

T. C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

2450 MHZ FREKANSINDA ÇALIŞAN RFID İÇİN RECTENNA TASARIMI

Abdülkadir ÇILDIR

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2015

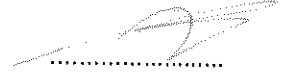
© 2015 [Abdülkadir ÇILDIR]

TEZ ONAYI

Abdülkadir ÇILDIR tarafından hazırlanan "**2450 MHz Frekansında Çalışan RFID İçin Rectenna Tasarımı**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

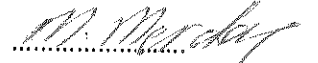
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN
Süleyman Demirel Üniversitesi



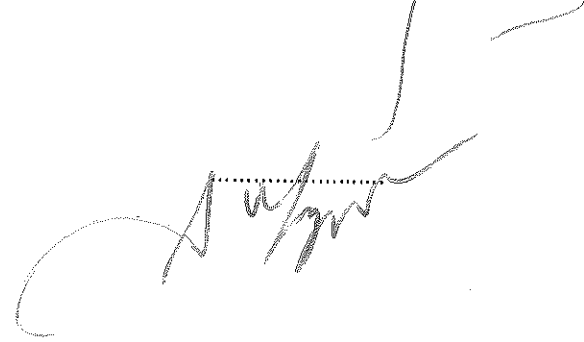
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa Merdan
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ahmet Zengin
Sakarya Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Abdülkadir ÇILDIR



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜRLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Rectenna.....	15
3.2. Anten	15
3.3. Anten Çeşitleri	17
3.3.1. Tel anten	17
3.3.2. Açıklık anten.....	17
3.3.3. Mikroşerit anten	17
3.3.4. Dizi anten	18
3.3.5. Reflektör anten:.....	18
3.3.6. Lens anten.....	18
3.4. Antenlere Ait Temel Parametreler	19
3.4.1. Işıma örüntüsü	19
3.4.2. Işıma güç yoğunluğu	19
3.4.3. Işıma Şiddeti.....	19
3.4.4. Yönlülük	20
3.4.5. Anten Verimliliği	20
3.4.6. Saçılma matrisi.....	20
3.4.7. Anten dizileri.....	25
3.5. Doğrultma Devresi.....	26
3.5.1. Tek katlı doğrultma devresi	27
3.5.2. Çok katlı doğrultma devresi.....	28
4. ANTEN TASARIMI	29
4.1. FR-4 ile Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten	29
4.2. Roger 5870 ile Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten.....	33
4.3. Roger 5870 İle Hazırlanan Yariksiz Mikroşerit Dizi Anten	39
4.4. FR-4 ile Hazırlanan Yariksiz Mikroşerit Dizi Anten.....	39
5. SONUÇLAR.....	41
5.1. FR-4 ile Hazırlanan Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları.....	41
5.1.1. FR-4 ile Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları	41
5.1.2. FR-4 ile Tasarlanan Yariksiz Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları.....	45
5.2. Roger 5870 İle Hazırlanan Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları	47
5.2.1. Roger 5870 İle Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları	47
5.2.2. Roger 5870 İle Tasarlanan Yariksiz Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları	52
5.3. Doğrultucu Devre	53
6. TARTIŞMA VE ÖNERİ	63

KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	69

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

2450 MHz Frekansında RFID İçin Rectenna Tasarımı

Abdülkadir ÇILDIR

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

Tesla ile özdeşleşen kablosuz güç transferi konusu, günümüzde akademik bir temele oturtulmuş olup, kablosuz güç transfer sistemlerinde verim analizi konusunda, günümüzde ciddi çalışmalar bulunmaktadır. Günümüzdeki çalışmalar, manyetik alan kaynaklı, indüksiyon prensibine bağlı çalışan sistemler yerine, yüksek kazançlı antenler kullanılarak, elektromanyetik dalga prensibi üzerine yoğunlaşmaktadır.

Hazırlanan çalışmada, kablosuz güç transferine yönelik, anten ve doğrultma devreleri tasarlanmıştır. Çalışma frekansı olarak, ISM bantlarından olan 2400 MHz ile 2483.5 MHz frekans aralığındaki bölge seçilmiştir. Anten tasarımlarında, Ansoft HFSS programı kullanılmıştır. Antenlerin tasarımı 1.6 mm kalınlığındaki Roger 5870 ve FR-4 alttaş malzemeleri üzerine gerçekleştirilmiştir. Her anten çevresine toprak düzlemleri ilave edilerek, anten performansları ayrı ayrı kaydedilmiştir.

Alıcı anten tarafından yakalanan RF sinyali DC'ye dönüştürmek için, schottky diyotlarla gerçekleştirilen doğrultucu devre kullanılmıştır. Gelen RF sinyalden daha yüksek gerilimler elde edebilmek için, devredeki diyot sayısı artırılarak gerilim katlayıcı yapısı kullanılmıştır. Verim analizi yapabilmek için ise, doğrultucu çıkışına yük olarak farklı dirençler bağlanarak, her bir kat için, en fazla gücün ne kadarlık dirençte çekilebileceği incelenmiştir.

Çalışmada daha yüksek kazançlı antenler veya diziler kullanılarak güç transferinin daha uzak mesafelere yapılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Rectenna, mikroşerit anten, dizi anten, RF doğrultma devresi

2015, 82 SAYFA

ABSTRACT

M.SC. THESIS

RECTENNA DESIGN IN 2450 MHZ FREQUENCY FOR RFID

Abdülkadir ÇILDIR

Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electronic and Haberleşme Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mesud KAHRİMAN

The fact of wireless power transfer which is synonymous with tesla has been based on an academic background. Nowadays, there are profound studies about outcome analysis in wireless power transfer systems. Today's studies are focus electromagnetic wave principle by using antennae with high outcome, instead of systems of magnetic area or systems working with principles of induction.

In this study, antennae and direction circuits related to WPT(wireless power transfer) are designed. The frequency between 2400 MHz and 2483.5 MHz, from ISM bands, is chosen as functioning frequency. Ansoft HFSS program is used in antenna designs. Antennae are designed on 1.6 mm thick Roger 5870 and FR-4 substrat. Around each antennae,framework with soil plane is added and antennae performances are noted down seperately.

To change RF signal caught by receiver antenna into DC, directing circuit strenghtered by schottky diodes are used. To get higher voltages from coming RF signal, more diodes and voltage multiplier are used, to do out come analysis different voltage are tied to directing origin. And for each fold, the ultimate capability of voltage is observed.

In this study, it is understood that it is possible to transfer power to further by using high-tech antennae and series.

Keywords: Rectenna, microstrip antenna, array antenna, RF rectifier device

2015, 82 PAGES

TEŐEKKÖRLER

Bu çalıőmamda her adımda emeği geçen, tđm karőılaőtıđım zorluklarda yardımını esirgemeyen ve tecrđbesiyle beni yđnlendiren değerli Danışman Hocam Yrd.Doç.Dr Mesud KAHRİMAN'a, olğmlerin gerçekleőmesine imkan tanıyan Yrd.Doç.Dr Evren EKMEKÇİ'ye teőekkđrđ borç bilirim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi yđksek lisans eğitimim sırasında da gđstermiő oldukları sabır ve özveri ile her zaman yanımda olan aileme sonsuz teőekkđrlerimi sunarım.

Abdđlkadir ÇILDIR
ISPARTA, 2015

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3-1 Genel bir rectenna yapısı.....	13
Şekil 3-2 Ölçüm sonuçlarının alındığı rectenna görüntüsü	14
Şekil 3-3 Tasarlanan anten modeli	14
Şekil 3-4 Bir geçiş cihazı olarak anten	16
Şekil 3-5 İletme modunda antenin iletim hattının Thevenin eşdeğeri	16
Şekil 3-6 Genel mikroşerit anten yapısı.....	18
Şekil 3-7 N kapılı bir mikrodalga devre	21
Şekil 3-8 Network Analizör görüntüsü	22
Şekil 3-9 Genel network analizör blok diyagramı	23
Şekil 3-10 Z_L yük empedansı ile sonlandırılmış bir iletim hattı	24
Şekil 3-11 Üretilen anten görüntüsü	25
Şekil 3-12 N katlı doğrultma devre şeması.....	26
Şekil 3-13 HSMS-285C diyotunun devre şeması	27
Şekil 3-14 Genel tek katlı doğrultma devresi	28
Şekil 3-15 Genel bir çok katlı doğrultma devresi	28
Şekil 4-1 Üretilen FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten görüntüsü	30
Şekil 4-2 Tasarlanan FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten yapısı	31
Şekil 4-3 Tasarlanan FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten besleme kısmı	31
Şekil 4-4 Tasarlanan FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten 1. empedans uyumlama kısmı.....	32
Şekil 4-5 Tasarlanan FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten 2. empedans uyumlama kısmı.....	32
Şekil 4-6 Üretilen Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi anten görüntüsü	35
Şekil 4-7 Tasarlanan Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi anten yapısı.....	36
Şekil 4-8 Tasarlanan Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi anten besleme kısmı	37
Şekil 4-9 Tasarlanan Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi anten 1. empedans uyumlama	37
Şekil 4-10 Roger 5870 mikroşerit dizi anten 2. empedans uyumlama kısmı	38
Şekil 4-11 Tasarlanan Roger 5870 yariksiz mikroşerit dizi anten yapısı.....	39
Şekil 4-12 Tasarlanan FR-4 yariksiz mikroşerit dizi anten yapısı.....	39
Şekil 5-1 FR4 plaketli anten için HFSS ve ölçüm S11 sonuçları görüntüsü	42
Şekil 5-2 FR-4 alıcı anten sinyal gücü -0.51 dBm olduğu zaman FR-4 verici antenin sinyal gücü görüntüsü	42
Şekil 5-3 FR-4 verici anten sinyal gücü 17.82 dBm olduğu zaman FR-4 alıcı antene	43
Şekil 5-4 FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü	44
Şekil 5-5 FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü.....	45
Şekil 5-6 FR-4 yariksiz mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü	46
Şekil 5-7 FR-4 yariksiz mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü	46
Şekil 5-8 Roger 5870 plaketli anten için HFSS ve ölçüm S11 sonuçları görüntüsü	47
Şekil 5-9 Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü	48
Şekil 5-10 Verici anten sinyal gücü 17.82 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan....	49
Şekil 5-11 Alıcı anten sinyal gücü 10.10 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü.....	49

Şekil 5-12 Verici anten sinyal gücü 11.37 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan....	50
Şekil 5-13 Alıcı anten sinyal gücü 5.33 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü.....	50
Şekil 5-14 Verici anten sinyal gücü 7.32 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan sinyal	51
Şekil 5-15 Alıcı anten sinyal gücü -0.51 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü.....	51
Şekil 5-16 Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü	52
Şekil 5-17 Roger 5870 yarıksız mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü	52
Şekil 5-18 Roger 5870 yarıksız mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü	53
Şekil 5-19 Dört katlı doğrultma devre şeması.....	54
Şekil 5-20 Dört katlı doğrultcu devre resmi	54
Şekil 5-21 10 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü	55
Şekil 5-22 5 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü	57
Şekil 5-23 5 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1 FR-4 Yarıkli mikroşerit dizi antene ait parametre boyutları	33
Çizelge 2 Roger 5870 yarıkli mikroşerit dizi antene ait parametre boyutları	38
Çizelge 3 10 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu	55
Çizelge 4 5 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu	57
Çizelge 5 0 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu	58
Çizelge 6 Doğrultma katları max çıkış gücü-direnç değışimi	60
Çizelge 7 Tasarlanan antenlere ait sonuçlar	60
Çizelge 8 Üretilen Roger 5870 mikroşerit dizi antenin eski çalışmalar ile karşılaştırılması	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

G_{ot}	Verici anten kazancı
G_{or}	Alıcı anten kazancı
h	alttaş boyu
L	anten boyu
ϵ_r	dielektrik sabiti
ϵ_{reff}	ortam dielektrik sabiti
P_r	alıcı anten gücü
P_t	verici anten gücü
R	cm cinsinden uzunluk
η	verim
W	anten eni
λ	dalga boyu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

G_{ot}	Verici anten kazancı
G_{or}	Alıcı anten kazancı
h	alttaş boyu
L	anten boyu
ϵ_r	dielektrik sabiti
ϵ_{reff}	ortam dielektrik sabiti
P_r	alıcı anten gücü
P_t	verici anten gücü
R	cm cinsinden uzunluk
η	verim
W	anten eni
λ	dalga boyu

1. GİRİŞ

Anten, radyo dalgalarını almak veya iletmek için kullanılan metalik cihazlara denir. Elektromanyetik enerjinin nakli için kullanılan cihaz da denilebilir. Kablosuz güç iletimi adı verilen bu olayda alıcı antene gelen elektromanyetik enerjinin kullanılabilir hale getirilmesi insanoğlunun hedefleri arasında yer almaktaydı. Bu hedefin gerçekleşmesi Tesla'nın ilk başarılı deneyiyle birlikte 100 seneden fazla bir geçmişe dayanmaktadır. Günümüzde de bu çalışmalar farklı alanlarda ve daha verimli sonuçlar elde edilmesi için halen devam etmektedir.

Kablosuz güç iletiminde radyodalga sinyali gücünün kullanılabilir hale gelebilmesi için alıcı antene gelen gücün dc güce dönüşmesi için ayrıca doğrultma devresine ihtiyaç vardır. Çalışmaların temel parçasını oluşturan rectenna ise anten ve doğrultma devresinden oluşan kısma denir. Kısaca ifade edilecek olursa rectenna, radyodalga gücü, dc güce çevirmek için kullanılır. Genel itibariyle rectenna devresi anten, antene gelen radyodalga gücü dc güce çeviren diyotlardan oluşan bir doğrultma devresi ve daha kararlı bir sinyal için filtrelerden oluşmaktadır.

Elektriksel gücün iletimi için farklı rectennalar tasarlanmıştır. Özellikle bu teknolojik uygulamalar radyo-frekans kimliklendirmesinde(RFID) kullanılmaktadır. Rectennayı oluşturan anten ve doğrultma sistemlerinden herhangi birisinin farklı olması rectennayı özelleştirmektedir. Bu da rectennanın hangi amaçla tasarladığına bakar. Rectenna da kullanılmakta olan birçok anten yapısı mevcuttur. Bunlardan birisi olan mikroşerit antendir. Bu antenle ile ilk fikir Deschamp tarafından 1953'de ortaya atılmıştır (Gutton & Baissinot, 1955). 1970'li yıllarda düşük kayıp tanjantına sahip uygun dielektrik sabitli alıtış kullanılabilir anten çalışmaları hız kazanmıştır (Bazán, 2010). Gerçeklenen ilk mikroşerit anten Howel ve Munson tarafından üretilmiştir (Yıldırım, YAĞCI, & Paker, 2008). Bütün bu çalışmaların neticesi olarak günümüzdeki düşük maliyetli hafif, az yer kaplayan, yüzeylere kolay entegre olabilen mikroşerit antenler üretilmeye başlanmıştır. Daha sonraları günümüzde de kullanım alanları içinde olan uçak, uzay araçları mermi gibi yüksek performans gerektiren

uygulamalarda da kendine yer bulmuştur. Mikroşerit antenin bu gibi kullanım alanlarının farklı olması antenin ağırlık, fiyat, performans kullanım kolaylığı ve denge yapısı gibi birçok olumlu sebebinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca mikroşerit antenlerden, kare, dikdörtgen, dipol, dairesel olanlarının üretimi ve analizi daha kolaydır ve bu mikroşerit anten yapısının avantajlarından olan etkin ışıma özellikleri, polarizasyon kaybının az olması gibi artlarından dolayı daha çok tercih edilmektedir. Ülkeler ticaretsel ilişkilerden dolayı ortak haberleşme yöntemlerini kullanmaktadırlar. Bu da mikroşerit anten yapısını bir adım daha önemli bir hale getirmiştir.

Mikroşerit antenlerin besleme yöntemleri kazancı bant genişliği geri dönüş kaybı gibi antenin bazı özelliklerini değiştirmektedir. Bundan dolayı farklı besleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bazı temel besleme yöntemleri şunlardır: Koaksiyel besleme, koplanar dalga kılavuzlu besleme yakınlık bağlantılı besleme ve açıklık bağlantılı beslemedir (Reddy, 2009). Bu besleme yöntemleri arasında bazı şartlar altında en iyi bant genişliği ve kazanç değerleri koplanar besleme yönteminden elde edilmiştir (Haydar Kütük, 2013).

Mikroşerit antenler genelde tek bir eleman olarak kullanımı yerine dizilerde kullanılmaktadır. Diziler yüksek kazanç gereken uygulamalarda tercih edilmektedirler. Mikroşerit dizi antenler herbir mikroşerit anten elemanın bir araya getirilmesiyle oluşturulurlar. Herbir mikroşerit anten arası bağlantılar yapıları farklı olabilmektedir. Bu farklılık da dizi antenin parametrelerini diğerlerinden ayırmaktadır. Herbir bağlantının kendine uygun özellikleri vardır. En uygun çıkış gücünü sağlamak için benzer anten elemanları kullanılmalıdır. Anten elemanlarının önemli kombinasyonlarını bir araya getirmek için iyi bir hesap yapılması ve çok dikkatli düşünülmesi gerekir. Burada anten tasarımı yapılan programlara da büyük iş düşmektedir. Diğer yandan doğrultucu devre tarafından doğrultulan harmonik sinyaller rectenna tasarımında bazı problemlere sahiptir (Yu-jun Ren and Kai Chang, 2006). Ama farklı filtre tasarımlarıyla bu sorun çözülmeye çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sun, Guo ve arkadaşlarının 2012 yılında uğraş verdikleri “design of a high-efficiency 2.45-GHz rectenna for low-input-power energy harvesting” başlıklı çalışmayı inceleyecek olursak;buradaki rectenna tasarımında 25-mil-thick RT/Duroid 6002 dielektrik sabiti: 2.94 ve kayıp tanjantı: 0.0012 substrat malzeme kullanılmıştır. Bu anten 2.45 GHz deki RF sinyali alıyor ve düzlemsel şerihattı boyunca(CPS) schottky HSMS-2852 diyotuna iletiyor. Buradaki kapasitör dc geçiren filtre görevi yapmaktadır. Yani yüke ulaşan mikrodalga sinyalini geri döndürmemek için kullanılır. Devre sonuna da bir yük direnci yerleştirilmiştir ki dc güç ölçülsün. Anten tasarımında Advanced Design System (ADS) yazılım programıyla giriş direnci ve doğrultucu arasındaki empedans uyumlaştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı düşük giriş rf sinyalinde yüksek rf dc dönüşümü alabilmektir. 2.45 GHz frekansında basit ve küçültülmüş bir rectenna tasarlanmıştır. Böylece 1400 ohm'luk yük direnciyle $1.95 \mu W/cm^2$ ve $0.22 \mu W/cm^2$ güç yoğunluklarında bir uçtan bir uca sırasıyla verimlilik 80.3% ve 50% dir (Hucheng Sun, 2012).

Georgiadis ve arkadaşlarının 2010 yılında yaptıkları çalışma harmonik denge(HB) analizi ve elektromanyetik(EM) simülasyonundan oluşan bir rectenna tasarımını kapsamaktadır. İlk olarak çift lineer polarizasyonlu kare aperture-coupled patch anten, Ansoft HFSS programında tasarlanmıştır. Anten ve besleme bağlantısı 20mm kalınlıklı Arlon A 25N substrat malzemeye yerleştirilmiştir. Bunların arasına 2.45 GHz ISM bant genişliğinin sağlanması için 6mm kalınlıklı köpük tabakası(Rohacell 51) yerleştirilmiştir. Bu antene benzer tarzda yapılan her bir bant için farklı polarizasyona sahip çift bantlı tasarımda, anten delikli yapıda olduğu için boyutunda 32.5%'lik bir azalma olmuştur. Çalışmada 2.45 GHz ISM bantı olan tek bant işlemine sebep olan kare anten yerine dikey bağlantılı delikli anten kullanarak alan her iki polarizasyonu da yapabilen anten tasarlanmıştır. Doğrultma devre parametrelerini optimize etmek ve alıcı anten devresinin thevenin eşdeğerini hesaplamak için resipositiy teoremi kullanılmıştır. Bu metodu çift lineer polarizasyonlu kare aperture-coupled patch anten tasarımına dayalı 2.45 GHz frekansında dizayn edilmiş olarak göstermişlerdir.

Giriş sinyali güç yoğunluğu $1.5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ yük direnci 6.2k ohm da maksimum dönüşüm verimliliği 38% 'dir (Georgiadis, Andia, & Collado, 2010).

Epp ve arkadaşları 2000 yılında "A Compact Dual-Polarized 8.51-GHz Rectenna for High-Voltage (50 V) Actuator Applications" adlı bir çalışma yapmışlardır. "Çift polarizasyonun avantajı iki katlı olmasıdır. O her element alanı için alınan gücü ikiye katlar ve rectennayı tek dairesel polarizasyon ya da çift lineer alabilme yeteneğine sahip yapabilmektedir. Çalıştırıcının işlemesi için 50V gereklidir. Bu nedenle bireysel rectennalar bu voltajı en etkin bir şekilde kullanmak için tasarlanmışlardır. Bu değişim rectenna boyutunu, diyot farklılığını, diyot karakteristiğini(güç işleme tarzı, break-down voltajını), anten tarafından mikrodalga enerjisi yakalama verimliliği, doğrultma süreci verimliliği, gelen dalga frekansını içermektedir. Gelen dalğanın 8.51 GHz frekansta seçilme sebebi ise uzay araçlarının bu frekansını kullanıyor olması olarak gösterilmektedir. Mekanik sürüş çalıştırıcıları için kullanılabilir çıkış voltajı 50V olan çift polarizeli rectenna tasarımına gidilmiştir. Bu çalışmayla Epp ve arkadaşları çıkış voltajını artırmak için birleştirilmiş çoklu rectenna tasarımı yapmışlardır. İki dikey polarizasyonun her biri için bir bağımsız doğrultma devresi kullanılmaktadır. Düzgün bir birleştirmeye tek polarizasyon durumu için çıkış voltajı ikiye katlanır. Anten yapısından bahsedilecek olursa: Mikroşerit patch anten Rohacell 51 ($\epsilon_r=1.07$) köpük; RT/duroid 5880 0.64mm kalınlıklı $\epsilon_r=2.2$, bakır kalınlığı $17.5 \mu\text{m}$ mikrodalga substratı; Sheldahl's Novaclad G2200 kalınlığı $50 \mu\text{m}$, $\epsilon_r=3.3$, bakır kalınlığı $35 \mu\text{m}$ ki bu madde bakır-örtülü polimid filmidir. Mikroşerit anten bu maddeye gömülmüştür. Mikroşerit anten seçiminin sebebi olarak return loss kaybını azaltmak gösterilmiştir. Rectenna tasarımında kullanılan devreden bireysel olarak çıkışından 4V alınmaktadır. 50 V'a ulaşmak için 13 devreyi seri olarak bağlamışlardır. Bunlarda paneli oluşturmaktadır. Böyle paneller doğru mekaniksel izolasyonu sağlamak, çalıştırıcılar arasındaki kabloyu kaldırmak ayrıca gelecek nesil uzay teleskobunda kullanılmak için keşfedilmiştir (Epp, Khan, Smith, & Smith, 2000).

Gomez, García and Mediavilla 2004'de yaptıkları çalışmada rectenna (doğrultma devresi) elemanının verimliliği artırılmaya çalışmışlardır. Bunu sağlamak için E-

pHEMT teknolojisi kullanılarak FET transistör dedektörü geliştirmişlerdir. Bu dedektörün çok düşük bir pozitif ön gerilimine sahip olduğu kaydedilmiştir. Bu ise fazladan eşik öngerilimi uygulamaksızın dedektörün kullanılmasını sağlayabilmektedir. Bu dedektör, doğrultma devresinde yüksek kazanç sağlamak için kullanılmıştır. Ayrıca maksimum dönüşüm verimliliği için empedans uyumu da sağlamaktadır. Çalışmada 900 MHz de 14.12 mW giriş gücü elde edilmiştir. Çalışma sonunda maksimum % 85.4'lük bir verimlilik elde edilmiştir (Gomez, García, & Mediavilla, 2004).

Monti ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada UHF (Ultra High Frequency) sinyallerini kullanmışlardır. Yaptıkları rectennada T-şekilli monopol anten tercih edilmiştir. RFID sistemde UHF avrupa bant genişliğinde çalışmışlardır. Çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak doğrultma devresinde, 5 adet doğrultma diyotu kullanılmıştır. Bu diyotların hemen öncesinde bant durduran filtre diyottan yansıyan sinyali engellemek için kullanılmıştır. Diyotun hemen arkasında ise her devrede rastlanılan alternatif akımı engelleyici kondansatör kullanılmıştır. Antene gelen sinyalin güç yoğunluğu yaklaşık olarak $83 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ olarak kaydedilmiştir. Rectennanın verim hesabı yapılırken, güç yoğunluğu hesabı, DC çıkış gerilimi gibi değerler göz önünde bulundurularak 866.6 MHz frekans değerinde %54'lük dönüşüm verimliliği elde edilmiştir. Bu çalışmada tasarlanan rectennanın RFID sistemlerde kullanılan güç sensörleri gibi düşük güç tüketen benzer devre elemanlarında da güç kullanımını azaltmak için kullanılabilirliğinden bahsedilmektedir (Monti, Congedo, De Donno, & Tarricone, 2012).

Brown ve arkadaşlarının 1991'de yaptığı çalışmada rectennanın özellikleri üzerinde çalışmışlardır. Önceki rectenna sistemleri gelen mikrodalga sinyali metrekare başına 500mW yoğunluklu algılıyorken, geliştirdikleri rectenna ile her metrekare başına 50mW yoğunluklu sinyalleri de algılayabiliyor hale getirmişlerdir. Yani bu rectenna sistemi düşük güçlü sinyalleri de işleyebilme gücüne sahiptir. Çalışma frekansı ise 2.45 GHz olarak seçilmiştir (Brown, 1991).

Monti, Corchia ve Tarricone 2012' de yaptıkları çalışmada ISM(Industrial, Scientific and Medical) bantta halka monopol anten kullanılarak rectenna tasarlamışlardır. Rectenna tasarımında yarım dalga doğrultucu yani tek diyot ve halkalardan yapılmış dikdörtgene benzeyen anten kullanmışlardır. Antene gelen dalganın giriş güç yoğunluğu $155 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ olarak kaydedilmiştir. RF sinyalden dc sinyale dönüşüm verimliliği 2.45 GHz de maksimum %50 olarak hesaplanmıştır . Anten;düzlemsel bir dalga kılavuzu besleme hatlı monopol anten ve FR4 tek yüzlü bakır kaplı tabaka üzerine yerleştirilmiş dikdörtgenel halkadan oluşturulmuştur. Monopol antenin geometrik şekli ve besleme hattının, CST Microwave Studio programıyla tasarlandığı ifade edilmektedir.

Prete ve arkadaşları 2013 yılında yaptıkları çalışmada güç yönetim birimi(PMU) için rf güç düşük bile olsa çalıştırma koşulları sağlamak amacıyla yeni bir rectenna tasarlamışlardır. Küçük sistemlerde enerji özerkliği günümüzde önem kazanan bir uygulama alanıdır. Rectennayı maksimum güçte tutmak için ultra düşük güç tüketen yüksek şekilde etkin dc dc dönüştürücü geliştirilmiştir. Özerk dönüştürücüyü uyararak için minimum dc voltajı ve gücü gerekli olduğu söylenmektedir. Bunu başarmak için Prete ve arkadaşları 20 μW kadar düşük güç seviyesinde alınan rf sinyali kullanma amacıyla farklı bir rectenna tasarlamışlardır. Anten yükleri paralel şekilde ikiye ayrılmıştır. Bunlar çalıştırıcı ve boost adını verdikleri iki dönüştürücüden oluşmaktadır. Birisi maksimum rf dc güç dönüşümünü elde etmek için optimum rectenna yüküyle birlikte tasarlanmıştır. Böylece dc dc dönüştürücü çalışmış ve rectenna maksimum güç noktasında tutulmuş olur. Diğer kolda ise dönüştürücü start-up devresinin giriş empedansı, yük olarak ayarlanmıştır bu ise maksimum rf-to dc dönüşümü sağlamaktan ziyade özerk çalışma ve dc voltaj sağlamak içindir. DC dc dönüştürücü rectennaya bağlandığı zaman gerçek yükü start-up ve boost işlemleriyle değişebilmektedir. Ama seri anlamda olduğu zaman start-up işleminin dönüşüm verimini azaltması gibi bazı sıkıntılar ortaya çıkabilmektedir. İlk olarak dc dc dönüştürücüyle optimum yük ayarlanmaya çalışılır ve maksimum güç elde edilmeye çalışılmıştır. Diğerinde ise rectenna ayarlı bir yükü yani dönüştürücü start-up devresinin direnci olarak tasarlanmıştır. Bundaki amaç ise maksimum RF-DC

dönüşümünden ziyade özerk start-up için gerekli olan dc güç ve voltaj sağlamaktır. İki paralel arasındaki seçim ise araya konulan switch ile kontrol edilmektedir (Del Prete, Costanzo, Masotti, & Romani, 2013).

Joe ve arkadaşları 1997 yılında rectenna üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Sıfır eşik değerli Schottky diyot modeli düşük rf giriş güçleri (≤ 0 dBm anten giriş portu) ve orta seviyedeki dc akımları (≥ 30 μ A) doğrultma devresi anteni araştırılmıştır. Yapılan bu model antenle uyumlaştırılmak için istenen çıkış dc akım seviyesinde diyot parametreleri sağlamaktadır. Böylece antenden diyota optimum güç aktarımı yapılabilecektir. Böyle bir diyot tasarımı yapmalarının nedenini ise şöyle açıklamaktalar: Büyük sinyallerde (≥ 10 dBm) rectenna verimliliği 80%-90% bulmakta iken küçük sinyallerde (≤ 0 dBm) diyottaki güç kaybından ve diyot ileri eşik sinyalinde tam verimli çalışmadığından dolayı bu verimin oldukça düşük olduğunu vurgulamaktalar. Bu çalışma bize düşük güç seviyeleri için ve pasif RFID etiket uygulamaları için sıfır eşik değerli Schottky diyot modeli simülasyonu ve deneyini sunmaktadır. Bazı RFID uygulamalarda bir rectenna entegre devreyi aktif hale getirmek için dc çıkış akım ve voltajı sağlamaktadır. Karmaşık mantıksal işlemler için CMOS entegre devrelerinin akım ifadelerinin dc voltaj yaklaşık olarak 1 V, dc akımın 30 μ A'den büyük olması gerekecektir. Bu nedenle bu konu rectennanın ne kadar verimi değil aynı zamanda ne kadar dc voltaj ve akım verdiğini de önemli kılmaktadır. Buradaki diyot modeli dc çıkış akım seviyesi istenen bir doğrultucu sunmaktadır. Böylece antenden diyota yapılan en uygun güç aktarmasını sağlamak için uygun olacaktır. Bu diyot modelinin parametreleri diyot karakteristik eğrisinin ölçümlerinden sağlanmıştır.

Yapılmak istenen özetlenecek olursa yük direnci artırılıp yük direnci üzerinden geçen akım azaltılıyor böylece diyot direnci artıyor ki böylece düşük kapasitans değeri $C_d(\omega)$ 'yi aşağıdaki formülden anlaşılacağı üzere azalttığı için rezonans frekansı artmış oluyor.

$$w = \frac{1}{\sqrt{LC_d(w)}} \quad (2.1)$$

Bu model istenen dc çıkış akım işleminde optimum frekansta olduğu için rectenna tasarımında kullanılabilir olduğu söylenmektedir (Joe, Chia, Marath, & Ang, 1997)

Ren, Farooqui ve Chang 2007 yılında "A Compact Dual-Frequency Rectifying Antenna With High-Orders Harmonic-Rejection" adlı çalışmada 2.5 ve 5.8 GHz frekanslarında çalışan rectenna tasarlamışlardır. Doğrultma anteni iki adet compact yuvarlak slot antenden oluşmaktadır. Firkete şeklindeki yapısıyla alçak geçiren filtrede ikinci ve üçüncü harmonikler bastırılmak istenmiştir. Anten yapısında 52% azalma olmuştur. Bu rectenna Rogers Duroid 5880 substrat madde üzerine $\epsilon_r=2.2$ ve kalınlık $h=0.51$ mm (= 20mil) 'ir. Şekilde görülen anten iç yapısında olan dikdörtgen anten 2.45 GHz frekansı, dış yapıdaki dairesel slot yapılı anten ise 5.8GHz frekansını belirlemektedir. Bu rectenna 2.45 ve 5.8 GHz frekanslarında sırasıyla 2.19 ve 3.6 dB kazanç sağlamaktadır. Yine gelen sinyal yoğunluğu 10 mW/cm^2 iken sırasıyla RF-DC dönüşüm verimliliği 65 % ve 46 % dir (Ren, Farooqui, & Chang, 2007).

Huang, Lee ve arkadaşları tıp alanında kullanılmak için yeni bir rectenna tasarımı üzerinde durmuşlardır. Bu rectenna üç farklı frekans bantını birden içermektedir. Bu frekans bantları sırasıyla 402 MHz, 433 MHz ve 2.45 GHz'dir. Kullandıkları anten, π -şekilli ve spiral bir yapıdan oluşmaktadır. Antenin frekans bantlarının şu işlemler için kullanıldığı belirtilmektedir. 402 MHz ile canlı vücudunda ölçülen değer merkezi sisteme aktarılmaktadır, 433 MHz'de kablosuz güç iletimi gerçekleştirilmektedir ve 2.45 GHz'de ise müdahale edici sistemden oluşmaktadır. Rectennayı tasarlarken deneysel prototip olarak Roger 3210 plaket kullanılmıştır. Anten yapısında menderes şekilli şerit kullanılmıştır ki böylece fazladan bant genişliği sağlamak istenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirilme sebeplerinden bir tanesi, canlı vücuduna yerleştirilen rectenna devre boyutunun küçültülmek istenmesidir. Bu konuda başarılı olduğu söylenebilir. Hazırlanan sistemin ANSI/IEEE (American National Standards Institute) tarafından belirlenen SAR (Specific Absorption Rate) sınırlarına

da uygun değerde bulunduğu ifade edilmiştir. Benzetim sonuçlarının alınmasının ardından hazırlanan sistem,parçalanmış domuz eti ile test edilmiştir. Antene 11 dBm gle gelen mikrodalga sinyalin dc gce çevrilme verimliliği ise % 86 olarak kaydedilmiştir (Huang et al., 2011).

Strassner ve Chang 2002'de yaptıkları diğer bir çalışmada ise 5.8 GHz de dairesel polarizeli (CP) doğrultma devresi kullanmışlardır. CP doğrultma devresi yüksek verimliliğiyle son zamanlarda tercih edilen polarizasyon olmuştur. Dairesel polarize kullanılmasının bir sebebi de kullanıldığı devredeki antenlerde çıkış geriliminin değiştirilmeden antenlerin yönünün ayarlanabilmesidir. CP doğrultma devresi,bulunduğu devrede devre elemanlarından bazılarının kullanılmasına gerek bırakmadan maliyet açısından bir avantaj sağlamaktadır. Doğrultma devresinde ayrıca düzlemsel mikroşerit bant durduran filtre kullanmışlardır. Bu bant durduran filtrenin diyottan yansıyan sinyalleri 20 dB ye kadar bastırabildiği ifade edilmektedir. Bu ise filtrenin bastırma oranının iyi olduğunu göstermektedir. Doğrultma devresinin en önemli elemanı diyotlardır. Bu devrede yüksek verimli schottky diyot kullanılmıştır. Giriş gücü 100mW seviyesinde ve yük direnci ise 250 ohm olarak alınmıştır. Anten olarak ise dual rhombic loop antenna (DRLA) kullanılmıştır. Verimliliği artırmada DRLA'nın kullanılmasının oldukça fazla katkısı olmuştur. Doğrultma devresi Roger Duroid 5870 yüzeye yerleştirilmiştir. Kullanılan plaketin özelliklerinden bazıları şu şekilde verilmiştir; $\epsilon_r = 2.33$ ve yüzey kalınlığı 10 mil. Sistemin verimi % 82 olarak kaydedilmiştir. En uygun değerde eleman seçimini yapabilmek için IE3D elektromanyetik benzetim yazılımını kullandıklarını ifade etmektedirler (Strassner & Chang, 2002a).

Hong ve arkadaşlarının 2013 yılında yaptıkları çalışmada RFID sistemlerde kullanılan etiketler üzerinde çalışma yapılmıştır. RFID sistemler aktif ve pasif olarak ikiye ayrılır. Aktif RFID olarak adlandırılan sistem tanıma işlemini ekstra gücü tüketimi yaparak sağlamaktadır. Pasif RFID sistem gücünü doğrudan okumak istediği sistemin gücünden almaktadır. Piyasada ucuz ve ekstra gücü tüketimi gerektirmediği için pasif RFID sistemler ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada aktif RFID sistemlerin

gelişimi üzerinde durulmuştur. Aktif RFID sistemler bahsedildiği üzere fazladan güç kaynağına gerek duymaktadır. Buradaki tüketilen gücün minimuma indirilmesi istenen durum olacaktır. Buradaki yapılan çalışma güç tüketiminin azaltılması hakkındadır. Kablosuz olarak çalışan sistemlere birçok sinyal müdahale etmektedir. Bu ise makeleden anlaşılacağı üzere rectenna olarak bilinen sistemin diğer sinyalleri engellemesiyle mevcut olacaktır. Rectenna sisteminde 7 adımlı doğrultucu kullanılmıştır. Tasarlanan devre modeli RT/Duroid 5880(RO5880) adlı bir yüzeye basılmıştır. Plaketin genel özellikleri şu şekilde sıralanmaktadır; kayıp tanjantı: 0.0009, dielektrik sabiti, 2.2'dir. Baskı yapılan yüzeyin kalınlığı olarak iki farklı seçenek kullanılmıştır. İlk olarak 1.57mm kalınlıklı ikinci olarak 0.787mm kalınlıklı yüzey kullanılmıştır. Ayrıca rectenna sisteminde kullanılan doğrultma diyotundan yansıyan gelen istenmeyen sinyalleri engellemek için LPF(alçak geçiren filtre) kullanılmıştır. Buna ek olarak BPF (bant geçiren filtre) de kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda en iyi sonucun 1.57 mm kalınlıktaki yüzeyden alındığı ve BPF ve LPF'nin birlikte kullanımıyla devrenin daha verimli olduğu kaydedilmiştir. Yedi doğrultma diyotundan oluşan 1.57 mm kalınlıktaki tabaka düşük güç kablosuz sinyaller için uygun bir tasarım olduğu belirtilmiştir. Baskı devre için kullanılan RO5880 yüzeyinde rectenna çıkışından alınan voltajın daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Hong, Ibrahim, Khir, Zakariya, & Daud, 2013).

Heikkinen ve Kivikoski 2004 yılında taşınabilir, bataryasız cihazlar ve uzaktan ölçüm cihazları için dairesel polarizeli küçültülmüş halka slotlu anteni 0.5 mm kalın esnek mikrodalga plaka üzerine tasarlanmıştır. 32 dB mikrodalga güç, 2 m mesafeden 5.8GHz frekansında iletildiği zaman dc çıkış voltajı: 1.3 V ve eksen oranı 1.5 dB ölçülmüştür. İnce ve esnek plaka hafiflik sağlamaktadır. Diğer tasarımlarla karşılaştırıldığı zaman düşük eksen açısı ve yüksek dc çıkış voltajı ve yüksek verim sunmakla daha iyi bir performans sergilemiştir (Heikkinen & Kivikoski, 2004).

Strassner ve Chang 2002 yılında eşdüzlemli mikroserit(CPS) bir devrede dairesel polarizeli(CP) yüksek verimli rectenna dizisi tasarlamışlardır. Herbir rectenna 11 dB kazançla sahiptir ve 4.7 % eksen oran kesirli bantgenişliği 1 dB en daha iyidir.

Düzlemsel mikroşerit bant durdurucu filtre (BRF) 19 dB den büyük yansıyan sinyalleri bastırmak için kullanılmıştır. 5.61 GHz de 150 ohm luk yük direnci kullanılmıştır. 3x3 rectenna dizisi 0.25 eksen oranı ve 78 % lik bir RF-DC dönüşüm verimliliği sağlamaktadır (Strassner & Chang, 2002b).

Gao ve arkadaşları 2010 yılında C bantından işleyen dairesel polarizeli mikroşerit rectenna tasarlamışlardır. Rectennanın giriş ve çıkış uyumlaştırma bağlantıları $\lambda/4$ mikroşerit hat ve harmonikleri engellemek için açık saplamayla gerçekleştirilmiştir. Bu dairesel polarizeli alıcı anten, yüksek harmonikleri bastırmak için DGS (koruma toprak yapısı) ile mikroşerit hat tarafından beslenen kesik köşeli bir kare patch antendir. 298 Ω yük direncinde 4.34 V dc çıkış voltaj değeri ölçülmüştür ve bir uçtan bir uca 5.86 GHz merkez frekansında 68.4 % RF-DC dönüşüm verimliliği sağlanmıştır.

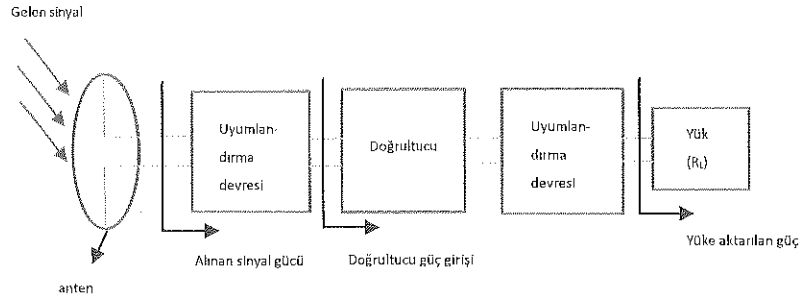
Yapılan devre giriş empedans uyumlaştırılması, iki adet $\lambda/4$ mikroşerit hat ve C bantında çalışan bir açık saplama içermektedir. Bu uyumlaştırmanın sebebi diyot tarafından meydana gelen yüksek harmonikleri azaltmaktır. DC-geçiren filtre harmonik enerjiyi tekrar kullanan ve dc voltajı yumuşatan $\lambda/4$ mikroşerit hat ve bir adet çip kapasitörden oluşmaktadır. Anten 6.5 dB kazançta sahiptir. Böyle düşük profilli küçültülmüş rectennaların RFID uygulamalarda ve kablosuz sensörlerde uygulanabilirliğinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu tip rectenna çeşitleri kablosuz iletim uygulamalarında büyük rectenna dizilerinde kullanılabilirliği de ifade edilmektedir (Gao, Yang, Jiang, & Zhou, 2010).

Liu ve arkadaşları 2014 yılında tedarik zinciri yönteminde ürün takip sıkıntısını çözmek için çalışma yapmışlardır. Farklı yerde konuşlanmış etiketlerin tarama işlemi yapılırken, çoğu zaman tüm etiketleri kapsamı gerektiği söylenmiştir. Böyle durumlarda bir şekilde üst üste gelen etiketleri okumak kaçınılmaz olmaktadır. Fakat çoğu mevcut metotlar üst üste çakışmalar küçük boyutta olduğu zaman düşük verimlilikte çalışmaktadırlar. Yapılan bu çalışmada ise üst üste gelme boyutu ve sürekli tarama performansı arasındaki temel ilişkiler ortaya çıkartılıp çözüm yolu bulunmak istenmiştir. Aynı zamanda üst üste yaklaşmaları kesin bir tahmin

ediciyle çözmek istemişlerdir. Küçültülmüş veri yapısıyla ve tahmin edici birleştirilerek bir değişken tarama şeması tanıtmışlardır. Sonuçta değişken sürekli tarama şeması(ACOS) sunmuşlardır. Sürekli tarama performansı ve etiket kurma içeriği arasındaki temel ilişkiyi ortaya çıkarmışlardır. Lightweight tahmin algoritmasıyla tarama stratejisini seçme işlemi yapmışlardır. ACOS özellikle tarama zamanlarındaki mevcut sürekli tarama metodu ile üstün bulunmuştur (Liu, Gong, Miao, Liu, & He, 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Rectenna anten ve doğrultma devresinden oluşan tümeleşik sisteme denmektedir. Anten vasıtasıyla alınan yüksek frekanslı sinyal, doğrultucu devresinde dc sinyale dönüştürülür. Dönüştürücü devre en basit haliyle diyot ve kondansatörden oluşur.



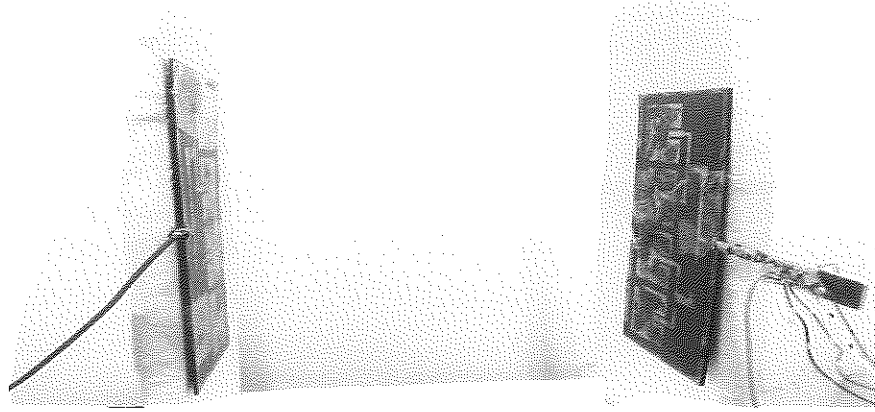
Şekil 3-1 Genel bir rectenna yapısı

Şekil 3-1’de verilen blok diyagramda rectenna temel blok diyagramı gösterilmektedir. Rectennayı oluşturan temel kısımlar anten ve doğrultucu devredir. Şekil 3-1’deki rectenna yapısı kısaca anlatılacak olursa antene gelen radyo dalgası sinyal gücünün minimum kayıpla doğrultma devresine aktarılabilmesi için uyumlama devresinden geçmesi gerekir ve doğrultucuda dc güce dönüşen radyodalgası sinyal gücü, maksimum dönüştürme için uyumlandırma devresinden geçerek rectennadan çıkar.

Doğrultucu devre çıkışındaki dc gücün antene gelen radyodalgası sinyal gücüne oranı bize doğrultucunun verimini vermektedir. Anten verimine ait bağıntı, eşitlik (3.1)’de sunulmuştur.

$$\eta = \frac{\text{DC çıkış gücü}}{\text{Antene gelen RF gücü}} \quad (3.1)$$

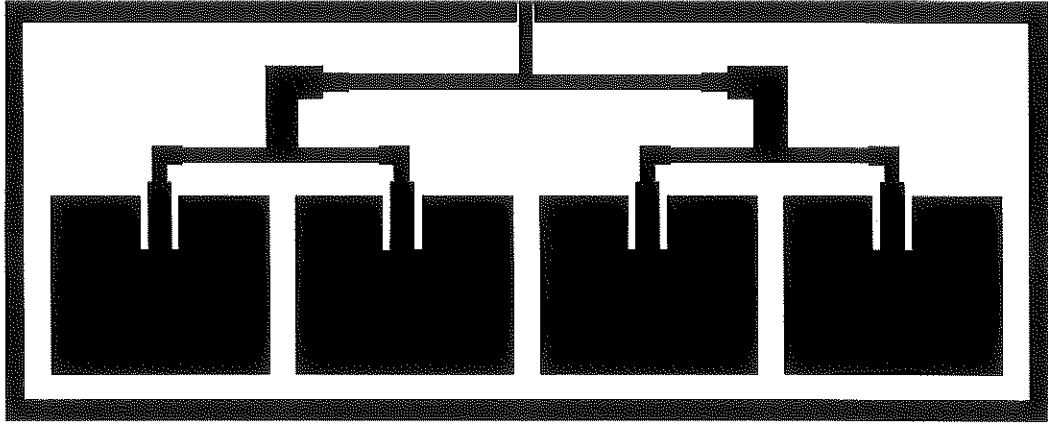
η :anten verimi



Şekil 3-2 Ölçüm sonuçlarının alındığı rectenna görüntüsü

Şekil 3-2'de üretilen antenlerden ve doğrultucudan oluşan rectenna, ölçüm düzeneğiyle birlikte verilmiştir.

Şekil 3-3'de verilen anten görünsüne ait tasarım ve bilgisayar analizleri Ansoft HFSS programında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3-3 Tasarlanan anten modeli

Tasarımı yapılan antenlerin HFSS programında giriş yansımaya katsayıları (S_{11}) ve kazançları hesaplanmıştır. Üretimi yapılan bu antenlerin ise S_{11} parametresi,

network analizör tarafından ölçülmüştür. Anten kazancı Friss eşitliğinden hesaplanmış ve benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Rectenna'nın diğer kısmı olan doğrultma devresi diyot ve kapasitörlerden oluşmaktadır. Buraya kadar AC olarak gelen sinyal DC sinyal olarak çıkmaktadır. Doğrultma devreleri çok farklı yapılarda olabilmektedir. Bu çalışmada tercih edilen doğrultma devresi dört katlı bir diyot devresidir. Ölçümler yapılırken herbir diyot katından sonuçlar kaydedilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında ölçümü alınan diyota paralel bağlanan farklı dirençler ile bu dirençler üzerindeki güç sonuçları da kaydedilmiştir. İlerideki bölümlerde sonuçlar grafikler halinde verilip karşılaştırılmıştır.

3.1. Rectenna

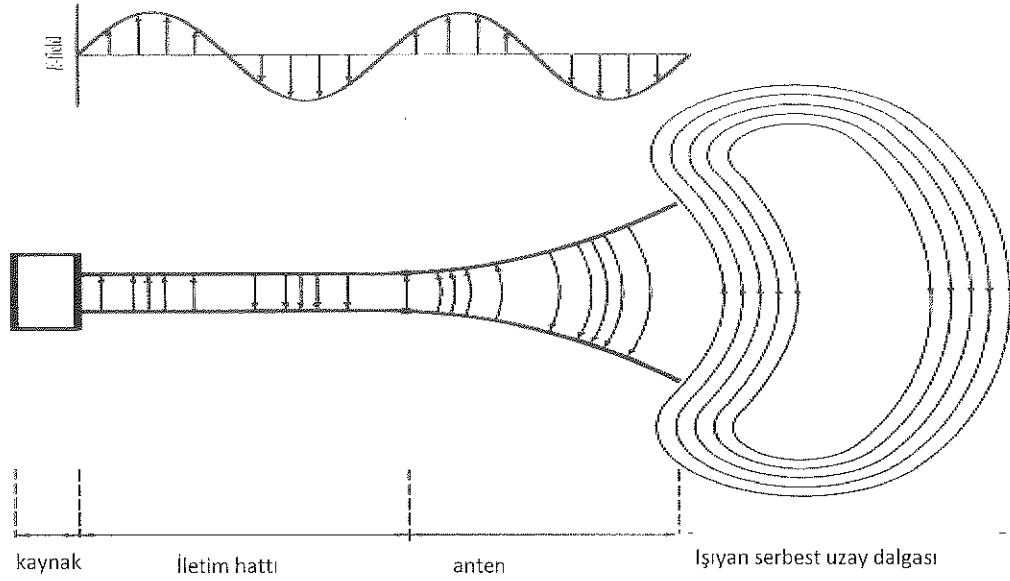
Rectenna kablosuz güç iletimi için önemli bir elemandır. 1950'lerden beri kablosuz iletim vasıtasıyla dc güç sağlamak için mikrodalga sinyallerin doğrultması amaçlandı ve araştırıldı. Uzayda ve anten uygulamaları için rectenna üzerinde kayda değer çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan antenler, mikrodalga güç iletiminde anten dizileri ve doğrultma devreleriyle yüksek doğrultma verimliliği ve iyi polarizasyona sahiptir.

Bu tip güç iletimi uygulamaları, güneş enerjisi uydusu ve toprak iletimi, uydular arası güç iletimi, uzay teleskopu için mekanik işlemciler, kısa mesafelerde kablosuz güç transferleri gibi alanların geliştirilmesi için kullanılmıştır (Hagerty, Helmbrecht, McCalpin, Zane, & Popović, 2004). Son zamanlarda ise rectennalar kullanılarak sensörlere yerleştirilmiş kablosuz güç iletimine odaklanılmıştır (Ali, Yang, & Dougal, 2005).

3.2. Anten

Anten genel manada metal olan ve radyo dalgalarını almak ve iletmek için kullanılan bir cihaza denmektedir. Diğer bir deyişle şekil gösterildiği gibi serbest uzay ve klavuzlayan cihaz arasında geçiş yapısı da denebilir.

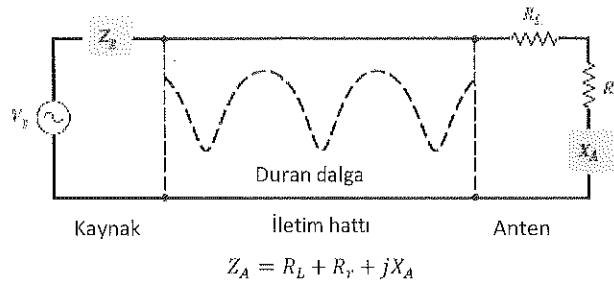
Antenin iletim hattındaki konumu şekil 3-4'de gösterilmiştir.



Şekil 3-4 Bir geçiş cihazı olarak anten (Balanis, 2005)

Kılavulayan cihaz veya iletim hattı koaksiyel hat ya da içi boş bir boru (dalga kılavuzu) şeklinde olabilir ve iletim kaynağından antene ya da antenden alıcıya elektromanyetik enerjinin nakli için kullanılır. Birinci durumda, birverici antenden ve ikinci durumda ise bir alıcı antenden bahsedilmektedir.

Şekil 3-4'de verilen anten sisteminde iletim hattını Thevenin eşdeğeri, şekil 3-5'de gösterilmektedir.



Şekil 3-5 İletme modunda antenin iletim hattının Thevenin eşdeğeri (Balanis, 2005)

Kaynak ideal bir őrteç tarafından temsil edilmektedir, iletim hattı karakteristik empedansı Z_c olan bir çizgi ile temsil edilir, anten ise empedans değeri $Z_A [Z_A = R_L + R_r + jX_A]$ olan temsili bir yük ile gösterilir ve iletim hattına bağlanır. Antenin yük direnci olan R_L , iletkenlik ve dielektrik kayıplarını temsil ederken R_r , ışıma direnci olarak adlandırılır ve antenin ışıma özelliğini temsil etmek için kullanılır. X_A reaktansı, empedansta antenin ışıma özelliğinin sanal kısmını temsil etmektedir (Balanis, 2005).

3.3. Anten Çeşitleri

Uygulamada yaygın olarak kullanılan anten çeşitlerinden bazıları aşağıdaki kısımlarda tanımlanmıştır. Tel anten, açıklık anten, mikroşerit anten, dizi anten, yansıtıcı anten ve lens anten gibi çeşitleri vardır.

3.3.1. Tel anten

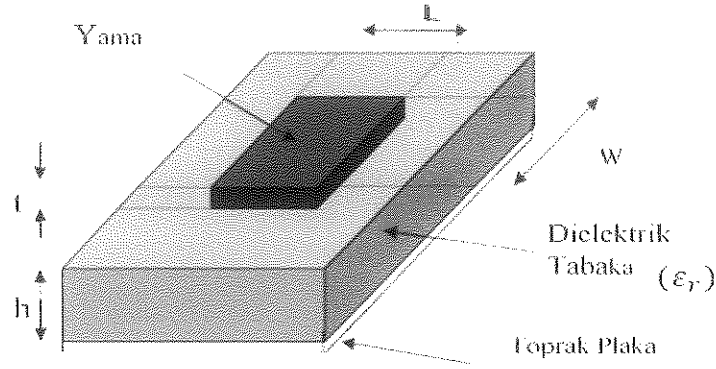
Genellikle otomobillerde inşaatlarda gemi vb. yerlerde kullanılır.

3.3.2. Açıklık anten

Yüksek frekanslarda kullanımından dolayı son zamanlar tercih edilmektedir. Genelde montaj kolaylığından dolayı uçak ve hava araçlarında tercih edilmektedir.

3.3.3. Mikroşerit anten

Devletler tarafından ticari ilişkilerden dolayı kullanılmaktadır. Bir tarafı toprağa bağlı olan dielektrik maddenin üst kısmına yerleştirilen metal parçalardan oluşmaktadır.



Şekil 3-6 Genel mikroşerit anten yapısı (Balanis, 2005)

Şekil 3-6'da genel bir mikroşerit anten yapısı mevcuttur. L ve W ve t yama boyutlarını göstermektedir. Dielektrik tabakanın boyutu ise h ile ifade edilmiştir.

3.3.4. Dizi anten

Tek bir anten elemanının gerçekleştiremediği uygulamalarda tercih edilmektedir. Kazanç, yönlülük vb. özellikleri bakımından dolayı tercih edilmektedir.

3.3.5. Reflektör anten:

Milyonlarca km uzak mesafelere sinyal iletimi için kullanılmaktadırlar.

3.3.6. Lens anten

İstenmeyen yönlere yayılan sinyalleri birbirine paralel hale getirmek için kullanılmaktadır. Çoğunlukla yüksek frekanslarda kullanılan lens antenler geometrik şekline göre metale uyumuna göre sınıflandırılır. Düşük frekanslarında boyutları fazlasıyla büyümektedir (Balanis, 2005).

3.4. Antenlere Ait Temel Parametreler

Anteni tanımlayabilmek için bazı karakteristik özelliklere ihtiyaç vardır. Anten parametrelerinin tanımları aşağıda belirtilecektir.

3.4.1. Işıma örüntüsü

Bir antenin ışıma özelliklerinin uzay koordinatlarında matematiksel veya grafiksel gösterimine denmektedir.

3.4.2. Işıma güç yoğunluğu

Elektromanyetik dalgalar bir noktadan başka bir noktaya kablosuz ortamlarda yada kılavuz içerisinde bilgiyi iletmek için kullanılır. Işıma güç yoğunluğu buradaki gücü tanımlamaktadır.

$$W = E \times H \quad (3.1)$$

W: Ani Poynting Vektörü (W/m^2)

E: Ani elektrik alan şiddeti (V/m)

H: Ani manyetik alan şiddeti (A/m)

3.4.3. Işıma Şiddeti

Birim katı açı başına bir antenden ışılan güç olarak tanımlanır. Matematiksel ifadesi eşitlik (3.2)'deki gibidir.

$$U = r^2 W_{rad} \quad (3.2)$$

Burada;

$U = \text{Işıma şiddeti (W/birim katı açı)}$

$W_{\text{rad}} = \text{Işıma güç yoğunluğu (W/m}^2\text{) olarak tanımlanır.}$

3.4.4. Yönlülük

Antenin verilen bir yöndeki ışıma şiddetinin tüm yönler üzerindeki ortalama ışıma şiddetine oranı olarak tanımlanır.

3.4.5. Anten Verimliliği

Antenle ilgili birkaç tane verimlilik vardır. Ama bunların hepsini kapsayan e_0 anten yapısı ve giriş terminallerindeki kayıpları ifade eder.

Toplam verimlilik $\Rightarrow e_0 = e_r e_c e_d$ olarak yazılabilir.

e_0 : Toplam verimlilik

e_r : Yansıma verimliliği $= (1 - [\Gamma]^2)$

e_c : İletim verimliliği

e_d : Dielektrik verimliliği

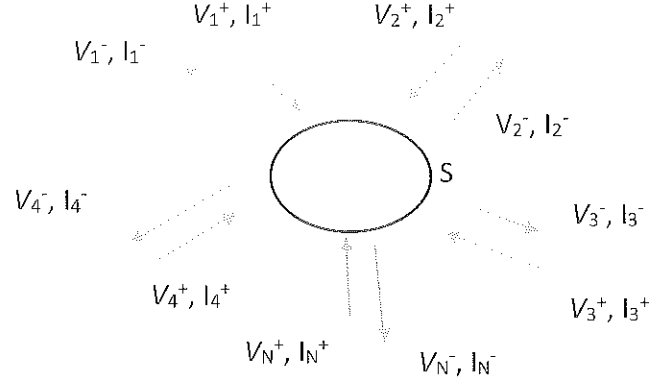
Γ : Anten giriş terminalindeki gerilim yansıma katsayısı

3.4.6. Saçılma matrisi

Yüksek frekans devre elemanlarından belirli bir yönde ilerleyen ve duran dalgaların genlikleri ölçülen güç ifadelerinden bulunur. Bundan dolayı yüksek frekans devrelerinde gerilimler, akımlar ve ilişkili empedanslar soyutlamadan ibarettir. Yapılan ölçümlerle devreye gelen dalgaların yansımalarının ve iletilmelerinin farklı uygun bir gösterimi ise saçılma matrisiyle verilmektedir.

Saçılma matrisi N kapılı bir devreyi kapıdan görüldüğü şekliyle tanımlar ve kapılara ulaşan ve yansıyan gerilim dalgalarını ilişkilendirir.

Şekil 3-7’de basit bir şekilde gösterilmeye çalışılan N kapılı bir devreyi ele alacak olursak V_n^+ n’inci kapıya ulaşan gerilim dalgasının genliği, V_n^- ise n’inci kapıdan yansıyan gerilim dalgasının genliğini ifade etmektedir (Pozar, 2009).



Şekil 3-7 N kapılı bir mikrodalga devre

N kapılı bir devre için saçılma matrisi (3.3)’de formülize edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix}$$

Diğer bir ifadeyle;

$$[V^-] = [S][V^+] \quad (3.3)$$

Antenin tek kapılı bir eleman olduğu göz önünde bulundurulduğunda, saçılma matrisi;

$$[V_1^-] = [S_{11}][V_1^+] \quad (3.4)$$

(3.4)’deki gibi tanımlanabilir.

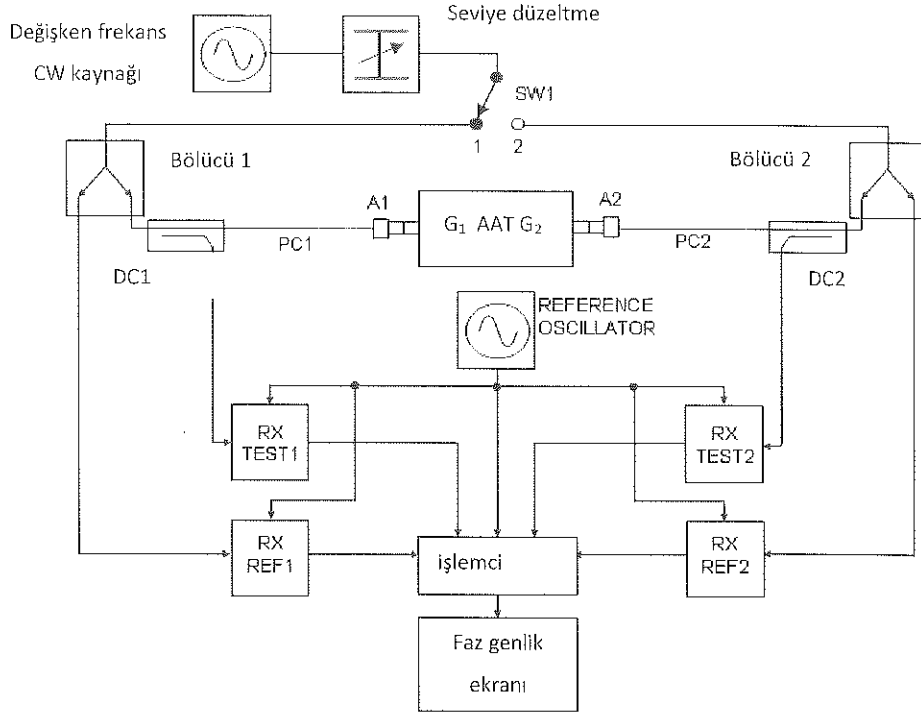
Tasarımı yapılan antenler üretildikten sonra ise S11(geri dönüş kaybı) hesap ve görüntüsü network analizör tarafından gerçekleştirilmiştir.

Network analizör, devreye gelen ve devreden yansıyan dalgaların genlik ve fazlarını işleyebilen iki kanallı bir mikrodalga alıcı olan network analizör saçılma matrislerinin ölçümlerinde kullanılır.



Şekil 3-8 Network Analizör görüntüsü

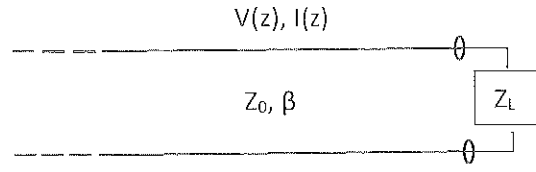
Rectennaya ait S11 grafiği alınan network analizör şekil 3-8'deki gibidir. Network analizörün blok diyagramı şekil 3-9'da verilmiştir.



Şekil 3-9 Genel network analizör blok diyagramı (Dunsmore, 2012)

Şekil 3-10'daki blok diyagram tipik bir 2-çıkışlı bir network analizörün temel bölümlerini göstermektedir. Araç altı testi(AAT)'nin iki girişi giriş 1 (G_1) ve giriş 2 (G_2) gösterilmiştir. A1 ve A2 kablolarla giriş ara bağlantılarını yapan araçlardır. Değiştirilebilir test frekansı CW ile oluşturulur. Anahtar SW1, AAT boyunca ilerleyecek olan test sinyalinin yönünü ayarlamak için kullanılır. DC1 ve DC2 kablolar görevi yapmaktadır. RX TEST1, RX REF1, RX TEST2 ve RX REF2 ortak alıcılardır ve test sinyalindeki sinyali genliğini fazını ölçebilirler. Bu alanlardan çıkan sinyallerin hepsi işlemciyi beslemektedir. İşlemci ise matematiksel ifadeleri hesaplar ayrıca genlik ve faz ekranlarındaki seçilen parametrelerin (S_{11} , S_{12} ..) ekranda görüntü oluşmasını sağlar (Dunsmore, 2012).

Saçılma matrisi olan geri dönüş kaybı(S_{11}) anten veriminde etkili olduğu gibi anten uyumsuzluğunun bir ifadesi de duran dalga oranıdır.



Şekil 3-10 Z_L yük empedansı ile sonlandırılmış bir

Şekil 3-10'da gelişigüzel bir yük empedansı ile sonlandırılmış kayıpsız bir iletim hattını göstermektedir. Yük iletim hattı ile uyumsuz olduğunda kaynaktaki gücün tamamı yüke aktarılamaz bu kayba geri dönüş kaybı(RL) denir.

$$RL = -20 \log |r| \text{ dB} \quad (3.5)$$

olarak adlandırılır.

Yansıyan gerilim dalgası genliğinin gelen gerilim dalgasının genliğine oranı gerilim yansıma katsayısı olarak ifade edilebilir:

$$r = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (3.6)$$

$$|V(z)| = |V_0^+| |1 + re^{2j\beta z}| = |V(z)| = |V_0^+| |1 + re^{j(\theta - 2\beta l)}| \quad (3.7)$$

yazılabilir.

$$V_{\max} = |V_0^+| (1 + |r|) \quad (3.8)$$

$$V_{\min} = |V_0^+| (1 - |r|) \quad (3.9)$$

Buradan bir iletim hattının uyumsuzluğunun ölçüsü duran dalga oranı(SWR) olarak adlandırılır ve

$$SWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.10)$$

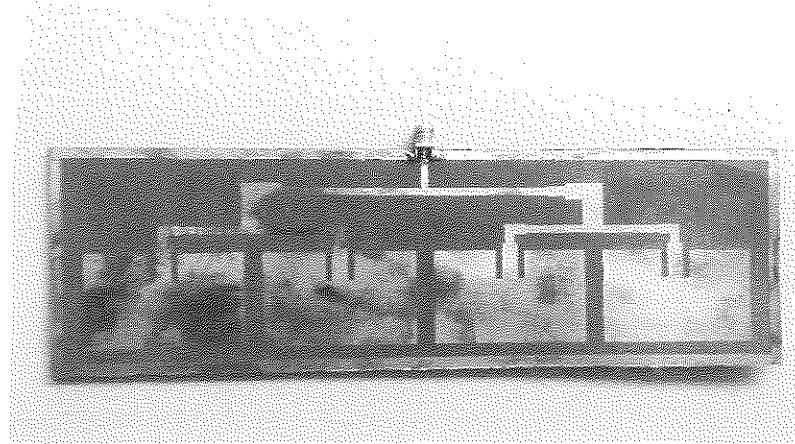
olarak tanımlanır. (3.10) aynı zamanda gerilim duran dalga oranı (VSWR) olarak da bilinir.

$1 \leq SWR \leq \infty$ olarak bir gerçel sayı olması gerektiği görülebilir. $SWR=1$ yansımının sıfır olduğunu gösterir. Diğer bir ifadeyle anten ve yük devresi tam uyumlandırılmıştır.

3.4.7. Anten dizileri

Tek elemanlı bir antenin ışıma örüntüsü nispeten geniş yer kaplar ve kazancı düşüktür. Bundan dolayı çoğunlukla uzun mesafeli haberleşmeler için dizi anten tercih edilmektedir. Bu da sadece antenin elektriksel boyutu artırılarak yapılabilir.

Şekil 3-11'de gerçekleştirilen bir dizi anten görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil 3-11 Üretilen anten görüntüsü

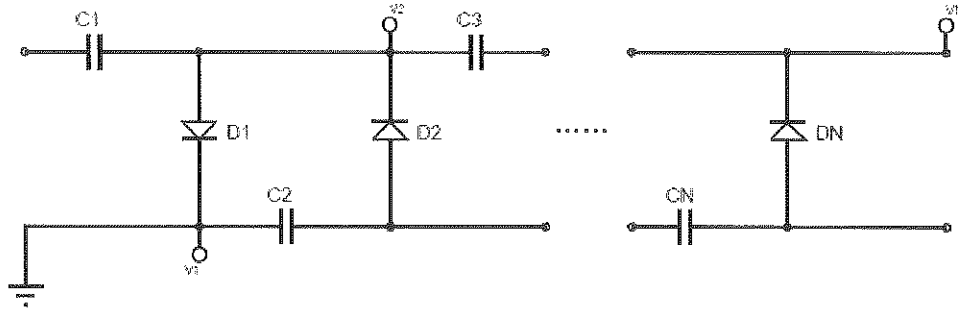
Tek elementli bir antenin boyutunu büyütmek daha yönlü antenleri ortaya çıkarmaktadır. Antenin boyutunu artırmak için diğer bir yol tek bir elemanın

boyutunu artırmaksızın geometrik ve elektriksel biçimlerinde ışıma elemanlarının birliğini değiştirmekle olur (Balanis, 2005).

3.5. Doğrultma Devresi

Rectenna devresinde önemli parçalardan bir tanesi anten olduğu gibi diğer önemli kısmı ise doğrultma devresidir. Çalışma ölçümlerimde kullanılan doğrultma devresi aşağıdaki gibidir.

N katlı bir doğrultma devresi örneği şekil 3-12'deki gibidir

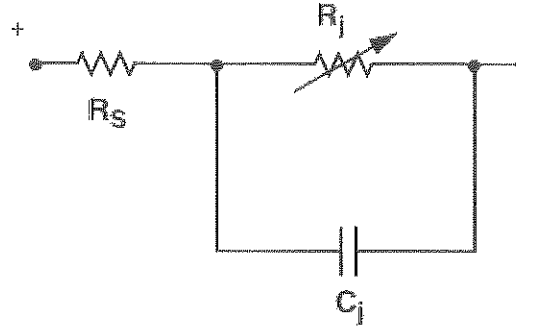


şekil 3-12 N katlı doğrultma devre şeması

Doğrultucu devrede kullanılan diyotların karakteristik özellikleri ve kaç tane kullanıldığı daha kaliteli bir doğrultma için önemlidir.

Çalışmamızda kullanılan diyotlardan bahsedecek olursak doğrultma devrelerinde sıklıkla görülen diyot çeşitlerinden birisidir. Sıfır eşik değerli Schottky diot 1.5 GHz'in altındaki frekanslarda devreye gelen sinyal giriş gücünün -20 dBm'den daha düşük değerleri için tasarlanmıştır. Bu tür diyotlar ön eşik değerli DC güç istemedikleri için RFID ve RF etiket uygulamalarında kullanılmaya uygundur. Fakat bizim çalışmamızda olduğu gibi devrede kullanılan diyot 1.5 GHz'den daha yüksek frekanslardaki uygulamalarda kullanıldığı zaman devre giriş gücünün -20 dBm'den daha büyük olması gerekmektedir (Avagotech, 2009).

HSMS-285C diyotunun devre şeması şekil 3-13'de gösterilmiştir.



Şekil 3-13 HSMS-285C diyotunun devre şeması (Avagotech, 2009)

R_s :Seri direnç

C_j :Eklem kapasitansı

$$R_j = \frac{8.33 \times 10^{-5} nT}{I_b + I_s} \quad (3.11)$$

I_b :Harici uygulanmış ön eşik akım

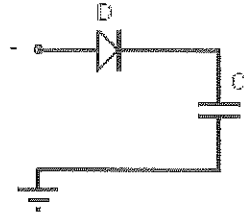
I_s :Doyum akımı

T:Sıcaklık

n:ideal katsayı

3.5.1. Tek katlı doğrultma devresi

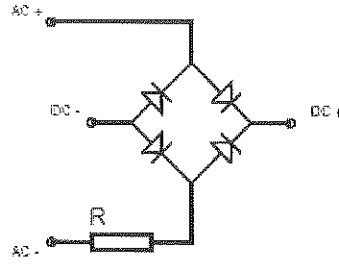
Yarım dalga doğrultma devresi de denir. AC sinyalleri DC sinyallere çeviren tek diyotlu devrelerdir. Bu tür devrelerde çıkış sinyali tam düzgün bir şekil göstermez. Daha duyarlı devrelerde tam bir doğrultma için yeterli değildir. Şekil 3-14'de tek katlı doğrultma devresi gösterilmiştir.



Şekil 3-14 Genel tek katlı doğrultma devresi

3.5.2. Çok katlı doğrultma devresi

Tam dalga doğrultma devresi de denmektedir. AC sinyali DC sinyale tam bir şekilde çevirmek için kullanılır. Kullanılan en yaygın şekil 3-15'deki köprü diyot devresidir.



Şekil 3-15 Genel bir çok katlı doğrultma devresi

4. ANTEN TASARIMI

FR-4 ve Roger 5870 alttaş malzemelerinden oluşan yarıklı ve yarıksız olarak isimlendirilen mikroşerit dizi antenler bazı matematiksel formüller ve HFSS Ansoft bilgisayar tasarım programı yardımıyla tasarlanmıştır. Bu alttaş malzemelerden alıcı ve verici olarak kullanılmak üzere herbirinden ikişer adet yarıklı mikroşerit dizi anten üretilmiştir.

4.1. FR-4 ile Hazırlanan Yarıklı Mikroşerit Dizi Anten

FR-4, çalışmada kullanılan anten alttaş malzemelerinden bir tanesidir. Roger-5870 ile yapılan anten hesaplamaları FR-4 dielektrik maddeli anten için de gerçekleştirilmiştir. FR-4 alttaş malzemeli anteni üretimi için yapılan hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$f: 2.47 \text{ GHz}$$

$$h: 1.6 \text{ mm}$$

$$\epsilon_r: 4.4$$

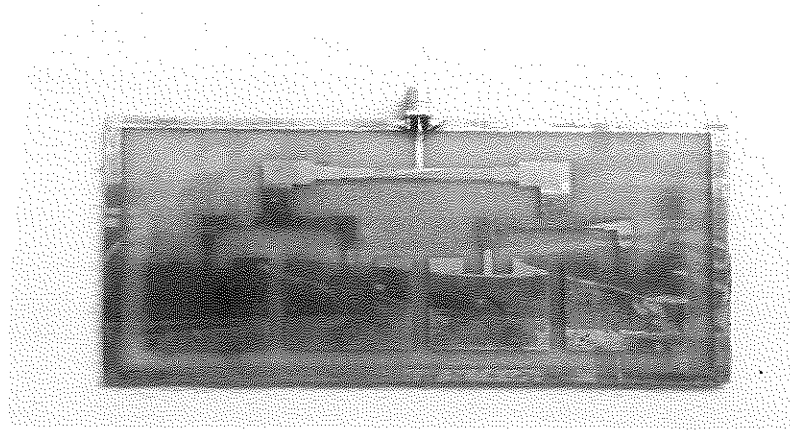
$$W = \frac{30}{2 * 2.47} \sqrt{\frac{2}{4.4 + 1}} = 36.95 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} * \left[1 + \frac{1.6}{36.95} \right]^{-\frac{1}{2}} = 4.36$$

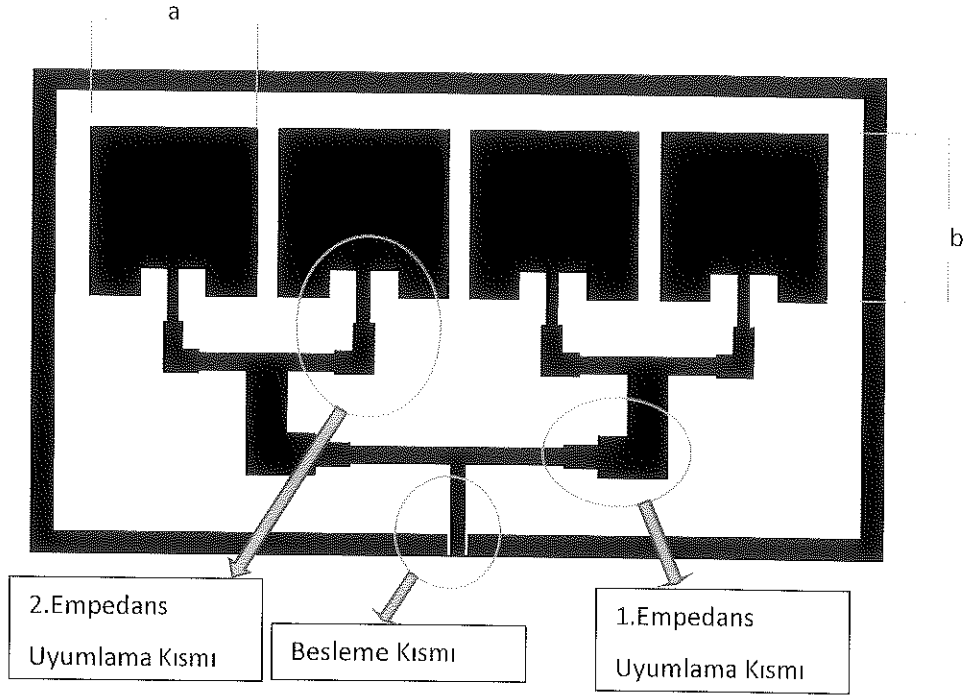
$$\Delta L = \frac{1.6 * 0.412(4.36 + 0.3) * \left(\frac{36.95}{1.6} + 0.264 \right)}{(4.36 - 0.258) * \left(\frac{36.95}{1.6} + 0.8 \right)} = 1.46 \text{ mm}$$

$$L = \frac{30}{2 * \sqrt{4.36}} - 2.92 = 55.77 \text{ mm}$$

Bu sonuçlar doğrultusunda gerçekleştirilen FR-4 mikroşerit dizi anten modeli şekil 4-1'de gösterilmiştir. Şekil 4-2'deki boyalı kısımlar bakır metalinden oluşmaktadır. Farklı bir geometri yapısı izlenilerek üretilen mikroşerit dizi antenin şekilde de görüldüğü üzere kenar kısımları bakır kaplıdır. Anten kenar kısımları toprak görevi görmektedir. Bu şekilde mikroşerit anten horn anten yapısına benzetilerek kazanç artışı sağlanmak istenmiştir.

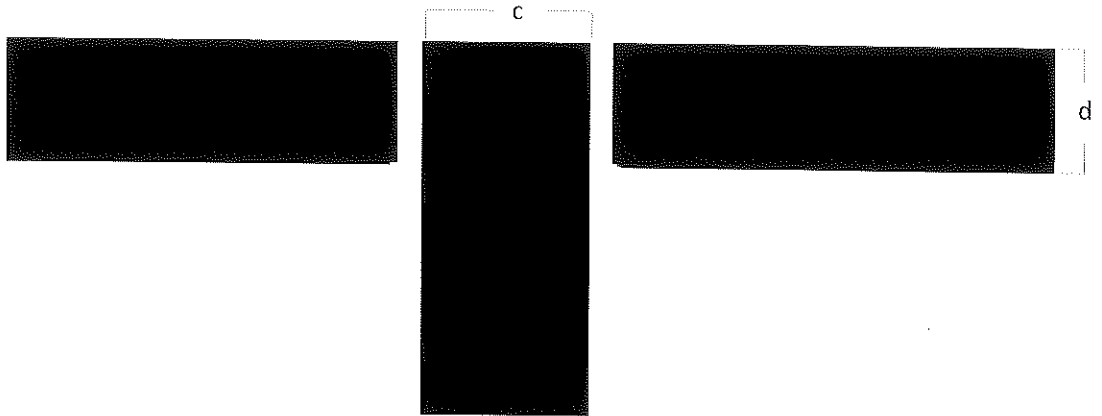


Şekil 4-1 Üretilen FR-4 yarıkli mikroşerit dizi anten görüntüsü

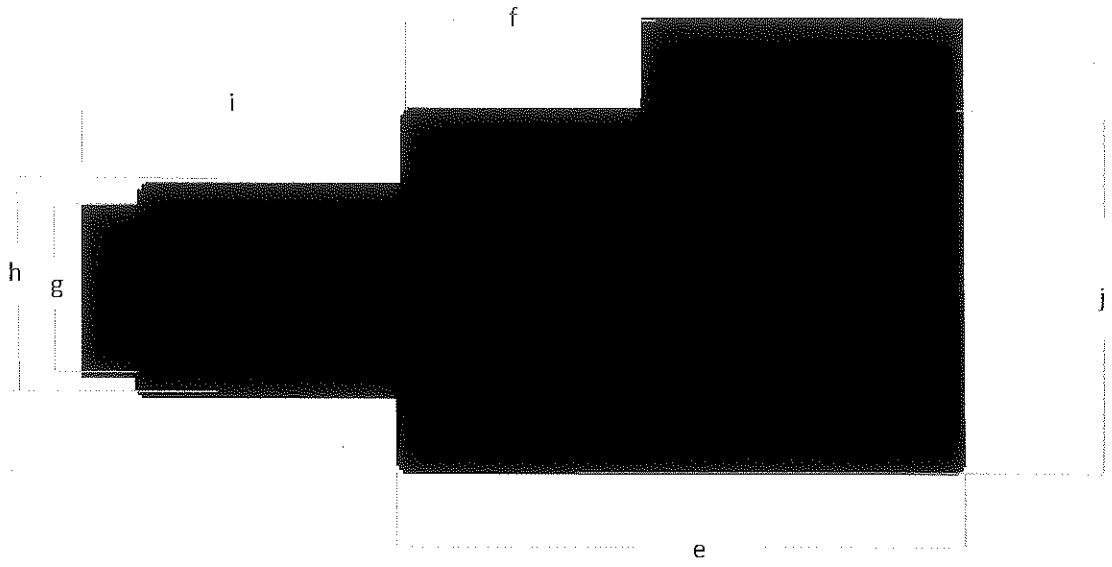


Şekil 4-2 Tasarlanan FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten yapısı

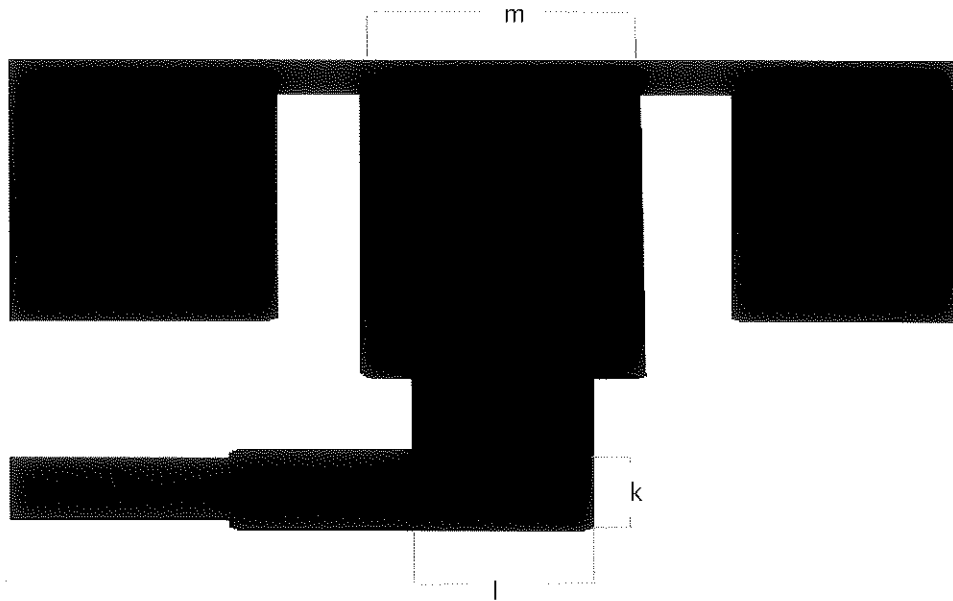
Tasarlanan dizi anten yapısına ait, şekil 4-2 üzerinde belirtilen besleme kısmı, 1.empedans uyumlama kısmı ve 2. Empedans uyumlama kısmına ait yakınlaştırılmış çizimler, ise sırasıyla şekil 4-3, şekil 4-4 ve şekil 4-5’de verilmiştir.



Şekil 4-3 Tasarlanan FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten besleme kısmı



Şekil 4-4 Tasarlanan FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten 1. empedans uyumlama kısmı



Şekil 4-5 Tasarlanan FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten 2. empedans uyumlama kısmı

Yukarıdaki şekil 4-2, 4-3, şekil 4-4 ve şekil 4-5’de gösterilen parçaların uzunlukları çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1 FR-4 Yarıklı mikroşerit dizi antene ait parametre boyutları

Parametre	a	b	c	d	e	f	g
Boyut(mm)	29.5	29.5	2.5	3.5	12	6	3
Parametre	h	i	j	k	l	m	
Boyut(mm)	4	7	7	4	3	5	

4.2. Roger 5870 ile Hazırlanan Yarıklı Mikroşerit Dizi Anten

Hesaplamalar sonucu tasarlanan mikroşerit antenden dizi anten elde edilmiştir. Daha önce de bahsedildiği üzere dizi antenden yüksek verim alabilmek için dizi anteni oluşturan mikroşerit anten arası bağlantıların uyumlu olması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirmek için HFSS programı yardımıyla mikroşerit antenler arası bağlantı uzunlukları belirlenmiştir.

Şekilde mikroşerit antenin beslendiği noktadan yarıklar açarak bant genişliğinin artırılması ve geri dönüş kaybının azaltılması istenmiştir. Anten tasarımında kullanılan bazı formüller aşağıda verilmiştir.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (4.1)$$

$$L = \frac{\lambda}{2} - \Delta L \quad (4.2)$$

λ : Dalga boyu

L, W:Yama anten kenar uzunlukları

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (4.3)$$

ϵ_{reff} :Antenin içinde bulunduğu ortamın dielektrik sabitidir.

$$w/h > 1 \text{ ise}$$

ortamın dielektrik sabiti aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

ϵ_r : Yama antenin yerleştirildiği yüzeyin dielektrik sabitidir.

h : Yama antenin üzerinde bulunduğu yüzeyin kalınlığı.

Buradaki ΔL antenin fiziksel boyutu ve (4.3)'de gösterildiği gibi anten kenarlarına taşan saçak etkisi dediğimiz antenin elektriksel alan boyutudur.

2.47 GHz sinyal frekansında yapılan Roger-5870 yüzeyli anten tasarımı hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

f : 2.47 GHz

h : 1.6 mm

ϵ_r : 2.33

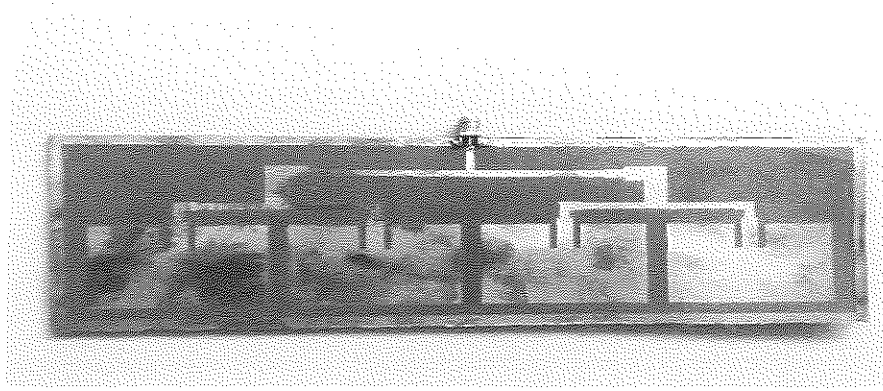
$$W = \frac{30}{2 * 2.47} \sqrt{\frac{2}{2.33 + 1}} = 47 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2.33 + 1}{2} + \frac{2.33 - 1}{2} * \left[1 + \frac{1.6}{47} \right]^{-\frac{1}{2}} = 2.32 \text{ mm}$$

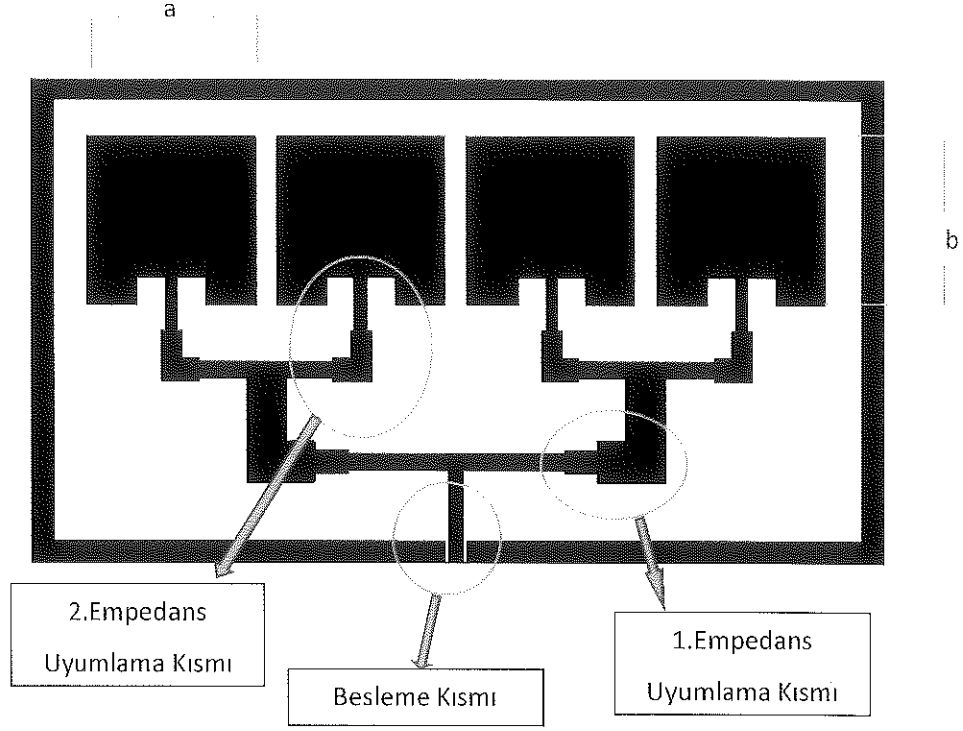
$$\Delta L = \frac{1.6 * 0.412(2.32 + 0.3) \left(\frac{47}{1.6} + 0.264 \right)}{(2.32 - 0.258) \left(\frac{48}{1.6} + 0.8 \right)} = 0.823 \text{ mm}$$

$$L = \frac{30}{2 * \sqrt{2.32}} - 0.823 = 97.65 \text{ mm}$$

Bu sonuçlar doğrultusunda gerçekleştirilen Roger 5870 mikroşerit dizi anten modeli şekil 4-6'de gösterilmiştir. Şekil 4-7'deki boyalı kısımlar bakır metalinden oluşmaktadır. Farklı bir geometri yapısı izlenilerek üretilen mikroşerit dizi antenin şekilde de görüldüğü üzere kenar kısımları bakır kaplıdır. Anten kenar kısımları toprak görevi görmektedir. Bu şekilde mikroşerit anten horn anten yapısına benzetilerek kazanç artışı sağlamak istenmiştir.



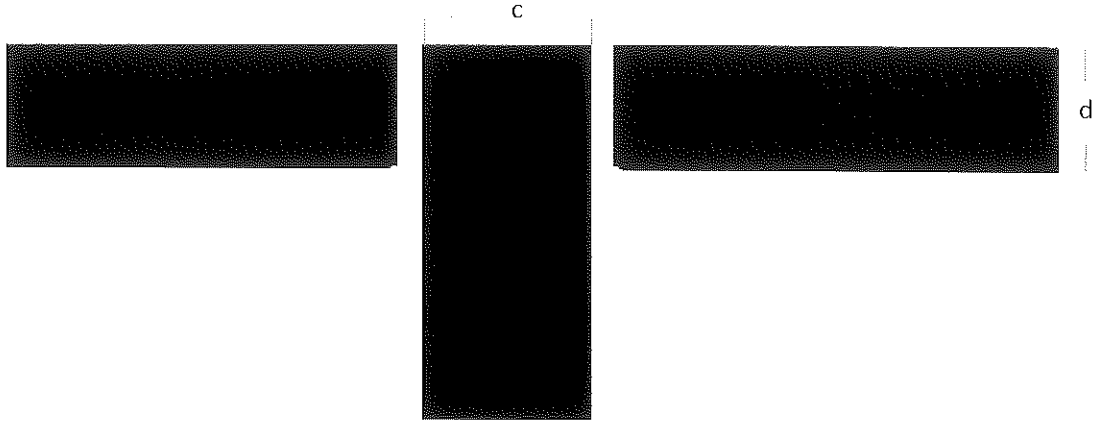
Şekil 4-6 Üretilen Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten görüntüsü



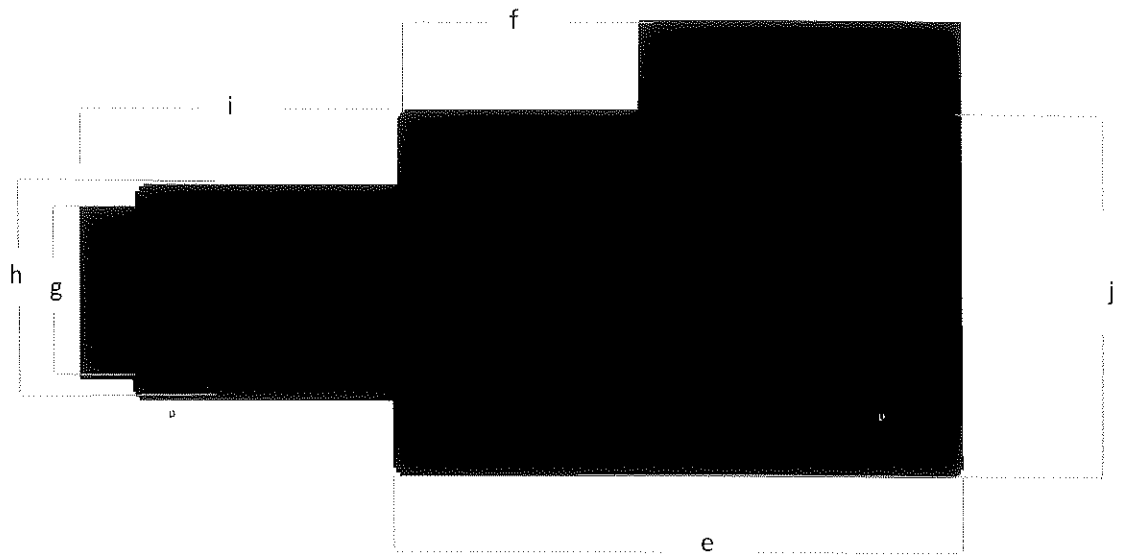
Şekil 4-7 Tasarlanan Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten yapısı

Şekil 4-7'de HFSS programında tasarlanmış Roger 5870 anten görülmektedir. Şekildeki boyalı kısımlar FR-4 anten yapısında da olduğu gibi bakır kısmı oluşmaktadır. Genel bir dizi anten yapısından farklı olarak şekilde de görüldüğü üzere kenar kısımlar bakırla kaplıdır. Bu kısımlar toprak görevi görmektedir. Bu şekilde mikroşerit anten, horn anten yapısına benzetilerek kazanç artışı sağlamak istenmiştir.

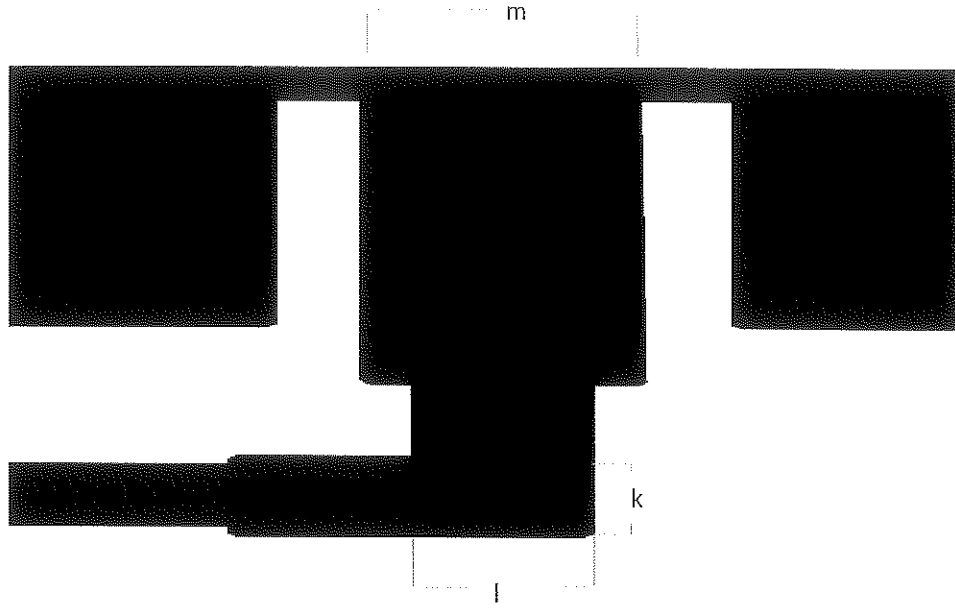
Tasarlanan dizi anten yapısına ait, şekil 4-7 üzerinde belirtilen besleme kısmı, 1.empedans uyumlama kısmı ve 2. Empedans uyumlama kısmına ait yakınlaştırılmış çizimler, ise sırasıyla şekil 4-8, şekil 4-9 ve şekil 4-10'da verilmiştir.



Şekil 4-8 Tasarlanan Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten besleme kısmı



Şekil 4-9 Tasarlanan Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten 1. empedans uyumlama kısmı



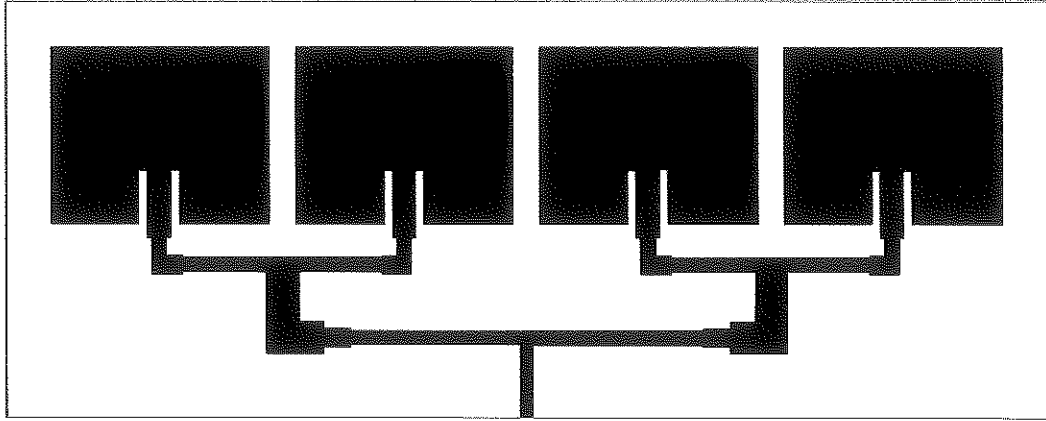
Şekil 4-10 Roger 5870 mikroşerit dizi anten 2. empedans uyumlama kısmı

Şekil 4-7, 4-8, 4-9, 4-10'deki parça uzunlukları çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi antene ait parametre boyutları

Parametre	a	b	c	d	e	f	g
Boyut(mm)	39	48	2.5	4.25	12.5	6	3
Parametre	h	i	j	k	l	m	
Boyut(mm)	4	7	7	4	3	5	

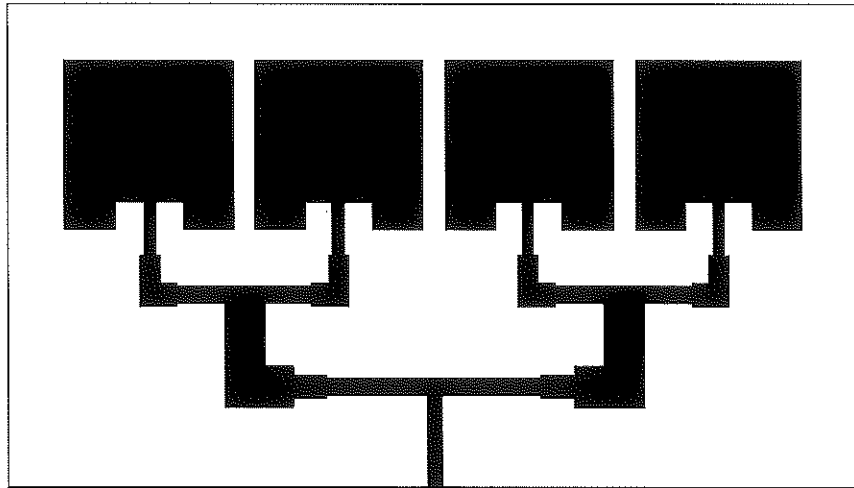
4.3. Roger 5870 İle Hazırlanan Yarıksız Mikroşerit Dizi Anten



Şekil 4-11 Tasarlanan Roger 5870 yarıksız mikroşerit dizi anten yapısı

Şekil 4-11’de sadece kenar bakır kısımları çıkartılmış Roger 5870 yarıksız mikroşerit dizi anten görüntüsü bulunmaktadır. Geriye kalan anten yapısı ve uzunlukları şekil 4-7’deki anten ile eşdeğerdir. Bu antene ait yansımaya katsayısı kaydedilmiştir ve yarıklı anten yapısıyla sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.4. FR-4 ile Hazırlanan Yarıksız Mikroşerit Dizi Anten



Şekil 4-12 Tasarlanan FR-4 yarıksız mikroşerit dizi anten yapısı

Şekil 4-12'deki görüntü, yarıkli FR-4 anten yapısından farklı olarak kenar kısımlarındaki bakır metal çıkartılmıştır. Tasarımı yapılmış programda yansıma katsayısı değeri hesaplanmış ve yarıkli anten ile sonucu karşılaştırılmıştır.

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada mikroşerit dizi anten ve RF doğrultma devresi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleme işleminden önce anten boyut ve parametreleri Ansoft HFSS programı yardımıyla en iyi olacak biçimde tespit edilmiştir. Bu tasarım programı ile antenlere ait yansıma katsayısı(S11) ve anten kazancı değerleri kaydedilmiştir. Tespit edilen değerlere göre gerçekleştirilen her bir antenin yansıma katsayısı, Agilent Technologies Field Fox Microwave Vector Network Analyser N9926A cihazı yardımıyla ölçülmüştür.

Tasarlanan antenlerden biri kaynak tarafında, diğeri alıcı tarafında kullanılmak üzere ikişer adet üretilmiştir. Kaynak olarak 2400 MHz ile 2500 MHz arasında frekans ve 20 dB'ye kadar çıkış gücü ayarlı sinyal jeneratörü kullanılmıştır.

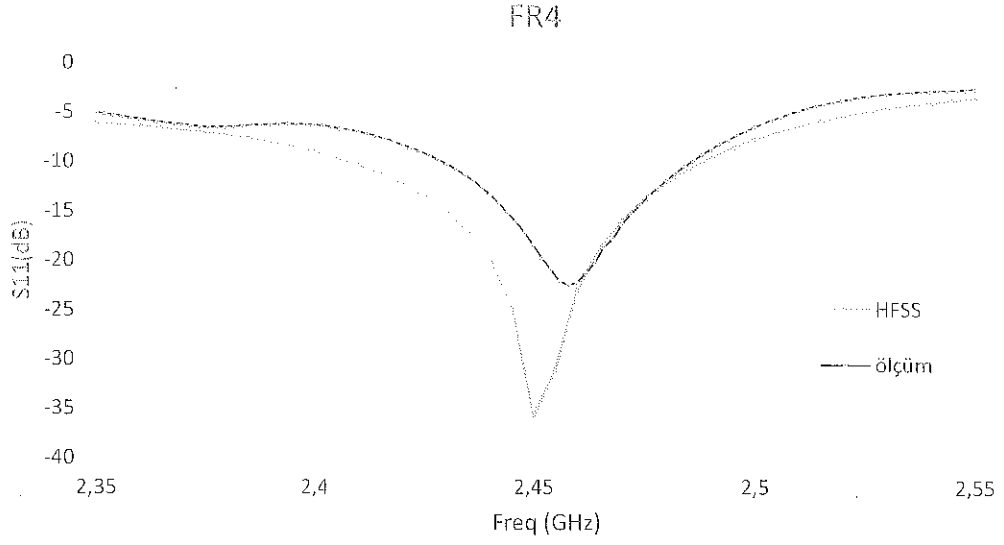
Herbir anten için yukarıda tanımlanan işlemler yapılmış olup, ölçüm ve benzetim sonuçları aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde, benzetim sonuçları ile ölçüm sonuçlarının uyumlu olduğu gözlenmektedir.

5.1. FR-4 ile Hazırlanan Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

HFSS anten programında tasarlanan FR-4 mikroşerit dizi anten ve benzetim sonuçları ile bunların gerçekleştirilmiş halleri kıyaslamalı olarak verilmeye çalışılmıştır.

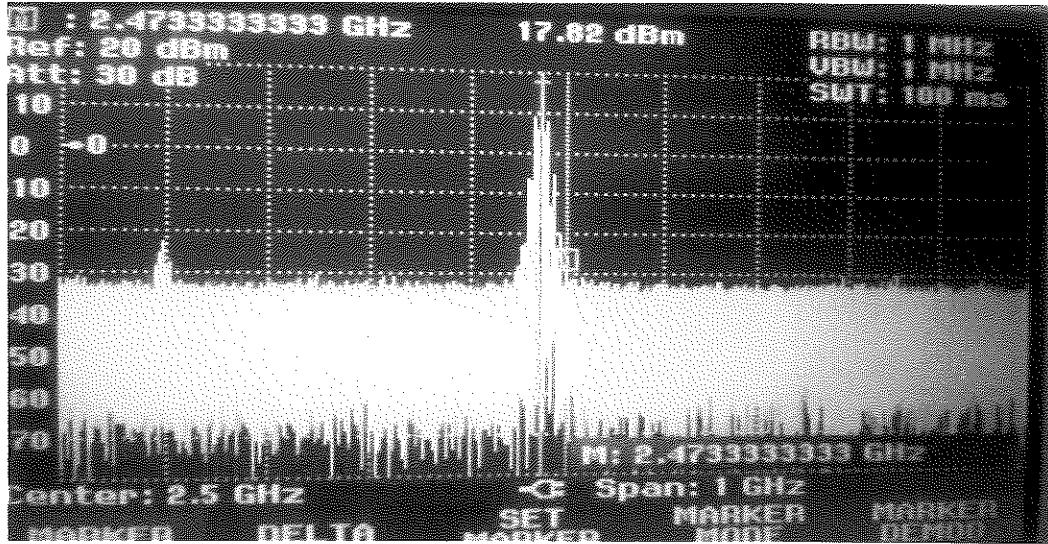
5.1.1. FR-4 ile Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

FR-4 mikroşerit dizi antene ait S11 grafiği şekil 5-1'de verilmiştir. Şekilde anlatılmak istendiği gibi HFSS'de benzetimi yapılan antenin yansıma katsayısı 2450 MHz'de -35 dB'lere inerken, ölçüm sonucu 2470 MHz'te -22 dB'lere inmektedir.

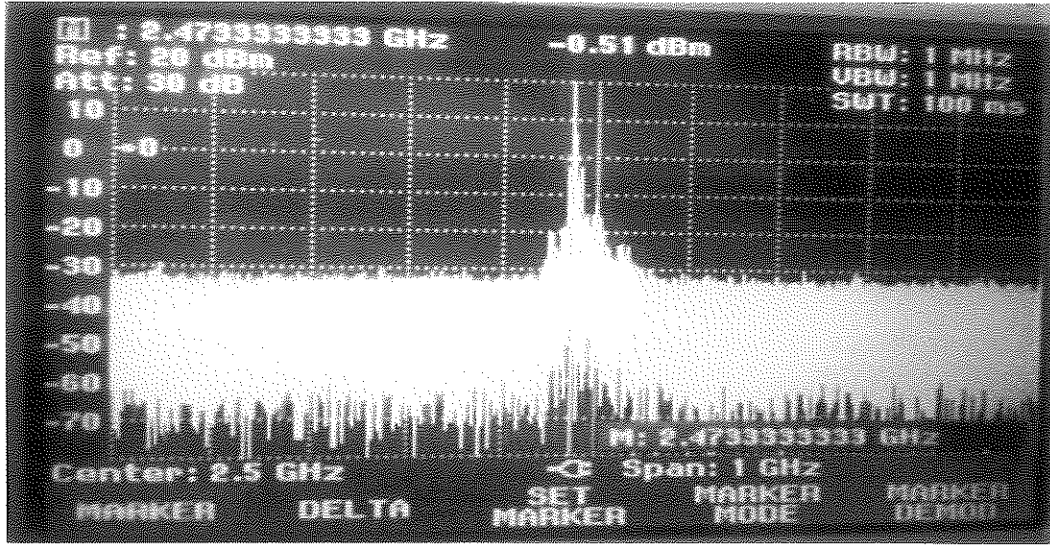


Şekil 5-1 FR4 plaketsli anten için HFSS ve ölçüm S11 sonuçları görüntüsü

Şekil 5-2’de FR-4 verici antene verilen 2.47 GHz’deki sinyal giriş gücü dBm cinsinden gösterilmiştir.



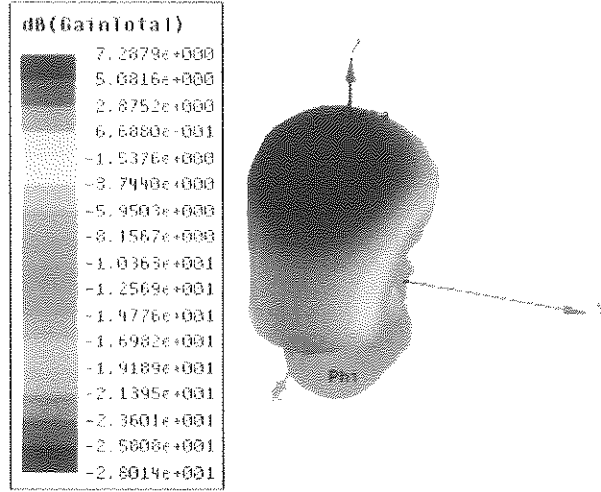
Şekil 5-2 FR-4 alıcı anten sinyal gücü -0.51 dBm olduğu zaman FR-4 verici antenin sinyal gücü görüntüsü



Şekil 5-3 FR-4 verici anten sinyal gücü 17.82 dBm olduğu zaman FR-4 alıcı antene ulaşan sinyal gücü görüntüsü

Şekil 5.3'de FR-4 alıcı antenimizin çıkışındaki sinyal gücü gösterilmiştir. Verici antenimize yaklaşık 17 dBm'lik bir güç gelirken alıcı anten çıkışından yaklaşık 0 dBm'lik bir güç alınmaktadır.

Tasarlanan FR-4 yarıklı anten kazancı HFSS programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu kazanç şekil 5-4 de gösterilmektedir.



Şekil 5-4 FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü

Üretilen antende ise bu işlem Friss denklemi yardımıyla gerçekleştirilir.

$$\text{Friss Denklemi} \Rightarrow \frac{p_r}{p_t} = \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_{ot} G_{or} \quad (5.1)$$

P_r :alıcı anten gücü

P_t :verici anten gücü

λ :dalga boyu

R :iki anten arasındaki mesafe

G_{ot} :Verici anten kazancı

G_{or} :Alıcı anten kazancı

(5.1)'deki friss eşitliğinden yola çıkarsak;

$$\frac{1}{60.53} = \left(\frac{30}{\frac{2.47 \cdot \sqrt{4.36}}{4 \cdot \pi \cdot 10}} \right)^2 G_t^2 \Rightarrow G_t = 2.77 \text{ dB}$$

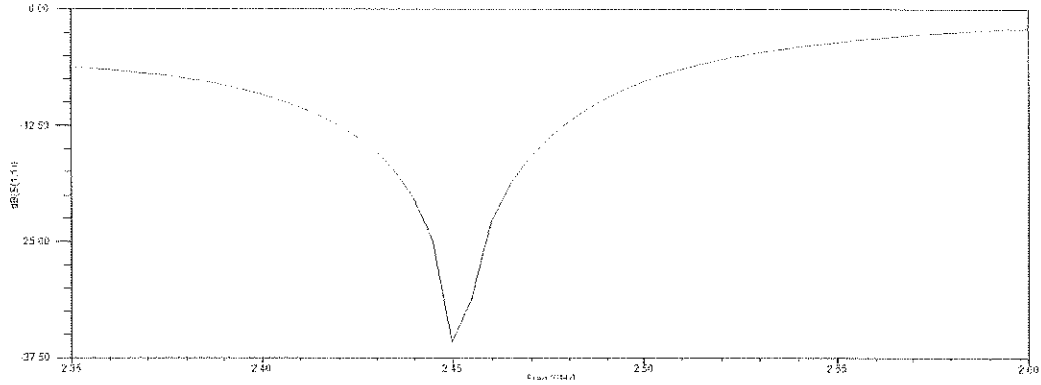
olarak bulunur.

Yine FR-4 simülasyon kazancımıza (7dB) kıyasla ölçümde biraz farklı olmaktadır.

Bilgisayardan alınan kazanç sonuçları ve gerçekleştirilen anten ile hesaplanan sonuçlar birbirine yaklaşmaktadır.

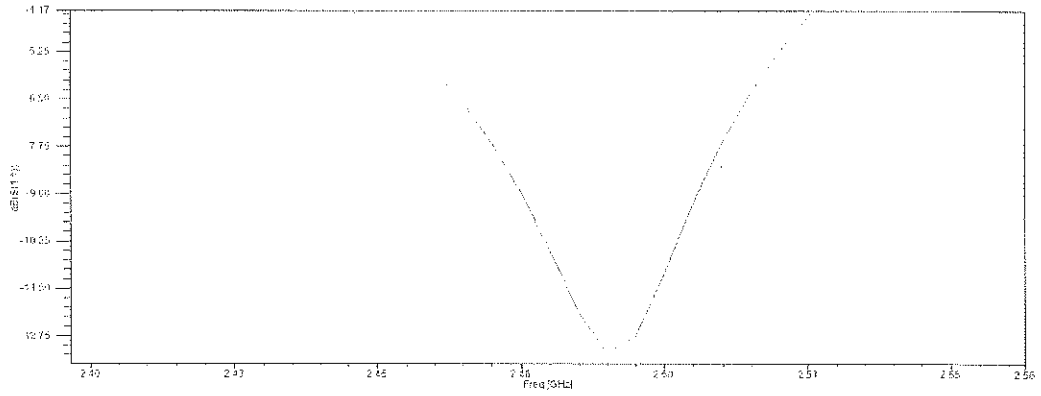
5.1.2. FR-4 ile Tasarlanan Yarıksız Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

Yarıklı mikroşerit dizi anten olarak isimlendirdiğimiz çevresi toprak düzlemlili FR-4 alttaş malzemeli tasarlanmış anten(yarıklı) bilgisayar S11 analiz sonuçları şekil 5-5'deki gibidir.



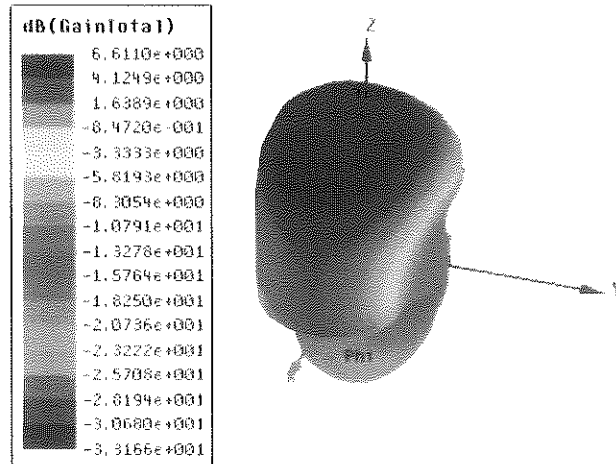
Şekil 5-5 FR-4 yarıklı mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü

Yarıksız mikroşerit dizi anten olarak isimlendirdiğimiz çevresi toprak düzlemsiz FR-4 alttaş malzemeli tasarlanmış anten bilgisayar S11 analiz sonuçları şekil 5-6'daki gibidir.



Şekil 5-6 FR-4 yarıksız mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü

Şekil 5-5 ve 5-6'da görüldüğü gibi üzerinde çalışılan yarıklı FR-4 alttaş malzemeli anten S11'i -35 dB'lere kadar inerken yarıksız FR-4 mikroşerit anten S11'i -13 dB'lerde kalmıştır.



Şekil 5-7 FR-4 yarıksız mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü

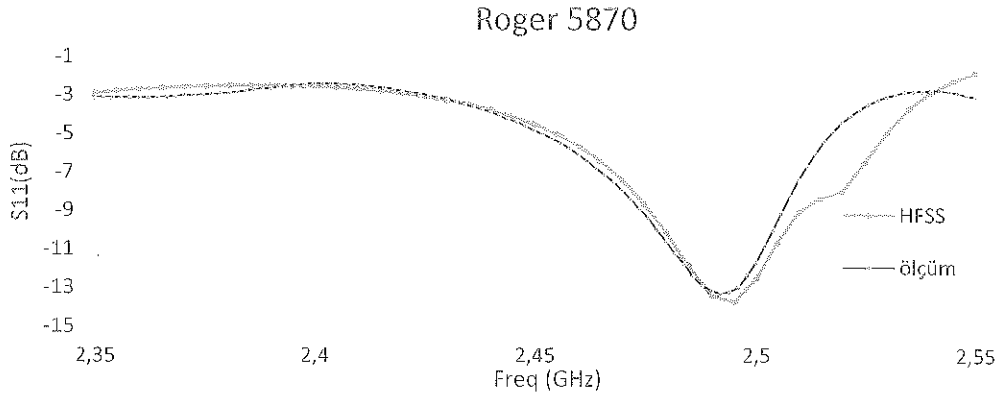
Şekil 5-7'de FR-4 alttaş malzeme ile hazırlanmış yarıksız anten kazancı görülmektedir. Yarıklı antenimizin kazancı 7.28 dB'lerde iken yarıksız anten kazancı 6.61 dB'lerde kalmıştır.

5.2. Roger 5870 İle Hazırlanan Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

HFSS anten programında tasarlanan Roger 5870 mikroşerit dizi anten ve benzetim sonuçları ile bunların pratik halleri kıyaslamalı olarak verilmeye çalışılmıştır.

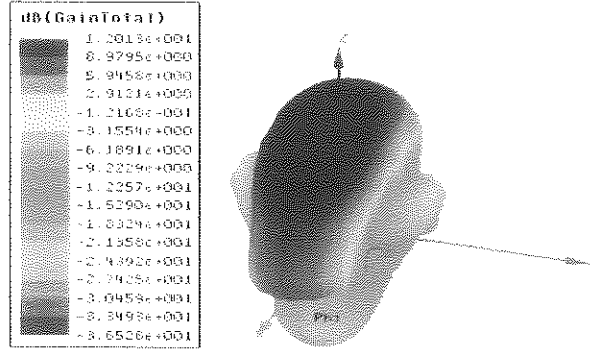
5.2.1. Roger 5870 İle Hazırlanan Yarıkli Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

Roger 5870 ile yapılan mikroşerit dizi anten yansımaya katsayısı ölçümü network analizör tarafından gerçekleştirilmiştir. Daha önce bilgisayar ortamında hesaplanan S11 değerleri ve network analizörle gerçek ölçümü yapılan antenlerin S11 yansımaya katsayısı değerleri birlikte şekil 5-8'de verilmiştir. Sanal hesaplamalar ve gerçek ölçümler birbiriyle uyushmaktadır.



Şekil 5-8 Roger 5870 plakeli anten için HFSS ve ölçüm S11 sonuçları görüntüsü

Tasarlanan Roger 5870 yarıkli anten kazancı HFSS programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu kazanç şekil 5-9 de gösterilmektedir.



Şekil 5-9 Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten kazanç görüntüsü

HFSS programındaki simülasyonda bulunan kazancın pratikte aynı olup olmadığını öğrenmek için Roger 5870 ile tasarlanan mikroşerit antenler Friss eşitliğine tabi tutulmuştur.

Alıcı ve verici anten aynı olduğu için iki antenin kazancı eşittir.

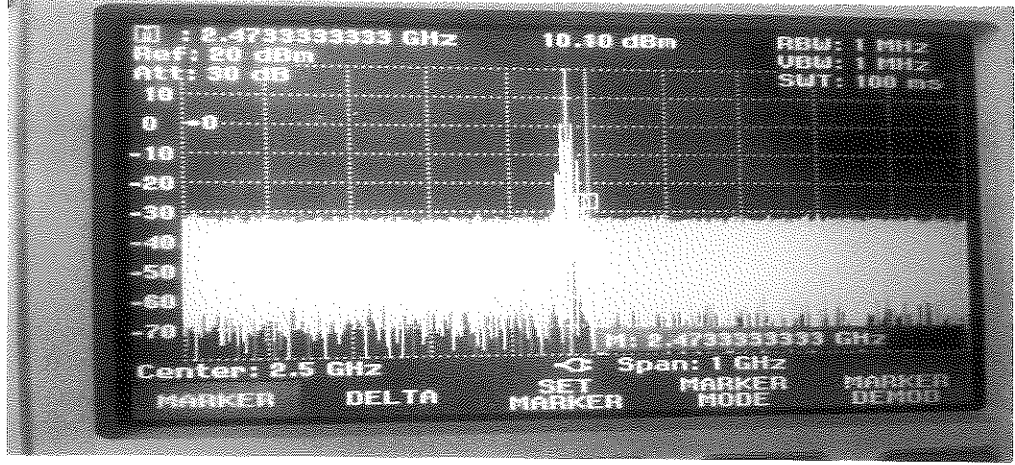
(4.1)'den

$$\frac{10.23}{60.53} = \left(\frac{30}{\frac{2.47 \cdot \sqrt{2.32}}{4 \cdot \pi \cdot 10}} \right)^2 G_t^2 \Rightarrow G_t = 7 \text{ dB}$$

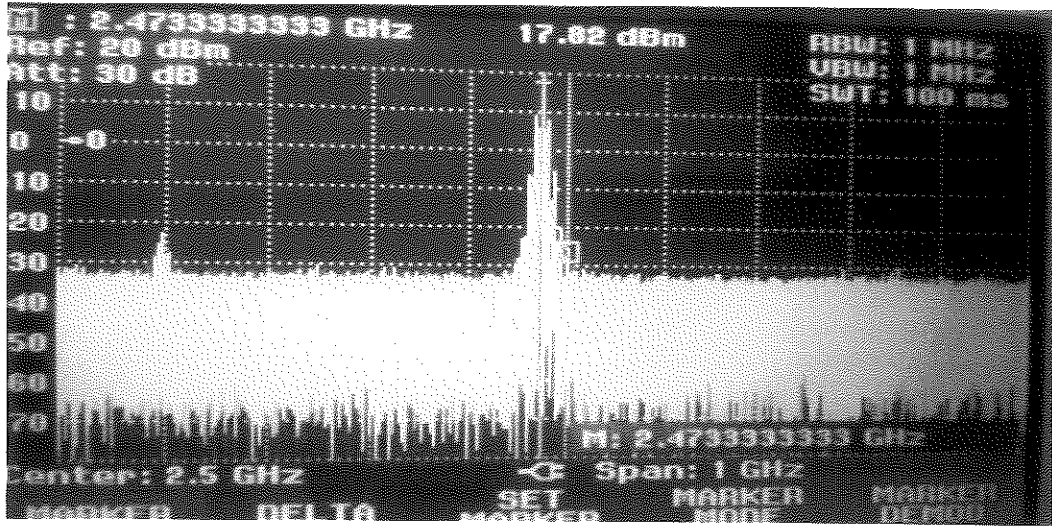
olarak antenimizin gerçel değeri hesaplanmıştır. Gerçel değerimiz ise şekil 5-8'de verilmişti.

Roger-5870 mikroşerit dizi antenimizle yapılan bir diğer ölçüm çalışmamızda alıcı antene gelen belli sinyal güç değerleri neticesinde verici antenin giriş gücünün ölçülmesidir.

Alıcı antene ulaşan sinyal gücünün 10 dBm(şekil 5-10) olduğu zaman verici sinyal giriş gücü ölçümü şekil 5-11'de gösterildiği gibidir.

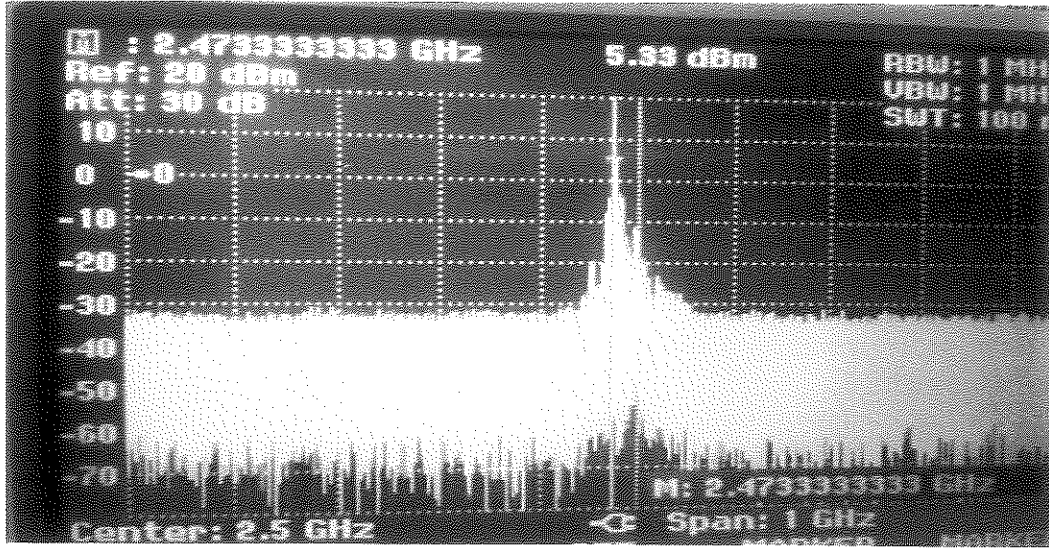


Şekil 5-10 Verici anten sinyal gücü 17.82 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan sinyal gücü görüntüsü

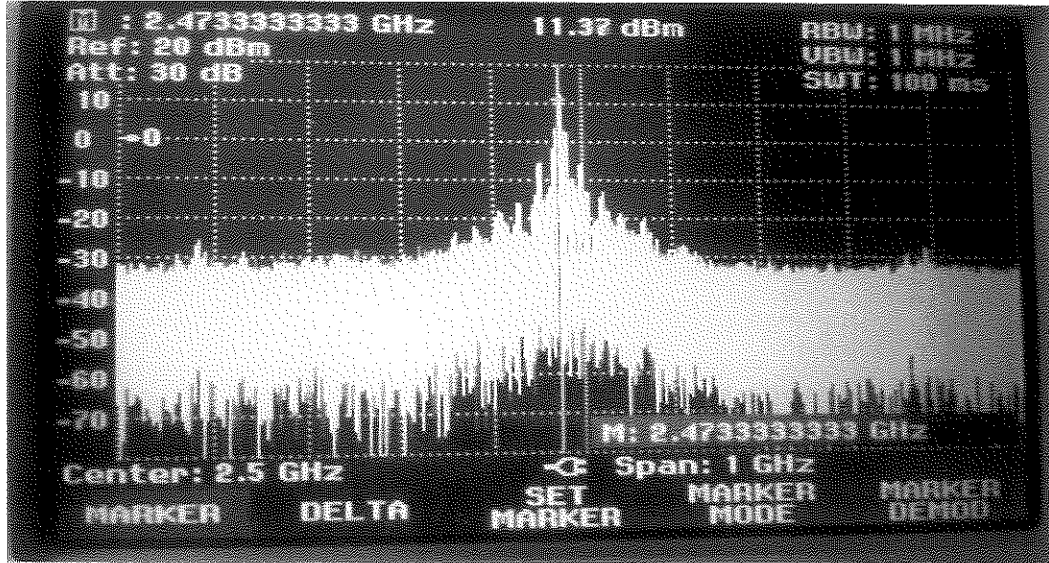


Şekil 5-11 Alıcı anten sinyal gücü 10.10 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü görüntüsü

Alıcı antenimize gelen sinyal gücünün 5 dBm(şekil 5-12) olduğu zaman da ise verici antenimizin sinyal çıkış gücü şekil 5-13'de gösterilmiştir.

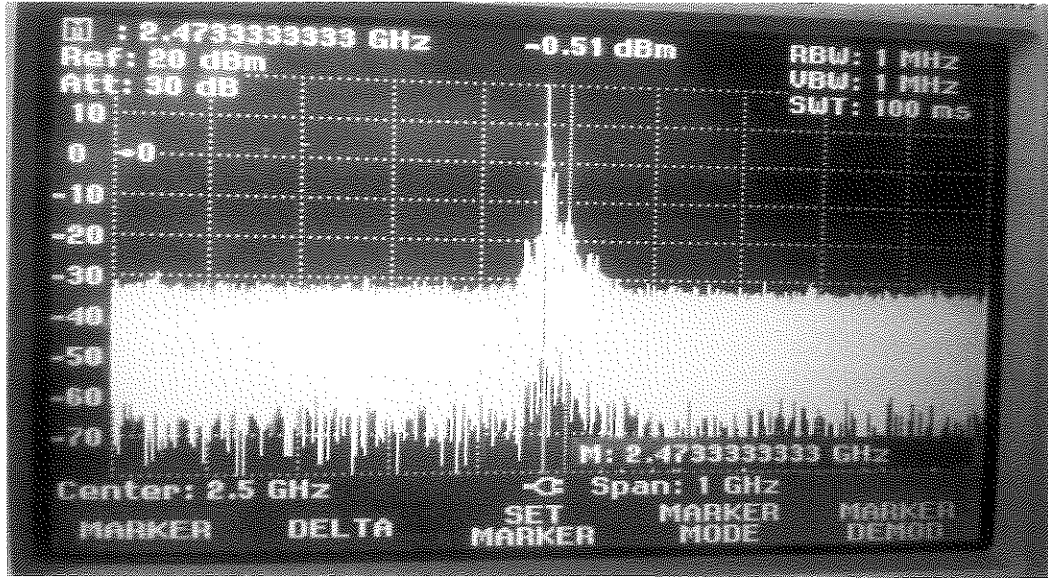


Şekil 5-12 Verici anten sinyal gücü 11.37 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan sinyal gücü görüntüsü

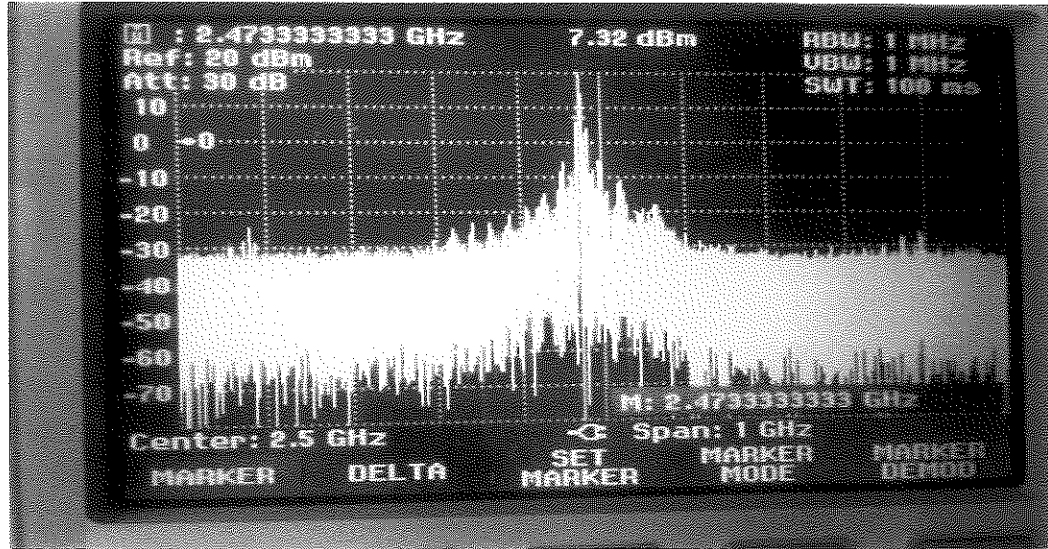


Şekil 5-13 Alıcı anten sinyal gücü 5.33 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü görüntüsü

Alıcı antenimize gelen sinyal gücünün yaklaşık 0 dBm(şekil 5-14) olduğu zaman da ise verici antenimizin sinyal çıkış gücü şekil 5-15'de gösterilmiştir.



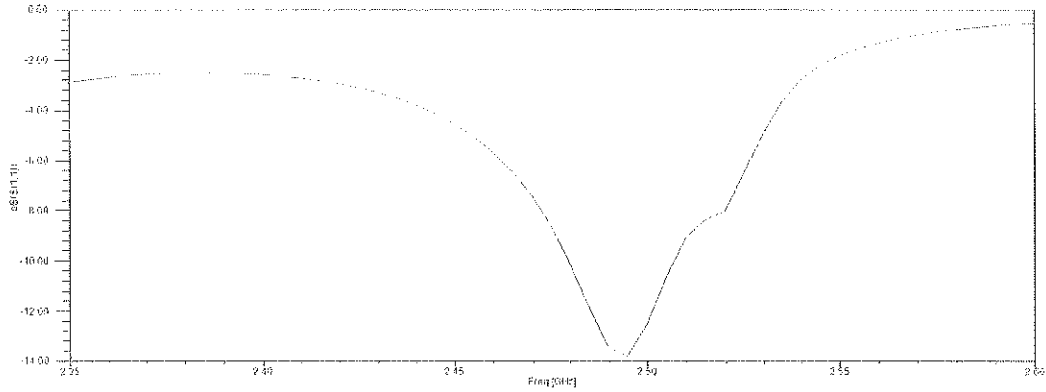
Şekil 5-14 Verici anten sinyal gücü 7.32 dBm olduğu zaman alıcı antene ulaşan sinyal gücü görüntüsü



Şekil 5-15 Alıcı anten sinyal gücü -0.51 dBm olduğu zaman verici antenin sinyal gücü görüntüsü

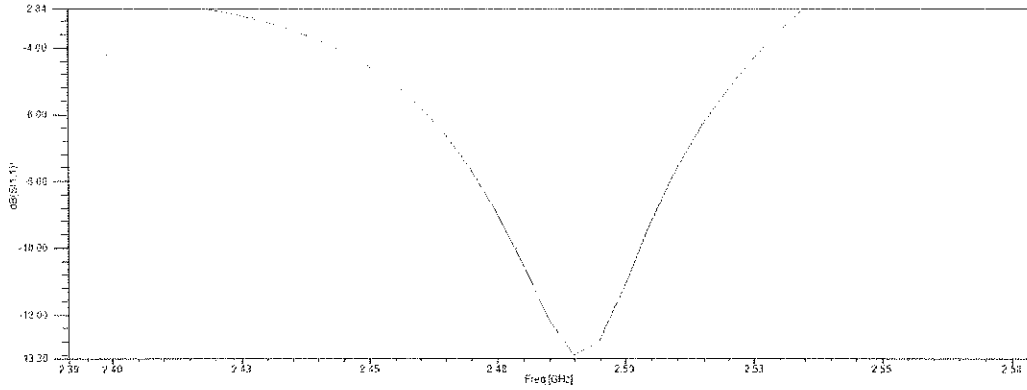
5.2.2. Roger 5870 İle Tasarlanan Yarıksız Mikroşerit Dizi Anten Sonuçları

Gerçeklenen yarıklı Roger 5870 mikroşerit dizi anten S11 HFSS görüntüsü şekil 5-16'daki gibidir.



Şekil 5-16 Roger 5870 yarıklı mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü

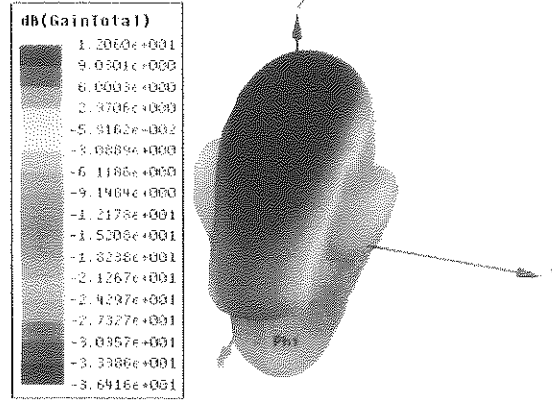
Tasarımı yapılan yarıksız Roger 5870 mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü şekil 5-16'de gösterilmiştir.



Şekil 5-17 Roger 5870 yarıksız mikroşerit dizi anten S11 görüntüsü

Birbirine yakın S11 değerleri olan şekil 5-16 ve 5-17 karşılaştırıldığında gerçekleştirilen yarıklı Roger 5870 altaş malzemeli mikroşerit dizi antenin S11 değeri merkez frekansında daha başarılı bir grafik sergilemektedir.

Roger 5870 yariksiz mikroserit dizi anten sonucu sekil 5-18'de gösterilmiştir.



Şekil 5-18 Roger 5870 yariksiz mikroserit dizi anten kazanç görüntüsü

Roger 5870 yarıklı anten kazanç sonucu yariksiz anten kazancı ile yaklaşık aynı değerde çıkmıştır.

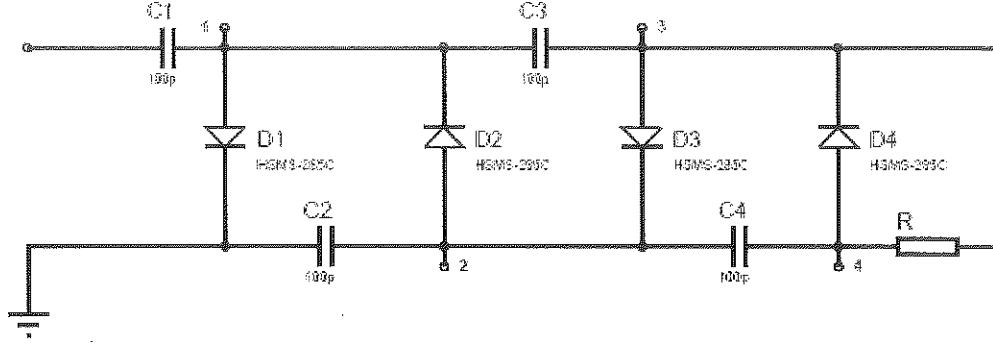
5.3. Doğrultucu Devre

Şekil 5-19'da alıcı antene gelen 10 dBm'lik gücün doğrultucudan geçtikten sonraki değişim grafiği gösterilmiştir. Doğrultucu devreye paralel bir şekilde bağlanan direnç değerlerine göre, devre çıkışındaki güçler farklılık göstermektedir.

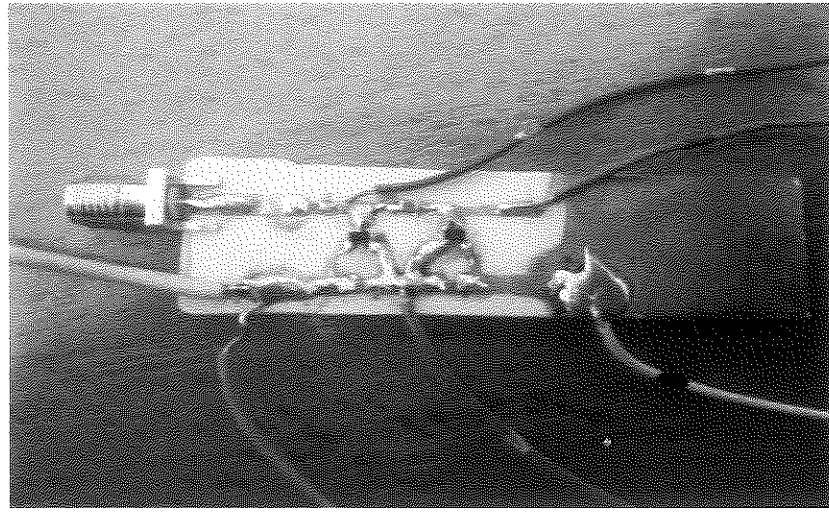
Roger 5870 ve FR-4 malzemeleriyle yapılan ikişer adet dizi anten hazır hale getirildikten sonra ölçüm mikrodalga sinyal gücünün dc güce dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Dönüştürme işlemlerinde sadece devre çıkışındaki sinyal gücü hesaplanmakla kalmayıp her bir diyot için ayrı ayrı güç hesaplanması yapılmıştır. Herbir renkli kablo şekil 5-20'de gösterilen numaralı noktalara karşılık gelmektedir. Kahverengi: 1, yeşil:

2, mavi: 3, beyaz: 4'e karşılık gelmektedir. Şekil 5-19 dördüncü diyotun sonundaki dc gücü ölçmek için kullanılmıştır. Hangi çıkıştaki güç ölçülecek ise direnç o noktaya taşınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5-19 Dört katlı doğrultma devre şeması



Şekil 5-20 Dört katlı doğrultucu devre resmi

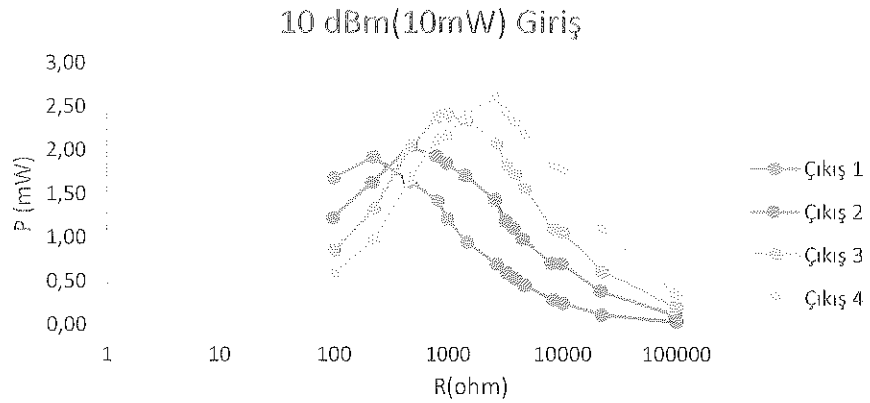
Verici anten girişine uygulanan 10 mW'lık güç değeri sonucu alıcı anten çıkışına bağlı doğrultma devresi sonuçları Şekil 5-21'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar devreye paralel bağlanan direnç değerlerine göre şekildeki gibi farklılık göstermektedir.

Çizelge 3'de doğrultucu her bir doğrultucu katındaki farklı dirençlere karşılık gelen gerilim değerleri verilmiştir.

Çizelge 3 10 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu

R(kohm)	V1	V2	V3	V4
100	1,74	3,30	4,41	5,86
22	1.56	2.90	3.67	4.91
10	1,6	2,65	3,25	4,20
8,2	1,52	2,40	3,00	3,86
4,7	1,45	2,15	2,70	3,20
3,9	1,43	2,08	2,59	3,00
3,3	1,40	1,98	2,45	2,83
2,7	1,37	1,97	2,36	2,65
1,5	1,19	1,60	1,87	1,90
1,0	1,10	1,36	1,55	1,47
0,82	1,08	1,26	1,400	1,320
0,47	0,88	0,98	0,98	0,89
0,22	0,65	0,60	0,54	0,46
0,10	0,41	0,35	0,290	0,240

Şekil 5-21'de direnç-güç değişimi grafiğini göstermektedir. Bu sonuçlar çizelge 3 tablosundaki gerilim ifadelerin elde edilmiştir.



Şekil 5-21 10 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü

Şekil 5-21 10 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü'nde görülen, 10 dBm girişe göre; tek katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 220 Ω 'da 1.92 mW, iki katlı dorultma devresinin çıkışında max güç; 470 Ω 'da 2.04 mW, üç katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 1k Ω 'da 2.04 mW ve dört katlı dorultma devresinin çıkışında max güç; 2700 Ω 'da 2.6 mW olarak kaydedilmiştir. En yüksek dönüştürme verimi 4 katlı yapıda gözlenmiş olup;

$$\eta = \frac{2.6}{10} = \% 26$$

olarak elde edilmiştir.

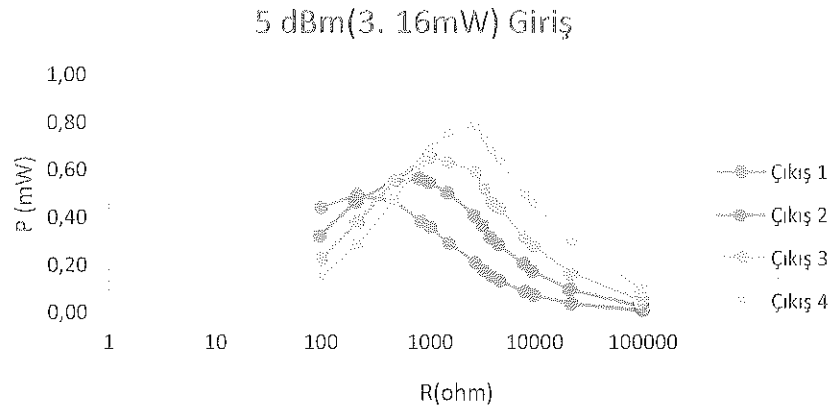
Verici anten girişine uygulanan 5 mW'lık güç değeri sonucu alıcı anten çıkışına bağlı doğrultma devresi sonuçları Şekil 5-22'de gösterilmiştir.

Çizelge 4'de doğrultucu herbir doğrultucu katındaki farklı dirençlere karşılık gelen gerilim değerleri verilmiştir.

Çizelge 4 5 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu

R(kohm)	V1	V2	V3	V4
100	0,95	1,67	2,24	3,10
22	0,90	1,47	1,90	2,55
10	0,85	1,32	1,66	2,14
8,2	0,84	1,30	1,60	2,01
4,7	0,79	1,16	1,43	1,73
3,9	0,77	1,11	1,35	1,63
3,3	0,76	1,10	1,31	1,55
2,7	0,75	1,05	1,26	1,45
1,5	0,66	0,87	0,97	1,06
1,0	0,60	0,74	0,81	0,83
0,82	0,56	0,680	0,720	0,720
0,47	0,47	0,51	0,51	0,47
0,22	0,33	0,32	0,29	0,25
0,10	0,21	0,180	0,150	0,120

Şekil 5-22'de direnç-güç değişimi grafiğini göstermektedir. Bu sonuçlar çizelge 3 tablosundaki gerilim ifadelerin elde edilmiştir.



Şekil 5-22 5 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü

Şekil 5-22'de görülen, 5 dBm girişe göre; tek katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 220Ω'da 0.5 mW, iki katlı dorultma devresinin çıkışında max güç; 470 Ω'da 0.47 mW, üç katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 820 Ω'da 0.63 mW ve dört katlı dorultma devresinin çıkışında max güç; 2700 Ω'da 0.78 mW olarak kaydedilmiştir. En yüksek dönüştürme verimi 4 katlı yapıda gözlenmiş olup;

$$\eta = \frac{0.78}{10} = \% 7.8$$

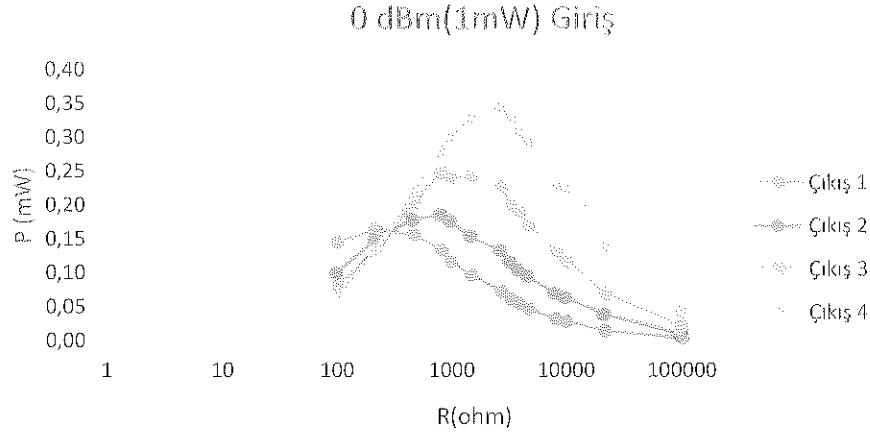
olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5'de doğrultucu herbir doğrultucu katındaki farklı dirençlere karşılık gelen gerilim değerleri verilmiştir.

Çizelge 5 0 dB giriş gücü için direnç-gerilim tablosu

R(kohm)	V1	V2	V3	V4
100	0,58	1.00	1.42	2.04
22	0.55	0.93	1.23	1.72
10	0.5	0.8	1.08	1.49
8,2	0,51	0,76	1,03	1,36
4,7	0,47	0,67	0,89	1,17
3,9	0,46	0,64	0,86	1,09
3,3	0,45	0,62	0,81	1,04
2,7	0,44	0,60	0,78	0,96
1,5	0,38	0,48	0,60	0,70
1,0	0,34	0,42	0,49	0,55
0,82	0,33	0,39	0,450	0,48
0,47	0,27	0,29	0,31	0,32
0,22	0,19	0,18	0,17	0,17
0,10	0,12	0,10	0,09	0,08

Şekil 5-23'de direnç-güç değişimi grafiğini göstermektedir. Bu sonuçlar çizelge 3 tablosundaki gerilim ifadelerinin elde edilmiştir.



Şekil 5-23 5 dBm giriş için direnç değişimine göre çıkış gücü

Şekil 5-23'de görülen, 0 dBm girişe göre; tek katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 220Ω'da 0.16 mW, iki katlı dorultma devresinin çıkışında max güç; 820 Ω'da 0.19 mW, üç katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 820 Ω'da 0.25 mW ve dört katlı doğrultma devresinin çıkışında max güç; 2700 Ω'da 0.34 mW olarak kaydedilmiştir. En yüksek dönüştürme verimi 4 katlı yapıda gözlenmiş olup;

$$\eta = \frac{0.34}{10} = \% 3.4$$

olarak elde edilmiştir.

Çizelge 6'da doğrultucu devremize ulaşan gücün ve herbir kat diyotta elde edilen maksimum çıkış gücü ona karşılık gelen direnç değerleriyle birlikte verilmiştir.

Çizelge 6 Doğrultma katları max çıkış gücü-direnç değişimi

Giriş güçü (dBm)	Tek kat		İki kat		Üç Kat		Dört Kat	
	Max çıkış güçü (mW)	Max çıkışı veren direnç (ohm)	Max çıkış güçü (mW)	Max çıkışı veren direnç (ohm)	Max çıkış güçü (mW)	Max çıkışı veren direnç (ohm)	Max çıkış güçü (mW)	Max çıkışı veren Direnç (ohm)
10	1.92	220	2.24	470	2.4	1000	2.6	2700
5	0.5	220	0.25	820	0.66	1000	0.78	2700
0	0.16	220	0.19	820	0.15	820	0.34	2700

Çizelge 7’de tasarımları yapılan antenlerin S11, kazanç ve boyut değerleri kıyaslamalı olarak verilmiştir.

Çizelge 7 Tasarlanan antenlere ait sonuçlar

Anten	Frekans(GHz)	S11(dB)	Gain(dB)	Boyut(cm)
Yarıklı Roger	2.47	-14	12.01	23 × 9.15
Yarıklı FR-4	2.47	-35.8	7.28	15 × 8.45
Yarıksız Roger	2.47	-12.5	12.06	23 × 9.15
Yarıksız FR-4	2.47	-17.5	6.61	15 × 8.45

Çizelge 8’de daha önce bu konuda yapılan anten çalışmaları ile bu çalışmada yapılan Roger 5870 antenle S11, kazanç ve boyut karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çizelge 8 Üretilen Roger 5870 mikroşerit dizi antenin eski çalışmalar ile karşılaştırılması

Önceki Çalışmalar	Frekans (GHz)	Alttaş Malzeme	S11 (dB)	Kazanç (dB)	Boyut (mm)	Doğrultucu Diyodu	Verim %
Rectenna Application of Miniaturized Implantable Antenna Design for Triple-Band Biotelemetry Communication	2.45	Roger 3210	-28	1	10 × 10	HSMS-286c	86
A Switchable UWB Slot Antenna using SIS-HSIR and SIS-SIR for Multi-Mode Wireless Communications Application	5.5	Arlon AD270	-13.5	5.3	32 × 24		
A new circularly polarized rectenna for wireless power transmission and data communication	5.5	Duroid 5880	-15	7.6	14.8 × 4	M/A COM detector diyot MA4E131 7	57.3
A high efficiency rectenna element using E-pHEMT technology	2.45	Duroid 5870	-15	5	126.7		85.4
Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting	2.45	Duroid 6002	-22	10	90×110	HSMS-2852	83
Monopole-Based Rectenna for Microwave Energy Harvesting of Uhf RFID Systems(2012)	866.6	FR-4		1.93	46.5×101.8	HSMS-285C	54
2450 MHz Frekansında Çalışan RFID İçin Rectenna Tasarımı	2.45	Duroid 5870	-14	7	23 × 9.15	HSMS-285C	26

Çizelge 8 de önceki yapılan çalışmalarla buradaki çalışma karşılaştırılmıştır. Çizelgede üç farklı frekansta çalışan çalışmalar gösterilmektedir. Elde edilen anten kazançlarına bakıldığı zaman bu çalışmanın 2.45 GHz frekansındaki çalışmaların içerisinde kendine yer bulabilecek nitelikte olduğu görülmektedir. Boyut açısından değerlendirildiği takdirde ise yine başarılı olduğunu söyleyebiliriz. Her ne kadar 5.5 GHz frekansında çalışan anten boyutları biraz daha küçük olsada bunun sebebini anten çalışma frekansının küçüldükçe anten boyutunun da büyümesine bağlanabilir.

6. TARTIŞMA VE ÖNERİ

Yapılan çalışmada kablosuz güç transferine yönelik anten ve doğrultma devreleri tasarlanıp üretilmiştir. Çalışmalar, ISM bandı olan 2.47.GHz civarında yürütülmüştür. Dört adet anten tasarımı yapılmıştır. Birinci antende alıtış malzeme olarak 1.6 mm kalınlığında Roger 5870 kullanılarak dizi anten tasarlanmış ve tasarlanılan antenlerden alıcı ve verici olmak üzere iki adet anten üretilmiştir. Bu anten üzerine toprak düzlemlı çerçeve yerleştirilmiş ve bunda başarılı olunmuştur.İkinci anten birinci antenle çoğunlukla aynı olmakla beraber sadece toprak düzlemlı çerçevesiz tasarımı yapılmıştır. Bu anten üretime geçmemiştir. Bu iki antenin HFSS programında S11 değerleri kaydedilmiş ve karşılaştırılmış ve toprak düzlemlı antenden hesaplandığı gibi daha başarılı sonuçlar alınmıştır.

Tasarlanan üçüncü ve dördüncü antenlerde, 1.6 mm kalınlığındaki FR-4 alıtış malzemeler kullanılmıştır. Bu antelerde de bir önceki antenlerde olduğu gibi üretimi yapılan çevresi toprak düzlemlı malzeme olan anten ile sadece tasarımda kalan toprak düzlemsiz antenlerin bilgisayar ortamında S11 parametreleri karşılaştırılmıştır. Toprak çerçevesiz antenden daha başarılı sonuçlar alınmıştır.

Üretilen antenlerin S11 ölçümü network analizör tarafından gerçekleştirilmiştir Bu sonuçlar bilgisayar ortamında alınan S11 sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve grafiğe dökülmüştür. Bu antenlerin kazanç hesaplamaları da birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Aynı zamanda daha önce bu konu üzerinde çalışılan antenler ve gerçekleştirilen antenlerin S11, kazanç ve boyularının karşılaştırmaları yapılmıştır. Diğerlerine kıyasla S11 değeri az olmasına rağmen bu çalışmada yapılan anten hem daha küçük boyutlara hem de daha iyi kazanç değerine sahiptir.

Alıcı anten tarafından alınan RF sinyal gücünü DC sinyal gücüne dönüştürmek için, schottky diyotlarla gerçekleştirilen doğrultucu devre kullanılmıştır. Gelen RF sinyalden daha yüksek gerilimler elde edebilmek için, devedeki diyot sayısı arttırılmıştır. Verim

analizi yapabilmek için ise, doğrultucu çıkışına yük olarak farklı dirençler bağlanılarak, her bir kat için, herbir direnç üzerine düşen güç ölçülmüştür. Çalışmada daha yüksek kazançlı antenler veya diziler kullanılarak güç transferinin daha uzak mesafelere yapılabileceği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan Roger 5870 alttaş malzemeli anten tasarımının kazanç değeri, FR-4 alttaş malzemeli antene göre çok yüksek bulunmuştur. Roger 5870 alttaş malzemesi kazancın fazla olması istenilen çalışmalarda tercih edilebilir.

Mevcut çalışmada hazırlanan doğrultucu bir devre için dc ye dönüştürme analizi birden fazla kat için gerçekleştirilmiştir. Yeni çalışmalar için devrede kullanılan diyotun yerine farklı diyotlar kullanılması ve iletim hattı parametrelerinin doğrultma verimine etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Ali, M., Yang, G., & Dougal, R. (2005). A new circularly polarized rectenna for wireless power transmission and data communication. *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 4, 205-208.
- Avagotech. (2009). HSMS-285x Series Surface-Mount-Zero-Bias-Schottky-Detector-Diodes.
- Balanis, C. A. (2005). *Antenna theory anlysis and design*. John Wiley & Sons.
- Bazán, G. A. S. (2010). Design of a circularly polarized patch antenna for satellite mobile communications in I-band. [Yüksek lisans tezi]. Polytechnic University of Cataluña.
- Brown, W. C. (1991). An experimental low power density rectenna. *IEEE MTT-S Digest*, 197-200.
- Del Prete, M., Costanzo, A., Masotti, D., & Romani, A. (2013). An alternative rectenna design approach for wirelessly powered energy autonomous systems. Paper presented at the Microwave Symposium Digest (IMS), 2013 IEEE MTT-S International.
- Dunsmore, J. P. (2012). *Handbook of Microwave Component Measurements: with Advanced VNA Techniques*. 636.
- Epp, L. W., Khan, A. R., Smith, H. K., & Smith, R. P. (2000). A compact dual-polarized 8.51-GHz rectenna for high-voltage (50 V) actuator applications. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 48(1), 111-120.

- Gao, Y.-Y., Yang, X.-X., Jiang, C., & Zhou, J.-Y. (2010). A circularly polarized rectenna with low profile for wireless power transmission. *Progress In Electromagnetics Research Letters*, 13, 41-49.
- Georgiadis, A., Andia, G., & Collado, A. (2010). Rectenna design and optimization using reciprocity theory and harmonic balance analysis for electromagnetic (EM) energy harvesting. *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 9, 444-446.
- Gomez, C., García, J. A., & Mediavilla, A. (2004). A high efficiency rectenna element using E-pHEMT technology.
- Gutton, H., & Baissinot, G. (1955). Flat aerial for ultra high frequencies. French patent, 703113.
- Hagerty, J., Helmbrecht, F. B., McCalpin, W. H., Zane, R., & Popović, Z. B. (2004). Recycling ambient microwave energy with broad-band rectenna arrays. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 52(3), 1014-1024.
- Haydar Kütük, A. Y. T., N.Berna Teşneli. (2013). 3.3 ghz mikroşerit anten tasarımı ve farklı besleme yöntemleri için analizi. *SAÜ. Fen Bil.*, 17, 119-124.
- Heikkinen, J., & Kivikoski, M. (2004). Low-profile circularly polarized rectifying antenna for wireless power transmission at 5.8 GHz. *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, 14(4), 162-164.
- Hong, S. S., Ibrahim, R., Khir, M. H. M., Zakariya, M. A., & Daud, H. (2013). WI-FI ENERGY HARVESTER FOR LOW POWER RFID APPLICATION. *Progress In Electromagnetics Research C*, 40.

- Huang, F.-J., Lee, C.-M., Chang, C.-L., Chen, L.-K., Yo, T.-C., & Luo, C.-H. (2011). Rectenna application of miniaturized implantable antenna design for triple-band biotelemetry communication. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 59(7), 2646-2653.
- Hucheng Sun, Y.-x. G., Senior Member, IEEE, Miao He, and Zheng Zhong. (2012). Design of a High-Efficiency 2.45-GHz Rectenna for Low-Input-Power Energy Harvesting. *IEEE Antennas and Wireless Propagation*, 11.
- Joe, J., Chia, M., Marath, A., & Ang, C. (1997). Zero bias schottky diode model for low power, moderate current rectenna. *DETS'97 Proc.*
- Liu, H., Gong, W., Miao, X., Liu, K., & He, W. (2014). Towards adaptive continuous scanning in large-scale rfid systems. Paper presented at the in *Proc. of IEEE INFOCOM*.
- Monti, G., Congedo, F., De Donno, D., & Tarricone, L. (2012). Monopole-Based Rectenna for Microwave Energy Harvesting of Uhf RFID Systems. *Progress In Electromagnetics Research C*, 31.
- Pozar, D. M. (2009). *Microwave engineering*: John Wiley & Sons.
- Reddy, C. V. V. (2009). Design of linearly polarized rectangular microstrip patch antenna using IE3D/PSO. *National Institute of Technology Rourkela*.
- Ren, Y.-J., Farooqui, M. F., & Chang, K. (2007). A compact dual-frequency rectifying antenna with high-orders harmonic-rejection. *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, 55(7), 2110-2113.

Strassner, B., & Chang, K. (2002a). 5.8-GHz circularly polarized rectifying antenna for wireless microwave power transmission. *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, 50(8), 1870-1876.

Strassner, B., & Chang, K. (2002b). A circularly polarized rectifying antenna array for wireless microwave power transmission with over 78% efficiency. Paper presented at the Microwave Symposium Digest, 2002 IEEE MTT-S International.

Yildirim, A., YAĞCI, H., & Paker, S. (2008). 2.4 GHz High Power Microstrip Patch Antenna Design and Realization. *Telenetronics np sh, Mbreti Zog*, 61.

Yu-jiun Ren and Kai Chang, F. (2006). 5.8-GHz Circularly Polarized Dual-Diode Rectenna and Rectenna Array for Microwave Power Transmission. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 54.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdülkadir ÇILDIR
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir, 1990
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : kadircildir@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Eskişehir Fatih Anadolu Lisesi, 2008
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Müh.