

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞ DÜZLEMSEL HAT GİRİŞLİ VE ÇİFT BANTLI BİR MONOPOL
PLANAR ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emrah SEVER**

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**EŞ DÜZLEMSEL HAT GİRİŞLİ VE ÇİFT BANTLI BİR MONOPOL
PLANAR ANTEN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Emrah SEVER
(504081310)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Cevdet IŞIK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Özcan KALENDERLİ (İTÜ)
Prof. Dr. Sedef KENT (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

Çok değerli aileme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana yardımcı olan danışmanım, saygıdeğer hocam Doç. Dr. Cevdet IŞIK'a en içten dileklerimle teşekkür ediyorum. İstanbul Kültür Üniversitesi'ndeki çalışma arkadaşlarıma ve çok değerli hocalarım Prof. Dr. Gökhan UZGÖREN, Prof. Dr. Ertuğrul Eriş, Prof. Dr. Oruç BİLGİÇ ve Dr. Cahit KARAKUŞ'a teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca anten ölçümlerinde yardımcı olan Doç. Dr. Bahattin TÜRETKEN ve TÜBİTAK UEKAE'ye teşekkür ediyorum. Her anlamda bana destek olan çok değerli aileme şükranlarımı sunuyorum.

Haziran 2011

Emrah Sever

(Elektrik Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Özeti	4
2. MONOPOL PLANAR ANTENLER.....	5
2.1 Anten Tipleri	8
2.1.1 Dikdörtgen monopol planar anten	8
2.1.2 Kare, üçgen, dairesel, eliptik ve altıgen monopol planar antenler	9
2.2 Besleme Şekilleri.....	10
2.2.1 Koaksiyel besleme	10
2.2.2 Mikroşerit besleme	11
2.2.3 CPW-fed besleme	13
2.3 Monopol Planar Antenlerin Alt Kesim Frekansının Hesaplanması	14
2.4 Anten Başarım Parametreleri	16
2.4.1 Giriş empedansı	18
2.4.2 Empedans uyumu, geri dönüş kaybı ve duran dalga oranı	20
2.4.3 Antenin yönlendiriciliği, kazanç ve verimlilik.....	21
2.4.4 Bant genişliği	24
2.4.5 Işıma örüntüsü	25
3. CPW-FED MONOPOL PLANAR ANTENİN TASARIMI.....	27
3.1 HFSS (High Frequency Structure Simulator)	28
3.1.1 FEM (Sonlu elemanlar yöntemi)	28
3.2 Çalışmanın Uygulama Alanı	29
3.2.1 802.11 Legacy	29
3.2.2 802.11a	30
3.2.3 802.11b	31
3.2.4 802.11g	31
3.2.5 802.11n	31
3.3 Anten Geometrisi ve Parametreleri	32
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR.....	53
ÖZGEÇMİŞ	55

KISALTMALAR

CPW-fed	: Coplanar Waveguide fed
FCC	: Federal Communication Commission
VSWR	: Voltage Standing Wave Ratio
HFSS	: High Frequency Structure Simulator
dB	: Desibell
W-LAN	: Wireless Local Area Network
UWB	: Ultra Wide Band
EM	: Elektromanyetik
FEM	: Finite Element Method
MIMO	: Multiple Input Multiple Output
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : WLAN standartları için genel bilgiler	32
Çizelge 3.2 : Geleneksel antene ilişkin değerler.	33
Çizelge 3.3 : Yan şeridin koordinatları.	38
Çizelge 3.4 : Tasarlanan anten için optimum değerler.	40
Çizelge 3.5 : Optimum durumdaki koordinat değerleri.	40

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: (a) Kalın dielektrik tabaka üzerindeki mikoşerit anten (b) Birbirine dik toprak levhaları ile mikroşerit anten (c) Düzlemsel monopol anten yapısı	5
Şekil 2.2 : Disk (dairese) monopol anten.	7
Şekil 2.3 : Dikdörtgen monopol planar anten.	9
Şekil 2.4 : Farklı geometrilere sahip ışıma yamaları.	10
Şekil 2.5 : Koaksiyel beslemeli monopol planar anten.	11
Şekil 2.6 : Mikroşerit hat beslemeli anten yapısı	12
Şekil 2.7 : CPW beslemeli monopol planar anten yapısı	13
Şekil 2.8 : Verici antenden serbest uzaya dalganın yayılımı.	17
Şekil 2.9 : (a) Verici anten (b) Thevenin eşdeğeri (c) Norton eşdeğeri.	17
Şekil 2.10: (a) Alıcı anten (b) Thevenin eşdeğeri (c) Norton eşdeğeri.	18
Şekil 2.11: Verici antenin Thevenin eşdeğer devresi.	20
Şekil 2.12: Antenin yansıma, iletkenlik ve dielektrik kayıpları.	22
Şekil 2.13: Tümyönlü (omnidirectional) ışıma örüntüsü.	26
Şekil 3.1 : Monopol düzlemsel anten ve parametreleri.	33
Şekil 3.2 : Geleneksel antenin frekansa göre geri dönüş kaybı grafiği	34
Şekil 3.3 : Geleneksel antenin duran dalga oranının frekansa göre değişimi	34
Şekil 3.4 : Geleneksel antenin 2.4GHz ve 5.4GHz' de üç boyutlu ışıma diyagramı.	35
Şekil 3.5 : Geleneksel antenin 2.4GHz'de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.	36
Şekil 3.6 : Geleneksel antenin 5.4GHz'de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.	36
Şekil 3.7 : Yan şeritler eklenmiş yeni anten şekli.	37
Şekil 3.8 : Yan şeritler ekleniş yeni antenin S11 grafiği.	38
Şekil 3.9 : Yan şeritler eklenmiş durumda 2.4GHz ve 5.1GHz için ışıma diyagramları.	39
Şekil 3.10 : Yan şeritler eklenmiş durumda $f=5.1\text{GHz}$ için E ve H düzlemleri ışıma diyagramları.	39
Şekil 3.11 : Optimum değerler için S11 karakteristiği.	40
Şekil 3.12 : Işıma yaması genişletilmiş durumdaki ışıma diyagramları.	41
Şekil 3.13 : Işıma yaması genişletilmiş durumdaki antenin E ve H düzlemi ışıma diyagramları.	41
Şekil 3.14 : Işıma yaması üzerinde açılan çentikler.	42
Şekil 3.15 : Çentikli anten için S11 grafiği.	43
Şekil 3.16 : Çentikli anten için ışıma diyagramı.	44
Şekil 3.17 : Çentikli anten için 2.4GHz'de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.	44
Şekil 3.18 : Çentikli anten için 5.4GHz'de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.	44
Şekil 3.19 : 2.4GHz için ölçüm sonuçları.	45
Şekil 3.20 : 5.4GHz için ölçüm sonuçları.	45
Şekil 3.21 : Antenin ölçülen S11 grafiği.	46
Şekil 3.22 : Tasarlanan antenin gerçekleştirilmiş şekli.	47

Şekil 3.23 : Benzer yapıya sahip bir anten [21].	48
Şekil 3.24 : Besleme şekli benzer olan bir anten [22].	48
Şekil 3.25 : Uygulama alanı aynı olan bir anten [23].	49

EŞDÜZLEMSEL DALGA KILAVUZU BESLEMELİ ÇİFT BANTLI BİR MONOPOL PLANAR ANTEN TASARIMI

ÖZET

2002 yılında 3.1-10.6GHz arasında kalan frekans bölgesinin FCC (Federal Communication Commission) tarafından serbest bölge olarak ilan edilmesinden sonra bu bölgenin tümünü kapsayan ultra geniş bantlı (UWB) antenler ya da tümünü kapsayan antenler üzerinde bazı değişikliklerle bandın bir kısmını bastıran antenlerin tasarımı son derece hız kazandı. Monopol planar antenler geniş bantlı olma, kompakt bir yapıya sahip olma ve sisteme kolayca entegre edilebilme özelliklerinden dolayı bu çalışmalarda en çok tercih edilen anten tipleridir. Işıma yamasının dikdörtgen, kare, eliptik ya da dairesel olmasına göre isimlendirilen monopol antenler aynı zamanda bu geometrik şekillerin farklı kombinasyonlarından da oluşabilmektedir.

Anten tasarımında temel amaç, tasarlanan antenin istenen frekans bölgesinde iyi bir empedans uyumu sağlamasıdır. Empedans uyumu, antenin geri dönüş kaybının istenen frekans bölgesinde -10dB'nin altında olması olarak kabul edilmektedir. Bu da aynı zamanda duran dalga oranının (VSWR: Voltage Standing Wave Ratio) 2'den küçük olmasına karşılık gelmektedir. Ayrıca antenin ilgili rezonans frekansında iyi bir ışıma karakteristiği göstermesi de diğer önemli bir konudur. Yani antenin geri dönüş kaybı, istenen frekans bölgesi boyunca -10dB'nin altında olmasına rağmen anten, ilgili bölgede beklenen ışıma karakteristiğini veremiyorsa istenen sonuç elde edilememiştir. Antenin ışıma karakteristiği, antenin hangi yönde ne şiddette ışıma yaptığı hakkında bilgi verir. Tasarlanan antenin uygulamaya bağlı olarak bazen tüm yönlere (omnidirectional) ışıma yapması istenirken bazen de sadece belirli yönlere (directional) ışıma yapması istenir.

Empedans uyumunun sağlanması besleme tekniği ile direkt alakalıdır. Yani kullanılan besleme türüne göre daha farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Dolayısıyla ışıma yaması ile besleme arasındaki bölge, empedans uyumunu sağlamak için üzerinde durulması gereken bir bölgedir. Bu bölgede yapılacak herhangi bir değişiklik olumlu ya da olumsuz bir şekilde ışıma karakteristiği ve geri dönüş kaybı karakteristiğini etkileyecektir. Uygulamada koaksiyel besleme, mikroşerit besleme ve eş düzlemsel dalga kılavuzu besleme (CPW-fed: Coplanar Waveguide fed) şekilleri kullanılmaktadır.

CPW-fed kullanılarak tasarlanan antenlerde toprak levhaları da ışımaya katkıda bulunarak daha geniş bir frekans aralığında hemen hemen hiç değişmeyen giriş empedansı elde etmeye olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada ışıma yaması dikdörtgen olan çift bantlı bir monopol planar anten tasarlanmıştır. Monopol antenlerde daha iyi empedans uyumu sağladığı için ve daha düzlemsel bir yapıya sahip olduğu için de CPW-fed tercih edilmiştir. Empedans uyumunu sağlamak amacıyla besleme şeridi üzerinden ışıma yamasına uzanan simetrik iki yan şerit eklenmiştir. Eklenen bu yan şeritler yüksek frekans bölgesinde

ikinci istenen bandı oluştururken aynı zamanda alt frekans bölgesinde de daha iyi bir empedans uyumu sağlanmasına yardımcı olmuştur. Geniřlik ve boy değerleri değiştirilerek frekans bölgesinin kontrolü ve ışıma diyagramının kontrolü bu yan şeritler ile yapılmıştır. Ayrıca yüksek frekans bandındaki ışıma diyagramını iyileştirmek amacıyla ışıma yaması üzerine simetrik iki çentik açıldı.

Tasarlanan anten W-LAN uygulamalarında kullanılabilircek çift bantlı bir frekans karakteristiğine ve bu bantlarda iyi bir ışıma karakteristiğine sahiptir.

THE DESIGN OF A CPW-FED DUAL BAND MONOPOLE PLANAR ANTENNA

SUMMARY

After the FCC (Federal Communication Commission) issued the 3.1-10.6GHz as license free range in 2002, the design of UWB antennas that cover whole of this range or by making new modifications on the exist antennas for suppressing some part of this region has accelerated. Monopole planar antennas are the most preferred antennas in these studies because of their wide impedance bandwidth, compact and easy mounted structure. They are called according to the shape of their radiation patch such as rectangular, square, elliptical, circular or any combination of these shapes.

The main aim in the antenna design is to obtain a good impedance matching in the desired frequency range. The impedance matching is considered as the antenna has return loss below -10dB in the desired frequency range. It corresponds to that the voltage standing wave ratio is smaller than 2 ($WSVR < 2$) in this range. Also it is another important point that the antenna has a good radiation pattern at the resonance frequency. Although the antenna has a return loss below -10dB during the whole frequency range, it is not the desired result if the antenna doesn't has a good radiation characteristic at the related resonance frequency. The radiation characteristic of the antennas gives information about the radiation intensity according to the space coordinates. It is desired directional or omnidirectional radiation depending on the application.

The impedance matching is directly associated with the feeding technique. Different results can be obtained associated with the different feeding techniques. Due to that the region between the radiation patch and the feeding point needs to focus on for obtaining a good impedance matching. Any modifications in this region will affect the radiation pattern and the return loss values in a positive or negative way. Coaxial fed, microstrip fed and CPW-fed (coplanar waveguide-fed) are used in practice.

In the CPW-fed technique, the ground planes also contribute the radiation, which help to improve impedance matching in a wide frequency range.

In this study a monopole planar antenna which has a rectangular patch was designed. And CPW-fed technique was preferred because of its planar structure and serving a good impedance matching. For improving impedance matching, two new symmetric strips were added from the feeding strip to the radiation patch. The added new strips helped both obtaining a better impedance matching in the first band at lower frequencies also obtaining the second band at high frequencies. The return loss values and radiation pattern can be controlled by changing the length and width of these strips. Also for improving the radiation pattern in second band at high frequencies, two symmetric rectangular notches were added on the radiation patch.

The designed antenna has a dual band frequency characteristic and a good radiation characteristic that can be used in the WLAN applications.

1. GİRİŞ

Telgraf ile başlayan modern haberleşme süreci son derece hızlı bir şekilde değişmekte, neredeyse her geçen gün yeni bir uygulama geliştirilmekte ve kullanılmaktadır. Telefonun ilk kullanılmaya başlandığı yıllarda belki de hiç adı bile geçmeyen bant genişliği, artan uygulama sayısı ile birlikte son derece önem kazanmış ve günümüzde haberleşme sisteminin en önemli sorunlarından biri haline gelmiştir. Çünkü kullanılacak bant genişliği sınırlıdır ve bandın belirli bölgeleri belirli uygulamalara tahsis edilmiştir. Bu bölgeler uluslararası standartlarla tanımlanmıştır ve ihlal edilmesi suçtur. Ayrıca sürekli olarak gelişen teknoloji ile yeni üretilen cihazlar yalnızca bir değil birden çok uygulamaya sahiptir. Üstelik sadece bilgiyi iletmek değil bunu olabildiğince hızlı ve yüksek kapasitelerde yapmak temel amaç haline gelmiştir.

Hava ortamını kullanarak iletişimi sağlayacak bir sistemin en önemli parçalarından biri hiç şüphesiz ki antendir. Çünkü iletilecek bilgi bir verici anten ile ortama yayılırken yine bir alıcı anten ile alınmaktadır. İletilen bilginin özelliğine bağlı olarak kullanılacak antenin de ihtiyacı karşılayabilecek özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bazen dar bantlı bazen geniş bantlı olması ya da bazen sadece belirli yönlere bazen de tüm yönlere ışıma yapması istenir. Dolayısıyla kullanılacak antenin tasarımı önemli bir mühendislik çalışmasıdır. Zira yıllara göre anten konusunda yazılan kitapların sayısı giderek artmış ve bu konularda çok ciddi çalışmalar yapılmaya devam etmektedir.

1970'li yıllara kadar kullanılan antenler genelde telden yapılan ve telin daire, elips, helis gibi şekillerde bükülmesiyle elde edilen antenlerdi. Ancak bu yıllardan sonra mikroşerit antenlerin tasarımı son derece hız kazandı. Bu yıllarda ilk defa tel yerine metal levhalar kullanılarak antenler tasarlanmaya başlamış ve uygulamaları geliştirilmiştir.

Mikroşerit antenler, bir dielektrik tabaka üzerine yerleştirilmiş ışıma yaması ve ile tabakanın alt kısmında yer alan bir toprak düzleminden oluşmaktadır. Işıma

yamasının şekli, kullanılan besleme şekli (açıklık kuplajlı besleme, yakınlık kuplajlı besleme, koaksiyel besleme vb.) dielektrik malzemenin kalınlığı, dielektrik sabiti vb. parametreler ile istenen frekanslarda rezonansa gelen antenlerin tasarımı mümkün olmaktadır. Mikroşerit antenlerin kolay üretilir olmaları, hafif ve küçük hacimli olmaları, yüzeylere kolayca monte edilebilmeleri, düşük maliyetli olmaları gibi olumlu taraflarının olması yanında dar bant genişliği, düşük verimlilik, düşük kazanç, yüzey dalgalarının oluşması gibi dezavantajları vardır.

Son yıllarda ise mikroşerit antenlerin özel bir durumuna karşılık gelen monopol planar (düzlemsel) antenlerin tasarımı son derece hız kazandı. Monopol planar antenlerin en önemli özelliği çok büyük bant genişliklerine ve düzlemsel bir yapıya sahip olmalarıdır.

Son yıllardaki gelişmeler dikkate alındığında artık kablosuz iletişim hemen hemen her alanda kullanılmakta ve yeni üretilen cihazların tümü bu şekilde birden fazla uygulama içermektedir. Dolayısıyla çözümlerden bir tanesi kullanılacak cihazların içine, her bir uygulama için o uygulamaya cevap verecek bir anten koymaktır. Ancak böyle bir çözüm mühendislik açısından uygun bir çözüm olmamakla birlikte üretilen cihazların boyutları dikkate alındığında bunun son derece karmaşık olacağı da görülmektedir. İşte bu noktada üretilecek çözüm birden fazla uygulamaya cevap verecek tek bir anten tasarlamaktır.

Bir tek uygulama için kullanılacak olan antenin tek bantlı olması istenirken birden fazla uygulama için birden fazla anten kullanmak yerine, istenen frekans bantlarının tümünü kapsayan tek bir anten kullanmak çok daha uygun olacaktır. Böylelikle hem kullanılacak cihaz içinde daha az yer kaplayacak hem de maliyeti daha düşük olacaktır. İşte bu nedenle bazı tasarımcılar tüm frekans bandını kapsayan çok geniş bantlı antenler tasarlamaktadır. Monopol antenler bu tür uygulamalar için oldukça kullanışlı olmaktadır. Çünkü ışıma yaması üzerinde ya da besleme şekline bağlı olarak yapılacak bazı modifikasyonlar ile geniş bir frekans spektrumunda -10dB'nin altında geri dönüş kaybı değerlerine sahip antenler tasarlamak mümkündür. Ya da daha önce tasarlanmış olan bir anten üzerinde yapılacak bazı geometrik değişiklikler, besleme şeridi üzerinde yeni değişiklikler ile geçirilmesi istenmeyen bir bant bastırılabilir. Yani anten istenmeyen frekans bölgesinde bir anlamda filtre gibi davranmaktadır.

Antenin geniş bantlı olması da her zaman istenen bir durum değildir. Geniş bantlı bir anten yüksek hızlarda ve miktarlarda veri alış verişine izin verirken aynı zamanda kullanılan uygulamaya bağlı olarak diğer frekanslardaki işaretlerden de girişim olacak ve daha fazla gürültü alması nedeniyle işaret-gürültü oranı azalacaktır. Bu da alınan verinin kalitesinin düşmesine neden olacaktır. Bunun yerine sadece istenen bantları geçiren ve diğer bantları geçirmeyen bir anten tasarlamak çok daha yerinde olacaktır.

Tasarlanan antenin geometrik olarak karmaşık olmayan bir yapıda olması antenin sisteme entegre edilmesinde ve üretilmesinde kolaylık sağlayacaktır. Bu nedenle tasarlanacak antenin istenen uygulamaya cevap vermesi ilk amaç iken, ikinci amaç antenin olabildiğince basit olmasıdır. Geleneksel anten üzerinde ne kadar az modifikasyon ile sonuca ulaşılabiliirse antenin sistem içinde dışarıdan gelen etkilere toleransı da o kadar az olacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı W-LAN uygulamalarında kullanılabilecek eş düzlemsel hat girişli çift bantlı monopol düzlemsel bir anten tasarlamaktır. Bu amaçla yapılan benzetimler bu bantları kapsayacak şekilde yapılmıştır. Herhangi bir değişiklik kontrollü yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Antenden beklenen özellik 2.4GHz ve 5.2GHz frekanslarında rezonansa gelmesi ve 2.4-2.4835GHz ile 5.15-5.825GHz bantlarını kapsayacak kadar bant genişliğine sahip olmasıdır. Dolayısıyla üretilecek anten kısa mesafeli kablosuz iletişimde kullanılabilecek bir anten olacaktır.

Tasarlanan anten ayrıca GSM 1800 ve UMTS 2000 kanallarını da kapsamakta yani bu alanlara da hizmet verebilecek bir anten olmaktadır. Ancak eğer istenirse antenin boyutlarında yapılacak değişiklikler ile bu bölge antenin verimli olduğu bölgenin dışına çıkarılabilir.

Tezin ikinci bölümünde, monopul planar antenler tanıtılmış, antenin bazı tasarım parametrelerinin antenin ışıma yamasının şekline bağlı olarak hesaplanması gösterilmiş ve tasarlanan antenin kullanılacağı frekans bölgesi hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde, antenin tasarım aşamaları, yapılan değişiklikler ve etkileri gösterilmiş antenin HFSS 9.1 (High Frequency Structure Simulator v.9.1) ile elde

edilmiş benzetim sonuçları incelenmiştir. Daha sonra benzetim ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların literatürdeki bazı antenler ile karşılaştırılması yapılmıştır.

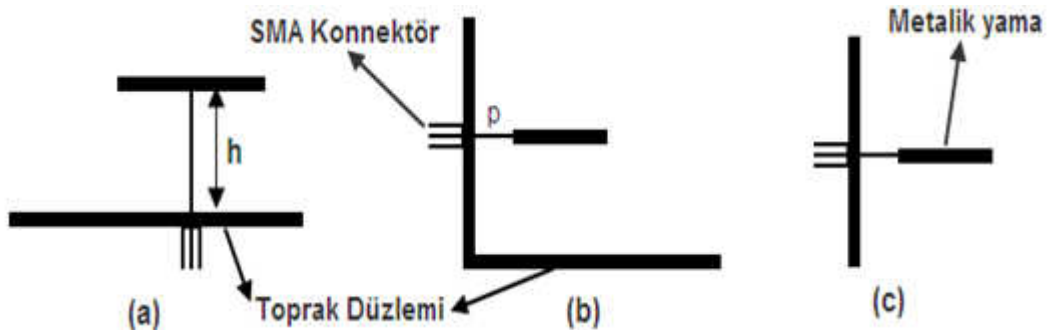
1.2 Literatür Özeti

Monopol planar antenler üzerindeki çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Ancak buna rağmen monopol planar antenlerin geniş çaplı analizini yapan, anten parametreleri ile tasarım parametrelerini matematiksel formüller ile ilişkilendiren kapsamlı kitaplar henüz bulunmamaktadır. Bunun yerine yapılan birçok çalışma incelenerek bilgiler derlenmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla bu konuda yapılan birçok çalışmayı tezin kapsamına almaktansa tasarlanan antene benzer antenleri ele alıp tartışmak ve analizini yapmak daha doğru olacaktır. K.P. Ray, [1, 6] bu konuda önemli çalışmalar yapmıştır. Monopol antenlerin ışıma yamalarının şekillerinin etkileri, besleme noktasının etkileri konularında parametrik incelemeler yapmıştır. Bu çalışma kapsamında bu bilgilerden çokça faydalanılmıştır. S. Honda monopol planar antenlerin neden geniş bantlı olduklarını ve geniş bir bantta neden tüm yönlü ışıma örüntüsüne sahip olduklarının analizini yapmıştır [5]. Yine besleme şekilleri ve karşılaştırmaları konularında bazı makalelerden faydalanılmıştır [9, 16]. Temel anten parametrelerinin tanımları için Balanis'in Antenna Theory [2] kitabından alıntılar yapıldı. Ayrıca tasarlanan antene benzer antenler sonuç ve öneriler kısmında ele alınmıştır.

2. MONOPOL PLANAR ANTENLER

Monopol planar anten büyük bir bant genişliğine sahip ve UGB (Ultra Geniş Bant) uygulamalarında çokça kullanılan bir anten tipidir. Özellikle 2002 yılında 3.1-10.6 GHz frekans bölgesinin lisanssız bölge olarak ilan edilmesinden sonra bu bölgeleri kapsayan antenlerin tasarımı hız kazandı. Monopol planar anten bu uygulamalar için en çok tercih edilen anten tipidir.

Monopol planar antenler aslında mikroşerit antenlerin özel bir durumuna karşılık gelir. Mikroşerit antenlerde dielektrik tabakanın kalınlığı arttırıldıkça bant genişliği de artar. Ancak tabakanın kalınlığını arttırmak iki soruna neden olacaktır. Birincisi antenin verimini düşüren yüzey dalgaları oluşacaktır. İkincisi, Şekil 2.1(a)'da görüldüğü gibi 'h' değeri arttıkça tabakanın üzerindeki ışıma yamasını beslemek için daha uzun bir koaksiyel besleme probu gerekecektir. Bu da anten giriş empedansının daha çok endüktif olmasına ve dolayısıyla empedans uyumunun bozulmasına neden olacaktır. Şekil 2.1(b)'deki gibi 'p' uzunluğunda daha kısa bir besleme probu kullanılarak bu sorun çözülebilir. Bu durumda anten çevre boyunca beslenecektir ve dikey bir toprak levhası daha gerekecektir. Eğer 'h' kalınlığı çok arttırılırsa alttaki toprak levhası önemsiz olacağından kaldırılabilir. Bu durumda elde edilen yapı Şekil 2.1(c)'deki gibi olacaktır. Bu yapı, düzlemsel monopol anten ile aynı yapıya sahiptir [1].



Şekil 2.1 : (a) Kalın dielektrik tabaka üzerindeki mikroşerit anten. (b) Birbirine dik toprak levhaları ile mikroşerit anten. (c) Düzlemsel monopol anten yapısı.

Monopol planar antenler mikroşerit antenlerin özel bir durumu gibi görünmesine karşın neden çok daha büyük bant genişliğine sahiptirler? Bunun nedeni iki şekilde açıklanabilir.

- I. Bir monopol disk anten, toprak üzerine dikey şekilde monte edilmiş ince bir telden oluşur ve telin çapının artmasıyla bant genişliği artar [2]. Monopol planar bir anten, efektif yarıçapı çok büyük olan bir silindirik disk monopol antene eşdeğer olarak görülebilir [3]. Dolayısıyla antenin geniş bantlı olması beklenen bir sonuç olacaktır.
- II. Daha önce de bahsedildiği gibi monopol planar antenler, $\varepsilon_r = 1$ olan çok kalın bir dielektrik tabakaya sahip mikroşerit antenler gibi görülebilir. Dolayısıyla büyük bir bant genişliği beklenir. Metalik ışıma yaması üzerinde yüksek dereceden modlar uyarılacaktır. Bütün modlar geniş bir bant genişliğine sahip olduğundan küçük empedans değişimleri olacaktır.

Monopol planar antenlerin boy ve genişlikleri, büyük bir bant genişliği elde etmek için bu modlardan bir kaçını Smith abağı üzerindeki VSWR=2 dairesi içine getirecek şekilde optimize edilebilir [1]. Dolayısıyla monopol planar antenlerin boy ve genişlikleri iyi bir empedans uyumu ve dolayısıyla büyük bir bant genişliği için oldukça etkili parametrelerdir.

Monopol planar antenlerin geniş bir bant boyunca her yöne ışıma yapma özelliğine sahip olmalarının nedeni ise şu şekilde açıklanabilmektedir. Çok kutuplu açılıma (multipole expansion) [4] göre eğer uzak alan dikkate alınıyorsa, maksimum boyutu dalga boyundan çok daha küçük olan herhangi bir akım kaynağı bir elektrik dipole eşdeğerdir. Bu birçok monopol anten tipinin her yöne ışıyan (omnidirectional) bir örüntüye sahip olmasının en temel nedenidir. Buna ek olarak yukarıda bahsedilen disk monopol antenlerin simetrik akım dağılımına sahip olmalarıdır. Bu simetrinin geniş bir bantta omnidireksiyonelliğe etkisi şu şekilde açıklanabilir. Öncelikle toprak düzleminin sonsuza genişlediği varsayılır. Disk üzerindeki akım, θ' ve r' kaynak noktasının konumunu belirtmek üzere $J(r', \theta')$ şeklinde gösterilebilir. Disk monopol antenin yapısından gelen yapısal simetriklikler aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$J_z(r', \theta') = J_z(r', \theta') \quad , \quad J_y(r', -\theta') = -J_y(r', \theta') \quad (2.1)$$

$$J_z(r', \pi - \theta') = J_z(r', \theta') \quad , \quad J_y(r', \pi - \theta') = -J_y(r', \theta') \quad (2.2)$$

Geleneksel vektör potansiyeli aşağıdaki şekilde verilir.

$$A = \iint \mu J \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dS' \quad (2.3)$$

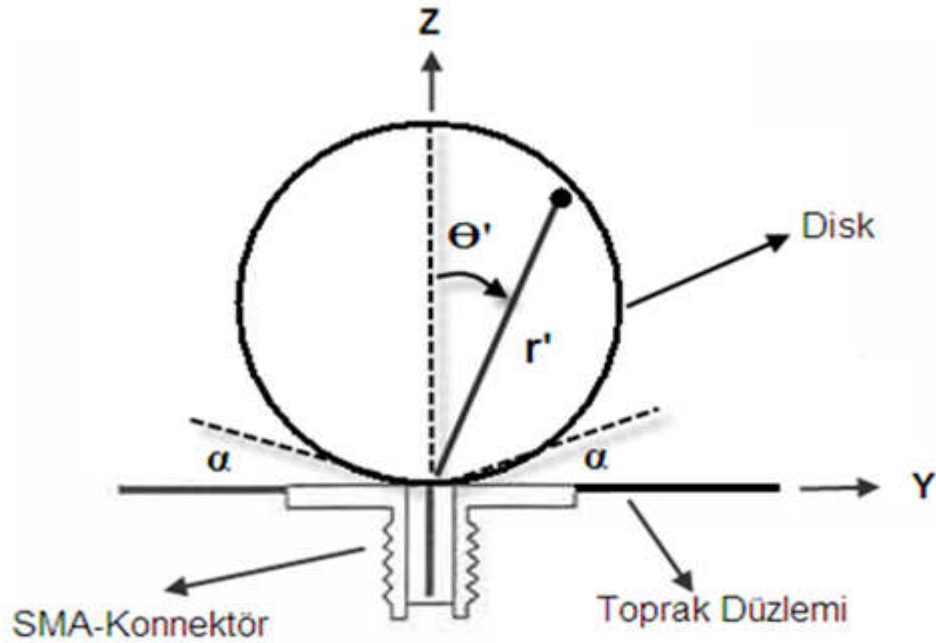
$$R = \sqrt{r^2 + (r')^2 - 2rr' \cos \varphi} \quad (2.4)$$

$$\cos \varphi = \sin \theta \sin \theta' \cos \phi \quad (2.5)$$

İkinci dereceden bir küresel Hankel fonksiyonu için *Addition Teoremi* uygulanarak (2.3) denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$A = -j \left(\frac{k\mu}{4\pi} \right) \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) h_n^{(2)}(kr) \iint j_n(kr') P_n(\cos \varphi) J(r', \theta') dS' \quad (2.6)$$

Yukarıdaki simetriklikler hesaba katıldığında n'nin tek olduğu tüm terimler sıfır olacaktır. Özellikle elektrik quadropolünün [4] yanı sıra manyetik dipole karşılık gelen ve artan frekansla tüm yönlü ışıma örüntüsünü bozan ikinci terim (n=1) doğal olarak oluşmayacaktır. Bu nedenle Şekil 2.2'de genel yapısı gösterilen disk (daireSEL) monopol planar antenler geniş bir bantta tüm yönlü ışıma yapacaktır [5].



Şekil 2.2 : Disk (daireSEL) monopol planar anten

Monopol planar antenler kullanılan ışıma yamasının şekline bağlı olarak isimlendirilirler. Dairesel, eliptik, üçgen, altıgen, kare, veya dikdörtgen ışıma yamasına sahip monopol antenlere ait çokça uygulama bulunmaktadır. Aynı zamanda bu şekillerin kombinasyonları ile de farklı konfigürasyonlarla elde edilmiş antenler de oldukça fazladır. Literatür incelendiğinde toprak levhasının şekli ve

besleme şekilleri de çok çeşitlilik göstermektedir. Ancak temel amaç, istenen özellikleri sağlayacak bir anten tasarlamaktır.

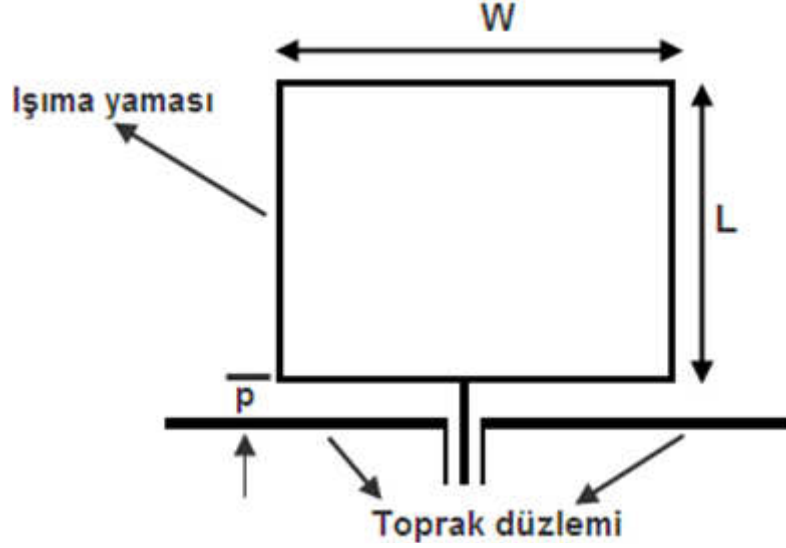
Monopol antenler mikroşerit antenlere benzerler ancak daha önce de belirtildiği gibi mikroşerit antenlere göre çok daha büyük bir bant genişliğine sahiptirler. Mikroşerit antenlerin anten parametreleri ile tasarım parametrelerini ilişkilendiren matematiksel ifadeler bulunmaktadır. Ancak monopol antenleri tam olarak karakterize eden matematiksel ifadeler bulunmamaktadır. Bununla birlikte ışıma yamasının şekline bağlı olarak, ışıma yamasının alanı, eşdeğer silindirik bir monopol antenin alanına eşitlenerek, $VSWR=2$ için alt kesim frekansını yaklaşık olarak veren formüller elde edilebilmektedir. Aynı zamanda yapılan parametrik çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak parametrelerin etkileri hakkında bilgi edinilebilmektedir. Ancak herhangi bir parametrenin değişimi diğer parametrelere çok hassas bir şekilde bağlı olacağından son derece karmaşık bir yapı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle analiz yapılırken deneme yanılma metodu kullanılmakta ve benzetim programları yardımıyla ışıma yapan metaller üzerinde alan dağılımları incelenerek bu bilgiler ışığında değişiklikler yapılmaktadır.

2.1 Anten Tipleri

Çok çeşitli anten tipleri olmasına karşılık, bu antenler temelde, dikdörtgen, dairesel ve eliptik ışıma yaması olan antenlerin konfigürasyonu ile elde edilmektedir. Bu değişiklikler ışıma yaması üzerinde açılacak yarıklar olabileceği gibi besleme şeridi ve toprak levhası üzerinde yapılan değişiklikler de olabilir. Örneğin dairesel monopol bir antenin dikdörtgen olan iletken levhası üzerinde yapılacak geometrik değişiklikler ile istenen özellikleri sağlayacak bir anten tasarlanabilir.

2.1.1 Dikdörtgen monopol planar anten

ışıma yaması dikdörtgen şeklinde olan monopol antenlerdir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi anten, dikdörtgen bir ışıma yaması ve yatay toprak düzleminden oluşmaktadır. SMA konektörü toprak düzleminin orta noktasından anteni beslemektedir.



Şekil 2.3 : Dikdörtgen monopöl planar anten

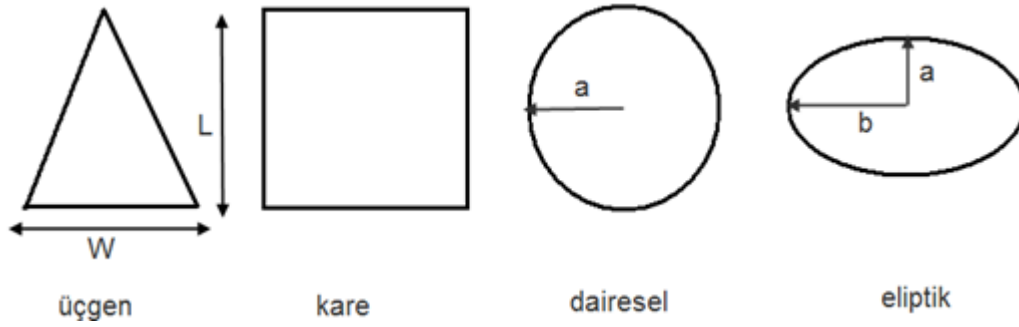
Monopöl planar bir antenin alt kesim frekansı, antenin uzunluğu L 'ye bağlıdır. L değeri arttıkça alt kesim frekansı azalır. [6] referans kaynağında yapılan parametrik çalışmalar sonucu antenin ışıma yaması ile toprak levhası arasındaki mesafe ' p ' nin empedans uyumunda son derece etkili olduğu, ' p ' nin artmasıyla empedansın daha endüktif olduğu, azalmasıyla da daha daha az endüktif olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda bu parametre empedans uyumunda son derece önemlidir. Ayrıca antenin genişliği W 'nın bant genişliği üzerinde etkili olduğu ancak bu etkinin lineer olmadığı benzetim sonuçları ile gözlemlenmiştir. Yani artan ' W ' değeri bazen bant genişliğini arttırırken bazen de azaltabilmektedir. Bu durum antenin diğer parametrelerinin değerlerine önemli derecede bağlıdır.

2.1.2 Kare, üçgen, dairesel, eliptik ve altıgen monopöl planar antenler

Monopöl planar antenler ışıma yamasının şekline göre isimlendirildiklerinden Şekil 2.3'deki dikdörtgen metal levha yerine kare, üçgen daire, eliptik ya da altıgen levha konulduğunda bu anten tipleri elde edilecektir.

Düzlemsel üçgen monopöl antenler sivri olan uçtan beslenebileceği gibi aynı zamanda alt kenarın orta noktasından da beslenebilir. Bu iki durumda elde edilecek anten karakteristikleri farklı olacaktır. Benzer şekilde altıgen monopöl planar bir anten için de besleme herhangi bir kenarın orta noktasından yapılabileceği gibi bir köşe noktasından da yapılabilir. Yine elde edilen karakteristikler birbirinden farklı olacaktır. Eliptik ışıma yamasına sahip bir anten, eliptiklik oranı (a/b) farklı olacak şekilde tasarlanabilmektedir. Eliptiklik oranı empedans uyumunda ve bant

genişliğinde son derece etkili bir parametre olmaktadır [7]. Şekil 2.4’de farklı geometrilerde ışıma yamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Farklı geometrilerde sahip ışıma yamaları

2.2 Besleme Şekilleri

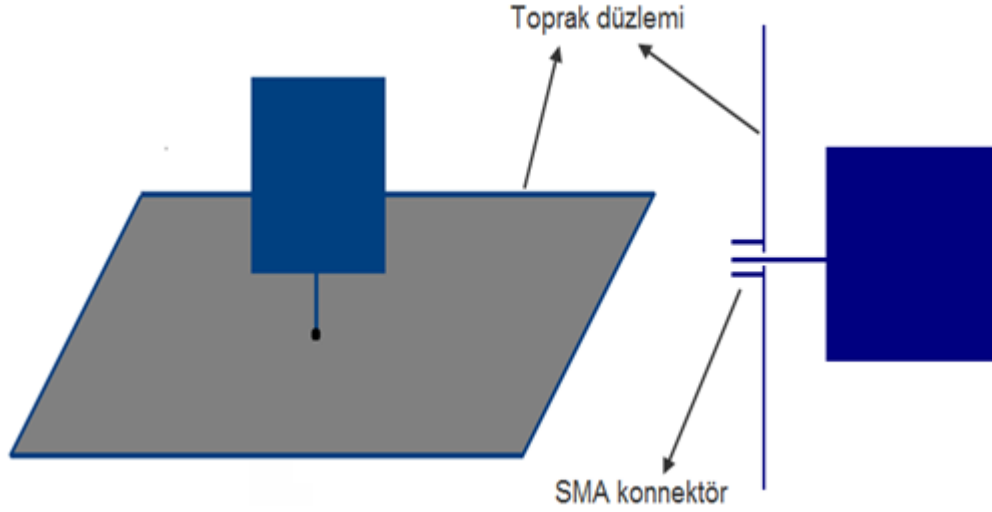
Antenin besleme şekli empedans bant genişliği üzerinde oldukça etkili bir parametredir. Çünkü kullanılacak besleme türüne göre bazen toprak düzlemi de ışımaya katkıda bulunacak, bilhassa alt frekans bölgesinde son derece etkili olacaktır. Aynı zamanda besleme noktası ile ışıma yaması arasındaki bölgenin konfigürasyonu besleme şekline bağlı olarak değişeceğinden empedans uyumu üzerinde çok etkili olacaktır. Daha önce de bahsedildiği gibi monopol anteni beslemek için kullanılacak probun uzunluğu arttıkça giriş empedansı daha çok endüktif olacaktır.

Monopol düzlemsel antenler için kullanılabilecek besleme yöntemleri koaksiyel besleme, mikroşerit besleme ve CPW-besleme yöntemleridir. Bu yöntemler kullanılacak anten tipine bağlı olarak bir diğerine göre daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Hangi anten tipi için hangi besleme yönteminin kullanılacağı yapılacak simülasyonlar ve denemeler ile tespit edilebilmektedir.

2.2.1 Koaksiyel besleme

Koaksiyel besleme sıklıkla kullanılan bir besleme şeklidir. Toprak levhası üzerinde açılan bir delikten ışıma yaması beslenmektedir. Koaksiyel yapı içerisinde iç içe iki adet iletken bulunmaktadır. Bu iletkenlerden içteki iletken ışıma yamasına temas ederken dış iletken toprak levhası ile bağlantılıdır. Bu yapıda ışıma yamasını içine alan düzlem toprak levhasının iki kenarına paralel iken diğer iki kenarına diktir. Besleme probu toprak levhasının merkezinde açılan bir delikle ışıma yamasını beslemektedir. Şekil 2.5’te koaksiyel beslemeli dikdörtgen monopol planar antenin

şekli gösterilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi bu anten ve besleme yapısı aslında mikroşerit antende dielektrik tabaka kalınlığının sonsuz olduğu duruma karşılık gelmektedir.

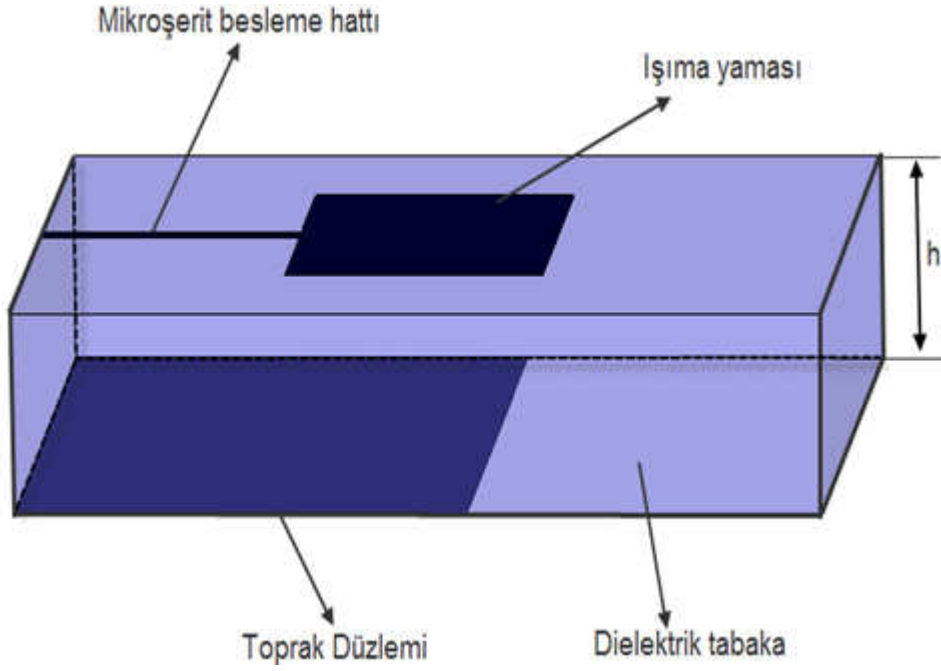


Şekil 2.5 : Koaksiyel beslemeli monopol planar anten

Bu besleme türünün en önemli avantajlarından biri empedans uyumunu sağlamak için koaksiyel kablunun iç iletkeninin yamanın herhangi bir noktasına temas ettirilebilmesidir. Daha önce de belirtildiği gibi üçgen, eliptik veya altıgen monopol planar antenler için besleme farklı noktalarda yapıldığında elde edilen bant genişliği, empedans uyumu ve ışıma diyagramları sonuçları farklı olmaktaydı. Ayrıca ışıma yamasına temas eden nokta ile toprak düzlemi arasındaki mesafe de empedans uyumunu sağlamak için son derece önemli bir parametredir [7].

2.2.2 Mikroşerit besleme

Mikroşerit besleme türünde topraklama düzlemi dielektrik tabakanın arka kısmında bulunur. Işıma yaması ise dielektrik katmanın üst kısmında bulunur ve bir mikroşerit hat ile beslenir. Empedans uyumunu sağlamak için mikroşerit hattın empedansının 50Ω olması gerekmektedir. Çünkü mikroşerit hattı besleyecek olan SMA konektörün karakteristik empedansı $Z_0 = 50\Omega$ dur. Mikroşerit hattın boyu ve genişliği empedans uyumunu sağlamak için kullanılacak parametrelerdir.



Şekil 2.6 : Mikroşerit hat beslemeli anten yapısı

Mikroşerit hat beslemeli anten yapısı Şekil 2.6’da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi toprak düzlemi dielektrik tabakanın alt kısmında yer alırken ışıma yaması ve mikroşerit hat tabakanın üst kısmında yer almaktadır. Besleme yine karakteristik empedansı $Z_0 = 50\Omega$ olan koaksiyel bir kablo ile yapılacaktır. Kablonun iç iletkenin mikroşerit hata temas ederken dış iletken topraklama yüzeyine temas edecektir.

Işıma yaması üzerindeki elektrik alan dağılımı farklı noktalarda farklı olacağından empedans değeri de farklı olacaktır. Dolayısıyla mikroşerit hattın empedansı koaksiyel kablo ile uyumlu olması için 50Ω ’a ayarlandıktan sonra yama üzerinde empedans uyumunun sağlanacağı bir noktadan besleme yapılarak geniş bir bantta artan frekansla çok az değişen bir giriş empedansı sağlanabilir.

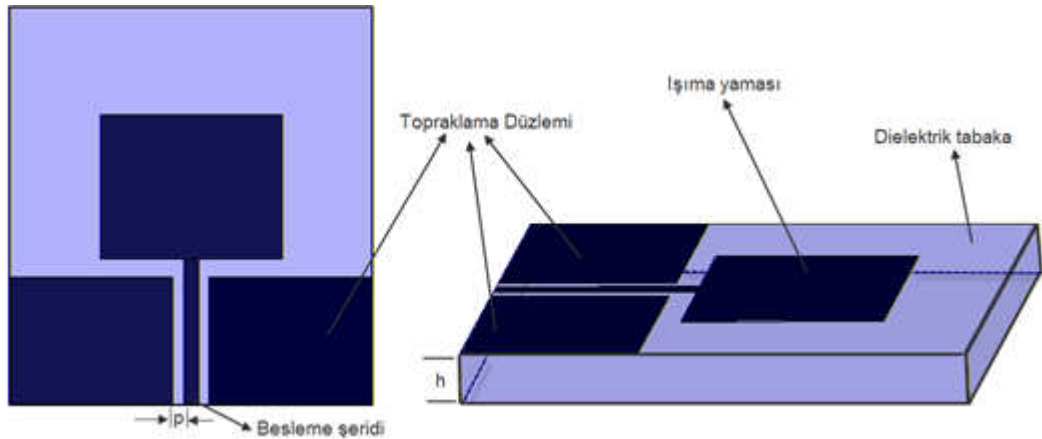
Dairesel bir antenin bant genişliğini besleme ile anten arasında düzgün geçişle arttırma tekniği 1988 yılında Kraus tarafından önerilmiştir [8]. Bu teknik CPW-fed ve mikroşerit beslemeli yama antenlere kolayca uygulanabilmektedir. Işıma yaması ve toprak düzlemi büyük bir bant genişliği boyunca neredeyse hiç değişmeyen bir giriş empedansı sağlamaktadır [9].

Mikroşerit hat kolay üretilebilir olması ve empedans uygunlaştırmasının kolay olmasından dolayı çokça tercih edilen bir yöntemdir. Ancak Şekil 2.6’daki dielektrik tabakanın kalınlığı ‘h’ arttıkça yüzey dalgaları ve sahte besleme ışıması da artar,

dolayısıyla antenin bant genişliğini azaltır [2]. Benzer yapıdaki bir yama antenin direkt koaksiyel hat ile beslenmesi durumunda ise artan dielektrik tabaka kalınlığı bant genişliğini arttırırken oluşan yüzey dalgaları nedeniyle antenin verimi azalmaktaydı. Ancak kalınlığı çok arttırmak uzun bir besleme probu gerektireceğinden antenin giriş empedansı daha çok endüktif olmakta ve empedans uyumunu bozmaktaydı.

2.2.3 CPW-fed besleme

Geleneksel monopol antenler koaksiyel bir hat yardımıyla beslenmekte ve toprak düzlemi ışıma yamasının bulunduğu düzleme dik düzlemde yer almaktadır. Böyle bir yapıyı sistemlere monte etmek zor olmaktadır. Mikroşerit besleme ve eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme şekilleri yapıya düzlemsellik kazandırarak entegrasyonu kolaylaştırmaktadır [3]. Mikroşerit hat ile besleme şeklinden farklı olarak eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme (CPW-fed) türünde, toprak düzlemi ile ışıma yaması aynı düzlemde yer almaktadır. Buna ilişkin yapı Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Işıma yaması, simetrik toprak levhaları arasında yer alan besleme şeridi yardımıyla beslenir. SMA konektörün iç iletkeni bu şeride temas eder. Dış iletken ise simetrik toprak levhalarına temas edecek şekilde bağlantı yapılır.



Şekil 2.7 : CPW-fed beslemeli monopol planar anten yapısı

CPW-fed besleme şeklinde diğer besleme şekillerinden farklı olarak toprak levhaları da ışımaya katkıda bulunur. Dolayısıyla bu levhalar üzerinde yapılacak değişiklikler ile de empedans uyumunu sağlama olanağı oluşmaktadır. Ayrıca ışıma yaması ile SMA konektör arasında bağlantıyı sağlayan şerit ile toprak levhaları arasındaki mesafe empedans uyumunu sağlamak için kullanılabilecek bir diğer parametredir [3,

10]. Yapı bu şekilde düşünüldüğünde son derece zengin ve esnek bir tasarım olanağı sunmaktadır. Zira literatür tarandığında toprak levhaları ile yapılan farklı konfigürasyonlar ile istenen amaca uygun antenler tasarlanmıştır [11-14]. Yine besleme şeridi üzerinde yapılan değişiklikler ile istenen amaca uygun bir eliptik monopol planar anten tasarlanmıştır [15]. Çünkü besleme ile ışıma yaması arasındaki bölge, empedans uyumu için son derece kritik bir bölgedir. Eğer kullanılan anten parçaları arasındaki geçiş yumuşak bir şekilde sağlanırsa geniş bir bant boyunca neredeyse hiç değişmeyen bir giriş empedansı elde etmek mümkün olacaktır [8]. Bu da geniş bir bant boyunca verimli bir şekilde ışıyan bir anten demektir.

Mikroşerit beslemeye kıyasla eşdüzlemsel dalga kılavuz beslemeli bir anten deliksiz bir yapıya sahip olmasından dolayı daha az kayıplıdır ve seri, paralel bağlantılar için daha uygundur [11]. Ayrıca mikroşerit besleme düşük frekanslarda iyi sonuç verirken eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme tüm bant boyunca iyi sonuç vermektedir [9]. Koaksiyel besleme ile kıyaslandığında ise uygulamaya bağlı olarak koaksiyel besleme daha iyi sonuçlar verebilmesine karşın [16] bu besleme türünün entegrasyonu zorlaştırmasından dolayı eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme tercih edilme nedeni olabilmektedir.

Eşdüzlemsel dalga kılavuzu besleme, düzlemsel bir yapı sunması, deliklere gereksinim duymamasından dolayı daha az kayıplı olması, büyük bir empedans bant genişliği sunması ve tasarım açısından çok çeşitlilik sunması gibi avantajlarından dolayı diğer besleme şekillerine göre daha çok tercih edilen bir besleme türüdür.

2.3 Monopol Planar Antenlerin Alt Kesim Frekansının Hesaplanması

Bir monopol planar antenin -9.5dB (VSWR=2) alt kesim frekansı, monopol antenin alanının r yarıçaplı ve eşit yükseklikte bir eşdeğer silindirin alanına eşitlenmesi ile yaklaşık olarak elde edilebilir [7].

Dikdörtgen monopol planar anten için;

$$2\pi rL = WL \quad (2.7)$$

eşitliğinden;

$$r = W/(2\pi) \quad (2.8)$$

Reel giriş empedansı için monopol antenin uzunluğu [2];

$$L = 0.24 \times \lambda \times F \quad (2.9)$$

Burada

$$F = (L/r)/(1 + L/r) = L/(L + r) \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.9) ve (2.10) den dalga boyu λ aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\lambda = (L + r)/0.24 \quad (2.11)$$

Bu eşitliklerden, alt kesim frekansı f_L , aşağıda verilen (2.12) formülü ile elde edilir.

$$f_L = c/\lambda = (30 \times 0.24)/(L + r) = 7.2/(L + r) \text{ GHz} \quad (2.12)$$

Bu eşitliklerde L ve r santimetre cinsindendir.

Monopol antenin ışıma yaması dikdörtgen değil de başka bir geometrik şekle sahip ise yine alt kesim frekansı f_L 'yi hesaplamak için ışıma yamasının alanı aynı uzunlukta olan eşdeğer silindirin alanına eşitlenerek öncelikle r ve L değerleri hesaplanır.

İşıma yaması üçgen şeklinde ise;

$$2\pi rL = L \times W/2 \quad (2.13)$$

Buradan

$$r = W/(4\pi) \quad (2.14)$$

(2.9) ve (2.10) eşitliklerinden

$$L = \sqrt{3W/2} \quad (2.15)$$

Daha sonra elde edilen bu değerler (2.12) denkleminde yerine konularak alt kesim frekansı f_L elde edilir.

Dairesel monopol planar anten için 'a' dairenin yarıçapı olmak üzere;

$$L = 2a \quad (2.16)$$

$$r = a/4 \quad (2.17)$$

Eliptik monopol planar anten için a ve b sırasıyla küçük ve büyük eksen uzunlukları olmak üzere;

$$L = 2a \quad (2.18)$$

$$r = b/4 \quad (2.19)$$

Benzer şekilde herhangi bir geometrik şekle sahip bir monopol planar antenin alt kesim frekansı yaklaşık olarak bu şekilde hesaplanabilir. (2.12) eşitliğinde besleme probunun uzunluğu ‘p’ hesaba katılmamıştır. Probun uzunluğunun hesaba katılmasıyla antenin toplam boyu uzar ve alt kesim frekansı azalır. Prop uzunluğu p’nin de hesaba katılmasıyla VSWR=2 için alt kesim frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

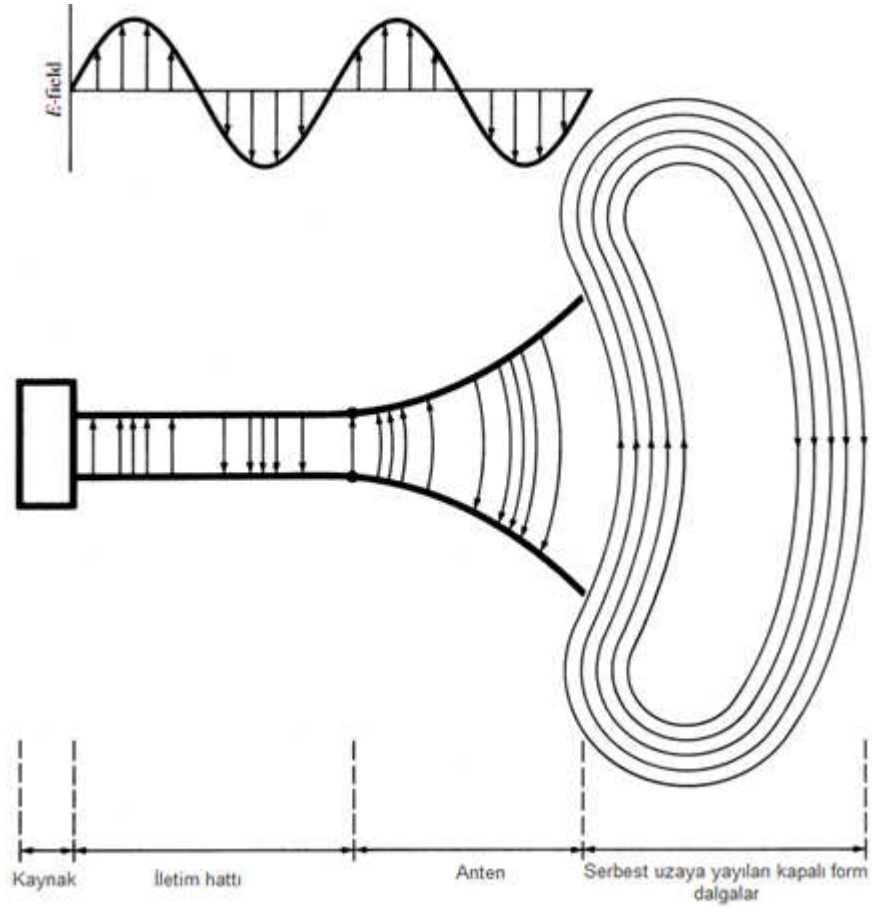
$$f_L = 7.2/(L + r + p) \text{ GHz} \quad (2.20)$$

Burada L, r ve p santimetre cinsindendir.

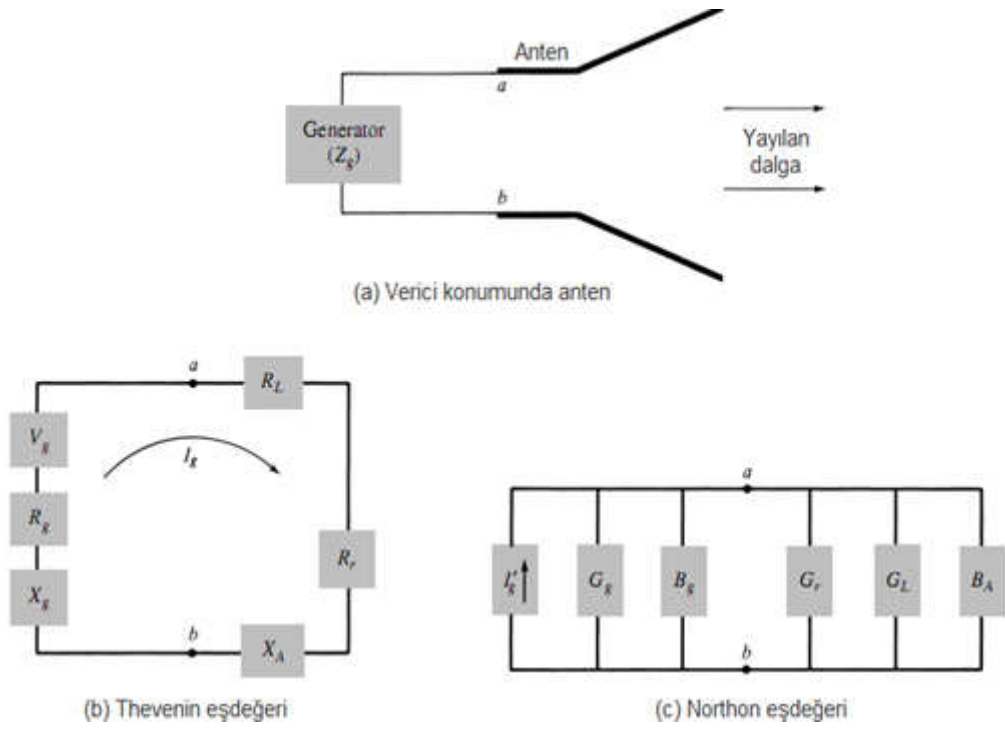
2.4 Anten Başarım Parametreleri

Bir anteni tasarlarken öncelikle o antenden sağlanması istenen özelliklerin tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlama, anteni karakterize edecek parametreler ile yapılır ve bu parametrelerin belirlenen başarım ölçütleri elde edilmeye çalışılır. Bir anteni karakterize edecek birçok parametre ve başarım ölçütü bulunmakla birlikte burada bu tez kapsamında direkt ya da dolaylı olarak ele alınan parametrelerin ifadeleri ve başarım ölçütleri verilecektir.

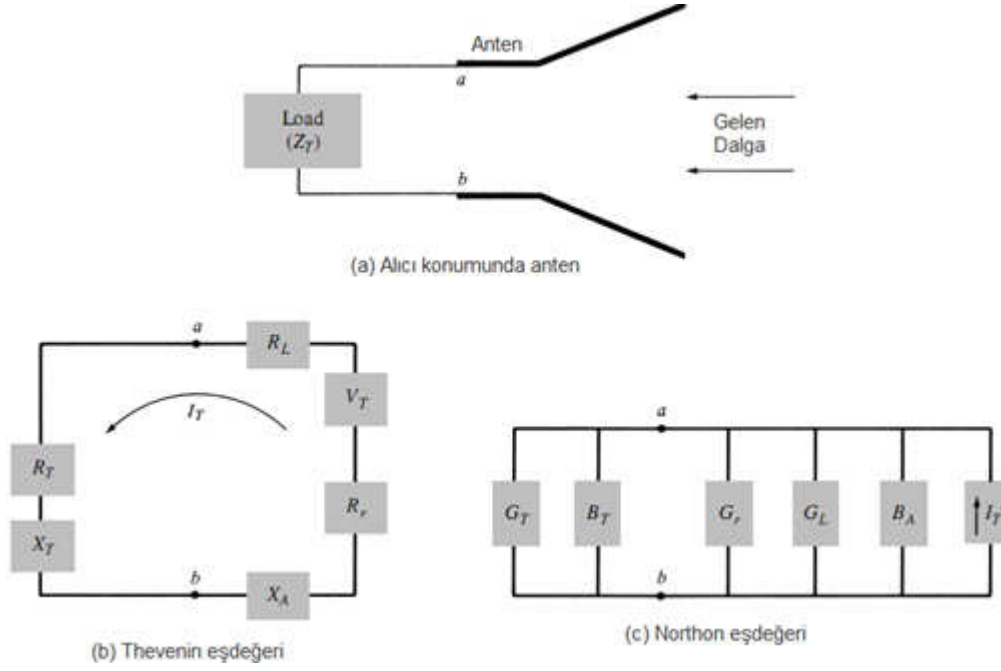
Şekil 2.8’de verici bir antenden sinüzoidal bir kaynak tarafından üretilen dalganın yayılımı gösterilmiştir. Şekil 2.9 ve Şekil 2.10’da ise alıcı ve verici moddaki antenler ile Thevenin ve Northon eşdeğerleri verilmiştir.



Şekil 2.8 : Verici antenden serbest uzaya dalganın yayılımı



Şekil 2.9 : (a)Verici anten (b) Thevenin eşdeğeri (c) Norton eşdeğeri



Şekil 2.10 : (a) Alıcı anten (b) Thevenin eşdeğeri (c) Norton eşdeğeri

2.4.1 Giriş empedansı

Giriş empedansı, bir antenin uçları arasından bakıldığında görülen empedanstır. Antenin uçları arasındaki gerilimin akıma oranı veya herhangi bir noktadaki uygun elektrik alan ve manyetik alan bileşenlerinin oranı giriş empedansını verir. Şekil 2.9(b)'deki eşdeğer devrede a-b uçları arasında görülen giriş empedansı, uçlara herhangi bir yük bağlı olmadığı durumdaki gerilimin akıma oranı ile tanımlanır.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.21)$$

Burada,

Z_A = antenin a-b uçları arasındaki empedansı (Ω)

R_A = antenin a-b uçları arasındaki direnci (Ω)

X_A = antenin a-b uçları arasındaki reaktansı (Ω)

Genel olarak (2.21) eşitliğindeki rezistif kısım iki parçadan oluşur; bunlar

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.22)$$

Burada,

R_r = antenin yayılım direnci (radiation resistance of the antenna)

R_L = antenin kayıp direnci (loss resistance of the antenna)

Antene, iç empedansı

$$Z_g = R_g + jX_g \quad (2.23)$$

olan bir kaynak bağlandığını düşünürsek antene maksimum gücün aktarılabilmesi için;

$$R_r + R_L = R_g \quad (2.24)$$

$$X_A = -X_g \quad (2.25)$$

konjuge eşitliği koşullarının sağlanması gerekmektedir.

P_s = kaynak tarafından üretilen güç (W)

P_r = antenin yaydığı güç (W)

P_L = ısıya harcanan güç (W)

P_g = kaynağın iç direnci R_g üzerinde harcanan güç olmak üzere;

(2.24) ve (2.25) eşitliklerinin sağlanması durumunda kaynak tarafından üretilen gücün yarısı kaynak iç direnci R_g üzerinde (P_g) harcanacaktır. Diğer yarısı ise antene aktarılacaktır. Antene aktarılan gücün bir kısmı R_L direnci üzerinde ısıya dönüşürken kalan kısmı antenin yayılım direnci R_r üzerinden (P_r) ortama yayılacaktır. R_L direnci üzerinde harcanan güç miktarı antenin verimliliğini belirleyecektir. Eğer kayıp yoksa ($R_L = 0$) ise antene gelen gücün tamamı ortama yayılacaktır. Bu durumda anten maksimum verimlilik ile çalışıyor olacaktır. Kaynak tarafından üretilen gücün yarısı kaynak iç direnci üzerinde harcanırken (P_g) kalan yarısı anten tarafından ortama yayılacaktır.

Alıcı anten modunda, kaynak direnci üzerinde harcanan güç saçılan güce, R_g yayılım direnci üzerinden yayılan güç ise anten tarafından alınan güce karşılık gelecektir. Şekil 2.10'daki alıcı anten ve eşdeğer devresi dikkate alındığında, anten tarafından maksimum gücün alınabilmesi için;

$$R_r + R_L = R_T \quad (2.26)$$

$$X_A = -X_T \quad (2.27)$$

konjuge eşitliklerinin sağlanması gerekmektedir.

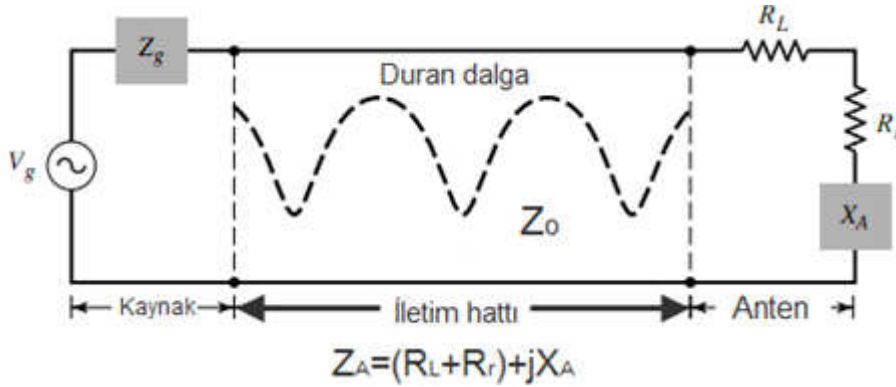
P_c = verici anten tarafından alınan güç

P_T = yüke aktarılan güç

P_L = R_L direnci üzerinde ısıya harcanan güç

P_r = saçılan (veya geri yayılan güç) olmak üzere (2.26) ve (2.27) eşitliklerinin sağlanması durumunda anten tarafından alınan gücün yarısı ($P_c/2$) yük direncine (P_T) aktarılırken, diğer yarısı yansıyan (P_r) ve R_L direnci üzerinde ısıya dönüşen güçler olacaktır. Eğer kayıp yoksa ($R_L = 0$) anten tarafından alınan gücün yarısı yüke aktarılacak diğer yarısı da geriye yansıyacaktır [2].

2.4.2 Empedans uyumu, geri dönüş kaybı ve duran dalga oranı



Şekil 2.11 : Verici antenin Thevenin eşdeğer devresi

Daha öncede belirtildiği gibi empedans elektrik ve manyetik alanların oranıdır. Elektrik alan ve manyetik alanların aynı fazda olmamasından dolayı kompleks bir değerdir. Şekil 2.11'deki devre dikkate alındığında eğer iletim hattının karakteristik empedansı Z_0 ve antenin empedansı Z_A eşit değil ise bu durumda bir empedans uyumsuzluğu olacak ve gelen işaretin bir kısmı kaynağa geri yansıyacaktır. Bu yansıma, yansıma katsayısı (Γ) ile karakterize edilir. Yansıma katsayısı, yansıyan gerilimin kaynaktan gelen gerilime oranı ile tanımlanır [17].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \quad (2.28)$$

(2.28) eşitliği ile tanımlanan gerilim yansıma katsayısı, tek portlu bir devre için aynı zamanda S_{11} parametresine karşılık gelmektedir.

Empedans uyumunun sağlanması ($\Gamma = 0$) durumunda antenden geriye yansıyan güç olmayacaktır. Bu durumda kaynak tarafından iletilen gücün tamamı antenden içeriye girecektir ve yansıma kaybı olmayacaktır. Eğer anten kayıpsız ise ($R_L = 0$) alınan gücün tamamı yayılım direnci R_r üzerinden ortama yayılacaktır.

Anten tasarımları ve elektronik devre tasarımlarında empedans uyumunu karakterize etmek için genelde yansıma katsayısı cinsinden geri dönüş kaybı tanımlanır. Geri dönüş kaybı (2.29) eşitliği ile verilir.

$$\Gamma(dB) = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.29)$$

Empedans uyumunu karakterize etmek için bir diğer parametre ise duran dalga oranıdır ($VSWR$ = Voltage Standing Wave Ratio). Duran dalga oranı, empedans süreksizliği olması durumunda (empedans uyumsuzluğu) oluşan duran dalga örüntüsünde voltajın maksimum tepe değerinin minimum tepe değerine oranı olarak tanımlanır [17].

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.30)$$

Mükemmel bir empedans uyumunun sağlanması $VSWR = 1$ olmasına karşılık gelir. Bu durumda antenden geriye yansıyan güç olmayacaktır.

UGB sistemlerde mükemmel bir empedans uyumunu ($VSWR = 1, \Gamma(dB) = -\infty$) sağlamak çok zordur. Bu nedenle sonuçların değerlendirilmesi için bazı başarımlar ölçütleri verilir. İstenen frekans bölgesinde $VSWR < 2$ veya $\Gamma(dB) \leq -10dB$ koşulları anten için kabul edilebilir çalışma parametre değerleri olarak tanımlanmıştır. Antenin $S_{11}(dB)$ grafiği $\Gamma(dB)$ değerlerinin frekansa göre çizdirilmesi ile elde edilir. -10dB sınırının altında kalan bölge antenin kullanılabileceği bölgedir. Ancak sadece geri dönüş kaybı değerlerinin -10dB sınırının altında olması yeterli değildir. İlgili rezonans frekanslarındaki ışıma diyagramları incelenerek antenin o bölgede kullanılıp kullanılmayacağına karar verilebilir.

UGB bir anten elde edebilmek için artan frekans değerleriyle değişen anten giriş empedansının Smith abağı üzerindeki $VSWR = 2$ çemberinin içinde kalması gerekmektedir [1]. Empedansın bu çember içinde kaldığı bölgede empedans uyumu sağlanmış ve anten ilgili frekans bölgesinde kullanılabilir demektir. Bununla birlikte antenin ilgili bölgede kullanılabilmesi için ışıma diyagramının da ilgili rezonans frekansında istenen özellikleri sağlaması gerekmektedir.

2.4.3 Antenin yönlendiriciliği, kazanç ve verimlilik

Bir antenin yönlendiriciliği (D =Directivity), antenin belirtilen bir yöndeki ışıma şiddetinin antenin tüm yönlerde yaptığı ortalama ışıma şiddetine oranı olarak

tanımlanır. Ortalama ışıma şiddeti anten tarafından yayılan toplam gücün 4π ye bölümüyle elde edilir.

Daha basit bir şekilde ifade etmek gerekirse izotropik olmayan (yönlü) bir kaynağın yönlendiriciliği (D), bu kaynağın belirtilen yöndeki ışıma şiddetinin izotropik (tüm yönlerde eşit ışıma yapan) bir kaynağın ışıma şiddetine oranıdır [2].

İzotropik bir kaynağın ışıma şiddeti toplam gücün 4π bölümüyle elde edilir.

$$U_0 = \frac{P_{rad}}{4\pi} \quad (2.31)$$

Yönlü bir antenin yönlendiriciliği D aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.32)$$

Eğer herhangi bir yön belirtilmemiş ise antenin ışıma şiddetinin maksimum olduğu yön alınır.

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.33)$$

Burada,

D = yönlendiricilik (birimsiz)

D_0 = maksimum yönlendiricilik (birimsiz)

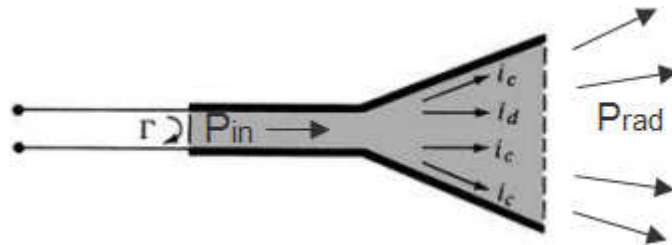
U = yayılım şiddeti (Watt/birim katı açısı)

U_{max} = maksimum yayılım şiddeti (Watt/birim katı açısı)

U_0 = izotropik kaynağın yayılım şiddeti (Watt/birim katı açısı)

P_{rad} = toplam yayılan güç (Watt)

Antenin diğer parametrelerinden biri de anten verimliliğidir.



Şekil 2.12 : Antenin yansıma, iletkenlik ve dielektrik kayıpları

Antenin toplam verimliliği e_0 , Şekil 2.12’de gösterilen antenin giriş uçlarındaki kayıpları ve antenin yapısındaki malzeme kayıplarını hesaba katmak için kullanılan bir parametredir. Bu kayıplar;

- i. Anten ile iletim hattı arasındaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan yansıma kayıpları
- ii. Dielektrik ve iletkenlik kayıpları (I^2R)

olarak tanımlanabilir.

Antenin toplam verimliliği;

$$e_0 = e_d e_c e_d \quad (2.34)$$

Burada,

e_0 = toplam verimlilik (birimsiz)

e_r = yansıma verimliliği= $(1-|\Gamma|^2)$ (birimsiz)

e_c = iletkenlik verimliliği (birimsiz)

e_d = dielektrik verimlilik (birimsiz)

Buradaki Γ , (2.28) eşitliği ile verilen yansıma katsayısıdır.

e_c ve e_d değerlerinin hesaplanması çok zordur ancak deneysel olarak ölçülebilmektedirler. Buna karşın, ölçümlerde bu iki değeri birbirinden ayırmak mümkün olmayacağından bu kayıpları aşağıdaki şekilde tanımlamak daha doğru olacaktır.

$$e_{cd} = e_c e_d \quad (2.35)$$

Bu eşitlikteki e_{cd} radyasyon verimliliğidir.

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in} \quad (2.36)$$

$$e_{cd} = \frac{P_{rad}}{P_{in}} \quad (2.37)$$

Antenin performansını tanımlamak için kullanılan bir diğer parametre ise anten kazancıdır. Antenin kazancı ile yönlendiriciliği birbiriyle çok bağlantılı olmasına karşın aralarında önemli bir fark vardır. Kazanç antenin yönlendirme yeteneğinin yanı sıra verimini de hesaba katar. Yönlendiricilik ise sadece yönlendirme yeteneği ile alakalıdır.

Antenin kazancı, verilen bir yöndeki ışıma şiddetinin antenin girişine gelen gücün anten izotropik bir antenmiş gibi kabul edildiğinde yaydığı ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanır.

$$Kazanç (G) = 4\pi \frac{\text{Işıma Şiddeti}}{\text{Anten tarafından Alınan Toplam Güç}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{birimsiz}) \quad (2.38)$$

Birçok durumda antenin verilen herhangi bir yöndeki güç kazancının bir referans antenin verilen yöndeki güç kazancına oranı olarak tanımlanan bağıl kazanç ile ilgilenilir. Her iki antenin girişine gelen güçler eşit olmalıdır. Referans kaynak olarak çoğu zaman kayıpsız izotropik kaynak kullanılır [2]. Bu nedenle;

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{kayıpsız izotropik kaynağın girişine gelen güç})} \quad (2.39)$$

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} \left[4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \right] \quad (2.40)$$

Bu durumda antenin kazancı, yönlendiriciliği ve verimi arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olacaktır.

$$G(\theta, \phi) = e_{cd} D(\theta, \phi) \quad (2.41)$$

$$e_{cd} = \frac{G}{D} \quad (2.42)$$

şeklinde olacaktır.

2.4.4 Bant genişliği

Bir antenin bant genişliği, antenin bazı karakteristikleri ile belirlenen anten performansının, belirlenmiş standartları sağladığı frekans aralığıdır. Yani antenin karakteristiklerinin kabul edilebilir seviyede olduğu frekans aralığıdır [2].

Bant genişliğini göstermek için iki yol kullanılabilir. Bunlardan birincisi üst frekans f_H ' ın alt frekans f_L ye oranı olarak tanımlanır ve $f_H : f_L$ şeklinde gösterilir.

İkinci yol ise kısmi bant genişliği bw olmak üzere sistemin bant genişliğinin merkez frekansına oranı şeklinde göstermektir [17].

$$bw = \frac{BW}{f_c} = \frac{f_H - f_L}{f_c} = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.43)$$

Bant genişliğini tanımlarken, belirlenmiş standartlara göre anten performansının tanımlanabileceği belirtilmişti. Antenin bant genişliği tanımlanırken f_H veya f_L değerlerini belirlemek için kullanılacak standart, frekansa göre hesaplanan geri dönüş kaybı değerlerinin -10dB'den küçük olduğu ya da buna karşılık gelen duran dalga oranının 2'den küçük olduğu bölgelerdir. Geri dönüş kaybının -10dB'den küçük

olduğu bölge anten performansının kabul edilebilir seviyede olduğu bölgedir. Bu bölge geniş bir bant boyunca olabileceği gibi bandın belirli bölgelerinde de olabilir. Bu durumda anten birden fazla banda sahip bir anten olacaktır. Bu tez kapsamında tasarlanan anten de çift bantlı bir antendir.

2.4.5 Işıma örüntüsü

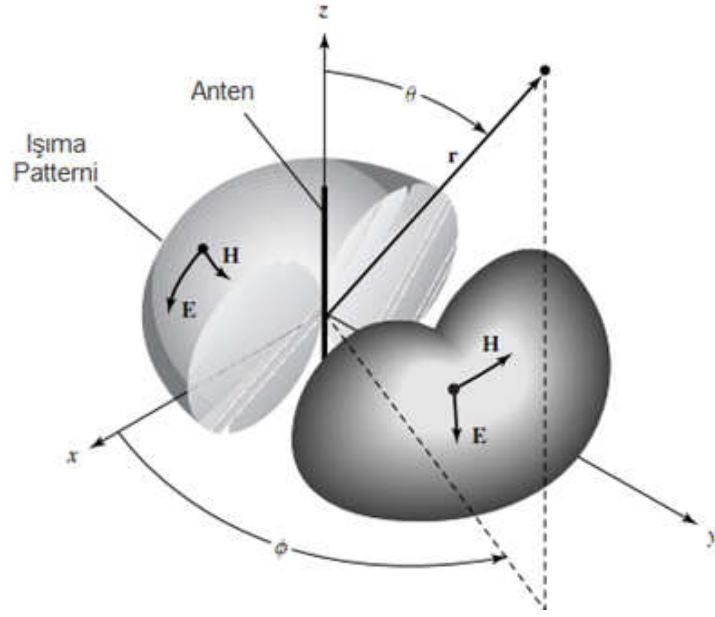
Anten ışıma örüntüsü, antenin yayılım parametrelerinin, uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel yada grafiksel gösterimdir.

Işıma örüntüsü bir antenin hangi yönde ne şiddete ışıma yaptığını tanımlayan bir uzak alan parametresidir. Her yöne ışıma yapan bir dipol antene ilişkin 3 boyutlu ışıma örüntüsü Şekil 2.13’de gösterilmiştir.

3 boyutlu ışıma örüntüsünün enine veya boyuna kesiti alınarak 2 boyutlu örüntüler elde edilmektedir. Birçok analizde x-y, x-z ve y-z kesitlerinde oluşan 2 boyutlu ışıma örüntüleri kullanılmaktadır. Şekil 2.13’deki 3 boyutlu gösterim dikkate alınarak $\theta=90^\circ$ için alınacak iki boyutlu kesit x-y düzlemine karşılık gelecektir. Bu düzleme aynı zamanda H düzlemi veya azimut düzlemi denir. Benzer şekilde $\Phi=0^\circ$ ve $\Phi=180^\circ$ için elde edilecek iki boyutlu kesit x-z düzlemine karşılık gelir ve $\Phi=90^\circ$, $\Phi=270^\circ$ için alınacak iki boyutlu kesitler ise y-z düzlemine karşılık gelecektir. $\Phi=\text{sabit}$ için alınan iki boyutlu dikey kesitlere E düzlemi veya elevasyon düzlemi denir.

3 boyutlu gösterimde, alan şiddeti değerleri renklerle ifade edildiğinden siyah beyaz bir baskıda bu gösterim çok şey ifade etmeyecektir. Ancak iki boyutlu gösterimde alınan kesit üzerinde değerler lineer ya da dB cinsinden belirtilir. Böylelikle daha sağlıklı bir inceleme olanağı sağlanmış olur.

Genellikle alan ve güç örüntüleri maksimum değerlerine göre normalize edilerek, normalize alan ve normalize güç değerleri elde edilir.



Şekil 2.13 : Tüm yönlü (omnidirectional) ışıma örüntüsü

3. CPW-FED MONOPOL PLANAR ANTENİN TASARIMI

Literatürdeki antenler incelendiğinde geniş bant uygulamaları için monopol planar antenlerin son derece uygun olduğu görülmektedir. Ayrıca düzlemsel bir yapıya sahip olmaları sisteme entegrasyonunu daha da kolaylaştırmaktadır. Toprak düzlemi ile ışıma yamasının aynı düzlem üzerinde bulunması, mikroşerit besleme ve koaksiyel beslemeye kıyasla daha düzlemsel bir yapı sunması, deliklerin olmaması nedeniyle daha az kayıplı olması ve entegrasyonunun daha kolay olması [9, 16] nedeniyle eşdüzlemsel hat besleme (CPW-fed) türü seçilmiştir. Antenin WLAN bölgelerinde kullanılacak çift bantlı bir monopol planar anten olması amaçlanmaktadır. Bu amaçla yola çıkılarak öncelikle HFSS (High Frequency Structure Simulator) kullanılarak benzetimler gerçekleştirildi. Bu tip antenlerin tam analizini yapmaya yardımcı olacak matematiksel ifadeler olmadığından deneme yanılma yolu ile sonuçlar optimize edilmeye çalışıldı. Tasarlanan anten HFSS'te simüle edilerek elde edilen sonuçlar incelendi ve anten parametrelerinin bilinen etkileri kullanılarak istenen sonuçlar elde edilmeye çalışıldı. Daha önceki bölümlerde anlatılan anten boyunun alt kesim frekansı ile olan ilişkisi kullanılarak alt kesim frekansı belirlenmeye çalışıldı. Ancak mevcut formüller toprak düzlemi ile ışıma yamasının birbirine dik olduğu durum için verilen yaklaşık formüllerdi. Bu nedenle formüller ile elde edilen alt kesim frekansı ile benzetim ile elde edilen alt kesim frekansı arasında fark olacaktır.

Dielektrik tabaka olarak $\epsilon_r = 4.4$ olan FR4-epoxy kullanılmıştır. Bulunması kolay olduğundan dielektrik tabaka kalınlığı $1mm$ olarak seçilmiş ve benzetimler buna göre yapılmıştır.

Yüksek frekanslarda empedans uyumunu arttırmak için besleme ile ışıma yaması arasındaki bölgenin etkisi ön bilgisi ile bu bölgede değişiklikler yapılarak geri dönüş kaybının frekansa göre değişimi olan S_{11} parametresi ve ışıma örüntüleri incelenerek istenen sonuç elde edilmeye çalışıldı. Başarım ölçütleri olarak (2.29) eşitliği ile verilen $\Gamma(dB)$ 'nin $\leq -10dB$ veya (2.30) eşitliği ile verilen duran dalga oranının

$VSWR < 2$ olduğu frekans bölgeleri kabul edildi. Ayrıca antenin istenen frekans bantlarında her yöne ışıma yapan bir anten olması amaçlandı.

Bundan sonraki bölümlerde benzetim programı olarak kullanılan HFSS (High Frequency Structure Simulator) programı tanıtılacak ve antenin kullanılacağı WLAN frekans bantları hakkında bilgi verilecek daha sonra antenin tasarım aşamalarına geçilecek.

3.1 HFSS (High Frequency Structure Simulator)

HFSS yüksek performanslı, herhangi bir şekle sahip 3 boyutlu hacimsel pasif elemanların benzetimi için kullanılan bir tam-dalga elektromanyetik (EM) alan simülatörüdür. HFSS, microsoftun bilinen kullanıcı ara yüzünü kullanır. Benzetim, görselleştirme, katı cisim modelleme ve otomasyonu, öğrenmesi kolay olan, 3 boyutlu EM problemlerin çabuk ve doğru bir şekilde elde edildiği bir ortamda birleştirir.

HFSS sonlu elemanlar yöntemini (FEM) kullanır. Ayrıca çözüm bölgesini ağırlara bölme işlemini otomatik adaptif yaparak (adaptif meshing) daha karmaşık yapıdaki bölgelerde daha doğru bir çözüme ulaşmayı sağlar. Sonuçları parlak renkli grafikler ile göstererek 3 boyutlu elektromanyetik problemlerin daha iyi anlaşılması için oldukça iyi bir performans sunar.

Ansoft HFSS;

- S parametreleri
- Rezonans frekansı
- Alan
- 2 boyutlu ve 3 boyutlu ışıma diyagramları

gibi parametreleri hesaplamak için kullanılabilir [18].

HFSS programının kullandığı sonlu elemanlar yöntemine (Finite Elements Method) kısaca değinelim.

3.1.1 FEM (Sonlu elemanlar yöntemi)

1943 yılında uçak, bina, makine gibi yapı tasarım ve analizinde kullanılmaya başlayan FEM 1968 yılına kadar EM problemlerin çözümünde kullanılmıyordu. Bu

tarihten sonra dalga kılavuzu problemleri, elektrik makineleri, yarı iletken malzemeler mikroşeritler ve EM dalgaların biyolojik organlar tarafından emilimi gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Kompleks geometrileri, inhomojen ortamları içeren problemleri çözmede kullanılan güçlü ve çok yönlü bir sayısal yöntemdir. Yöntemin sistematik olması, genel amaçlı bilgisayar programlarını kullanarak geniş çaplı problemlerin çözümüne olanak sağlar.

Herhangi bir problemin sonlu eleman analizi temel olarak aşağıdaki dört adımdan oluşur;

- i. Çözüm bölgesini sonlu sayıda alt bölge veya elemana bölmek
- ii. Her bir eleman için çözüm denklemlerini elde etmek
- iii. Çözüm bölgesinde tüm elemanları birleştirmek
- iv. Elde edilen denklem sistemini çözmektir

Finite Difference Method (FDM) ve Method of Moments (MoM) anlaşılması ve uygulanması daha basit ve kolay yöntemler olmalarına rağmen FEM karmaşık yapılar için daha iyi sonuçlar vermektedir [19].

3.2 Çalışmanın Uygulama Alanı

Bu çalışmada 802.11 standartlarının ISM (Industrial-Scientific-Medical) bantları olarak da adlandırılan 2.4 (2.4-2.4835 GHz UHF) ve 5 (5.125-5.825GHz) bantlarını kapsayan kablosuz iletişim uygulamaları bölgesinde kullanılabilecek iki bantlı ve her yöne ışıma yapan bir anten tasarımı amaçlanmıştır. Anten ayrıca GSM-1800 ve UMTS 2000 kanallarını da kapsayarak çok kanallı bir yapı göstermektedir.

802.11 standartlarına ilişkin aşağıda verilen bilgiler genel olarak [20] kaynağından derlenmiş bilgilerdir.

3.2.1 802.11 Legacy

802.11 iletişim kuralının ilk sürümü olan "Legacy" 1997 yılında piyasaya sürülmüştür. Bu sürüm iki farklı veri aktarma hızına sahipti. Bunlar 1Mbit/s ve 2Mbit/s hızlarıdır. Bu sürümde veri üç şekilde aktarılıyordu. Bunlar sırası ile kızıl ötesi, frekans atlamalı geniş spektrum (frekans sıçrama), ve seri çalışan frekans

etkileşim yöntemidir. Bu üç yöntem de sınai, bilimsel ve tıbbi frekans bandı (ISM) olan 2.4 GHz frekansında yayın yapmaktadır.

Bu sürüm esas erişim yöntemi olarak Carrier Sense Multiple with Collision Avoidance (CSM/CA) teknolojisi kullanılmaktaydı. CSM/CA veri aktarma hacmine ciddi bir yük getirmekle beraber, kötü koşullar altında da güvenilir veri aktarımı sağlıyordu.

Bu iletişim kuralı ilk çıktığı zaman piyasada altı farklı ürün bu kablosuz iletişim kuralını kullanmaya başlamıştı. Bu farklı şirketler tarafından çıkarılan ürünler arasında kısıtlı bir uyumluluk vardı.

802.11'in ilk sürümünün en önemli özelliği üreticilere ve kullanıcılara çok sayıda seçenek sunmasıydı. İlk bakışta çok faydalı bir özellik olarak gözükmekle beraber, bu özelliğin yarattığı çok önemli bir sorunda vardı. Çok sayıda seçenek sunulmasından dolayı piyasadaki farklı ürünler arasında uyum sorunu baş göstermişti.

Bu uyumsuzluk sorunu yüzünden iletişim kuralının bu sürümüne daha çok bir deneme sürümü diyebiliriz.

3.2.2 802.11a

802.11 iletişim standartlarında yapılan ilk değişikliktir. Piyasaya 1999 yılında sürülmüştür. Esas olarak bu iletişim standardı *Legacy* ile aynı yazılım yapı taşlarını kullanmaktaydı. Bu sürüm *Legacy*'e nazaran farklı frekans kullanmaktaydı. Aynı zamanda erişim mesafesinde ve veri hızı aktarımında ciddi değişiklik olmuştu.

802.11 iletişim kurallının en çok kabul görmüş diğer sürümlerinden (b,g) farklı bir frekans aralığı (2.4-2.5GHz) kullanmasının olumlu ve olumsuz yönleri var.

5 GHz frekansını kullanmanın olumsuz yönü sinyalin erişim mesafesi söz konusu olunca ortaya çıkıyor. "b" ve "g" sürümlerine nazaran bu sürümü kullanan cihazların erişim mesafesi daha kısadır. Bunun en önemli nedeni ise, 5 GHz frekans aralığında yayın yapan cihazın sinyallerinin duvar ve diğer nesneler tarafından daha fazla emilmesidir.

Bu frekansın olumlu yanı ise veri aktarım hızı ve veri aktarımındaki güvenilirlikte ortaya çıkıyor. Bu frekansta yayın yapan çok fazla kablosuz elektronik cihaz bulunmuyor. Bundan dolayı 802.11a kullandığı farklı frekans aralığı nedeni ile diğer

elektronik cihazların (mikrodalga fırın, kablosuz telefon, bluetooth iletişim standardı kullanan cihazlar v.s.) etkisine daha az maruz kalıyor. Aynı zaman içerisinde bu frekansta kullanılabilecek kanal sayısı da ciddi bir biçimde artırılmıştı. Bu özellikleri sayesinde 802.11a ofislerde kullanılmaya en uygun iletişim kuralı olmuştur. Daha pahalı cihazlarda bulunmasına rağmen iş ortamında şirketler tarafından tercih edilen iletişim kuralıdır.

3.2.3 802.11b

802.11b azami 11 Mbit/s lik bir ham hıza sahiptir ve orijinal standartta aynı cihazları bağlamak için kullanılır. 802.11b ürünleri mağazalarda 2000 yılından önce görülmeye başlandı. Orijinal standartlara göre fiyatların önemli derecede azalması 802.11b'nin belirgin bir şekilde WLAN teknolojisi olarak kabul edilmesini sağladı. Ancak 802.11b aygıtları ile 2.4 GHz ile çalışan mikrodalga fırınları, bluetooth aygıtları ve kablosuz telefonlar gibi diğer cihazlar arasında parazitlenmeler meydana gelmektedir.

3.2.4 802.11g

2003 yılında üçüncü bir modülasyon standardı olan 802.11g onaylandı. Bu standart 802.11b ile aynı frekansı kullanır ancak 802.11a ile aynı iletim şemasına sahiptir. 802.11g 54 Mbit/s lik bir maksimum fiziksel katman bit hızına sahiptir.

2003 yılında önerilen 802.11g standardı düşük maliyetinin yanı sıra daha yüksek veri hızı nedeniyle kullanıcılar tarafından kısa sürede kabul edilmiştir.

Buna karşın 2.4GHz frekans aralığında çalışan 802.11b ve 802.11g uyumlu cihazların iletişim kalitesi ve hızı, diğer Wi-Fi cihazlar dışında, bluetooth, mikrodalga fırın, telsiz telefon, bazı telsizler ve benzeri radyo sinyalleriyle çalışan cihazlar tarafından düşürülebilir veya tamamen engellenebilir.

3.2.5 802.11n

802.11n, daha önceki 802.11 standartlarının eksiklikleri üzerinde yapılan iyileştirmelerdir. Diğer standartlardan farklı olarak MIMO (multiple input multiple output) antenler eklenmiştir. Diğer standartlara göre daha yüksek iletim hızına ve erişim mesafesine sahiptir. Bu standart 2.4GHz ve 5GHz bantlarında çalışır. Yapılan değişiklikler 2009 yılında IEEE tarafından onaylandı ve yayınlandı.

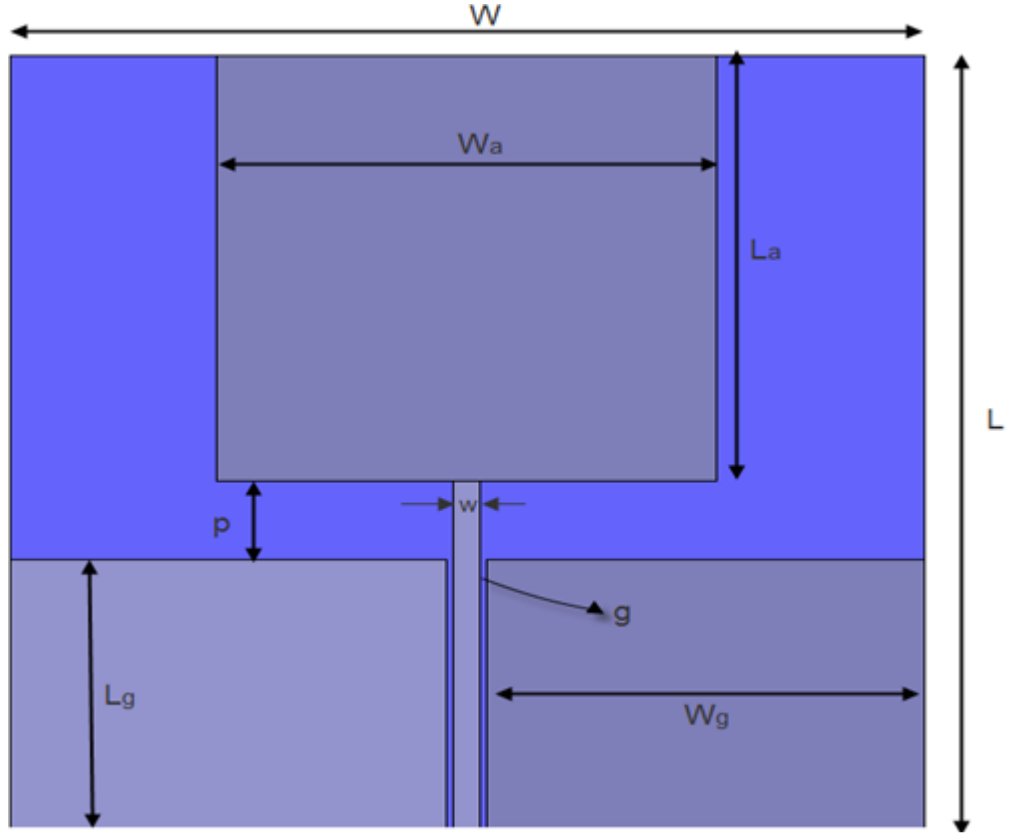
802.11 standartlarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 : WLAN standartları için genel bilgiler

Standart ismi	Çıkış tarihi	Frekans	Veri hızı	Azami hızı	Erişim(iç mekan)	Erişim(dış mekan)
Legacy	1997	2.4-2.5 GHz	0.7 Mbit/s	2 Mbit/s	~Duvar Yapısına Göre Değişir	~75 metre
802.11a	1999	5.15-5.25/5.25-5.35/5.49-5.71/5.745-5.825 GHz	23 Mbit/s	54 Mbit/s	~13 metre	~100 metre
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	4 Mbit/s	11 Mbit/s	~35 metre	~110 metre
802.11g	2003	2.4-2.5 GHz	19 Mbit/s	54 Mbit/s	~35 metre	~110 metre
802.11n	Eylül 2008	2.4 GHz ve/veya 5 GHz	74 Mbit/s	248 Mbit/s	~70 metre	~250 metre

3.3 Anten Geometrisi ve Parametreleri

Tez kapsamında tasarlanan anten bir adet ışıma yaması, bir adet besleme şeridi ve besleme şeridine göre simetrik iki adet toprak levhasından oluşmaktadır. Geleneksel antenin geometrisi ve değişiklik yapılacak parametreler Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Besleme şekli olarak toprak levhaları ile ışıma yamasının aynı düzlemde olduğu eş düzlemsel dalga kılavuzu besleme türü kullanılmıştır.



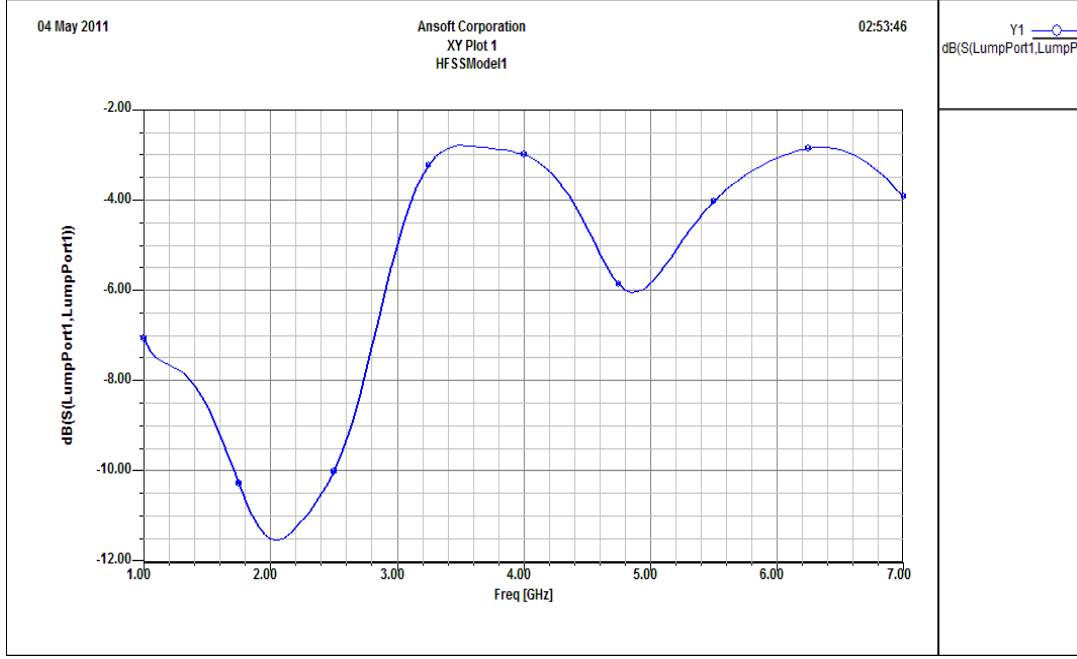
Şekil 3.1 : Monopol düzlemsel anten ve parametreleri.

Şekil 3.1’de verilen geleneksel antene ilişkin parametrelerin başlangıç değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Analize bu değerler ile başlanmış ancak her bir parametrenin etkisini incelemek için diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile bir parametrenin değeri değiştirilerek analiz yapılmıştır.

Çizelge 3.2 : Geleneksel antene ilişkin değerler.

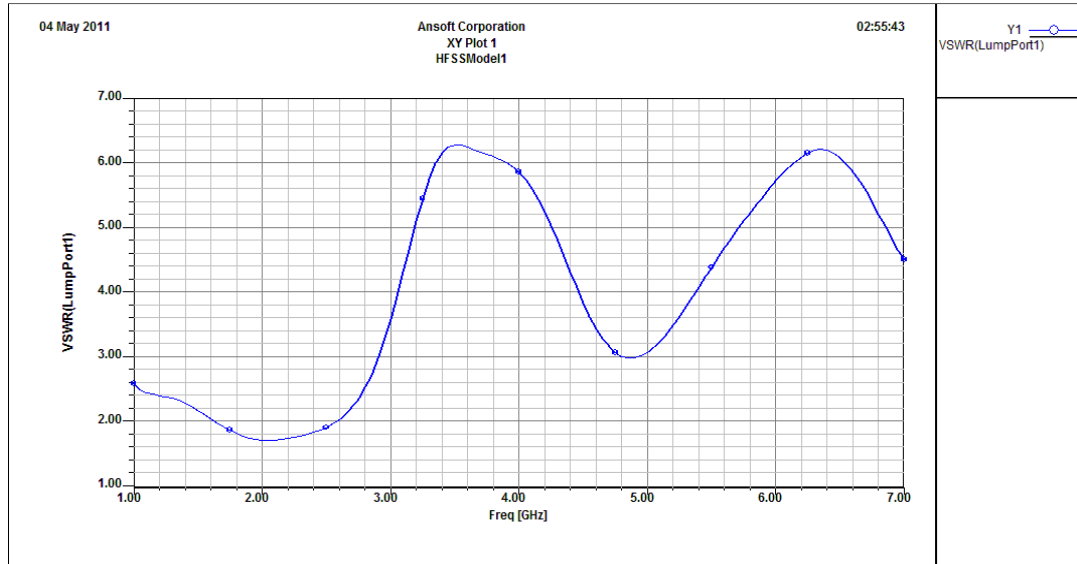
W	L	W_a	L_a	W_g	L_g	p	g	W
73.2mm	77.4mm	40mm	40mm	35mm	30mm	7.3mm	0.6mm	2mm

Geleneksel antene ait S_{11} grafiği Çizelge 3.2’de verilen değerler için Şekil 3.2’deki gibi elde edildi. Bu şekilde 2.4GHz ve 5.4GHz frekansları için 3 boyutlu ışıma diyagramları ve θ ve Φ açılarına bağlı olarak iki boyutlu ışıma diyagramları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Geleneksel antenin frekansa göre geri dönüş kaybı grafiği

Antenin S_{11} grafiği, daha önce de belirtildiği gibi antene gelen gücün ne kadarının yüke aktarıldığı ne kadarının geri döndüğü hakkında bilgi verir. Yani besleme ile anten arasındaki empedans uyumunu göstermektedir. Geri dönüş kaybının -10dB'nin altında olduğu bölgelerde empedans uyumunun iyi olduğu kabul edilir. Bu durum aynı zamanda duran dalga oranının (VSWR) 2'nin altında olmasına karşılık gelir. Duran dalga oranına ilişkin grafik Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



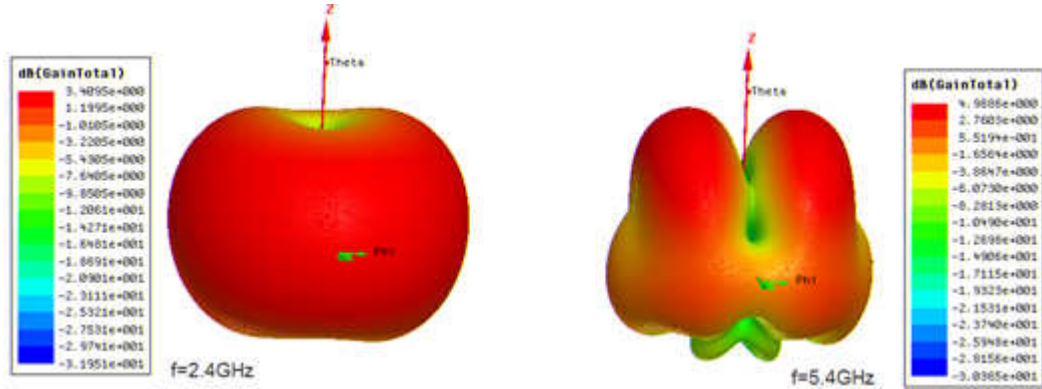
Şekil 3.3 : Geleneksel antenin duran dalga oranının frekansa göre değişimi

Bu antene ilişkin (VSWR=2 için) alt kesim frekansı f_L , Şekil 3.3'ten de görüldüğü gibi 1.6GHz'dir. Alt kesim frekansı (2.12) ve (2.20) eşitlikleri ile hesaplandığında

sırasıyla 1.55GHz ve 1.34GHz olarak hesaplanmıştır. (2.12) eşitliği kullanılarak elde edilen değer, benzetim sonucu ile elde edilen değere daha yakın çıkmıştır. Sonuçların birebir örtüşmemesinin nedeni bu eşitliklerin düzlemsel olmayan monopol antenler için elde edilmiş yaklaşık formüller olmasıdır. Buna karşın yine de alt kesim frekansının belirlenmesinde oldukça yaklaşık bir değer sağlamıştır.

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 incelendiğinde 2.3-2.9GHz frekans aralığında empedans uyumunun kabul edilen seviyede olduğu ancak derinliğin yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. İndiği minimum değer -12dB civarındadır. Simülasyonun gerçekleşeceği düşünüldüğünde bu değer makul bir değer değildir. Çünkü pratik ile simülasyon sonuçları bir çok nedenden dolayı tam olarak örtüşmemektedir. Dolayısıyla hem geri dönüş kaybının daha aşağı değerlere çekilmesi hem de 5.125-5.825GHz frekans aralığını içeren ikinci bandın elde edilmesi gerekmektedir.

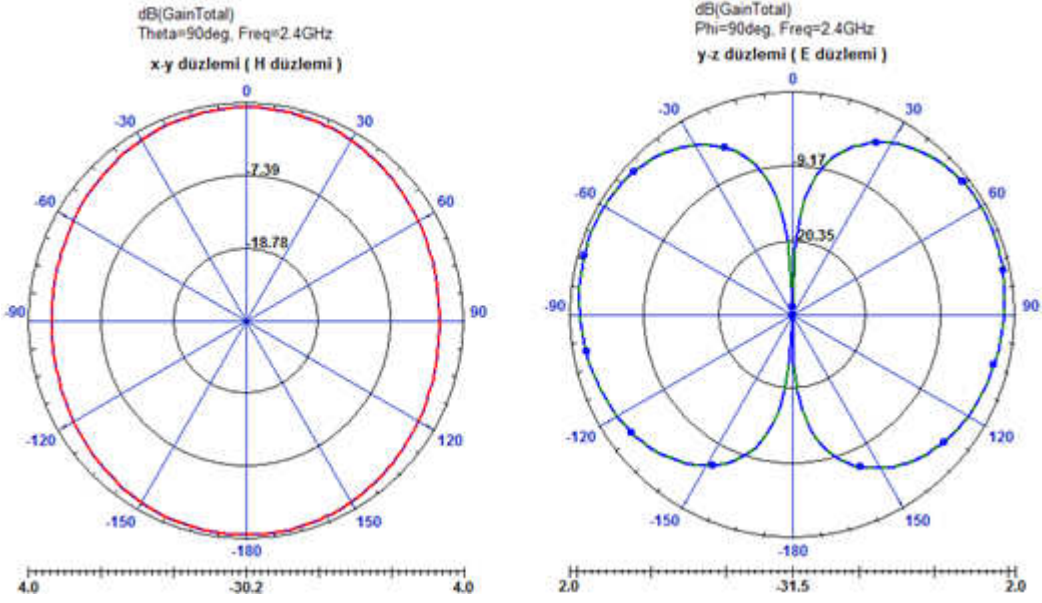
Geleneksel antenin 3 boyutlu ışıma diyagramı Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



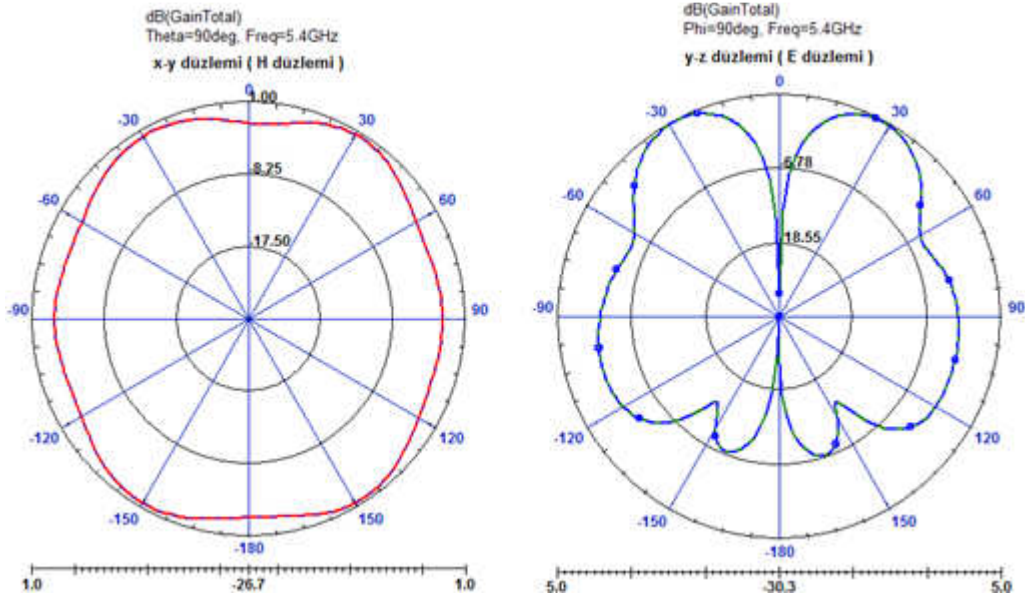
Şekil 3.4 : Geleneksel antenin 2.4GHz ve 5.4GHz’ de üç boyutlu ışıma diyagramı.

Tasarlanacak antenin her yöne ışıma yapması (omnidirectional olması) istenmektedir. Şekil 3.4 incelendiğinde dikdörtgen ışıma yamalı düzlemsel antenin 2.4GHz’de her yöne eşit şiddette ışıma yaptığı görülmektedir.

Antenin iki boyutlu ışıma diyagramları Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Bu grafikler üç boyutlu ışıma diyagramının düşey ve yatay kesitlerini göstermektedir. Işıma şiddetinin yöne bağlı olarak bir başka gösterim şeklidir. x-y düzlemi (H düzlemi) ve y-z düzlemindeki (E düzlemi) kesitleri f=2.4GHz ve f=5.4GHz için verilmiştir.



Şekil 3.5: Geleneksel antenin 2.4GHz’de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.



Şekil 3.6: Geleneksel antenin 5.4GHz’de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.

Şekil 3.4 ve Şekil 3.6 incelendiğinde 5.4GHz de ışımanın her yöne eşit şiddette olmadığı bazı yönlerde iyi ancak bazı yönlerde nispeten daha kötü olduğu görülmektedir.

Şimdiye kadar yapılan analizler sonucunda mevcut antenin eksiklikleri;

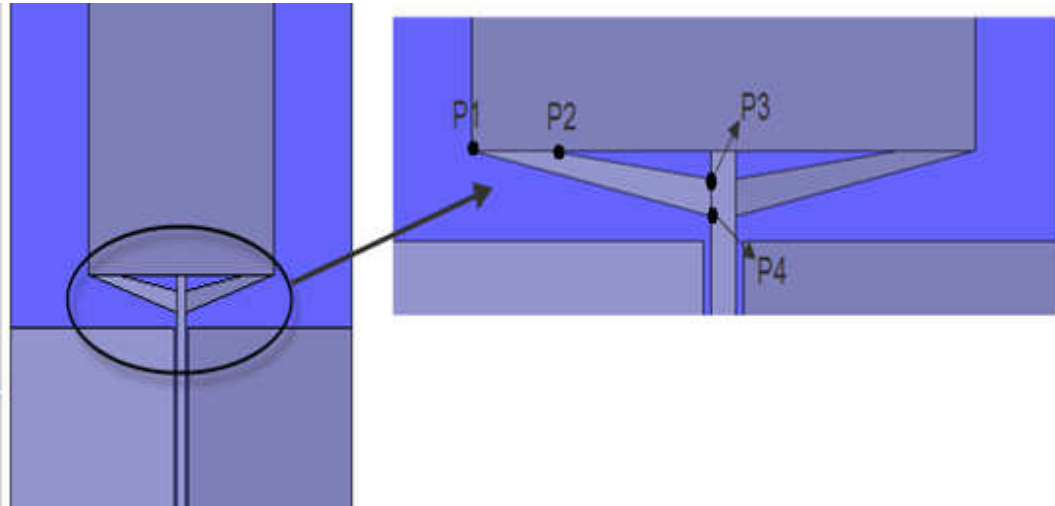
- 2.0-3.0GHz frekans aralığını kapsayan frekans bandında geri dönüş kaybının -10dB sınırından yeterince düşük değerlere inmemiş olması,
- 5.125-5.825GHz frekans aralığını içeren ikinci bandın elde edilememiş olması,

iii. 5.4GHz'de ışımanın her yöne eşit şiddette olmaması

olarak saptanabilir. Bu durumda antenin geri dönüş kaybının daha düşük değerlere çekmek, çift bantlı bir frekans karakteristiği elde etmek ve yüksek frekanslarda ışımanın her yöne olmasını sağlamak bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Analizin bundan sonraki kısmında mevcut antenin bu eksiklikleri giderilerek istenen özelliklere sahip antenin tasarımı amaçlanmıştır. Bu analiz genel olarak simülasyon sonuçlarına göre vektörel alanların ve yüzey akımlarının ışıma yaması üzerindeki dağılımlarını incelemek şeklinde yapılmıştır. Anten boyu ile alt kesim frekansı arasındaki ilişki matematiksel olarak bilinmekle birlikte bazı değişikliklerin ne gibi etkiler yapacağı ön bilgisi deneysel olarak bilinmektedir. Bu ön bilgiler ile şekil üzerinde değişiklikler yapıldı. Değişiklikler kontrollü bir şekilde yapılarak sonuçlar gözlemlendi. Elde edilen iyi bir sonuç bir sonraki aşamanın ilk adımını oluşturdu. Bu şekilde rekürsif bir şekilde iyileştirme adımları izlendi.

Bu amaçla birçok denemeden sonra besleme şeridi üzerine ışıma yamasına temas eden, besleme şeridine göre simetrik iki adet yan şerit eklendi. Bu yan şeritler birinci banttaki geri dönüş kaybı değerlerini daha düşük değerlere çekerken yüksek frekanslarda ikinci bir bant daha oluşturdu. Böylelikle daha iyi bir empedans uyumu elde edilmiş oldu. Yan şeritlerin eklenmiş olduğu yeni anten yapısı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Yan şeritler eklenmiş yeni anten şekli.

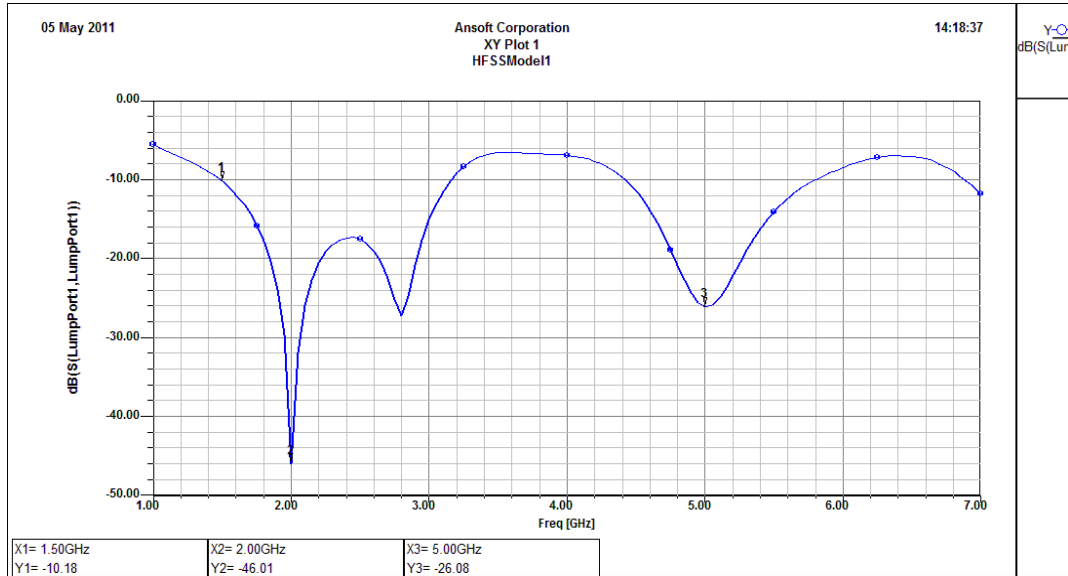
P1, P2, P3 ve P4 değişken parametreler olarak kullanılarak en iyi sonuçlar elde edilmeye çalışıldı. Yapılan benzetimler ile bu noktaların empedans uyumunda ve

ışma diyagramı üzerinde son derece etkili olduğu görüldü. Böylelikle yeni eklenen bu yan şeritler bir kontrol aracı olarak kullanıldı. Frekans karakteristiğini ve ışıma diyagramını iyileştirmek için değişiklikler yapılarak istenen sonuçlar elde edilmeye çalışıldı. Çizelge 3.2'deki koordinatlar için elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Yan şeridin koordinatları.

P1(x, y, z) mm	P2(x, y, z) mm	P3(x, y, z) mm	P4(x, y, z) mm
(0, -20, 37.3)	(0, -14, 37.3)	(0, -1, 35)	(0, -1, 32)

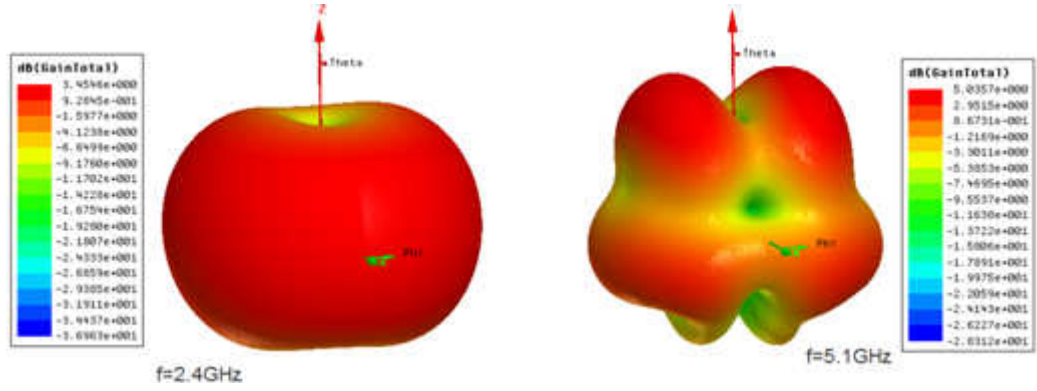
Bu koordinatlar birçok denemeden sonra elde edilmiştir. Bu koordinatlar için elde edilen S_{11} karakteristiği Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



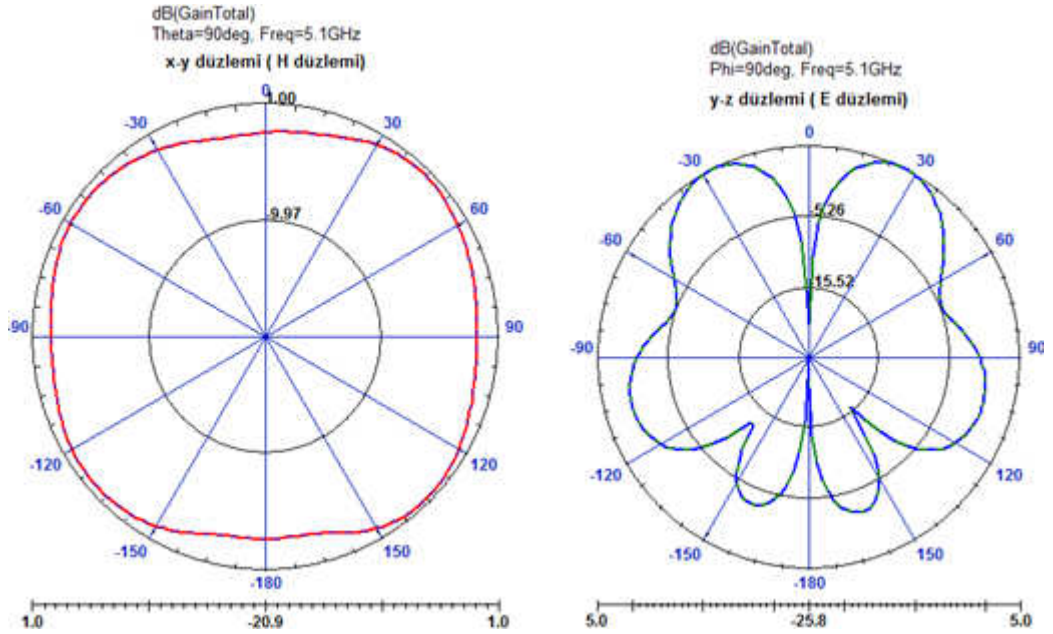
Şekil 3.8 : Yan şeritler ekleniş yeni antenin S_{11} grafiği.

Şekil 3.8 incelendiğinde ilk duruma göre birinci banttaki geri dönüş kaybı değerleri oldukça aşağı değerlere çekilmiş, bu banttaki empedans bant genişliği %38 den %72 ye çıkartılmış ve yüksek frekanslarda $f_c = 5.1GHz$ olan %27 bant genişliğine sahip ikinci bir bant daha elde edilmiştir. Bu bant için -10dB kesim frekansları $f_L = 4.4GHz$, $f_H = 5.8GHz$ olarak elde edilmiştir. Ancak antenin WLAN uygulamalarında kullanılması amaçlandığından bu bölgedeki f_H değerinin biraz daha yukarı çekilmesi gerekmektedir. Üstelik benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçları arasındaki olası farklar düşünüldüğünde bu değer son derece kritik bir değer olacaktır.

Yan şeritler eklenmiş yeni antene ilişkin ışıma diyagramları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Yan şeritler eklenmiş durumda 2.4GHz ve 5.1GHz için ışıma diyagramları.



Şekil 3.10 : Yan şeritler eklenmiş durumda 5.1GHz için E ve H düzlemleri ışıma diyagramları.

Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 incelendiğinde yeni durumda 5.1GHz'deki ışıma diyagramlarında x-y ve x-z düzlemlerinde nispeten bir iyileşme olduğu görülmektedir. Ancak durum hem frekans hem de ışıma diyagramı karakteristiği açısından henüz istenen düzeyde değildir.

Bir sonraki aşamada ışıma yamasının genişliğinin bant genişliği üzerindeki etkisi bilindiğinden bu bölgede değişiklikler yapıldı. Ayrıca dielektrik malzemenin genişliği artırılarak daha düzgün alan dağılımları elde edilmeye çalışıldı. Bu şekilde yapılan değişiklikler ile Çizelge 3.4'deki uygun değerler elde edildi.

Çizelge 3.4 : Tasarlanan anten için optimum değerler.

W	L	W_a	L_a	W_g	L_g	P	g	W
89.2mm	82.4mm	50mm	35mm	35mm	30mm	7.3mm	0.6mm	2mm

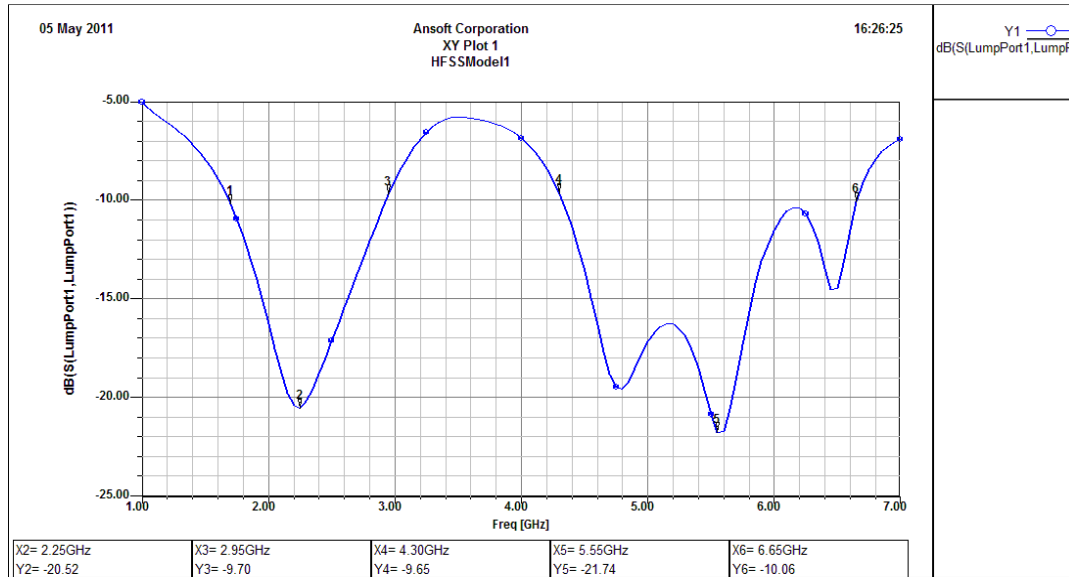
Bu durumdaki P1, P2, P3, P4 noktalarının yeni koordinat değerleri Çizelge 3.5'teki gibidir.

Çizelge 3.5 : Optimum durumdaki koordinat değerleri.

P1(x, y, z) mm	P2(x, y, z) mm	P3(x, y, z) mm	P4(x, y, z) mm
(0, -25, 37.3)	(0, -17, 37.3)	(0, -1, 35)	(0, -1, 32)

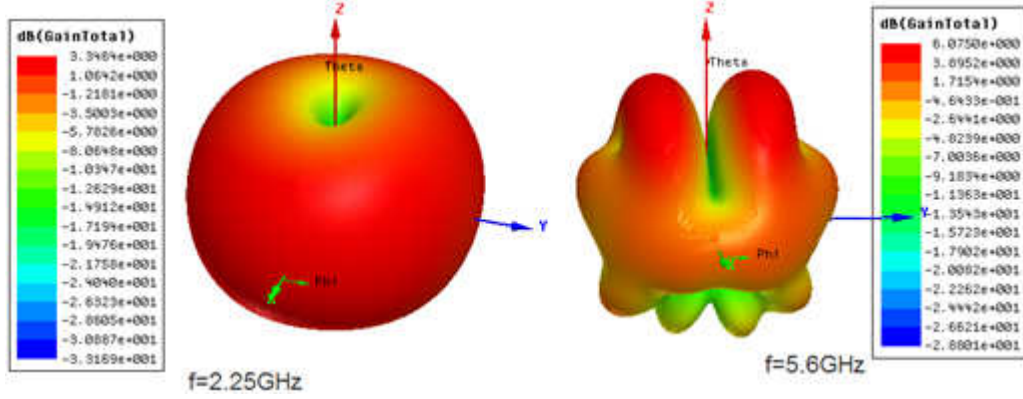
Bu duruma ilişkin geri dönüş kaybı değerleri ve ışıma diyagramları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.11 incelendiğinde birinci bantta bir önceki duruma göre -10dB alt kesim frekansı 1.7GHz'e yükselmiş, rezonans frekansı 2GHz'den 2.4GHz'e kaymıştır. Bu banttaki bant genişliği bir önceki duruma göre %72'den %53.7'ye inmiştir. Ancak mevcut bant genişliği amaçlanan uygulamalar için yeterli düzeydedir.

İkinci bant incelenecek olursa bir önceki duruma göre bir iyileşme olmuştur. Bant genişliği %27'den %43'e yükselmiştir. Bu durum için elde edilen frekans karakteristiği amaçlanan uygulama için yeterli düzeydedir.

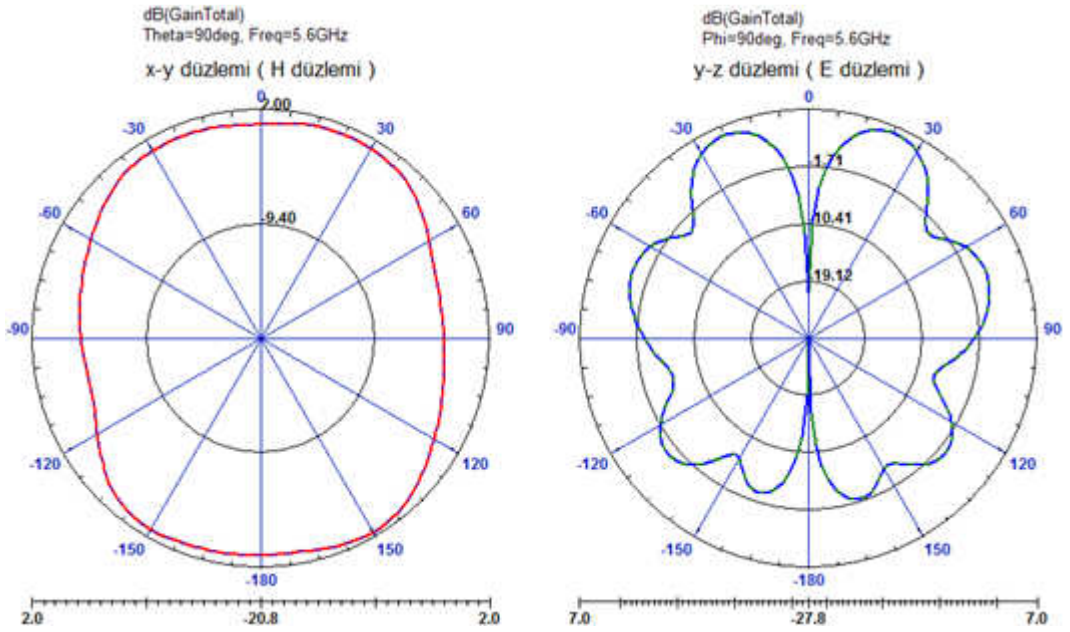


Şekil 3.11 : Optimum değerler için S_{11} karakteristiği.

Amaçlanan uygulama için oldukça iyi bir S_{11} karakteristiği elde edilmesine rağmen Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 incelendiğinde birinci banttaki ışıma diyagramı bir önceki durumla benzer olarak her yöne ışıma yaparken ikinci banttaki ışıma diyagramı kötüleşmiştir. Bundan sonraki aşama mevcut S_{11} karakteristiğini bozmadan ışıma diyagramını iyileştirmek olacaktır.



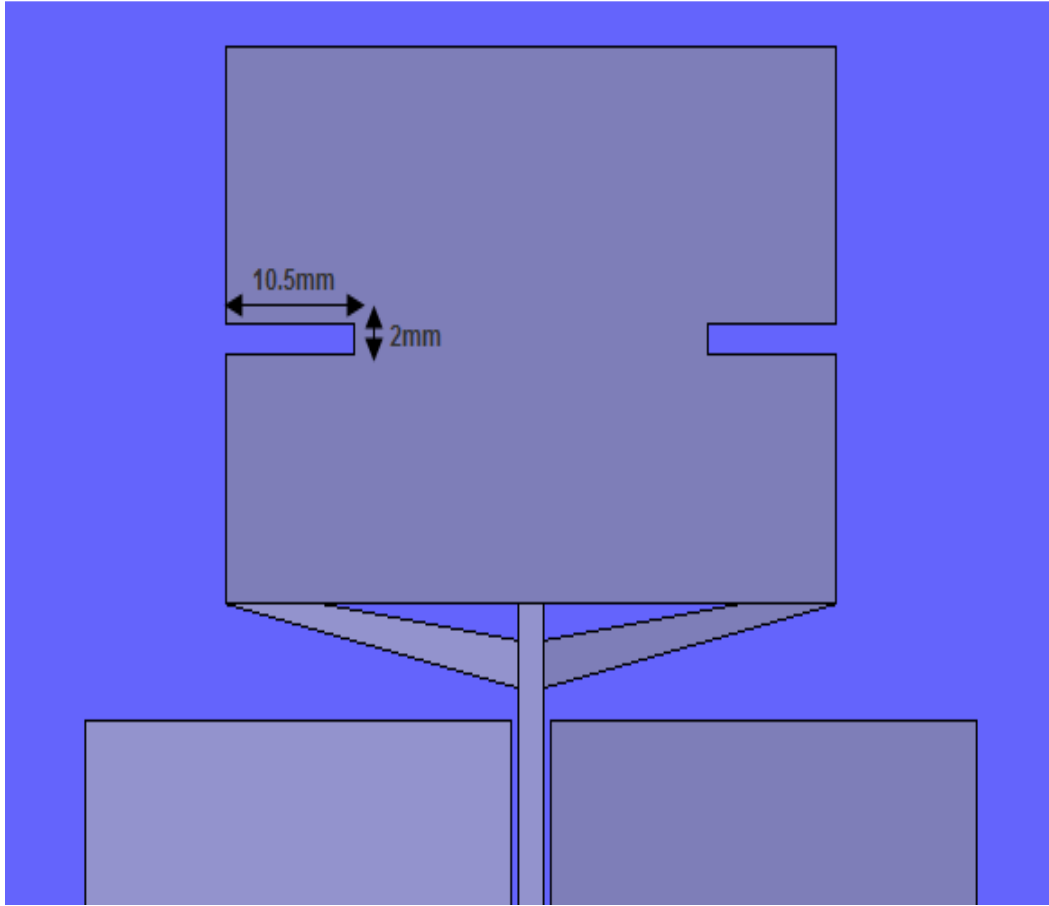
Şekil 3.12 : Işıma yaması genişletilmiş durumdaki ışıma diyagramları.



Şekil 3.13 : Işıma yaması genişletilmiş durumdaki antenin E ve H düzlemi ışıma diyagramları.

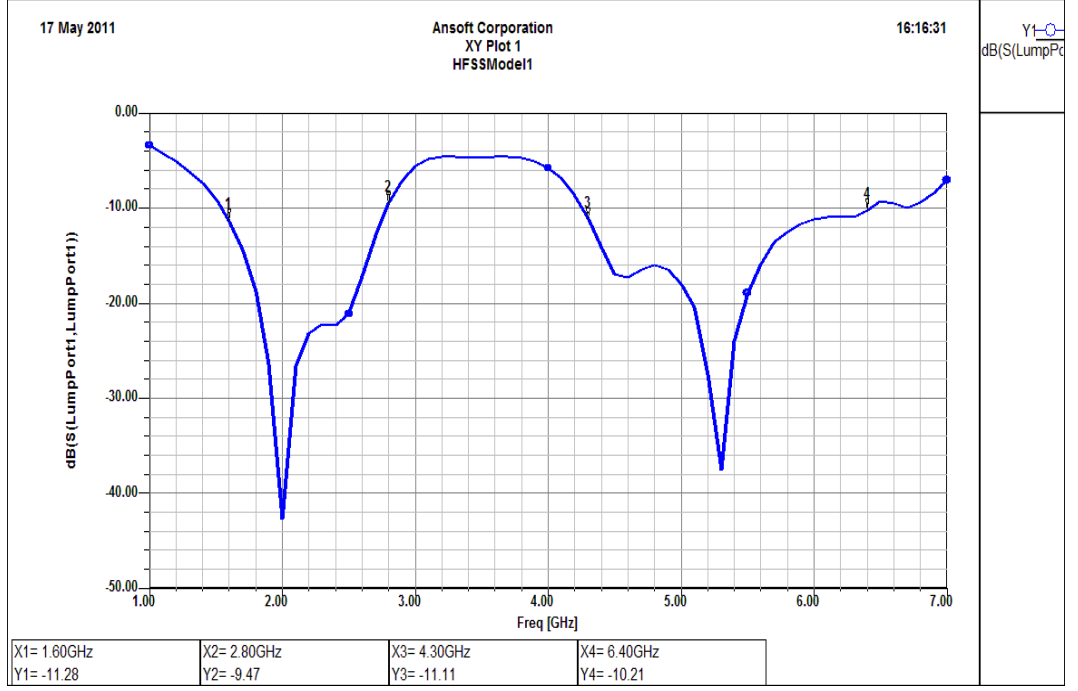
Yüksek frekanslarda da her yöne ışıma yapan bir ışıma örüntüsü elde etmek için ışıma yaması üzerinde alan dağılımları ve yüzey akımları incelendi. Elektrik alan dağılımı vektörel olarak analiz edildiğinde alanın sıfır geçiş noktalarında ışıma şiddetinde zayıflama olduğu gözlemlendi. Dolayısıyla eğer bu sıfır noktaları kaldırılabilirse ya da yeri değiştirilebilirse bu noktalarda daha güçlü bir ışıma şiddeti

elde edilecek ve dolayısıyla daha düzgün ışıma yapan bir anten elde edilmiş olacaktır. Bu amaçla ışıma yaması üzerindeki sıfır geçiş bölgelerinde Şekil 3.14’de görüldüğü gibi iki adet çentik açıldı. Bu çentiklerin en ve boy değerleri değiştirilerek ışıma şiddeti iyileştirilmeye çalışıldı. Analiz yapılırken yarıkların en ve boy değerleri simetrik olarak değiştirildi. Genel olarak parametrelerin biri değiştirilirken diğer tüm parametreler sabit tutuldu. Böylelikle bir parametrenin genel etkisi karakterize edilmeye çalışıldı. Ancak böyle bir yapıda, bir parametrenin değişimi diğer tüm parametreleri de değiştireceğinden bu şekilde bir analiz son derece karışık olacaktır. Dolayısıyla herhangi bir parametrenin bir değeri için elde edilen iyi bir sonuç bu parametrenin başka bir değeri için çok kötü olabilmektedir.



Şekil 3.14 : Işıma yaması üzerinde açılan çentikler.

Yapılan birçok analizden sonra eni 10.5mm ve boyu 2mm olan dikdörtgen, simetrik iki adet çentik açıldı. Bu çentiklerin eklendiği durumdaki S_{11} karakteristiği, iki boyutlu ve üç boyutlu ışıma diyagramları aşağıda verilmiştir.



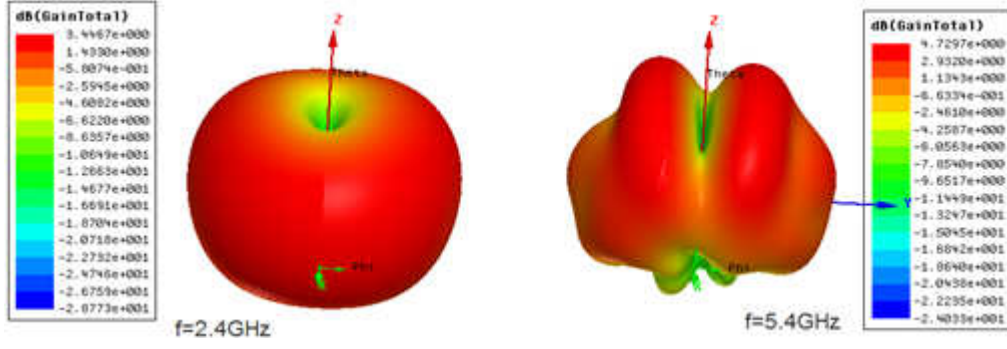
Şekil 3.15 : Çentikli anten için S_{11} grafiği.

Şekil 3.15 'te verilen geri dönüş kaybı grafiği tam olarak istenen özellikleri sağlayan bir sonuç olmuştur. Birinci bantta 2.0GHz' de birinci rezonans frekansı elde edilirken ikinci bantta da 5.25GHz' de ikinci rezonans frekansı elde edilmiştir.

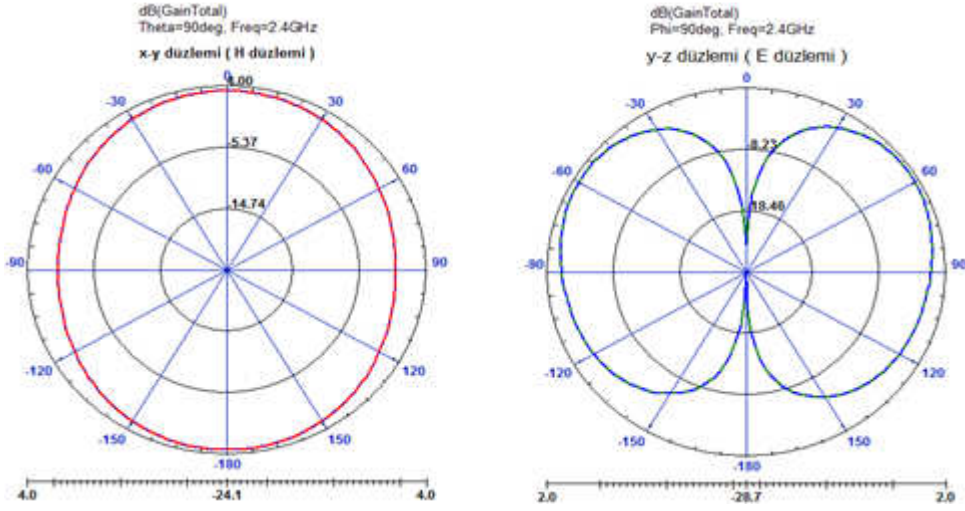
Birinci bandın -10dB alt kesim frekansı $f_L = 1.55GHz$ olarak elde edilmiştir. $W = 5cm$, $L = 3.5cm$, $p = 0.73cm$ olmak üzere (2.8) eşitliği kullanılarak $r = 0.795cm$ olarak hesaplanır.

Bu değerler kullanılarak sırasıyla (2.12) eşitliği için $f_L = 1.67GHz$, (2.20) eşitliği için $f_L = 1.43GHz$ olarak hesaplanır. Bu değerler benzetim sonucu ile elde edilen frekans değerine yakındır. Ancak değerlerin birebir örtüşmemesi doğaldır zira bu eşitlikler düzlemsel olmayan monopol antenler için verilmişti. Üstelik mevcut anten üzerinde açılan çentikler ve eklenen yan şeritler akım yollarını değiştirerek antenin efektif uzunluğunu değiştirmektedir. Dolayısıyla bu formüller yaklaşık olarak bir değer hesaplamak için kullanılabilecek değerlerdir. Tasarlanacak antenin -10dB alt kesim frekansı bu eşitlikler kullanılarak yaklaşık değerler elde edilebilmektedir.

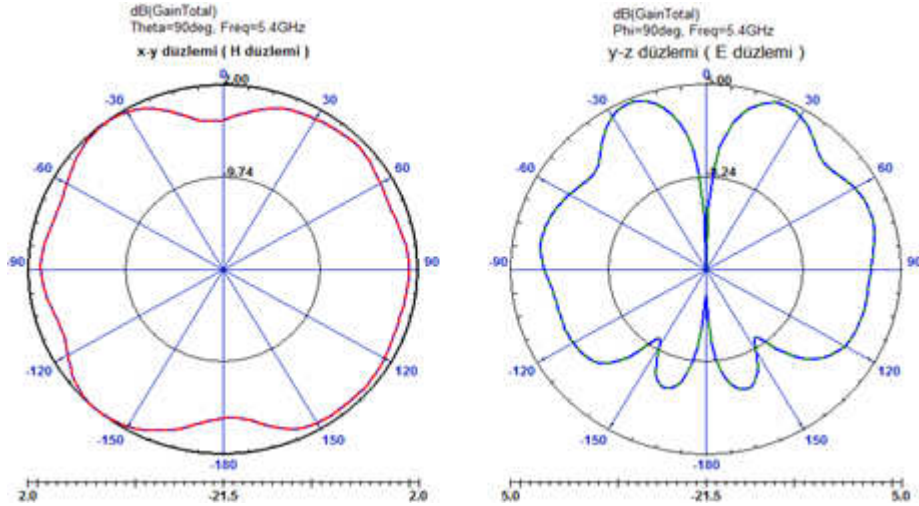
Şekil 3.15'teki S_{11} karakteristiği için empedans bant genişliği birinci bantta %57, ikinci bantta ise yaklaşık olarak %40'tır.



Şekil 3.16 : Çentikli anten için ışıma diyagramı.



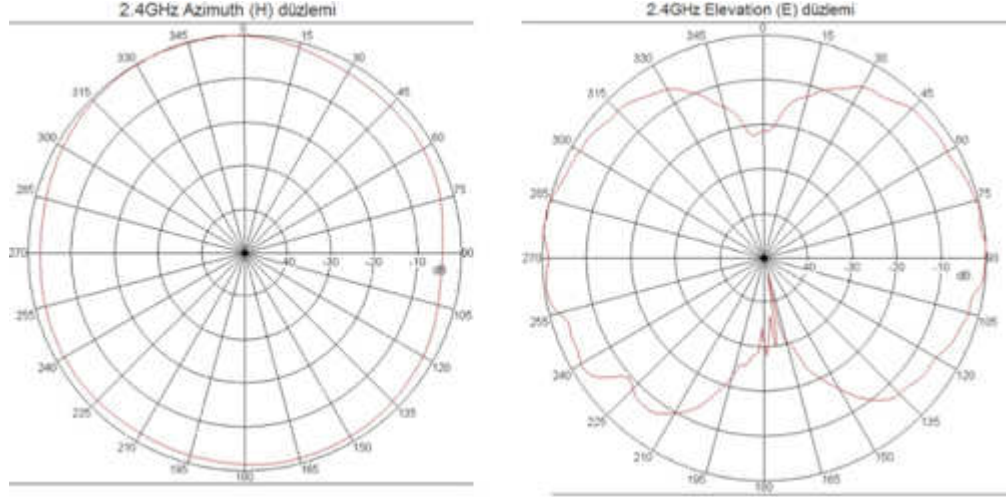
Şekil 3.17 : Çentikli anten için 2.4GHz’de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.



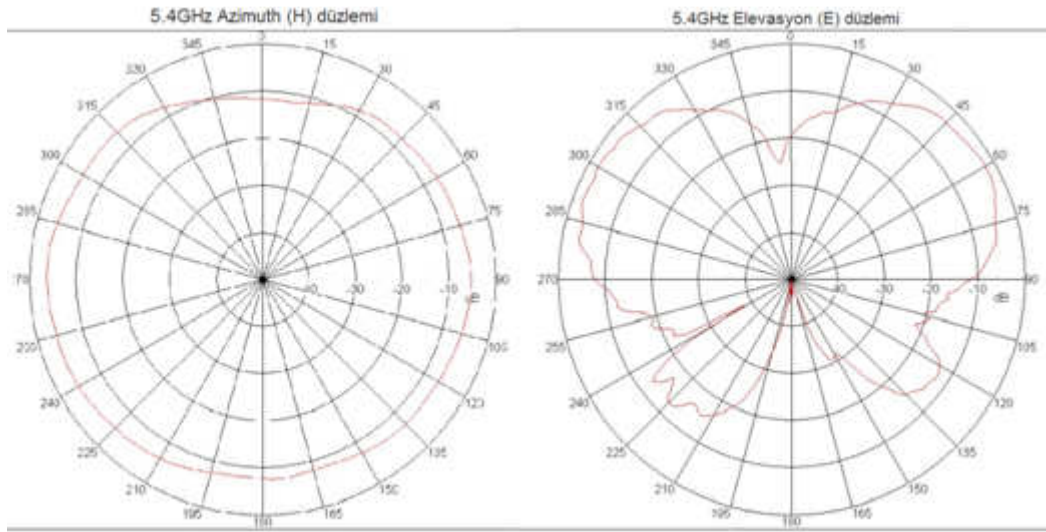
Şekil 3.18 : Çentikli anten için 5.4GHz’de E ve H düzlemi ışıma diyagramları.

Mevcut anten için S_{11} karakteristiği kabul edilebilir seviyededir. Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 incelenecek olursa ışıma diyagramlarının yaklaşık olarak her yöne ışıma şeklinde (omnidirectional) olduğu görülmektedir. 2.4GHz frekansındaki ışıma diyagramları referans alınarak karşılaştırma yapılabilir.

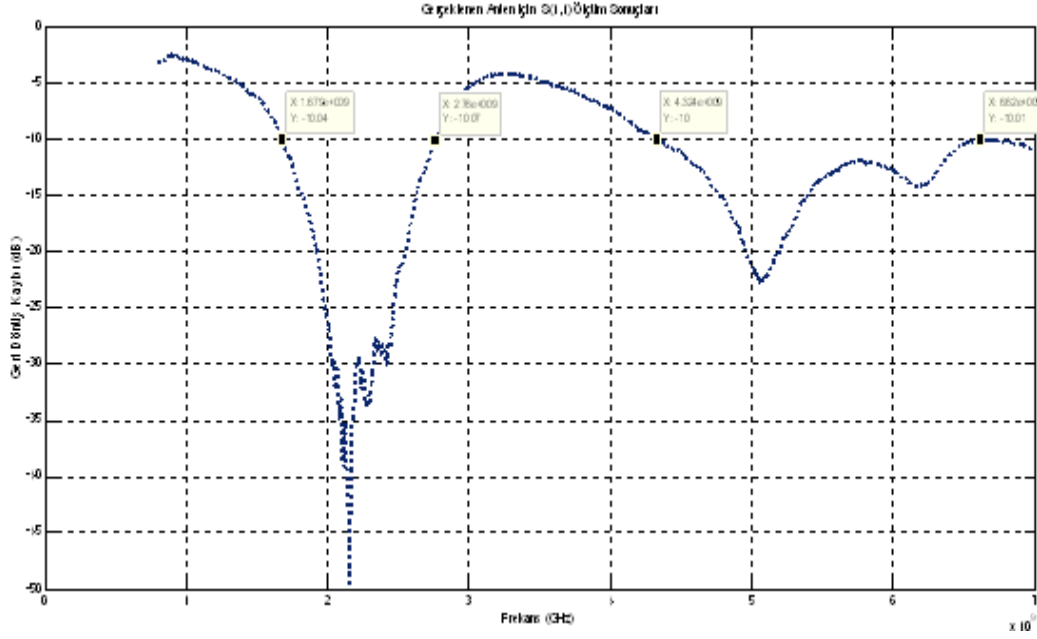
Tüm bu aşamalardan sonra WLAN bölgelerinde iyi bir geri dönüş kaybı grafiği veren ve bu bölgelere de her yöne ışıma yapan monopol planar antenin tasarım aşaması tamamlandı. Bu aşamalardan sonra tasarlanan anten gerçekleştirilerek ölçümleri yapıldı. Ölçümlere ilişkin iki boyutlu ışıma örüntüleri Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’ de verilmiştir.



Şekil 3.19 : 2.4GHz için ölçüm sonuçları.



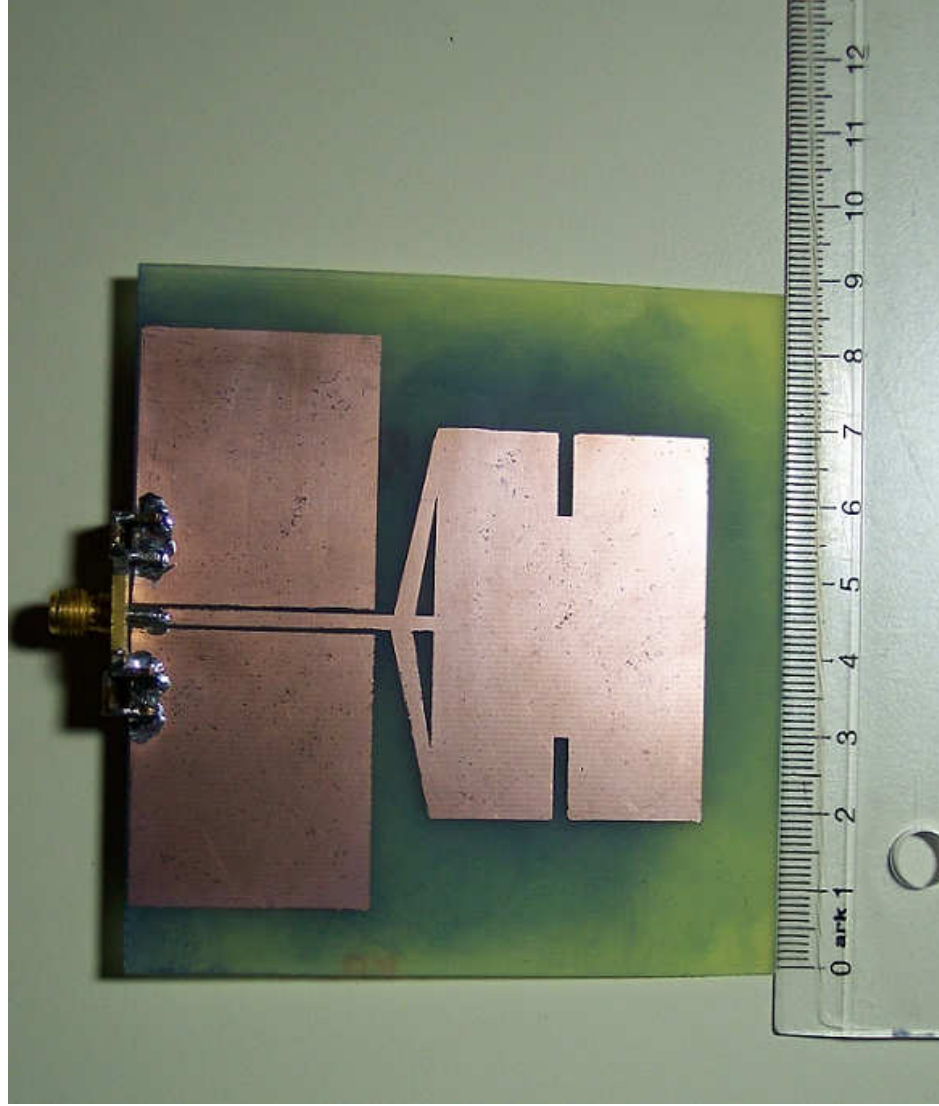
Şekil 3.20 : 5.4GHz için ölçüm sonuçları.



Şekil 3.21 : Antenin ölçülen S_{11} grafiği.

Matlab kullanılarak çizdirilen geri dönüş kaybı grafiği Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Bu şekil incelenecek olursa antenin birinci bölgedeki -10dB alt kesim ve üst kesim frekansları sırasıyla $f_L = 1.68GHz$, $f_H = 2.76GHz$ ’dir. Bu bölge için bant genişliği (2.43) eşitliği kullanılarak %48.6 olarak hesaplanır. Ayrıca (2.12) eşitliği kullanılarak hesaplanan alt kesim frekansı $f_L = 1.67GHz$ olarak elde edilmişti. Bu değer elde edilen pratik sonuçla tam olarak örtüşmektedir. Dolayısıyla alt kesim frekansını hesaplamak için kullanılan mevcut formül son derece iyi bir sonuç vermiştir. Benzer şekilde ikinci bant için $f_L = 4.3GHz$, $f_H = 6.62GHz$ ve bant genişliği ise %42.4’tür. Bu sonuçlar Şekil 3.15’teki HFSS programı kullanılarak tasarlanan antenin benzetim sonucu ile karşılaştırılacak olursa sonuçların son derece iyi bir şekilde örtüştüğü görülmektedir. Dolayısıyla tasarlanan anten WLAN uygulamalarında kullanılabilecek özelliklere sahip bir antendir.

Tasarlanan antenin gerçeklenmiş şekli Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Ölçümler bu anten kullanılarak yapılmıştır.

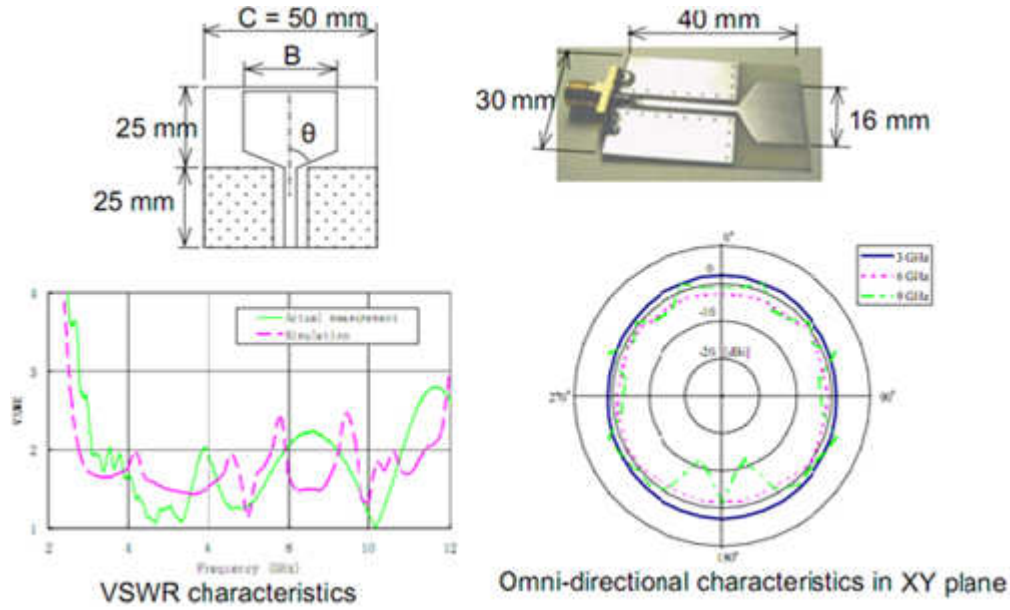


Şekil 3.22 : Tasarlanan antenin gerçekleştirilmiş şekli.

Literatürdeki benzer yapıya sahip antenler ile uygulama alanı aynı olan bir anten karşılaştırma amacı ile burada gösterilecektir.

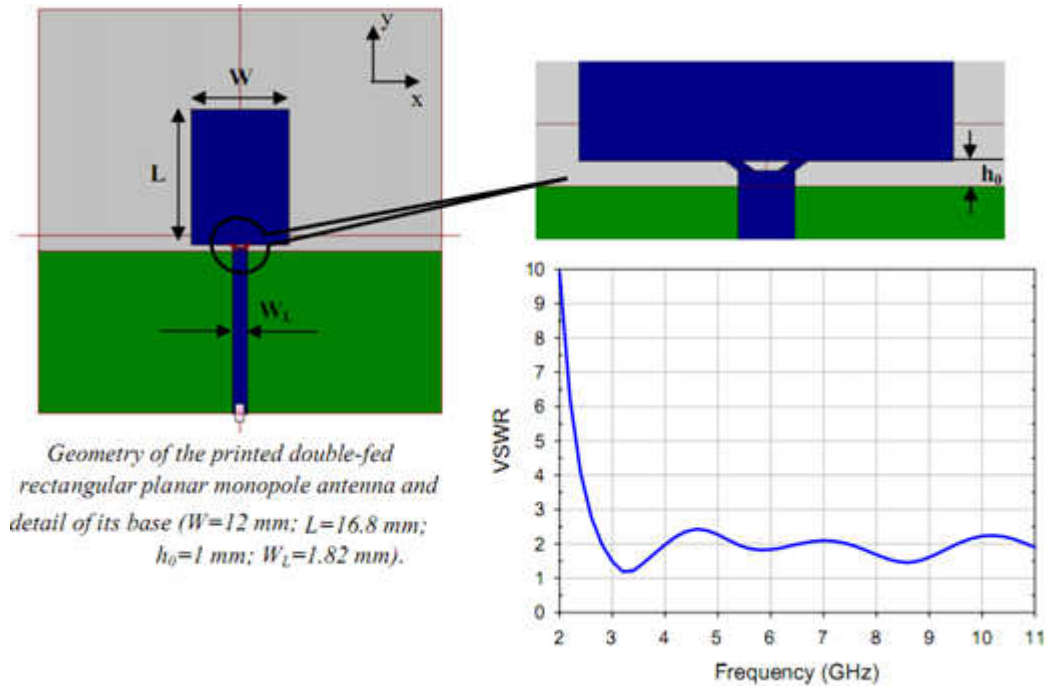
Çok benzer olmasa da benzer sayılabilecek tasarımlar [21, 22] ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca anten yapısı olarak değil de uygulama alanı olarak benzer bir antenle de [23] karşılaştırma yapılarak antenin analizi yapılmıştır.

[21] referans kaynağındaki anten yapısı ve sonuçları Şekil 3.23'teki gibidir.



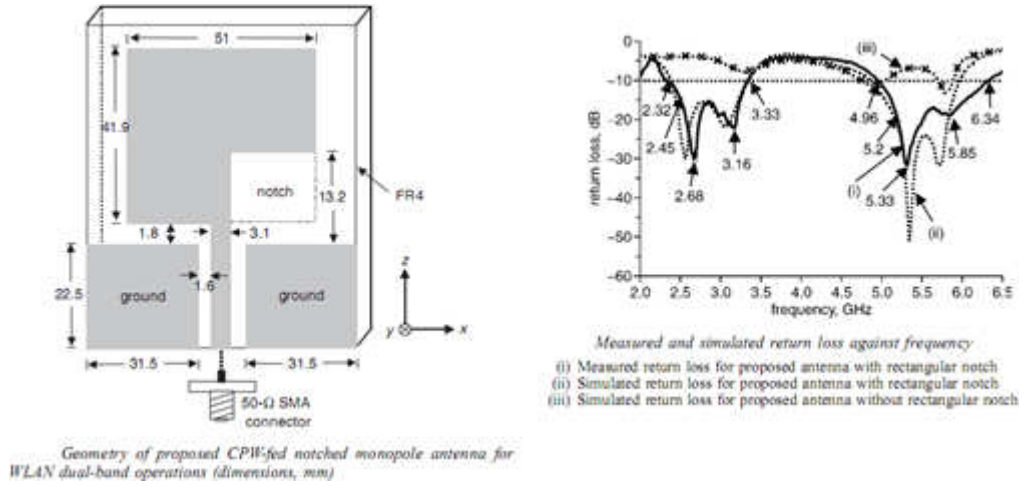
Şekil 3.23 : Benzer yapıya sahip bir anten [21].

Yine benzer bir yapıya sahip bir diğer anten tipi [22] ve sonuçları Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24 : Besleme şekli benzer olan bir anten [22].

Anten yapısı benzer olmayan ancak uygulama alanı aynı olan bir diğer anten [23] ve sonuçları Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.25 : Uygulama alanı aynı olan bir anten [23].

Şekil 3.23'teki anten bu çalışma kapsamında tasarlanan antende yan hattın P2 noktasının besleme şeridi ile birleştiği duruma karşılık gelir. Ancak yapılan benzetimlerde bu değişikliğin frekans karakteristiğini çok etkilemediğini buna karşın yüksek frekanslardaki ikinci bantta ışıma diyagramını olumsuz etkilediği görülmüştür. Şekil 3.24'teki anten yapısı bu tez kapsamında tasarlanan anten şeklinden farklıdır. Bu antende besleme iki noktadan yapılmaktadır. Üstelik temas noktaları ve şekilleri farklıdır. Zira bu tezdeki anten şeklinde besleme üç noktadan yapılmakta ve yan şeritlerin dış kısmı ışıma yamasının köşelerine denk gelmektedir. Bununla birlikte elde edilen sonuçlar da farklıdır. Şekil 3.25'teki anten ise WLAN uygulamalarına yönelik tasarlanmış bir antendir. Frekans karakteristiği bunu sağlamaktadır. Ancak birinci bantta elde edilen empedans bant genişliği %35.8, ikinci bantta ise %24.4 tür. Bu tez kapsamında tasarlanan antenin birinci banttaki empedans bant genişliği %48.6 iken ikinci banttaki bant genişliği ise %42.4'tür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında WLAN uygulamalarında kullanılabilecek çift bantlı bir anten tasarlanmıştır. Anten tipi olarak son zamanlarda UGB uygulamalarında çokça tercih edilen monopol planar anten tercih edilmiştir. Ayrıca düzlemsel bir yapı sunması, deliklerin olmamasından dolayı daha az kayıplı olması ve sisteme entegrasyonda kolaylık sağlamasından dolayı eş düzlemsel hat besleme (coplanar waveguide-fed) türü tercih edilmiştir. Dielektrik malzeme olarak $\epsilon_r = 4.4$ olan FR4 malzemesi kullanılmıştır. Kolay bulunduğu için dielektrik tabaka kalınlığı 1 mm olarak seçilmiş ve benzetimler buna göre yapılmıştır.

Öncelikle geleneksel antenin S_{11} karakteristiği elde edilerek mevcut antenin eksikleri belirlenmiş ve daha sonra zayıf olan özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu iyileştirmeler daha çok deneysel olarak elde edilmiş ön bilgiler ile yapılmıştır. Çünkü bu anten tipini tam olarak karakterize eden matematiksel ifadeler bulunmamaktadır.

İlk aşamada antenin besleme şeridi üzerinden ışıma yamasına giden iki adet yan şerit eklenmiştir. Burada J. Kraus tarafından ifade edilen anten parametreleri arasındaki düzgün geçişin geniş bir bant boyunca empedans uyumu sağlayacağı bilgisinden faydalanılmıştır. Geleneksel antene eklenen simetrik yan hatlar ile yapılan benzetimde bir önceki duruma göre ilk frekans bandında geri dönüş kaybının çok daha aşağılara çekildiği üstelik yüksek frekanslarda ikinci bir bandın daha oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucu bu yan hatların konumu ile hem frekans bölgesinin hem de ışıma diyagramının kontrol edilebildiği gözlemlenmiştir. Literatür incelendiğinde bu yan hatların son derece özgün olduğu belirlenmiştir.

Bu yan hatlar kullanılarak anten istenen frekans bantlarını kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Birinci bant içinde ışıma diyagramı istendiği gibi her yöne iken yüksek frekanslardaki ikinci bölgede ışıma diyagramı istenen karakteristiği tam olarak sağlamamıştır. Işıma yaması üzerindeki alan dağılımları incelenerek bu bölgedeki ışıma diyagramı iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak dielektrik malzemenin genişliği ve yüksekliği arttırılarak daha düzgün alan

dağılımları elde edilmeye çalışılmıştır. Bu değişiklik bir miktar iyileştirme sağlasa da istenen karakteristik elde edilememiştir. İkinci olarak ışıma yaması üzerinde yarıklar açılıp, akım yolları değiştirilerek daha düzgün bir dağılım elde edilmeye çalışılmıştır. Bu yarıkların en ve boy değerleri değiştirilerek optimum değerler elde edilmiştir. Bu değişiklikler sonucunda, birinci bantta %57'lik, ikinci bantta ise %40'lık bant genişliklerine sahip ve her iki bantta her yöne ışıma yapan bir anten tasarlanmıştır. Literatürde bulunan benzer yapıya sahip iki anten ve benzer uygulama alanına sahip bir anten ile karşılaştırma yapılarak tasarlanan anten tartışılmıştır.

Tasarlanan anten WLAN uygulamalarında kullanılabilecek bir antendir ve bu frekans bantlarında oldukça düşük geri dönüş kaybı değerlerine ve her yöne ışıma örüntülerine sahiptir. Bundan sonraki aşamalarda eğer gerekirse boyutlarının biraz daha küçültülmesi ve antene esneklik (flexibility) kazandırılması amaçlanmaktadır. [13-15] deki çalışmalara benzer çalışmalar yapılabilir. Bunun için kullanılacak dielektrik malzemenin esnek bir malzeme olması gerekmektedir. Bu şekilde yapılan bir analize cevap veren anten kıyafet vb. organik maddelerin üzerine entegre edilerek amaca uygun olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kumar, G., Ray, K. P.**, 2003. Broadband Microstrip Antennas, Arctech House, USA.
- [2] **Balanis, C. A.**, 2005. Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edition, Arizona State University, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- [3] **Liang, J., ve diğ.,** 2005. Study of CPW-fed circular disk monopole antenna for ultra wideband applications, *IEEE Proceedings of the Microwave, Antennas and Propagation*, Vol. **152**, pp. 520-526, 9 December.
- [4] **Stratton, J. A.**, 1941. Electromagnetic Theory, McGraw-Hill, New York, pp. 431-438.
- [5] **Honda, S., ve diğ.,** 1992. A Disk Monopole Antenna With 1:8 Impedance Bandwidth And Omnidirectional Radiation Pattern, Proc. ISAP, Sopomo, JAPAN, pp. 1145-1148.
- [6] **Ray, K. P., Kapur, G., Kumar, G.**, 2001. Broadband Planar Rectangular Monopole Antennas, *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. **28**, No. 1, pp. 55-59.
- [7] **Parsad, N., Kumar, G., Ray, K. P.**, 1998. Wide-Band Planar Monopole Antennas, *IEEE Trans. Antennas Propagat.* Vol. **46**, pp. 294-295
- [8] **Kraus, J. D.**, 1998. Antennas, Second Edition, McGraw-Hill, New York, pp. 692-694.
- [9] **Garduno-Nolasco, E., ve diğ.,** 2010. Comparison between quasi circular planar antennas with microstrip and CPW feeding, *LATINCOM 2010 IEEE, Latin American*, pp. 1-5.
- [10] **Tong, W., Hu, Z. R.**, 2005. A cpw-fed Circular Monopole Antenna for Ultra wideband wireless communications, *Antenna and Propagation Society International Symposium*, Vol. **3A**, pp. 528-531.
- [11] **Deng, C., Xie, Y. J., Li, P.**, 2009. CPW-fed Planar Printed Monopole Antenna with Impedance Bandwidth Enhanced, *Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. **8**, pp. 1394-1397.
- [12] **Gou, Q., ve diğ.,** 2009. A CPW-fed Antenna with Ring Strip Ground for Ultra wideband Applications, *Microwave Technology and Computational Electromagnetics*, pp. 70-72.
- [13] **Yoon, H. K., ve diğ.,** 2007. A cpw-fed flexible monopole antenna for UWB systems, *Antennas and Propagation Society International Symposium*, , pp. 701-704.

- [14] **Yoon, H. K., ve diğ.**, 2007. A Flexible UWB Antenna Attachable to Various Kinds of Materials, Ultra Wide-Band, ICUWB 2007. *IEEE International Conference*, pp. 204-209.
- [15] **Nikolaus, S., Tentzeris, M. M., Papapolymerous, J.**, 2007. Study of conformal UWB elliptical monopole antenna on flexible organic substrate mounted on cylindrical surfaces, *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE 18th International Symposium*, pp. 1-4.
- [16] **Moktaari, M., Bornemann, J.**, 2008. Directional Ultra Wideband Antennas in Planar Technologies, *Microwave Conference, EuMC 2008. 38th European*, pp. 885-888.
- [17] **Hecimovic, N., Marincic, Z.**, The improvement of the Antenna Parameters in Ultra Wide band Communications, Ericsson Nikola Tesla D. D., Zagreb, Croatia.
- [18] **HFSS v.10**, Ansoft Corporation, Pittsburgh, PA, USA.
- [19] **Sadiku, M. N. O.**, 2001. Numerical Techniques in Electromagnetics, Second Edition, CRC Press LLC, New York.
- [20] **Anonim** < http://tr.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11>, alındığı tarih 14.05.2011.
- [21] **Yanagi, M., ve diğ.**, 2004, A planar UWB Monopole Antenna Formed on a Printed Circuit Board, *Technical Report*, Fujitsu Component Limited.
- [22] **Fernando-Battaler, M., ve diğ.**, 2006. Overview of Planar Monopole Antennas for UWB Applications, *Proc. EuCAP 2006*, Nice, France.
- [23] **Liu, W. C., Wu, C. M.**, 2004. Broadband dual frequency cpw-fed planar monopole antenna with rectangular notch, *Electronic Letters* Vol. **40**, pp. 642-643.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Emrah Sever

Doğum Yeri ve Tarihi: ERZURUM, 01.03.1985

Adres: Merkez Mah. Kılavuz Sok. No:2/4 Halkalı/İST.

Lisans Eğitimi: İstanbul Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh.

Lise Eğitimi: Orhan Cemal Fersoy Lisesi