

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENİŞ BANTLI HORN ANTENLERİN ANTEN FAKTÖRÜ VE
KAZANÇLARININ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM :
ÖLÇÜM VE ANALİTİK HESAPLAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan KARACADAĞ

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Müh.

Danışman: Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENİŞ BANTLI HORN ANTENLERİN ANTEN FAKTÖRÜ VE
KAZANÇLARININ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM :
ÖLÇÜM VE ANALİTİK HESAPLAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan KARACADAĞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22 Haziran 2007
Tezin Savunulduğu Tarih: 9 Ekim 2007

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ

()

Üye
Yrd. Doç. Dr. Gökçe ŞAKIR

()

Üye
Yrd. Doç. Dr. Fırat Aktenen

()

KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Geniş bantlı horn antenler, endüstriyel kuruluşlar tarafından üretilmiş cihazların elektromanyetik uyumluluk deneylerinde önemli bir rol oynamaktadır. Cihazlardan yayılan emisyon değerlerinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Emisyon limit seviyelerinin çok düşük olduğu göz önüne alındığında bu tip antenlerin anten faktör değerleri önem kazanmaktadır. Yüksek değerdeki anten faktörlerinin ölçümlerde olumsuz etkisi vardır. Kalibre edilen geniş bantlı horn antenlerin kalibrasyon belirsizlik değerleri, deney sisteminin belirsizlik değerlerine etki etmekte ve hatta deney koşullarının oluşturulmasına engel olmaktadır. Böylece deneylerin yapılmasına imkan vermemektedir. Aynı zamanda bu tip antenlerin kalibrasyonları için ikinci veya üçüncü antenlere gereksinim duyulmaktadır. Bu da deney laboratuvarlarının imkan ve kabiliyetlerini kısıtlamakta ve maliyetleri arttırmaktadır. Bu çalışma ile, horn anten kalibrasyonlarındaki ölçüm belirsizlik değerlerinin düşürülmesi, tek bir anten kullanılarak maliyetlerin ve ölçüm süresinin azaltılması yoluna gidilmiştir. Ölçüm frekans aralığı olarak 1 GHz ile 18 GHz arası alınmıştır.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) bünyesindeki Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (UME) gerçekleştirilmiştir. UME, ülkemizde yapılan ölçümleri güvence altına alan ve bu ölçümlerin uluslararası sisteme entegrasyonunu sağlayan bir kurumdur. Yapılan ölçümler ve karşılaştırmalar ile anten kalibrasyonlarının iyileştirilmesi yoluna gidilmiş ve bu konu üzerindeki bilimsel çalışmalara katkıda bulunulması gaye edinilmiştir.

Tezin her aşamasında bana desteğini eksik etmeyen tez danışmanım, çok değerli hocam Prof. Dr. Doğan DİBEKÇİ'ye ve çok değerli hocam Yrd. Doç Dr. Gonca ÇAKIR'a, fikirleriyle bana destek veren çok değerli UME EMC Laboratuvar sorumlum Dr. Ramiz HAMİD'e, uygulamalı çalışmalarımın benim yanımda olan çok değerli arkadaşım UME Uzunluk Laboratuvarından araştırmacı Cihangir ERDOĞAN'a, eksik malzemeleri bana temin eden ve fikirlerini paylaşan BTE'den Doç. Dr. Ahmet Serdar TÜRK'e ve UEKAE'den Dr. Fatih ÜSTÜNER'e, UME Marangozhane çalışanlarına ve ayrıca, bana her zaman destek olan canım anneme, babama ve kardeşime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER.....	vii
ÖZET	ix
İNGİLİZCE ÖZET.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ANTEN TEORİSİ.....	3
2.1. Anten Faktörü	5
2.2. Anten Yöneltiliği Ve Kazancı.....	8
2.3. Işıma Gücü Ve Direnci	9
2.4. Anten Verimi	9
2.5. Yakın Alan - Uzak Alan	9
3. ANTEN KALİBRASYONU METOTLARI	10
3.1. İki Anten Metodu	10
3.1.1. Uygulanabilinen antenler	10
3.1.2. Ortam gürültüsü ve kısıtlamalar.....	10
3.1.3. Anten faktörü	11
3.1.4. Anten kazancı.....	11
3.1.5. İki özdeş antenin kullanılması	12
3.1.6. Anten faktörü değerlerinin belirlenmesi	13
3.1.7. Anten faktörünün kullanımı	13
3.1.8. İki özdeş antenin 1 metredeki kazanç ölçümleri.....	14
3.1.9. Anten faktörü değerinin türetilmesi	15
3.2. Standart Saha Metodu	17
3.2.1. Teori	17
3.2.2. Metodun tanımı	20
3.2.3. Ayrık frekans metodu	21
3.2.4. Alınan maksimum alanın tayini	22
4. TEK ANTEN METODU	25
4.1. Teori	25
4.2. Çalışmalar	26
5. DENEYLER VE DENEYLERİN SONUÇLARI.....	29
5.1. İki Anten Metodu İle Alınan Sonuçlar.....	29
5.2. Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) İle Alınan Sonuçlar	31
5.3. Tek Anten Metodu İle Alınan Sonuçlar	36
6. ÖLÇÜM BELİRSİZLİKLERİ	51
6.1. İki Anten Metodu İçin Ölçüm Belirsizliği	51
6.1.1. Model fonksiyonun tanımlanması.....	51
6.1.2. Belirsizlik bileşenleri	51
6.1.3. Belirsizlik bütçesi tablosu	53
6.2. Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) İçin Ölçüm Belirsizliği.....	54

6.2.1. Model fonksiyonun tanımlanması.....	54
6.2.2. Belirsizlik bileşenleri	54
6.2.3. Belirsizlik bütçesi tablosu	56
6.3. Tek Anten Metodu İçin Ölçüm Belirsizliği	57
6.3.1. Model fonksiyonun tanımlanması.....	57
6.3.2. Belirsizlik bileşenleri	57
6.3.3. Belirsizlik bütçesi tablosu	59
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
EKLER.....	64
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1: Gönderici modundaki antenin transmision hattı Thevenin eşdeğeri... ..	3
Şekil 2.2: Verici anten ve eşdeğer devreleri	4
Şekil 3.1: İki anten metodu ölçüm düzeneği.....	14
Şekil 3.2: 10 metre ölçüm mesafeli, 30 MHz – 1 GHz frekans aralığında, 2 metre..... verici anten yüksekliği ve 1 metre ile 4 metre arasındaki alıcı anten yüksekliğine..... sahip Standart Saha Metodu ölçüm metodu.....	19
Şekil 3.3: 10 metre ölçüm mesafeli, 1 GHz – 40 GHz frekans aralığında, 2 metre..... verici anten yüksekliğine sahip Standart Saha Metodu ölçüm metodu. Antenler..... hibrit yutucular konmuştur.....	20
Şekil 3.4: Alan zayıflatması ölçümü (dipol ve log periyodik antenler için)	24
Şekil 3.5: Alan zayıflatması ölçümü (horn antenler için)	24
Şekil 4.1: İki özdeş antenin kalibrasyon düzeneği.....	25
Şekil 4.2: Tek anten metodu kalibrasyon düzeneği	26
Şekil 5.1: İki anten metodu ile alınan sonuçlar	29
Şekil 5.2: Tam yansısız oda (full anechoic chamber)	30
Şekil 5.3: İki anten metodu deney düzeneği	30
Şekil 5.4: 1nci anten ile alınan sonuçlar	31
Şekil 5.5: 2nci anten ile alınan sonuçlar	32
Şekil 5.6: 3ncü anten ile alınan sonuçlar	32
Şekil 5.7: Antenlerin AF değerlerinin Üç Anten Metoduna göre karşılaştırılması ...	33
Şekil 5.8: Antenlerin AF değerlerinin Üç Anten Metodu ve Tek Anten Metoduna..... göre karşılaştırılması.....	34
Şekil 5.9: Standart Saha Metodunda kullanılan horn antenler.....	35
Şekil 5.10: Standart Saha Metodu deney düzeneği.....	35
Şekil 5.11: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm),..... deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir	36
Şekil 5.12: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm),..... deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m'dir	37
Şekil 5.13: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm),..... deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	37
Şekil 5.14: Tek anten metodu deney düzeneği (2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka,..... Kalınlık 2 mm).....	38
Şekil 5.15: Tek anten metodu deney düzeneği önden görünüş (EMI test alıcısı, sinyal kaynağı, yönlü kuplör ve zayıflatıcılar).....	39
Şekil 5.16: Tek anten metodu deney düzeneği arkadan görünüş (Rohde&Schwarz..... ESIB 40 1088.7490.40 EMI test alıcısı, Agilent Technologies E8257C PSG analog.... sinyal üretici, Agilent 87300B yönlü kuplör ve HP 8491B 3 dB zayıflatıcılar).....	39
Şekil 5.17: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı..... 20 mm), deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	40
Şekil 5.18: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı..... 20 mm), deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	40
Şekil 5.19: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı..... 20 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	41

Şekil 5.20: Tek anten metodu deney düzeneği (3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka, kalınlık 20 mm).....	42
Şekil 5.21: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	42
Şekil 5.22: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	43
Şekil 5.23: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir.....	43
Şekil 5.24: Tek Anten Metodu deney düzeneği (4 m x 1 m paslanmaz çelik, kalınlık 2 mm).....	44
Şekil 5.25: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m.....	45
Şekil 5.26: 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m'de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması.....	46
Şekil 5.27: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka, anten yüksekliği 2 m.....	47
Şekil 5.28: 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m'de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması.....	48
Şekil 5.29: Tek Anten Metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m.....	49
Şekil 5.30: 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m'de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması.....	50

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1: 10 metre ölçüm mesafesinde, 2 metre verici anten yüksekliğinde ve..... 1 metre ile 4 metre alıcı anten yüksekliğinde E_D^{maks} ve NSA değerleri.....	18
Tablo 3.2: 3 metre ölçüm mesafesinde horn antenler için E_D^{maks} .ve NSA..... değerleri (toprak yansımaları hiç olmaması gerekir).....	19
Tablo 6.1: İki Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri.....	51
Tablo 6.2: İki Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu.....	53
Tablo 6.3: Standart Saha Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri.....	54
Tablo 6.4: Standart Saha Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu.....	56
Tablo 6.5: Tek Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri.....	57
Tablo 6.6: Tek Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu.....	59

SİMGELER

A	: Ölçülen alan zayıflatma değeri, (dB)
A_e	: Anten etkin yüzeyi, (m^2)
A_{em}	: Maksimum etkin boşluk
AF	: Anten faktörü, (1/m)
B_A	: Reaktans kısma ait suseptans, (mho) Plank sabiti, ($6,626 \times 10^{-23}$ J s)
B_g	: Üreteç kısmına ait suseptans, (mho)
d	: Mesafe, (m)
D	: Antenin uzun kenarı, (m)
D	: Anten yönlendiriciliği
dB	: desibel
E	: Elektrik alan şiddeti, (V/m)
E_D^{maks}	: Verici antenden R kadar uzaklıkta elde edilen maksimum alınan alan, (V/m)
G	: Kazanç, (dB)
G_g	: Üreteç kısmına ait iletkenlik, (mho)
G_L	: Yük direncine ait iletkenlik, (mho)
G_r	: Işıma direncine ait iletkenlik, (mho)
G_R	: Alıcı antenin nümerik güç kazancı
G_T	: Verici antenin nümerik güç kazancı
h	: Yükseklik, (m)
h_{eff}	: Antenin etkin yüksekliği, (m)
I	: Akım, (Amper)
I_g	: Anten üzerinden akan akım, (A)
NSA	: Normalize alan zayıflatması, (dB)
P_A	: Alıcı anten gücü, (Watt)
P_d	: Elektromanyetik güç yoğunluğu, (Watt/ m^2)
P_R	: Alınan güç, (Watt)
P_T	: İletilen güç, (Watt)
R	: Direnç, (Ω)
R_g	: Üreteç empedansının direnç kısmı, (Ω)
R_L	: Antenin kayıp direnci, (Ω)
R_r	: Antenin ışıma direnci, (Ω)
S_{11}	: İletim hattının giriş kapısı yansıma katsayısı
S_{21}	: İleri yönde zayıflatma oranı
S_{22}	: İletim hattının çıkış kapısı yansıma katsayısı
TAF	: Verici anten faktörü, (1/dBm)
V	: Gerilim, (V)
V_g	: Anten verici konumda iken kaynağın gerilimi, (V)
V_R	: Alıcı anten terminalleri boyunca gerilim ifadesi, (V)
V_T	: Verici anten terminalleri boyunca gerilim ifadesi, (V)
X_A	: Antenin ışınmasıyla ilgili empedansın reaktans kısmı, (Ω)
X_g	: Üreteç empedansının reaktans kısmı, (Ω)
Z_A	: Anteni temsil eden yük, (Ω)
Z_g	: Anten verici konumda iken kaynağın empedansı, (Ω)

Z_0	: Karakteristik empedans, (377 Ω)
λ	: Dalgaboyu, (m)
θ, ϕ	: Küresel koordinat eksenleri, (raydan)
Φ	: Belirli bir doğrultudaki birim katı açığa bağlı olarak güç ışıınımı, (Watt)
σ	: Toprak düzlemin iletkenliği, (S/m)
γ	: Sıyrılan açı
ϕ	: Yansıma katsayısının faz açısı

Alt İndisler

A	: Alıcı
d	: Yoğunluk
e	: Etkin
eff	: Etkin
em	: Maksimum etkin
g	: Üreteç
L	: Yük
M	: Mega Hertz
$maks$: maksimum
r	: Işıma
T	: Verici

Kısaltmalar

AF	: Anten faktörü
BTE	: Bilişim Teknolojileri Enstitüsü
EMC	: Elektromanyetik uyumluluk
EMI	: Elektromanyetik girişim
GHz	: Giga Hertz
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
kHz	: Kilo Hertz
MIL-STD	: Askeri Standart
MHz	: Mega Hertz
NSA	: Normalize alan zayıflatması
SSM	: Standart Saha Metodu
TAF	: Verici anten faktörü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UEKAE	: Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü
UME	: Ulusal Metroloji Enstitüsü
VSWR	: Duran dalga gerilim oranı

**“GENİŞ BANTLI HORN ANTENLERİN ANTEN FAKTÖRÜ VE
KAZANÇLARININ ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ BİR YÖNTEM : ÖLÇÜM VE
ANALİTİK HESAPLAMA”**

HAKAN KARACADAĞ

Anahtar kelimeler: Anten, Kazanç, Anten Faktörü, İki Anten Metodu, Standart Saha Metodu, Tek Anten Metodu, Ölçüm, Ölçüm Belirsizliği.

Özet: Herhangi bir mesafedeki tek bir yönlü lineer antenin kazanç faktörünü hesaplamak için bir basit metot ortaya konulabilir. Horn anteni kalibre etmek için yalnızca olağan ekleme kayıpları ölçümü için bir ölçüm cihazına ve ikinci özdeş bir anteni taklit eden yansımali bir yüzeye ihtiyaç vardır. Ölçümlerin hızı arttırılabilir ve bundan dolayı hızlı ve verimli sonuçlar alınabilir. Sonuçların ulusal standartlara izlenebilirliği sağlanabilir.

Bu çalışmada, 1 GHz - 18 GHz frekans aralığında çalışan horn antenlerin kalibrasyonu bütün metotlar kullanılarak yapılmıştır. Bu durum makalelerde gözlenmemiş olup yeni bir çalışma olarak ortaya konulmuştur. İki Anten Metodu, Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) ve Tek Anten Metodu kullanılarak horn antenlerin anten faktörleri bulunmuş ve bunlar arasındaki farklar ortaya çıkarılmıştır. Tek Anten Metodu'nda ise farklı plakalar ve farklı mesafeler kullanılarak anten faktörünün değişimleri incelenmiştir. Bu durum yine makalelerde gözlenmemiş olup yeni bir çalışma olarak ortaya konulmuştur.

**“NEW METHOD FOR MEASUREMENT OF ANTENNA FACTOR AND
GAIN OF BROADBAND HORN ANTENNAS : MEASUREMENT AND
ANALYTICAL CALCULATION”**

HAKAN KARACADAĞ

Key words: Antenna, Gain, Antenna Factor, Two Antenna Method, Standard Site Method, One Antenna Method, Measurement, Measurement Uncertainty.

Abstract: A simple method can be given to measure the gain factor of a single directional linearly polarized antenna in whatever distance. It requires only measuring equipment for usual insertion loss measurement and the antenna itself in front of a reflecting surface simulating a second identical antenna to be calibrated. This can speed up measurements and therefore, rapid and efficient results can be taken. Its results can be made traceable to national standards.

All the methods were used for the calibration of horn antennas which have the frequency range of 1 GHz to 18 GHz at this work. This situation has not found at the papers and a new work for this subject was given. Two Antenna Method, Three Antenna Method (Standard Site Method) and One Antenna Method were used to find the antenna factors of horn antennas and the difference between them were found. The variation of the antenna factors has been investigated at One Antenna Method by using different plates and distances. This situation has not been observed at the papers and it was given as a new work.

1. GİRİŞ

Anten, radyo dalgalarını yaymak ya da almak için bir vasıtaadır. Bir başka deyişle anten, boş uzay ile yönlendirici bir alet arasında geçiş yapısıdır. Alınacak enerji miktarını belirleyebilmek için antenin anten faktörü değerini bilmek gerekir çünkü oluşturulan elektrik alan şiddeti, anten faktörü ve antenin terminalleri arasındaki gerilimle orantılıdır. Bu yüzden anten faktörlerini daha doğru ve hassasiyetle bulmak için kalibrasyon metotları geliştirilmiştir.

Ronald R. Bowman, 8 Mart 1967, “Field Strength Above 1 GHz: Measurement Procedures for Standard Antennas” çalışmasında [11] 1 GHz’in üstündeki frekans bölgesinde kazançları bilinen standart antenlere ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir. İki anten metodu kullanılarak horn antenler için kazanç ölçümlerini ele almışlardır.

Toshimi Matsui ve Akio Kagatsuka, “Wide Band Horn Calibration by the Three Antenna Method” çalışmasında [22] 1 GHz-18 GHz frekans aralığında üç horn anteni yansısız oda içerisinde kalibre etmişlerdir Kalibrasyon sonucunda $\pm 0,15$ dB hata bulmuşlardır.

Hynek Bartik, “Antenna Gain Measurement Using The Mirror Method in Time Domain” çalışmasında [21] PNA analizör ve bir yansıtıcı yüzey kullanarak tek bir antenin kazanç ölçümlerini zaman domeninde gerçekleştirmiştir.

J. Glimm, R. Harms, Klaus Munter, Meinhard Spitzer ve Reiner Pape, Kasım 1999, “A Single-Antenna Method for Traceable Antenna Gain Measurement” çalışmasında [17] herhangi bir uzaklıktaki tek bir antenin kazanç faktörünü bulmak için basit bir metot ortaya koymuşlardır. İçeriye girme kayıplarının bulunması ve kalibre edilecek antenin önüne ikinci aynı anteni taklit etmek üzere yansımali bir yüzeyi koymak yeterli olmuştur.

B. N. Prakash ve K. R. Suresh, 1999, “A Practical Method for Calibrating Antennas” çalışmasında [18] MIL-STD RE-102 testlerinde kullanılan antenlerin 1 metre mesafedeki anten faktörlerini bulmuşlardır. İki anten metodunu kullanarak anten faktörlerindeki hatanın ± 1 dB nominal değerlerinde olduğunu göstermişlerdir.

J. Glimm, K. Munter, R. Pape ve M. Spitzer, 2000, “Traceable Antenna-Gain Measurement in a Single-Antenna Setup” çalışmasında tek bir pasif antenin kazanç faktörünü ölçmek için bir metot ortaya koymuşlardır. İkinci aynı bir anteni taklit etmek için yansımali bir yüzey önüne konan antenin ölçümlerini yapmışlardır.

J. D. Krieger, E. H. Newman ve I. J. Gupta, Kasım 2006, “The Single Antenna Method of Antenna Gain and Phase” çalışmasında [20] anten giriş empedansını veya yansıma katsayısını hesaplayarak anten faktörünü ortaya koymuşlardır.

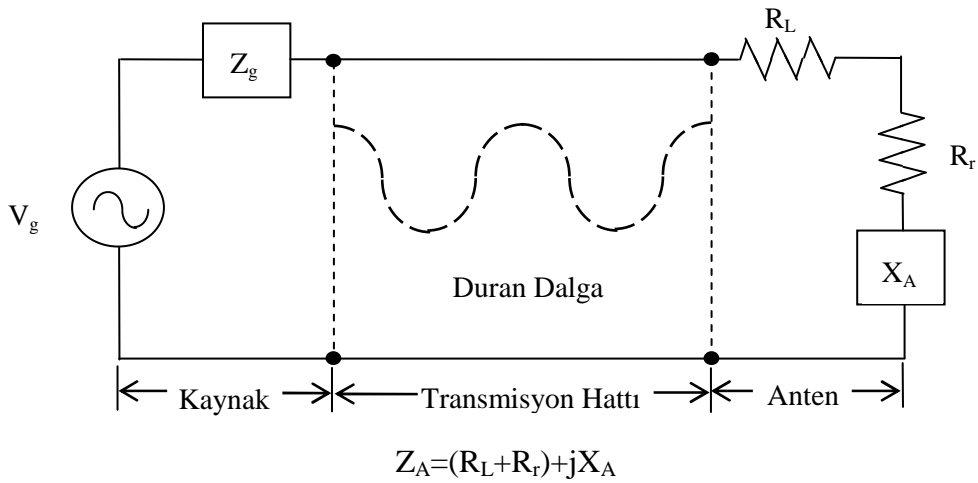
Anten faktörünü düşük bir belirsizlikle ölçmek, elektrik alan şiddet seviyesinin daha hassas bulunmasına, ışımaya emisyon deneylerindeki 1 GHz ile 18 GHz arasındaki frekans bölgesinde daha düşük seviyedeki sinyallerin elde edilmesine ve hassas ölçümlerin yapılmasına neden olacaktır.

Bu tez çalışmasının 2. Bölüm’ünde anten teorisine kısaca değinilmiş, anten parametreleri verilmiştir. Bölüm 3’de anten kalibrasyonu metotları açıklanmıştır, İki Anten Metodu ve Standart Saha Metodu üzerinde durulmuştur. Bölüm 4’te Tek Anten Metodu incelenmiştir. Bölüm 5’te İki Anten Metodu, Standart Saha Metodu ve Tek Anten Metodu kullanılarak horn antenler kalibre edilmiş ve antenlerin anten faktörleri ortaya çıkarılıp aradaki farklara bakılmıştır. Böylece metotlar arasındaki farklar ortaya konulmuştur. Bölüm 6’da ise İki Anten Metodu, Standart Saha Metodu ve Tek Anten Metodu kullanılarak yapılan deneylerin ölçüm belirsizlikleri hesaplanmış ve model fonksiyonlar oluşturulmuştur.

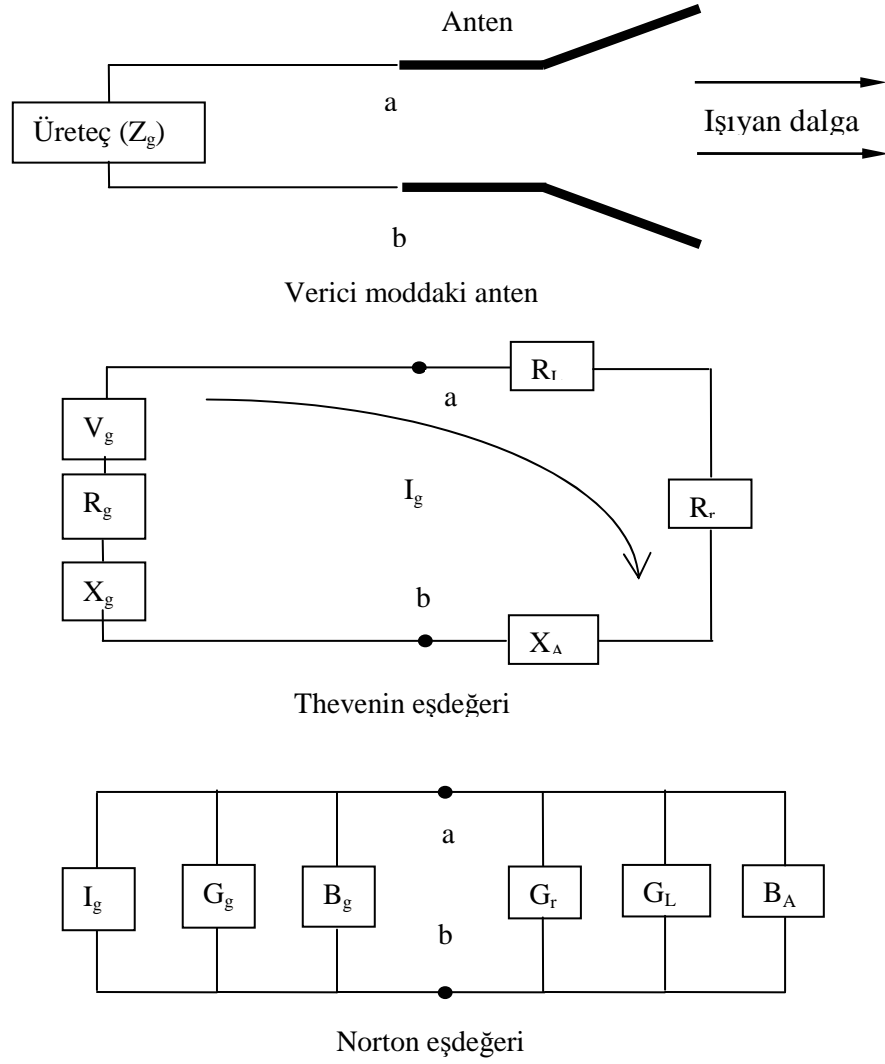
2. ANTEN TEORİSİ

Anten, radyo dalgalarını yaymak ya da almak için bir vasıta (IEEE Std 145-1983). Bir başka deyişle anten, boş uzay ile yönlendirici bir alet arasında geçiş yapısıdır. Yönlendirici alet veya transmisyon hattı, bir koaksiyel hattın ya da bir oyuk borunun (dalga kılavuzu) formunu alır. Bu alet, kaynaktan antene ya da antenden alıcıya elektromanyetik enerjiyi taşır. Böylece bir verici antene ve daha sonra da alıcı antene sahibizdir.

Anten sisteminin transmisyon hatlı Thevenin eşdeğerinde (Şekil 2.2) kaynak bir ideal üreteç ile, transmisyon hattı Z_c karakteristik empedansına sahip bir hat ile ve anten transmisyon hattına bağlı Z_A [$Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$] yükü ile gösterilir [5]. Antenin Thevenin ve Norton eşdeğer devrelerinde (Şekil 2.2) gösterilen R_L yük direnci anten yapısıyla ilişkili iletim ve dielektrik kayıpları, R_r ışıma direnci antenden yayılan yayını ve X_A ise anten yayınıyla ilişkili empedansın imajiner kısmını temsil eder. Kaynak tarafından oluşturulan enerji ideal durumlarda R_r ışıma direncine aktarılır. Bununla birlikte bir sistemin içerisinde transmisyon hattının, antenin kayıplı ortamına ve hat ve anten arasındaki ara yüzdeki yansıma kayıplarına bağlı olarak iletim dielektrik kayıpları mevcuttur. Kaynağın iç empedansı hesaba katarak ve hat, yansıma kayıplarını ihmal ederek antene maksimum güç aktarılır.



Şekil 2.1: Gönderici modundaki antenin transmisyon hattı Thevenin eşdeğeri



Şekil 2.2: Verici anten ve eşdeğer devreleri

Ara yüzeyin oluşturduğu yansıyan dalgalar, yapıcı ve yıkıcı girişim paternleri duran dalgalar olarak adlandırılır. Duran bir dalga paterni (Şekil 2.1) de gösterilmiştir. Eğer anten sistemi düzgün bir şekilde tasarlanmazsa transmisyon hattı, dalga kılavuzu ve enerji aktaran aygıt olarak değil de enerji depolayıcı eleman olarak hareket eder. Eğer duran dalganın maksimum alan şiddeti yeterince büyükse transmisyon hatları içerisinde arka neden olur.

Hat, anten ve duran dalgaya bağlı olan kayıplar istenmeyen durumlardır. Duran dalgalar ve hattın enerji depolama kapasitesi antenin empedansını hattın karakteristik empedansına uygunlaştırarak azaltılabilir. Bu durum aynen yüklerin transmisyon hatlarına uygunlaştırılmasıdır. Burada yük antendir.

Şekil (2.1) de verilen durumda kaynak bir alıcı ile yer değiştirirse anten sistemi, alıcı modda gösterilmiş olunur. Transmisyon hattının eşdeğer bütün diğer parçaları aynı kalacaktır. Işıma direnci R_r , alıcı durumunda enerjinin boş uzaydan antene aktarılmasıdır.

Antenin enerjii alma ve verme durumlarına ek olarak belli doğrultularda ışımı yapması ve geri kalan doğrultudaki enerjii bastırmasına ihtiyaç duyulur. Böylece anten belirli doğrultularda çalışan bir alet vazifesini görür. Anten değişik formları alır ve bu formlar bir iletim teli, boşluk, yama, dizi elemanları topluluğu, reflektör ve bir lens olabilir.

Telsiz haberleşme sistemlerinde anten en kritik bileşendir. İyi tasarlanmış bir anten, sistem ihtiyaçlarına cevap verir ve sistemin tüm performansını iyileştirir.

2.1. Anten Faktörü

Anten bir dönüştürücü; verici anten uçlarına uygulanan gerilimi (Volt) uzayda yayılan elektrik alana (Volt / metre), tersine alıcı anten ise uzaydan çektiği elektrik alanları (Volt / metre) uçlarına gerilim farkı (Volt) olarak dönüştürmekte. Kullanım amaçlarına göre genelde antenler iki gruba ayrılabilir. Haberleşme antenleri ve EMC antenleri. Bu ayrımın temelinde haberleşme antenlerinin uzak alanda, EMC antenlerinin ise yakın alanda çalıştırılıyor olması yatmaktadır.

EMC antenlerinin tasarımında belirleyici parametre bant genişliğidir, diğer VSWR, kazanç, verim, giriş empedansı gibi parametreler ikincil durumdadır. Bunun temel nedeni EMC standartlarıdır. Ürün standartları geniş bir frekans bölgesinde emisyon ya da dayanıklılık testlerini zorunlu kılmakta; örneğin haberleşme cihazlarının çoğu için 30 MHz - 1 GHz arasında emisyon test ve ölçümlerin yapılması istenmektedir. Geniş bantlı bir anten tasarımında en önemli parametre olan anten faktörü ise ikincil parametrelerle, yani anten performansı ile, doğrudan ilişkili bir parametre; AF alıcı antene doğrudan gelen elektrik alanın, TAF ise verici antenden belli bir mesafede oluşturulacak elektrik alanın sayısal değerleriyle ilgilidir.

EMC antenleri istenmeyen ışıma (emisyon) ölçülerinde ve ışıma yollu oluşan yüksek alan değerlerine karşı dayanıklılık testlerinde kullanılmaktadır. Emisyon ölçülerinde anten kalibrasyonu yapılması ve standartların izlenmesi zorunludur. Bağışıklık testlerinde ise anten kalibrasyonu tek başına gerekmemektedir. EMC test düzeninin tümünden kalibrasyonu söz konusudur. Cihazın test edileceği ortamda istenen şiddette ve homojen alan oluşturulup oluşturulmadığının belirlenmesi durumudur. Emisyon ölçümleri ve bağışıklık testleri iki farklı parametreyi gündeme getirmektedir. Emisyon ölçümlerinde bu parametre AF iken dayanıklılık testlerinde parametre TAF'tır.

Anten faktörü anten civarındaki elektrik alan şiddetini EMI ölçü cihazının girişindeki gerilime karşı düşüren bir parametre olarak tanımlanmaktadır.

$$AF = \frac{E}{V} \quad (2.1)$$

Burada E uzaydaki elektrik alan şiddetini, V ise anten uçlarındaki gerilim farkını göstermektedir. Bir bölü metre [1/m] büyüklüğündeki AF çoğunlukla logaritmik değer olarak (dB) verilmektedir.

$$E \left(\frac{dB\mu V}{m} \right) = V (dB\mu V) + AF (dBm^{-1}) \quad (2.2)$$

İdeal durumda AF değerinin temel EM yasalardan ve basit devre eşdeğerlilikleri kullanılarak çıkarılması olasıdır. Anten etkin yüzeyi (effective aperture) kullanılarak bu anten uçlarındaki güç (alıcı anten gücü) uzaydaki güç yoğunluğu cinsinden yazılabilir.

$$P_A = P_d \times A_e \quad (2.3)$$

P_A , alıcı anten gücünü,

P_d , uzaydaki EM güç yoğunluğunu,

A_e , alıcı anten etkin yüzeyini göstermektedir.

Anten etkin yüzeyi A_e ve kazancı G arasında işaret dalga boyu cinsinden:

$$A_e = \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (2.4)$$

Alıcı anten genelde bir bağlantı kablosu üzerinden EMI ölçü cihazına bağlanmaktadır. EMI cihazının giriş empedansının frekansla değişmediği ve 50Ω olduğu, kullanılan bağlantı kablosunun kayıpsız ve karakteristik empedansının 50Ω olduğu varsayımları altında (ideal durumda) EMI cihazı ve bağlantı kablosu alıcı anten uçlarında eşdeğer bir 50Ω 'luk empedans olarak gösterilebilir. Bu durumda anten çıkış (EMI giriş) gücü:

$$P_A = \frac{V_A^2}{Z} = \frac{V_A^2}{50} \quad (2.5)$$

olarak yazılır. Alıcı anten yakınındaki elektrik alan ile güç yoğunluğu arasında Z_0 boşluğun (ortamın) karakteristik dalga empedansı olmak üzeredir.

$$P_D = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi} \quad (2.6)$$

Bu bağıntı uzak alanda geçerlidir. Uzak alan basit ve düşük kazançlı antenler için $R \geq \lambda \times 2/\pi$ olarak alınabilir. Daha karmaşık ve yüksek güçlü antenlerde ise D antenin uzun kenarı (ya da çapı) olmak üzere $R \geq 2xD^2/\lambda$ şeklinde hesaplanmaktadır.

$$\frac{V_A^2}{Z} = \frac{E^2}{120\pi} \times \frac{G\lambda^2}{4\pi} \quad (2.7)$$

denklemiyle E/V oranı oluşturularak giriş empedansı Z olan EMI alıcısı ve bağlantı kablosunun karakteristik empedansı Z olan test düzeni için AF:

$$AF = \frac{E}{V_A} = \frac{480\pi^2}{ZG\lambda^2} \quad (2.8)$$

Z=50 Ω'luk sistem için ise:

$$AF = \frac{93}{G\lambda} \quad (2.9)$$

olarak elde edilir. Logaritmik olarak AF

$$AF = 19,8 - 20 \log_{10} \lambda - 10 \log_{10} G \quad (2.10)$$

dir.

2.2. Anten Yöneltiliği Ve Kazancı

Anten yöneltiliği ve kazanç belli bir referans antene göre tanımlanan iki önemli parametredir. Bir noktasal kaynak her yöne eşit ışınım yapar. Bu kaynağa izotropik kaynak adı verilir ve referans olarak kullanılır. İzotropik kaynağın her yöne yaydığı güce eşit gücü belli bir doğrultuya yayabilme özelliğine anten yöneltiliği denir. Kayıpsız antenlerde yöneltilik aynı zamanda anten kazancıdır. Ancak, kayıplı antenlerde kazanç yöneltilik ile kayıp oranının (verimin) çarpımına eşittir.

Anten yöneltiliğinin analitik olarak hesaplanabilmesine karşın kazanç ancak referans antene göre yapılan ölçülerle bulunabilir. Anten kazancı ile doğrudan ilgili olan diğer parametre ise etkin yüzeydir. Anten etkin yüzeyi, uzaydaki elektrik alanlardan anten uçlarına güç aktarabilme yeteneği olarak tanımlanır. Demet genişliği, yöneltiliği olan antenlerde yöneltiliğin bir ölçüsüdür. Maksimum ışınım doğrultusundaki gücün yarıya (3 dB) düştüğü (yatayda yada düşeyde) açılmal genişlik anten ışınım demeti olarak tanımlanır.

2.3. Işıma Gücü Ve Direnci

Antenin ışıma gücü (P), uzaya elektromanyetik dalga olarak yaydığı güçtür. Anten ışıma gücü ile üzerinden akan akım arasında ohm yasasına göre bulunan dirence de ışıma direnci denir ve (R_r) ile gösterilir.

$$R_r = \frac{P}{I^2} \quad (2.11)$$

Işıma direnci sanal bir dirençtir ve anten gücü ile akımını birbirine bağlar.

2.4. Anten Verimi

Antenin kaynaktan çektiği gücün bir kısmı ısı kayıp olarak antende harcanır. Işıma gücü ve ısı kayıpların toplamı kaynaktan çekilen güce eşittir. Anten verimi, ışıma gücünün kaynaktan çekilen güce oranı olarak tanımlanır. Isı kayıplar ne kadar az ise verim o kadar yüksek olur.

2.5. Yakın Alan - Uzak Alan

Anten yada herhangi bir ışıma elemanına yakın olan bölge yakın alan olarak tanımlanır. Yakın alan, elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin düzlem dalga karakteri göstermedikleri bir bölgedir. Bu bölge de her iki bileşen de karmaşık karakter gösterir ve ölçülmesi çok zordur. Daha çok reaktif enerji birikimi olur. Uzak alan ise düzlem dalga yaklaşımı yapılabildiği bölgedir. Yakın ve uzak alan tanımları anten cinsine ve etkileşimlere göre, frekans, anten boyutları gibi parametreler cinsinden belirlenir

3. ANTEN KALİBRASYONU METOTLARI

3.1. İki Anten Metodu

İki anten metodu [7], EMC elektromanyetik girişim ölçüm antenlerinin kalibrasyonlarında kullanılan bir metottur. Ana uygulaması bir ekranlı oda içerisinde bulunan antenden 1 metre uzaktaki kaynağı ölçmektir. Bu durum askeri EMC testlerini (MIL-STD 461E) oluşturmaya katkıda bulunur.

3.1.1. Uygulanabilinen antenler

Kalibrasyonu yapılabilecek anten tipleri:

- a. Bikonikal anten.
- b. Resonans dipol anten.
- c. Log peryodik dipol anten.
- ç. Log spiral anten (200 MHz – 1 GHz)
- d. Log spiral anten (1 GHz – 10 GHz)
- e. Çift sırtlı anten
- f. Log peryodik anten
- g. Standart kazançlı horn anten.
- ğ. Halka anten.
- h. Düşey monopol anten.

3.1.2. Ortam gürültüsü ve kısıtlamalar

Anten faktörü değerleri, yerden yansımalarından bağımsız olarak elde edilebilir ve hesaplanabilir. Burada kullanılan metot, anteni uzak alan mesafesinden 1 metre mesafeye çekmek ile olur. Bu da ölçüm sonuçlarını birkaç desibel değişimine neden olur. Anten faktörünün hesaplanmasında etkileyen parametreler, antenler arası mesafe, toprak düzleminden anten yüksekliği, toprak düzlemine bağlı olarak anten yönlendirmesi.

3.1.3. Anten faktörü

EMI (Electromagnetic Interference) ölçümlerinde anten için en önemli parametre anten faktörü (AF) değeridir. Anten faktörü, bir alıcının girişinde ölçülen voltaj (Volt) değerinin elektrik alan şiddetine (Volt/m) oranıdır.

$$E = AFxV \quad (3.1)$$

olur.

E (V/m) ve V (V)'tur.

Anten faktörü, antenin güç kazancıyla ilişkilidir. Güç yoğunluğunun (W/m^2) karekökünün alınmasıyla türetilir. dB olarak ilişkilendirilirse:

$$E = 20\log_{10}(AFxV) \quad (3.2)$$

olur.

E (dB μ V/m) ve V(μ V)'tur.

Anten faktörü hesaplaması kazanç hesaplamasına benzerdir ve 1 metredeki kazanç ifadesiyle ilgilidir. 50 Ω 'luk bir sistem içerisindeki nümerik anten kazancı (G) ve dalga boyu (λ), anten faktörünü ifade eder.

$$AF = \frac{9.73}{\lambda} x \frac{1}{\sqrt{G}} = \frac{9.73}{\lambda\sqrt{G}} \quad (3.3)$$

Anten kazancı, belirli bir doğrultudaki ışıınım güç yoğunluğunun ortalama ışıınım güç yoğunluğuna oranıdır.

3.1.4. Anten kazancı

Anten kazancı, anten patern ölçümlerinden elde edilebilir ve anten kazancının entegral formu kullanılır.

$$G = \frac{\Phi(\theta, \phi)}{\frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \Phi(\theta, \phi) \cdot d\phi \cdot \sin \theta \cdot d\theta} \quad (3.4)$$

θ, ϕ (küresel koordinatlarda radyan cinsinden)

Φ (belirli bir doğrultudaki birim katı açığa bağlı olarak güç ışınımı)

3.1.5. İki özdeş antenin kullanılması

1 metre kazanç ifadesi anten kazancı denkleminde hesaplanır. Bu metot iki özdeş antenin aynı eksen doğrultusunda ve aynı polarizasyonda olmasıyla yapılır. İlişkili güç ifadesi:

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2} \times \frac{\lambda^2}{4\pi} \times G_R \quad (3.5)$$

G_T ve G_R (verici ve alıcı antenlerin nümerik güç kazançları)

P_R (watt olarak alınan güç)

P_T (watt olarak verilen güç)

r (metre olarak antenler arasındaki mesafe)

λ (metre olarak dalga boyu)

Eğer $G_T = G_R$ ise

$$G^2 = \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 \frac{P_R}{P_T} \quad (3.6)$$

olur.

Eğer alıcı ve verici sistemler 50Ω ile uygunlaştırılırlarsa güç ölçümleri yerine gerilim ölçümleri yapılır.

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \frac{V_R}{V_T} \quad (3.7)$$

olur.

V_R (alıcı anten terminalleri boyunca gerilim ifadesi)

V_T (verici anten terminalleri boyunca gerilim ifadesi)

Unutulmaması gereken burada G 'nin nümerik güç kazancı olduğudur.

3.1.6. Anten faktörü değerlerinin belirlenmesi

Özdeş iki antenin 1 metredeki kazanç ifadelerini bulmak için aynı metot ve (3.3.) denklemini kullanılarak hesaplanır. Hesaplamaları basitleştirmek için denklemini logaritmik formda kullanmak hesaplamaları daha basit hale getirir. O zaman anten faktörü değeri nümerik kazançla bağlı olarak:

$$AF(dB) = 20 \log_{10} \frac{9,73}{\lambda} - 10 \log_{10} G \quad (3.8)$$

olur.

Burada unutulmaması gereken λ 'nın metre olarak ifade edilmesidir.

Nümerik kazanç olan G 'yi dB cinsinden ifade edilirse:

$$AF(dB) = 20 \log_{10} \frac{9,73}{\lambda} - G \quad (3.9)$$

olur.

3.1.7. Anten faktörünün kullanımı

Bir noktadaki elektrik alan şiddeti ifadesi, anten faktörü, alıcının girişinde okunana gerilim değeri ve kablo kayıp miktarlarının toplanmasıyla elde edilir.

$$E(dB\mu V / m) = V(dB\mu V) + AF(dB) + \text{Kablo.kaybı}(dB) \quad (3.10)$$

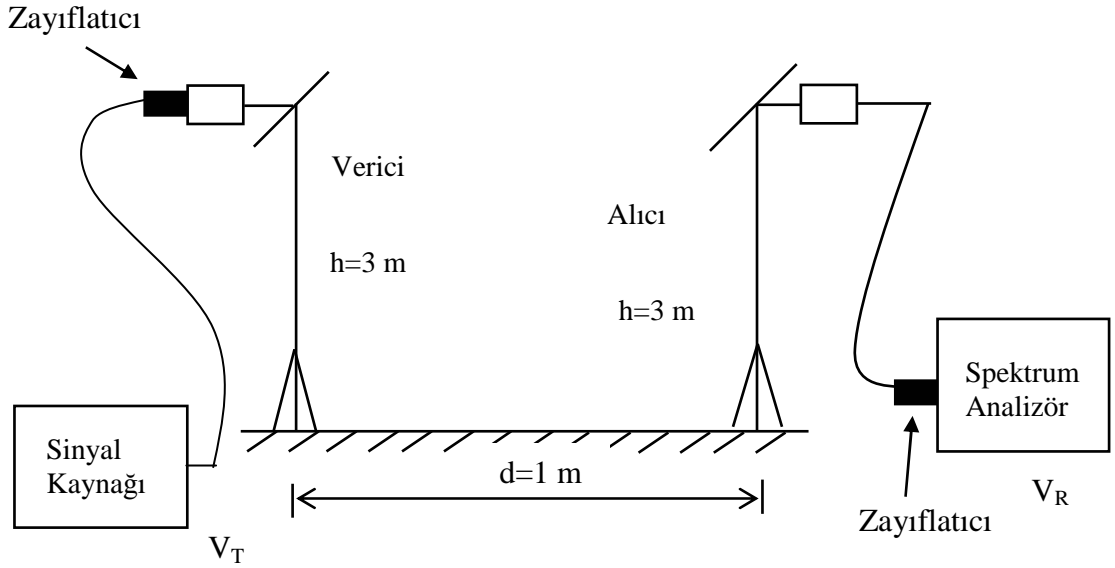
olur

3.1.8. İki özdeş antenin 1 metredeki kazanç ölçümleri

Kullanılan cihazlar:

1. Anten tipine bağlı olarak 50Ω çıkış empedansına sahip ve test seviyelerini oluşturabilecek güce sahip sinyal üretçileri.
2. 50Ω zayıflatıcılar.
3. Anten tipine bağlı olarak kalibreli alıcı ya da spektrum analizör. Alıcının giriş empedansı 50Ω ve $VSWR \leq 1,25$ olmalı. $1,25$ VSWR'ı elde etmek için bir izole zayıflatıcı konulabilir.
4. 50Ω karakteristik empedansa sahip koaksiyel kablolar.

Düzenek:



Şekil 3.1: İki anten metodu ölçüm düzeneği

Düzenegın kurulacağı alan boş uzay koşullarını sağlamak için boşaltılır. Antenlerin yükseklikleri 3 metre ve antenler arasındaki mesafe 1 metre olarak alınır.

Ölçüm:

Alıcı transfer cihazı olarak kullanıldığında aşağıda belirtilmiş adımlar uygulanır.

1. Alıcıda bir değer görünceye kadar sinyal kaynağının genlik değeri artırılır. Sinyalin maksimum cevabı elde edinceye kadar alıcı ayarlanır.
2. Maksimum sinyali elde etmek için antenlerin düzenlenmeleri sağlanır ve sinyal kaynağı çıkışı (V_T)not edilir.
3. Sinyal kaynağına ve alıcıya bağlı kablolar ilgili antenlerden çıkartılır. Sinyal kaynağı ve alıcıya bağlı kablolar ayrı bir 50 Ω empedansına sahip birleştirici adaptör ile birleştirilir.
4. Antenler takılı iken elde edilen alıcıdaki ölçüm değeri elde edinceye kadar sinyal kaynağının çıkış değeri düşürülür. Sinyal kaynağının genlik seviye değeri (V_R) not edilir.
5. Denklem (3.5.) kullanılarak 1 metredeki kazanç değerleri hesaplanır.

Ölçümler minimum olarak aşağıda tanımlanan frekans aralıklarında ve frekans artımlarında yapılır.

1. 20 kHz – 100 kHz (10 kHz)
2. 200 kHz – 2 MHz (100 kHz)
3. 2 MHz – 20 MHz (1 MHz)
4. 20 MHz – 200 MHz (10 MHz)
5. 200 MHz – 1 GHz (100 MHz)
6. 1 GHz – 40 MHz (1 GHz)

3.1.9. Anten faktörü değerinin türetilmesi

Kazanç ifadesi verilmiş bir antenin anten faktörü değerinin hesaplanması:

$$V = h_{eff} \frac{E}{2} \quad (3.11)$$

olur.

V (50 Ω 'luk girişe sahip alıcının girişinde ölçülen gerilim ifadesi)

E (volt/m cinsinden alan şiddeti)

h_{eff} (metre cinsinden antenin etkin yüksekliği)

Yarıya bölünme ifadesi, 50 Ω 'luk girişe sahip alıcının anten terminallerine bağlandığında görülen gerilim değerinin yarıya bölünmesidir.

$$h_{eff} = 2\left(\frac{A_{em}R_r}{Z}\right)^{1/2} \quad (3.12)$$

$$A_{em} = \frac{D\lambda^2}{4\pi} \quad (3.13)$$

A_{em} (maksimum etkin boşluk, uygunlaştırılmış bir yüke maksimum gücü aktaran boşluk)

R_r (50 Ω)

Z ($120\pi = 377 \Omega$)

D (anten yönlendiriciliği)

Denklem (3.10.) ve (3.11.) i kullanarak:

$$h_{eff} = \lambda\left(\frac{Dr_r}{\pi Z}\right)^{1/2} \quad (3.14)$$

olur.

Anten ile alıcı arasındaki 50 Ω 'luk transmisyon hattı sıfır kayıplı ve empedans uygunsuzluğu olmadığı kabul edilirse $D=G$ olur. Böylece:

$$V = \frac{E\lambda}{2}\left(\frac{Gx50}{\pi x377}\right)^{1/2} = E\frac{\lambda}{9,73}\sqrt{G} \quad (3.15)$$

olur.

G (nümerik güç kazancı)

λ (metre cinsinden dalga boyu)

V ile E arasında bir ilişki kurulursa:

$$V\frac{9,73}{\lambda\sqrt{G}} = E \quad (3.16)$$

olur.

Anten faktörü ifadesi, alıcıda ölçülen değerin anten terminallerinde görülen alan şiddetine oranı olduğundan:

$$AF = \frac{9,73}{\lambda\sqrt{G}} \quad (3.17)$$

olur.

3.2. Standart Saha Metodu

3.2.1. Teori

Standart Saha Metodu (SSM) [6], yatay polarizasyonlu ölçümler için oluşturulmuştur. 30 MHz – 1 GHz frekans aralığında ölçüm mesafesi 10 metre, verici antenin yüksekliği 2 metre ve alıcı antenin yüksekliği 1 metre ile 4 metre arasında değişmektedir. 1 GHz – 40 GHz frekans aralığında ise ölçüm mesafesi 3 metre, verici ve alıcı antenlerin yükseklikleri 2 metredir.

Anten faktörlerini hesaplamada kullanılan SSM, standart anten kalibrasyon sahasına ihtiyaç duyar. Bu metot, bikonikal antenler, ayarlı dipol antenler, log periyodik antenler, dipol dizisi antenler, lineer polarizasyonlu hibrit dizi antenler ve horn antenler için yakın boş uzay faktörlerini bulmaya yardımcı olur.

Anten faktörü değerleri, standart anten kalibrasyonu sahası üzerinde yatay polarizasyon için bulunur. Yatay polarizasyonlu ölçümler göreceli olarak saha değişim veya bozulmalarına karşı duyarsızdır. Kalibrasyonda yatay polarizasyonun seçilme sebepleri:

1. Anten ile ortogonal kablo arasındaki karşılıklı etkilenme ihmal edilecek düzeydedir.
2. Kablodan oluşacak saçılmalar ihmal edilecek düzeydedir.
3. Yatay polarizasyonlu toprak yansımaları, toprak düzleminin iletkenliğinden oluşacak değişimlere karşı daha az duyarlıdır.
4. Toprak ekranlama kenar yansımaları azdır.

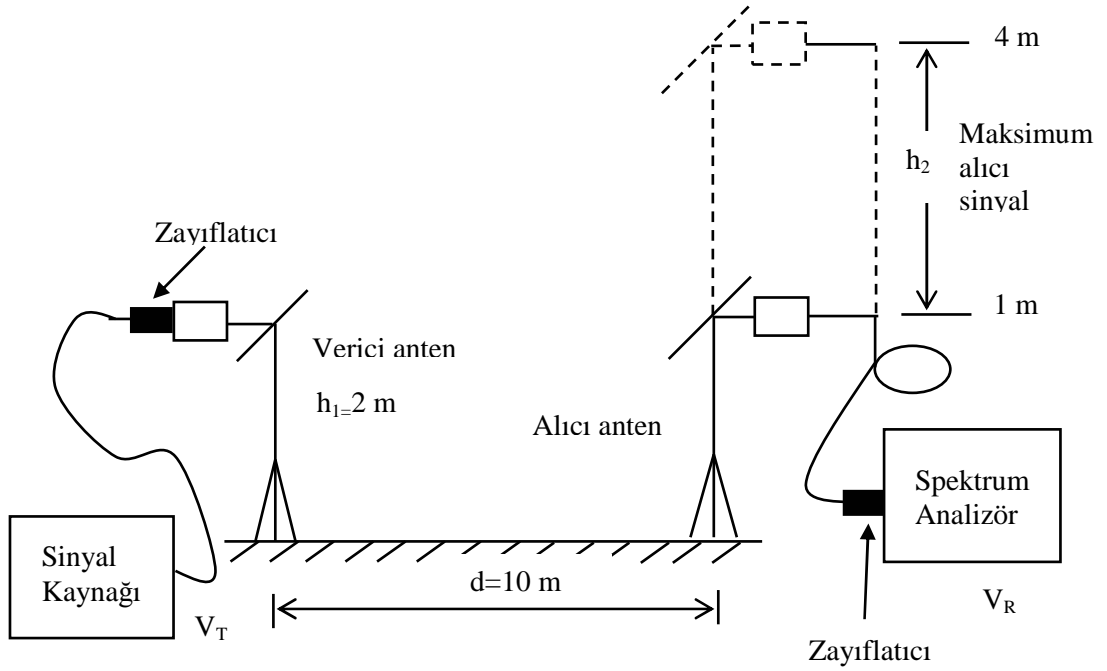
Tablo 3.1: 10 metre ölçüm mesafesinde, 2 metre verici anten yüksekliğinde ve 1 metre ile 4 metre alıcı anten yüksekliğinde E_D^{maks} ve NSA değerleri

Frekans (MHz)	E_D^{maks} (dB μ V/m)	NSA (dB)
30	-4,76	24,1
35	-3,56	21,6
40	-2,55	19,4
45	-1,69	17,5
50	-0,95	15,9
60	0,24	13,1
70	1,09	10,9
80	1,69	9,2
90	2,05	7,8
100	2,21	6,7
120	2,39	5,0
140	2,49	3,5
160	2,56	2,3
180	2,60	1,2
200	2,63	0,3
250	2,68	-1,7
300	2,71	-3,3
400	2,71	-5,8
500	2,57	-7,6
600	2,63	-9,3
700	2,67	-10,7
800	2,69	-11,8
900	2,71	-12,9
1000	2,72	-13,8

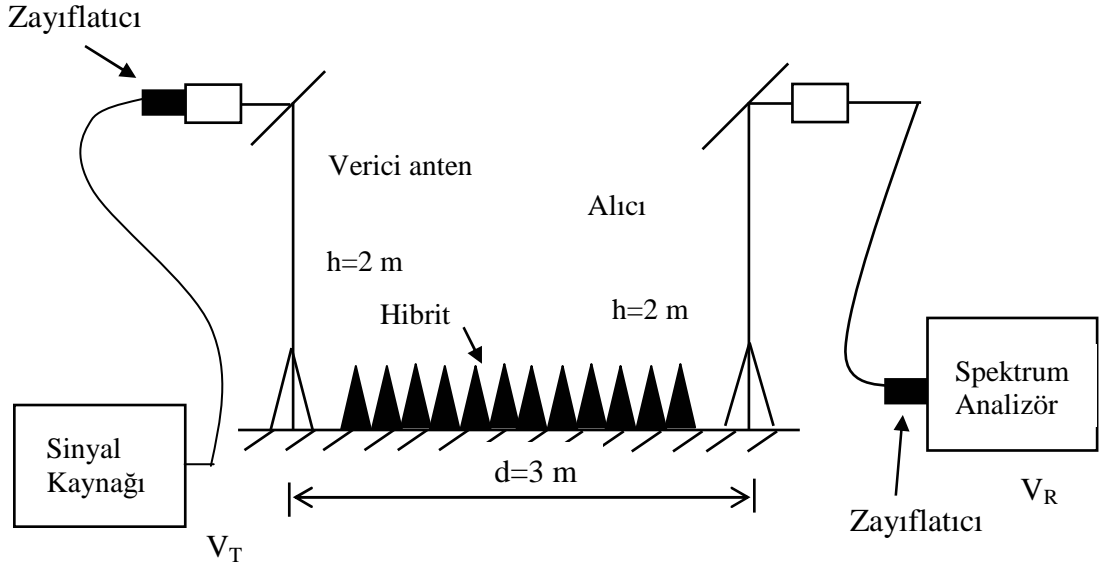
Tablo 3.2: 3 metre ölçüm mesafesinde horn antenler için E_D^{maks} ve NSA değerleri (toprak yansımaları hiç olmaması gerekir)

R metre olarak	3
h_1 metre olarak	≥ 2
h_2 metre olarak	≥ 2
f_M GHz olarak	E_D^{maks} dB μ V/m olarak
1 GHz-40 GHz	7,4

$$h_1 = h_2 \geq 2 \text{ metre}$$



Şekil 3.2: 10 metre ölçüm mesafeli, 30 MHz – 1 GHz frekans aralığında, 2 metre verici anten yüksekliği ve 1 metre ile 4 metre arasındaki alıcı anten yüksekliğine sahip Standart Saha Metodu ölçüm metodu



Şekil 3.3: 3 metre ölçüm mesafeli, 1 GHz – 40 GHz frekans aralığında, 2 metre verici ve alıcı anten yüksekliğine sahip Standart Saha Metodu ölçüm metodu. Antenler arasında hibrit yutucular konulmuştur.

3.2.2. Metodun tanımı

Standart Saha Metodu (SSM), aynı geometri koşulları (h_1 , h_2 , R) altında ve farklı üç anten çiftleri kullanarak yapılan alan zayıflatması ölçümleridir. Üç alan zayıflatması ile ilgili üç denklem:

$$AF_1 + AF_2 = A_1 + 20 \log f_M - 48,92 + E_D^{maks} \quad (3.18)$$

$$AF_1 + AF_3 = A_2 + 20 \log f_M - 48,92 + E_D^{maks} \quad (3.19)$$

$$AF_2 + AF_3 = A_3 + 20 \log f_M - 48,92 + E_D^{maks} \quad (3.20)$$

olur.

Bütün denklemler dB cinsindedir.

E_D^{maks} (verici antenden R kadar uzaklıkta elde edilen maksimum alınan alan, Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir.)

AF_1, AF_2, AF_3 (1, 2 ve 3 nolu antenlerin anten faktör değerleri)

A_1, A_2, A_3 (ölçülen alan zayıflatma değerleri, dB/m olarak)

f_M (frekans, MHz olarak)

(3.18), (3.19) ve (3.20) denklemlerini eş zamanlı olarak çözüldüğünde:

$$AF_1 = 10 \log f_M - 24,46 + \frac{E_{maks}^D}{2} + A_1 + A_2 - A_3 \quad (3.21)$$

$$AF_2 = 10 \log f_M - 24,46 + \frac{E_{maks}^D}{2} + A_1 + A_3 - A_2 \quad (3.22)$$

$$AF_3 = 10 \log f_M - 24,46 + \frac{E_{maks}^D}{2} + A_2 + A_3 - A_1 \quad (3.23)$$

olur.

Denklem (3.21), denklem (3.22) ve denklem (3.23)'deki alan zayıflatması ölçüm hataları, $V_{direkt}:V_{alan}$ oranı ölçülerek minimize edilir. V_{direkt} , ölçüm cihazları (sinyal üretici ve alıcı) kablolar ve zayıflatıcılarla doğrudan bağlandığında alıcıda ölçülen giriş voltaj değeridir. V_{alan} , ölçüm cihazları (sinyal üretici ve alıcı) kablolar ve zayıflatıcılarla birlikte antenlere bağlı iken alıcıda ölçülen giriş voltaj değeridir.

h_2 alıcı anten yüksekliğini taramak, sıfır geçiş noktalarına karşı hassasiyeti ortadan kaldırır. Anten kalibrasyonu ölçümleri için 10 metre anten mesafesi tavsiye olunur. Geniş bantlı horn antenler için mesafe 3 metredir ve eğer antenlerin yükseklikleri anten huzme genişlikleri içerisinde değil ise yükseklik taramasına ihtiyaç duyulmaz.

3.2.3. Ayrık frekans metodu

Belirli frekanslarda anten kalibrasyonu ölçümleri yapılır. Frekans değerleri (Tablo 3.1)'de verilmiştir. Her bir frekansta alıcı anten belirli bir yükseklikte taranır ve en yüksek genlik değeri not edilir. Bu bulunan değerler denklem (3.21), denklem (3.22) ve denklem (3.23) de sırasıyla konularak anten faktörü değerleri bulunur.

Horn antenler için verici ve alıcı antenlerin yükseklikleri minimum 2 metrede sabitlenerek ölçülür.

Ölçüm:

1. Ölçüm alıcısının dinamik aralığı direkt ve alan zayıflatması arasındaki değerleri sağlayacak kadar yeterli olmalıdır. Direkt ölçümlerde yüksek kaliteli ve kalibreli zayıflatıcılar kullanılmalıdır. Zayıflatıcıların frekans cevabı direkt ölçümlerden normalize edilir. Sinyal kaynağından işaret uygulanır.
2. Seçilen mesafe, yükseklik ve frekansta sırasıyla ilk çift anten zayıflatıcılar ve kablolar yardımıyla sinyal kaynağına ve alıcıya bağlanır. Ölçüm alıcısında maksimum sinyal elde edinceye kadar sinyal ayarlaması yapılır. Alınan sinyal seviyesi taban gürültü seviyesinden 16 dB yukarıda olacaktır. Ölçüm alıcısındaki değer V_{alan} olarak not edilir.
3. Kablolar ve zayıflatıcılar antenlerden sökülür ve bir adaptör vasıtasıyla birbirine direkt bağlanır. Ölçüm alıcısında okunan değer (2 nolu adım) elde edinceye kadar sinyal seviyesi ayarlanır ve bu değer V_{direkt} olarak kaydedilir.
4. Alan ölçümünde bulunan değer ile direkt ölçümde bulunan değer çıkartılır ve alan zayıflatması olarak not edilir.
5. Öteki frekans adımına geçilir.
6. Diğer anten çiftlerine de bu adımlar uygulanır.

3.2.4. Alınan maksimum alanın tayini

Tablo 3.1 için:

Yatay polarizasyonda E_D^{maks}

$$E_{DH}^{\text{maks}} = \frac{\sqrt{49,2} \left\{ d_2^2 + d_1^2 |\rho_h|^2 + 2d_1 d_2 |\rho_h| \cos[\phi_h - \beta(d_2 - d_1)] \right\}^{1/2}}{d_1 d_2} \quad (3.24)$$

olur.

$$h_2^{\text{min}} \leq h_2 \leq h_2^{\text{maks}}$$

$$d_1 = [R^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$$

$$d_2 = [R^2 + (h_1 - h_2)^2]^{1/2}$$

$$\rho_h = \frac{\sin \gamma - (K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}}{\sin \gamma + (K - j60\lambda\sigma - \cos^2 \gamma)^{1/2}} = |\rho_h| e^{j\phi_h} \quad (3.25)$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{h_1 + h_2}{R}\right) \quad (3.26)$$

K (toprak düzlemin göreceli dielektrik sabiti)

σ (toprak düzlemin iletkenliği, S/m)

γ (sıyrılan açı)

ϕ (yansımaya katsayısının faz açısı)

$\beta = 2\pi/\lambda$

λ (dalga boyu, metre)

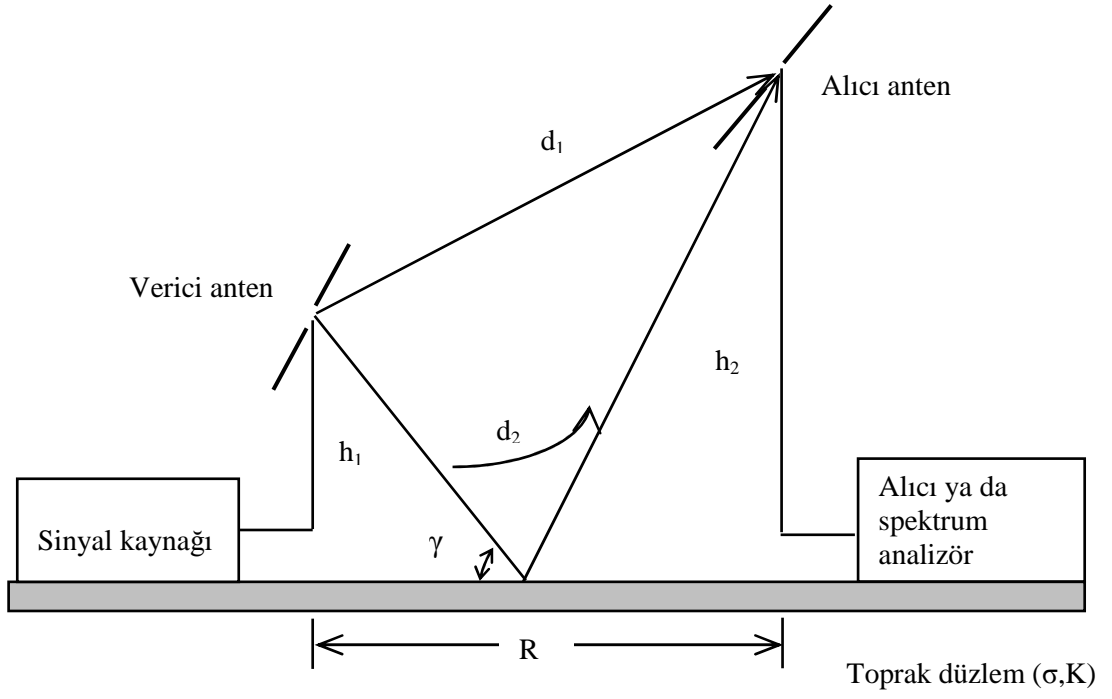
Tablo 3.2 için:

Toprak düzlemin etkisi, farklı iki yükseklikte kalibrasyon yaparak ihmal edilebilir.

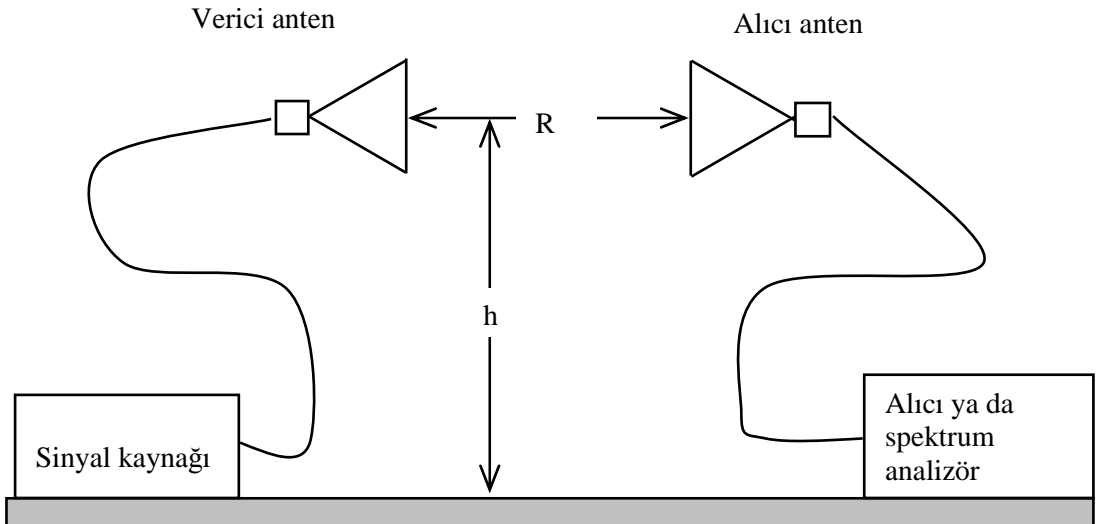
Ölçülen ikinci değerler ölçüm belirsizliğinin altında kalmalıdır. Eğer toprak yansımaları ihmal edilir veya kalibre edilen anten tarafından alınmıyorsa o zaman horn antenler için:

$$E_{maks}^D = 10 \log 49,2 - 20 \log R = 16,9 - 20 \log R \quad (3.27)$$

olur.



Şekil 3.4: Alan zayıflatması ölçümü (dipol ve log periyodik antenler için)

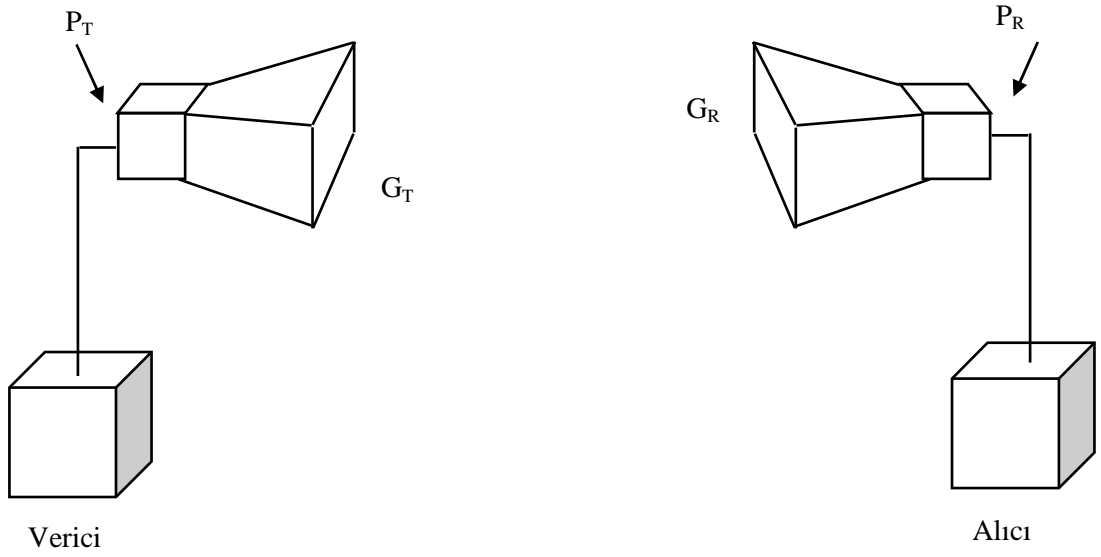


Şekil 3.5: Alan zayıflatması ölçümü (horn antenler için)

4. TEK ANTEN METODU

4.1. Teori

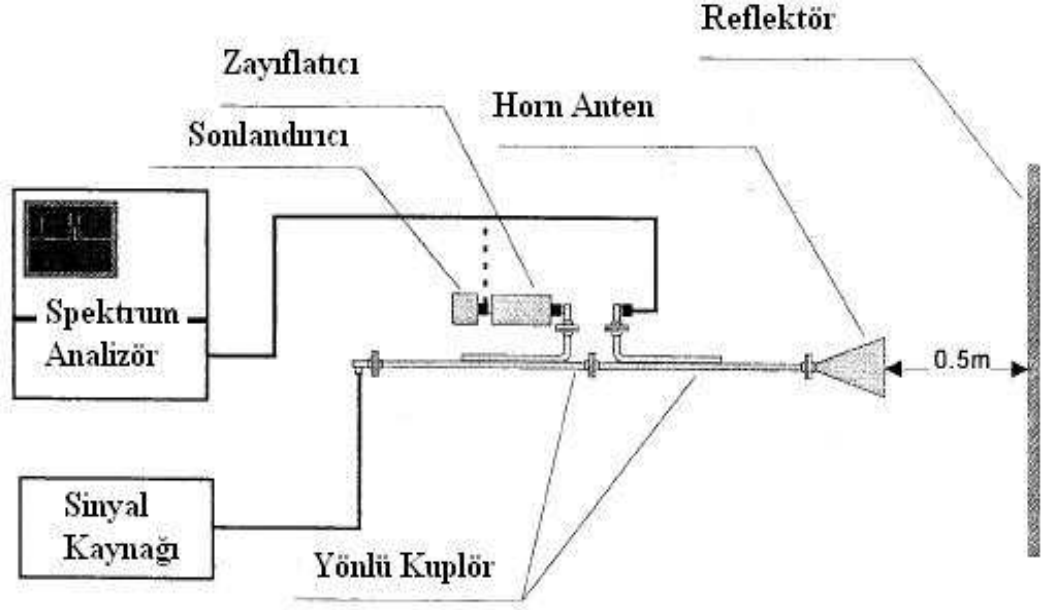
Geleneksel iki anten metoduna bakılırsa bir antenin kazanç faktörü iki özdeş anten kullanılarak (Şekil 4.1) boş uzay transmisyon sisteminin ekleme kayıplarından bulunur [19].



Şekil 4.1: İki özdeş antenin kalibrasyon düzeneği

Bu görünüşe dayanarak iki anten ölçüm düzeneği bir yansıma (teorik olarak sonsuz uzunlukta) yüzeyi (duvar, toprak düzlem, tavan) ile iki parçaya ayrılır. Kazanç faktörü hesaplanacak tek bir antene ihtiyaç duyulur. Aynı zamanda ölçüm belirsizlik değeri düşer. Bundan başka gerçek anten ile onun görüntüsü arasındaki mesafe yansıtıcıdan itibaren iki katına çıkar.

Şekil 4.2' deki şematik test düzeneğine göre verici anten aynı zamanda alıcı anten vazifesini görür. Bu da reflektörün ayna yüzeyi arkasındaki asıl görüntüsüyle oluşturulur.



Şekil 4.2: Tek Anten Metodu kalibrasyon düzeneği

Alıcı gücü P_R , verici güçten P_T ayırmak için bir yönlü kablolu kullanılır. Bu yönlü kablolu, anten ile sinyal kaynağı arasında konulur. Bu yöntemin avantajları cihaz sayısının azaltılması ve ayna görüntüsündeki hayali ikinci anten kalibre edilecek antenle bire bir özdeşir.

Geleneksel iki anten metodunun kullanmış olduğu Friis formülünü kullanarak alıcı ve verici antenlerin kazanç ifadesi:

$$\frac{P_R}{P_T} = D_S \times G_T \times G_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 \times G_T \times G_R \quad (4.1)$$

olur.

4.2. Çalışmalar

J. Glimm, R. Harms, Klaus Munter, Meinhard Spitzer ve Reiner Pape ve “A Single-Antenna Method for Traceable Antenna Gain Measurement” makalesi, “IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol 41, No 4, November 1999” olarak yayımlanmıştır. Bu makalede, iki anten ölçüm düzeneği, yansımali bir yüzey tarafından iki eşit parçaya ayrılmıştır.

Bu yüzey teorik olarak sonsuz uzunluk ve genişliktedir. Kazanç faktörünü bulmak için yalnızca tek bir antene ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum ölçüm belirsizliğini düşürmektedir. Esas anten ile onun hayali durumundaki eşdeğer anten arasındaki mesafe iki katına çıkmaktadır.

(Şekil 4.2) düzeneğinde gösterildiği gibi verici anten aynı zamanda alıcı anten olarak ta kullanılmaktadır. Bu durum yansıtıcı yüzeyin arkasında oluşturulmuş hayali anten ile tanımlanır.

Verici gücü, alıcı güçten çekebilmek için sinyal kaynağı ile anten arasına bir yönlü kuplör konmuştur. Bu metodun en önemli avantajları, düzenekte bulunan cihaz sayısını azaltmak ve hayali görüntünün ikincil bir eşdeğer anten olarak kullanılmasıdır.

Purcell'in güç kazanç ölçümlerindeki teorik metodunda, yansıyan gücün horn anten girişinde pratik olarak zorluklarla karşıla bileceğini ifade etmiştir. Bu durum, duran dalgadan dolayı yansıma katsayısında osilasyona neden olacaktır.

1 m x 1 m ebatlarında bir pirinç levha reflektör olarak kullanılmıştır. Frekans aralığı olarak 12 GHz ile 18 GHz arası seçilmiştir. Çift yönlü kuplör kullanılmıştır. Çift yönlü kuplörün giriş kapısı iletilen gücü ve yansıma kapısı ise gelen gücü almaktadır. Sinyal kaynağı sisteme RF enerjisi vermekte ve spektrum analizör ise gelen gücü göstermektedir. Ölçüm sonuçlarını doğrulamak için 12,4 GHz, 15 GHz ve 18 GHz frekanslarında anten üreticisi tarafından verilmiş değerler karşılaştırılmıştır. Sapmanın, ± 2 dB'den daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Spektrum analizör ile yapılan ölçümlerde bazı değerlerin yanlış olabileceği muhtemeldir. İletilen ve yansıyan sinyaller arasındaki faz farkı 0^0 derece olduğu zaman sonuçlar doğru olacaktır; fakat bu metot bazı skalar ölçümlerde doğru sonuçları vermiştir. Esas olan ise bütün frekanslarda bu sonuçları vermesidir.

Anten kazançlarını G_T ve G_R olarak, iletilen ve yansıyan güç ifadelerini P_T ve P_R olarak alırsak:

$$\frac{P_R}{P_T} = D_S \times G_T \times G_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \times G_T \times G_R \quad (4.2)$$

olur.

Pratik olarak verilen güç, çift yönlü kuplör kullanılarak farklı ölçümlerle sağlanır. Burada anten kazanç faktörleri, iletilen ve yansıyan dalga şiddetlerine bağlıdır. Bu iki güç arasındaki oran kompleks bir network analizör ile hesaplanabilir. Kompleks s parametreleri kullanılarak güçler arasındaki oran:

$$|s_{21}|^2 = D_S \times G_T \times G_R = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \times G_T \times G_R \quad (4.3)$$

olur.

Tek bir anten kullanıldığından S_{21} yerine $S_{11ahlı}$ hesaplanabilir. Burada yapılması gereken uzaklığı iki katına çıkarmaktır. G_T , burada verici antenin kazancını ve G_R ise hayali antenin kazancını temsil etmektedir. Bu kazançların aynı olduğu ifade edildiğinde o zaman denklem:

$$|s_{11ahlı}|^2 = \left(\frac{\lambda}{4\pi \times 2r}\right)^2 \times G^2 \quad (4.4)$$

Kazanç ifadesi çekildiğinde ise:

$$G = |s_{11ahlı}| \times \frac{8\pi \times 2r}{\lambda} = |s_{11ahlı}| \times \frac{8\pi \times 2r \times f}{c_0} \quad (4.5)$$

olur.

5. DENEYLER VE DENEYLERİN SONUÇLARI

5.1. İki Anten Metodu İle Alınan Sonuçlar

Kullanılan antenler:

1. Geniş bantlı horn anten

Üretici Firma : SCHAFFNER EMC SYSTEMS LTD.

Model: BHA9118

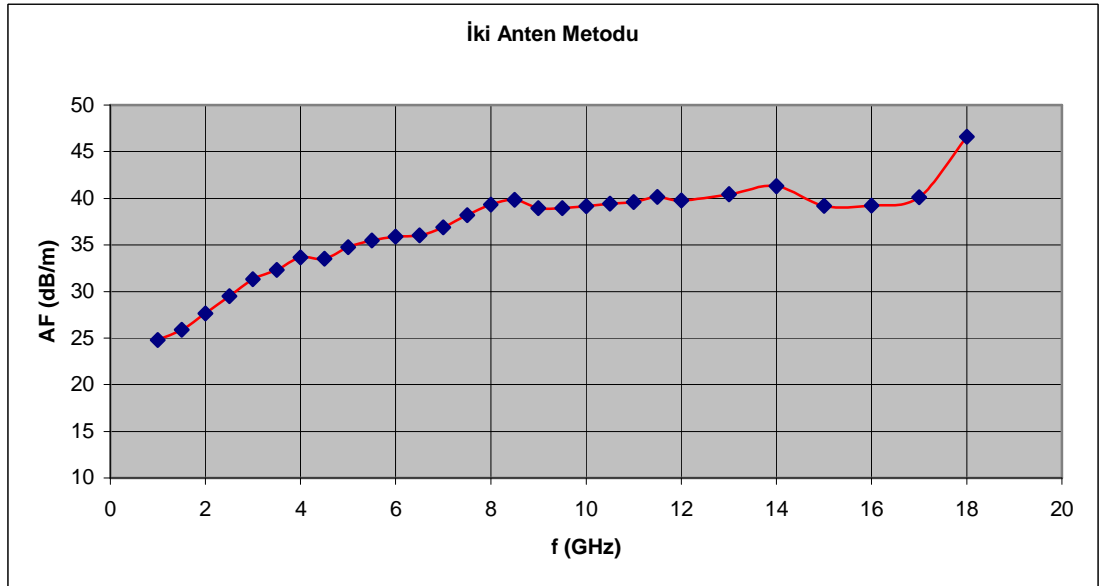
Seri No : 9014

2. Geniş bantlı horn anten

Üretici Firma : EMCO

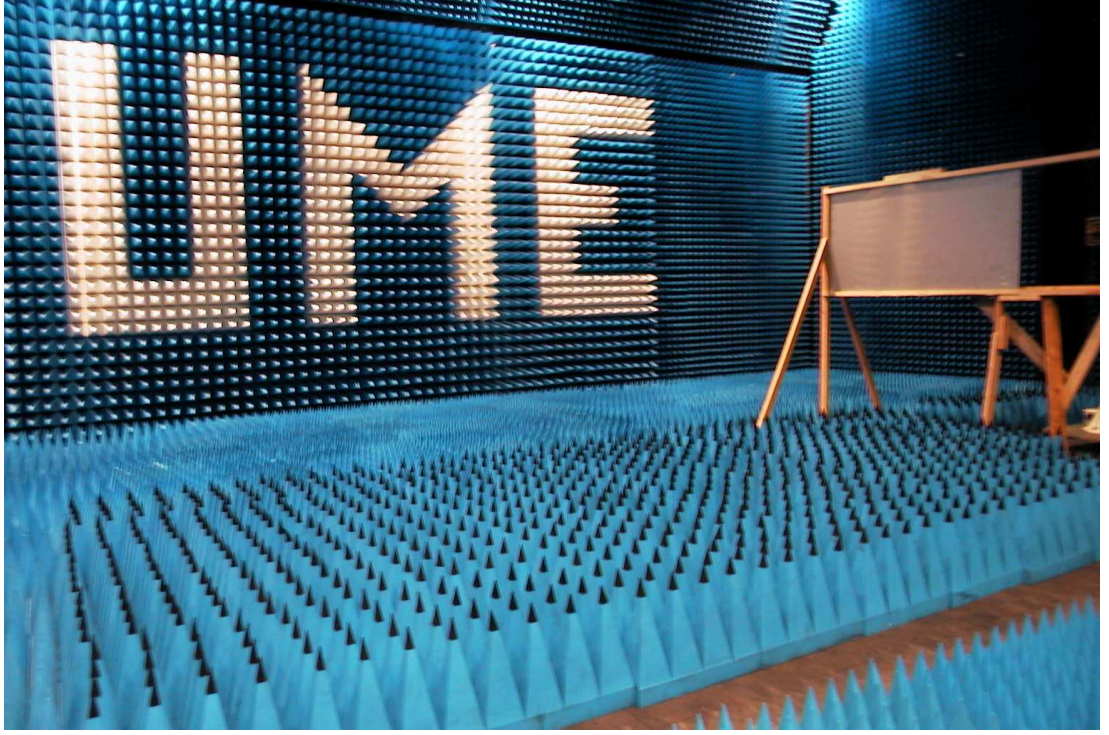
Model: 3115

Seri No : 9610-4990



Şekil 5.1: İki anten metodu ile alınan sonuçlar

İki anten metodu ile bulunan anten faktörleri değerleri her iki anten için de geçerlidir çünkü iki anten de özdeşdir.



Şekil 5.2: Tam yansız oda(full anechoic chamber)



Şekil 5.3: İki anten metodu deney düzeneği

5.2. Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) İle Alınan Sonuçlar

Kullanılan antenler:

1. Geniş bantlı horn anten

Üretici Firma : SCHAFFNER EMC SYSTEMS LTD.

Model: BHA9118

Seri No : 9014

2. Çift sırtlı dalga kılavuzlu horn anten (Double ridged waveguide horn antenna)

Üretici Firma : ETS

Model: 3115

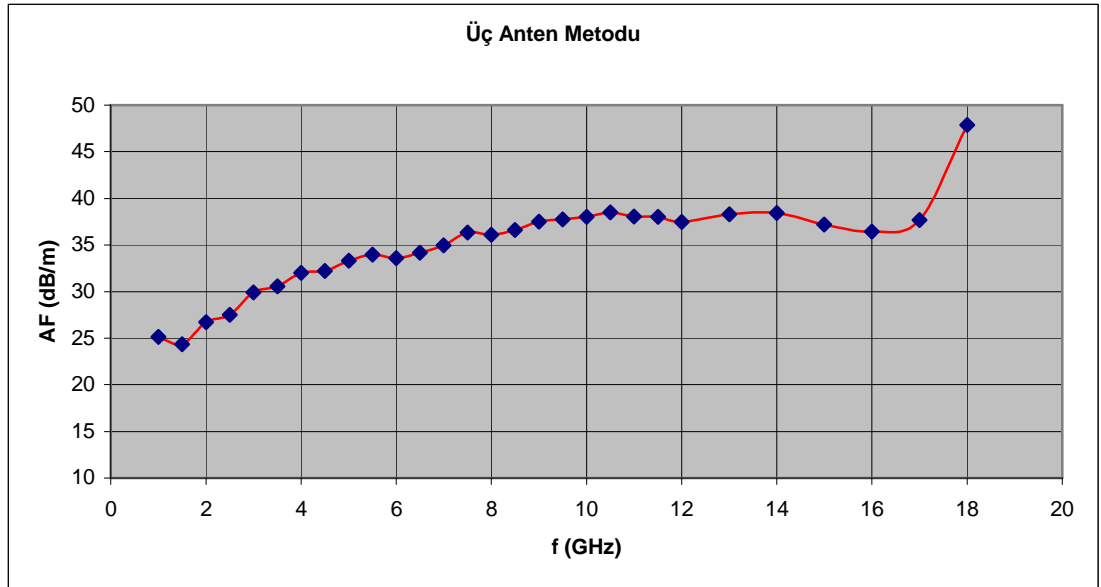
Seri No : 6765

3. Geniş bantlı horn anten

Üretici Firma : EMCO

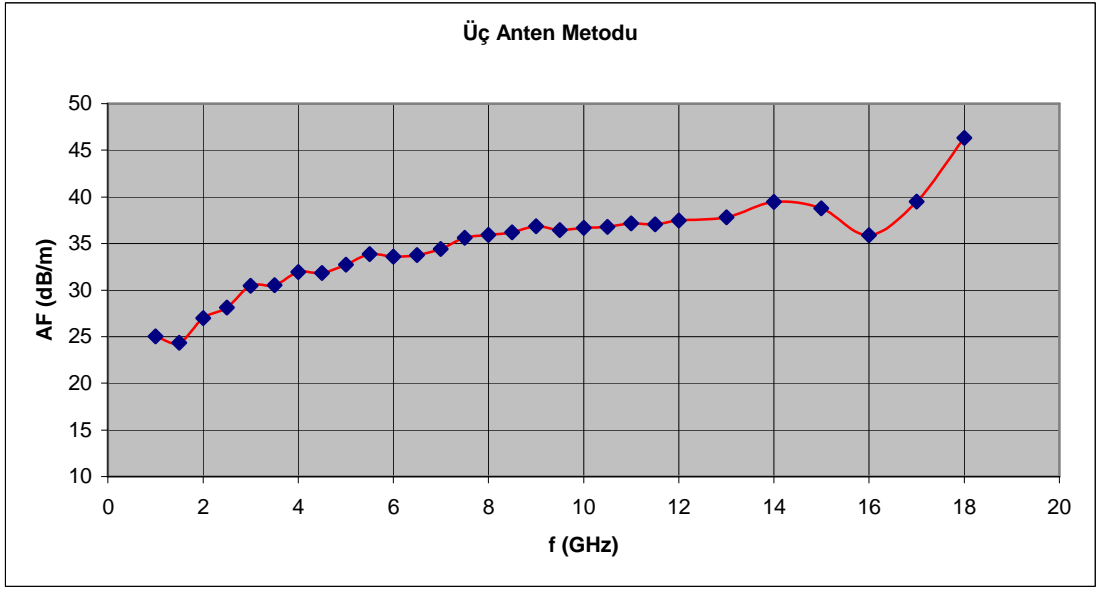
Model: 3115

Seri No : 9610-4990



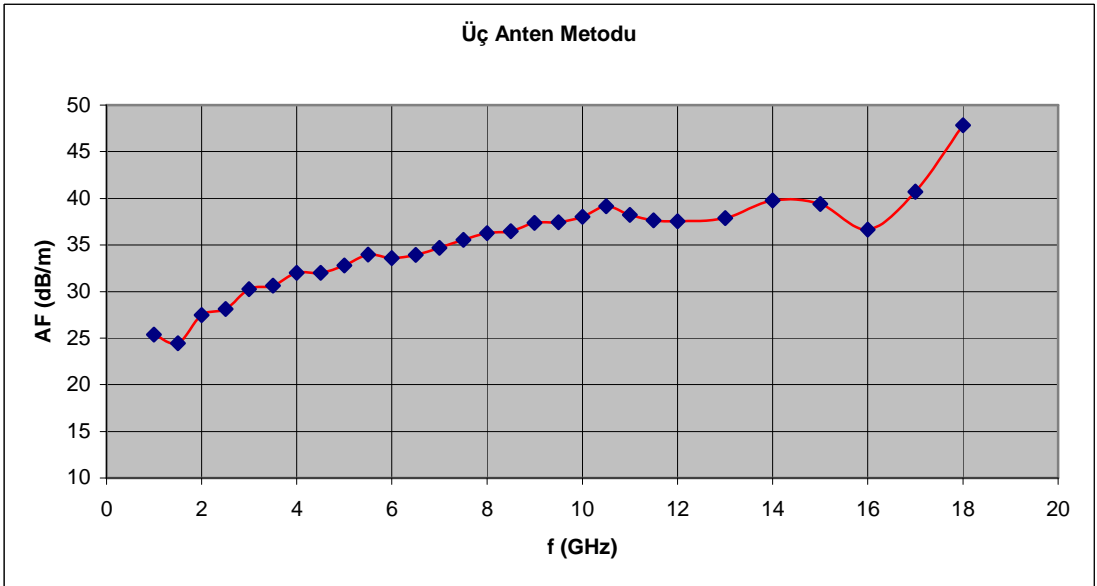
Şekil 5.4: 1nci anten ile alınan sonuçlar

BHA9118 model ve 9014 seri numaralı geniş bantlı horn antene ait anten faktörü değerleri.



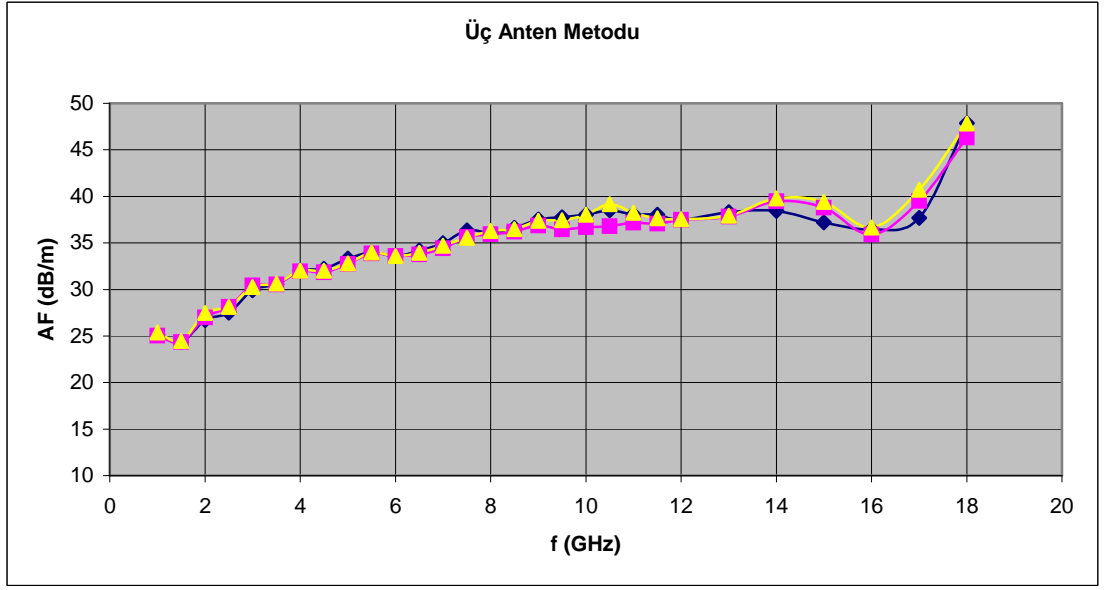
Şekil 5.5: 2nci anten ile alınan sonuçlar

3115 model ve 6765 seri numaralı çift sırtlı dalga kılavuzlu horn antene ait anten faktörü değerleri.



Şekil 5.6: 3ncü anten ile alınan sonuçlar

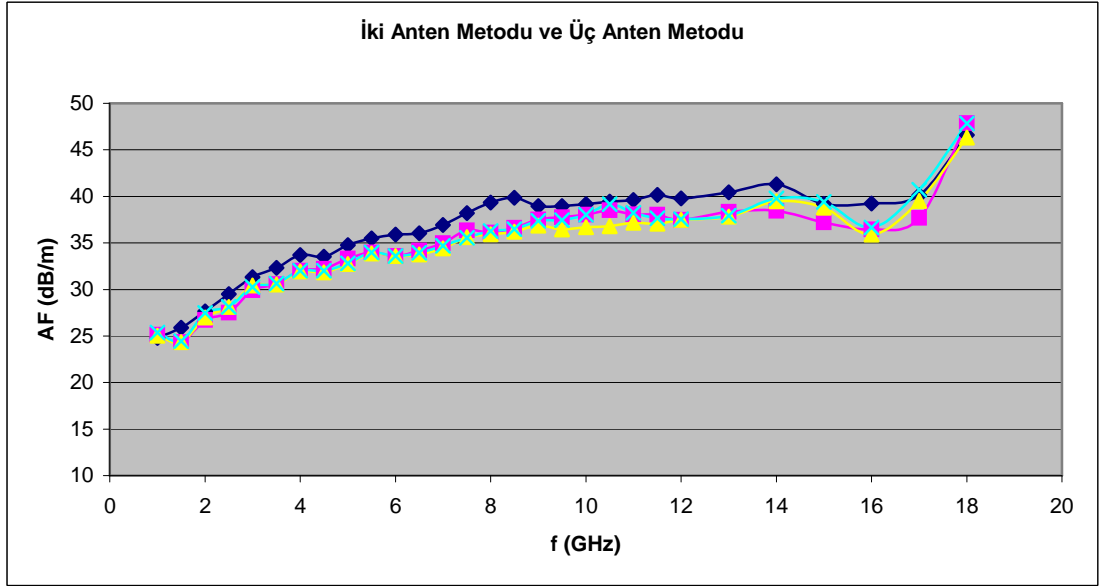
3115 model ve 9610-4990 seri numaralı geniş bantlı horn antene ait anten faktörü değerleri.



- 1 nolu anten
- 2 nolu anten
- 3 nolu anten

Şekil 5.7: Antenlerin AF değerlerinin Üç Anten Metoduna göre karşılaştırılması

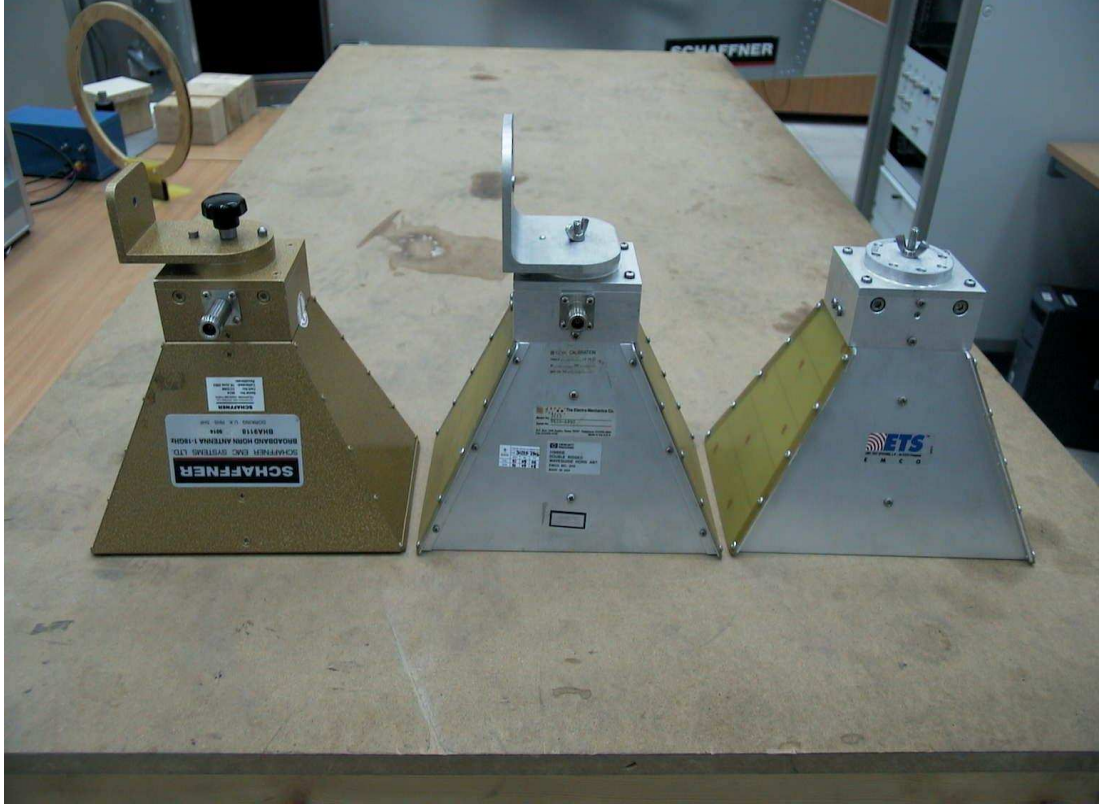
Standart Saha Metodu'yla (Üç Anten Metodu) yapılan ölçümlerde, üç horn antenin de benzer anten faktörü değerlerini gösterdiği gözlenmiştir. 14 GHz ile 18 GHz frekans bölgesinde görülen sapmalar, antenlerin ölçümler esnasında antenlerin birebir aynı doğrultuda olmamalarından kaynaklanmaktadır; fakat bu durum ölçüm belirsizliğinin içerisinde kaldığından ölçüm sonuçlarını etkilememektedir.



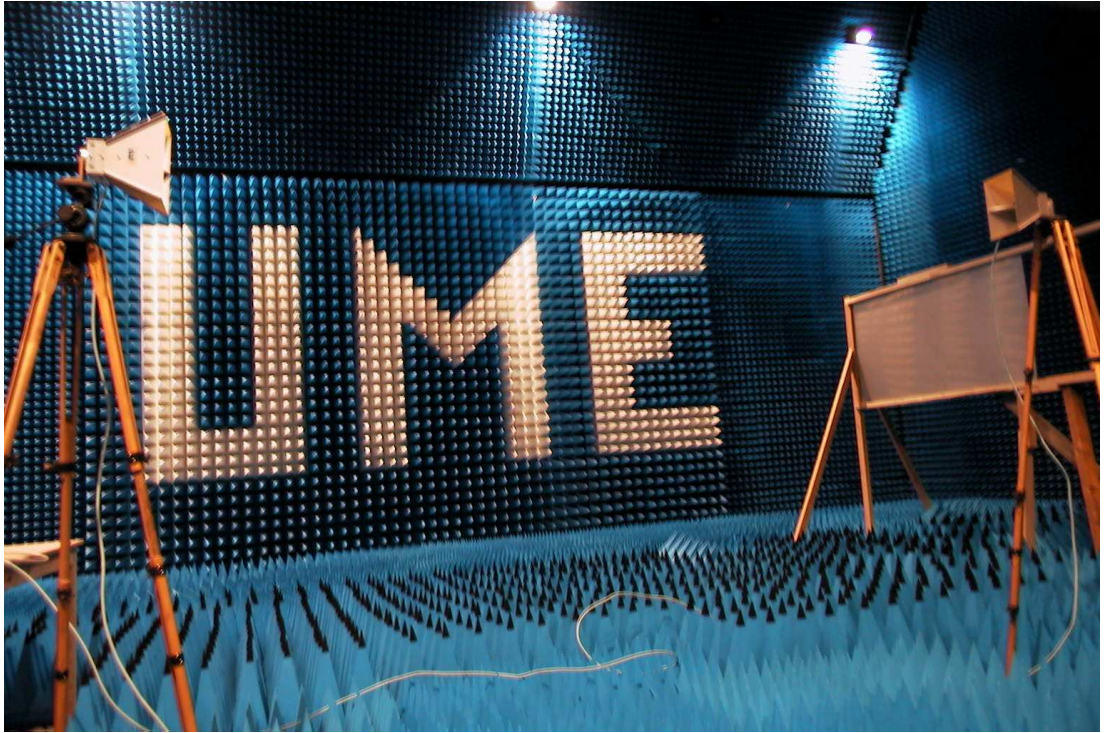
- İki Anten Metodu ile alınan ölçümler
- 1 nolu anten (Üç Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- 2 nolu anten (Üç Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- 3 nolu anten (Üç Anten Metodu ile alınan ölçümler)

Şekil 5.8: Antenlerin AF değerlerinin Üç Anten Metodu ve Tek Anten Metoduna göre karşılaştırılması

İki Anten Metodu ile Standart Saha Metodu ile alınan ölçümlerin benzer anten faktörü değerlerini gösterdiği gözlenmiştir. 7 GHz ile 9 GHz frekans bölgesinde, 12 GHz ile 14 GHz frekans bölgesinde ve 15 GHz ile 17 GHz frekans bölgesinde görülen sapmalar, ölçümler esnasında antenlerin birebir aynı doğrultuda olmamalarından kaynaklanmaktadır; fakat bu durum ölçüm belirsizliğinin içerisinde kaldığından ölçüm sonuçlarını etkilememektedir.



Şekil 5.9: Standart Saha Metodunda kullanılan horn antenler



Şekil 5.10: Standart Saha Metodu deney düzeneği

5.3. Tek Anten Metodu İle Alınan Sonuçlar

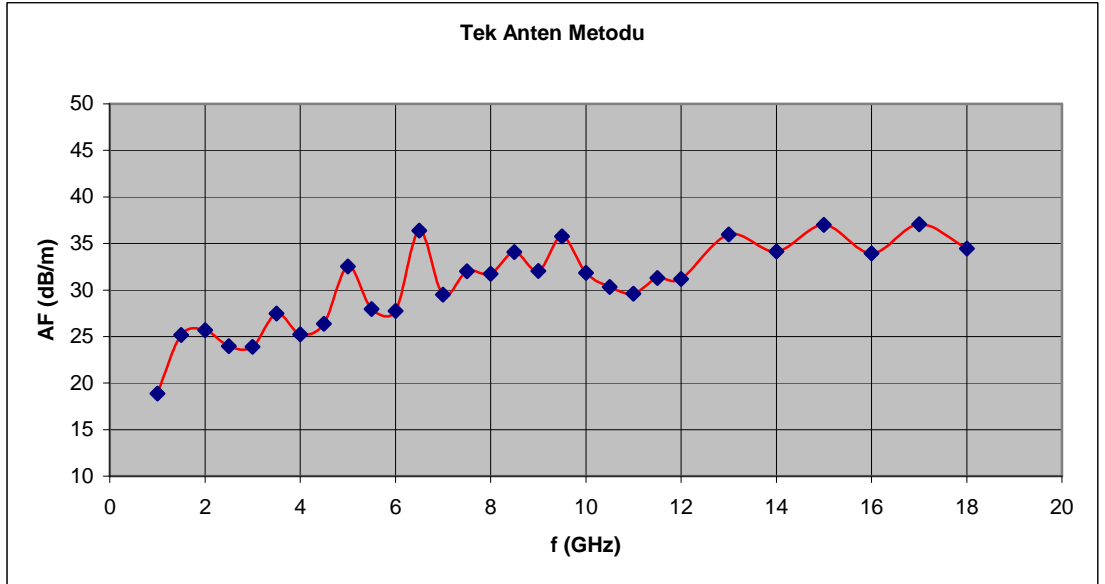
Kullanılan anten:

1. Geniş bantlı horn anten

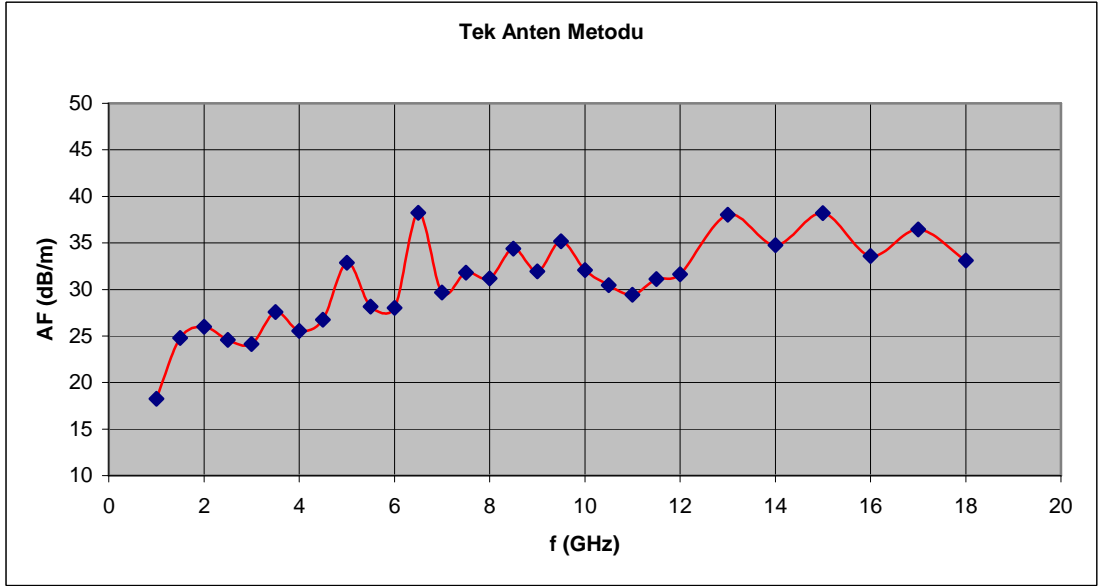
Üretici Firma : SCHAFFNER EMC SYSTEMS LTD.

Model: BHA9118

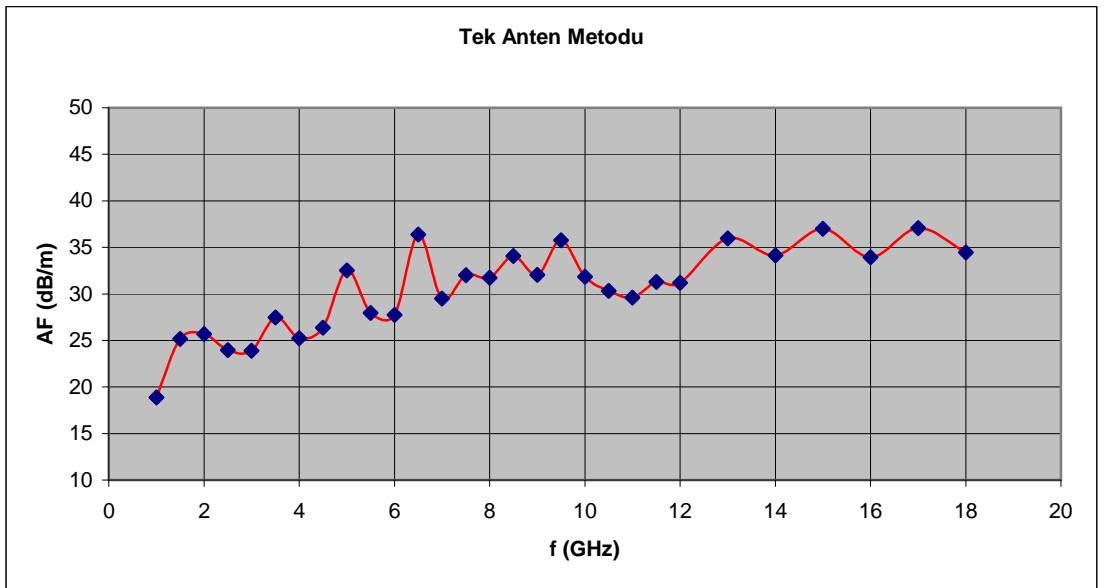
Seri No : 9014



şekil 5.11: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz elik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

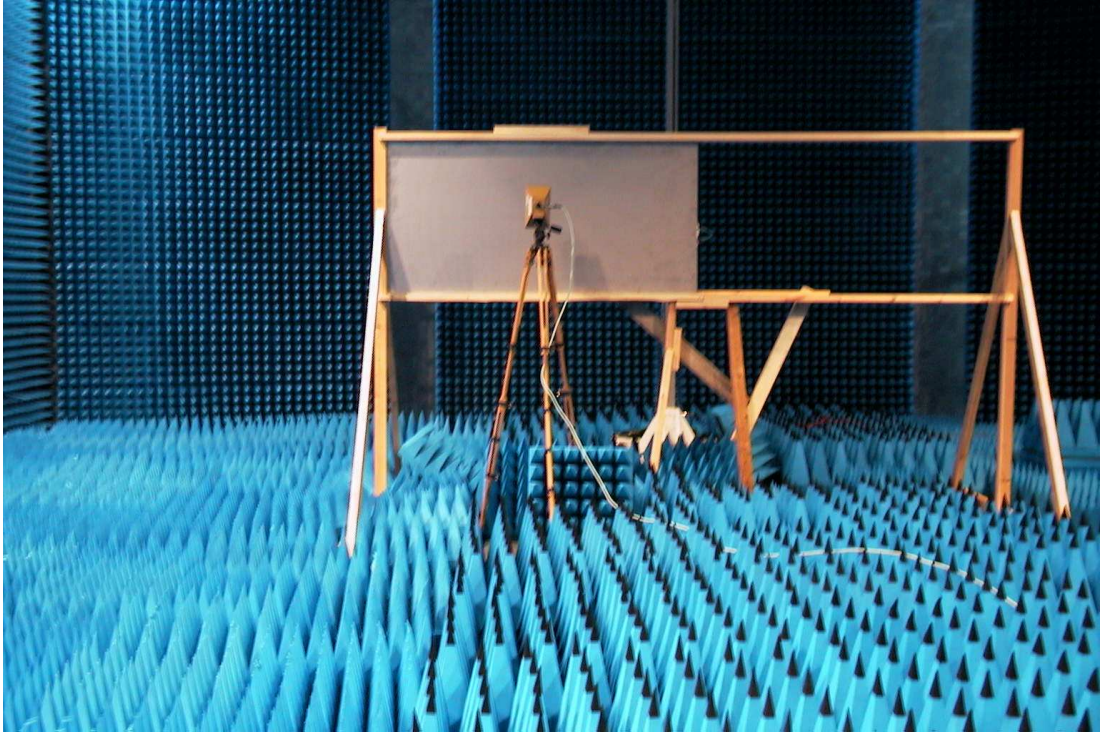


Şekil 5.12: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

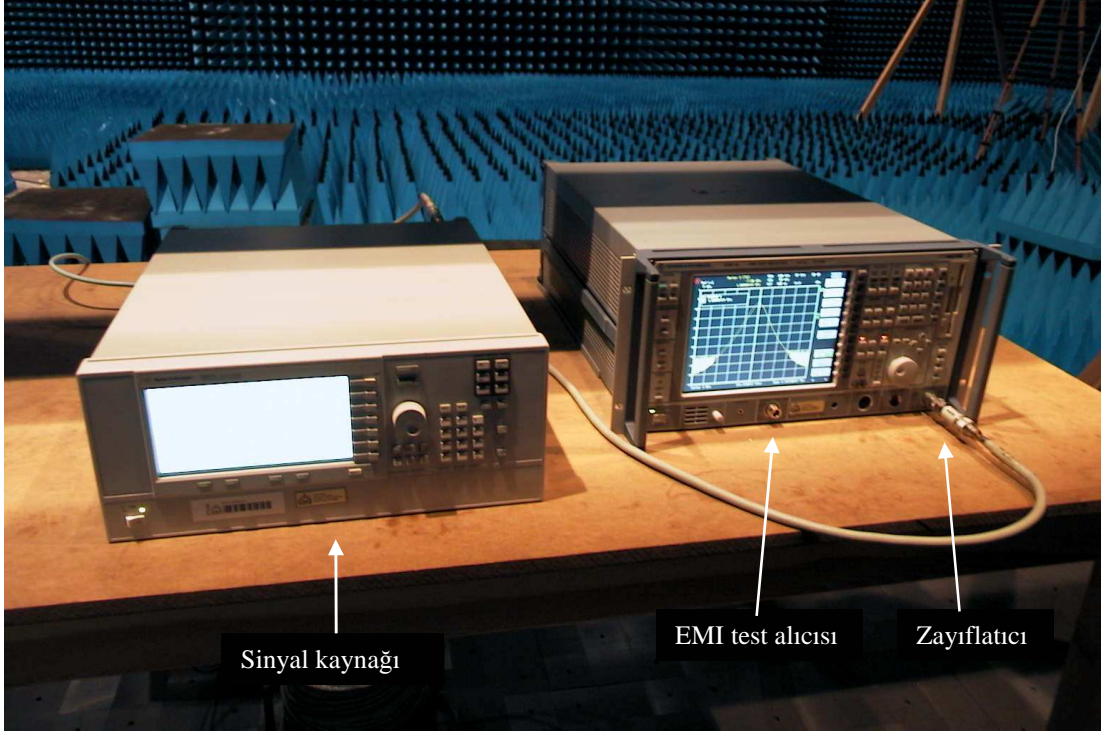


Şekil 5.13: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

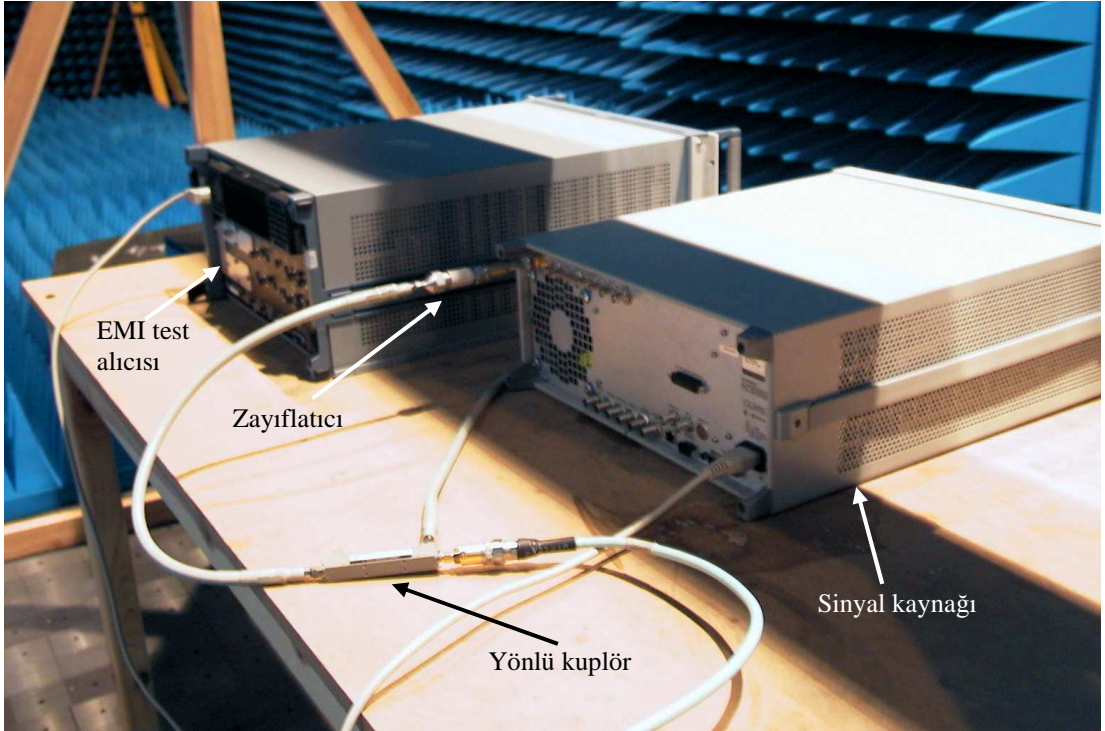
Tek Anten Metodu, İki Anten Metodu'ndan türetilmiştir. İki Anten Metodu'yla oluşturulan deney düzeneği, araya yansımali bir yüzey (2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm)) konularak ikiye bölünmüş ve deney düzeneğinin simetrisi elde edilmiştir. Böylece verici anten, yansımali yüzeyin arkasında oluşturulmuş hayali antenden dolayı aynı zamanda alıcı anten vazifesini de görmüştür. Böylece, kazancı ve de anten faktörü hesaplanacak tek bir antene ihtiyaç olur. Bu durum ölçüm belirsizliğinin düşürülmesine neden olmaktadır. Esas anten ile hayali anten arasındaki mesafe, yansımali yüzeyden alınan mesafenin iki katıdır.



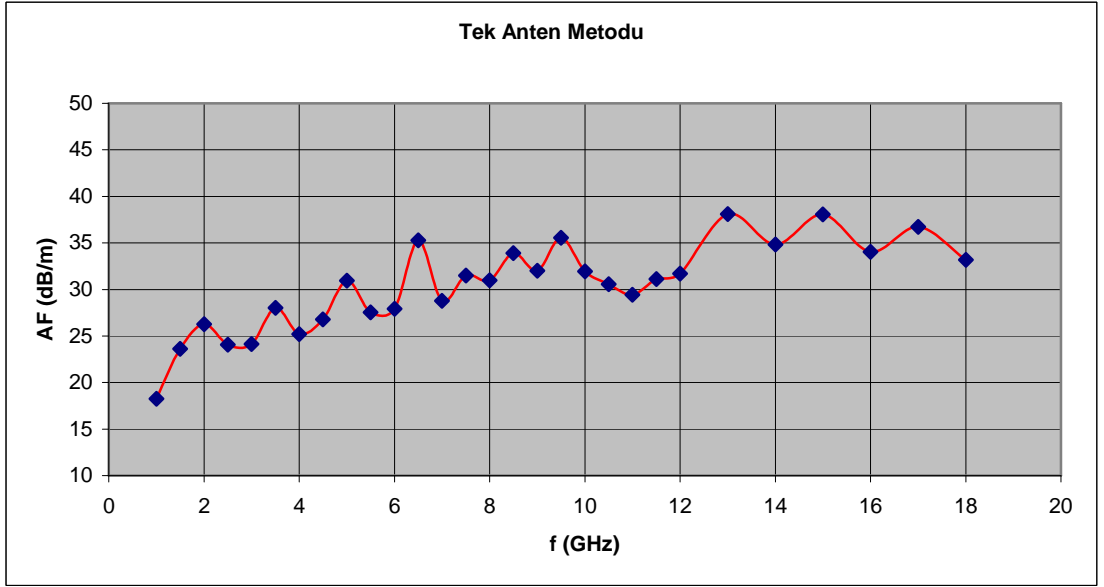
Şekil 5.14: Tek anten metodu deney düzeneği (2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, kalınlık 2 mm)



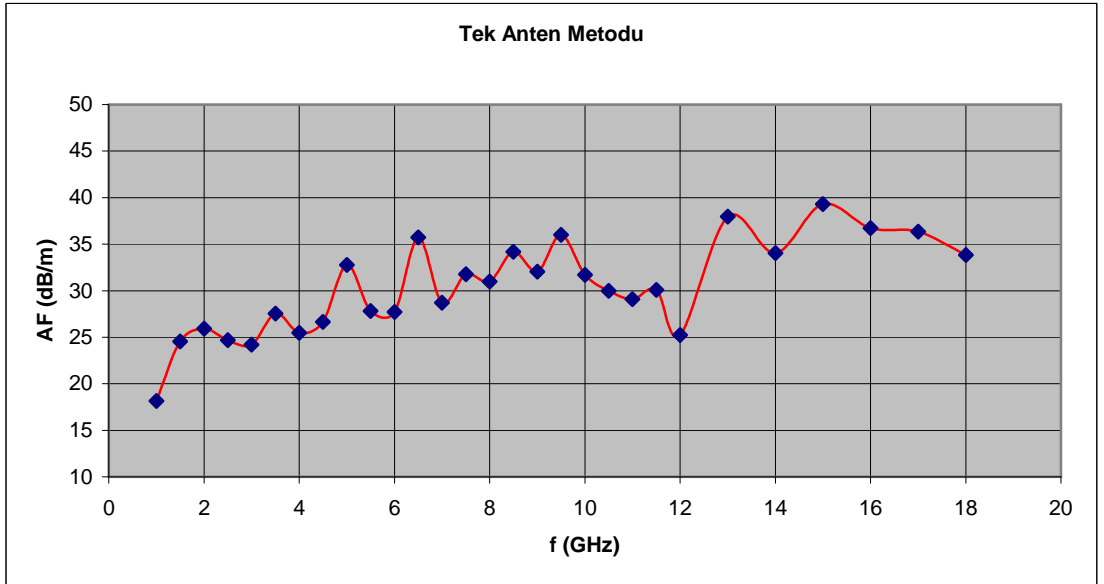
Şekil 5.15: Tek anten metodu deney düzeneği önden görünüş (EMI test alıcısı, sinyal kaynağı, yönlü kablolar ve zayıflatıcılar)



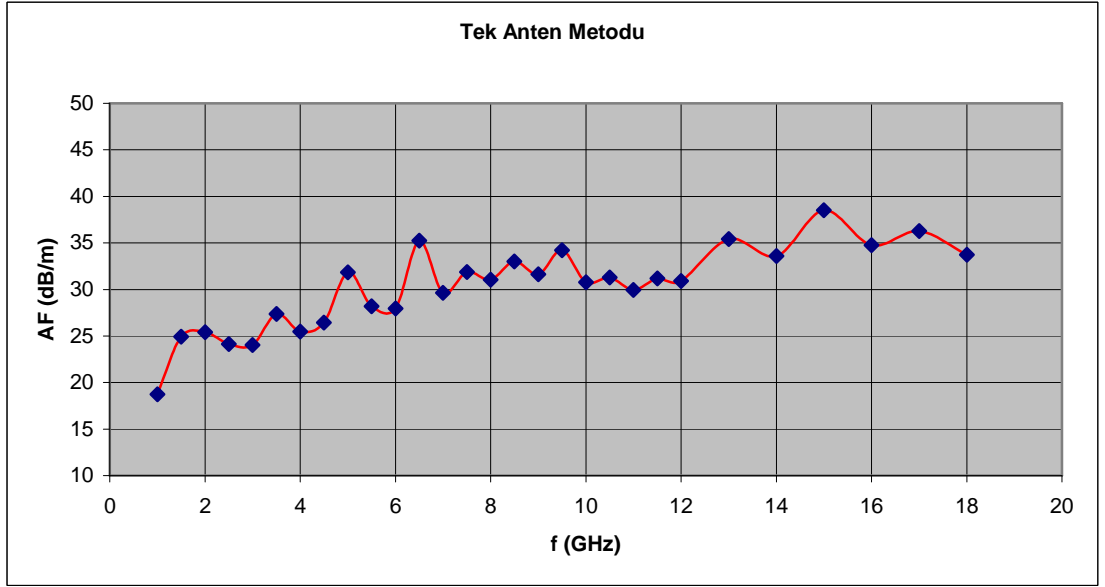
Şekil 5.16: Tek anten metodu deney düzeneği arkadan görünüş (Rohde&Schwarz ESIB 40 1088.7490.40 EMI test alıcısı, Agilent Technologies E8257C PSG analog sinyal üretici, Agilent 87300B yönlü kablolar ve HP 8491B 3 dB zayıflatıcılar)



Şekil 5.17: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı 20 mm), deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m’dir

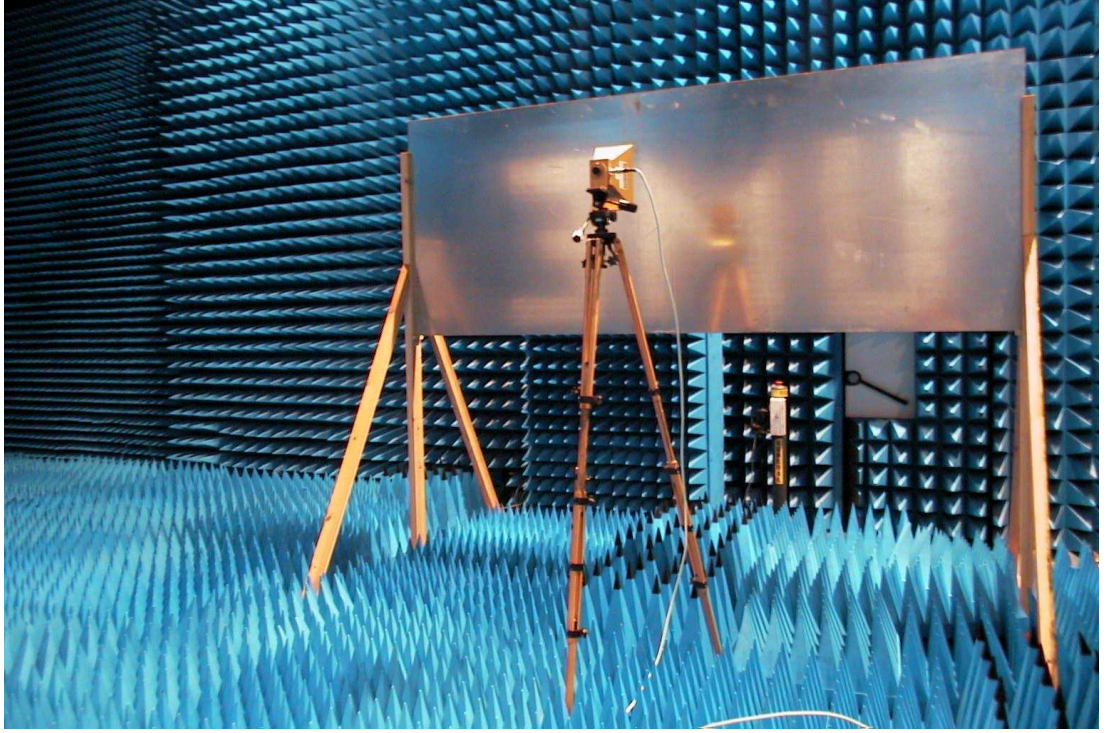


Şekil 5.18: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı 20 mm), deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m’dir

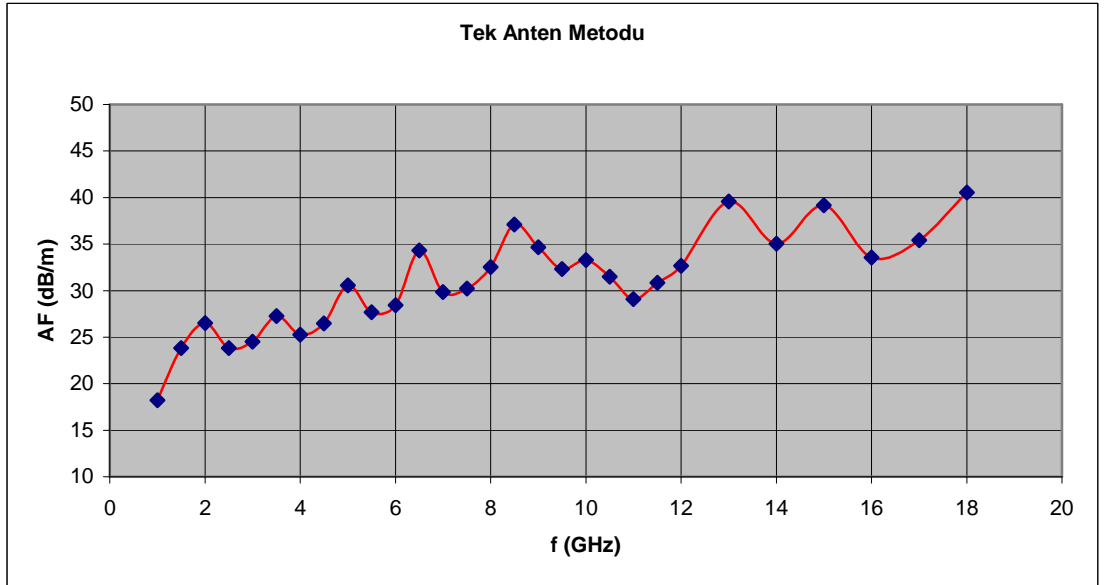


Şekil 5.19: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı 20 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

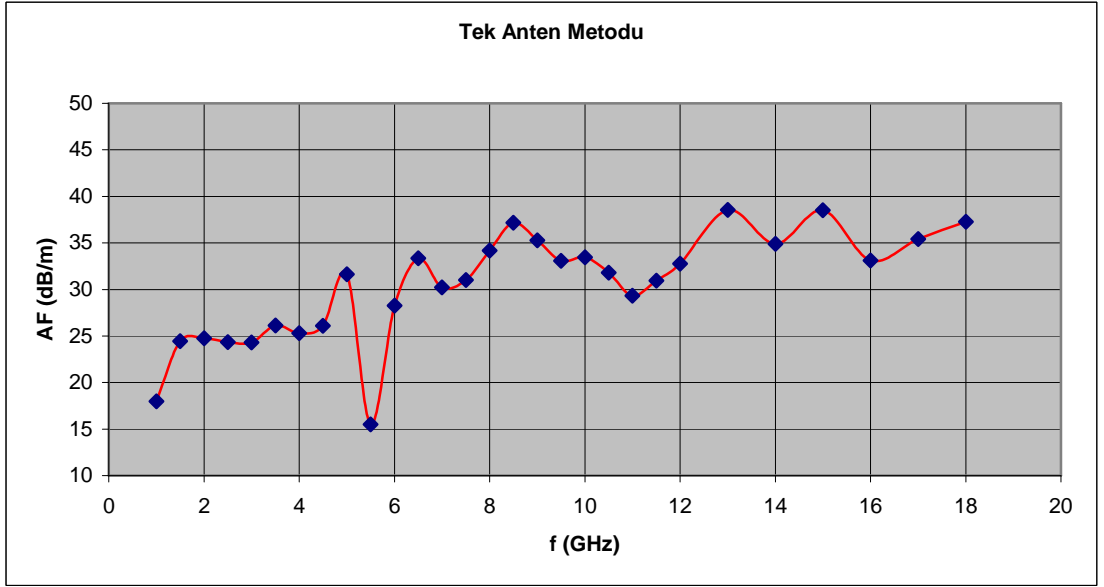
Tek Anten Metodu, İki Anten Metodu'ndan türetilmiştir. İki Anten Metodu'yla oluşturulan deney düzeneği, araya yansımali bir yüzey (3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı 20 mm)) konularak ikiye bölünmüş ve deney düzeneğinin simetrisi elde edilmiştir. Böylece verici anten, yansımali yüzeyin arkasında oluşturulmuş hayali antenden dolayı aynı zamanda alıcı anten vazifesini de görmüştür. Böylece, kazancı ve de anten faktörü hesaplanacak tek bir antene ihtiyaç olur. Bu durum ölçüm belirsizliğinin düşürülmesine neden olmaktadır. Esas anten ile hayali anten arasındaki mesafe, yansımali yüzeyden alınan mesafenin iki katıdır.



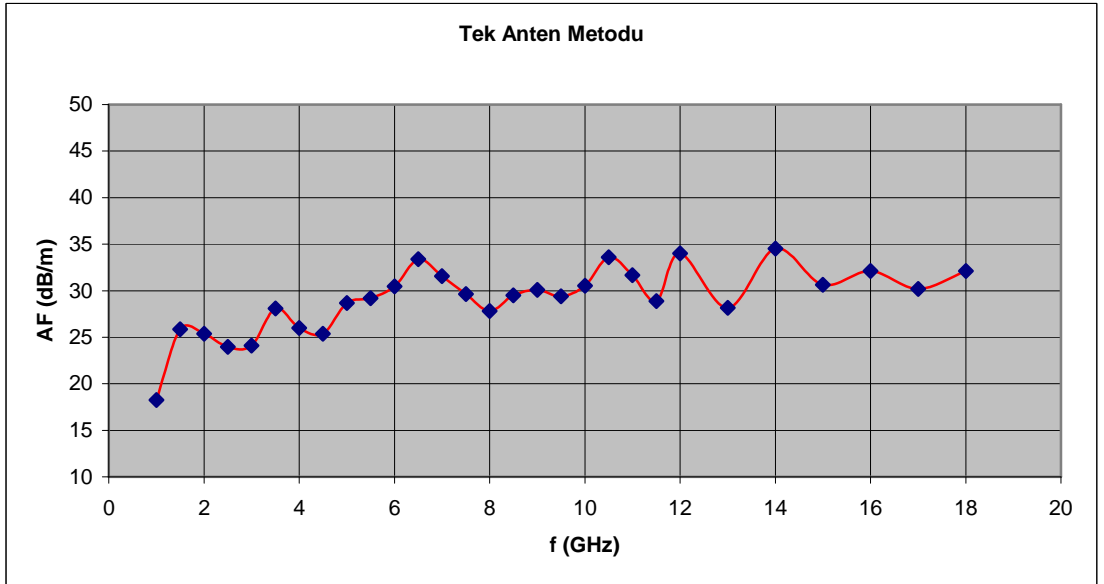
Şekil 5.20: Tek anten metodu deney düzeneği (3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka, kalınlık 20 mm)



Şekil 5.21: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 0,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

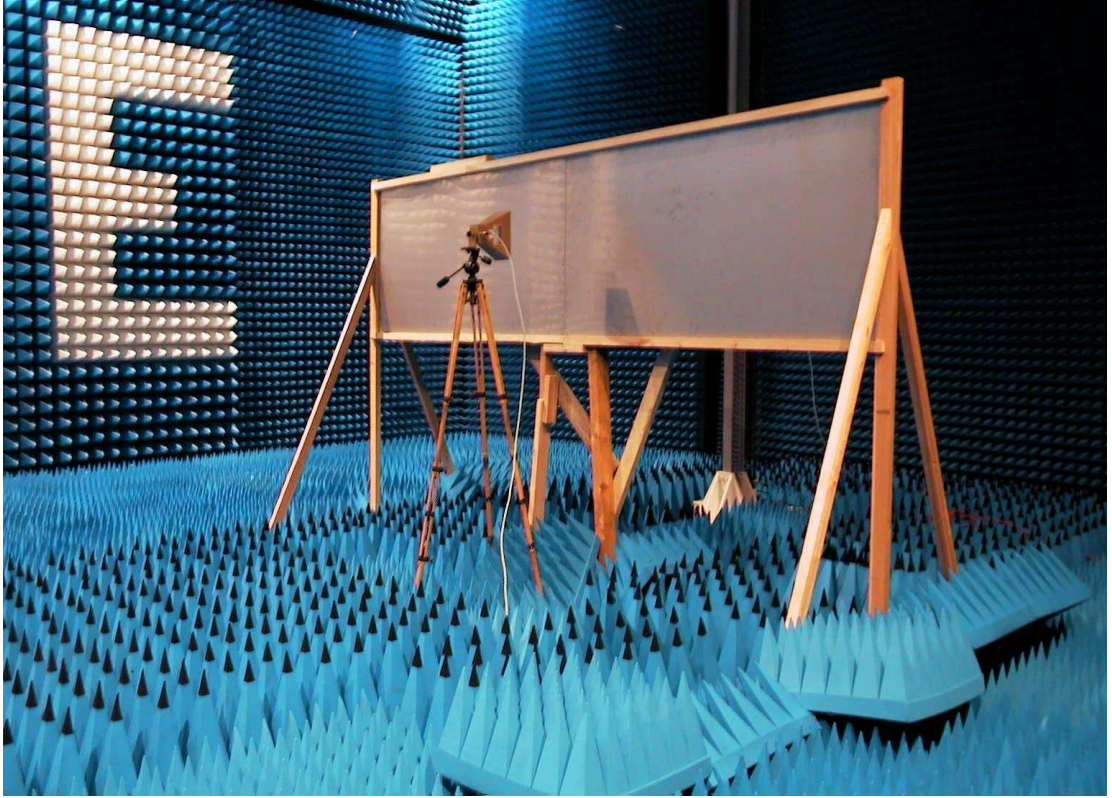


Şekil 5.22: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

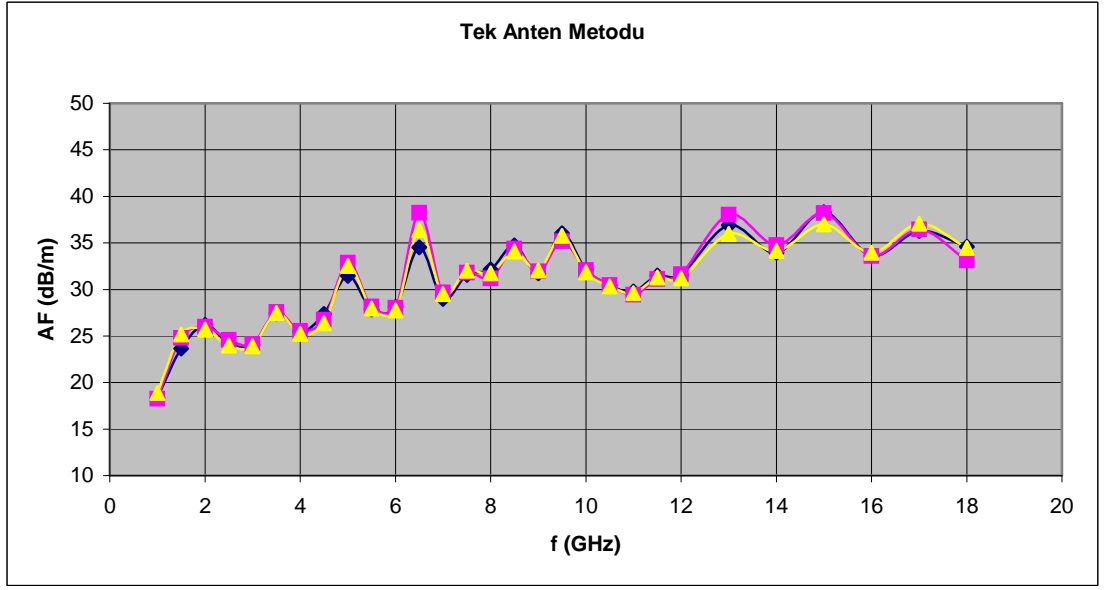


Şekil 5.23: Tek anten metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m'dir

Tek Anten Metodu, İki Anten Metodu'ndan türetilmiştir. İki Anten Metodu'yla oluşturulan deney düzeneği, araya yansımali bir yüzey (4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm)) konularak ikiye bölünmüş ve deney düzeneğinin simetrisi elde edilmiştir. Böylece verici anten, yansımali yüzeyin arkasında oluşturulmuş hayali antenden dolayı aynı zamanda alıcı anten vazifesini de görmüştür. Böylece, kazancı ve de anten faktörü hesaplanacak tek bir antene ihtiyaç olur. Bu durum ölçüm belirsizliğinin düşürülmesine neden olmaktadır. Esas anten ile hayali anten arasındaki mesafe, yansımali yüzeyden alınan mesafenin iki katıdır.



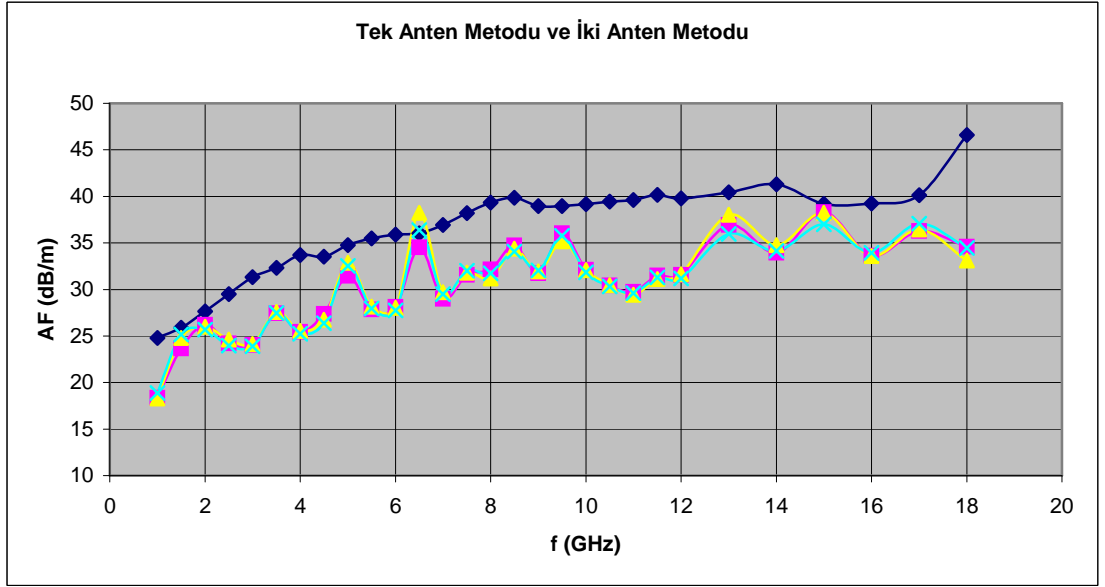
Şekil 5.24: Tek Anten Metodu deney düzeneği (4 m x 1 m paslanmaz çelik, kalınlık 2 mm)



- deney mesafesi 0,5 m
- deney mesafesi 1 m
- deney mesafesi 1,5 m

Şekil 5.25: Tek Anten Metodu, 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m

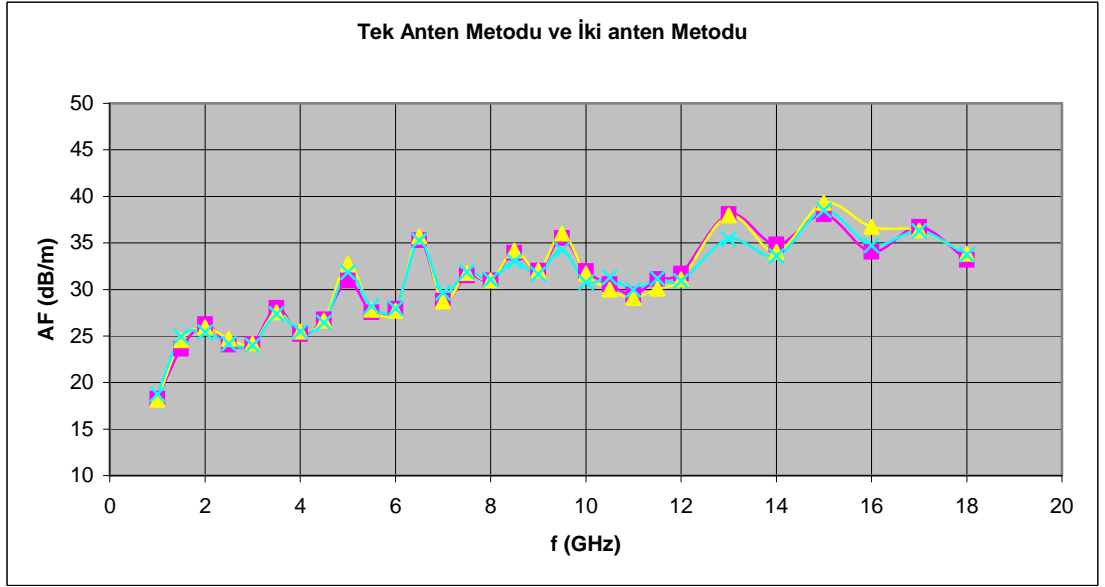
2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka kullanılmıştır. Anten ile yansıtıcı yüzey (hayali görüntü) arasındaki mesafe değiştirilmesine rağmen (gerçek test mesafeleri 1 m, 2 m ve 3 m) anten faktörleri arasındaki değişim ihmal edilebilecek veya ölçüm belirsizliği içerisinde olacak kadardır. Mesafeler tam katları olarak seçildiğinden giden ile gelen sinyaller arasında faz farkı oluşmamıştır.



- İki Anten Metodu ile alınan ölçümler
- deney mesafesi 0,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)

Şekil 5.26: 2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m’de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması

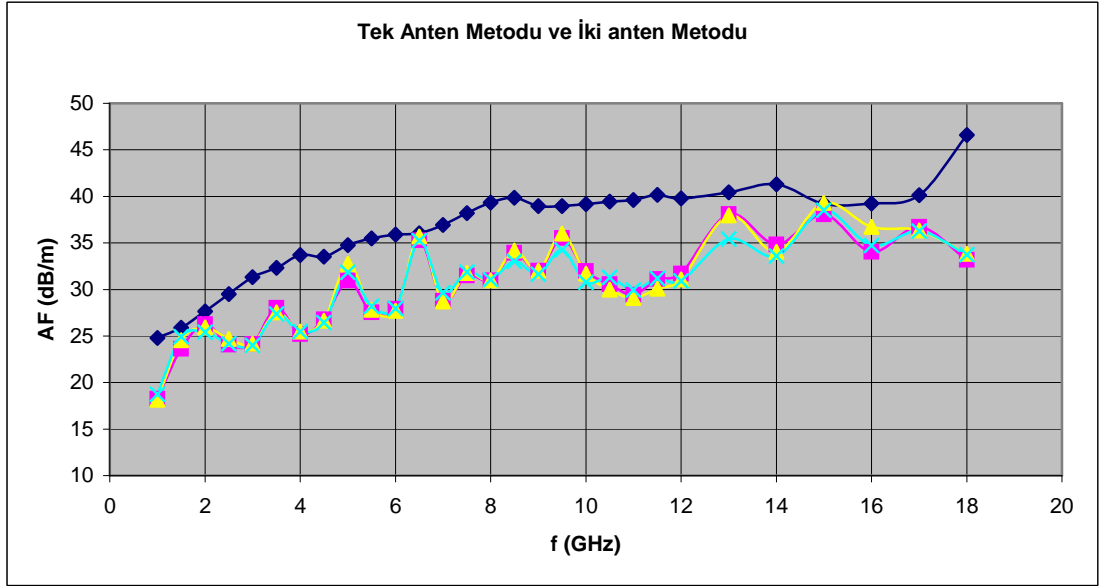
İki Anten Metodu ile Tek Anten Metodu ile alınan ölçümlerdeki farklar, gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasında faz farkının oluşmasındandır. Lakin bazı frekanslarda faz farkının 0 olduğu gözlemlenmektedir. Bu frekanslar, 1,5 GHz, 2 GHz, 5 GHz, 6,5 GHz, 9,5 GHz, 13 GHz ve 15 GHz frekanslarıdır. Diğer frekanslarda ise, gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasında faz farkları oluşmuştur.



- deney mesafesi 0,5 m
- deney mesafesi 1 m
- deney mesafesi 1,5 m

Şekil 5.27: Tek Anten Metodu, 3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka, anten yüksekliği 2 m

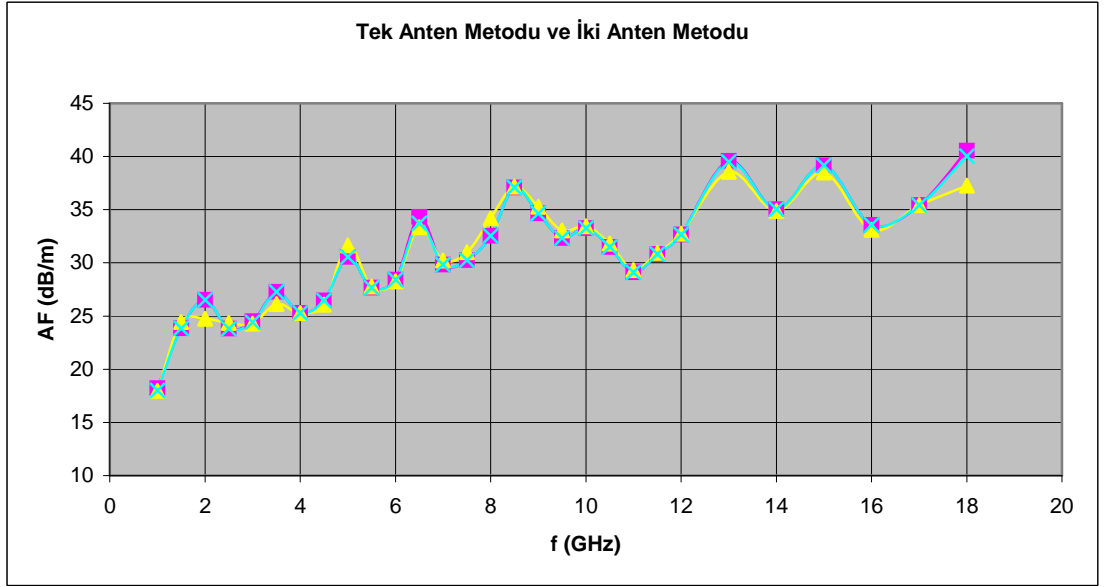
3 m x 1 m galvanizli alüminyum plaka kullanılmıştır. Anten ile yansıtıcı yüzey (hayali görüntü) arasındaki mesafe değiştirilmesine rağmen (gerçek test mesafeleri 1 m, 2 m ve 3 m) anten faktörleri arasındaki değişim ihmal edilebilecek veya ölçüm belirsizliği içerisinde olacak kadardır. Mesafeler tam katları olarak seçildiğinden giden ile gelen sinyaller arasında faz farkı oluşmamıştır.



- İki Anten Metodu ile alınan ölçümler
- deney mesafesi 0,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)

Şekil 5.28: 3 m x1 m galvanizli alüminyum plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m’de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması

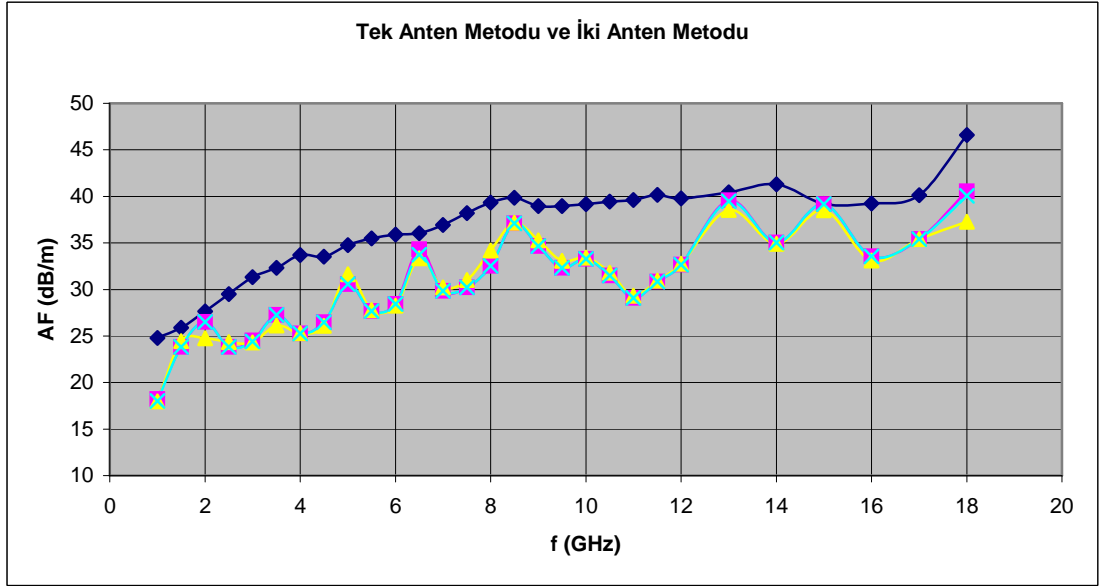
İki Anten Metodu ile Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler arasındaki farklar, gönderilen güç ile gelen güç arasında faz farkının oluşmasındandır. Lakin bazı frekanslarda faz farkının 0 olduğu gözlemlenmektedir. Bu frekanslar, 1,5 GHz, 2 GHz, 5 GHz, 6,5 GHz, 9,5 GHz, 13 GHz ve 15 GHz frekanslarıdır. Diğer frekanslarda ise, gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasında faz farkları oluşmuştur.



- deney mesafesi 0,5 m
- deney mesafesi 1 m
- deney mesafesi 1,5 m

Şekil 5.29: Tek Anten Metodu, 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m

4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka kullanılmıştır. Anten ile yansıtıcı yüzey (hayali görüntü) arasındaki mesafe değiştirilmesine rağmen (gerçek test mesafeleri 1 m, 2 m ve 3 m) anten faktörleri arasındaki değişim ihmal edilebilecek veya ölçüm belirsizliği içerisinde olacak kadardır. Mesafeler tam katları olarak seçildiğinden giden ile gelen sinyaller arasında faz farkı oluşmamıştır.



- İki Anten Metodu ile alınan ölçümler
- deney mesafesi 0,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)
- deney mesafesi 1,5 m (Tek Anten Metodu ile alınan ölçümler)

Şekil 5.30: 4 m x 1 m paslanmaz çelik plaka, anten yüksekliği 2 m, 0,5 m, 1 m ve 1,5 m’de yapılan Tek Anten Metodu ölçümleri ve İki Anten Metodu ile karşılaştırılması

İki Anten Metodu ile Tek Anten Metodu ile alınan ölçümlerdeki farklar, gönderilen güç ile gelen güç arasında faz farkının oluşmasındandır. Lakin bazı frekanslarda faz farkının 0 olduğu gözlemlenmektedir. Bu frekanslar, 1,5 GHz, 2 GHz, 5 GHz, 6,5 GHz, 8,5 GHz, 13 GHz ve 15 GHz frekanslarıdır. Diğer frekanslarda ise, gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasında faz farkları oluşmuştur.

6. ÖLÇÜM BELİRSİZLİKLERİ

6.1. İki Anten Metodu İçin Ölçüm Belirsizliği

6.1.1. Model fonksiyonun tanımlanması

$$AF = U_A^{SpA} + U_f^{SpA} + U_f^{no-prescan} + U_A^{SS} + U_f^{SG} + U_G^{AMP} + U_L^{Cables} + U_{VSWR}^{XMT} + U_{VSWR}^{RCV} + U_{Site \& System} + U^{phase \ center} + U^{directivity} + U^{pattern} + Ah + Ad + U_{rept.}$$

Tüm belirsizlik hesapları ANSI C63.5-2006 standardı uyarınca hesaplanmıştır.

6.1.2. Belirsizlik bileşenleri

Tablo 6.1: İki Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri

Bileşen Sembölü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
AF	Anten faktörü	dB/m	Bu ölçülen değerdir, yani sonuçtur.
U_A^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
$U_f^{no-prescan}$	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	Ön taramasız frekans metodunun frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_A^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_G^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	Eğer bir yükseltici kullanılırsa, yükseltici kazancının sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
U_L^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	Kablo kaybının sıcaklık, nem v.b etkilerden değerinin değişmesinden kaynaklanan belirsizlik.
U_{VSWR}^{XMT}	Verici kısım empedans uyumsuzluğu	dB	Verici kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik

Tablo 6.1: İki Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri (devamı)

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
U_{VSWR}^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	Alıcı kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik
$U_{Site \& System}$	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	Alanın ideal olmamasından ve sistemin tekrar üretilebilir olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{phase \ center}$	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	Antenin faz merkezinin sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{directivity}$	Anten yönlendiriciliği	dB	Anten yönlendiriciliğinden kaynaklanan belirsizlik
$U_{pattern}$	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	Verici desenin dipol' den farklı olmasından kaynaklanan belirsizlik
Ah	Anten-Yüksekliği	dB	Antenin metal yüzey ile olan istenmeyen ilişkisinden kaynaklanan hata
Ad	Ölçüm-Mesafesi	dB	Ölçüm mesafesinden kaynaklanan hata
$U_{rept.}$	Tekrarlanabilirlik	dB	Ard arda yapılan 10 ölçüm sonucundan çıkarılan standart sapmadan tespit edilir.

6.1.3. Belirsizlik bütçesi tablosu

Tablo 6.2: İki Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Değeri	Dağılımı	Bölücü	Duyarlılık Katsayısı (C _i)	Belirsizlik Bileşeni (U _i)	Belirsizlik Bileşenin Karesi (U _i ^ 2)
U _A ^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _f ^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _f ^{no-prescan}	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _A ^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _f ^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _G ^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _L ^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	0	Dikdörtgen	1,732	1	0	0
U _{VSWR} ^{XMT}	Verici kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U _{VSWR} ^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U _{Site & System}	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	0	Normal 1	1	1	0	0
U _{phase center}	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _{directivity}	Anten yönlendiriciliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _{pattern}	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _h	Anten-Yüksekliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _d	Ölçüm-Mesafesi	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
*U _{rept.}	Tekrarlanabilirlik	dB	U(E _{beklenen.}) E _{ölçülen}	Normal 1	1	1	-	U(E _{beklenen.}) E _{ölçülen}

Bileşik Standart Belirsizlik : 0.55 dB

Genişletilmiş Belirsizlik : 1.1 dB

6.2. Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) İçin Ölçüm Belirsizliği

6.2.1. Model fonksiyonun tanımlanması

$$AF = U_A^{SpA} + U_f^{SpA} + U_f^{no-prescan} + U_A^{SS} + U_f^{SG} + U_G^{AMP} + U_L^{Cables} + U_{VSWR}^{XMT} + U_{VSWR}^{RCV} + U^{Site \& System} + U^{phase\ center} + U^{directivity} + U^{pattern} + Ah + Ad + U_{rept.}$$

Tüm belirsizlik hesapları ANSI C63.5-2006 standardı uyarınca hesaplanmıştır.

6.2.2. Belirsizlik bileşenleri

Tablo 6.3: Standart Saha Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
AF	Anten faktörü	dB/m	Bu ölçülen değerdir, yani sonuçtur.
U_A^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
$U_f^{no-prescan}$	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	Ön taramasız frekans metodunun frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_A^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_G^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	Eğer bir yükseltici kullanılırsa, yükseltici kazancının sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
U_L^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	Kablo kaybının sıcaklık, nem v.b etkilerden değerinin değişmesinden kaynaklanan belirsizlik.
U_{VSWR}^{XMT}	Verici kısımdaki empedans uyumsuzluğu	dB	Verici kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik

Tablo 6.3: Standart Saha Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri (devamı)

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
U_{VSWR}^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	Alıcı kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik
$U_{Site \& System}$	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	Alanın ideal olmamasından ve sistemin tekrar üretilebilir olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{phase \ center}$	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	Antenin faz merkezinin sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{directivity}$	Anten yönlendiriciliği	dB	Anten yönlendiriciliğinden kaynaklanan belirsizlik
$U_{pattern}$	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	Verici desenin dipol' den farklı olmasından kaynaklanan belirsizlik
Ah	Anten-Yüksekliği	dB	Antenin metal yüzey ile olan istenmeyen ilişkisinden kaynaklanan hata
Ad	Ölçüm-Mesafesi	dB	Ölçüm mesafesinden kaynaklanan hata
$U_{rept.}$	Tekrarlanabilirlik	dB	Ard arda yapılan 10 ölçüm sonucundan çıkarılan standart sapmadan tespit edilir.

6.2.3. Belirsizlik bütçesi tablosu

Tablo 6.4: Standart Saha Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Değeri	Dağılımı	Bölücü	Duyarlılık Katsayısı (C _i)	Belirsizlik Bileşeni (U _i)	Belirsizlik Bileşenin Karesi (U _i ^ 2)
U _A ^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _f ^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _f ^{no-prescan}	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _A ^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _f ^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _G ^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _L ^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	0	Dikdörtgen	1,732	1	0	0
U _{VSWR} ^{XMT}	Verici kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U _{VSWR} ^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U ^{Site & System}	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	0	Normal 1	1	1	0	0
U ^{phase center}	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U ^{directivity}	Anten yönlendiriciliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U ^{pattern}	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _h	Anten-Yüksekliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _d	Ölçüm-Mesafesi	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
*U _{rept.}	Tekrarlanabilirlik	dB	U(E _{beklenen}) E _{ölçülen}	Normal 1	1	1	-	U(E _{beklenen}) E _{ölçülen}

Bileşik Standart Belirsizlik : 0.55 dB

Geniştirilmiş Belirsizlik : 1.1 dB

6.3. Tek Anten Metodu İçin Ölçüm Belirsizliği

6.3.1. Model fonksiyonun tanımlanması

$$AF = U_A^{SpA} + U_f^{SpA} + U_f^{no-prescan} + U_A^{SS} + U_f^{SG} + U_G^{AMP} + U_L^{Cables} + U_{VSWR}^{XMT} + U_{VSWR}^{RCV} + U^{Site \& System} + U^{phase center} + U^{directivity} + U^{pattern} + Ah + Ad + U_{rept.}$$

Tüm belirsizlik hesapları ANSI C63.5-2006 standardı uyarınca hesaplanmıştır.

6.3.2. Belirsizlik bileşenleri

Tablo 6.5: Tek Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
AF	Anten faktörü	dB/m	Bu ölçülen değerdir, yani sonuçtur.
U_A^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
$U_f^{no-prescan}$	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	Ön taramasız frekans metodunun frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_A^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı genlik hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_f^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	İşaret kaynağı frekans hassasiyetinden kaynaklanan belirsizlik.
U_G^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	Eğer bir yükseltici kullanılırsa, yükseltici kazancının sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
U_L^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	Kablo kaybının sıcaklık, nem v.b etkilerden değerinin değişmesinden kaynaklanan belirsizlik.
U_{VSWR}^{XMT}	Verici kısımdaki empedans uyumsuzluğu	dB	Verici kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik

Tablo 6.5: Tek Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bileşenleri (devamı)

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Açıklama
U_{VSWR}^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	Alıcı kısımdaki empedans uyumsuzluğundan kaynaklanan belirsizlik
$U_{Site \& System}$	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	Alanın ideal olmamasından ve sistemin tekrar üretilebilir olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{phase \ center}$	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	Antenin faz merkezinin sabit olmamasından kaynaklanan belirsizlik.
$U_{directivity}$	Anten yönlendiriciliği	dB	Anten yönlendiriciliğinden kaynaklanan belirsizlik
$U_{pattern}$	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	Verici desenin dipol' den farklı olmasından kaynaklanan belirsizlik
Ah	Anten-Yüksekliği	dB	Antenin metal yüzey ile olan istenmeyen ilişkisinden kaynaklanan hata
Ad	Ölçüm-Mesafesi	dB	Ölçüm mesafesinden kaynaklanan hata
$U_{rept.}$	Tekrarlanabilirlik	dB	Ard arda yapılan 10 ölçüm sonucundan çıkarılan standart sapmadan tespit edilir.

6.3.3. Belirsizlik bütçesi tablosu

Tablo 6.6 Tek Anten Metodu için hesaplanmış belirsizlik bütçesi tablosu

Bileşen Sembolü	Bileşen Adı	Birimi	Değeri	Dağılımı	Bölücü	Duyarlılık Katsayısı (C _i)	Belirsizlik Bileşeni (U _i)	Belirsizlik Bileşenin Karesi (U _i ^ 2)
U _A ^{SpA}	Spektrum analizörü genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _F ^{SpA}	Spektrum analizörü frekans aralık (span) hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _F ^{no-prescan}	Ön taramasız frekans metodu, frekans hassasiyeti	dB	0,2	Dikdörtgen	1,732	1	0,12	0,0144
U _A ^{SS}	İşaret kaynağı genlik hassasiyeti	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _F ^{SG}	İşaret kaynağı frekans hassasiyeti	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _G ^{AMP}	Yükseltici kazanç durağanlığı	dB	0,5	Dikdörtgen	1,732	1	0,29	0,085
U _L ^{Cables}	Kablo kaybı değişimleri	dB	0	Dikdörtgen	1,732	1	0	0
U _{VSWR} ^{XMT}	Verici kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U _{VSWR} ^{RCV}	Alıcı kısım empedans uyumsuzluğu	dB	0,1	U şekli	1,414	1	0,07	0,0049
U _{Site & System}	Alanının ideal olmaması ve sistem tekrar üretilebilirliği	dB	0	Normal 1	1	1	0	0
U _{phase center}	Antenin faz merkezindeki değişimler	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _{directivity}	Anten yönlendiriciliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
U _{pattern}	Verici desenin dipol' den farklılığı	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _h	Anten-Yüksekliği	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
A _d	Ölçüm-Mesafesi	dB	0,1	Dikdörtgen	1,732	1	0,058	0,0033
*U _{rept.}	Tekrarlanabilirlik	dB	U(E _{beklenen}) E _{ölçülen}	Normal 1	1	1	-	U(E _{beklenen}) E _{ölçülen}

Bileşik Standart Belirsizlik : 0.55 dB

Genişletilmiş Belirsizlik : 1.1 dB

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Anten kalibrasyonları, ANSI C63.5-2006 standardına göre iki temel metot ile yapılmaktadır. Bunlar:

Standart Saha Metodu (30 MHz-40 GHz), açık alan test sahasında yapılan bir metottur. 30 MHz-1 GHz frekans aralığında üç özdeş anten kullanılarak yapılır. 1 GHz-40 GHz frekans aralığında ise horn antenler kalibre edilir. İçeriye girme kayıpları ayrı ayrı bulunarak üç ayrı denklem oluşturulur ve bu denklemlerden AF değerleri çıkartılır.

Referans Anten Methodu (30 MHz-1 GHz), açık alan test sahasında kullanılan bir metottur. Standart dipol antenler kullanılarak yapılan bir kalibrasyondur.

Ayrıca anten kalibrasyonları, SAE-ARP 958D standardına göre 1 metre mesafede iki anten kullanılarak yapılmaktadır. İki antene ihtiyaç duyulmakta olup antenlerin girişlerindeki ve çıkışlarındaki gerilim ifadelerine bağlıdır.

Yukarıda belirtilmiş üç metotta da kalibre edilecek antenin dışında referans antenlere veya özdeş antenlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Aksine tek anten metodunda ise sadece yansıtıcı bir yüzey yeterli olmaktadır. Bu durum, laboratuvar maliyetlerini ve cihaz sayısını düşürmektedir.

Standart Saha Metodu (Üç Anten Metodu) ile İki anten Metodu ile yapılan anten kalibrasyonu ölçümlerinde, anten faktörü değerlerinin ölçüm belirsizlikleri içerisinde birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Tek Anten Metodu'nda ise farklı plakalar ve test mesafeleri kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Farklı plakalar kullanılarak anten faktörü değerlerinin

değişimleri gözlenmiştir. Sonuçların ölçüm belirsizlikleri içerisinde birbirine çok yakın olduğu görülmüş ve teorikteki sonsuz uzunluk ve genişlikte plakaya ihtiyaç olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca test mesafeleri değiştirilerek uzaklığın etkisi incelenmiştir. Bütün plakalarda uzaklığın ölçümlere etki yapmadığı görülmüştür.

Lakin Tek Anten Metodu ile yapılan ölçümler, diğer iki metot ile karşılaştırıldığında bazı frekanslarda (1,5 GHz, 2 GHz, 5 GHz, 6,5 GHz, 9,5 GHz, 13 GHz ve 15 GHz) anten faktörü değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve diğer frekanslarda ise sapmaların olduğu ortaya çıkmıştır. Diğer frekanslardaki sapmaların nedeni ise gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasında faz farkları oluşmasındandır.

Bu faz farklarını irdelemek için aşağıda belirtilen konularda çalışmalar ve iyileştirmeler yapılmalıdır.

- Tek Anten Metodu ile yapılan ölçümler vektörel network analizör ile tekrarlanmalıdır. s_{11} yansıma katsayıları, iletilen sinyal ile yansıyan sinyal arasındaki faz farkı ölçülmelidir. Bunun için bir vektörel network analizör alınmalıdır.
- Faz farklarının oluşmasındaki nedenler araştırılmalıdır.
- Ölçümlerin tekrarlanabilirliği ve doğruluğu sağlanmalıdır.
- Ölçümler, Açık Alan Test Sahası'nda tekrar edilerek, ölçüm sonuçlarına etkileri ve ölçüm belirsizliklerindeki değişimler gözlemlenmelidir.
- Ölçümler, 18 GHz - 40 GHz frekans aralığını da kapsayacak şekilde yapılmalıdır. Bunun için üç özdeş horn anten alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1]. Collin, R., “Antennas And Radiowave Propagation”, *McGraw-Hill International Editions*, (1976).
- [2]. Kraus, J., “Antennas”, *McGraw-Hill International Editions*, (1988).
- [3]. Kraus, J., “Electromagnetics”, *McGraw-Hill International Editions*, (1988).
- [4]. Balanis, C., “Advanced Engineering Electromagnetics”, *John Wiley & Sons, Inc*, (1989).
- [5]. Balanis, C., “Antenna Theory”, *John Wiley & Sons, Inc*, (1997).
- [6]. ANSI C63.5-2006, “American National Standard for Electromagnetic Compatibility-Radiated Emission Measurements in Electromagnetic Interference (EMI) Control-Calibration of Antennas (9 kHz to 40 GHz)”, *ANSI*, (2006).
- [7]. SAE ARP958-D, “Electromagnetic Interference Measurement Antennas; Standard Calibration”, *SAE4*, (1999).
- [8]. Akaya, İ., “Anten Teorisine Giriş”, *İTÜ Yayınları*, (1989).
- [9]. Akaya, İ., “Antenler Ve Propagasyon”, *Sistem Yyayıcılık*, (1997).
- [10]. F. M. Grene, “NBS Field_Strength Standards and Measurements”, *IEEE Press*, (1967).
- [11]. R. R. Bowman “Measurement Procedures for Standard Antennas”, *IEEE Press*, (1967).
- [12]. A. A. Smith Jr, “Standard-Site Method for Determining Antenna Factors”, *IEEE Press*, (1982).
- [13]. W. S. Bennet, “Properly Applied Antenna Factors”, *IEEE Press*, (1986).
- [14]. M. .J. Salter, M. J. Alaxander, “EMC Antenna Calibration and the Design of an Open-Field Site”, *Measurement Science Technology*, (1991).
- [15]. C. F. Stubenrauch, A. C. Newell, A. G. Repjar, “International Intercomparison of Horn Gain at X-Band”, *IEEE Press*, (1996).

- [16]. B. G. Loader, M. J. Alaxander, M. J. Salter, “Reduced Measurement Uncertainty in the Frequency Range 500 MHz to 1 GHz Using a Calculable Dipol Antenna”, *IEE Press*, (1997).
- [17]. J. Glimm, R. Harms, K. Munter, M. Spitzer, R. Pape, “A Single-Antenna Method for Traceable Antenna Gain Measurement”, *IEEE Press*, (1999).
- [18]. B. N. Prakash, K. R. Suresh “A Practical Method for Calibrating Antennas”, *SEMCEI Press*, (1999).
- [19]. J. Glimm, K. Munter, R. Pape, M. Spitzer “Traceable Antenna-Gain Measurement in a Single-Antenna Setup”, *IEEE Press*, (2000).
- [20]. J. D. Krieger, E. H. Newman, I. J. Gupta “The Single Antenna Method of Antenna Gain and Phase”, *IEEE Press*, (2006).
- [21]. H. Bartik “Antenna Gain Measurement Using the Mirror Method in Time Domain”, *Elmag Press*.
- [22]. T. Matsui, A. Kagatsuka “Wide Band Horn Calibration by the Three antenna Method”.

EKLER

EK-A İki Anten Metodu

İKİ ANTEN METODU (Mesafe 1 m)													
Frekans (GHz)	ES257C Sinyal Kaynağı (dBm) VT	ESIB40 EMI Altes (dBm)	ES257C Sinyal Kaynağı (dBm) VR	ESIB40 EMI Altes (dBm)	PT (watt)	VT (volt)	PR (watt)	VR (volt)	G (numerik)	G (dB)	AF (dBm)	Frekans (GHz)	
1,0	20,00	-10,29	-1,56	-10,29	0,10	2,24	0,000495	0,19	3,49	5,43	30,22	24,79	1,0
1,5	20,00	-9,52	-0,29	-9,52	0,10	2,24	0,000935	0,22	6,08	7,84	33,74	25,90	1,5
2,0	20,00	-11,08	-1,27	-11,08	0,10	2,24	0,000746	0,19	7,24	8,60	36,24	27,64	2,0
2,5	20,00	-13,50	-3,05	-13,50	0,10	2,24	0,000495	0,16	7,37	8,68	38,18	29,50	2,5
3,0	20,00	-16,21	-5,14	-16,21	0,10	2,24	0,000306	0,12	6,95	8,42	39,76	31,34	3,0
3,5	20,00	-17,10	-5,75	-17,10	0,10	2,24	0,000266	0,12	7,56	8,79	41,10	32,31	3,5
4,0	20,00	-19,44	-7,33	-19,44	0,10	2,24	0,000183	0,10	7,21	8,58	42,26	33,68	4,0
4,5	20,00	-18,31	-6,02	-18,31	0,10	2,24	0,000250	0,11	9,43	9,74	43,28	33,54	4,5
5,0	20,00	-20,01	-7,53	-20,01	0,10	2,24	0,000177	0,09	8,80	9,45	44,20	34,75	5,0
5,5	20,00	-20,41	-8,17	-20,41	0,10	2,24	0,000152	0,09	8,99	9,54	45,03	35,49	5,5
6,0	20,00	-21,02	-8,24	-21,02	0,10	2,24	0,000150	0,09	9,73	9,88	45,78	35,90	6,0
6,5	20,00	-20,98	-7,81	-20,98	0,10	2,24	0,000166	0,09	11,08	10,45	46,48	36,03	6,5
7,0	20,00	-21,21	-8,93	-21,21	0,10	2,24	0,000128	0,08	10,49	10,21	47,12	36,91	7,0
7,5	20,00	-21,63	-10,94	-21,63	0,10	2,24	0,000081	0,06	8,92	9,50	47,72	38,22	7,5
8,0	20,00	-29,26	-12,61	-29,26	0,10	2,24	0,000065	0,05	7,83	8,95	48,28	39,33	8,0
8,5	20,00	-29,98	-13,15	-29,98	0,10	2,24	0,000048	0,05	7,83	8,94	48,81	39,87	8,5
9,0	20,00	-26,95	-10,86	-26,95	0,10	2,24	0,000082	0,06	10,80	10,33	49,30	38,97	9,0
9,5	20,00	-27,31	-10,34	-27,31	0,10	2,24	0,000092	0,07	12,10	10,83	49,77	38,95	9,5

İKİ ANTEN METODU (Mesafe 1 m)													
Frekans (GHz)	E8257C Sinyal Kaynağı (dBm) VT	ESIB40 EMI Abacı (dBm)	E8257C Sinyal Kaynağı (dBm) VR	ESIB40 EMI Abacı (dBm)	PT (watt)	VT (volt)	PR (watt)	VR (volt)	G (numerik)	G (dB)	AF (dB/m)	Frekans (GHz)	
10,0	20,00	-27,14	-10,34	-27,14	0,10	2,24	0,000092	0,07	12,74	11,05	50,22	39,17	10,0
10,5	20,00	-28,21	-10,43	-28,21	0,10	2,24	0,000091	0,07	13,24	11,22	50,64	39,43	10,5
11,0	20,00	-27,61	-10,43	-27,61	0,10	2,24	0,000091	0,07	13,87	11,42	51,05	39,63	11,0
11,5	20,00	-27,98	-11,13	-27,98	0,10	2,24	0,000077	0,06	13,37	11,26	51,43	40,17	11,5
12,0	20,00	-26,96	-10,00	-26,96	0,10	2,24	0,000100	0,07	15,90	12,01	51,80	39,79	12,0
13,0	20,00	-28,31	-10,62	-28,31	0,10	2,24	0,000087	0,07	16,03	12,05	52,50	40,45	13,0
14,0	20,00	-31,68	-11,66	-31,68	0,10	2,24	0,000068	0,06	15,32	11,85	53,14	41,29	14,0
15,0	20,00	-28,36	-6,89	-28,36	0,10	2,24	0,000205	0,10	28,42	14,54	53,74	39,20	15,0
16,0	20,00	-26,81	-6,42	-26,81	0,10	2,24	0,000228	0,11	32,00	15,05	54,30	39,25	16,0
17,0	20,00	-35,81	-7,67	-35,81	0,10	2,24	0,000171	0,09	29,45	14,69	54,83	40,14	17,0
18,0	20,00	-41,96	-20,09	-41,96	0,10	2,24	0,000010	0,02	7,46	8,73	55,33	46,60	18,0

Tek Anten Metodu (2 m x 1 m paslanmaz çelik plaka (kalınlığı 2 mm), deney mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m)

Frekans (GHz)	EIRP57C Sıvı (dBm)	TEK ANTEN METODU										PT (W)	PR (W)	G	G (dB)	AT (dBm)					
		ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)	ESB40 EMI Alan (dBm)										
1.0	20.00	-2.78	12.78	3.00	15.70	9	100	50	30	100	50	30	100	47.29	0.004036	0.03794	0.33	13.68	30.22	11.36	18.06
1.5	20.00	-2.48	15.48	3.05	18.53	9	100	50	30	100	50	30	100	62.83	0.00940	0.07125	0.11	2.21	33.74	8.32	25.16
2.0	20.00	-3.42	16.42	3.09	19.51	9	100	50	30	100	50	30	100	83.78	0.00163	0.08931	0.14	11.39	36.24	16.57	25.67
2.5	20.00	-3.46	15.46	3.39	18.85	9	100	50	30	100	50	30	100	104.72	0.00484	0.07676	0.23	26.37	38.18	14.21	23.97
3.0	20.00	-2.18	15.38	3.47	18.65	9	100	50	30	100	50	30	100	125.66	0.00690	0.07382	0.31	38.70	39.95	13.88	23.89
3.5	20.00	-2.20	15.20	3.52	18.72	9	100	50	30	100	50	30	100	146.61	0.001854	0.07403	0.16	23.13	41.10	13.64	27.46
4.0	20.00	-2.12	15.12	3.52	18.64	9	100	50	30	100	50	30	100	167.55	0.00622	0.07314	0.30	56.43	42.26	17.03	25.23
4.5	20.00	-1.68	14.68	3.67	18.35	9	100	50	30	100	50	30	100	188.50	0.00656	0.08281	0.26	49.18	43.28	16.92	26.37
5.0	20.00	-2.05	15.05	3.61	18.66	9	100	50	30	100	50	30	100	209.44	0.00393	0.07351	0.07	14.73	44.20	11.68	32.30
5.5	20.00	-1.79	14.79	3.74	18.55	9	100	50	30	100	50	30	100	230.38	0.00599	0.07185	0.22	51.04	45.03	17.06	27.95
6.0	20.00	-1.60	14.68	3.80	18.48	9	100	50	30	100	50	30	100	251.33	0.00459	0.07069	0.25	63.71	45.78	18.04	27.74
6.5	20.00	-1.75	14.75	3.85	18.60	9	100	50	30	100	50	30	100	272.27	0.00103	0.07344	0.04	10.24	46.48	10.11	36.37
7.0	20.00	-0.49	12.51	7.10	18.61	9	100	50	30	100	50	30	100	293.22	0.00356	0.08411	0.20	57.83	47.12	17.62	29.50
7.5	20.00	-0.75	12.25	7.02	18.27	9	100	50	30	100	50	30	100	314.16	0.00180	0.08628	0.12	37.32	47.72	15.70	32.02
8.0	20.00	-0.85	12.15	7.17	18.32	9	100	50	30	100	50	30	100	335.10	0.001545	0.08507	0.13	45.05	48.28	16.54	31.74
8.5	20.00	-0.91	12.09	7.11	18.20	9	100	50	30	100	50	30	100	356.05	0.00033	0.08376	0.08	29.82	48.81	14.75	34.06
9.0	20.00	-0.75	12.85	6.84	18.89	9	100	50	30	100	50	30	100	376.99	0.001542	0.07746	0.14	53.39	49.39	17.26	32.05
9.5	20.00	-0.42	12.28	6.41	18.91	9	100	50	30	100	50	30	100	397.94	0.000378	0.07920	0.09	24.39	49.77	14.01	35.76
10.0	20.00	-0.50	12.50	6.29	18.79	9	100	50	30	100	50	30	100	418.88	0.00032	0.07583	0.16	48.64	50.22	18.37	31.85
10.5	20.00	-0.56	12.44	6.30	18.74	9	100	50	30	100	50	30	100	439.82	0.00488	0.07487	0.25	107.84	50.64	21.38	30.32
11.0	20.00	-0.26	12.24	6.16	18.90	9	100	50	30	100	50	30	100	460.77	0.00112	0.077825	0.30	139.47	51.05	21.44	29.60
11.5	20.00	0.13	13.13	5.25	18.36	9	100	50	30	100	50	30	100	481.71	0.00162	0.08885	0.21	103.23	51.43	20.14	31.30
12.0	20.00	0.38	13.38	4.82	18.20	9	100	50	30	100	50	30	100	502.65	0.00475	0.08689	0.23	112.28	51.80	20.62	31.19
13.0	20.00	-0.16	12.84	5.63	18.47	9	100	50	30	100	50	30	100	544.54	0.00408	0.07807	0.09	44.88	52.50	16.50	35.98
14.0	20.00	-1.59	11.41	8.68	20.09	9	100	50	30	100	50	30	100	586.43	0.00182	0.10204	0.14	79.20	53.14	18.98	34.16
15.0	20.00	-1.17	10.83	7.42	18.25	9	100	50	30	100	50	30	100	628.32	0.00038	0.06684	0.08	47.28	53.74	16.95	36.99
16.0	20.00	-1.07	1.93	6.31	8.24	9	100	50	30	100	50	30	100	670.21	0.00176	0.06682	0.16	108.82	54.30	20.37	33.94
17.0	20.00	-1.72	11.28	6.51	17.79	9	100	50	30	100	50	30	100	712.09	0.00403	0.06017	0.08	59.71	54.83	17.76	37.07
18.0	20.00	-1.05	11.95	6.06	18.01	9	100	50	30	100	50	30	100	753.98	0.001656	0.06541	0.16	122.00	55.33	20.86	34.46

Tek Anten Metodu (3m x 1 m galvanizli alüminyum plaka (kalınlığı 20 mm), deniz mesafesi 1,5 m ve anten yüksekliği 2 m)

Frekans (GHz)	ESG °C	TEK ANTEN METODU																
		ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Forward (A3+10 dB) A4	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	RF Ant Spytow (AUTO) (dB) A10 A11	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3	ESB40 EMI Adu (dBm) h=1.5 m Reverse Eor (A12-10 dB) A3							
1.0	21.00	2.75	12.71	11.0	15.71	9	100	50	30	101	4.28	0.08128	1.07411	0.24	14.00	31.22	11.48	18.73
1.5	21.00	2.47	15.47	1.05	18.51	9	100	50	30	101	4.23	0.07041	1.07121	0.12	7.51	31.74	8.11	24.93
2.0	21.00	3.40	16.40	1.09	19.49	9	100	50	30	101	4.28	0.07031	1.06920	0.14	12.11	36.24	10.31	25.41
2.5	21.00	2.45	15.45	1.19	18.24	9	100	50	30	101	4.16	0.09497	1.07640	0.14	23.27	31.18	14.11	24.15
3.0	21.00	2.17	15.17	1.47	18.64	9	100	50	30	101	4.26	0.09321	1.07314	0.18	37.56	38.76	13.75	24.02
3.5	21.00	2.16	15.16	1.52	18.68	9	100	50	30	101	4.41	0.09195	1.07590	0.14	23.36	41.10	13.71	27.18
4.0	21.00	2.15	15.15	1.52	18.67	9	100	50	30	101	4.39	0.09194	1.07581	0.19	47.77	41.26	16.78	25.47
4.5	21.00	1.65	14.65	1.47	18.21	9	100	50	30	101	4.20	0.09447	1.06760	0.14	48.24	41.28	16.84	26.49
5.0	21.00	2.09	15.09	1.41	18.70	9	100	50	30	101	4.11	0.09444	1.07411	0.18	37.28	41.20	12.77	31.83
5.5	21.00	1.84	14.84	1.74	18.28	9	100	50	30	101	4.09	0.09133	1.07211	0.21	48.19	41.03	14.12	28.20
6.0	21.00	1.60	14.60	1.80	18.42	9	100	50	30	101	4.55	0.09474	1.06970	0.24	60.85	41.74	17.44	27.94
6.5	21.00	1.66	14.66	1.85	18.51	9	100	50	30	101	4.69	0.09171	1.07029	0.15	13.24	46.46	11.35	35.23
7.0	21.00	1.94	14.94	1.70	18.66	9	100	50	30	101	4.18	0.09244	1.06838	0.18	50.08	47.12	17.49	29.61
7.5	21.00	1.14	13.84	1.02	18.88	9	100	50	30	101	4.53	0.09151	1.07288	0.12	38.52	47.22	13.84	31.88
8.0	21.00	1.84	14.84	1.17	19.33	9	100	50	30	101	4.19	0.09144	1.06704	0.14	52.09	46.28	17.24	31.04
8.5	21.00	1.08	13.92	1.11	19.03	9	100	50	30	101	4.65	0.09196	1.07983	0.11	37.09	48.01	13.79	33.02
9.0	21.00	1.25	14.25	1.04	18.79	9	100	50	30	101	4.59	0.09121	1.07583	0.14	58.46	41.30	17.97	31.64
9.5	21.00	1.25	14.25	1.41	18.86	9	100	50	30	101	4.23	0.09324	1.07613	0.18	38.24	43.77	13.64	34.23
10.0	21.00	1.76	14.76	1.24	18.53	9	100	50	30	101	4.18	0.09144	1.07185	0.12	38.02	51.22	19.65	30.77
10.5	21.00	1.82	14.82	1.18	18.48	9	100	50	30	101	4.27	0.09171	1.07049	0.14	64.65	51.64	19.17	31.38
11.0	21.00	1.41	14.29	1.16	18.75	9	100	50	30	101	4.38	0.09194	1.07688	0.14	138.12	51.05	21.18	28.95
11.5	21.00	1.05	13.90	1.25	18.22	9	100	50	30	101	4.12	0.09171	1.06788	0.12	104.34	51.43	20.34	31.17
12.0	21.00	1.25	14.25	1.42	18.35	9	100	50	30	101	4.12	0.09111	1.06831	0.25	123.15	51.80	20.81	30.80
13.0	21.00	1.44	14.56	1.63	18.19	9	100	50	30	101	4.37	0.09171	1.06917	0.19	50.88	51.90	17.17	36.43
14.0	21.00	1.51	14.99	1.88	18.77	9	100	50	30	101	4.41	0.09121	1.06462	0.15	89.79	51.14	19.51	33.61
15.0	21.00	1.69	15.21	1.42	18.73	9	100	50	30	101	4.31	0.09121	1.07645	0.15	33.12	51.74	15.21	38.41
16.0	21.00	1.66	15.34	1.31	18.65	9	100	50	30	101	4.49	0.09185	1.07422	0.11	90.30	54.20	19.54	34.75
17.0	21.00	1.64	15.36	1.36	18.67	9	100	50	30	101	4.37	0.09144	1.07464	0.11	71.70	54.83	18.14	36.77
18.0	21.00	1.56	15.44	1.46	18.70	9	100	50	30	101	4.38	0.09185	1.06834	0.19	144.91	51.33	21.41	33.73

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1]. Hamid R., Çetintaş M., Karacadağ H., “Measurement of Electromagnetic Radiation from GSM Base Stations”, *IEEE International Symposium on EMC*, Istanbul, (2003).

[2]. Hamid R., Çetintaş M., Karacadağ H., “EMC Test Facilities at UME”, *IEEE International Symposium on EMC*, Istanbul, (2003).

[3]. Çetintaş M., Karacadağ H., “Yönlü Anten Kalibrasyon Talimatı”, *UME Talimat, TLM-05-G1ER-04-38*, Haziran (2005).

[4]. Çetintaş M., Karacadağ H., “Semi AC (Yarı Yansımaz Oda) NSA Kalibrasyon Talimatı”, *UME Talimat, TLM-05-G1ER-04-35*, Haziran (2005).

[5]. Çetintaş M., Karacadağ H., “OATS (ASTA) NSA Kalibrasyon Talimatı”, *UME Talimat, TLM-05-G1ER-04-37*, Haziran (2005).

[6]. Çetintaş M., Karacadağ H., “Akım Enjeksiyon Probu Kalibrasyon Talimatı”, *UME Talimat, TLM-05-G1ER-04-36*, Haziran (2005).

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında İzmir’de doğdu. İlk okulu, orta ve lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. 1993 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 1997 yılında Kocaeli Üniversitesi’nden Elektronik ve Haberleşme Mühendisi olarak mezun oldu.

1997 yılında araştırmacı olarak işe başladığı TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü’nde (UME) halen Araştırmacı olarak çalışmaktadır. UME’de, aşağıda belirtilen EMC test ve sistemlerinin kurulmasında, satın alınmasında, çalıştırılmasında ve kullanılmasında bulundu.

1. Açık alan test sahası. Tam yansımaz oda. Ekranlı odalar (4 adet).
2. EMC sistemleri. Askeri standartlar için test ve ölçüm sistemleri, MIL-STD 461E (RS105 hariç). Sivil standartlar için test ve ölçüm sistemleri (EN, Avrupa Normları). Otomotiv endüstrisi için test ve ölçüm sistemleri. Televizyon ve radyo yayın alıcıları için test ve ölçüm sistemleri (tunerler, yükselteçler, ekolayzırlar, araba ses sistemleri, VCD -DVD’ler, vb). Mobil telsiz iletişim ve GSM baz istasyonları için test ve ölçüm sistemleri. Mobil telefonların SAR değerleri için test ve ölçüm sistemleri
3. EMC test ve ölçüm sistemleri. Işımayla bağışıklık. Düşük güç bağışıklık. Işımayla emisyon. İletimle emisyon. TV bağışıklık sistemi. Mobil telefon monitörlemesi. Kısa süreli (Transient). Elektrostatik boşalım (ESD). Güç kalitesi. SAR test sistemi.