

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**KOMPAKT BİR ANTEN TEST ODASI TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Levent KEPENEK**

**Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KOMPAKT BİR ANTEN TEST ODASI TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Levent KEPENEK

Enstitü Anabilim Dalı : MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 29/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.  
Durmuş KARAYEL  
Jüri Başkanı

Prof. Dr.  
Abdullah FERİKOĞLU  
Üye

Doç. Dr.  
Ahmet ZENGİN  
Üye

## **BEYAN**

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Levent KEPENEK

29/05/2019

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Abdullah FERİKOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen EMC ELEKTRONİK Yönetim Kurulu Başkanı Dr. Bektaş ÇOLAK'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Yönetim Kurulu Üyesi Refik ALEMDAR'a teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan ve beni her zaman destekleyen aileme, yoğun iş tempomuza rağmen bana her zaman yardımcı ve destek olan EMC ELEKTRONİK'teki değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY .....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Antenler .....	3
2.1.1. Anten çeşitleri .....	6
2.1.1.1. Tel antenler .....	6
2.1.1.2. Açıklık antenleri .....	7
2.1.1.3. Mikroşerit antenler.....	7
2.1.1.4. Dizi antenler.....	8
2.1.1.5. Yansıtıcı antenler .....	9
2.1.1.6. Lens antenler.....	9
2.1.2. Anten ışıma mekanizması .....	9
2.1.2.1. Tek tel .....	10
2.1.2.2. İki teller.....	11
2.1.2.3. Dipol .....	12
2.1.3. Anten temel parametreleri.....	13

2.1.3.1. Işıma örüntüsü .....	13
2.1.3.2. Işıma örüntüsü kulakları .....	18
2.1.3.3. Yönbağımsız, yönlü ve yönsüz örüntüler .....	20
2.1.3.4. Temel örüntü.....	21
2.1.3.5. Alan bölgesi .....	22
2.2. Test Odaları .....	25
2.2.1. Ekranlı oda (Shield room - Faraday cage) .....	27
2.2.2. Yarı yansız oda (Semi – anechoic room).....	27
2.2.3. Tam yansız oda (Anechoic room).....	27
2.2.4. Açık saha test alanı (Open area test site).....	28
2.3. Anten Ölçüm Sistemi .....	28
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1. Materyal .....	30
3.2. Yöntem .....	30
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler .....	30
3.2.1.1. Network analizör .....	31
3.2.1.2. Horn anten .....	32
3.2.1.3. Anten kontrol sistemi.....	32
3.2.2. Ölçülen parametreler .....	35
3.2.3. Analizler .....	36
3.2.4. Referans alınan anten test odası ölçüm sonuçları.....	37
3.2.5. Kompakt anten test odası ölçüm sonuçları.....	37
3.2.6. Anten test odaları karşılaştırma.....	40
3.2.7. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği.....	44
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>45</b>
4.1. Anten Test Odasının Yapısının Ölçümlere Etkisi .....	45

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ ..... 46

KAYNAKÇA..... 47

ÖZGEÇMİŞ ..... 49



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BE	: Hüzme genişliği
BW	: Band genişliği
C	: Kondansatör
D	: Maksimum anten açıklığı
DRGH	: Double ridge gain horn
E	: Elektrik alan şiddeti (volt/metre)
EMC	: Electromagnetic compatibility (elektromanyetik uyumluluk)
H	: Manyetik alan
HPBW	: Yarı güç genişliği
I	: Antenin akımını (amper)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
L	: Bobin
P	: Güç
R	: Direnç
RF	: Radyo Frekansı
TAC	: Test Altındaki Cihaz
U	: Işıma şiddetinin
VSWR	: Gerilim duran dalga oranına
$\Gamma$	: Yansıma katsayısı
$\lambda$	: Dalga boyu



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Elektrik ve manyetik alan bileşenlerini içeren gösterim.....	2
Şekil 2.1. Bir geçiş cihazı olarak anten (Balanis, 2005). ....	4
Şekil 2.2. Thevenin ve norton devre eş değerleri (Balanis, 2005).....	4
Şekil 2.3. Açıklık anten.....	7
Şekil 2.4. Tel, açıklık ve mikroşerit dizi anten örnekleri (Balanis, 2005) .....	8
Şekil 2.5. Dairesel kesitli silindir tel üzerinde düzgün dağılmış yük (Balanis, 2005). ....	11
Şekil 2.6. Bikonik anten için serbest uzay dalgalarının elektrik alan çizgileri (Balanis, 2005). ....	12
Şekil 2.7. Anten analizi için koordinat sistemi (Balanis, 2005).....	15
Şekil 2.8. İki boyutlu normalize alan örüntüsü (doğrusal ölçekte), güç örüntüsü (doğrusal ölçekte) ve güç örüntüsü (dB olarak) verilmiştir (Balanis, 2005). ....	17
Şekil 2.9. (a) Işıma kulakları ve hüzme genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün ve ilgili kulakların ve hüzme genişliklerinin doğrusal çizimi verilmiştir (Balanis, 2005).....	19
Şekil 2.10. (a) Anten örüntüsünün ışıma kulakları ve hüzme genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün ve bunun ile ilgili kulakların ve hüzme genişliklerinin doğrusal çizimi verilmiştir (Balanis, 2005). ....	20
Şekil 2.11. Yönsüz anten örüntüsü (Balanis, 2005). ....	22
Şekil 2.12. Bir antenin alan bölgeleri (Balanis, 2005). ....	23
Şekil 2.13. Reaktif yakından uzak alan bölgesine geçişte anten genlik örüntü şeklinin değişimi (Balanis, 2005). ....	24
Şekil 2.14. Elektromanyetik olarak korunaklı ortam .....	25
Şekil 2.15. Elektromanyetik olarak korunaklı oda örneği.....	26
Şekil 2.16. Kompakt aralık geometrisi (Svensson et al., 2017) .....	28

Şekil 3.1. 10 MHz – 40 GHz Network analizör .....	31
Şekil 3.2. 1 GHz - 18 GHz Horn anten .....	32
Şekil 3.3. Döner anten sistemi ve anten .....	33
Şekil 3.4. Arduino uno kontrol kartı .....	33
Şekil 3.5. Step motor sürücü kartı .....	34
Şekil 3.6. Step motor .....	34
Şekil 3.7. Otomatik kontrol sistemi arayüzü .....	35
Şekil 3.8. Ölçüm mekanizması .....	36
Şekil 3.9. 4 GHz Referans ölçüm sonucu .....	37
Şekil 3.10. 4 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	38
Şekil 3.11. Sadece çevresi yutucu kaplı ölçüm .....	38
Şekil 3.12. Zemin kısmi kaplı ölçüm .....	39
Şekil 3.13. Zemin tamamen yutucu kaplı ölçüm .....	39
Şekil 3.14. 2,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	40
Şekil 3.15. 3,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	41
Şekil 3.16. 4 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	41
Şekil 3.17. 4,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	42
Şekil 3.18. 5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	42
Şekil 3.19. 5,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	43
Şekil 3.20. 6 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu .....	43

## TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Anten alan bölgesi hesaplama.....	25
Tablo 3.1. Kullanılan cihazlar listesi .....	31
Tablo 3.2. Ölçüm sonuçları karşılaştırılması .....	44



# KOMPAKT BİR ANTEN TEST ODASI TASARIMI

## ÖZET

Bu çalışmada, kompakt bir anten test odası tasarımı yapılmıştır. Anten parametrelerinin ölçülmesi için test ortamlarına ihtiyaç vardır. Test ortamlarına anten test odası denir ve anten parametrelerinin ölçümü gerçekleştirilir. Anten ışın diyagramları patern ölçümü olarak adlandırılmaktadır. Bu ölçüm yöntemi ile bir antenin ışın yaptığı bölge grafik olarak elde edilmektedir.

Bu çalışmada öncelikle elektromanyetiğin temel parçalarından olan antenler, anten çeşitleri, ışın mekanizmaları ve anten temel parametreleri genel olarak anlatılmış ve anten test odası ihtiyaçları sıralanmıştır. Anten test odalarında patern ölçümü yapabilmek için iki adet antene, ölçüm cihazına ve anten kontrol sistemine ihtiyaç vardır. Anten olarak horn anten, test cihazı olarak network analizör ve anten kontrol sistemi arduino ile kontrol edilen ve hassas dönmeyi sağlayan bir sistem kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında otomatik kontrol sistemi kullanılarak cihazlar otomatize kontrol edilmiştir. Sonuçlar otomatik kontrol sistemi aracılığı ile grafiksel olarak elde edilmiştir.

Anten test odasının yapısı karşılaştırma yöntemine göre analiz edilmiştir. Referans anten test odasında ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir. Daha sonra tasarlanan anten test odasında ölçümler alınmış ve kaydedilmiştir. Her iki odadaki sonuçlar grafik olarak çizdirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Araştırmada elde edilen bulgulara göre, anten test odalarında tamamen yutucu köpük kaplanmasına gerek olmadan da fikir verebilecek ölçüm sonuçları alınabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: RF anten, anten patern, elektromanyetik, arduino

# COMPACT AN ANTENNA TEST ROOM DESIGN

## SUMMARY

In this study, a compact antenna test room was designed. Test media are needed to measure antenna parameters. The test environment is called the antenna test chamber and the antenna parameters are measured. Antenna radiation diagrams are called pattern measurement. With this method of measurement, the radiant region of an antenna is obtained graphically.

In this study, firstly the basic parts of the electromagnetism, the antenna types, radiation mechanisms and antenna basic parameters were explained in general, and the antenna test room needs were listed as two antennas, a measuring device and an antenna control system. In this study, horn antennas, a network analyzer and an arduino controlled system that provides precise rotation, were used. During the experimentation, the devices were controlled by this automatic control system. Results were provided graphically by means of the automatic control system

The structure of the antenna test chamber was analyzed according to the comparison method. Measurements were taken and recorded in the reference antenna test chamber. Measurements were taken and recorded in the antenna test chamber which was designed later. The results in both rooms were plotted and compared. According to the findings obtained in the study, the antenna showed that test results could be obtained without any need for fully absorbing foam coating.

Keywords: RF antenna, antenna pattern, electromagnetic, arduino

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

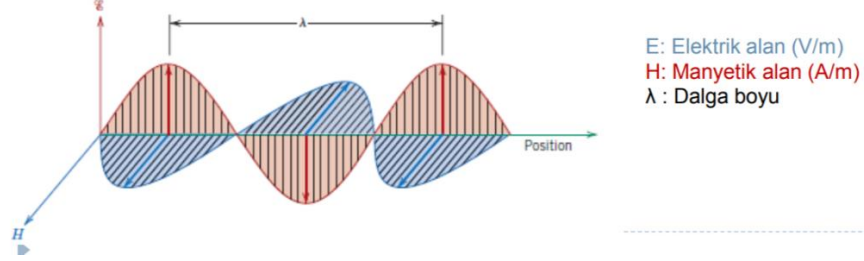
Antenler elektromanyetiğın olmazsa olmazlarından olup kullanım alanları çok geniştir. Tıptan askeri sektörlere kadar hemen her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle iletişim amaçlı olarak antenler çok yaygın kullanılmaktadır. Günümüzde iletişimin önemi düşünöldüğünde antenlerin ne kadar önemli olduğu çok net ortaya çıkmaktadır.

Antenleri anlatmadan önce ilk olarak elektromanyetik terimini yani elektriksel ve manyetik kuvvetleri açıklamak gerekir. 19. yy 'da elektrik ve manyetik kuvvetler ve bunlarla ilgili alanlar araştırılmıştır. İlk çalışmalarda elektrik ve manyetik alan arasındaki bağıntılar net olarak belirlenememiştir. Elektrik ve manyetik alan arasındaki bağlantıyı İngiliz fizikçi J.C. Maxwell (1864) tespit etmiştir. Maxwell denklemlerine göre, herhangi bir noktada bulunan elektrik ve manyetik alanlar arasındaki bağlantı, o noktanın konumuna ve zamanına bağılı olarak ifade eder. Maxwell denklemlerinin çözümü ile elektromanyetik dalgaların yayılma özelliğinin bulunduğu gösterilir.

Elektromanyetik dalgaların yayılma özelliğı 1886'da Alman Fizikçi R.H. Hertz deneysel olarak bulunmuştur. Hertz laboratuvar çalışmalarında bir rezonans devresini elektromanyetik alan oluşturacak şekilde geliştirmiş ve bu devreden yayılan elektromanyetik işaretlerin, uzak mesafedeki ikinci bir devreye gittiğini göstermiştir. İtalyan araştırmacı Marconi'nin telsiz telgrafi icat etmesiyle elektromanyetik dalgaların endüstriye tatbiki başlamıştır (1895-1897).

Elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik alan bileşenlerini içerir ve buldukları ortamda yayılarak enerji taşıyan dalgalardır. Elektromanyetik dalgalarda elektrik ve

manyetik alan bileşenleri birbirine dik hareket eder. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi yayılım, bu iki alanın oluşturduğu düzleme dik olarak meydana gelir.



Şekil 1.1. Elektrik ve manyetik alan bileşenlerini içeren gösterim

Anten elektromanyetik dalgaları iletmek veya almak için kullanılan cihazdır. Bir sistemden enerji olarak çevresine elektromanyetik işaret yayan antene verici anten denir. Verici mod çalışan antenler kılavuzlanmış işaretleri serbest işaretlere dönüştürürler. Çevresindeki elektromanyetik işaretler tarafından uyarılarak bir sisteme güç aktaran antene alıcı anten denir ve ortamdaki serbest işaretleri kılavuzlanmış işaretlere dönüştürürler. Yapısal olarak alıcı ve verici antenler birbirlerine benzemektedir. Bir anten hem verici olarak hem de alıcı anten gibi kullanılabilir.

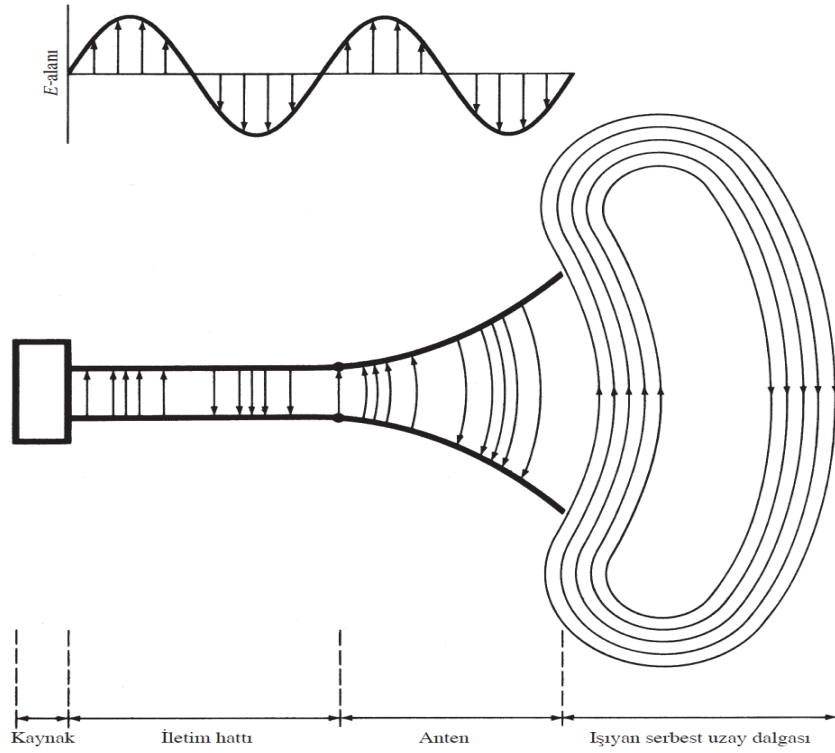
Bu çalışmada anten test odaları hakkında araştırma yapılmıştır ve anten test odaları üzerinde durulmuştur. Burada öncelikle anten ölçüm parametrelerine bakılmıştır. Ölçülecek parametreler doğrultusunda test odasının özelliklerinin ne olması konusunda çalışmalar yapılmıştır.

## **BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Antenler**

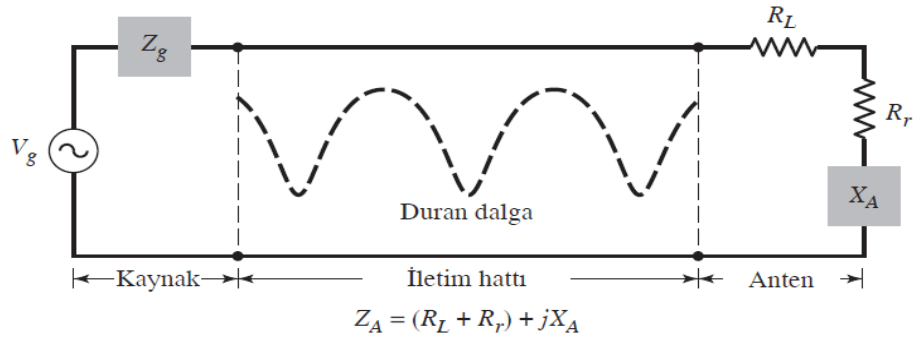
Webster sözlüğüne göre, anten genelde iletken olan (çubuk ya da tel), radyo frekanslarını iletmekte ya da almakta kullanılan bir cihazdır. IEEE standart terimlerinin antenler kısmına göre anten radyo dalgalarını iletmek ya da almak amacıyla kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi anten serbest uzay ile kılavuzlayan cihaz arasında geçiş yapısıdır. Kılavuzlayan cihaz veya iletim hattı koaksiyel hat ya da içi boş bir dalga kılavuzu şeklinde olabilir ve iletim kaynağından antene ya da antenden alıcıya elektromanyetik enerjinin gönderilmesi için kullanılır. Birinci durumda, bir verici antenden ve ikinci durumda ise bir alıcı antenden bahsedilmektedir (Balanis, 2005).





Şekil 2.1. Bir geçiş cihazı olarak anten (Balanis, 2005).

Şekil. 2.1’de verilen anten sisteminin iletim hattı Thevenin eş değeri, Şekil. 2.2’de gösterilmiştir (Balanis, 2005).



Şekil 2.2. Thevenin ve norton devre eş değerleri (Balanis, 2005)

Kaynak ideal bir üreteç tarafından temsil edilmektedir, iletim hattı karakteristik empedansı  $Z_c$  olan bir çizgi ile temsil edilir, antenin empedans değeri ise; (Balanis, 2005)

$$Z_A = (R_L + R_r) + jX_A \quad (\Omega) \quad (2.1)$$

$Z_A$ : Antenin empedansı ( $\Omega$ )

$R_L$ : Yük direnci ( $\Omega$ )

$R_r$ : Işıma direnci ( $\Omega$ )

$X_A$ : Reaktans ( $\Omega$ )

$R_r$ : Işıma direnci ( $\Omega$ )

olan temsili bir yük ile gösterilerek iletim hattına bağlanır. Antenin Thevenin ve Norton devre eş değerleri Şekil. 2.2' de gösterilmiştir. Yük direnci olarak  $R_L$  antenin iletkenlik ve dielektrik kayıplarını temsil ederken  $R_r$ , ışıma direnci olarak isimlendirilir ve antenin ışıma özelliğini temsil etmek için verilir. Reaktans  $X_A$ , empedans olarak antenin ışıma özelliğinin sanal kısmını temsil eder. İdeal koşullarda, kaynak tarafından üretilen enerji anten ışımasını temsil etmekte kullanılan ışıma direnci  $R_r$ 'ye aktarılmalıdır. Fakat pratik bir sistemde kayıplı iletim hattı ile anten doğası nedeniyle ortaya çıkan iletim ve dielektrik kayıplarının yanı sıra hat ve anten arasındaki arayüz nedeniyle uyumsuzluk kayıpları vardır. Kaynağın iç empedansı dikkate alındığı ve hat ve yansıma (uyumsuzluk) kayıpları ihmal edildiğinde antene maksimum gücün iletilebilmesi eşlenik uyumlama ile yapılabilir (Balanis, 2005).

Kaynaktan antene giden yürüyen dalgaların yanı sıra arayüzden yansıyan dalgalar iletim hattında duran dalga olarak adlandırılan yapıcı ve yıkıcı girişim desenleri yaratırlar ve iletim hattı tipik rezonans cihazları gibi enerji toplama ve depolama görevlerini üstlenmiştir. Şekil. 2.2'de duran dalgalar, kesikli çizgi ile gösterilirken. Eğer anten sistemi düzgün tasarlanmamışsa iletim hattı bir dalga kılavuzu ve enerji taşıma cihazı olmak değil büyük ölçüde bir enerji soğurma elemanı gibi çalışacaktır. Duran dalga maksimum alan şiddetleri yeterince büyükse iletim hatları içinde kabarmalara neden olabilir. Hat, anten ve duran dalgalar nedeniyle oluşan kayıplar istenmeyen oluşumlardır. Hatta bağlı kayıplar düşük kayıplı hatlar seçilerek minimize edilebilirken antenden kaynaklanan kayıplar Şekil. 2.2'de verilen kayıp direncini temsil eden  $R_L$  değeri değiştirilerek minimize denebilir (Balanis, 2005). Anten (yük) empedansı hattın karakteristik empedansına uyumlandırıldığında duran dalgalar azaltılabilir ve hattın enerji depolama kapasitesi minimize edilebilir. Bu

yüklerin iletim hatlarına uyumlandırılması ile aynıdır ve anten yük yerine geçmektedir. İletim hattı eş değerinde diğer tüm parçalar aynı kalır. Işıma direnci  $R_r$ , alma modunda, serbest uzay dalgasının antene enerji transferini temsil etmektedir. Antenin enerjisi alma veya iletme görevine ek olarak bir kablosuz sistemde ışımaya enerjisini bazı yönlerde en iyi duruma getirmek ya da öne çıkarmak ve diğer yönlerde bastırması görevi vardır. Böylece anten derinlemesine araştırma yapmayı sağlayabilecek bir cihaza ek olarak yönlü bir cihaz olarak hizmet etmelidir. Buna ek olarak, daha sonra eldeki belirli bir ihtiyacı karşılamak için anten çeşitli biçimlerde olabilir. Örneğin; bir parça tel iletken, bir açıklık, bir yama, montaj elemanları (dizi), yansıtıcı, bir lens vb. olabilir. Kablosuz haberleşme sistemleri için anten en kritik bileşenlerden birisidir. İyi bir anten tasarımı ile sistem gereksinimlerini rahatlatılabilir ve sistem performansını artırılabilir.

Antenler, alanında güçlü ve dinamik olmakla birlikte son 60 yıldır anten teknolojisi iletişim devriminin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Bu dönemde meydana gelen çok büyük gelişmeler bugün yaygın olarak kullanılmaktadır ancak, sistem performansı gereksinim talepleri çok daha yüksek olduğu için birçok sorunlar ve zorluklar ortaya çıkmaktadır (Balanis, 2005).

### **2.1.1. Anten çeşitleri**

Antenler özellikleri bakımından çeşitlere ayrılırlar. Bunlar kısaca anlatılacaktır.

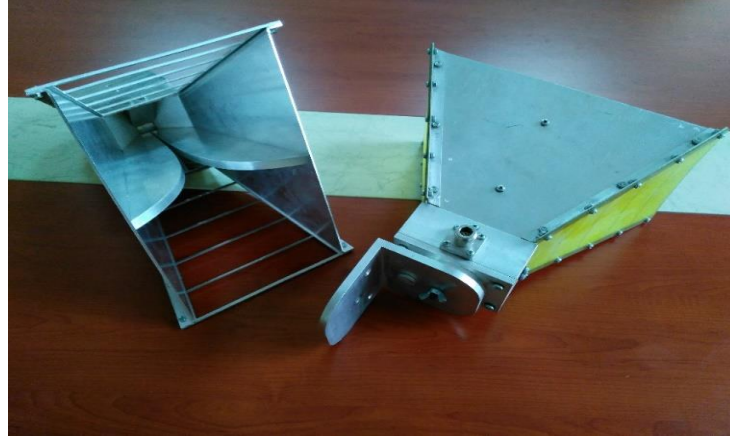
#### **2.1.1.1. Tel antenler**

Tel antenler, antenlerle uğraşan herkese tanıdık çünkü hemen hemen her yerde bunları görmek mümkündür; örneğin otomobiller, binalar, gemiler, uçaklar, uzay araçları. Tel antenler düz bir dipol, halka ve helezon benzer değişik şekillerde olabilir. Halka anten sadece dairesel olmayabilir. Farklı şekilde tasarlanabilir. Dairesel halka tasarım basitliği nedeniyle en yaygın olanıdır (Balanis, 2005).

### 2.1.1.2. Açıklık antenleri

Açıklık antenleri yüksek frekanslarda çalışabilen antenlere ihtiyaç duyulmasından dolayı geçmişe göre yaygın kullanılmaktadır. Açıklık antenlerinin bazı formları Şekil. 2.3'te gösterilmiştir. Bu tip antenler, uzay ve uçak araçlarının uygulamaları için çok yararlıdır. Buna ek olarak, bu antenleri çevre koşullarından korumak için bir yalıtkan malzeme ile kaplanabilir (Balanis, 2005).

Büyük frekans bantları nedeniyle genişbant yüksek kazançlı antenlerdir. Elektromanyetik uyumluluk testi ve standart ölçümler ile standartların gerektirdiği bu (DRGH) antenlerin popülerliği yıllar onları diğer genişbantlar için iyi bir alternatif olarak yerleştirdi. Tüm frekans bandında VSWR, kabul edilebilir yarı-güç ışın genişliği, kolay uyarma, nispeten basit tasarım ve yüksek tepe gücü taşıma yeteneği gibi özellikler ile vazgeçilmez kılmıştır. Bu özellikler antenlerin alanlarda yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Yaygın olarak EMC, standart anten ölçümleri, haberleşme sistemler, uydu takip sistemleri, reflektör beslemesi ve radarlar yaygın olarak kullanılmıştır (Jacobs, Odendaal, & Joubert, 2012).

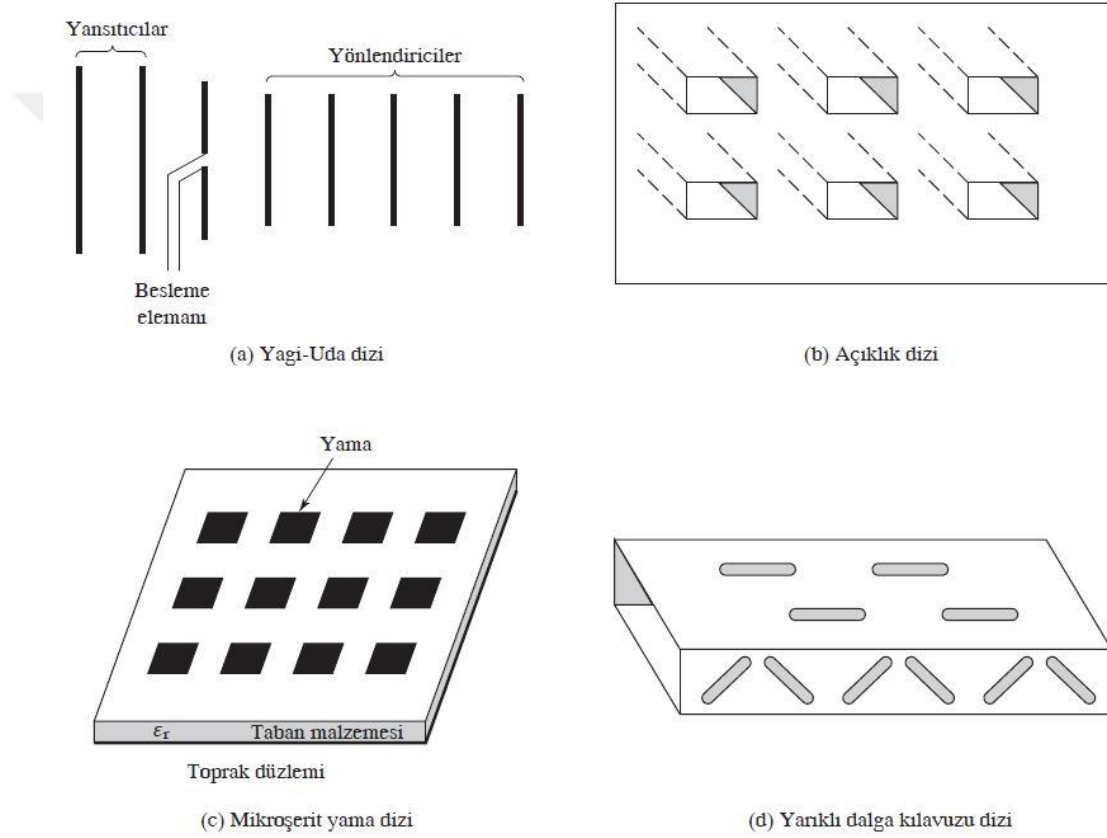


Şekil 2.3. Açıklık anten

### 2.1.1.3. Mikroşerit antenler

Mikroşerit antenler öncelikle uzay uygulamaları nedeniyle 1970'li yıllarda çok yaygın hâle gelmiştir. Bugün kamu ve ticari uygulamalar için sıklıkla

kullanılmaktadır. Bu antenler, metal bir parçanın topraklanmış bir alt tabaka üzerinde yerleştirilmesi ile oluşturulur. Metalik yamalar Şekil. 2.4'te gösterildiği gibi pek çok farklı yapılandırmalar olabilir. Burada gösterildiği gibi dairesel ve dikdörtgen yamalar, analiz ve imalat kolaylığı ve özellikle çekici ışınma özellikleri, düşük çapraz kutuplanma ışınma nedeniyle en yaygın kullanılanıdır. Bu antenler, yüksek performanslı bir uçak, uzay aracı, uydu, füze, araba ve hatta el cep telefonları yüzeyleri üzerine monte edilerek kullanılabilirler (Balanis, 2005).



Şekil 2.4. Tel, açıklık ve mikroşerit dizi anten örnekleri (Balanis, 2005)

#### 2.1.1.4. Dizi antenler

Çoğu uygulamada, ışınma özellikleri sebebiyle tek bir eleman tarafından meydana gelmeyebilir. Fakat istenilen ışınma özelliklerini, elektrik ve geometrik düzende ışınma elemanları bir araya getirilerek olabilir. Dizi elemanlarının düzenlenmesine göre

ışıma belli bir yönde maksimum, diğer yönlerde minimum ya da istenilen şekilde oluşturulabilir. Dizilerin tipik örnekleri Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Balanis, 2005).

#### **2.1.1.5. Yansıtıcı antenler**

Uzayın keşif başarısı anten teorisinin gelişmesine yol açmıştır. Büyük mesafelerde iletişim kurma ihtiyacı nedeniyle karmaşık formdaki antenler milyonlarca kilometre uzaklığa sinyalin iletilmesi ve alınması için kullanılmaktadır. Bu tip antenler çapı 305 m büyüklüğüne kadar inşa edilmişlerdir. Bu kadar büyük boyutlu antenlere ihtiyaç duyulmasının sebebi uzağa sinyal göndermek ve almak için yüksek anten kazancına ihtiyaç duyulmasıdır (Balanis, 2005).

#### **2.1.1.6. Lens antenler**

Lensler ıraksak enerjinin istenmeyen yönlere yayılmasını önlemek ve paralelleştirmek için kullanılırlar. Geometrik şekillendirme ve uygun lens malzeme seçimi ile lensler farklı formlardaki ıraksak enerjinin düzlem dalgalara dönüşmesi sağlayabilir. Özellikle yüksek frekanslarda, parabolik yansıtıcıların kullanıldığı benzer uygulamalarda kullanılabilirler. Lenslerin boyutları ve ağırlığı daha düşük frekanslarda son derece büyük olur (Balanis, 2005). Özetle, ideal bir anten bütün gücü istenilen yön veya yönlerde iletilmesini sağlamaktadır. Ancak, uygulamada ideal bir performans elde edilmesi zordur. Ama yaklaşmak mümkün olabilmektedir. Çeşitli tipte antenler mevcuttur ve her tür özel uygulama için istenilen ışıma özelliklerini elde etmek için farklı biçim alabilirler (Balanis, 2005).

#### **2.1.2. Anten ışıma mekanizması**

Antenler ile ilgili sorulan ilk sorulardan biri "Işıma nasıl yapılır?" olurdu. Diğer bir deyişle, kaynak tarafından üretilen elektromanyetik alanlar nasıl iletim hattı ve anten içinde korunur ve yönlendirilir ve en sonunda antenden boş uzay dalgası oluşturmak için antenden ayrılır? En iyi açıklama bir örnekle verilebilir ancak, ilk olarak ışımanın bazı temel kaynaklarını incelemekte fayda vardır (Balanis, 2005).

### 2.1.2.1. Tek tel

İletken tellerin göze çarpan özelliği, elektrik yüklerinin hareketi ve akım akışının oluşturulmasıdır. Şekil. 2.5’de gösterildiği gibi kesit alanı  $A$  ve hacmi  $V$  olan dairesel bir telin elektrik hacim yük yoğunluğunun  $q_v$  (coulomb/m) ile temsil edildiğini ve tel üzerinde eşit yayıldığını varsayalım.  $V$  hacmi içerisindeki toplam yük  $Q$  sabit bir hız  $v_z$  (metre/sn) ile  $z$  yönünde hareket ediyor. Telin kesit alanı içerisindeki akım yoğunluğu,  $J_z$  (amper/m<sup>2</sup>), aşağıda gösterilmiştir (Balanis, 2005).

$$J_z = q_v \cdot v_z \quad (2.2)$$

İdeal bir elektriksel iletken tel yapılırsa tel yüzeyinde bulunan akım yoğunluğu,  $J_s$  (amper/m), aşağıda gösterilmiştir: (Balanis, 2005)

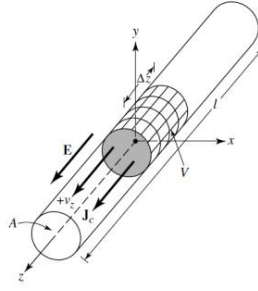
$$J_s = q_s \cdot v_z \quad (2.3)$$

Burada  $q_s$  (coulomb/m<sup>2</sup>) yüzey yük yoğunluğudur. Eğer tel çok ince (ideal olarak sıfır yarıçaplı) ise telin üzerindeki akım şu şekilde temsil edilebilir: (Balanis, 2005)

$$I_z = q_l \cdot v_z \quad (2.4)$$

Burada  $q_l$  (coulomb/m) birim uzunluk başına düşen yüküdür. Bu üç farklı akım yoğunluklarını incelemek yerine özellikle üzerinde durulacak olan ince tel akım yoğunluğudur. Sonuçlar her üçü için geçerlidir. Eğer akım zamana bağlı bir değişken ise (2.4)’de verilen akımın türevi şu şekilde yazılabilir: (Balanis, 2005)

$$\frac{dI_z}{dt} = q_l \frac{dv_z}{dt} = q_l a_z \quad (2.5)$$



Şekil 2.5. Dairesel kesitli silindirik tel üzerinde düzgün dağılmış yük (Balanis, 2005).

### 2.1.2.2. İki teller

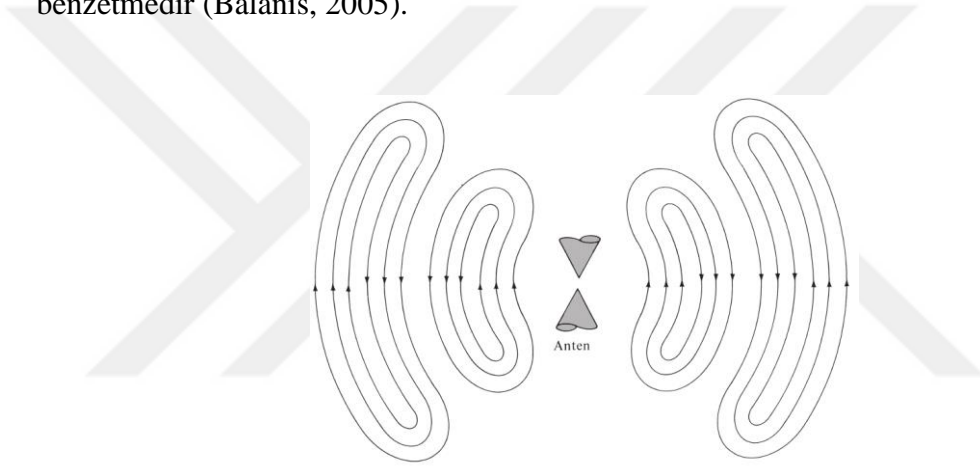
İki iletkenli iletim hattı boyunca gerilim uygulanması iletkenler arasında bir elektrik alanı oluşturur. Elektrik alan kendisine her noktada teğet olan kuvvetin elektrik çizgileri ile ilişkilidir ve onları büyüklüğü elektrik alan şiddeti ile orantılıdır. Elektrik hatlarının kuvvetinin iletkenlerle ilişkili serbest elektronları (atomlardan kolayca sökülebilir) harekete geçirmek gibi bir eğilimi vardır ve serbest elektronların yer değiştirmelerini zorlar. Yüklerin hareketi ile oluşan akım manyetik alan şiddeti oluşturur. Manyetik alan şiddeti, manyetik alana teğet olan manyetik hatlarının kuvveti ile ilişkilidir. Elektrik alan çizgilerinin pozitif yükler ile başladığı ve negatif yükler ile bittiği kabul edilmiştir. Ayrıca, pozitif yük ile başlayan ve sonsuzda biten, sonsuzda başlayan ve negatif yükte biten ya da herhangi bir yükte başlayan veya biten kapalı döngüler oluşturabilirler. Fiziksel olarak manyetik yük olmadığı için manyetik alan çizgileri her zaman akım taşıyan iletkenleri çevreleyen kapalı döngü oluştururlar. Bazı matematiksel formülasyonlarda, elektrik ve manyetik kaynakları içeren çözümler arasında bir paralellik çizmek için eş değer manyetik yükleri ve manyetik akımları tanıtmak çok kullanışlıdır (Balanis, 2005).

İki iletken arasındaki elektrik alanın çizgilerinin gösterilmesi yükün dağılımını anlamaya yardımcı olmaktadır. Gerilim kaynağının sinüzoidal olduğu varsayılırsa iletkenler arasındaki elektrik alanın uygulanan kaynakla aynı periyoda sahip sinüzoidal şeklinde olması beklenmektedir. Elektrik alan şiddetinin göreceli büyüklüğü, göreceli yönü (pozitif ya da negatif) oklar ile gösterilen kuvvet çizgileri yoğunluğu (demetleme) ile belirtilmektedir. Elektromanyetik dalgalar ve onlarla birlikte elektrik yükleri ve ilişkin akımlar da antene girmektedir (Balanis, 2005).



Elektriksel etken sürekli ise elektromanyetik dalgalar sürekli var olmaya devam edeceklerdir ve önceden üretilenleri takip edeceklerdir. Bu bikonik bir anten için Şekil. 2.6'de gösterilmiştir. Elektromanyetik dalgalar iletim hattı ve anten içinde oldukları zaman onların var olması iletkenler içindeki yüklerin varlığı ile ilişkilidir. Bununla birlikte, dalgalar yayıldığında kapalı döngü oluştururlar ve varlıklarını sürdürmek için ortamda herhangi bir yük bulunmamaktadır (Balanis, 2005).

Bu, bize elektrik yüklerin elektromanyetik alanları oluşturmak için gerekli olduklarını ancak, onları sürdürmek için gerekli olmadıklarını ve onların yokluğunda var olmaya devam edebileceklerini göstermektedir. Bu su dalgaları ile doğrudan bir benzetmedir (Balanis, 2005).



Şekil 2.6. Bikonik anten için serbest uzay dalgalarının elektrik alan çizgileri (Balanis, 2005).

### 2.1.2.3. Dipol

Şimdi kuvvetin elektrik çizgilerinin antenden ayrılıp serbest uzay dalgalarının oluşmasını sağlayan mekanizmayı açıklamaya çalışalım. Bu sadece kuvvet elektrik çizgilerinin ayrılmasını daha iyi bir fiziksel yorumunu vermek için gereklidir. Biraz basitleştirilmiş bir mekanizma olsa da serbest uzay dalgalarının üretilmesinin görselleştirmesini sağlamaktadır. Dipolün kolları arasında oluşan kuvvet çizgileri periyodun ilk çeyreğinde yükler maksimum değerine ulaştığında (sinüzoidal zaman değişimi kabul edildiğinde) gösterilmiştir ve çizgiler  $\lambda/4$  radyal uzaklığa gitmiştir. Periyodun bir sonraki çeyreğinde orijinal üç çizgi ilave  $\lambda/4$  uzaklığı gitmiştir (başlangıç noktasına göre toplam  $\lambda/2$  uzaklığa) ve iletkenler üzerindeki yük

yoğunluğu yok olmaya başlamıştır. Bunun periyodun ilk yarısının sonunda oluşan zıt yüklerin iletkenlerin üzerindeki yükleri etkisiz hâle getirerek başarılı olduğu düşünülebilir. Zıt yükler tarafından oluşturulan kuvvet çizgileri periyodun ikinci çeyreğinde  $\lambda/4$  uzaklığa gitmişlerdir. Sonuçta, ilk  $\lambda/4$  mesafede yukarıya doğru yönlendirilmiş üç kuvvet çizgisi varken ikinci  $\lambda/4$  mesafede aşağıya doğru yönlendirilmiş aynı sayıda kuvvet çizgisi olacaktır. Anten üzerinde herhangi bir yük olmadığında kuvvet çizgileri kendilerini iletkenlerden ayırmaya ve bir araya gelip kapalı döngü oluşturmaya mecbur olacaklardır. Periyodun kalan yarısında aynı işlem aksi yönde tekrar etmektedir. Bundan sonra işlem tekrarlanır ve süresiz devam eder (Balanis, 2005).

Kablosuz haberleşmedeki hızla gelişmesi daha geniş bantta çalışan ve daha küçük boyutta antenlere olan ihtiyacı artırmıştır. Araştırmacının birçoğu geniş bant antenler üzerinde çalıştığı olmuştur. Kablosuz haberleşme sistemleri için geniş bant anten tasarımı zorlukları olan bir konudur. Tasarlanmaya çalışılan antenin yönsüz bir ışımaya örüntüsünün olması, geniş frekans aralığında empedans uygunluğu olması, sabit bir kazanç ve grup gecikmesinin olması, veri almada ve vermede uygun transfer fonksiyonunun olması ve düşük darbe bozunumunun olması gibi özellikleri sağlaması gerekir (Mazinani & Hassani, 2009).

### **2.1.3. Anten temel parametreleri**

Bir antenin performansının belirlenmesi için çeşitli parametre tanımları gerekir. Bu parametrelerin bazıları birbirleriyle ilişkilidir ve anten performansının eksiksiz bir tanımı için hepsinin birden belirlenmesine ihtiyaç yoktur (Balanis, 2005).

#### **2.1.3.1. Işıma örüntüsü**

Bir antenin ışımaya örüntüsü, “antenin ışımaya özelliklerinin, uzay koordinatlarının bir fonksiyonu olarak matematiksel bir ifadesi veya grafiksel bir gösterimi olarak tanımlanır. Çoğu zaman, ışımaya örüntüsü uzak alanda belirlenir ve koordinatların bir fonksiyonu olarak gösterilir. Işıma özellikleri, güç akı yoğunluğu, ışımaya şiddeti, alan

genliği, yönlülük, faz veya kutuplanmayı içerir.” İlgilenilen örüntülerin çoğu, bir yol veya sabit yarıçaplı bir yüzey boyunca bakanın konumunun bir fonksiyonu olarak, yayılan enerjinin iki veya üç boyutlu uzaysal dağılımından oluşur. Kullanışlı bir koordinat seti, Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Sabit bir yarıçapta alınan elektrik (manyetik) alanın izi, genlik alan örüntüsü olarak isimlendirilir. Diğer yandan, sabit bir yarıçap boyunca, alan güç yoğunluğunun uzaysal değişimine yani farklılaşmasına ait grafiğe ise güç örüntüsü denir. Sıklıkla, normalize alan ve normalize güç örüntülerini verecek şekilde, alan ve güç örüntüleri, maksimum değerlerine göre normalize edilirler. Güç örüntüsü logaritmik ölçekte çizdirilebilir veya aygın olarak desibel (dB) cinsinden de çizdirilir. Bu ölçek genelde tercih edilir çünkü daha sonra ikincil kulaklar olarak bahsededeğimiz, örüntüsünün çok küçük değerlere sahip bölümleri ancak logaritmik ölçekte daha detaylı olarak vurgulanabilir (Balanis, 2005). Işıma örüntüsü genellikle logaritmik olarak gösterilir (Milligan & Lopez, 2014).

$$P_{çıkış} = \frac{v_{çıkış}^2}{R_L} \quad (2.6)$$

Buradan (2.6) logaritmik eksene geçecek olursak;

$$\text{Güç kazancı} = \frac{P_{çıkış}}{P_{giriş}} \quad (2.7)$$

$$\text{Güç kazancı} = \frac{v_{çıkış}^2 R_{in}}{v_{giriş}^2 R_L} \quad (2.8)$$

Olarak dönüştürülen denklemin logaritması alınarak denklem logaritmik hale dönüştürülür.

$$\text{Güç kazancı}_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{çıkış}}{P_{giriş}} \quad (2.9)$$

$$\text{Gerilim kazancı} = \frac{V_{çıkış}}{V_{giriş}} \quad (2.10)$$

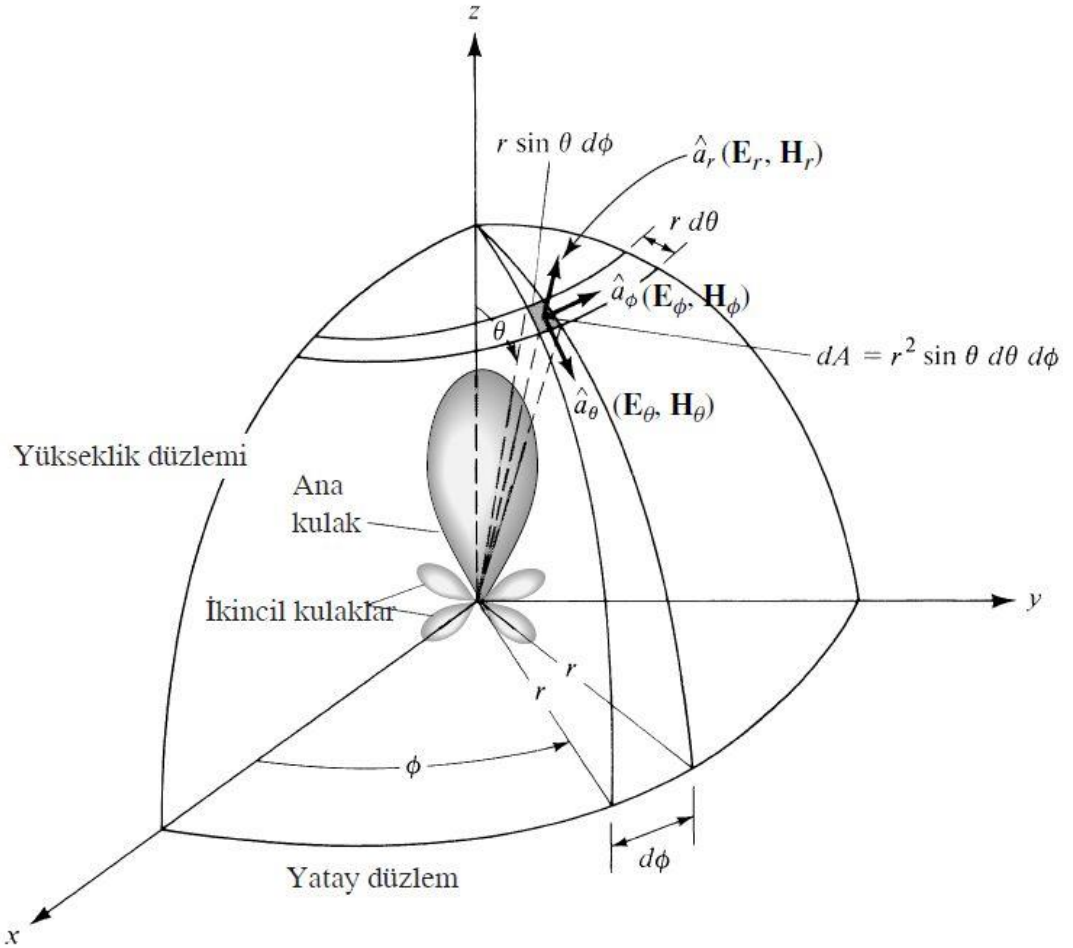
Buradan logaritmik olarak ifade ise;

$$\text{Gerilim kazancı}_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_{çıkış}}{V_{giriş}} \quad (2.11)$$

$$\text{Akım kazancı} = \frac{A_{çıkış}}{A_{giriş}} \quad (2.12)$$

Buradan logaritmik olarak ifade ise;

$$\text{Akım kazancı}_{dB} = 20 \log_{10} \frac{A_{çıkış}}{A_{giriş}} \quad (2.13)$$



Şekil 2.7. Anten analizi için koordinat sistemi (Balanis, 2005).

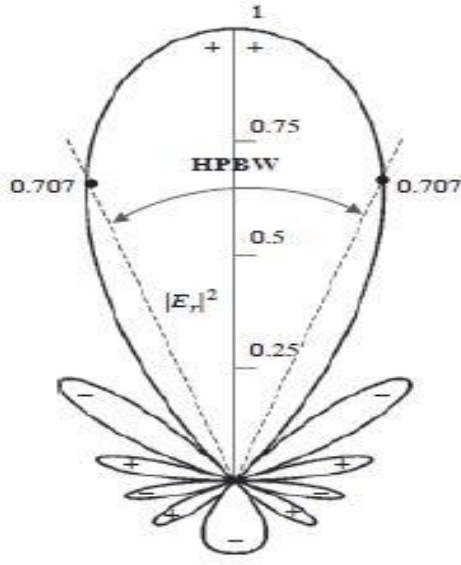
Bir anten için aşağıdakiler sıralanabilir,

- a. Alan örüntüsü, elektrik alan veya manyetik alanın, açısız koordinatların fonksiyonu olan bir çizimini temsil etmektedir.
- b. Güç örüntüsü, elektrik alan veya manyetik alan genliğinin karesinin açısız koordinatların fonksiyonu olarak bir çizimini temsil etmektedir.
- c. Güç örüntüsü (dB cinsinden) açısız koordinatların fonksiyonu olarak, elektrik alan veya manyetik alanın desibel cinsinden genliğini temsil etmektedir.

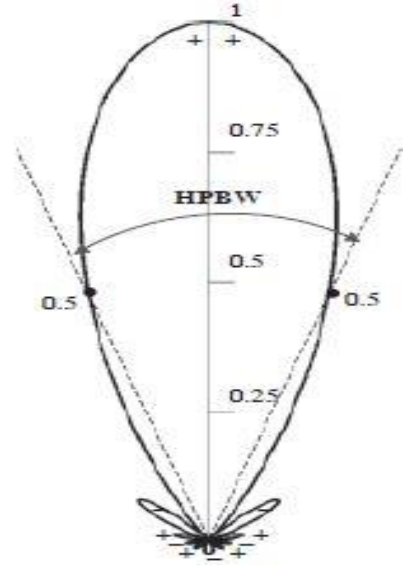
Bunları grafiksel olarak ifade etmek için yönbağımsız kaynakları arasında  $d = 0.25\lambda$  aralık olan, 10 elemanlı bir doğrusal anten dizisine ait hepsi iki boyutlu normalize bir alan örüntüsü (doğrusal ölçekte çizilmiş), bir güç örüntüsü (doğrusal ölçekte çizilmiş) ve ayrıca farklı bir güç örüntüsü (logaritmik dB ölçeğinde çizilmiş) bir arada, Şekil 2.7'de verilmiştir. Burada ve daha sonra verilecek örüntülerde, kulaklardaki (+) ve (-) işaretleri, sıfırları geçerken değişen (salınan) çeşitli kulaklar arasındaki genliğin bağıl olarak kutuplanmasını göstermektedir. Maksimum değerine göre örüntüsü yarı gücüne ulaştığı noktaları (-3 dB noktaları) yarı güç değerini bulmak için

- a. Şekil 2.8 (a)'da verildiği gibi, alan örüntüsü maksimumunun 0.707 katındaki değerini
- b. Şekil 2.8 (b)'de verildiği gibi, doğrusal ölçekteki güç örüntüsü maksimumunun 0.5 katındaki değerini
- c. Şekil 2.8 (c)'de verildiği gibi, dB cinsinden güç örüntüsü maksimumunun -3 dB aşağısındaki değerini tespit eder (Balanis, 2005).

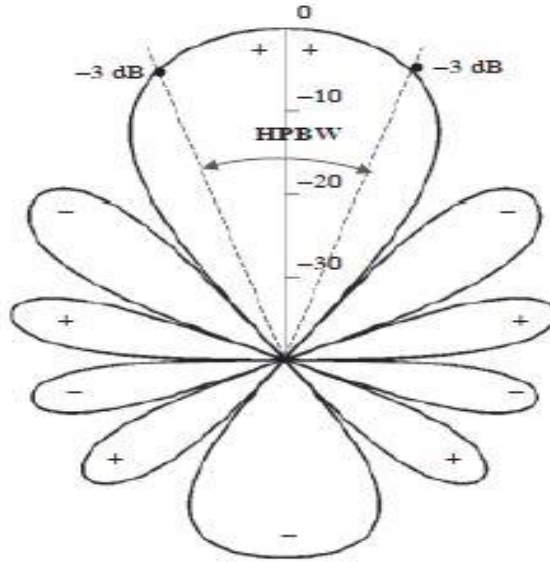
Patern grafiğinde E ve H yönlerinde ışın diyagramı ölçümleri alınır ve istenilen frekanslarda çizdirilir (Mazinani & Hassani, 2009).



(a) Alan örüntüsü (doğrusal ölçekte)



(b) Güç örüntüsü (doğrusal ölçekte)



(c) Güç örüntüsü (dB)

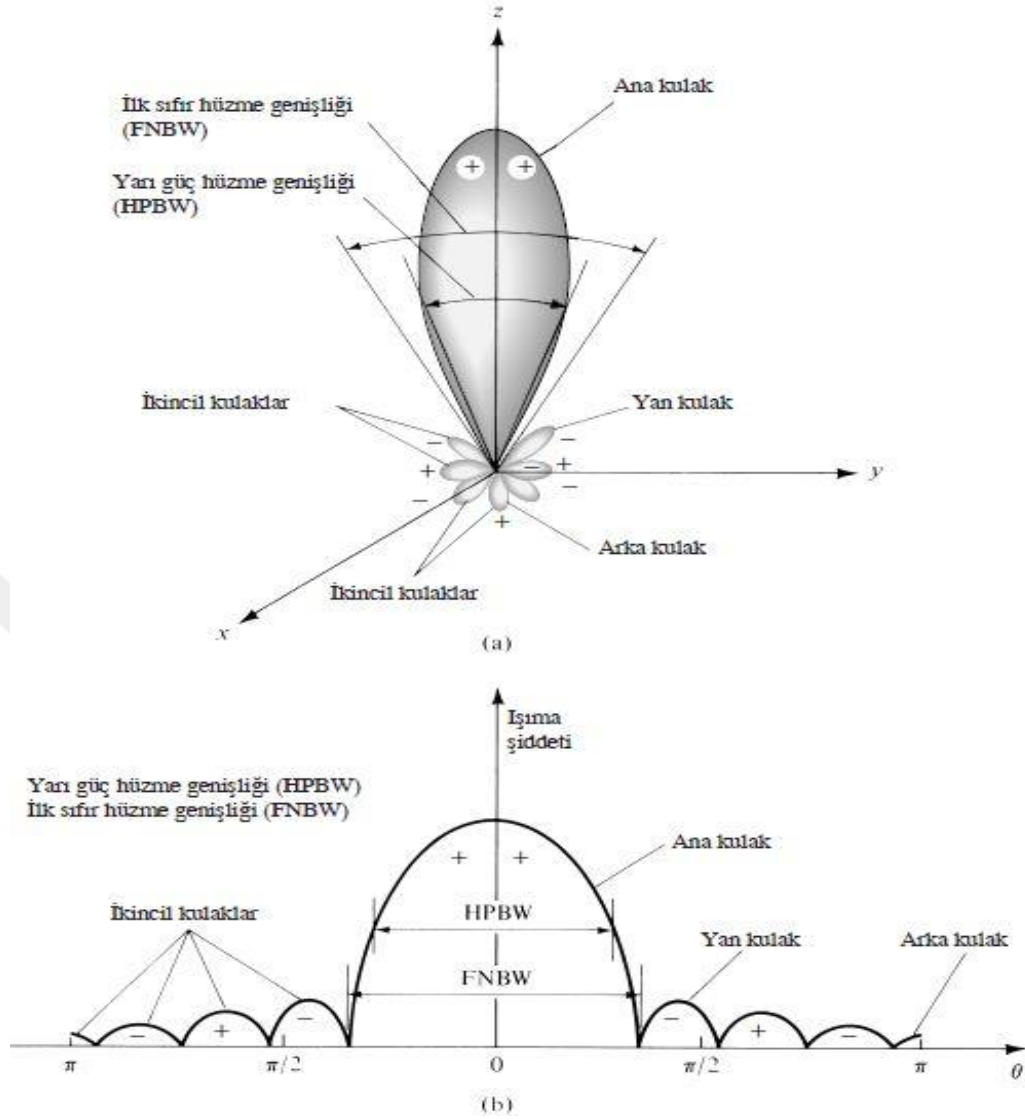
Şekil 2.8. İki boyutlu normalize alan örüntüsü (doğrusal ölçekte), güç örüntüsü (doğrusal ölçekte) ve güç örüntüsü (dB olarak) verilmiştir (Balanis, 2005).

Örüntülerin üçü de, HPBW ile gösterilen ve Şekil 2.8’de verilmiş iki yarı güç noktası arasındaki  $38.64^\circ$ ’lik aynı açisal genişliği verir. Pratikte, üç boyutlu örüntü, iki boyutlu örüntülerin bir serisi olarak ölçülür ve kaydedilir. Bununla birlikte, birçok pratik uygulamada,  $\varphi$ ’nin bazı özel değerleri için  $\theta$ ’nın fonksiyonu olan örüntü grafiklerinden birkaçı ile  $\theta$ ’nın bazı özel değerleri için  $\varphi$ ’nin fonksiyonu olan örüntü grafiklerinden birkaçı bize en yararlı ve ihtiyaç duyulan bilgileri verecektir (Balanis, 2005).

### 2.1.3.2. Işıma örüntüsü kulakları

Işıma örüntüsünün çeşitli kısımlarına kulak adı verilirken bunlar ana veya temel, ikincil, yan ve arka kulaklar olarak isimlendirilerek alt sınıflara ayrılabilirler. Bir ışımaya kulağı, ışımaya örüntüsünün değerine bağlı olarak daha zayıf ışımaya şiddetine ait bölgelerle sınırlanmış parçasına denir. Şekil 2.9, birçok sayıda ışımaya kulağı içeren üç boyutlu kutupsal bir örüntü göstermektedir. Bunlardan bazıları diğerlerinden daha büyük ışımaya şiddetine sahiptirler ama yine de hepsi kulak sınıfına dâhildirler. Şekil 2.9(b), aynı örüntü karakteristiklerinin belirtildiği doğrusal iki boyutlu bir örüntü [Şekil 2.9(a)'nın bir düzlemi] göstermektedir (Balanis, 2005).

Bir ana kulak (Aynı zamanda temel hüzmeye olarak da adlandırılır.) “maksimum ışımaya şiddeti yönündeki ışımaya kulağı” olarak tanımlanır. Şekil 10'da, ana kulak  $\theta = 0$  yönündedir. Bölünmüş hüzmeli antenler gibi bazı antenlerde birden fazla ana kulak olabilir. İkincil kulak, ana kulak haricindeki herhangi bir kulaktır. Şekil 2.9(a) ve (b)'de, ana kulak haricindeki tüm kulaklar ikincil kulak olarak sınıflandırılabilir. Bir yan kulak istenen kulaktan başka yönlerdeki ışımaya kulağıdır. (Genellikle, bir yan kulak, ana kulağa komşudur ve ana kulağın yönündeki yarıkürede bulunur.) Bir arka kulak “ekseni anten hüzmeye göre yaklaşık  $180^\circ$  açı yapan bir ışımaya kulağıdır”. Genellikle, ana (temel) kulağın ters yönündeki yarıkürede bulunan bir ikincil kulağı tanımlar. İkincil kulaklar genellikle istenmeyen yönlerdeki ışımaya temsil ederler ve minimize edilmeleri gerekir. Yan kulaklar ikincil kulakların en büyükleridir. İkincil kulakların seviyesi, genellikle ilgilenilen ikincil kulağın güç yoğunluğunun ana kulağına oranı olarak ifade edilir. Bu oran sıklıkla yan kulak oranı veya yan kulak seviyesi olarak da tanımlanır.  $-20$  dB veya daha küçük yan kulak seviyeleri genellikle birçok uygulama için arzu edilmez (Balanis, 2005).



Şekil 2.9. (a) Işıma kulakları ve hüzme genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün ve ilgili kulakların ve hüzme genişliklerinin doğrusal çizimi verilmiştir (Balanis, 2005).

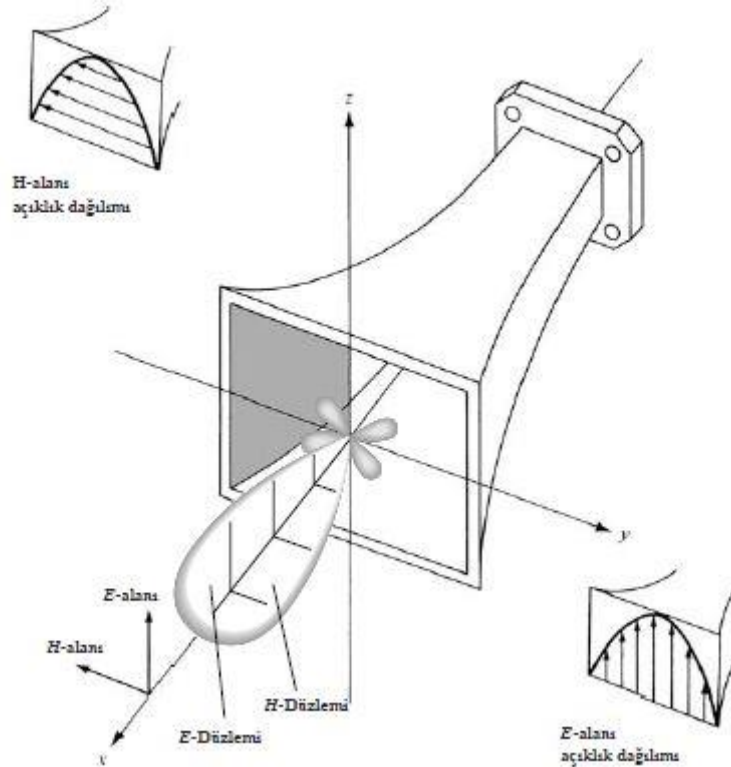
-30 dB'den düşük bir yan kulak seviyesi çoğunlukla çok dikkatli tasarım ve gerçekleştirme gerektirir. Birçok radar sisteminde, yan kulaklar üzerinden alınan yanlış işaretlerin minimize edilmeleri gerektiği için yan kulak oranı değerleri oldukça önem taşır.  $d = 0.25 \lambda$  aralıklı ve elemanları arasındaki artan oranlı faz kayması  $\beta = -0.6\pi$  olan, yön bağımsız kaynaklı bir doğrusal anten dizisinin, doğrusal ölçekte çizdirilmiş normalize üç boyutlu uzak alan genlik örüntüsü Şekil 2.9'da verilmiştir. Bu örüntünün, bir ana kulağa, beş ikincil kulağa ve bir arka kulağa sahip olduğu açıkça görülmektedir. Maksimuma göre yan kulak seviyesi -9 dB'dir. Bir antenin bir genlik örüntüsü için, Şekil 2.10'da gösterildiği gibi genelde  $r = r_c$  sabit yarıçaplı



kürenin yüzeyindeki her bir gözlem noktasında üç elektrik alan bileşeninin ( $E_r$ ,  $E_u$ ,  $E_\phi$ ) olması yeterlidir. Uzak alanda, tüm antenlerin  $E_r$  radyal bileşeni sıfırdır veya diğer iki bileşenin her birine veya her ikisine göre ihmal edilecek kadar küçüktür. Bazı antenler, geometrilerine ve aynı zamanda gözlem mesafelerine bağlı olarak sadece bir, iki veya üç bileşenlerinin hepsine de sahip olabilirler. Genelde, toplam elektrik alanın genliği olacaktır. Şekil 2.9’de ve benzeri diğerlerindeki radyal mesafe büyüklüğü ile temsil edilir (Balanis, 2005).

### 2.1.3.3. Yönbağımsız, yönlü ve yönsüz örüntüler

Bir yönbağımsız ışılıyıcı “her yönde eşit ışımaya sahip olan varsayımsal bir kayıpsız anten” olarak tanımlanır. İdeal olmasına ve fiziksel olarak yapılamaz olmasına rağmen, çoğunlukla gerçek antenlerin yön özelliklerinin ifade edilmesinde anten referans olarak kullanılır (Balanis, 2005).

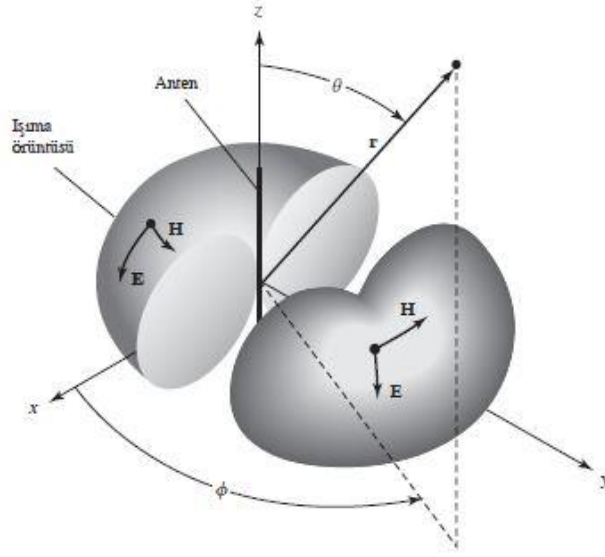


Şekil 2.10. (a) Anten örüntüsünün ışımaya kulakları ve hüzmeye genişlikleri, (b) Güç örüntüsünün ve bunun ile ilgili kulakların ve hüzmeye genişliklerinin doğrusal çizimi verilmiştir (Balanis, 2005).

Bir yönlü anten “elektromanyetik dalgayı bazı yönlerde diğer yönlerden daha etkin olarak ışıma veya alma özelliğine sahip olan antendir. Bu terim genelde maksimum yönlülüğü yarım dalga dipolden önemli derecede büyük olan bir anten için kullanılır”. Şekil 2.8 ve 2.9’deki örüntüler, yönlü ışıma örüntüsüne sahip antenlere örnek oluştururlar. Şekil 2.9’deki örüntünün yatay düzlemde  $[f(\varphi), u = \pi/2]$  yönlü olmadığı, bununla beraber yükseklik düzleminde  $[g(u), \varphi = \text{sabit}]$  yönlü olduğu görülmektedir. Bu tip bir örüntü yönsüz olarak adlandırılır ve “verilen bir düzlemde (burada yatay düzlem) yönlü olmayan bir örüntü ve bu düzleme dik bir düzlemde (burada yükseklik düzlemi) ise yönlü bir örüntüsü olan anten” olarak tanımlanır. Böylece bir yönsüz örüntü, yönlü örüntünün özel bir tipi olmuş olur (Balanis, 2005).

#### **2.1.3.4. Temel örüntü**

Doğrusal kutuplu bir anten için performans, sıklıkla antenin temel E ve H-düzlemi örüntüleri cinsinden tanımlanır. E-düzlemi “elektrik alan vektörünü ve maksimum ışıma yönünü içinde bulunduran düzlemdir”. Benzer şekilde H-düzlemi de “manyetik alan vektörünü ve maksimum ışıma yönünü içinde bulunduran düzlemdir”. Belirli bir örneği dikkate almadan temel örüntüleri açıklamak çok güç olmasına rağmen temel düzlem örüntülerinin en azından birini, geometrik temel düzlemlerin biriyle denkleştirmek birçok anten için olağan bir uygulamadır. Bununla ilgili bir gösterim Şekil 2.8’de verilmiştir. Bu örnekte, x-z düzlemi (yükseklik düzlemi;  $\varphi = 0$ ) temel E-düzlemidir, benzer şekilde x-y düzlemi (yatay düzlemi,  $\theta = \pi/2$ ) ise temel H-düzlemidir. Diğer koordinat yönelimleri de temel düzlem olarak seçilebilir. Şekil 2.11’nün yönsüz örüntüsü, sonsuz sayıda temel E-düzlemine (yükseklik düzlemi  $\varphi = \varphi_c$ ) ve bir tane de H-düzlemine (yatay düzlem,  $\theta = 90^\circ$ ) sahiptir (Balanis, 2005).



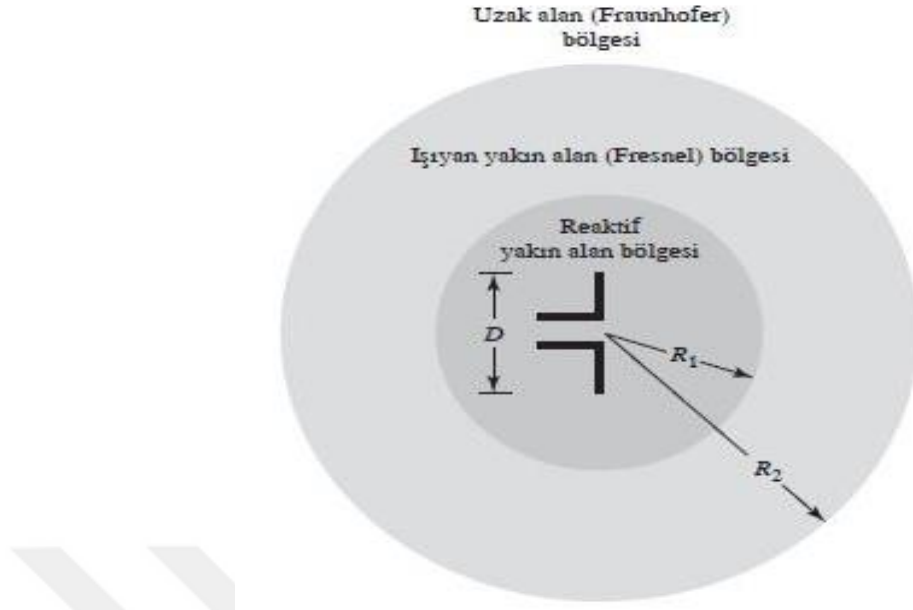
Şekil 2.11. Yönsüz anten örüntüsü (Balanis, 2005).

### 2.1.3.5. Alan bölgesi

Genellikle bir anteni çevreleyen uzay Şekil 2.12’de gösterildiği gibi alt üç bölgeye ayrılır:

- (a) Reaktif yakın alan bölgesi,
- (b) Işıyan yakın alan (Fresnel) bölgesi,
- (c) Uzak alan (Fraunhofer) bölgeleri.

Bu bölgelerin her biri, içinde barındırdıkları alan yapılarını tanımlayabilmek için belirlenmişlerdir. Bölge sınırlarını geçerken alan konfigürasyonlarında ani değişiklikler fark edilmemesine rağmen aralarında açık farklar bulunmaktadır. Bu bölgeler için çeşitli kıstaslar olmasına ve bunlar yaygın olarak kullanılmasına rağmen alanları ayıran sınırlar tek bir şekilde tanımlanmış değildir (Balanis, 2005).



Şekil 2.12. Bir antenin alan bölgeleri (Balanis, 2005).

$D$ : Maksimum anten açıklığı

$R_1$ : Reaktif yakın alanı ifade eden dairenin yarıçapı

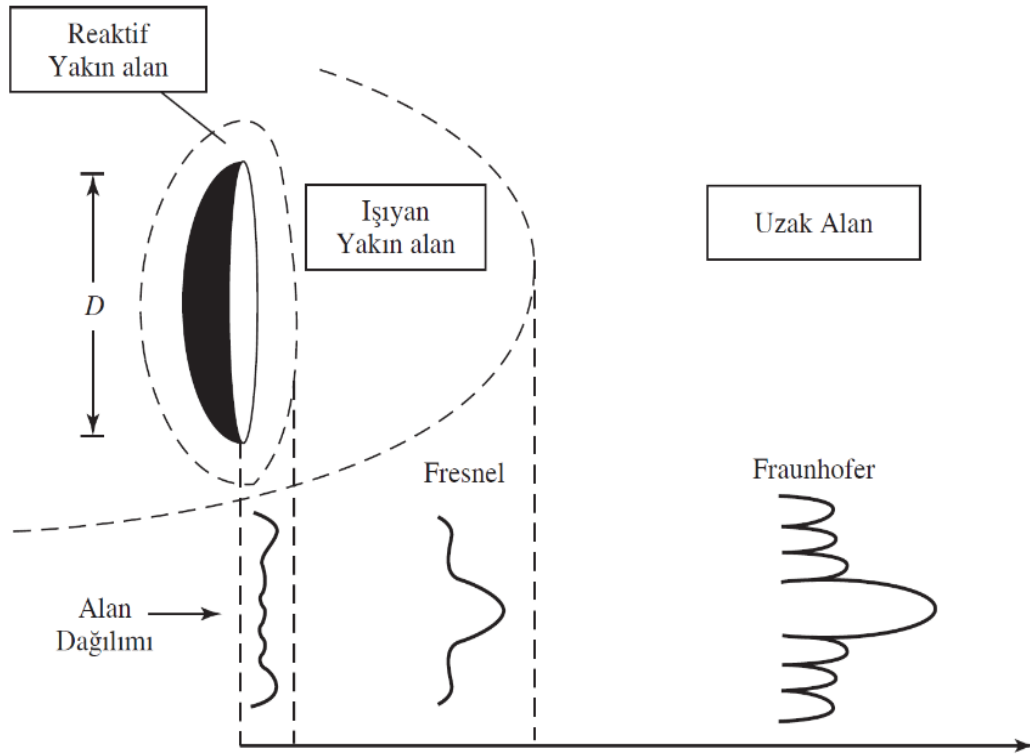
$R_2$ : Işıyan yakın alanı ifade eden dairenin yarıçapı

$$R_1 = 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.14)$$

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.15)$$

Reaktif yakın alan bölgesi, “reaktif alanların baskın olduğu ve yakın alan bölgesinin anteni hemen çevreleyen kısmı” olarak isimlendirilir. Birçok anten için, bu bölgenin maksimum sınırı, genellikle anten yüzeyinden bir mesafesi olarak alınır.  $R_1$  olarak gösterilmekte ve (2.14) denkleminde verilmektedir. Burada  $\lambda$  dalga boyu,  $D$  ise antenin en büyük boyutu olarak verilmiştir. “Çok küçük bir dipol veya buna özdeş bir ışığı için dış sınır genellikle anten yüzeyinden  $\lambda/2 \pi$  mesafesi olarak alınır” (Balanis, 2005).

İşıyan yakın alan (Fresnel) bölgesi “bir antenin ışıyan alanların baskın olduğu ve açılal alan dağılımının antenden olan mesafeye bağlı olduğu, reaktif yakın alan bölgesi ile uzak alan bölgesi arasındaki bölgesi olarak tanımlanır. Eğer antenin maksimum boyutu dalga boyuna göre büyük değilse bu bölge ortaya çıkmayabilir. Sonsuza odaklanmış bir anten için ışıyan yakın alan bölgesi bazen optik terminolojiye benzerlikten dolayı Fresnel bölgesi olarak da adlandırılır.  $R_2$  olarak gösterilmekte ve (2.15) denkleminde verilmektedir. Eğer anten, dalga boyuna göre çok küçük bir boyuta ( $D$ ) sahipse bu bölge ortaya çıkmayabilir.” Bu bölge için iç sınır ve dış sınır da olarak alınır. Burada  $D$  antenin en büyük boyutudur. Bu ölçüt  $\pi/8$ 'lik bir maksimum faz hatası ile ilgilidir. Bu bölgede alan örüntüsü genellikle radyal mesafenin fonksiyonudur ve radyal alan bileşeni algılanabilir büyüklüktedir (Balanis, 2005).



Şekil 2.13. Reaktif yakından uzak alan bölgesine geçişte anten genlik örüntü şeklinin değişimi (Balanis, 2005).

Tablo 2.1’de ölçümlerde kullanılan anten için alan bölgesi hesaplama sonuçları verilmektedir.

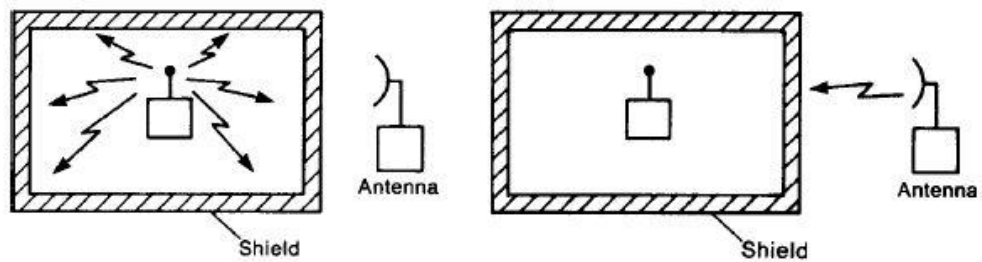
Tablo 2.1. Anten alan bölgesi hesaplama

No	Anten çalışma frekansı(GHz)		Anten en büyük açıklık	Dalga boyu $\lambda$ (m)		Reaktif yakın alan <R1		Işıyan yakın alan R1>,R2<		Uzak alan bölgesi R2>
	Başlangıç	Bitiş	D boyutu(m)	Başlangıç	Bitiş	Başlangıç R1	Bitiş R1	Başlangıç R2	Bitiş R2	En Büyük Uzaklık
1	1	18	0,28	0,30	0,02	0,17	0,71	0,52	9,41	9,41
2	1	2	0,28	0,30	0,15	0,17	0,24	0,52	1,05	1,05
3	2	2	0,28	0,15	0,15	0,24	0,24	1,05	1,05	1,05
4	4	4	0,28	0,08	0,08	0,34	0,34	2,09	2,09	2,09

Düzlemsel yakın alan ölçümleri geniş frekans bandına sahip antenlerin performansının doğrulamak için uygun bir tekniktir. Bununla birlikte test aralığının büyük olması sebebi ile uzun ölçüm süresi ve yüksek maliyeti ile dezavantajlara sahiptir (Seguin & Pavlasek, 2002).

## 2.2. Test Odaları

Elektromanyetik olarak korunaklı oda demek dış ortam ile oda içi arasında yüksek zayıflatmaya sahip oda demektir. Dış ortamdan test odası içerisine veya test odasından dış ortama işaretin geçişine engel olacak oda tasarlamak demektir. Bu test odaları özel olarak tasarlanırlar. Özel ölçümlerde kullanılırlar maliyetleri yüksektir. Ölçüm yapılarak test edilmeliler ve çalışılacak şartlara göre zayıflatma miktarı kararlaştırılmalıdır.



Şekil 2.14. Elektromanyetik olarak korunaklı ortam



Şekil 2.15. Elektromanyetik olarak korunaklı oda örneği

Test odalarının içindeki yutucu köpük ise test anında antenlerin yaydığı işaretlerin soğurulmasını sağlar ve ölçümlerin hassasiyetini sağlamış olurlar. Ölçüm yapılan frekans aralığında en iyi performans veren yutucular kullanılmalıdır. Bu yutucu köpükler maliyet olarak çok yüksektir. O yüzden optimum oda boyutları ve optimum yutucu köpük tercih edilmelidir.

Test odasının rezonans frekansı oda boyutlarına göre hesaplanması gerekmektedir. Bu sayede hem odanın rezonans frekansı hem de diğer frekansları tespit edilmiş olur. Bu sayede oda performansına bakılmasına da dikkat edilecek olan frekanslar belirlenmiş olur (Grudén, Hallbjörner, & Rydberg, 2013).

Buradan anlaşılacağı üzere test odası tasarlamak kurmak çok emek ister ve özel teknolojisi olan bir sistemdir. Bu test odalarının maliyeti yüksektir.

Son birkaç yılda uluslararası komite uluslararası elektroteknik komisyonu yayılan tanımlayan standartlarını genişletti. Elektromanyetik uyumluluk için emisyon testi (EMC) 1 GHz'in üzerindeki frekanslara yeni bir EMC anten kalibrasyon tekniği ile 1 GHz'in üzerindeki yeni tekniklere ihtiyaç olduğunu belirtti (Ji, Arthur, & Warner, 2008).

### **2.2.1. Ekranlı oda (Shield room - Faraday cage)**

Elektromanyetik olarak korunaklı odalardır. Şekil 2.14’te verildiği gibi her iki yönlü elektromanyetik alanlara karşı korunaklı odalardır. Bu test odaları kullanım alanına göre standart ölçüm yöntemi ile ekranlama değerleri ölçülmeli ve talep edilen düzeyde olması sağlanmalıdır. Faraday kafesi olarak isimlendirilen bu test odaları tamamen iletken ile kaplı test odalarıdır.

### **2.2.2. Yarı yansız oda (Semi – anechoic room)**

Elektromanyetik olarak korunaklı ve zemin hariç yutucu malzeme (abzorber) ile kaplı odalardır. Bu test odaları ekranlı yapı ile birlikte yutucu malzeme ile performansı artmış olur ve standardın gereksinimlerini yerine getirecek şekilde tasarlanmış olur.

### **2.2.3. Tam yansız oda (Anechoic room)**

Elektromanyetik olarak korunaklı ve test odası içerisinde tamamen yutucu malzeme ile kaplı test odasıdır. Test odası içerisinde mümkün olduğunca yansıtıcı yüzey bırakılmaz. Ölçüm şartlarını yerine getirecek şekilde tasarımlar yapılır.

Anten test odalarında ölçüm gereksinimleri göz önünde bulundurularak tasarımlar yapılmalıdır. Ölçümlerin yapılabilmesi için test numunesi özellikleri çok önemlidir. Ölçümü yapılacak antenin yakın alan ve uzak alan hesaplamaları yapılmalıdır. Bir test odası bu gereksinimlerden en azı ile yakın alan şartını sağlamalıdır. Yakın alan şartını sağlayan test ortamlarında rahatlıkla ölçümler yapılabilmektedir.

Yakın alan şartı sebebi ile antenler arası mesafe 1 m’den büyük olmalıdır. Ayrıca test odasında üç ana gereksinim vardır. Bunlar; tarama gereksinimleri, yutucu gereksinimleri ve mekanik stabilite gereksinimleridir (Miller, 2005). Anten test odalarında yalnızca soğurucunun etkisi yoktur. Aynı zamanda test odasının



zayıflatması, boyutlarının da etkisi önemli bir faktördür. Tasarım yapılırken göz ardı edilmeyecek bir etmendir (Holloway & Kuester, 1996).

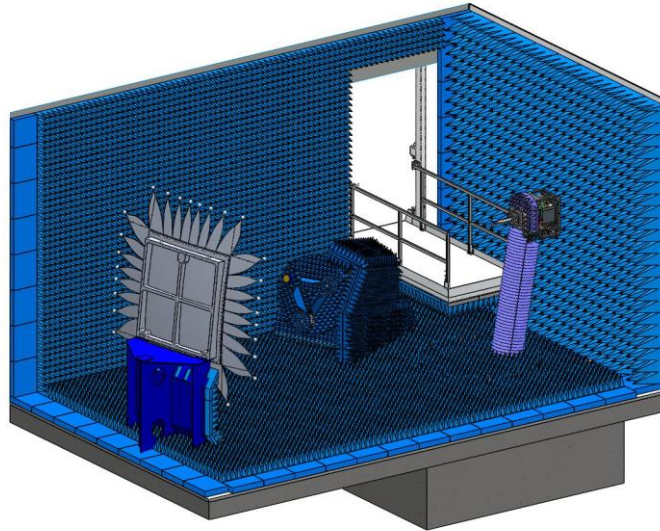
Anten test odasındaki antenlerin konumları ölçüm sonucuna çok etki etmektedir. Alıcı anten ile işaret kaynağı olarak kullanılan verici antenin yutucu köpüklere olan mesafesi anten kazançlarına etki edecek ve aynı zamanda işaretin yutulması farklı olacağından önemli ve etkili bir faktördür (Kinezos & Ungvichian, 2004).

#### 2.2.4. Açık saha test alanı (Open area test site)

Açık sahada yapılan testler için kullanılan alanlara denir. Test yapılacak ortam elektromanyetik olarak temiz bir ortam olmalıdır. Hava koşulları olarak stabil olmalıdır. Hava şartları sebebi ile ölçüm sonuçlarında çok farklı değerler alınabilmektedir. En önemli faktörler ise sıcaklık, nem, rüzgar ve testleri etkileyen yağmur faktörüdür.

### 2.3. Anten Ölçüm Sistemi

Anten test sistemi olabildiğince yansımaları önleyecek şekilde tasarlanır. Büyük parçaları test odası dışına aktarılır ve yansıtıcı yüzeyleri yutucular ile kaplanır (Svensson et al., 2017).



Şekil 2.16. Kompakt aralık geometrisi (Svensson et al., 2017)

Anten ölçüm sistemleri ölçüm tipine göre farklılık göstermektedir. Antenin ölçüm parametresine göre teknik belirlenir. Bu çalışmamızda anten patern ölçümü yapmayı hedefledik. Anten patern ölçümü için en basit sistemi tasarlayacak olursak antenin iki ekseninde ışın diyagramının çıkarılması söz konusu olacaktır. Bu işlem için patern çıkarılacak anten kendi ekseninde etrafında tam tur atarken işaret kaynağı ile meydana getirdiği diyagrama anten ışın diyagramı yani anten paterni denir.

Anten ölçüm sisteminde hassasiyeti alıcı anten hareketi belirlemektedir. Alıcı anten ne kadar hassas döner ve taradığı açı hassas olursa sonuçta o hassasiyette iyi çıkar. Sistem hassasiyetini anten dönüş açısının hassasiyeti ve işaret kaynağı ve alıcı cihaz arasındaki kontrol sistematiği belirlemektedir.

Anten kontrol sistemi donanım olarak uygun şekilde monte edilmelidir. Yazılım olarak kontrolü ise anten kontrol kartı sayesinde yapılır. Konumlandırıcı sayesinde anten test portuna bağlanır ve konumlandırılır. Anten test sistemi ile ölçüm sistemi eşzaman çalışmalıdır (Ozkan, 2018).

Anten sistemi ile alıcı cihaz verici cihaz üçlüsü otomatik kontrol edilmesi ölçüm sisteminin daha verimli çalışmasını sağlar ve daha hassas ölçümler alınmasını sağlamış olur. Anten ölçüm sisteminin otomatik kontrolünün önemi burada daha iyi anlaşılmaktadır.

## **BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **3.1. Materyal**

Araştırmada, anten test odasında ve sadece kısmi kaplı odada aynı antenler kullanılarak ölçümler yapılmış ve karşılaştırma metodu kullanılmıştır. Anten ölçümlerinde anten ışına diyagramları göz önünde bulundurulmuştur. Işıma diyagramlarının sonuçlarına göre değerlendirme yapılacaktır. Bu ölçümlerde antenlerden biri sabit tutulup diğer anten ise çevresinde tam tur atarak tarama yapacaktır. Dairesel dönen anten için dönen otomatik bir sistem tasarlamak gerekecektir. Bu sistemi ölçüm sistemi ile haberleştirmek ve ortak hareket etmelerini sağlamak için otomatik kontrol sistemi kullanılacaktır.

### **3.2. Yöntem**

#### **3.2.1. Kullanılan araç-gereçler**

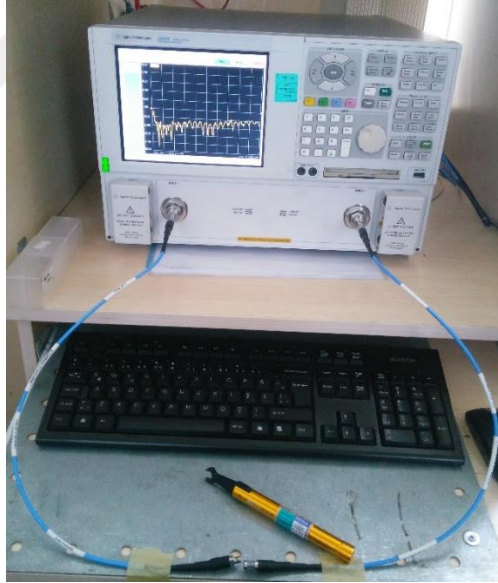
Kullanılan cihaz ve donanımlar Tablo 3.1'de verilmiştir. Cihaz özellikleri ve kullanımı ilerleyen sayfalarda daha ayrıntılı değinilmiştir. Kullanılan cihaz ve donanım ölçüm sonuçlarının iyi çıkması ve neticeye kavuşması için doğru seçilmelidir. Cihazları kullanımlarına uygun şekilde kullanmalı ve zarar görmelerini önlemek gerekmektedir. Yüksek frekansta ölçümler yapıldığından ölçüm donanımları bu gereksinim doğrultusunda seçilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan cihazlar listesi

No	Cihaz	Marka	Model	Açıklama
1	Network Analizör	Agilent	E8363B	Ölçümde kullanıldı
2	Horn Anten	EMC	HA118G	Alıcı ve verici anten
3	Anten Kontrol Sistemi	EMC	AKS360	Kontrol sistemi olarak kullanıldı
4	RF kablo	Huber Suhner	S04272B	Bağlantı için kullanıldı
5	GPIB Kablo	NI		Cihaz ile haberleşme için kullanıldı
6	Bilgisayar	HP		Kontrol ve veri analizinde kullanıldı

### 3.2.1.1. Network analizör

Anten patern ölçümünde Şekil 3.1’de gösterilen 10 MHz – 40 GHz frekans ölçüm aralığı olan network analizör ile ölçümler yapılmıştır.



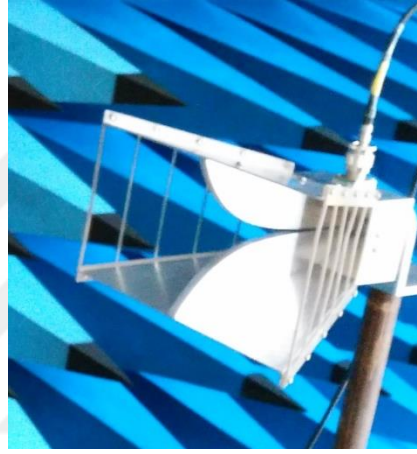
Şekil 3.1. 10 MHz – 40 GHz Network analizör

RF ve Mikrodalga network analizörü parametre olarak S-parametre, kazanç, geri dönüş kaybı, dengeli parametreler, diferansiyel ölçümler, bozulma ve gürültü sayısı ölçümleri yapmak için 5 Hz’den 1,1 THz aralığından seçimi yapılabilir. Çalışmada ölçüm olarak s21 iletim ölçümü faydalanarak ölçümler gerçekleştirilecektir.

Ölçümlerin yapılabilmesi için ölçüm cihazı ve anten kontrol sisteminin bilgisayar ile haberleşme sağlanmıştır. Network analizör ile GPIB sayesinde haberleşme sağlanmıştır.

### **3.2.1.2. Horn anten**

Testlerde alıcı ve verici anten olarak Şekil 3.2’da gösterilen 1 GHz -18 GHz horn anten kullanılmıştır.



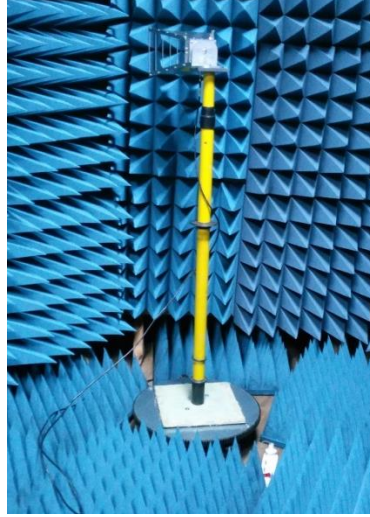
Şekil 3.2. 1 GHz - 18 GHz Horn anten

Horn anten yönlü bir antendir. Double ridge horn anten olarak isimlendirilen anten kullanılmıştır. Horn anten açıklık antenler sınıfına girmektedir. İletim hattının genişletilmesi ile oluşurlar. Kazançları yüksektir ve düşük wsvr değerlerine sahiptirler. Geniş çalışma frekansları vardır.

Horn antenler emc deneylerinde (özellikle askeri deneylerde), radar uygulamalarında, anten kazanç ölçümlerinde, patern ölçümlerinde vb. ölçümlerde kullanılır.

### **3.2.1.3. Anten kontrol sistemi**

Anten kontrol sistemi Şekil 3.3’de verilmektedir.



Şekil 3.3. Döner anten sistemi ve anten

Döner anten sistemi kontrol kartı olarak arduino kontrol kartı kullanılmıştır. Step motor kontrol kartı ile step motor kontrol edilir ve 0.4 derece hassasiyet ile sistem çalışması sağlanır. Sistemin kontrolü için hem döner anten sistemi hem de ölçüm cihazı birlikte otomatik kontrol sistemi ile kontrol edilir veriler kayıt altına alınır. Bu amaçla hem arduino hem de ölçüm cihazı kontrolü sağlanır. Arduino ile COM portu ile haberleşirler. Seri haberleşmede port haberleşmesi kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 3.4. Arduino uno kontrol kartı

Şekil 3.4'de arduino UNO kartı verilmektedir. Arduino'nun en çok kullanılan kartı olduğunu diyebiliriz. Arduino Uno'nun 14 dijital giriş veya çıkış pini mevcuttur. Bunlardan 6'sı PWM çıkışı olarak kullanılabilir. 6 adet analog girişi vardır, bir adet 16 MHz kristal osilatöre sahiptir, USB bağlantısı ile bilgisayara rahatlıkla bağlanabilir, dc besleme için power jakı (2.1mm) ile harici besleme kaynağı bağlanabilmekte, ICSP başlığı ve reset butonu bulunmaktadır.



Şekil 3.5. Step motor sürücü kartı

Şekil 3.5’ de step motor kontrol kartı verilmektedir. TB6600 Step Motor Sürücü Kontrol Kartı X-Y-Z eksenleri, lazer kesiciler, gravür makinaları ve pick-place gibi CNC kontrollü projeler için uygundur. 4 ampere kadar çıkış akımı verebilir. Yüksek hızlı optokuplör izolasyonlu sinyal girişi ile parazitlenme ve dalgalanma, geniş soğutucusu ile ısınma sorunları en aza indirilmiştir. Seçilebilir 6 mod ile 32 segmente kadar kullanılabilir. Dâhili aşırı ısınma, aşırı akım ve ters gerilim koruması vardır.

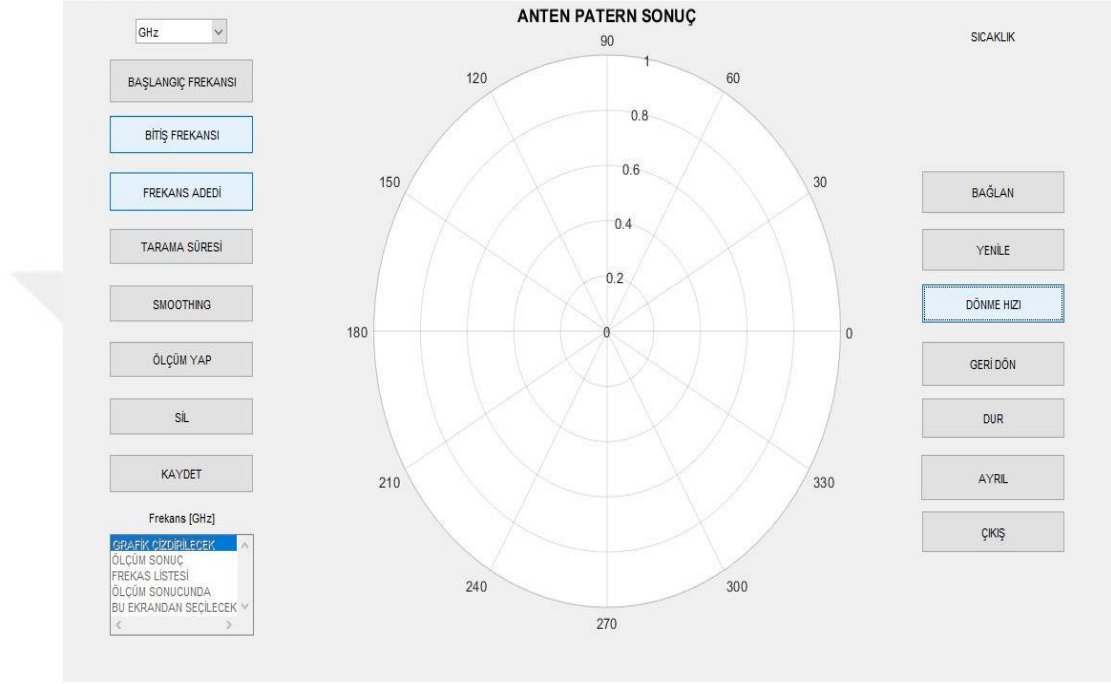


Şekil 3.6. Step motor

Şekil 3.6’ de step motor verilmektedir. NEMA 14-boyutlu  $1.8^\circ$  adım açısı olan (200 adım / devir) hibrid bipolar step motordur. Her faz için 10 V ile 500mA çalışır ve 1 kg-cm bir durdurma torkuna sahiptir. Dört renk kabloları bulunmaktadır. H-Bridge tabanlı dc motor sürücüler yardımıyla kontrol edilebilir. Bipolar step motor sürücüleriyle kullanılması önerilir.



Ölçüm sistemi kontrolü otomatik kontrol amaçlı yazılım programı ile sağlanmaktadır. Program kullanıcı ara yüzü Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Bu yazılım kullanıcıya hatasız ve ihtiyaca cevap verebilecek ölçüm imkânı sunar. Kullanması kolay ve çok fonksiyonludur. Dili Türkçedir.



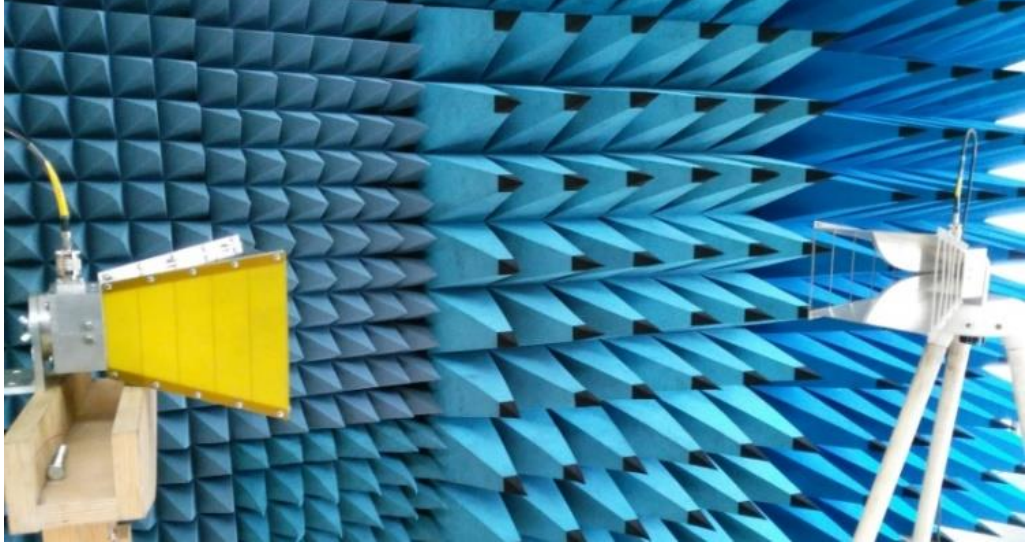
Şekil 3.7. Otomatik kontrol sistemi arayüzü

### 3.2.2. Ölçülen parametreler

Anten test odasında anten patern ölçümü yapılmıştır. Anten kapsama alanını belirlemek için bu ölçümler yapılır. Yani anten ışın diyagramının çıkarılması sağlanır. Anten patern ölçümü için sinyal kaynağından gönderilen işaretler alıcı anten tarafından alınır ve azimut açısının bir fonksiyonu olarak çizdirilir (Yavas, Uygur, & Akgul, 2015).

Ölçümlerde antenler karşılıklı bakarken S21 (iletim katsayısı) ölçümü yapılır. Antenler Şekil 3.8’deki gibi bağlanır. Bir anten sabit diğer anten ise kendi eksenini etrafında 360 derece tam tur atarak ölçümler farklı açılarda alınır ve kaydedilir. Burada sadece x-y (yatay eksen) eksenli ölçümler alınarak ışın sonuçları alınır. Çıkan sonuçlar grafiksel olarak çizilir ve antenin ışın diyagramı çıkarılır.





Şekil 3.8. Ölçüm mekanizması

$S_{xy}$ : TAC' ın girişindeki sinyal gücünün çıkışındaki sinyal gücüne oranıdır. Bu oran decibel (dB) cinsinden (3.1) de olduğu gibi ifade edilmektedir.

$$S_{xy} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} \quad (3.1)$$

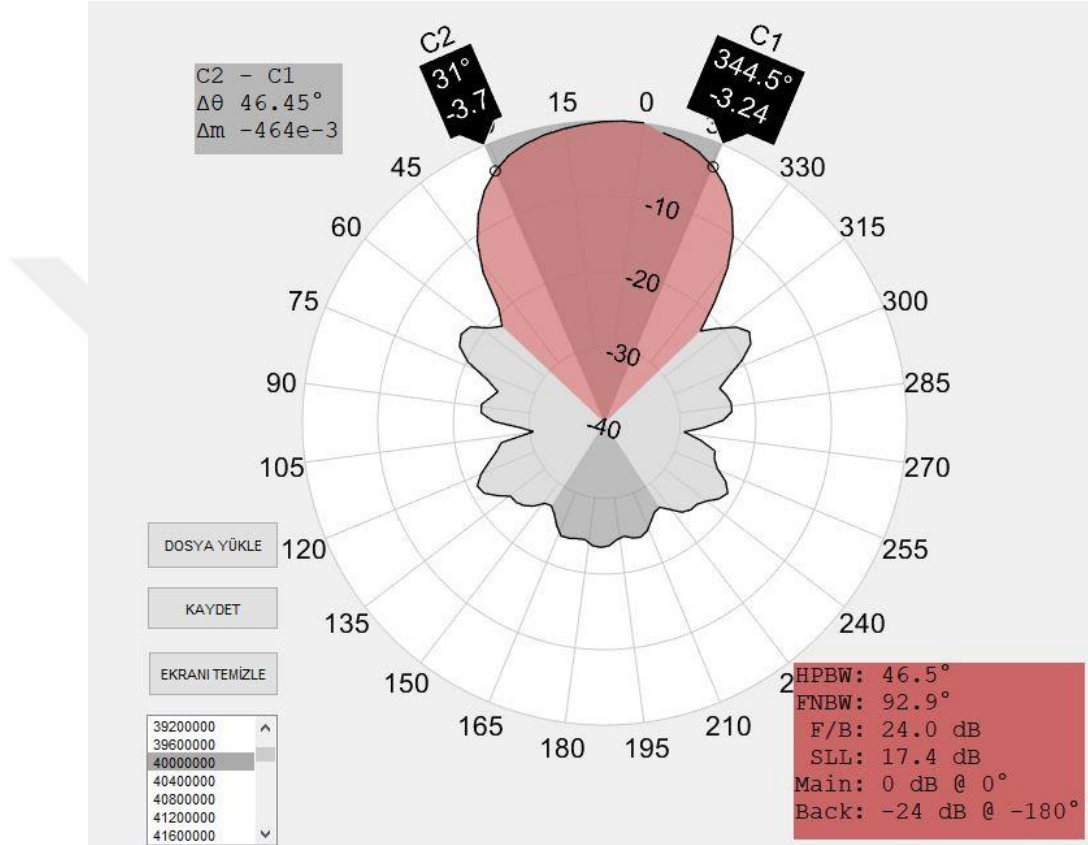
Formülde (3.1) verildiği şekilde ölçüm sonucu hesap edilir. Çıkan sonuçlardan maksimum değer referans seviyeye çekilerek diğer tüm veriler aynı oranda tekrar hesaplanır. Yani maksimum değer hangi oranda referans değere yaklaştırıldı ise diğer tüm dotalar aynı oranda düzeltme uygulanır. Çıkan sonuçlar patern grafiğinde çizdirilerek antenin ışım diyagramı çıkarılmış olur.

### 3.2.3. Analizler

Ölçüm sonuçları karşılaştırılması aşağıda verilmiştir. Ölçüm sistemi ölçümü yapmaya elverişli hale gelmiş ve ölçüm için uygundur. Sistemin otomasyon kontrolü stabil olup kontrollü olarak test edilmiş uygunluğu teyit edildikten sonra ölçümler alınmıştır.

### 3.2.4. Referans alınan anten test odası ölçüm sonuçları

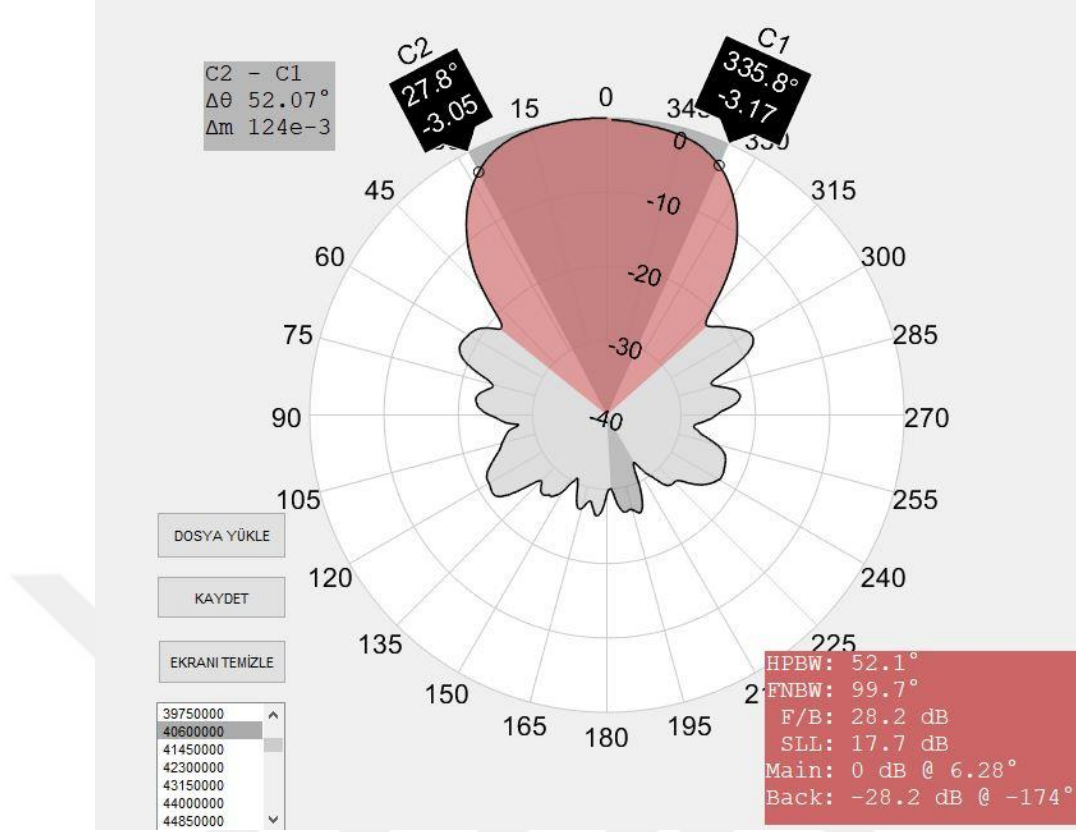
Referans anten test odasında anten sistemi kurulmuş ve ölçümler alınmıştır. Ölçüm sonuçları grafik olarak çizdirilmiş ve karşılaştırma yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 3.9’ da verilmiştir.



Şekil 3.9. 4 GHz Referans ölçüm sonucu

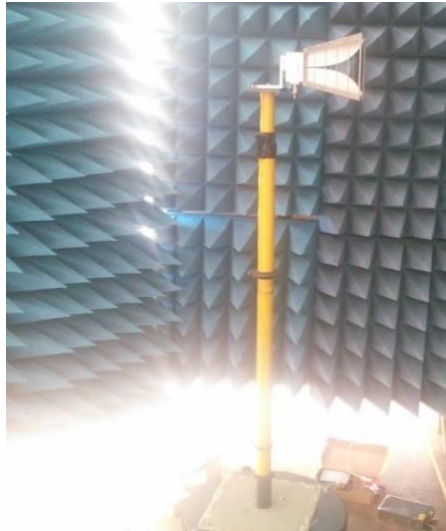
### 3.2.5. Kompakt anten test odası ölçüm sonuçları

Referans anten test odasındaki test sistemi tasarlanan test odasında hazırlandı. Aynı ölçümler yeni test odasında yapıldı. Tasarımı yapılmış test odasında alınan ölçüm sonucu Şekil 3.10’de verilmiştir.



Şekil 3.10. 4 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu

Tasarlanan test odası için farklı şartlarda ölçüm alınmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Bunlardan ilk olarak ölçümleri fazla etkisi olmayan zemin ve tavan kısımları yutucu ile kaplanmamış ve Şekil 3.10’ da olduğu gibi ölçümler alınmıştır. Referans anten ile karşılaştırılmış ve sonuçları çok etkilemediği görülmüştür.



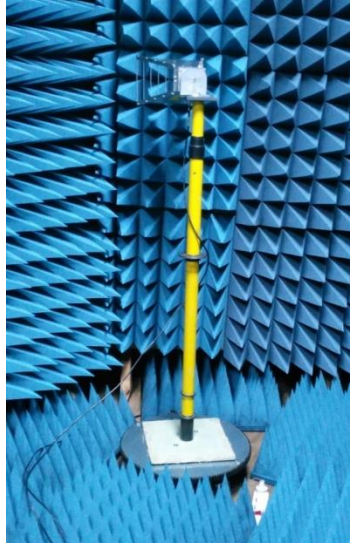
Şekil 3.11. Sadece çevresi yutucu kaplı ölçüm

Kısmi yutucu köpük kaplı odada alınan ölçüm şekilde verildiği gibidir. Ölçümleri daha çok etkileyen çevresel kısım yutucu köpük ile kaplanmıştır. Alt ve üst kısımlar ise yutucu köpük ile kaplanmamıştır.



Şekil 3.12. Zemin kısmi kaplı ölçüm

Zemin kısmen yutucu köpük ile kaplanmış Şekil 3.12' de ve ölçümler tekrar edilmiştir.



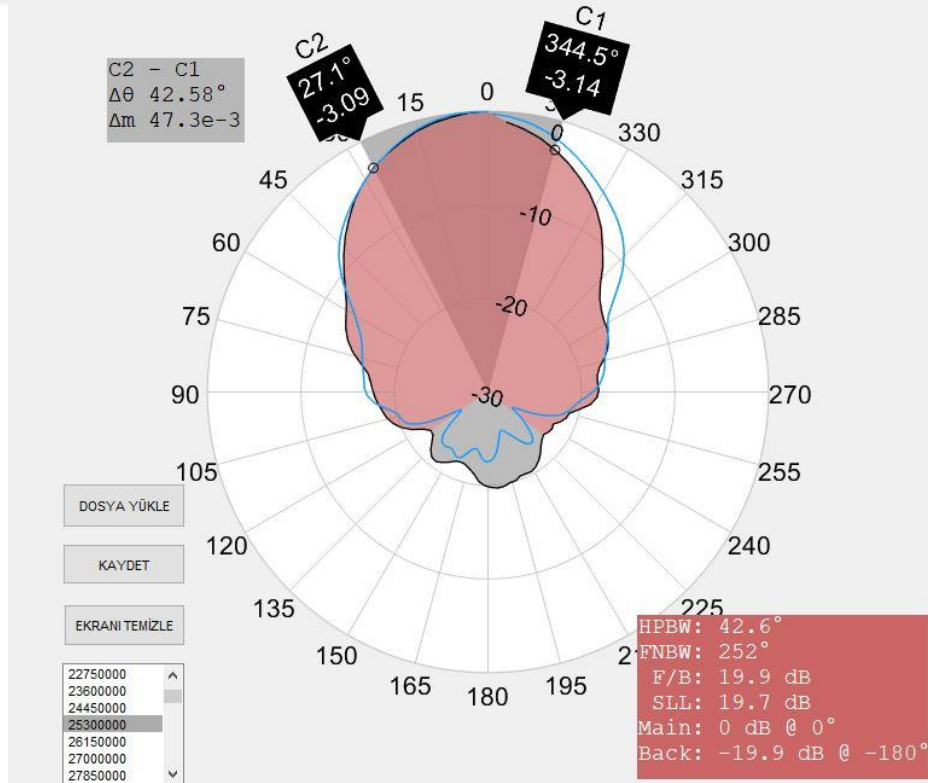
Şekil 3.13. Zemin tamamen yutucu kaplı ölçüm

Ölçümler oda zeminin Şekil 3.13’ deki gibi tamamen kaplı zeminde ile tekrarlanmış ve ölçüm sonuçlarında çok fark olmadığı görülmektedir.

### 3.2.6. Anten test odaları karşılaştırma

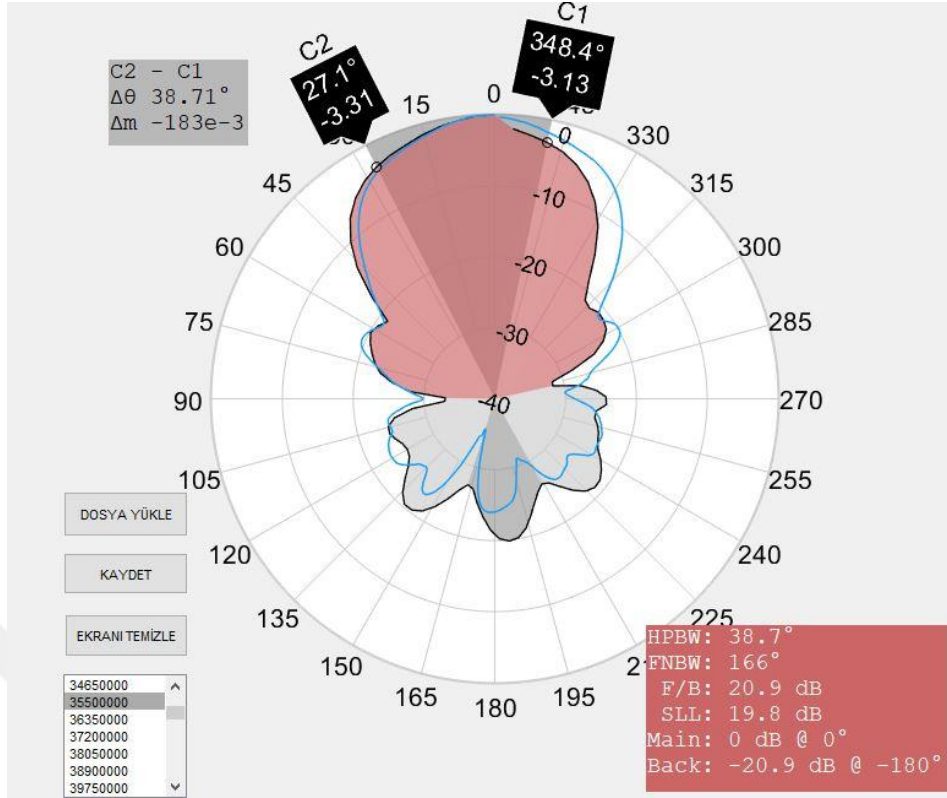
Ölçüm sonuçlarından anlaşılacağı üzere tamamı köpük ile kaplı odada yapılan ölçümler ile bir kısmı köpük kaplı odada yapılan ölçüm sonuçlarında çok fazla bir değişiklik olmamıştır. Test sonucunda anten patern çiziminde önemli olan nokta yani yarı güç açısı tam olarak ölçülmekte ve referans test odası ile yakın değerleri vermektedir. Sadece arka hüzmeler tam anlaşılmamakta bu sonuçlar ise bizim anten karakteristiğinde tam olarak aramadığımız ölçümlerdir.

Ölçüm sonuçlarına bakıldığında bir test odasının fikir vermesi göz önünde bulundurulduğunda tam test sayılmasa da ön çalışmalarda kullanılabileceği anlaşılmıştır. Anten test odalarının maliyeti düşünüldüğünde tercih edilebilecek bir yöntemdir.

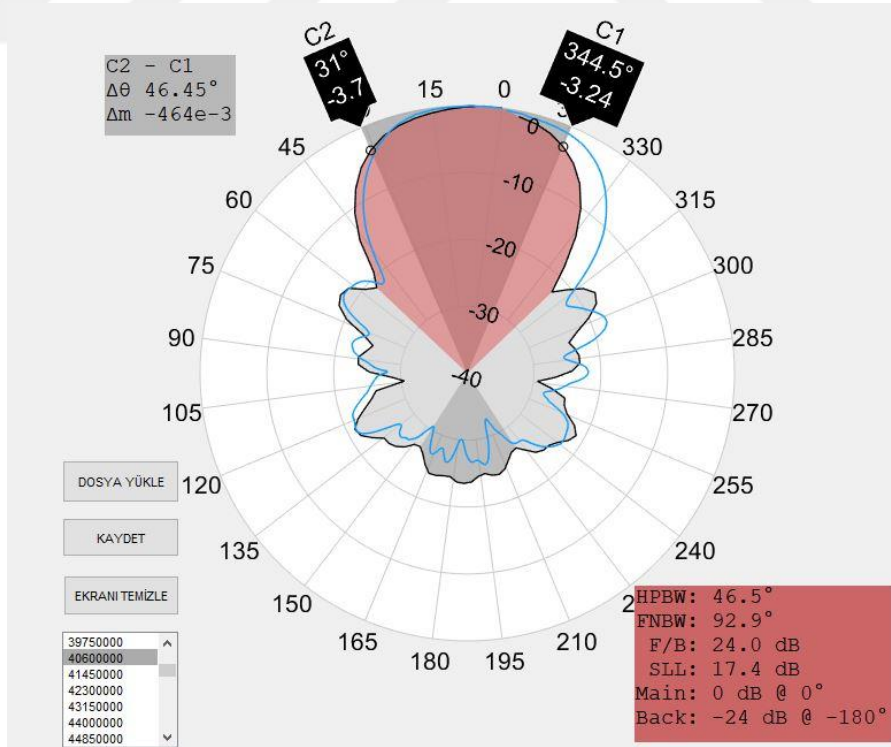


Şekil 3.14. 2,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu

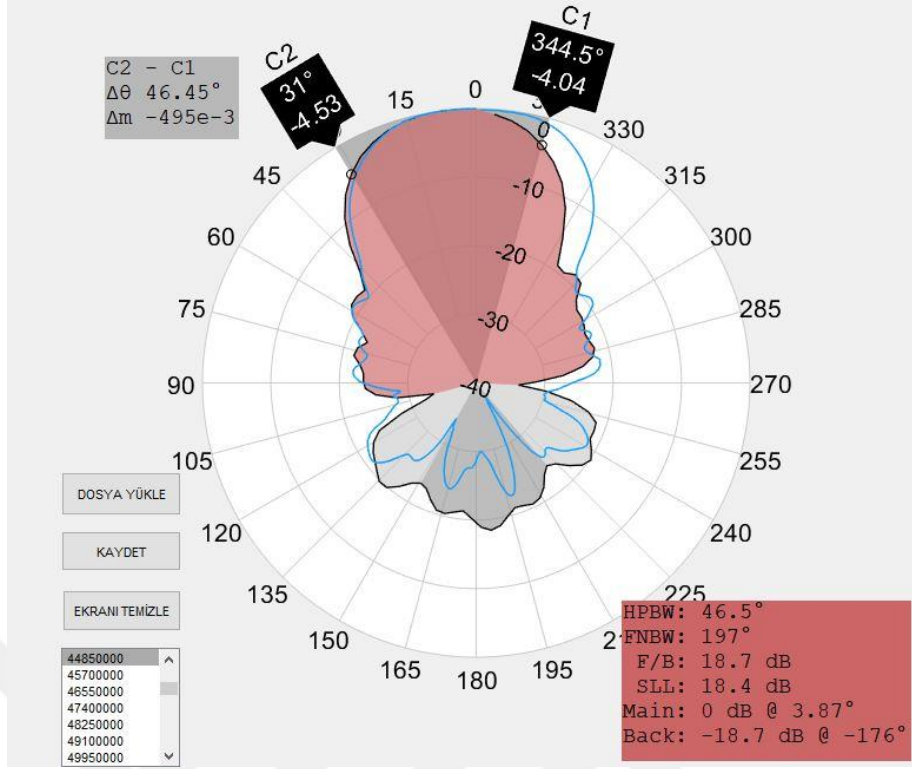




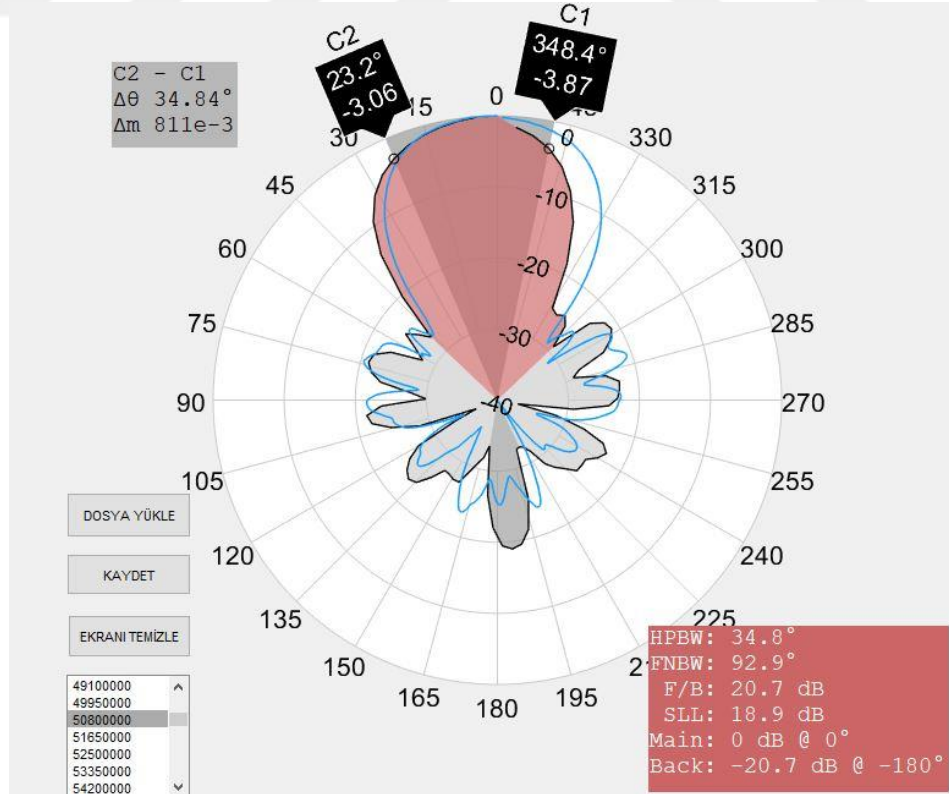
Şekil 3.15. 3,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



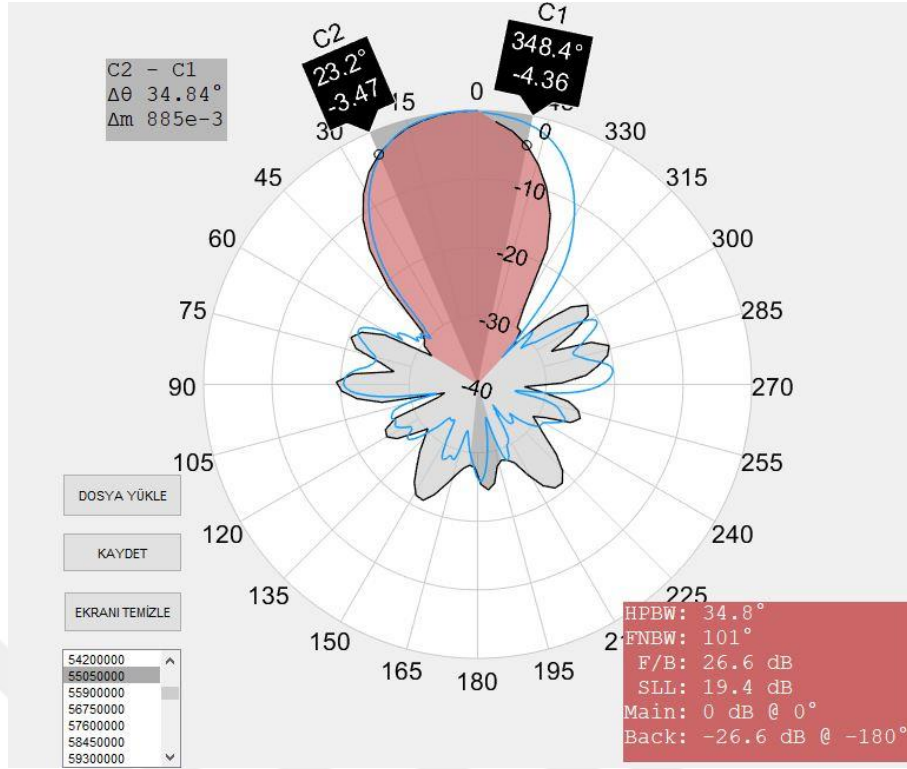
Şekil 3.16. 4 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



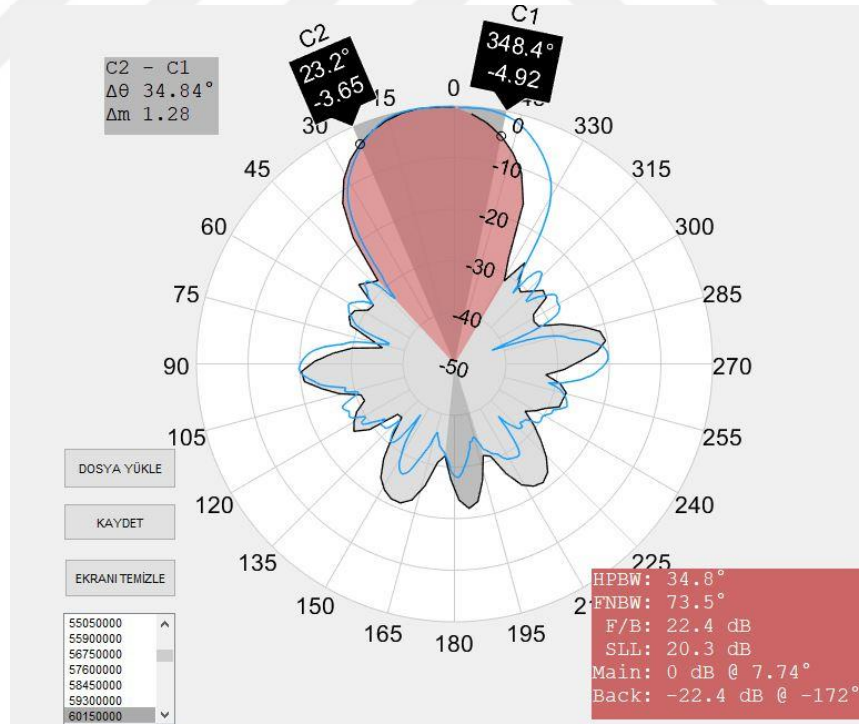
Şekil 3.17. 4,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



Şekil 3.18. 5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



Şekil 3.19. 5,5 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



Şekil 3.20. 6 GHz kompakt test odası ölçüm sonucu



Ölçümlerde dikkat edilecek parametre yarı güç genişliği (HPBW) değeridir. Ölçüm sonuçları ve değişim tablo halinde verilecek olursa;

Tablo 3.2. Ölçüm sonuçları karşılaştırılması

No	Frekans [GHz]	Referans Anten Odası [°]	Kompakt Anten Odası [°]	Fark [°]	Yüzde değişim
1	2,5	42,0	47,0	5,0	11,90
2	3,5	38,0	43,0	5,0	13,16
3	4,0	46,0	52,0	6,0	13,04
4	4,5	46,0	49,0	3,0	6,52
5	5,0	34,0	39,0	5,0	14,71
6	5,5	34,0	39,0	5,0	14,71
7	6,0	34,0	39,0	5,0	14,71

Buradan anlaşılacağı üzere referans oda ile tasarlanan oda arasında % 15 kadar bir farklılık vardır. Ölçüm toleransları düşünüldüğünde ölçüm sonuçları istenen sonuçları sağlamaktadır.

### 3.2.7. Ölçümlerin tekrarlanabilirliği

Tekrarlı yapılan ölçüm sonuçlarında sonuçların kararlılığı anlaşılmıştır. Burada önemli olan sistemin kararlılığı ve devamlılığıdır. Sistemsel bakıldığında otomatize sistem en hassas şekilde çalışmaktadır. Çalışması uzun zamanda kararlıdır. Devamlılığı verebilecek tekrarlı ölçümler almaya imkân vermektedir.

Önemli olan nokta otomatik kontrol ve ölçümün tekrarlanabilirliğidir. Kontrol sistemi kararlıdır. Ölçüm sistemi tekrarlanabilirliğe elverişli ve ölçümler sonrası anlaşılacağı üzere tekrarlı ölçümlere imkân verebilmektedir.

Anten test odası kısmen yutucu köpük kaplı veya tamamen yutucu köpük kaplı durumlarda ölçümler tekrarlanmış ve ölçümlerin tekrarlanabilirliği sağladığı saptanmıştır. Ölçüm sistemi hareketi düzgün ve kontrol sistemi hassas ölçümünü tekrarlamıştır.

## **BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI**

### **4.1. Anten Test Odasının Yapısının Ölçümlere Etkisi**

Ölçüm sonuçlarında anlaşılacağı üzere test odalarındaki zemin köpüklerinin çok bir etkisi yoktur. Kısmi yutucu köpük kaplı odalarda alınan ölçümler fikir vermek açısından sağlıklı sonuç vermiştir. Amatör ölçümler için çok maliyetli test odaları kurmaya gerek yoktur. Tasarım amaçlı simülasyon sonrası denemeler için kısmi yutucu köpük kaplı anten test odasında ölçüm almak yeterlidir.

Anten ışıma diyagramında ölçülen antenin bütün ışımaları tesbit edilebilmesi için hassas ölçümlere ihtiyaç vardır. Hassas ölçümler ancak ortam şartları, ölçüm cihazı ve otomatik kontrol sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Bizim sistemimizde eksik olarak test odasının yutucu köpük ile kaplanması mevzusudur. Maliyet yüksek olduğu için daha az köpük kullanarak bu problem çözülmüştür. Daha az yutucu köpük kullanmak için bir kısım yüzeyleri yutucu köpük ile kaplamamak gerekmektedir. Bu çalışma sayesinde hangi yüzeylerin yutucu köpük kaplanmaması ile performans daha iyi olacağı anlaşılmıştır. En uygun montaj şekli tarama yönündeki kısımların yutucu köpük ile kaplanması olmuştur. Bizim taramamız yatay düzlemde olduğundan yan duvarlar yutucu köpük ile kaplanmıştır.

Ölçüm mesafesi düşünüldüğünde uzak alan şartları sağlanacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Uzak alan şartlarının sağlanmadığı durumlarda ölçümler göz önünde bulundurulmamıştır. Ölçüm frekans aralığı uzak alan şartını sağlayacak şekilde seçilmiştir.

## BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada anten test odalarında yapılan ölçümlerde yutucu köpüklerin test sonuçlarına olan etkisi kontrol edilmiştir. Test odasının içine yutucu köpükler ile kaplanmasının ne kadar gerekli olduğu hususlar değerlendirilmiştir. Standart bir odada yapılan ölçümler ile tasarlanan test odasında yapılan ölçümler karşılaştırılmış olup test sonuçlarına ortam etkisi yüzde 15 etki ettiği gözlemlenmiştir. Deney toleransları göz önüne alındığında bu farkın çok önemli olmadığı tespit edilmiştir.

Bilindiği üzere yutucu köpükler maliyet açısından çok pahalıdır. Ölçümlerin yapılabilmesi ve maliyeti azaltabilmek adına test odasının kısmen yutucu kaplamak yeterli olacaktır.

Anten test odalarında tek faktör test odasındaki yutucu köpükler değildir. Sistem bazlı bakıldığında ölçümü etkileyen birçok faktör vardır. Yutucuların teste etkisi çok fazla olmamakla birlikte ölçüm cihazı ve ölçüm şartları birlikte etki etmektedir.

Ölçümlere etki eden faktörlerden biri de ölçüm mesafesidir. Çalışma frekansı ile birlikte ölçüm mesafesi değişmektedir. Yüksek frekans ve yüksek anten maksimum açıklığı büyük test odası demektir. Anten test odasının maliyeti bütün bu şartları sağlayacak şekilde tasarlanacak olsa çok yüksek maliyetlere çıkacaktır. Yutucu malzemelerin artması maliyeti artıracak bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. İdeal olan ihtiyaçları karşılayabilecek uygun boyutlarda bir anten test odası tasarlamaktır.

## KAYNAKÇA

- Balanis, C. E. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition - Constantine A. Balanis. *Book*. <https://doi.org/10.1049/ep.1982.0113>.
- Grudén, M., Hallbjörner, P., & Rydberg, A. (2013). Large ad hoc shielded room with removable mode stirrer for mobile phone antenna tests. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. <https://doi.org/10.1109/TEMC.2012.2204758>.
- Holloway, C. L., & Kuester, E. F. (1996). Modeling semi-anechoic electromagnetic measurement chambers. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. <https://doi.org/10.1109/15.485700>.
- Jacobs, B., Odendaal, J. W., & Joubert, J. (2012). An improved design for a 1-18 GHz double-ridged guide horn antenna. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. <https://doi.org/10.1109/TAP.2012.2207043>.
- Ji, Y., Arthur, D. C., & Warner, F. M. (2008). Measurement of above 1 GHz EMC antennas in a fully anechoic room. *CPEM Digest (Conference on Precision Electromagnetic Measurements)*.  
<https://doi.org/10.1109/CPEM.2008.4574748>
- Kinezos, C., & Ungvichian, V. (2004). *A low cost conversion of semi-anechoic chamber to fully-anechoic chamber for RF antenna measurements*. <https://doi.org/10.1109/isemc.2003.1236696>.
- Mazinani, S. M., & Hassani, H. R. (2009). A NOVEL OMNIDIRECTIONAL BROADBAND PLANAR MONOPOLE ANTENNA WITH VARIOUS LOADING PLATE SHAPES. *Progress In Electromagnetics Research*. <https://doi.org/10.2528/pier09090203>.
- Miller, P. R. (2005). *The implementation and validation of a large 22 m by 8 m planar near-field test range for space antenna systems and payload testing*. <https://doi.org/10.1049/cp:19970218>.
- Milligan, T., & Lopez, A. R. (2014). Antenna designer's notebook: Comment on the definition of antenna half-power and impedance-matching bandwidths. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*.  
<https://doi.org/10.1109/MAP.2014.6821769>.

- Ozkan, A. (2018). Radar Antenna Test in the Loop Far-Field Measurements. *AUTOTESTCON (Proceedings)*. <https://doi.org/10.1109/AUTEST.2018.8532520>.
- Seguin, G., & Pavlasek, T. J. F. (2002). *Antenna signature test using near-field measurement*. <https://doi.org/10.1109/aps.1997.630114>.
- Svensson, B., Gustafsson, R., Hultman, P., Hansson, P. A., Augustsson, C., Jernberg, A., & Seupel, C. (2017). A new compact antenna test range for EW-antenna system production testing. *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation, EUCAP 2017*. <https://doi.org/10.23919/EuCAP.2017.7928535>.
- Yavas, G., Uygur, A. B., & Akgul, S. (2015). System level tests performed in compact antenna test system. *RAST 2015 - Proceedings of 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*. <https://doi.org/10.1109/RAST.2015.7208382>.

## ÖZGEÇMİŞ

Levent KEPENEK, 25.10.1988'da Sivas'ta doğdu. İlk, orta eğitimini Sivas'ta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında Büyükçekmece Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında başladığı Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2012 yılında bitirdi. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.