırmak için iki katmanlı FSY gibi kullanılmıştır. Şekil 2.1'de anten ve belli bir mesafeye konumlandırılmış olan FSY ve FSY birim hücreleri verilmiştir [19].

[19] parametrik çalışmalarına göre anten ile FSY ekranı arasında 10 mm uzaklık bulunmaktadır. Bu uzaklık merkez frekansın (6,85 GHz) dalga boyunun yaklaşık olarak dörtte bir oranına denk gelmektedir. Yansıma katsayısı ve kazancı Şekil 2.2'de verilmiştir [19].



Şekil 2.1. FSY birim hücre ve FSY katmanı ile anten [19]



Şekil 2.2. Anten ve FSY yansıma katsayısı ve kazanç grafikleri [19]

Dielektrik veya metalik elementlerle hazırlanmış bir, iki veya üç boyutlu periyodik dizilimlere elektromanyetik bant aralığı (EBA) denir. EBA'nın yüzey dalga bant boşluk özelliği anten kazancını artırır.

EBA yapıları kavramı katı hal fiziği ve optik alanlarından türemiş ve ilk zamanlarda fotonik bant genişliği olarak adlandırılmıştır. Fotonik kristaller gibi bu yeni tip yapay malzemeler, EBA yapılar, elektromanyetik ile ilgili birçok araştırma alanı çıkmasına sebep olmuştur. EBA yapılar, metamalzemelerin bir alt kategorisi olarak değerlendirilebilir.

EBA yapıları yalnızca belirli frekans aralıklarına izin verilmesini sağlayarak, istenmeyen frekansların anten üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla kullanılır. Bu sayede, parazit azaltılmış ve kazanç ise dolaylı olarak artırılmış olur. Bu yapılar, mikroşerit anteninin radyasyon paternini, kazanç karakteristiklerini ve bant genişliğini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

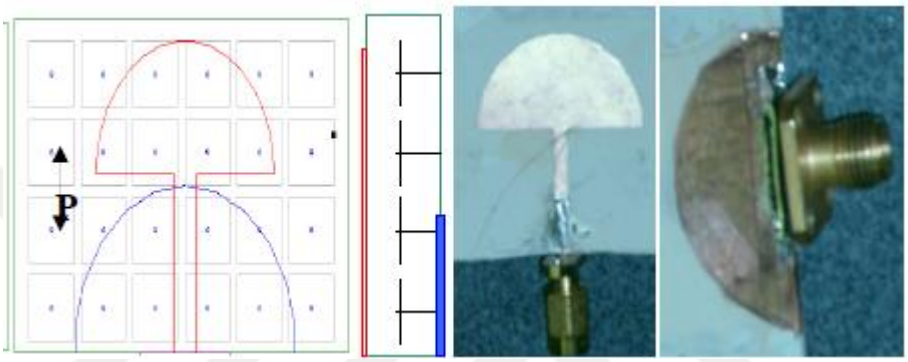
Anteni daha verimli kılmak için, tabakadan geçen yayılım kısıtlanmalıdır. Bu durumda anten ana hüzme yönünde daha çok yayınım yapabilmektedir ve bu verimde artış sağlamaktadır.

Kalın ve yüksek bağıl dielektrik sabitine sahip tabakaların getirdiği sorunların üstesinden gelmek için anten tabakası üzerinde oynama yapılması için farklı yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemlerden birisi de anten tabakasının yüzeyine pürüzler katılması ile bağıl dielektrik sabitinin küçültülmesidir ancak bu yöntemin diğer bir sonucu da yama boyutunun büyümesidir. Diğer bir yöntem ise bahsettiğimiz EBA yapısının yama anten tasarımına katılmasıdır. EBA yapısı kullanılan tasarımlar diğer yöntemlere göre daha küçük ve daha hafif antenler ortaya çıkarmaktadır.

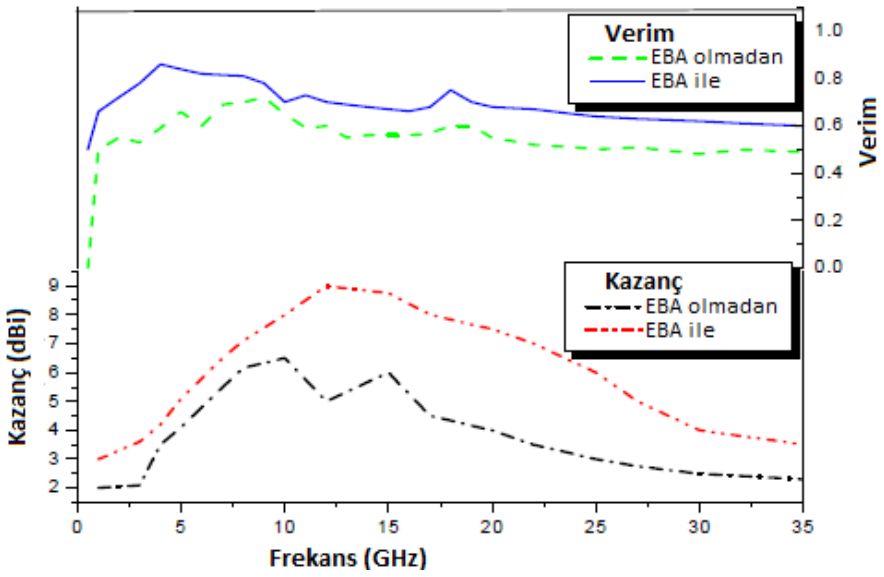
EBA methodu UGB antenlerden ziyade dar bantlı çalışan antenlerde kazanç artırmak için kullanılmaktadır. EBA tekniğinde frekans bant-durduran, frekans bant-geçiren özelliklere sahiptir.

[21]'de monopol düzlemsel anten üzerinde EBA kullanımı sonrasında 1-35 GHz frekans aralığında boyutta küçülme ve kabul edilebilir performans ile elde edilmiştir. Bu yayından yola çıkılarak önce dikdörtgen yama anten kullanılmış olup en son hem

yama şeklinin hem de toprak düzlemin yarı dairesel yapıda olmasına karar kılınmıştır. Şekil 2.3'te üretilen antenin görüntüsü verilmiştir. EBA kullanılmamış yarı dairesel antene göre EBA kullanılan yarı dairesel antende bant genişliği artışının yanı sıra boyutta %60'dan fazla minyatürleştirme elde edilmiştir. Bu bulgular [20]'de verilmiş olan bulgulardan %10 daha iyidir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi çalışma frekans aralığında sürekli değişim gösteren kazanç artışı yaklaşık 3 dBi'den başlayıp 12,5 GHz'de maksimum değeri olan 8,5 dBi'ye ulaşmış ve sonrasında da frekans artışı ile birlikte azalmaya başlamıştır.



Şekil 2.3. Üretilen monopol antenin üstten(sol) ve alttan(sağ) görünüşü [21]



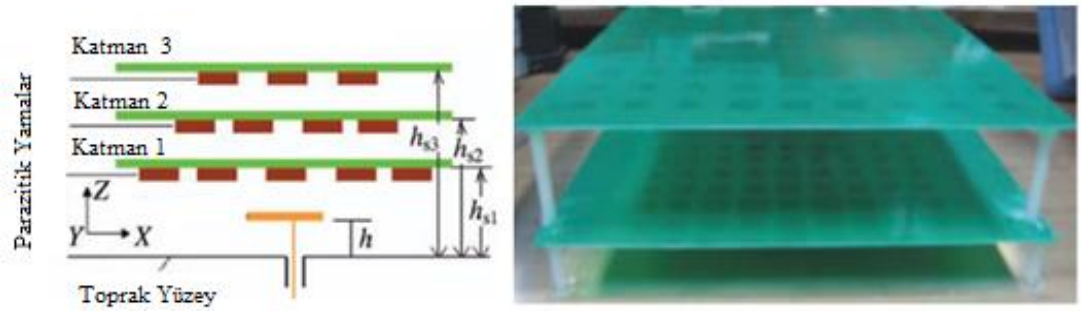
Şekil 2.4. EBA'lı ve EBA'sız anten kazanç – verim grafikleri [21]

Literatürde dar bantlı mikroşerit antenlerin kazancının arttırılmasına yönelik birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmaların bir kısmında, antenin ön kısmına parazitik

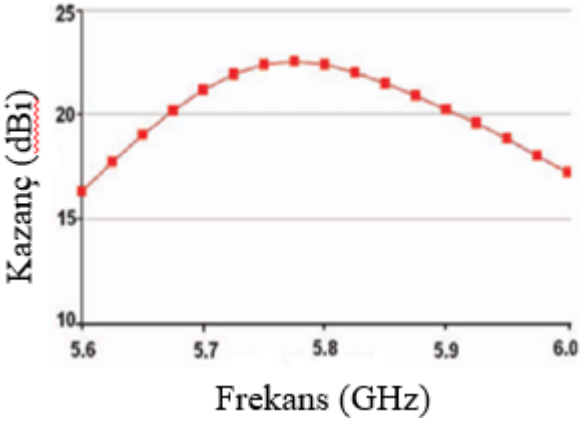
elemanlar eklenerek kazanç arttırılmaktadır. Aşağıda, bu yöntemle kazancı arttırılmış antenlerin yer aldığı makalelerden seçilen bir örnek yer almaktadır.

Vaidya ve arkadaşları çok katmanlı üst tabaka yapısında parazitik yamalar kullanarak verimli kazanç artışı sağlamışlardır. Bu mikroşerit anten 5,725–5,875 GHz bandında çalışmaktadır. Katmanlar üzerindeki dizi boyutu, Şekil 2.5'te üst tabaka ile anten arasındaki yükseklik veya üst tabaka katman sayısı artırıldığında kazanç artışının giderek daha az arttığı görülmektedir [22].

Simülasyonu yapılan çalışmalar arasında en iyi artışı sağladığı gözlemlenen 3 x 3-N-9 x 9 çok katmanlı yapı tercih edilmiştir. Şekil 2.5'te üretilen antenin görüntüsü verilmiştir. Şekil 2.6'da antenin kazanç grafiği verilmiştir. Dar bir bant aralığında ortalama 20 dB'lik kazanç elde edilmiştir [22].



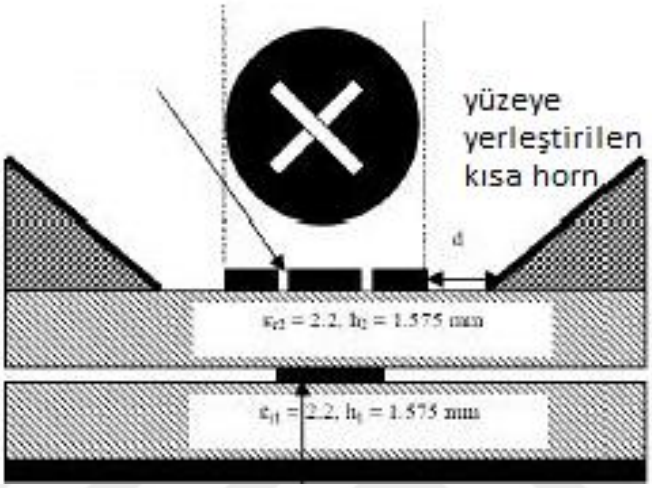
Şekil 2.5. Parazitik yamalar eklenmiş anten yapısı [22]



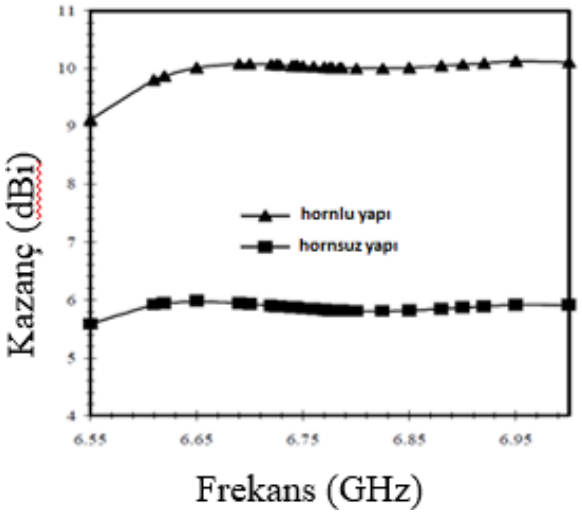
Şekil 2.6. Parazitik yamalar eklenerek antenin kazanç-frekans grafiği [22]

Bir diğer çalışmada Huang ve arkadaşları, bant genişliği %7 olan, Şekil 2.7'de gösterilen dar bantlı mikroşerit antende, yüzeyine kısa horn yerleştirilerek kazanç artışı

sağlamışlardır. Şekil 2.8'de kazanç 6,1 dBi'den 10,3 dBi'ye çıkarılmış olup kazanç grafiği verilmiştir. Dar bantlı antenlerde, bant genişliğindeki azalma kabul edilebilir limitlerde olmasına karşın, geniş bantlı antenlerde bandın ciddi oranda daralmasına sebep olacağı için, UGB antenlerde kazanç artırımı için kullanılabilir bir yöntem olarak tercih edilmezken, dar bantlı antenlerde tercih edilebilir [23].



Şekil 2.7. Yüzeyine kısa horn yerleştirilmiş mikroşerit anten [23]

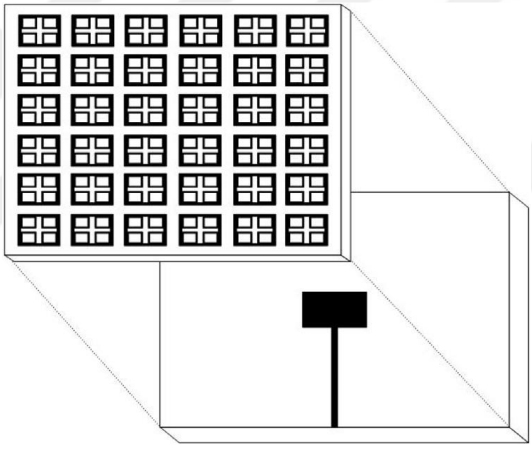


Şekil 2.8. Hornlu ve hornsuz yapısı ile frekansa göre kazanç grafiği [23]

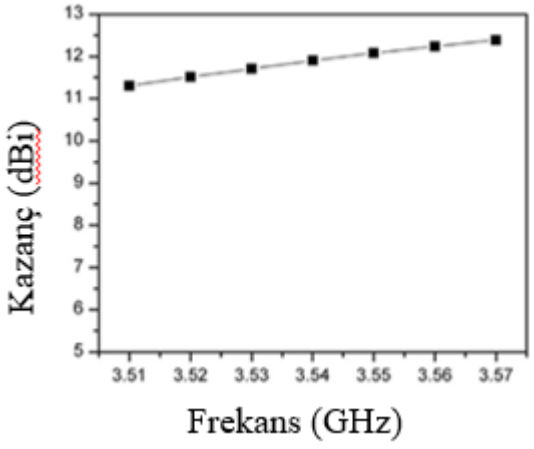
Elektromanyetik metamalzemeler, doğada bulunmazlar. Yunanca meta kelimesi "ötesinde" anlamına gelmektedir. Metamalzemelerin davranışları doğal malzeme ve yapılarda gözlemlenemez.

Son yıllarda metamalzeme (MTM) tasarımları ile ilgili birçok makale ve çalışma bulunmaktadır. Hem askeri hem ticari uygulamalarda MTM sıklıkla kullanılmaktadır. Anten performans iyileştirme, anti radar sistemleri, EM koruma sistemleri, SAR ölçümleri, mikroelektronik, nanoteknoloji, tıbbi görüntüleme cihazları, RF enerji hasatı, süper lens, görünmezlik pelerini, mobil teknolojilerde anten boyutunu küçültmek için değil yayılım etkinliğini artırmak için kullanılmıştır.

Wang ve arkadaşları tek katman MTM üst tabaka ile kaplı yüksek kazançlı mikroşerit yama anten tasarlanmıştır [24]. 3,51-3,57 GHz frekans aralığında çalışmaktadır. MTM 6 x 6 birim hücre yapısıyla antenin 42 mm üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Anten kazancı 3,57 GHz frekansında 6,2 dB iken MTM kullanıldığında 12,4 dB kazanç sağlanmış olup Şekil 2.10'da gösterilmektedir.

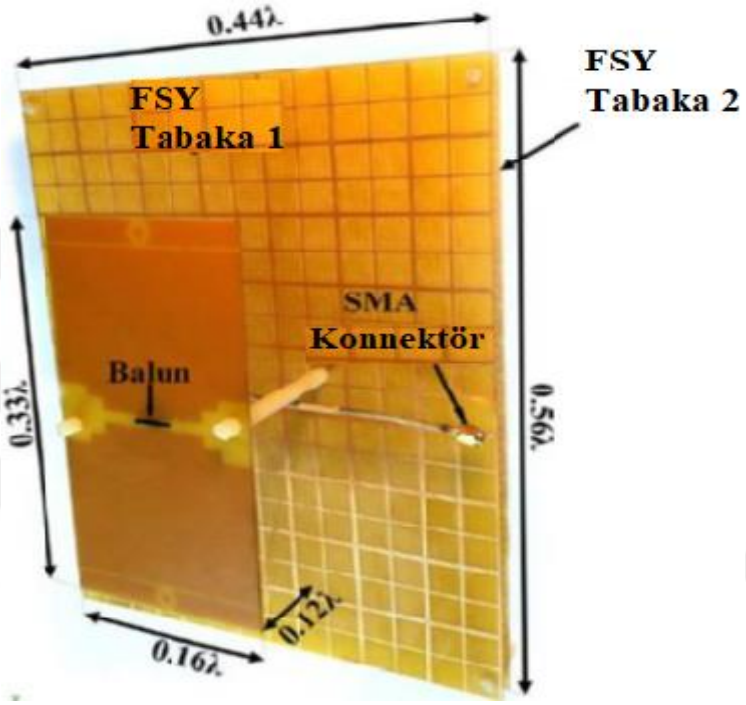


Şekil 2.9. Üzerine MTM eklenmiş antenin görüntüsü[24]

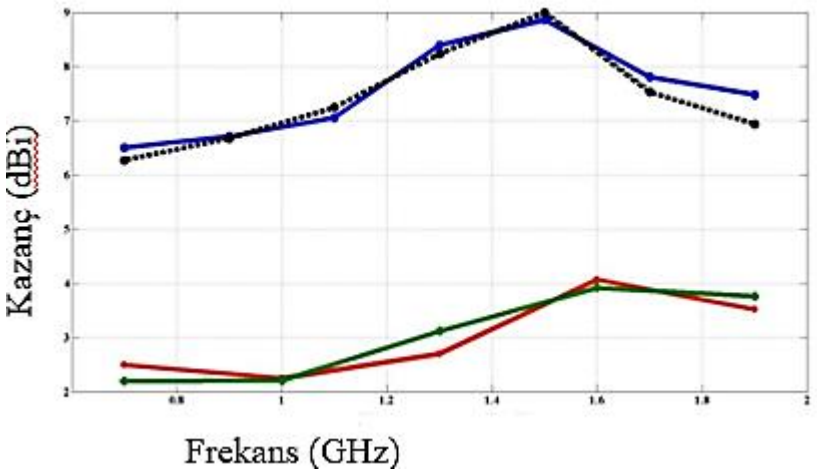


Şekil 2.10. MTM yapının antenin üzerine eklenerek kazanç-frekans grafiği [24]

Shadrokh ve arkadaşları görüntüleme radarları için, 0,65– 3,8 GHz frekans aralığında çalışan kazancı 6-9 dBi aralığında olan mikroşerit dipol anten tasarlamışlardır [25]. Kazancı arttırmak için çift tabakalı Frekans Seçici Yüzey (FSY) kullanılmıştır. Frekans-kazanç grafiğinde FSY yokken (kırmızı(ölçüm)-yeşil), FSY varken (mavi(ölçüm)-siyah) görüldüğü gibi, FSY eklenerek kazanç yaklaşık olarak 4-5 dBi arttırılmıştır.



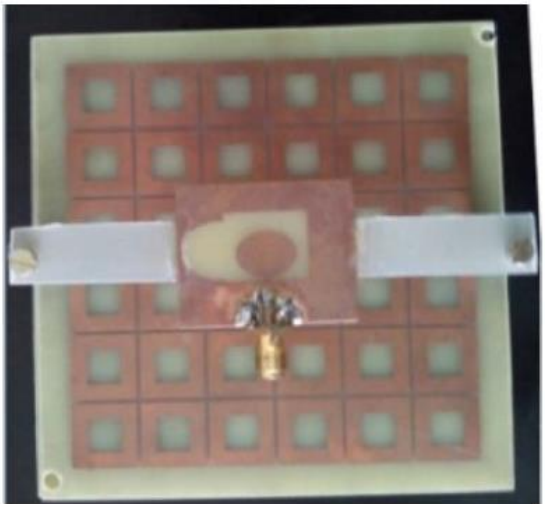
Şekil 2.11. FSY kullanılarak kazancı arttırılan anten yapısı [25]



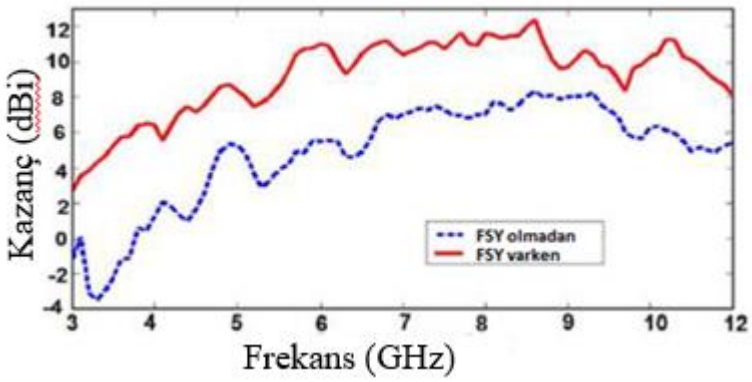
Şekil 2.12. FSY yokken (kırmızı ve yeşil) ve varken (siyah ve mavi), ölçüm ve sim. frekans-kazanç grafikleri [25]

Son yıllarda literatürde UGB antenlerde kazanç artırma çalışmaları yerlerini almaya başlamışlardır. Aşağıda bu çalışmalara örnekler verilmiştir.

2015'de yayınlanmış oldukça yeni bir çalışmada frekans aralığı 2,81–11,2 GHz olan Şekil 2.13'de verilmiş olan UGB anten yapısının arkasına frekans seçici yüzey yerleştirilerek kazanç 4-5 dBi arttırılmıştır. Şekil 2.14'deki kazanç grafiğinde FSY varken (kırmızı) ve yokken (mavi) elde edilen frekans-kazanç grafiklerinden görüldüğü gibi, maksimum 12 dBi kazanç elde edilmiş ve bant boyunca minimum ve maksimum kazanç arasında yaklaşık 8 dBi fark var [13].



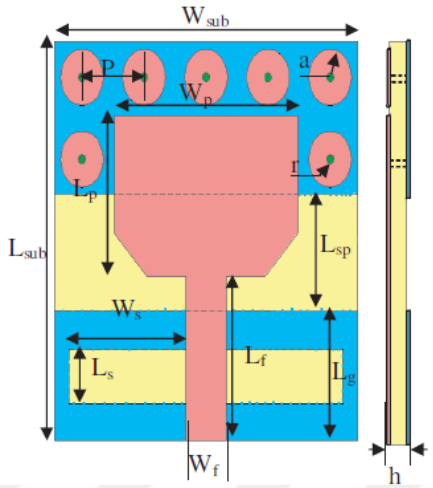
Şekil 2.13. Arkasına FSY yerleştirilerek kazancı arttırılan UGB anten fotoğrafı [13]



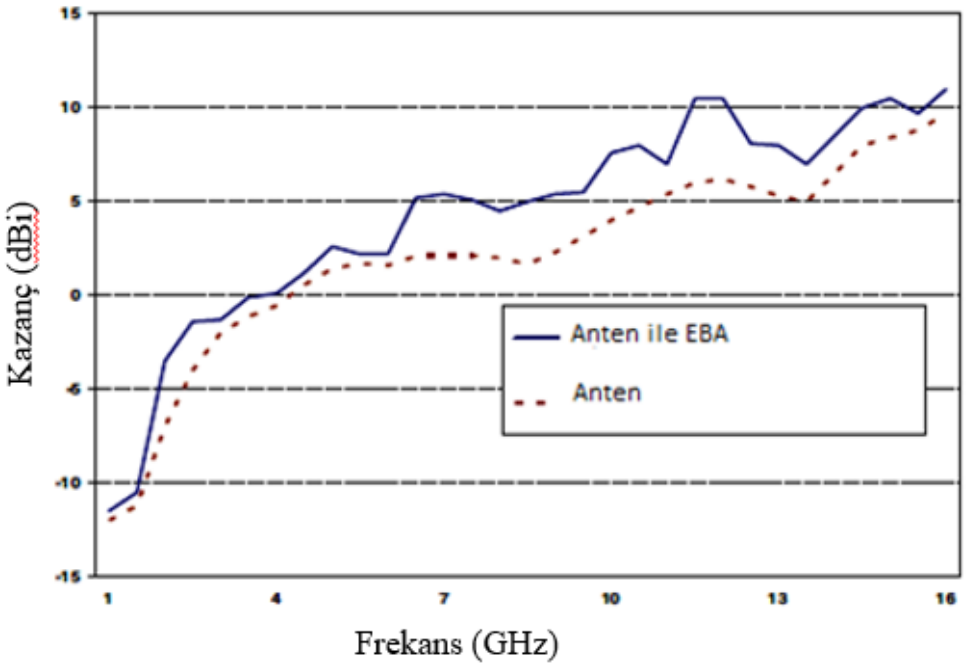
Şekil 2.14. FSY varken ve yokken elde edilen frekans-kazanç grafikleri [13]

Bir diğer çalışmada, Mohanna [26], 3,5-13,5 GHz bandında çalışan görüntüsü Şekil 2.15'de verilen UGB mikroşerit antenin toprak tabakasına EBA yapı eklenerek,

kazanç arttırılmıştır. Şekil 2.16'daki kazanç grafiği incelendiğinde, yaklaşık 7,5 dBi bir kazanç elde edilmiş ve bant boyunca, maksimum kazanç ile minimum kazanç arasında 10 dBi'dan fazla fark bulunmaktadır.



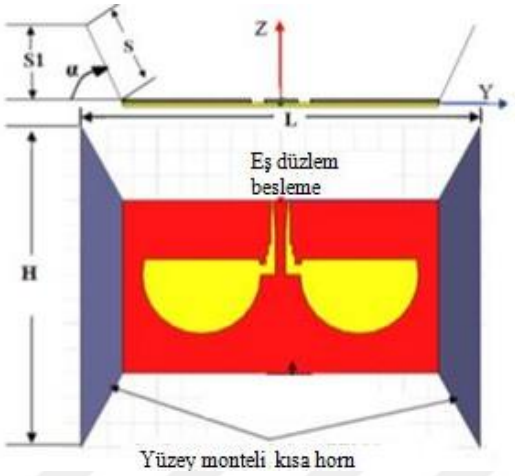
Şekil 2.15. EBA kullanılarak kazancı arttırılmış UGB anten [26]



Şekil 2.16. EBA varken ve yokken elde edilen frekans-kazanç grafikleri [26]

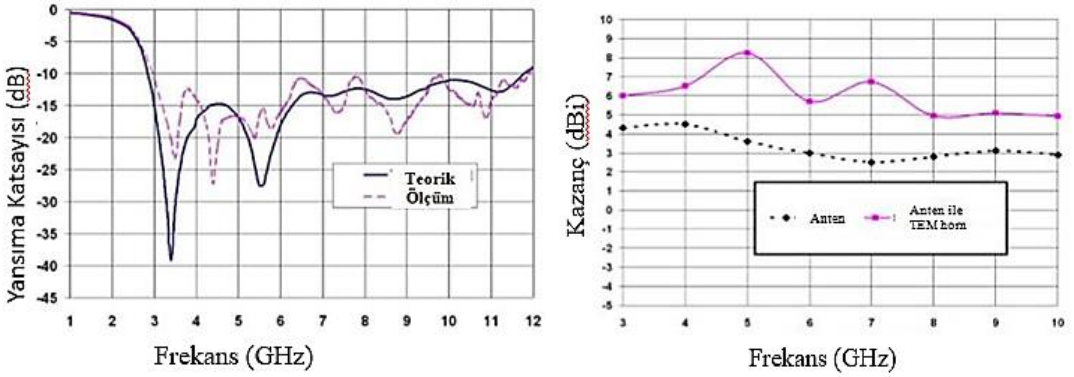
Yüzey monteli kısa horn kullanarak kazanç artırmayı hedefleyen yapıları sıklıkla ortaya koyanlardan Ranga ve arkadaşlarının [27], çalışmaları örnek olarak verilebilmektedir. Eş-düzlemsel beslemeli yarı dairesel UGB anteninin yüzeyine

TEM-benzeri horn, kısa iki plaka yerleştirilerek anten kazancında yaklaşık 3dB artış sağlanmıştır. Şekil 2.17'de kısa horn yapısıyla kazancı arttırılan anten gösterilmiştir [27].



Şekil 2.17. İki kısa horn ile bütünleşik yarı dairesel açıklık anteni [27]

Bu yapıya ait parametreler- metal levhalar yatay eksenle açı (α) 65^0, λ en düşük frekans değeri baz alınarak hesaplanmıştır, metal plakaların eğim uzunluğu (S=λ/5=20 mm) ve metal plakaların tepe kenar genişliği olan (H=65 mm) - en uygun değerlerine ulaşılmıştır. İyileştirmeler sonucunda 2,88 GHz – 10,66 GHz frekans aralığında uygun yansıma katsayısı ve sabit kazanç elde edilmiştir. Şekil 2.18'de yansıma katsayısı ve kazanç grafikleri verilmiştir [27].



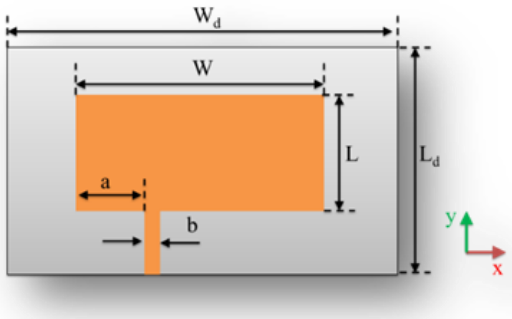
Şekil 2.18. Kısa horn ile yarı dairesel açıklık anteni yansıma katsayısı ve kazanç grafikleri [27]

3. TASARIMLAR

Bu çalışmada, kazanç artırımı için çift bant anten seçilmiştir. Frekans seçici yüzey kullanımı, anten üzerine horn ilave etmek ya da MTM kullanımı, antenin her iki bandında da kazanç artırımına sebep olan tekniklerdir. Rezonans frekanslarına ayrı ayrı müdahale edebilmek için farklı teknikler tercih edilmiştir. Bu tekniklerden biri, ilgilenilen rezonans frekansındaki ışıma diyagramını şekillendirmek için, anten üzerindeki akım dağılımını değiştirmeye yönelik yama üzerine yarıklar açmaktır. Bu çalışmada 5 GHz frekansında oluşan çift yönlü ışıma diyagramını, tek yönlü yapabilmek için bu teknik kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bir diğer teknik ise, antenin 5 GHz kazancını artırmak için yama üzerine dielektrik tabaka dizisi yerleştirmektir. Bu teknik sayesinde %20 oranında kazanç artırımı sağlanmıştır. Yama üzerine dielektrik tabaka dizisinin kazanca etkisi simülasyonlar ile görüldükten sonra tasarlanan antene metal levha eklenerek kazanç üzerindeki etkisi ve artışı incelenmiştir. Bu tez çalışmasında yapılan tasarımların analizi CST Microwave Studio ile elde edilmiştir.

3.1. Tasarım Aşamaları ve Simülasyon Sonuçları

Çalışmada öncelikle 2,4 ve 5 GHz frekanslarında çalışan çift bant mikroşerit yama anten tasarımı yapılmıştır. Anten tasarımında, kalınlığı h=0,762 mm ve bağıl dielektrik sabiti 2,2 olan Arlon Di880 dielektrik tabaka kullanılmıştır. Tasarlanan antenin geometrik yapısı Şekil 3.1'de, Tablo 3.1'de ise antenin boyutları yer almaktadır.

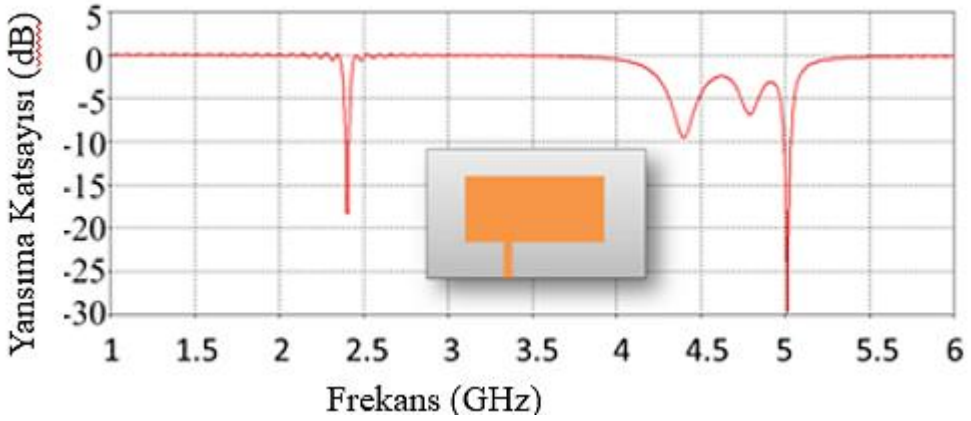


Şekil 3.1. Temel anten yapısı

Tablo 3.1. Temel Antenin Boyutları (mm)

W	41,60
L	22,1
W_d	65
L_d	40
a	15,3
b	2,4

CST Microwave Studio ile yapılan simülasyonlar neticesinde elde edilen yansıma katsayısının frekansa bağlı değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Anten, şekilde görüldüğü gibi 2,4/5 GHz frekanslarında çalışmaktadır.

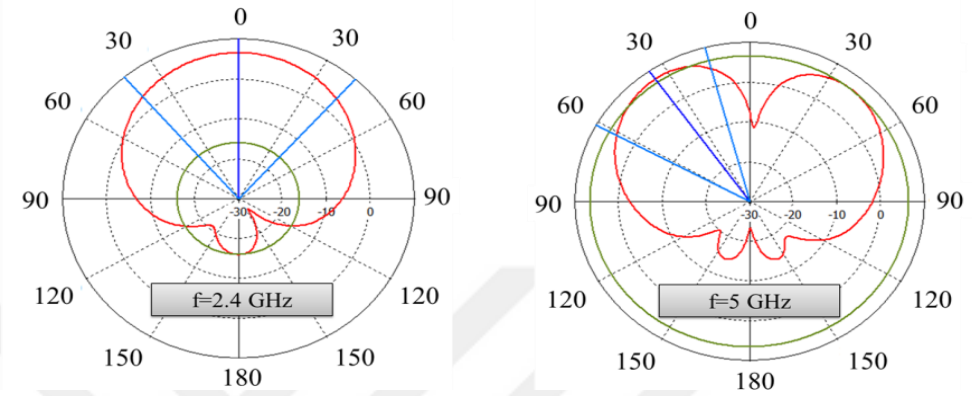


Şekil 3.2. Temel antenin yansıma katsayısı grafiği

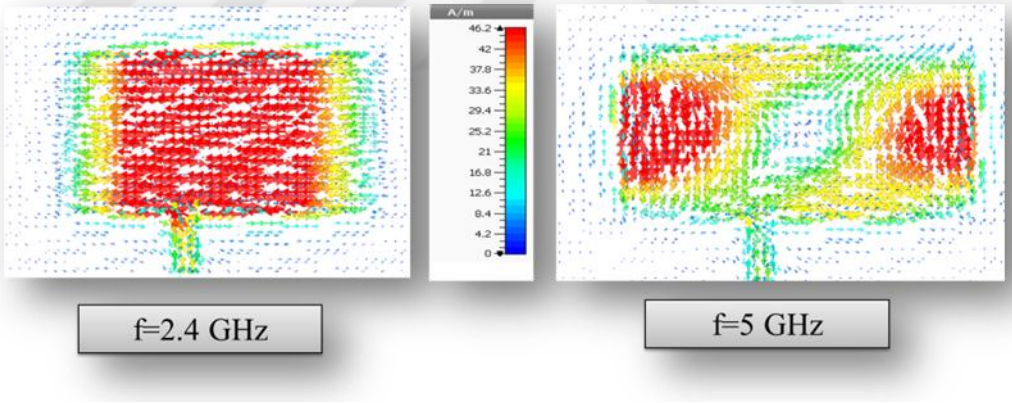
Şekil 3.3'de, XZ düzleminde, $\phi=0^o$ için, 2,4/5GHz frekanslarında θ açısına bağlı ışıma diyagramları verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, 2,4 GHz'de anten 0^o yönünde maksimum ışıma yaparken, 5 GHz frekansında maksimum ışımasını yaklaşık $\pm 35^o$'ye yapmaktadır. Şekil 3.4'de verilen akım dağılımları incelendiğinde, 5 GHz'de ışıma diyagramının çift kulak oluşturmasının sebebi görülmektedir. 2,4 GHz'de düzgün tek parçalı bir akım dağılımı varken, 5 GHz frekansında akım dağılımının antenin kenarlarında olması, ışıma diyagramları çift kulak oluşturmasına sebep olmuştur.

5 GHz'deki akım dağılımını anten kenarlarından, orta kısımlara yönlendirerek, ışıma diyagramında $\theta=0^o$'de maksimum ışıma yönüne göre yaklaşık -15 dB'lik azalmanın düzeltilmesi öngörülmüş ve anten üzerine açılan yarıklarla anten çalışma frekansında ciddi bir kaymaya sebep olmadan akım dağılımlarının anten ortasına doğru kaydırılması sağlanmıştır. Yarıkların konumları ve boyutları, parametrik çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. Mikroşerit antenin sağ alt köşesinde 10,1 mm genişliğinde

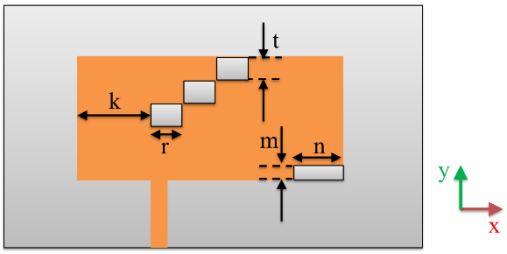
ve 2,8 mm kalınlığında, antenin orta bölgesinde 6 mm genişliğinde ve 3,5 mm kalınlığında yarıklar açılmıştır. Antenin geometrisi Şekil 3.5'de, yarıkların konumu ve boyutları Tablo 3.2'de ve üzerindeki akım dağılımları Şekil 3.6'da verilmiştir. Yarıkların açılması neticesinde 2,4 GHz'deki rezonans 2,33 GHz'e kaymıştır ve Şekil 3.7'de verilmiştir, bu sebeple, akım dağılımı 2,33 GHz için verilmiştir.



Şekil 3.3. XZ düzleminde, $\phi=0^o$ için antenin 2,4 ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları



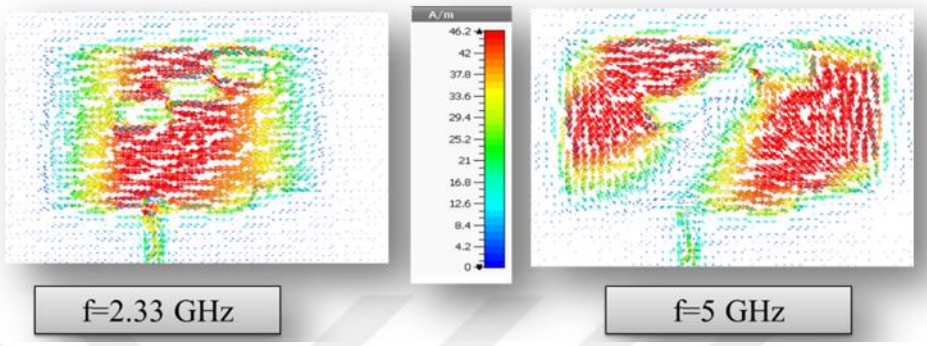
Şekil 3.4. Mikroşerit çiftbant antenin rezonans frekanslarındaki akım dağılımları



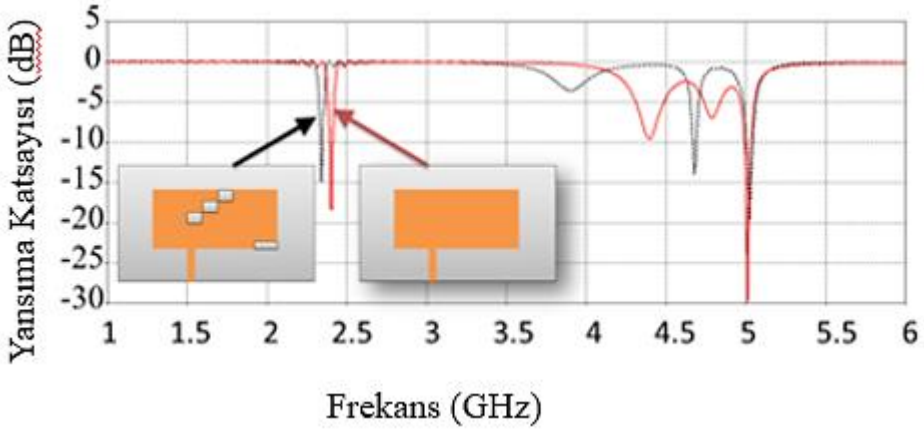
Şekil 3.5. Yarıklı anten yapısı

Tablo 3.2. Yarıklı Antenin Boyutları (mm)

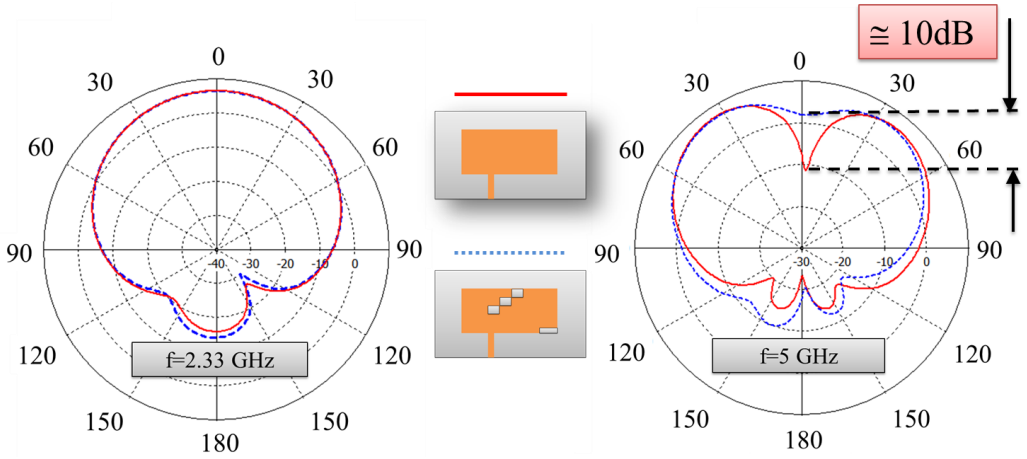
k	11,5
r	6
m	2,8
n	10,1
t	3,5



Şekil 3.6. Yarıklı antenin rezonans frekanslarındaki akım dağılımları



Şekil 3.7. Yarıklı antenin yansıma katsayısı grafiği karşılaştırılması



Şekil 3.8. XZ düzleminde ϕ=0'da temel çift bant ve yarıklı mikroşerit antenlerin 2,33 GHz ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları

3.2. Dielektrik Tabaka Kullanımının Anten Kazancına Etkisi

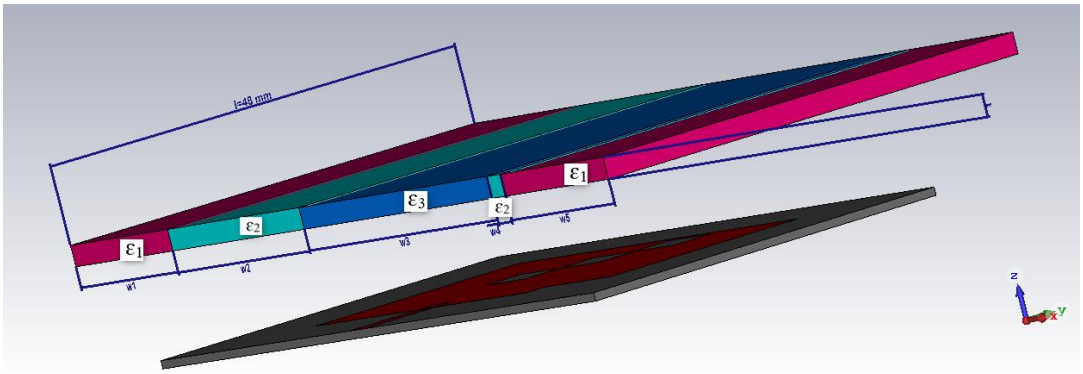
Akım dağılımında ve ışıma diyagramlarındaki değişim sonrasında dielektrik üst tabaka kullanılarak kazanç arttırılmıştır.

[28]'de tasarlanan homojen dielektrikli yapılar denenmiştir. Akım dağılımı değiştirilerek farklı dielektrik katsayılarıyla antenin üst yüzeyine homojen dielektrik üst tabaka konmuştur. Anten ile üst tabaka arasındaki mesafe λ/6 katları arasında seçilmelidir. Bu mesafe λ/6=10 mm olarak ayarlanmıştır. Homojen dielektrik üst tabakanın kalınlığı 1 mm seçilmiştir. Tablo 3.3.'de kullanılan malzemelerin özellikleri ve simülasyon sonucunda elde edilen kazanç değerleri verilmiştir.

Tablo 3.3. Homojen Dielektrik Üst Tabakanın Özellikleri

Bağıl dielektrik katsayısı	1.rezonans frekansı (GHz)	2.rezonans frekansı (GHz)	1.rezonans frekanstan elde edilen kazanç(dB)	2.rezonans frekanstan elde edilen kazanç(dB)	Antene olan mesafe(mm)
ε_r=3	2,34	5,02	6,45	7,44	10
ε_r=5	2,34	5,01	6,52	7,52	10
ε_r=10	2,31	4,94	6,47	7,28	2

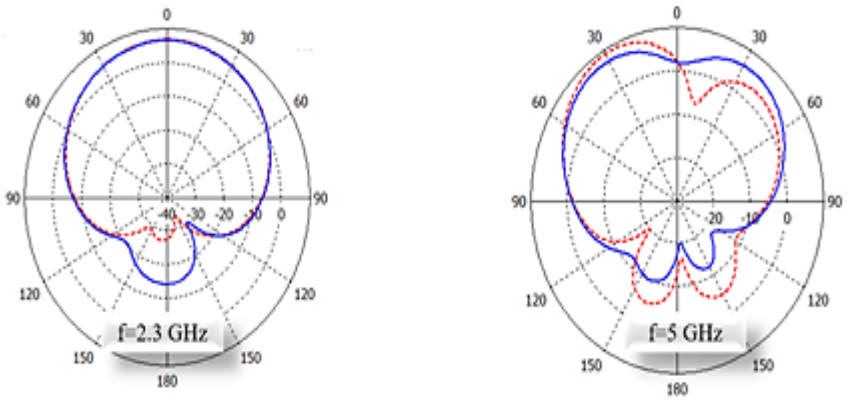
ε_r=10 değerinde iken antene olan mesafe arttıkça, yansıma katsayısı değerinin -10 dB altında olmadığı ve antenin çalışmadığı gözlemlenmiştir. Homojen dielektrikli üst tabakalarda kazanç istenilen değerlere ulaşmadığı için [28]'de heterojen dielektrikli üst tabaka yapısı incelendikten sonra aşağıdaki yapı denenmiştir. Heterojen dielektrik üst tabakanın kalınlığı 2 mm seçilmiştir. Şekil 3.9 ve Tablo 3.4.'de heterojen dielektrik üst tabakanın özellikleri verilmiştir. Merkezdeki üst tabaka(mavi renkli) ε_3=2,sırasıyla sağındaki üst tabaka(turkuaz renkli) ε_2=10, pembe renkli üst tabaka ε_1=5 değerinde iken, merkezin sırasıyla solundaki üst tabaka ε_2 ve ε_1 değerindedir. 3 farklı dielektrik tabakalı yapıdan oluşan üst tabakada 2.3 GHz'deki kazanç sabit tutulurken, 5 GHz'de kazanç 9,14 dBi seviyesine kadar arttırılmıştır. Şekil 3.10'da ışıma diyagramları gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Farklı dielektrik üst tabakaların anten üzerine etkisi

Tablo 3.4. Heterojen Dielektrik Üst Tabakanın Özellikleri

Üst tabakaların konumlandırılması	Bağıl dielektrik katsayısı	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Antene olan mesafe (d)
Merkezdeki üst tabaka	ε_3=2	l=48	w_3=31	t=2	d=10
Merkezin sağındaki 1.üst tabaka	ε_2=10	l=48	w_4= 2	t=2	d=10
Merkezin sağındaki 2.üst tabaka	ε_1= 5	l=48	w_5=15	t=2	d=10
Merkezin solundaki 1.üst tabaka	ε_2=10	l=48	w_2=17	t=2	d=10
Merkezin solundaki 2.üst tabaka	ε_1= 5	l=48	w_1=15	t=2	d=10



Şekil 3.10. XZ düzleminde ϕ=0'da yarıklı mikroşerit anten ile heterojen dielektrik üst tabakanın 2,3 GHz ve 5 GHz'de θ açısına bağlı ışıma diyagramları

Bu çalışmada mikroşerit antenin akım dağılımını değiştirmek için yarıklar açılarak, farklı dielektrik üst tabaka konfigürasyonları kullanılarak anten kazancı arttırmanın yolları denenmiştir. Mikroşerit anten 2,4 ile 5 GHz frekans bantlarında çalışmaktadır. Antenin 2,4 GHz'de kazancı 6,47 dBi iken, 5 GHz'de kazanç 7,55 dBi'dir. Yarıklar açılarak parametrik değerler ile tasarlanan antende birinci rezonans frekansını 2,33 GHz'e kaymıştır. Bu anten tasarımında ışıma diyagramı daha eliptik bir görünüme kavuşmuştur. Yarıklı antenin 2,33 GHz'de kazancı 6,42 dBi iken,5 GHz'de kazanç 7,33 dBi'dir. Yarıklı tasarımda heterojen üst tabaka konulduğunda birinci rezonans frekansını 2,3 GHz'e kaymıştır, ikinci rezonans frekansında bir değişiklik olmamıştır. 2,3 GHz'de kazanç 6,67 dBi iken, 5 GHz'de elde edilen kazanç 9,14 dBi'dir.

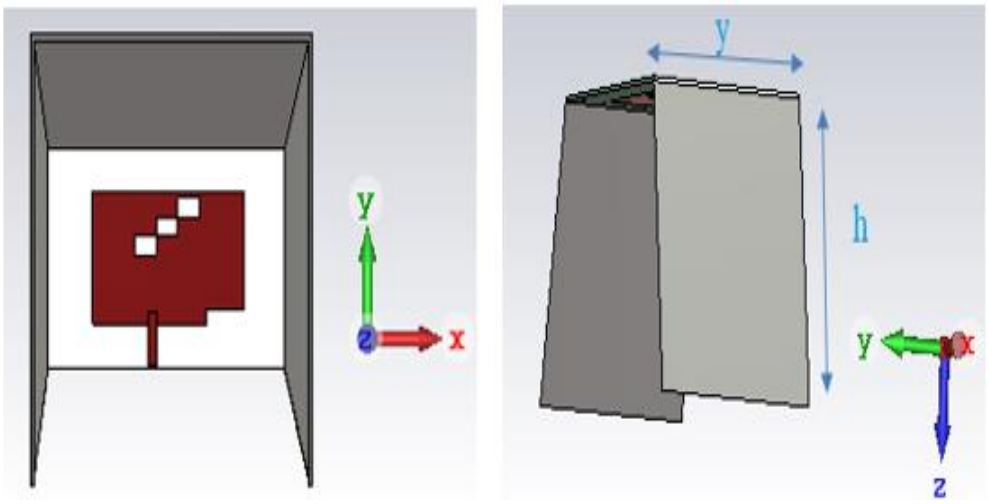
3.3. Mikroşerit Antenlerde Kazanca Metal Levhaların Etkisi

Yarıklı anten tasarımına heterojen üst tabaka konularak kazanç artışı gözlemlendikten sonra çift bant anten tasarımında metal levhanın kazanca olan etkisi incelenmiştir. Öncelikle yarıklı antene bitişik halde konumlandırılan metal levhanın 40x40 mm uzunluk ve yüksekliğinde PEC malzeme seçilerek YZ düzleminde anten kenarlarına metal levhalar eklenmiştir. Bu başlık altında metal levhanın uzunluğunun, yüksekliğinin ve açısının değiştirilmesinin kazanca olan etkileri incelenecektir.

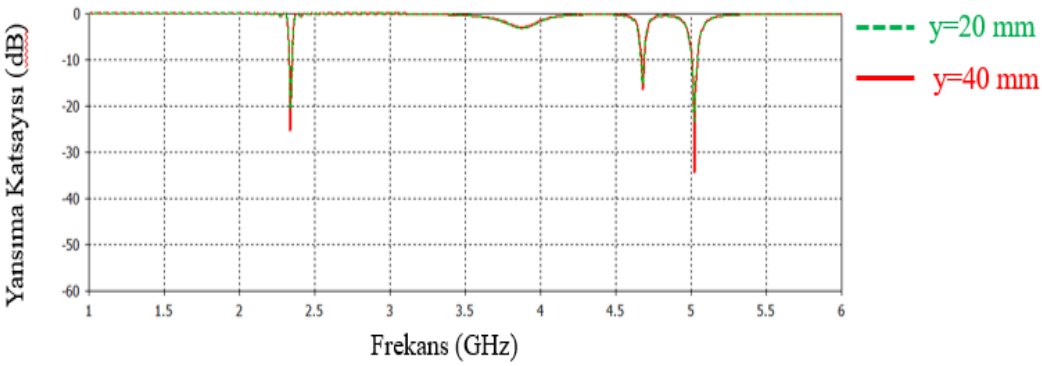
3.3.1. Metal levhanın uzunluğunun kazanca olan etkisi

Metal levhanın "y" uzunluğunun değiştirilmesi ile kazanca olan etkisini incelemek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Metal levhanın y uzunluğunun artmasının kazanca olan etkisini görmek için antenin XZ düzlemindeki yaptığı açı, "$\theta=15^0$", yükseklik,"h=40 mm" iken çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.11'de metal levhanın antene nasıl konumlandırıldığı gösterilmektedir.

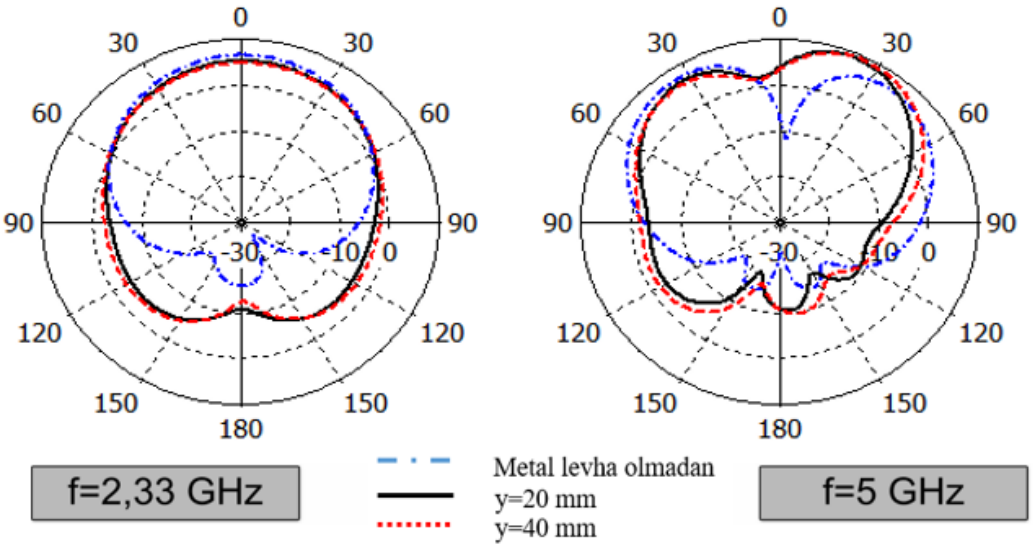
Şekil 3.12'de y=20 mm(yeşil) ve 40 mm(kırmızı) için yansıma katsayısına etkisi verilmiştir. Bu yapının antene uygulanmasının etkisini görebilmek için Şekil 3.13'de sırasıyla 2,33 GHz ve 5 GHz frekanslarında ışıma diyagramları verilmiştir. Antenin metal levha olmadan(kesikli-mavi), "y" uzunluğunun 20 mm(düz-siyah), 40 mm(noktalı-kırmızı) iken 5 GHz'deki kazançta artma olduğu görülmüştür.



Şekil 3.11. Metal levhanın “y” uzunluğunun antene konumlandırılması



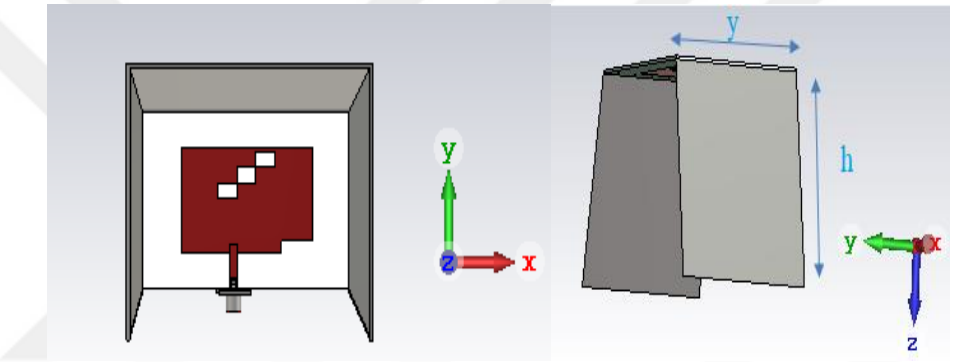
Şekil 3.12. Metal levhanın “y” uzunluğunun değişiminin yansıma katsayısı frekans grafiği



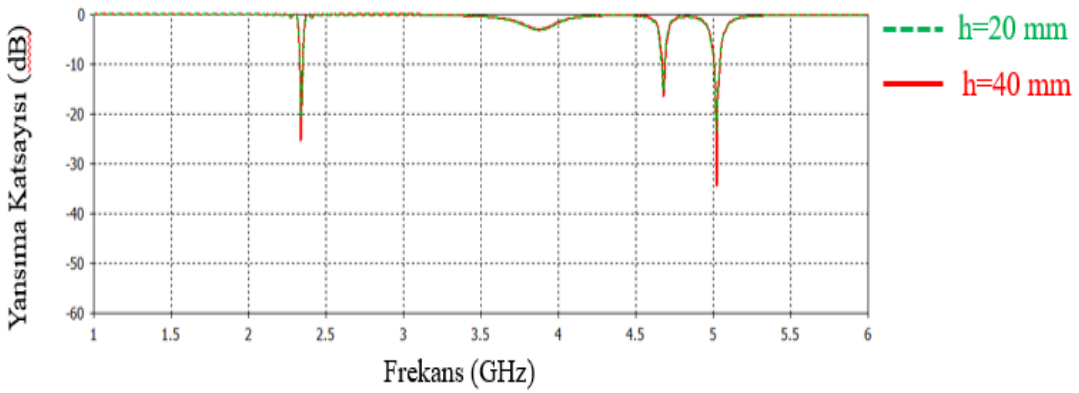
Şekil 3.13. Antene uygulanan metal levhanın ışıma diyagramları

3.3.2. Metal levhanın yüksekliğin kazanca olan etkisi

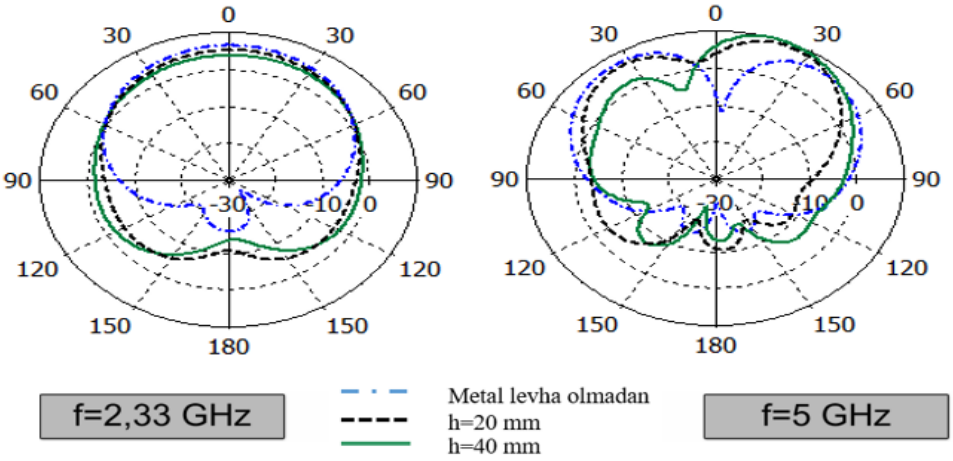
Metal levhanın “h” yüksekliğinin artırılmasının kazanca olan etkisini incelemek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. “θ=15^0”, “y=40 mm” iken çalışmalar yapılmıştır. Şekil 3.14’de metal levhanın antene nasıl konumlandırıldığı gösterilmektedir. Şekil 3.15’de “h=20 mm ve 40 mm” için yansıma katsayısına etkisi verilmiştir. Bu yapının antene uygulanmasının kazanca olan etkisini görebilmek için Şekil 3.16’da sırasıyla 2,33 GHz ve 5 GHz frekanslarında ışıma diyagramları verilmiştir. Antenin metal levha olmadan(kesikli-mavi), z eksenindeki metal levhanın “h” yüksekliğinin 20 mm(noktalı-siyah), 40 mm(düz-yeşil) iken 5 GHz’deki kazançta 3 dB artış olduğu görülmüştür.



Şekil 3.14. Metal levhanın “h” yüksekliğinin antene konumlandırılması



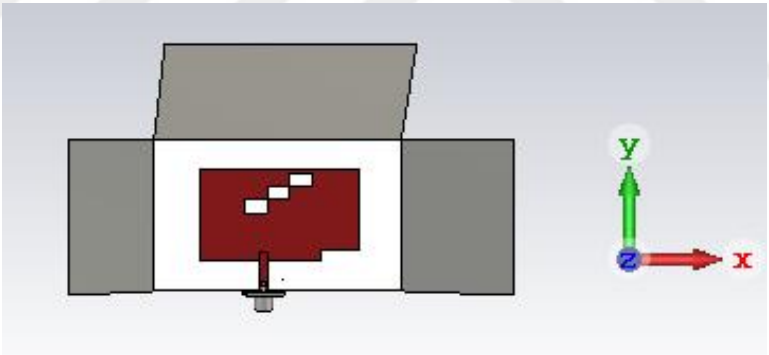
Şekil 3.15. Metal levhanın “h” yükseklik değişiminin yansıma katsayısı frekans grafiği



Şekil 3.16. Anten ve antene uygulanan metal levhanın ışıma diyagramları

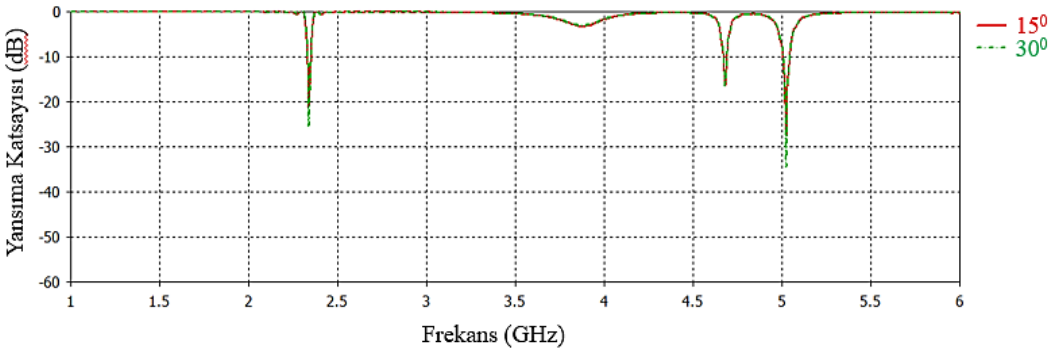
3.3.3. Metal levha açısının kazanca olan etkisi

Bu alt bölümde parametrik çalışmalar yapıldıktan sonra metal levhaların antene açılı konumlanmasının nasıl bir etki oluşturacağına bakılmıştır. Öncelikle horna benzer yapının antenin sağ, sol ve ön yüzüne konumlandırılması simüle edilmiştir. Şekil 3.17'de metal levhaların antene açılı konumlanması gösterilmiştir.

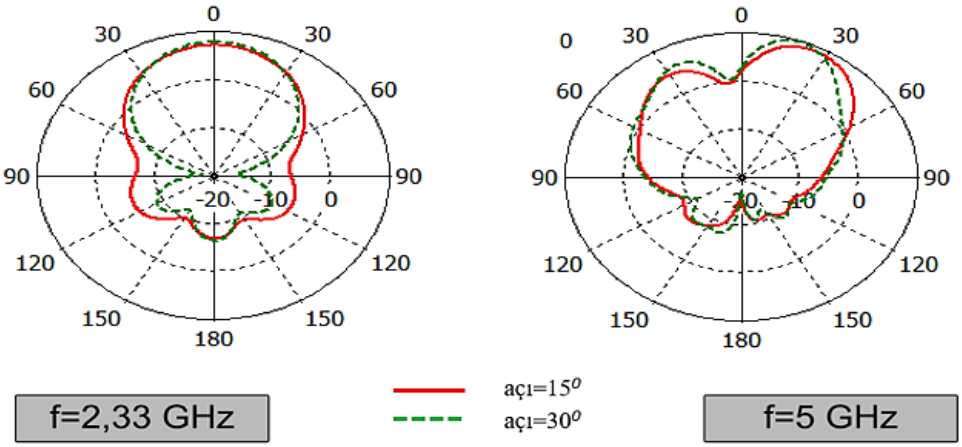


Şekil 3.17. Metal levhaların antene yan kenarlarına konumlandırılması

Açı değerleri, metal levhaların antenin yüzeyine –x eksenine- dik şekilde ($\theta=90^0$) konumlanmasından başlanarak 15^0 gibi belirli aralıklarla azaltılarak ve artırılarak simülasyon sonuçları verilmiştir. Bu yapının antene uygulanmasının kazanca olan etkisini görebilmek için Şekil 3.18'de metal levhanın antenle x eksenindeki yaptığı açının 15^0 ve 30^0 değerlerindeki yansıma katsayısı grafikleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde açı değeri değişse de rezonans frekanslarında değişim olmadığı, $\theta=15^0$ iken seviyelerinde olduğu görülmektedir. Şekil 3.19'da sırasıyla XZ düzleminde, $\phi=0^o$ için, 2,33 ve 5 GHz frekanslarında θ açısına bağlı ışıma diyagramları verilmiştir.

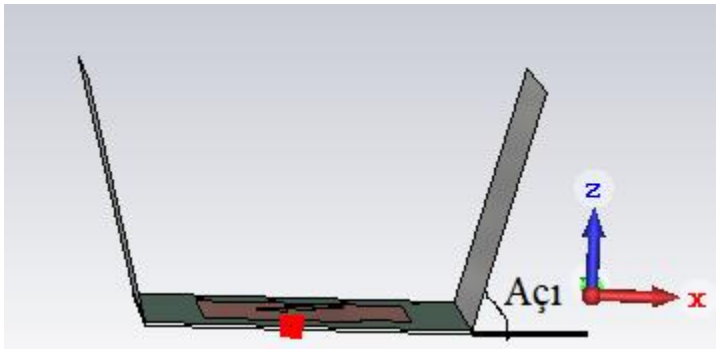


Şekil 3.18. Yarıklı antenin metal levha açısının kazanca olan etkisi yansıma katsayısı frekans grafiği



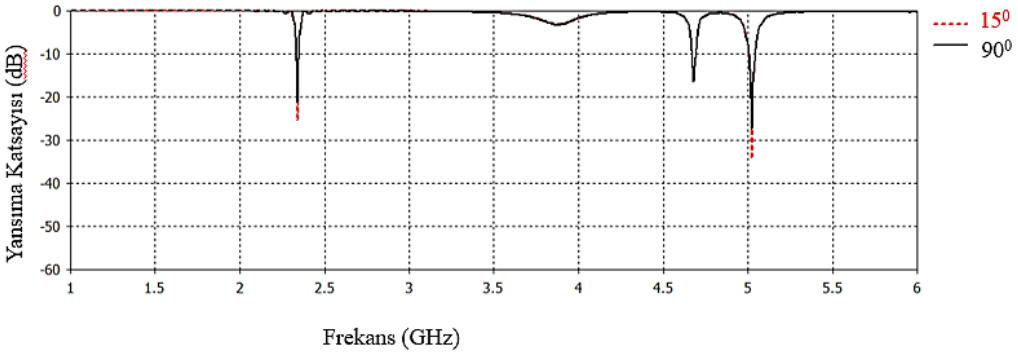
Şekil 3.19. Metal levha açısının kazanca olan etkisinde sırasıyla 2,33 ve 5 GHz ışıma diyagramları

Metal levha açısının 30^0 iken 2,33 GHz frekansında kazanç bakımından artışlar gösterirken 5 GHz frekansında azalma göstermektedir. Bu tezin hedeflerinden birisi de 2,33 GHz frekansındaki kazanç değerinin sabit tutulup, 5 GHz frekansında kazanç değerini artırmaktır. 15^0 açı ile kazanç değeri 10,1 dBi elde edildiği gözlemlendikten sonra antenin ön yüzündeki metal levha kaldırılmıştır. Şekil 3.20'de açılı antene ait görüntü verilmiştir.

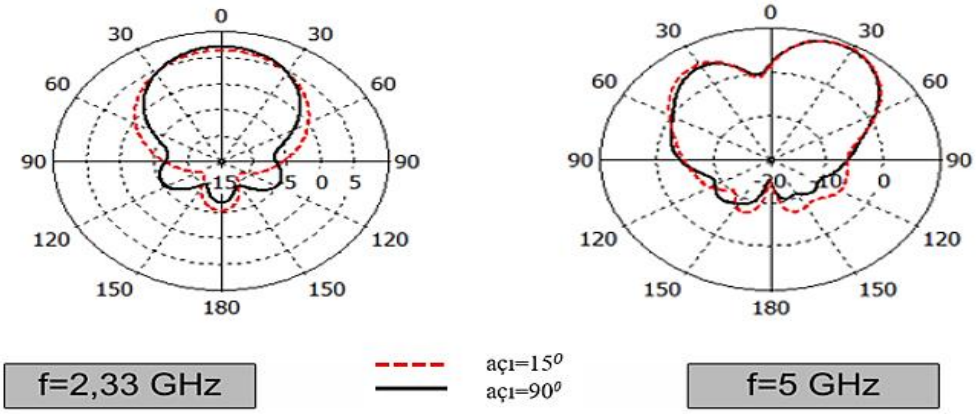


Şekil 3.20. Metal levhaların antene açılı konumlanması

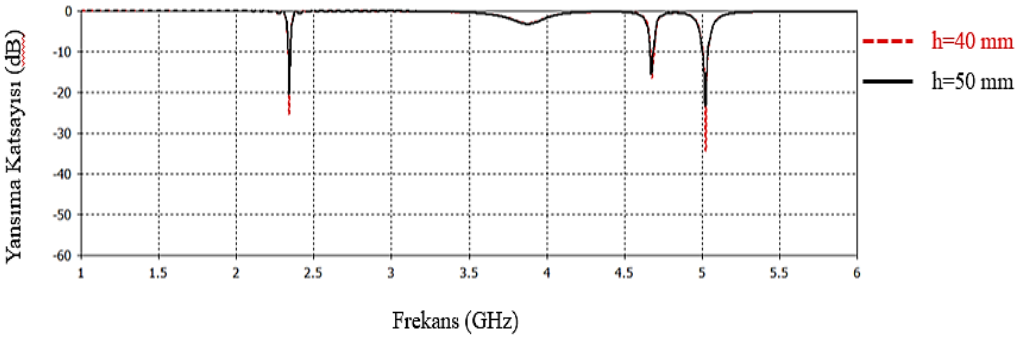
Bu yapının antene uygulanmasının kazanca olan etkisini görebilmek için Şekil 3.21'de "y=40 mm" değeri için metal levhanın yüksekliği "h=40 mm," *"θ=15⁰"* ile tanımlanmış olup yansıma katsayı frekans grafiği verilmiştir. Şekil 3.22'de sırasıyla 2,33 GHz ve 5 GHz frekanslarında ışıma diyagramları verilmiştir.



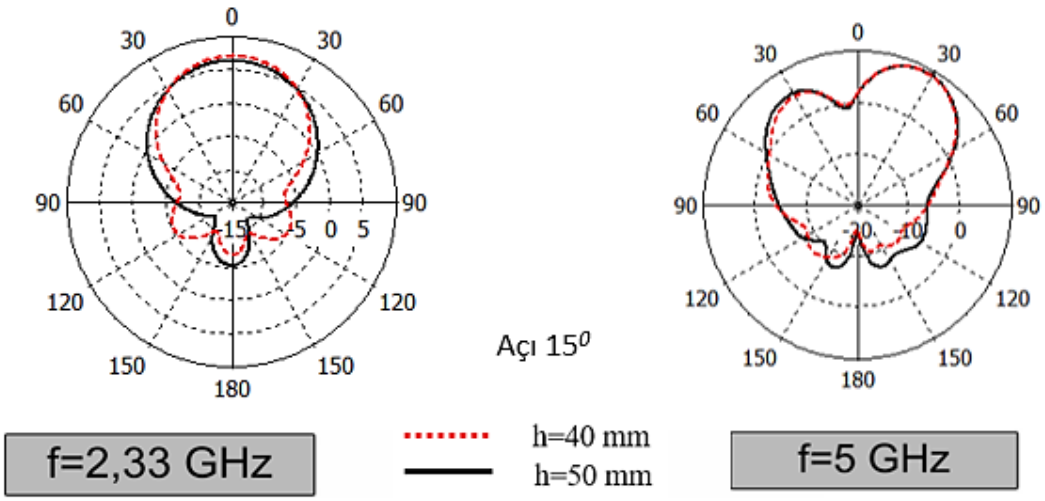
Şekil 3.21. Metal levha açı etkisinin yansıma katsayısı frekans grafiği



Şekil 3.22. Metal levha açı 15^0 (kesikli-kırmızı) ve 90^0 (düz-siyah) iken etkisi ışıma diyagramları



Şekil 3.23. Metal levha açı etkisinin yansıma katsayısı frekans grafiği



Şekil 3.24. Metal levha açısı ile yükseklik karşılaştırmasının ışıma diyagramları

Şekil 3.24'de görüldüğü gibi açı değeri 15^0 iken, metal levhanın genişliği 40 mm (kırmızı-kesikli) ve 50 mm (siyah-düz) iken ışıma diyagramları verilmiştir. 2,33 GHz'de 40 mm iken kazanç 6,36 dBi, 50 mm iken 7,09 dBi olduğu gözlemlenmiştir. 5 GHz'de 40 mm iken 9,07 dBi, 50 mm iken 9,02 dBi'dir. Bu çalışmada tercih edilen birinci rezonans frekansındaki kazanç değerinin sabit tutulup, ikinci rezonans frekansındaki kazancın artırılmasıdır. Bu sebeple metal levhanın genişliği 40 mm, antene 15^0 açıyla konumlarak pratiği gerçekleştirilmiştir.

4. ÖLÇÜM

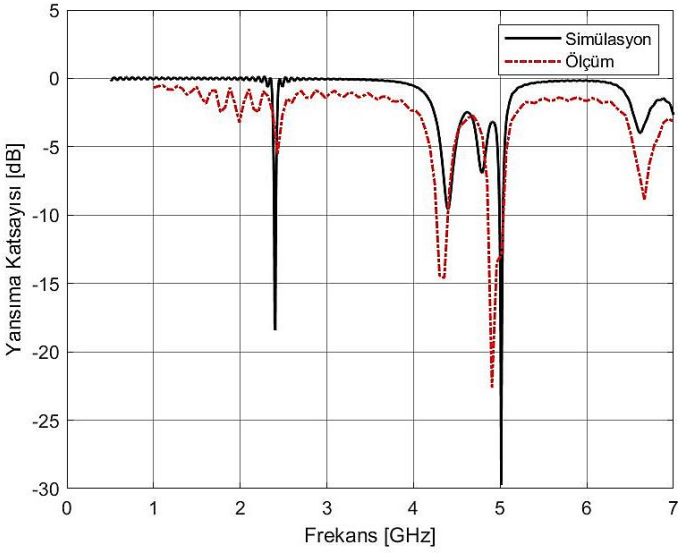
Bu bölümde, optimum çözümlerle kazancı artırılan antenin ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm aşamasında karşılaşılan problemlere ve bu problemleri düzeltmeye yönelik çözümler sunulmuştur. Simülasyon ile yapılan parametrik çalışmalar sonrasında ölçüm düzeneği kurulmuştur. Ölçüm sonuçları ile simülasyon sonuçları karşılaştırılacaktır. Yapılan tüm ölçümler Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği bölümü Anten ve Mikrodalga Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Kalınlığı h=0,762 mm ve bağıl dielektrik sabiti 2,2 olan Arlon Di880 dielektrik tabaka kullanılarak üretimi gerçekleştirilen antenin ölçümleri yapılmıştır. SMA konnektörün antene lehimlenmesi ve Rohde & Schwarz ZVB 20 vektör network analizör (VNA) kullanımıyla antenin yansıma katsayısının ölçülmesidir. Ölçüm sonucunda elde edilen yansıma katsayısı ile simülasyon programıyla elde edilen yansıma katsayısının örtüşmesi beklenmektedir. Şekil 4.1'de temel antenin baskı devre görüntüsü verilmiştir. Bu antenin yansıma katsayısı, simülasyon sonucunda yansıma katsayısına benzer salınıma sahipse diğer ölçüm aşamalarına geçilir.



Şekil 4.1. Temel antenin baskı devre görüntüsü

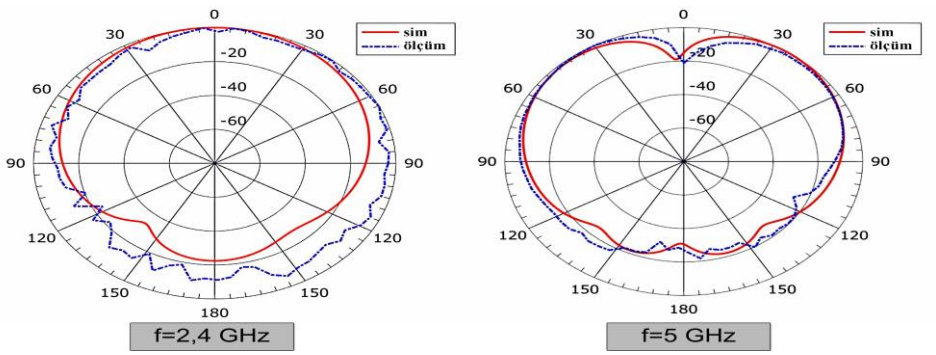
Şekil 4.1'de verilen antene ait yansıma katsayısının ölçüm ve simülasyon sonucunun karşılaştırılması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Temel antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi antenin ölçüm ve simülasyon sonucunun karşılaştırılması verilmiştir. Ölçüm ve simülasyon yansıma katsayıları benzer salınıma sahip olduğu için sonraki aşama kazanç ve ışıma diyagramlarıdır. Yansıma katsayısı gibi ışıma diyagramı da bir antenin karakteristik parametrelerinden biridir. Işıma diyagramı antenin hangi doğrultuda ne kadar güç yaydığını göstermektedir. Işıma diyagramı üç boyutlu uzaysal parametre olmasına karşılık uygulamada polar grafiklerle gösterilir.

Üretimi yapılan antenin ışıma diyagramları şekil 4.3'de simülasyon programının θ açısına bağlı karşılaştırılması verilmektedir. Şekilde XZ düzleminde, $\phi=0^o$ için, sırasıyla 2,4 ve 5 GHz frekanslarında θ açısına bağlı ışıma diyagramları verilmiştir.



Şekil 4.3. Temel antene ait ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları

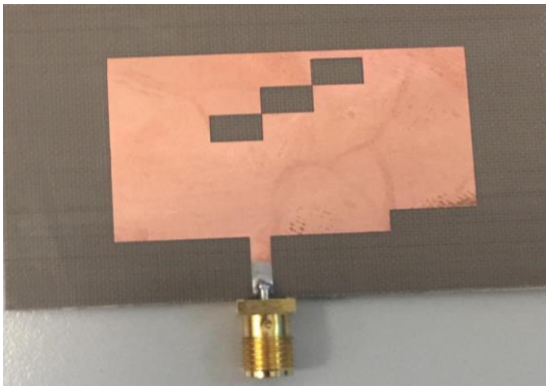
Şekil 4.3'de verilen ışıma diyagramları, üretimi yapılan antenin ∅ ve θ diğer ifadeyle yatay ve düşey taramaları sonucu elde edilen ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması verilmiştir. Simülasyon programında tasarlanan anten ile tasarım sonucu pratiği yapılan antenin ölçüm sonuçları ışıma diyagramının polar grafikleri büyük oranda örtüşmektedir. Ölçüm düzeneğinin ideal yapıda olmayışı kimi noktalarda kaymalara sebep olmuştur. Fakat genel olarak ölçüm ile simülasyon sonuçları benzerlik göstermektedir.

Antene ait ışıma diyagramlarından sonraki aşama olarak simüle edilen antenin kazanç değeri 2,4 GHz'de 6,47 dBi iken, 5 GHz'de 7,55 dBi olarak ölçüm sonuçları ile benzerdir.

Pratiği yapılan anten ile simülasyon programında tasarlanan antenin grafiklerinin örtüştüğü görüldükten sonra bir sonraki aşama olarak Bölüm 3.1'de Şekil 3.4'de verilen akım dağılımları incelendiğinde görüldüğü gibi 5 GHz'de ışıma diyagramı çift kulak oluşturmasının sebebi görülmektedir. 2,4 GHz'de düzgün tek parçalı bir akım dağılımı varken, 5 GHz frekansında akım dağılımının antenin kenarlarında olması, ışıma diyagramı çift kulak oluşturmasına sebep olmuştur.

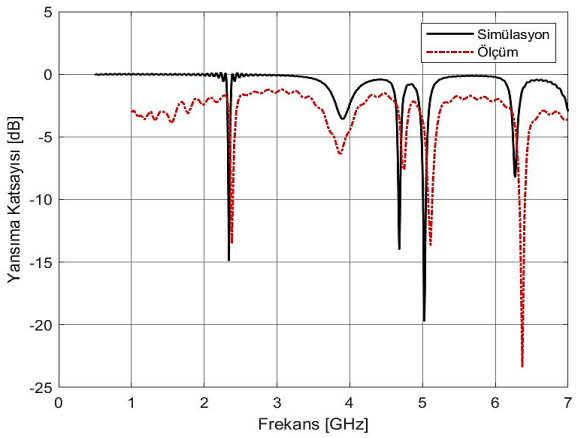
5 GHz'deki akım dağılımını anten kenarlarından, orta kısımlara yönlendirerek, ışıma diyagramında $\emptyset = 0^0$'de maksimum ışıma yönüne göre yaklaşık -15 dB'lik azalmanın düzeltilmesi öngörülmüş ve anten üzerine açılan yarıklarla anten çalışma frekansında ciddi bir kaymaya sebep olmadan akım dağılımlarının anten ortasına doğru kaydırılması sağlanmıştır. Yarıkların konumları ve boyutları, parametrik çalışmalar neticesinde elde edilmiştir. Mikroşerit antenin sağ alt köşesinde 10,1 mm genişliğinde ve 2,8 mm kalınlığında, antenin orta bölgesinde 6 mm genişliğinde ve 3,5 mm kalınlığında yarıklar açılmıştır. Yarıkların açılması neticesinde 2,4 GHz'deki rezonans 2,33 GHz'e kaymıştır.

Şekil 4.4'de yarıklı antenin baskı devre görüntüsü verilmiştir. Bu yarıklı antenin yansıma katsayısı ölçüm sonucu ile simülasyon programında çıkan yansıma katsayısı benzer salınıma sahipse diğer ölçüm aşamalarına geçilir.



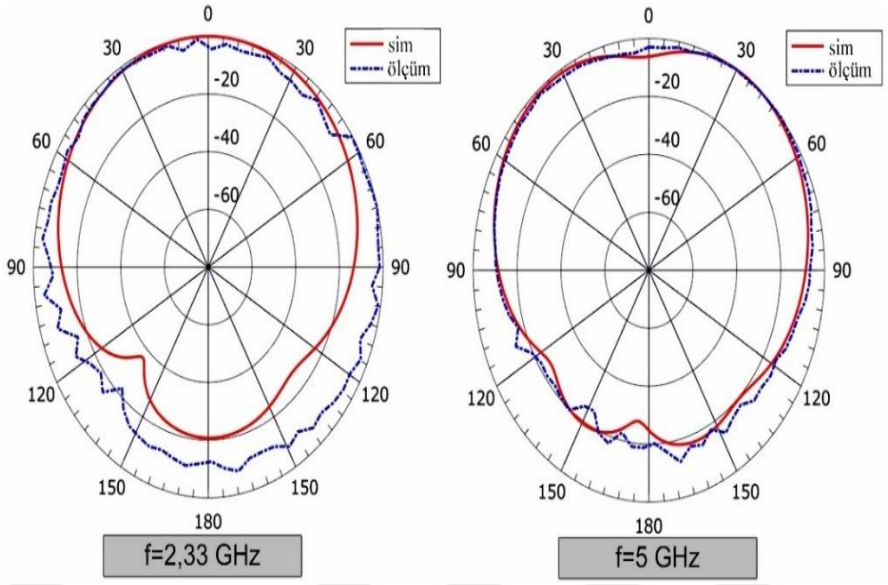
Şekil 4.4. Yarıklı antenin baskı devre görüntüsü

Şekil 4.4'de verilen antene ait yansıma katsayısının ölçüm ve simülasyon programın karşılaştırılması Şekil 4.5'de verilmiştir. Ölçüm ve simülasyon sonuçların karşılaştırılması aşamasında Matlab programından yararlanılmıştır.



Şekil 4.5. Yarıklı antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği

Ölçüm düzeneği, Bölüm 3'te simülasyon programı yardımıyla parametrik çalışmalar sonucu elde edilen parametreleri referans alarak oluşturulmuştur. Şekil 4.6'da üretimi yapılan anten ile tasarlanan antenin simülasyon programının θ açısına bağlı ışıma diyagramıyla karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 4.6'da XZ düzlemi $\phi=0^o$ için, sırasıyla 2,33 ve 5 GHz frekanslarında θ açısına bağlı ışıma diyagramları verilmiştir.



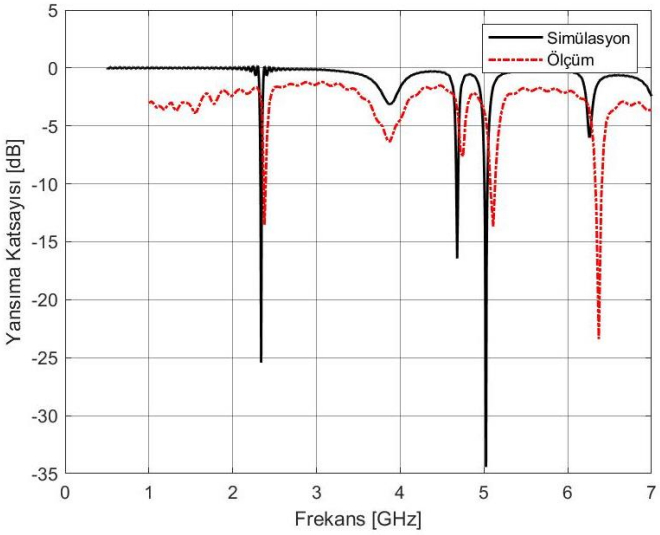
Şekil 4.6. Yarıklı antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları

Yarıklı antene ait ışıma diyagramları verilmesinden sonraki aşama olarak simüle edilen antenin kazanç değeri 2.3 GHz'de 6,42 dBi iken, 5 GHz'de 7,33 dBi olarak görülmüş olup ölçüm sonuçları ile benzerdir. Buradaki iyileştirme 5 GHz'deki akım dağılımını anten kenarlarından, orta kısımlara yönlendirerek, ışıma diyagramında $\theta=0^{o}$'de maksimum ışıma yönüne göre yaklaşık -15 dB'lik azalma gözlemlenmiştir.

Şekil 4.7'de verilen açılı antene ait yansıma katsayısının ölçüm ve simülasyon programının karşılaştırılması Şekil 4.8'de verilmiştir. Ölçüm ve simülasyon sonuçlarının karşılaştırılması aşamasında Matlab programından yararlanılmıştır.

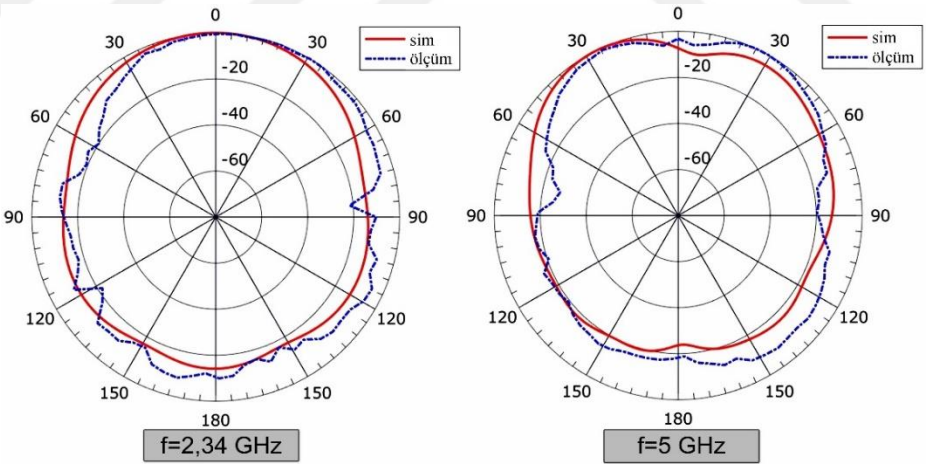


Şekil 4.7. Açılı antenin baskı devre görüntüsü



Şekil 4.8. Açılı antene ait yansıma katsayısı frekans grafiği

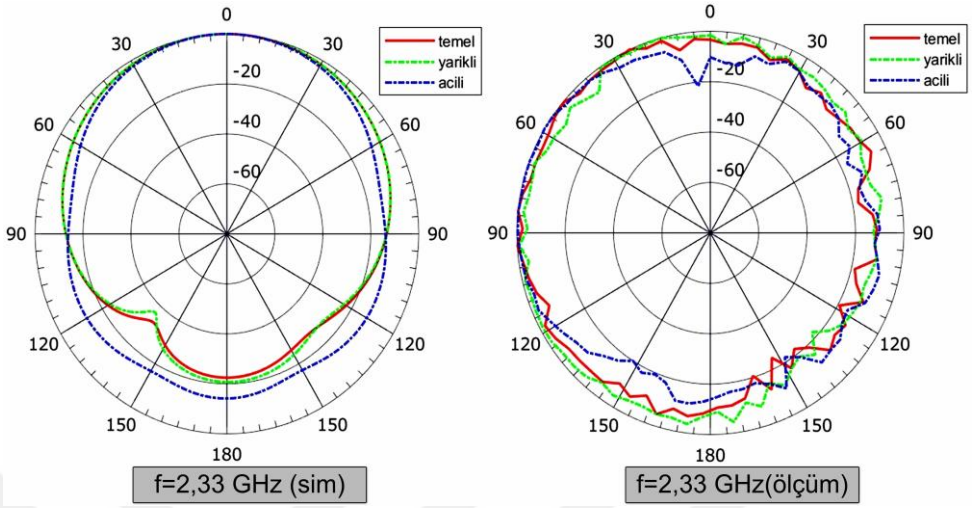
Ölçüm düzeneği, Bölüm 3'te simülasyon programı yardımıyla parametrik çalışmalar sonucu elde edilen parametreleri referans alarak oluşturulmuştur. Üretimi yapılan antenin ışıma diyagramları ölçümleri Şekil 4.9'da simülasyon programının θ açısına bağlı ışıma diyagramıyla karşılaştırılması verilmektedir.



Şekil 4.9. Açılı antenin ölçüm ve simülasyon sonuçlarının ışıma diyagramları

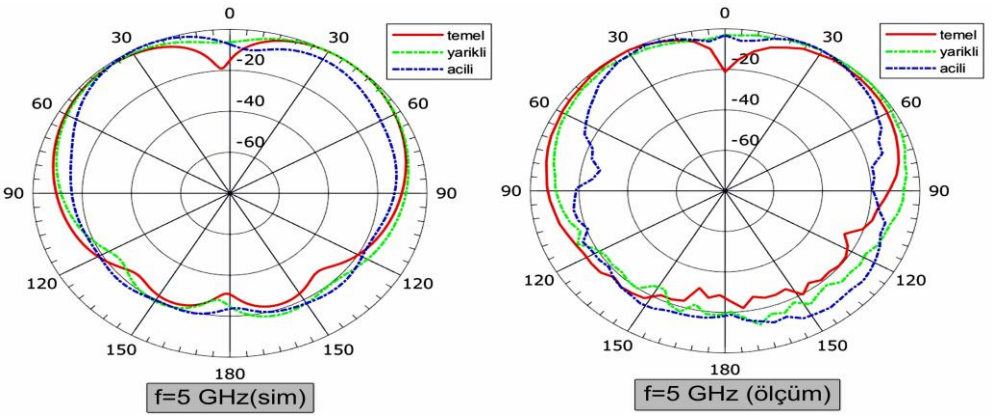
Şekil 4.10'da 2,33 GHz frekansında solda temel anten, yarıklı anten ve açılı antenin simülasyon sonuçları, sağda ise ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Kırmızı-düz çizgi temel anten sonucu, yeşil-kesikli çizgi yarıklı anten sonucu, mavi-noktalı çizgi yarıklı anten kenarlarına açılı olarak konulmuş metal levha açılı anten sonucuna ait gösterimlerdir. Metal levha açısı kazanca olan etkisi incelendiğinde ışıma

diyagramının yaklaşık olarak sabit kaldığını ve simülasyon ile ölçüm sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.10. Üç antenin 2,33 GHz'de simülasyon (soldaki) ve ölçüm (sağdaki) sonuçlarının ışıma diyagramları

Şekil 4.11'de 5 GHz frekansında solda temel anten, yarıklı anten ve açılı antenin simülasyon sonuçları, sağda ise ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Kırmızı düz çizgi temel anten sonucu, yeşil kesikli çizgi yarıklı anten sonucu, mavi kesikli çizgi yarıklı anten kenarlarına açılı olarak konulmuş metal levha açılı anten sonucuna ait gösterimlerdir. Metal levhanın açılı olarak antene eklenmesine ait ışıma diyagramının kazancı arttırdığı ve simülasyon ile ölçüm sonuçlarının benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4.11. Üç antenin 5 GHz'de simülasyon (soldaki) ve ölçüm (sağdaki) sonuçlarının ışıma diyagramları

Simülasyon programından elde edilen ışıma diyagramı sonucuna göre anten üzerinde yarıklar açılması ile 2,33 GHz frekans bandında kazancın ve ışıma diyagramının yaklaşık olarak sabit tutulduğu, 5 GHz frekans bandında akım dağılımının düzeltilerek, ışıma diyagramının daha eliptik bir görünüme kavuşmuştur. Yarıklı anten kenarına metal levhanın açılı olarak konulması 2,33 GHz frekans bandında kazancın yaklaşık olarak sabit tutulduğu, 5 GHz frekans bandında anten kazancını iyileştirdiği yaklaşık 1,5 dBi kazanç artışı sağladığı görülmektedir.

Metal levhanın açılı olarak yarıklı antene konulması sonucu oluşan yapının anten kazancına etkisi amaca yaklaşıldığını göstermektedir. Yarıklı antenin sağ ve sol yanlarına 15^0 açı ile metal levha ekleyerek elde edilen açılı antende kazanç yaklaşık %20 oranında iyileştirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında çift bant mikroşerit antenlerde akım dağılımını düzenleme, üst tabaka ve iletken levhalar kullanılarak kazanç artırma tekniklerine yer verilmiştir. İlk olarak 2,4 ve 5 GHz frekanslarında çift bant çalışan mikroşerit anten tasarımı yapılmış, anten üzerindeki akım dağılımının değiştirilmesi amacı ile açılan yarıklar sayesinde ışıma diyagramı şekillendirilmiştir. Tasarımı yapılan antenin 2,4 GHz frekansında düzgün tek parçalı bir akım dağılımı varken, 5 GHz frekansında akım dağılımının antenin kenarlarında olması, ışımanın iki farklı yöne doğru olmasına sebep olmuştur. Bu sebeple 5 GHz'de anten yüzey normali doğrultusundaki kazanç düşüktür. Açılan yarıklar, akım dağılımını düzgün bir hale getirerek, 5 GHz'de yüzey normali doğrultusundaki kazancı arttırmıştır.

Daha sonra kazanç artırım amacıyla dielektrik üst tabakalar yerleştirilmiş, elde edilen optimum tasarım ile kazanç artırımı elde edilmiştir. Antenin üst yüzeyine farklı dielektrik katsayılarına sahip homojen dielektrik üst tabakalar konmuştur. Anten ile üst tabaka arasındaki mesafe $\lambda/6$ katları arasında seçilmiştir. Homojen dielektrikli üst tabakalarda kazanç istenilen değerlere ulaşmadığı için [28]'de yer alan heterojen dielektrikli üst tabaka yapısı incelendikten sonra yarıklı anten üzerine heterojen dielektrik üst tabakanın konulması sonucu 2,33 GHz frekansında kazancın sabit kalıp 5 GHz frekansında kazancın % 20 oranında artışı sağlanmıştır. 2,33 GHz'de kazanç 6,67 dBi iken, 5 GHz'de elde edilen kazanç 9,14 dBi'dir.

Tez çalışmasının son aşamasını, mikroşerit anten etrafına konumlandırılan iletken levhalar ve bu yapıların kazanca etkisinin incelenmesi oluşturmuştur. İletken levhaların boyutları ve konumlama açıları yapılan analizler neticesinde belirlenmiştir.

Tez çalışmasında simülasyonlar CST Microwave Studio programı kullanılarak yapılmıştır. Anten ölçümleri ise Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü Mikrodalga ve Anten Araştırma Laboratuvarı bünyesinde yer alan yansımasız odada gerçekleştirilmiştir. Simülasyon ve ölçüm sonuçları uyum içerisindedir.

KAYNAKLAR

[1] Balanis C. A., *Antenna Theory, Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.

[2] Deschamps G. A., Microstrip Microwave Antennas, *Proc. 3rd USAF Symposium on Antennas*, Illinois, USA, 1953.

[3] Baissinnot G., Gutton H., Flat Aerial for Ultra High Frequencies, 1955 French Patent No 70313.

[4] Munson R. L., Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays, *IEEE Trans. Antennas Propogat.*, 1974, **22**(1), 74-78.

[5] Howell Q. E., Microstrip Antennas, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 1975, **23**(1), 90-93.

[6] Bahl I., Bhartia P., Garg R., Ittipiboon A., *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston-London, 2001.

[7] James J. R., Hall P. S., Wood C., *Microstrip Antenna Theory and Design*, IEE and Peter Peregrinus, London and New York, 1981.

[8] *Proc. Workshop on Printed Circuit Antenna Technology*, Paper 31, New Mexico State University, Las Cruces, 1979, 480.

[9] Carver K. R., Mink J.W., Microstrip Antenna Technology, *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, 1981, **29**(1), 24.

[10] Hall P. S., James J. R., *Handbook of Microstrip Antennas*, Volume 1, Peter Peregrinus Ltd, London, 1989.

[11] Balanis C.A., *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley and Sons, Arizona State University, 1997.

[12] Garg R., Reddy V. S., Edge Feeding of Microstrip Ring Antennas, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, 2003, **51**(8), 1941-1947.

[13] Kushawa N., Kumar R., On the gain enhancement of a wideband CPW-Fed circularly polarized antenna using FSS, *IEEE MTT-S International* Microwave and RF Conference (IMaRC), 2015

[14] Kohno R., Yazdanboost, K. Y., Ultra Wideband L-Loop Antenna, *IEEE Int. Conf.*, 2005, 201-205.

[15] Kuo Y. L., Wong K. L., Printed Double-T Monopole Antenna for 2,4/5.2 GHz Dual-Band WLAN Operations, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, 2003, **51**(9), 2187-2192.

[16] Hu L., Hua W., Wide dual-band CPW-fed slot antenna, *Electr. Lett.*, 2011, **47**(14), 789-790.

[17] Binod K., Anil K., Analysis and Design of Compact High Gain Microstrip Patch Antenna with Defected Ground Structure for Wireless Applications. *Wireless Personal Communications: An International Journal*, 2016, **91** (2), 661-678.

[18] Ranga Y., Elselle K., Increasing the gain of a semicircular slot UWB antenna using an FSS reflector, *Antennas and Propagation in Wireless Communications, IEEE-APS Topical Conference on.*,2012

[19] D. Nashaat, H. A. Elsadek, E. Abdallah, H. Elhenawy and M. F. Iskander, Investigated New Embedded Shapes of Electromagnetic Bandgap Structures and Via Effect for Improvement Microstrip Patch Antenna Performance, *PIERB journal*, 2010, **20**, 91-107.

[20] Elsheakh D., Elsadek H., Abdallah E., Antenna Designs with Electromagnetic Band Gap Structures, Metamaterial, www.intechopen.com, (Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2019).

[21] Vaidya A. R., Gupta R. K., Mishra S. K., and Mukherjee J., Efficient High Gain with Low Side Lobe Level Antenna Structures Using Parasitic Patches on Multilayer Superstrate, *Microwave and Opt. Tech. Lett.*, 2011, **54**(6), 1488-1493.

[22] Huang CY, Wu JY, Wong KL., High-gain compact circularly polarized microstrip antenna, *Electron Lett*; 1998, **34**,712-713.

[23] Wang J. J, Gong L.L., Sun Y. X., Zhu Z. P., Zhang Y. R., High-gain composite microstrip patch antenna with the near-zero-refractive-index metamaterial, *Opt. - Int. J. Light Electron Opt*.,2014, **125**(21), 6491-6495.

[24] Shadrokh S., Yu Y., Jolani F., Chen Z., Design of a high-gain ultra-wideband planar dipole antenna using LC tanks, chip resistors and dual-layer frequency selective surface, *Microwave and Opt. Tech. Lett.*, 2014, **56** (10), 2369-2373.

[25] Mohanna M., Novel Shape of UWB Microstrip Patch Antenna with Enhanced Gain Using EBB Structure, *PIERS Proceedings*, 2011.

[26] Ranga, Yogeshwar, A compact antenna with high gain for ultra wide band systems, *Microwave Conference*, EuMC, European, 2009.

[27] Martin L., E. Motta Cruz, B. Froppier, and T. Razban, New heterogeneous superstrate high gain antenna, *European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, 2015.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] Çakır G., **Demirel M.**, Design of dielectric top layer for gain enhancement in dual band microstrip antennas and forming of radiation pattern by changing current distribution, *Uluslararası Marmara Fen Ve Sosyal Bilimler Kongresi (IMASCON),* Kocaeli, Türkiye, 26-28 Nisan 2019.

ÖZGEÇMİŞ

Merve Demirel 1992'de Malatya'da doğdu. 2006-2010 yılları arasında Malatya Beydağı Anadolu Lisesinde okudu. 2011 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2017-2019 yılları arasında Pavotek firmasında Proje Yöneticisi olarak çalışmış olup, 2019 Aralık ayından itibaren Netaş firmasında Proje Yöneticisi olarak görev yapmaktadır.