T.C

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RADYO FREKANSLARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİĞE GSM BANTLARININ ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Özgür GENÇ

DOKTORA TEZİ

Konya, 2010

ÖZET

Doktora Tezi

RADYO FREKANSLARINDA ELEKTROMANYETİK KİRLİLİĞE GSM BANDLARININ ETKİSİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Özgür GENÇ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet BAYRAK

2010, 132 Sayfa

Jüri: Prof. Dr. Mehmet BAYRAK
Doç. Dr. Salih GÜNEŞ
Yrd. Doç. Dr. B. Sami TEZEKİCİ
Yrd. Doç. Dr. Ercan YALDIZ
Yrd. Doç. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

Bu çalışmada, 3 GHz'e kadar olan radyo frekans spektrumunda ortamdaki elektromanyetik (EM) kirliliğe GSM bandlarının etkisi incelenmiştir. Konu ile ilgili önceki çalışmalardan farklı olarak belirlenen frekans spektrumundaki EM kirliliğe; televizyon vericileri, radyo vericileri ve GSM baz istasyonlarının etkileri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında pilot bölge olarak, Ankara kent merkezinde EM kirlilik kaynaklarının yoğun olarak bulunduğu bölgeler seçilmiştir. Halkın nüfus bakımından kalabalık olduğu bölgelerde çevresel EM kirlilik ölçümü yapılmıştır. Ayrıca radyo-televizyon vericilerinin ve baz istasyonlarının yoğun olarak bulunduğu Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgelerinde de EM kirlilik ölçümleri yapılmıştır.

Bu bölgelerde 75 MHz– 3 GHz frekans spektrumunda SRM3000 cihazı ve izotropik probu ile elektrik alan şiddeti ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ICNIRP'a ait genel alan maruz kalma referans değerleri ile karşılaştırılmış ve EM kirliliğin azaltılması yönünde önerilerde bulunulmuştur.

Ölçümlerde elektrik alan şiddeti (E) değeri ve bir GPS yardımıyla ölçülen noktanın koordinat değeri kaydedilmiştir. Bu şekilde elde edilen elektrik alan şiddeti ve koordinat değerleri Ankara kent merkezine ait sayısal harita üzerine bindirilerek ortamın EM kirlilik dağılım haritaları elde edilmiştir. EM kirlilik haritalarının elde edilmesinde ArcGIS programında; "doğal komşuluk enterpolasyonu" ve "mesafenin tersine göre enterpolasyon" teknikleri kullanılmıştır. Önceki çalışmalardan farklı olarak; ölçülen spektrumdaki her bir EM kirlilik kaynağı için ayrı ayrı kirlilik dağılım haritaları elde edilmiştir.

Çevredeki EM kirliliğin tahmini konusunda farklı bir yöntem olarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde elde edilen veriler SPSS 17.0 ve E-Views istatistik paket programları ile analiz edilmiştir. 75 MHz - 3 GHz frekans spektrumunda yapılan ölçümlerde; ortamdaki toplam elektrik alan şiddeti değerini, GSM bandlarının ne seviyede ve ne şekilde etkilediği analiz edilmiştir. Ayrıca diğer EM kirlilik kaynaklarının da etkileri istatistiksel olarak irdelenmiştir. Analizlerde ölçülen her EM kirlilik kaynağı "değişken" olarak nitelendirilmiş ve bu değişkenlere ait ölçüm değerlerinden birer zaman serisi oluşturulmuştur. Dickey-Fuller (DF) birim kök testi kullanılarak bu zaman serilerinin durağanlık testi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen tüm zaman serilerinin durağan olduğu sonucuna ulaşılmış ve sonrasında çoklu regresyon ve korelâsyon analizleri yapılmıştır. Bu sayede, her bir değişkenin toplam EM kirliliğe etkisi belirlenmiştir. Ölçüm bölgelerindeki EM kirliliğin gelecekte tahmin edilebilmesi amacıyla; çevresel ölçümler, Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgeleri için farklı regresyon modelleri elde edilmiştir. Bu modeller kullanılarak tahmin edilen toplam elektrik alan şiddeti değeri ile ölçüm sonucu karşılaştırılmıştır. Ve analiz modellerinin doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Elektromanyetik kirlilik, GSM baz istasyonları, istatistiksel analiz.

ABSTRACT

PhD Thesis

STATISTICAL ANALYSIS OF THE EFFECTS OF GSM BANDS TO THE ELECTROMAGNETIC POLLUTION IN THE RF FREQUENCIES

Özgür GENÇ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Mehmet BAYRAK

2010, 132 Pages

Jury: Prof. Dr. Mehmet BAYRAK
Assoc. Prof. Dr. Salih GÜNEŞ
Assist. Prof. Dr. B. Sami TEZEKİCİ
Assist. Prof. Dr. Ercan YALDIZ
Assist. Prof. Dr. S. Sinan GÜLTEKİN

In this study, contribution of the GSM bands to the electromagnetic (EM) pollution in the 75 MHz ─ 3 GHz frequency spectrum has been examined. Unlike previous studies on the subject, effects of television transmitters, radio transmitters and the impact of GSM base stations to the EM pollution over a certain frequency spectrum were investigated.

The city center of Ankara is chosen as pilot study areas where many number of EM pollution sources are located. Environmental EM pollution measurements were made for the regions where the population is concentrated. EM pollution

measurements were made in Dikmen Çaldağı and Yenimahalle Şentepe regions where the number of TV, radio and GSM transmitters are dense. EM pollution measurements in these regions were made by using the SRM3000 measurement device and an isotropic antenna operating in 75 MHz to 3 GHz frequency spectrum. Results obtained are compared to the ICNIRP's exposure limits reference values and suggestions were made to reduce the EM pollution. Measured electric field strength (E) values and the GPS coordinates of the measurement locations were recorded. EM pollution distribution maps were obtained by means of superimposing the recorded electric field intensity values and the coordinates on a digital map of the Ankara city center. In order to obtain the EM pollution maps "Natural neighbor interpolation" and "Inverse distance interpolation" techniques are used in ArcGIS software. Unlike previous studies, the EM pollution distribution maps were obtained separately for each EM pollution source operating within the chosen frequency spectrum.

In the last chapter, a statistical analysis was carried out to estimate the environmental EM pollution as a different method. The obtained data from the measurements were analyzed by using the SPSS 17.0 and the E-Views statistical package programs. The impact level of the GSM bands and how they affect to the total electric field intensity in the environment were analyzed during the measurements in the 75 MHz ─ 3 GHz frequency spectrum. In addition, effects of the other EM pollution sources were statistically analyzed. Each pollution source measured was considered as a "variable" and a time series was created for each variable. The time series stability tests were carried out by utilizing the Dickey-Fuller (DF) unit root test. As a result of the Dickey-Fuller (DF) tests, it was concluded that all obtained time series were stable and the multiple regression and correlation analysis were carried out. In this way, the contribution of each variable to the total EM pollution intensity was determined. In order to estimate the future EM pollution levels in the measurement regions, different regression models were utilized for Dikmen Çaldağı and Yenimahalle Şentepe regions. Estimated total electric field strength values obtained from these models were compared to the actual measurement results. As a result, it is concluded that the analysis models provide accurate results.

Key words: Electromagnetic pollution, GSM base stations, statistical analysis.

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT iii
İÇİNDEKİLER v
SİMGELER vii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
TEŞEKKÜR xiv
1. GİRİŞ 1
1.1. Tez Konusunun Tanıtılması 2
1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi 4
1.3. Bu Konuda Yapılan Çalışmaların Tarihsel Gelişimi 5
2. ELEKTROMANYETİK ALAN VE DALGA KAVRAMI 9
2.1. Elektrik ve Manyetik Alanlar 9
2.1.1. Elektromanyetik düzlem dalga 12
2.2. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu 12
2.3. Elektromanyetik Spektrum 13
2.3.1. Radyo frekans spektrumu 13
2.3.2. İyonlaştıran ve iyonlaştırmayan EM dalgalar 15
2.4. EM Yayılımda Kayıplar ve Ölçüm Değeriyle İlişkisi 16
3. EM KİRLİLİK KAYNAKLARI VE ETKİLERİ 19
3.1. EM Girişim Kaynakları 19
3.2. Haberleşmede Kullanılan EM Dalgalar 21
3.2.1. GSM baz istasyonları ve hücresel sistemler 22
3.2.2. Radyo ve TV vericileri 26
3.2.3. Diğer EM kirlilik kaynakları 26
3.3. EM Dalgaların Etkileri 27
3.3.1 EM dalgaların vücutta soğurulması 28
3.3.2 Özgül soğurma oranı 29
3.4 Ülkemizde Kabul Edilen EM Alan Sınır Değeri 29
4. ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ÖLÇÜMÜ 31
4.1. Ölçümde Yakın ve Uzak Alan Tanımlamaları 32

4.2. Ölçüm Metodu 34
4.2.1. EM alan şiddetinin izotropik prob ile ölçülmesi 37
4.3. Ölçüm Düzeneği 39
4.4. Ölçüm Belirsizlikleri 41
5. EM KİRLİLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI VE KİRLİLİK DAĞILIM HARİTALARI 43
5.1. Vericilerin Bulunduğu Yerlerdeki Kirlilik Dağılımı 43
5.2. Ölçüm Bölgesine Ait EM Kirlilik Haritaları 44
5.3. Enterpolasyon Yöntemi 45
5.3.1. Mesafenin tersine göre enterpolasyon 46
5.3.2. Doğal komşuluk yöntemiyle enterpolasyon 51
6. ÖLÇÜM SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ 56
6.1. Araştırmaya İlişkin İstatistiksel Bilgiler 57
6.1.1. Zaman serileri analizi 57
6.1.2. Basit ve çoklu regresyon analizi 59
6.1.3. Korelasyon analizi 61
6.1.4. Durbin Watson otokorelasyon testi 63
6.1.5. Varyans analizi 64
6.2. Ölçüm Değerlerinin ADF Birim Kök Testi Analizleri 65
6.3. Ölçüm Değerlerinin İstatistiksel Analizleri 66
6.3.1. Çevresel ölçüm değerlerine ait analizler 67
6.3.2. Dikmen Çaldağı verici bölgesi ölçüm değerlerine ait analizler 73
6.3.3. Yenimahalle Şentepe verici bölgesi ölçüm değerlerine ait analizler 77
7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI, TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER 82
7.1. Öneriler 88
8. KAYNAKLAR 91
EK–1 Ankara kent merkezindeki ölçüm sonuçları. 97
EK–2 Ankara kent merkezinde ölçüm noktaları koordinat değerleri 111
EK–3 Ankara ilindeki radyo vericilerinin bulunduğu bölgeler, frekansları ve çıkış güçleri 120
EK–4 Ölçüm cihazı ve probuna ait kalibrasyon sertifikaları 125

SİMGELER VE KISALTMALAR

Elektromanyetik Alanlar İle İlgili Simgeler Ve Kısaltmalar

A/m	Amper/metre
AM	Genlik Modülasyonu
ARPANSA	Avustralya Radyasyondan Korunma ve Nükleer Güvenlik Kuruluşu
B	Manyetik Akı Yoğunluğu
BTS	Baz İstasyonu
c	Boşlukta Işık Hızı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CENELEC	Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komisyonu
CRT	Katot Işınlı Tüp
d	Antene Olan Uzaklık
D	Anten Boyutu
dB	Desibel
E	Elektrik Alan Şiddeti
ECC	Avrupa Haberleşme Komisyonu
EHF	Çok Çok Yüksek Frekans
EM	Elektromanyetik
EMR	Elektromanyetik Radyasyon
eV	Elektron Volt
f	Frekans
F	Elektriksel Kuvvet
FCC	Federal Haberleşme Komisyonu
FM	Frekans Modülasyonu
G	Lineer Anten Kazancı
g	Logaritmik Kazanç
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi
GSM	Küresel Mobil Haberleşme Sistemi
q	Elektrik Yükü
H	Manyetik Alan Şiddeti

HF	Yüksek Frekans
ICNIRP	Uluslararası İyonlaştırmayan Radyasyondan Koruma Komisyonu
IDW	Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyonu
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Birliği
J	Joule
LF	Alçak Frekans
L_f	Serbest Uzay Kaybı
MAM	Mobil anahtarlama Merkezi
MF	Orta Frekans
MW	Mikro Dalga
mW	Mili Watt
NaN	Doğal Komşuluk Enterpolasyonu
NMT	Nordic Mobile Telecom
SAR	Özgül Soğurma Oranı
P	Güç
PCS	Kişisel Haberleşme Sistemi
P_{eirp}	Etkin İzotropik Yayılan Güç
RF	Radyo Frekansı
S	Güç Yoğunluğu
SHF	Süper Yüksek Frekans
T	Tesla
TEM	Enine Elektromanyetik Dalga
THz	Tera Hertz
TV	Televizyon
W	Watt
UHF	Ultra Yüksek Frekans
UME	Ulusal Metroloji Enstitüsü
V	Volt
V/m	Volt/metre
VHF	Çok Yüksek Frekans
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

λ	Dalga Boyu
δ	Nüfuz Etme Derinliği
σ	Ortamın İletkenliği
ε	Dielektrik Sabiti
μ	Manyetik Geçirgenlik

İstatistiksel Analiz İle İlgili Simgeler Ve Kısaltmalar

ADF	Geliştirilmiş Dickey-Fuller Birim Kök Testi
ANOVA	Tek yönlü varyans analizi
β	Regresyon Katsayısı
β_0	Regresyon Modeli Sabit Değeri
e_t	Durbin Watson t Dönemi Değeri
e_{t-1}	Durbin Watson t–1 Dönemi Değeri
ε	Hata Terimi
d	Durbin Watson değeri
DF	Dickey-Fuller
dF	Serbestlik Derecesi
H	Hipotez
P	Anlamlılık Değeri
R^2	Çoklu Belirlilik Katsayısı
R	Değişkenler Arasındaki İlişki Derecesi
X	Bağımsız Değişken
Y	Bağımlı Değişken

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 EM dalganın vektörel bileşenleri 10
Şekil 2.2 EM spektrum 13
Şekil 2.3 Bir nokta kaynak antenden yayılan güç 16
Şekil 3.1 EM girişim spektrumu 20
Şekil 3.2 Hücresel yapı 23
Şekil 3.3 Hücre tipleri 24
Şekil 3.4 (a) Baz istasyonu yapısı (b) Baz istasyonu anteni 24
Şekil 3.5. Bir baz istasyonu ışıma yönü 25
Şekil 3.6 Sektörel yönlendirilmiş tip antenlerde güç yoğunluğu değerinin mesafeye göre değişimi 26
Şekil 4.1 Yakın-alan ve uzak-alan tanımlaması 32
Şekil 4.2 Dipol antene ait uzak ve yakın alan bölgeleri 33
Şekil 4.3 Ölçüm bölgesindeki bazı EM alan kaynakları 35
Şekil 4.4 İzotropik prob 37
Şekil 4.5 İzotropik gösterim 38
Şekil 4.6 EM alan ölçümlerinde kullanılan SRM3000 cihazı 39
Şekil 4.7 Ölçüm düzeneği 41
Şekil 4.8 Ölçüm probunun sıcaklığa bağlı tepkisi 42
Şekil 5.1 Verici bölgelerinden görünüm (a) Dikmen Çaldağı verici bölgesi (b) Yenimahalle Şentepe verici bölgesi 44
Şekil 5.2 IDW ile diğer kaynaklara ait E değerleri 47
Şekil 5.3 IDW ile FM vericilere ait E değerleri 47
Şekil 5.4 IDW ile GSM900 baz istasyonlarına ait E değerleri 48
Şekil 5.5 IDW ile GSM1800 baz istasyonlarına ait E değerleri 48
Şekil 5.6 IDW ile ortamdaki toplam E değerleri 49
Şekil 5.7 IDW ile UHF4 vericilerine ait E değerleri 49
Şekil 5.8 IDW ile UHF 5 vericilerine ait E değerleri 50
Şekil 5.9 IDW ile VHF vericilerine ait E değerleri 50
Şekil 5.10 NaN ile diğer kaynaklara ait E değerleri 51

Şekil 5.11 NaN ile FM vericilere ait E değerleri 52
Şekil 5.12 NaN ile GSM900 baz istasyonuna ait E değerleri 52
Şekil 5.13 NaN ile GSM1800 baz istasyonuna ait E değerleri 53
Şekil 5.14 NaN ile ortamdaki toplam E değerleri 53
Şekil 5.15 NaN ile UHF4 vericilerine ait E değerleri 54
Şekil 5.16 NaN ile UHF5 vericilerine ait E değerleri 54
Şekil 5.17 NaN ile VHF vericilerine ait E değerleri 55
Şekil 6.1 Korelasyon katsayılarının şekilsel olarak gösterimi 62
Şekil 6.2 Çevresel ölçümlere ait değişkenler arasındaki ilişki 68
Şekil 6.3 Çevresel ölçüm sonuçları için gözlenen ve beklenen kümülatif olasılık grafiği 71
Şekil 6.4 Çaldağı bölgesi değişkenleri arasındaki ilişki 74
Şekil 6.5 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçlarına için gözlenen ve beklenen kümülâtif olasılık grafiği 77
Şekil 6.6 Şentepe bölgesine ait değişkenler arasındaki ilişki 78
Şekil 6.7 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin gözlenen ve beklenen kümülatif olasılık grafiği 81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Radyo frekans bandlarının kullanım alanına göre sınıflandırılması 14
Çizelge 2.2 Çeşitli frekanslarda d uzaklığındaki serbest uzay kaybı 17
Çizelge 2.3 d uzaklığındaki serbest uzay zayıflaması 18
Çizelge 3.1 EM kirlilik kaynakları ve çalışma frekansları 22
Çizelge 3.2 Frekansa göre EM alan sınır değerleri 28
Çizelge 3.3 Genel yaşam alanları için uygulanan EM alan sınır değerleri 30
Çizelge 4.1 Uzak alan mesafesinin frekansa göre değişimi 33
Çizelge 4.2 Ölçülen EM kirlilik kaynakları ve frekans aralıkları 36
Çizelge 6.1 Korelasyon katsayısı ve ilişki düzeyi 63
Çizelge 6.2 Şentepe bölgesi için birim kök testi sonuçları 66
Çizelge 6.3 Çaldağı bölgesi için birim kök testi sonuçları 66
Çizelge 6.4 Çevresel ölçüm sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler 68
Çizelge 6.5 Çevresel ölçüm sonuçlarının korelasyon değerleri 69
Çizelge 6.6 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait model özeti 69
Çizelge 6.7 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait varyans analizi 70
Çizelge 6.8 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait değişkenlere ilişkin katsayılar 70
Çizelge 6.9 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisine ait model özeti 71
Çizelge 6.10 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisine ait varyans analizi 72
Çizelge 6.11 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisi için değişkene ilişkin katsayılar 72
Çizelge 6.12 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait model özeti 72
Çizelge 6.13 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait varyans analizi 73
Çizelge 6.14 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait katsayılar 73
Çizelge 6.15 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları için tanımlayıcı istatistikler 74
Çizelge 6.16 Çaldağı bölgesi değişkenlerinin korelasyon değerleri 75
Çizelge 6.17 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin model özeti 75
Çizelge 6.18 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları için varyans analizi 75
Çizelge 6.19 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları değişkenlerine ait katsayılar 76
Çizelge 6.20 Şentepe bölgesi değişkenleri için tanımlayıcı istatistikler 78

Çizelge 6.21 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarının korelasyon değerleri 79
Çizelge 6.22 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin model özeti 79
Çizelge 6.23 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçları için varyans analizi 79
Çizelge 6.24 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin değişkenlere ait katsayılar . 80
Çizelge 7.1 Ölçüm sonuçlarının ICNIRP sınır değerleriyle karşılaştırılması 83
Çizelge 7.2 Çevresel ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması 86
Çizelge 7.3 Dikmen Çaldağı ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması 87
Çizelge 7.4 Şentepe ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması 88
Çizelge E.1.1 Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları 97
Çizelge E.1.2 Dikmen Çaldağı ölçüm sonuçları 106
Çizelge E.1.3 Şentepe ölçüm sonuçları 108
Çizelge E.1.4 Şentepe bölgesi güç yoğunluğu ölçüm sonuçları 110
Çizelge E.1.5 Dikmen Çaldağı bölgesi güç yoğunluğu ölçüm sonuçları 110
Çizelge E.2 Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri 111
Çizelge E.3.1 Dikmen Çaldağı radyo vericileri 120
Çizelge E.3.2 Yenimahalle Şentepe radyo vericileri 122
Çizelge E.3.3 Ankara ilindeki TV vericileri 123
EK─ 4.1 Ölçüm cihazı SRM3000'e ait kalibrasyon sertifikası 125
EK─ 4.2 Ölçümde kullanılan izotropik proba ait kalibrasyon sertifikası 128

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince değerli yardım ve katkılarından dolayı, danışmanım Sayın Prof.Dr. Mehmet BAYRAK hocama, daima doğrunun yapılması için yönlendiren Sayın Prof.Dr. Adnan GÖRÜR hocama ve çok kıymetli yönlendirici katkılarından dolayı Sayın Yrd.Doç.Dr. Ercan YALDIZ hocama en içten şükranlarımı sunarım. Çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen Ankara Telekomünikasyon Kurumu Bölge Müdürlüğü çalışanlarına, Sayın Doç.Dr. Mustafa ALKAN'a, Sayın Salim SEZGİN'e ve bu tez çalışmasının tamamlanma sürecine değin destek ve iyi niyetlerini her zaman hissettiğim Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümündeki değerli hocalarıma teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmasının tamamlanması sürecine değin, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

1. GİRİŞ

Elektronik endüstrisindeki son gelişmeler, radyo frekansıyla çalışan cihazların elektronik haberleşme, radyo-televizyon yayınları, radar, endüstriyel ve tıbbi uygulamalar, cep telefonu ile kablosuz haberleşme gibi son teknolojileri içeren uygulamaların yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Haberleşme sistemlerinin gelişmesi ve bunun paralelinde kullanımlarının yaygınlaşması ile sistemlerde ve çevrede ortaya çıkan elektromanyetik (EM) kirlilik boyutu daha da artmaya başlamıştır. Teknolojinin hızla gelişmesiyle bir yandan modern ve refah içinde bir yaşam kalitesi sağlanırken, diğer yandan insan sağlığını etkileyen EM kirlilik değerleri de hızla artmaktadır.

Haberleşme sektörü, çoğu ülke ekonomisi için lokomotif niteliğinde olup, bu önemini diğer sektörlere nazaran hızlı gelişmesine borçludur. Gelişme hem hizmet çeşitliliği, hem de altyapı / kullanım / kullanıcı sayılarındaki artışa bağlı olduğundan ortamdaki EM alan şiddet seviyesinin de aynı oranda artmasına neden olmaktadır. Teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak EM dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve bunun sonucunda da çevredeki EM kirlilik seviyesi artmaktadır.

Artan sayıdaki elektrikli cihazlar, televizyon, radyo istasyonları ve cep telefonlarının nüfusun yoğun olduğu yerleşim merkezlerinde oluşturduğu EM alan şiddeti seviyeleri, ulusal ve uluslararası standartların üzerine çıktığında ciddi bir EM kirlenmenin çıkmasına sebep olmaktadır. Bu da insanlar ve cihazlar üzerinde istenmeyen etkiler göstermektedir. Elektrik enerjisiyle çalışan bütün cihazlar yaydıkları EM dalgalardan dolayı diğer elektronik cihazlarda bir etkileşime (girişime) sebep olabilmektedirler. Bu etkileşimin etkisinin aşırı olması durumunda cihazlar bazı fonksiyonlarını yapamamakta, insanlar ise mide bulantısı, stres, baş ağrısı ve benzeri biyolojik etkilere maruz kalmaktadırlar (Cora ve Demir 2003). Bu nedenle TV, radyo ve cep telefonu hizmetlerine yaydıkları güç açısından tüm dünyada sınırlamalar getirilmektedir.

Elektronik teknolojisinin son yeniliklerinden biri olan mobil telefon, internet gibi yeni nesil iletişim araçları günlük yaşantıda içinde bulunulan ortamı çağın ilerisine taşıyan kolaylıkları da beraberinde getirmektedir. Ülkemizde mobil telefon

hizmetleri 1986 yılında araç telefonu olarak bilinen NMT sistemi ile başlamıştır. 1994 yılında başlayan GSM hizmeti ile Türkiye kişisel mobil telefonlarla tanışmıştır. Ancak bu yeni teknoloji hakkında insanların yeterince bilgi sahibi olmaması, sağlığa zararları bakımından tartışmaları beraberinde getirmiştir.

Dünyada GSM şebekelerinin kullanıldığı hemen her ülkede; geçmişin klasik telsiz ve haberleşme sistemlerindeki yayılma trendinin çok üzerinde bir yoğunluğa erişilmiştir. Hücresel sistemlerin yerleşim alanları içindeki trafik talebinin karşılanabilmesi için verici kaynakları yerleşim alanının civarındaki dağ ve tepelerden alınıp doğrudan yerleşim alanlarının içine taşınmıştır. Türkiye'de Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun 2009 yılı verilerine göre; toplam GSM abone sayısı 63.614.157 kişiye ulaşmış durumdadır. Buna paralel olarak GSM baz istasyonu sayısı da artmış ve 37.477 adete ulaşmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda, EM dalgaların insan sağlığı üzerindeki muhtemel olumsuz etkileri konusunda kamuoyunun duyarlılığı da artmıştır. Artan radyo-TV kanalları ve cep telefonları nedeniyle günümüzde EM çevre kirliliği sıkça gündeme gelmeye başlamıştır.

GSM teknolojisine paralel olarak günlük ihtiyaçlar için sıkça kullanılan birçok elektrikli alet (saç kurutma makinesi, mikrodalga fırın, televizyon, radyo, bilgisayar vb.) de yine içinde bulunulan ortamdaki EM kirliliği arttırmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde tezin amacı, önemi ve konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, EM alan ve dalga kavramı üzerine tanımlamalar yapılmıştır. Üçüncü bölümde, EM kirlilik kaynakları ve etkileri incelenmiştir. Dördüncü bölümde, EM kirlilik ölçüm yöntemi ve donanımı hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, EM kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. Altıncı bölümde, ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizleri yapılmıştır. Son bölümde ise ortaya çıkan sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

1.1. Tez Konusunun Tanıtılması

21.Yüzyılda mobil telefonların kullanımındaki hızlı artış, her yıl çok sayıda yeni baz istasyonunun kurulmasını gündeme getirmektedir. Ancak, apartman çatılarına, bina yan yüzlerine, okul ve hastane bahçelerine plansız bir şekilde baz

istasyonu antenlerinin kurulması insanların kişisel istekleri dışına çıkarılmış dolayısıyla çeşitli tartışmalar ve şikayetlerin ortaya çıkmasını tetiklemiştir. Bu sebeple, baz istasyonlarının kurulduğu yerlerde oluşturduğu EM alan şiddetinin belirlenmesi ve alanların olası zararlı etkileri ile bunlardan korunma yolları konusunda kamuoyunun bilinçlendirilmesi gündeme gelmiştir.

Baz istasyonlarının şehir dışında yüksek kulelerde toplanması, kent merkezinde yeterli kapsama alanının sağlanabilmesi zorunluluğundan dolayı teknik olarak imkânsızdır. Şehir dışı uygulaması durumunda, baz istasyonlarının yüksek güçle yayın yapması gerekecektir. Diğer taraftan bu uygulama, istenilen seviyede kapsama alanını sağlayamayacağı gibi EM kirliliğe de sebep olacaktır.

Ortamdaki EM kirlilik seviyelerinin ölçümleri sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel analizleri ile EM dalga davranışının; belli şartlar altında ve kabul edilebilir doğruluk seviyeleriyle, çeşitli hesap ve formüllere ulaşmak suretiyle modellenmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla tez kapsamında EM kirlilik ölçümleri, pilot bölge olarak belirlenen Ankara ili kent merkezinde gerçekleştirilmiştir. Ankara kent merkezinde EM kirlilik kaynaklarının toplu halde ve yoğun olarak bulunduğu bilinen Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgelerinde EM kirlilik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca nüfus olarak halkın yoğun olarak bulunduğu bölgelerde çevresel EM kirlilik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Uygun bir araçla hareket halinde veri toplanmasına izin veren bir düzenek kullanarak Ankara kent merkezi olabildiğince detaylı taranmış ve EM kirlilik seviyeleri tespit edilmiştir.

Ölçümlerde elde edilen verilerin analizinde, SPSS 17.0 ve E-Views istatistik paket programları kullanılmıştır. İstatistiksel analizler ve uygulanabilecek testler verilerin yapısına, dağılışına, ölçeğine, denemelerin kuruluş ve yürütülüş şekline göre farklılık göstermektedir. Bu çalışma kapsamında ise durağanlık, korelasyon, regresyon ve doğrusallık analizleri her ölçüm bölgesi için ayrı ayrı uygulanmıştır. Ayrıca ölçülen elektrik şiddeti değerleri kullanılarak ArcGIS CBS programında ölçüm yapılan ortama dair EM kirlilik haritaları elde edilmiştir.

1.2. Tez Çalışmasının Amacı ve Önemi

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen hareketli düzenek ile ölçümlerde, uygulanan veri toplama tekniğinin çok geniş bir coğrafi alanda EM kirlilik dağılımının bulunması için son derece gerçekçi bir yöntem olduğu düşünülmüştür. Uygulanan yöntemin, aynı zamanda dünyada belirlenebilen ve benzeri yöntemleri kullanan sayılı örnek arasında da tatminkâr bir düzeyi temsil ettiği değerlendirilmiştir (Benjamin ve ark. 2001, Getsov 2007, Abdelati 2005).

Bu çalışmayla günlük hayatta içinde bulunulan ortamdaki EM kirlilik seviyelerinin, ICNIRP limit değerleriyle kıyaslaması yapılmış ve ortamdaki toplam EM kirliliğe GSM bandlarının etkisi incelenmiştir. Analiz için kullanılan SPSS ve E-Views istatistik programlarının kullanımı, EM kirliliğin analizi ile ilgili yapılan çalışmalarda ilk olma özelliğini taşımaktadır. Ayrıca ortamdaki EM kirliliğin haritalanması ve özellikle EM kirliliğe etki eden her bir kaynağa ait elektrik alan şiddeti değerlerinin ayrı ayrı haritalanması da bu çalışmaya ayrı bir önem kazandırmaktadır.

EM kirlilik ölçüm değerlerinin analiz sonucunda elde edilen istatistiksel modelle ileriye dönük tahmine uygun olup olmadığı zaman serisi analizleri ile incelenmiştir. Kurulan istatistiksel modellerle ileriye yönelik tahmin işleminde bağımlı değişken olarak tanımlanan toplam EM kirliliğin alacağı değerler belirlenmiştir. Yapılan regresyon analizleri ile mevcut veri setinin regresyon modeli elde edilmiş ve ölçüm verilerinin ileriye yönelik tahmine uygun olup olmadığı kararlaştırılmıştır. Veri setinin durağanlığı Geliştirilmiş Dickey-Fuller (ADF) birim kök testi ile incelenmiştir. Ortamdaki EM kirliliğe etki eden değişkenler arasındaki ilişki yönü ve derecesi korelasyon testiyle hem grafiksel hem de analitik yönden incelenmiştir. Değişkenlerin bu şekilde kıyaslanması ve birbirlerine etkilerinin analiz edilebilmesi açısından bu çalışma ayrıca önem arz etmektedir.

1.3. Bu Konuda Yapılan Çalışmaların Tarihsel Gelişimi

Konu ile ilgili olarak yapılan literatür taramasında, ortamdaki EM kirliliğin ölçümü üzerine çalışan bir takım kişi ve kuruluşlara rastlanmıştır. Haberleşme sistemlerindeki standartları organize etmek olan IEC de 1906 yılında kurulmuş ve sanayileşmiş elliye yakın ülkenin ulusal elektroteknik kurullarından oluşmuştur. İnsan sağlığı ile ilgili EM etkilere ait limitleri belirleyen uluslararası kuruluşlardan olan IRPA'nın 1992' de Montreal'de düzenlenen uluslararası kongresinde yeni bir bağımsız organizasyon olan ICNIRP kurulmuştur. EM kirlilik konusunda bilhassa iyonlaştırmayan radyasyon konusunda ICNIRP'a ait birçok çalışma mevcuttur. Yine amacı, ışınım kaynaklı EM uyumluluk problemlerini araştırmak olan CISPR 1936 yılında kurulmuş ve halen IEC ile paralel alanda çalışmaktadır. 1960'lı yıllarda kurulmuş olan CENELEC ise EM uyumluluk alanındaki ulusal standardizasyon komitelerini bir araya getirme faaliyetlerini sürdürmektedir.

Konunun hassasiyeti bakımından, belirtilen kuruluşların yanında üniversiteler ve çeşitli bilim çevrelerince kent merkezlerinde çevresel ve yerel olarak gerçekleştirilen EM kirlilik ölçüm çalışmaları mevcuttur. Mevcut kaynaklar ağırlıklı olarak EM kirliliğin insan sağlığı boyutunu incelemiş olmakla beraber, çok azında konunun istatistiksel incelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Hamid ve arkadaşları (2004), GSM baz istasyonlarından kaynaklanan EM radyasyon seviyelerini bikonik-log hibrid, horn ve izotropik antenler kullanarak uzak-alan şartlarında ölçmüştür. Elde edilen ölçüm sonuçlarının ICNIRP limit değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. GSM baz istasyonlarının yakınında herhangi bir noktada, yönlü antenlerle elektrik alan şiddeti ölçümü yapılmıştır. Her bir ölçüm noktasında 12 adet ölçüm alınmış, ölçümler yatay ve düşey polarizasyonda gerçekleştirilmiştir. Ölçümler, ortalama 6 dk zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca izotropik antenlerle yapılan ölçümlerde; izotropik antenin polarizasyondan bağımsız ölçüm yapabilme yeteneğinden dolayı radyasyonun polarizasyonu dikkate alınmamıştır. Aynı zaman aralığında, Ankara'da GSM baz istasyonlarının yakınında izotropik alan probları ve yönlü antenlerle 100 adet ölçüm yapılmıştır. İzotropik problar, prob frekansı band genişliğindeki her bir kaynaktan ışıyan radyasyonu

ölçtüğünden bu problarla ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin yönlü antenlere göre daima büyük çıktığını belirtmişlerdir.

Şeker ve Morgül (1998), Türkiye'de tipik bir konut, işyeri ve hastane ortamında günlük hayatta sürekli olarak maruz kalınan EM kirliliğin ölçümü üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerlerin ICNIRP limit değerleri ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Benzer bir çalışmayı Forigo ve arkadaşları (2009) gerçekleştirmişlerdir. GSM baz istasyonlarının neden olduğu EM kirlilik seviyeleri yakın alan şartlarında ölçülmüş ve ICNIRP limit değerleriyle karşılaştırılmıştır. Daha sonra ölçümler uzak şartlarında tekrarlanmıştır.

Wayne ve arkadaşları (2000), Avustralya'da ülke çapında RF elektrik alan şiddeti sınır değerlerini belirleyen kuruluş olan ARPANSA için gerçekleştirdikleri çalışmalarında, belli bölgelerde RF elektrik alan seviyelerine ilişkin ölçümler yapmış ve ICNIRP limit değerleriyle karşılaştırmışlardır. Ölçümlerde TV, FM ve AM radyo gibi belirli RF kaynaklarının neden olduğu EM kirlilik seviyeleri ölçülmüştür. Ölçümler 24 saatlik periyotlar halinde yapılmış olup, farklı GSM operatörlerine ait baz istasyonlarının neden olduğu kirlilik seviyeleri belirlenmiştir. Benzer bir çalışmayı Fiori ve Burrascano (2000) İtalya'da gerçekleştirmişlerdir. Farklı dalga boylarına sahip antenlerle elektrik alan şiddeti seviyeleri ölçümü yaparak kaynak yerleşimi ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır.

Miclausi ve Bechet (2006) ise radyo frekanslarındaki EM kirliliğe, GSM900 baz istasyonlarının etkisine yönelik deneysel ve teorik çalışmalar yapmışlardır. Ölçülen değerler ile hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Ayrıca, zararlı güç yoğunluğu değerleri uzak alan şartlarında ölçülen değerlerden hesaplanmıştır. Çolak ve Koşalay (2008) çalışmalarında Ankara'da bir verici yakınındaki RF EM kirliliğin nöral ağlar yardımıyla tahmin çalışmasını gerçekleştirmiştir. Çalışmalarında NARDA EMR300 ölçüm cihazı ve izotropik probunu kullanmışlardır.

Benjamin ve arkadaşları (2001) tarafından Brezilya'da elektrik alan şiddetinin hangi bölge ve noktalarda yüksek olduğunu tespit etmek için, geniş bandda ölçüm yapan cihazların bir araç üzerine monte edilmesi ile cadde ve sokak aralarında ölçümler gerçekleştirmişlerdir. Daha sonra elektrik alan şiddetinin yüksek bulunduğu yerlerde spektrum analizörlerle daha detaylı ölçümlere geçilmiştir. Yüksek gerilim hatlarının altından geçilirken ve trafoların yoğun olarak bulunduğu yerlerdeki

elektrik alan değerlerinin de yine dolaylı olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Bu ölçümlerde 1 GHz – 23 GHz aralığında ölçülen elektrik alan şiddeti değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Brezilya'daki çalışmaların benzeri Brennan ve arkadaşları (1998) tarafından Avustralya ve Yeni Zelanda'da GSM baz istasyonlarının radyasyon düzeyini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışmalarda GSM (935 – 960 MHz) bandında, RF elektrik alan şiddet düzeyleri belirlenmiştir. Bu uygulamalı çalışmalarda, aracın üzerine bir anten sabitlenmiş ve araç sokak aralarında belli hızda ilerlerken veriler otomatik olarak uygun bir spektrum analizöre kaydedilmiştir. Aynı zamanda GPS'den okunan koordinat değerleri de kaydedilmiştir. Teknik zorluklar sebebiyle tüm frekanslarda aynı anda ölçüm yapılamadığı rapor edilmiştir.

Bir diğer çalışmayı Grollo ve arkadaşları (2000), ARPANSA ve La Trobe Üniversitesi Fizik bölümü işbirliği ile GSM baz istasyonlarından kaynaklanan RF seviyesinin belirlenmesi için yapmışlardır. Sokak ve cadde boyunca elde edilen ölçüm değerleri harita üzerinde farklı renklerle gösterilmiştir. Radyasyon seviyelerini belirlemek için ölçümlerde izotropik antenler kullanılmıştır. İlk olarak 24 saatlik bir inceleme ile sistemlerin aktif olarak çalıştığı zaman dilimleri belirlenmiştir. Baz istasyonlarının hiç bir zaman tam kapasitede çalışmadığı göz önüne alınırsa, 24 saatlik aktif çalışma sonuçlarının elde edilmesi için cadde ve yol boyunca ölçümlerin yapılması yoluna gidilmiştir.

İnce (2007) tez çalışmasında Ankara kent merkezinde radyo ve TV vericileri ile baz istasyonlarının bulunduğu bölgelerde 100 kHz – 3 GHz frekans bölgesinde çalışan EMR300 cihazıyla ölçümler yapmıştır. Ancak, bu çalışmada belli bazı bölgelerde ortamdaki toplam elektrik alan şiddeti değeri ölçülmüştür. Toplam değeri etkileyen kaynakların bireysel etkileri incelenmemiştir.

Ortamdaki EM kirliliğinin ölçümü üzerine yukarıda bahsedilen çalışmaların yanında, elde edilen kirlilik değerlerine ait sayısal haritaların elde edilmesi ve verilerin istatistiksel analizlerine yönelik de bir takım kaynaklara rastlanmıştır. Üçkardeş (2003) çalışmasında, istatistiksel test ve yöntemlerin sınıflandırılması, kullanım alanları, istatistiksel yöntemlerin birbirlerine göre avantaj-dezavantajları ve sonuçların yorumlanması konusunda çalışmalar yapmıştır. Çalışmada, regresyon analizi, birim kök testi ve korelasyon testi açıklanmıştır. Kim ve arkadaşları (2004)

çalışmalarında, Allan Varyans yöntemi kullanarak araç takip sistemlerinde kullandıkları GPS sinyallerinin değişimlerinin istatistiksel analizlerini yapmışlardır.

Taktak ve arkadaşları (2008) çalışmalarında, sayısal veriler yardımıyla sayısal haritaların elde edilmesinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerini birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Ve farklı enterpolasyon yöntemleriyle pilot bölge olarak seçilen Afyonkarahisar ili kent merkezi için sayısal haritalar elde etmişlerdir. Şen (2007) çalışmasında, CBS ortamında yapay sinir ağlarından yararlanarak kapalı bir mekândaki EM kirliliğin analizini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, CBS ortamında EM kapsama ve EM kirlilik ile ilgili sorgulamalar ele alınmış ve seçilen pilot bölgede EM alan ölçümleri yapılmıştır. EM yayılım ortamı üç boyutlu olarak modellenmiş ve coğrafi bilgi sisteminde sunulmuştur. Yine benzer bir çalışmada Uygunol ve Durduran (2009), CBS yardımıyla pilot bölge olarak seçilen Konya kent merkezinde EM kirlilik ölçüm sonuçlarının haritalama işlemini gerçekleştirmişlerdir.

2. ELEKTROMANYETİK ALAN VE DALGA KAVRAMI

Bu bölümde, EM dalgaların yayılımı ve ortamdaki davranışı ile ilgili önemli bilgilere yer verilecek ve EM alanlar için çeşitli tanımlar üzerinde durulacaktır.

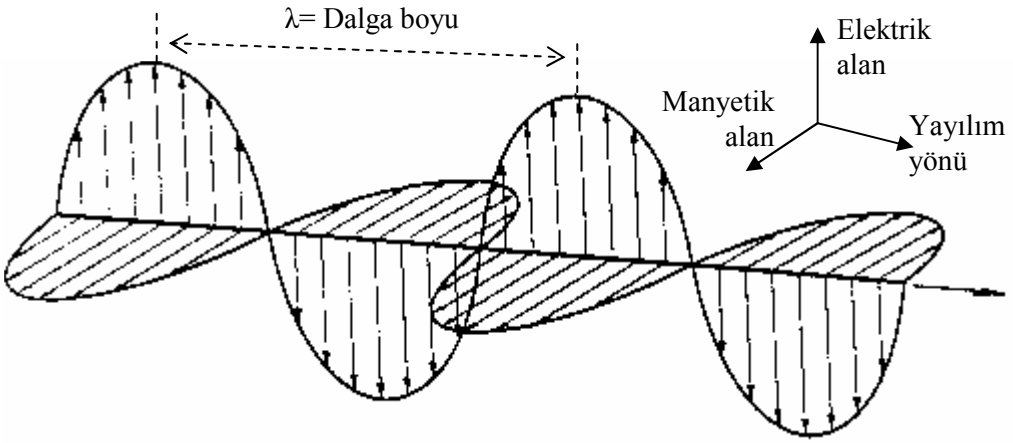
Elektrik ve manyetik alanın tek bir kaynaktan oluşması durumunda EM alan ortaya çıkmakta, bu alanların oluşturduğu dalgaya da EM dalga denilmektedir. Diğer bir tanımda "Elektromanyetik alan, hareketli veya hareketsiz elektrik yükleri arasındaki etkileşimin iletimi" şeklindedir (Şeker ve ark. 2003). Radyo frekans bölgesindeki EM dalgalar, boş uzayda ışık hızıyla yayılan elektrik ve manyetik alan bileşeninden oluşan dalgalardır.

2.1. Elektrik ve Manyetik Alanlar

Bilginin telsiz sistemlerinde iletimi, verici-alıcı cihazlar arasında EM dalgalarla ve yayılım ortamı üzerinden gerçekleştirilir. Antene bir kaynak tarafından güç uygulandığında yani antendeki elektronların verici frekansında titreşimi sağlandığında kaynağın salınım frekansı ile elektronlar anten üzerinde salınım yapmaya başlar. Anten ile yayılım ortamı farklı dielektrik yapıya sahip olduğundan bu iki ortam arasında bir süreksizlik söz konusu olur. Bu nedenle antenin fiziksel yapısı içinde salınım yapan elektronların enerjilerinin bir kısmı yayılım ortamına geçerken bir kısmı da süreksizlik bölgesinden geri yansır. İletişimin sağlanabilmesi için antene uygulanan enerjinin yayılım ortamına maksimum ölçüde aktarılması gerekmektedir. Bu da antenin fiziksel boyu ile sinyalin dalga boyu arasında belli bir orantı olduğunda maksimuma çıkar. Örneğin antenin fiziksel boyu sinyalin dalga boyunun 1/2 ve 1/4 katı olduğunda rezonans olayı meydana geldiğinden elektronların enerjisi EM dalga olarak boş uzaya maksimum ölçüde iletilmektedir (Özdemir 2004).

Antenden boş uzaya yayılan EM dalga, kaynaktan belli bir mesafeden sonra düzlem dalga olarak adlandırılır. EM düzlem dalga boş uzayda ışık hızında hareket eder. Diğer ortamlardaki hız, maddenin dielektrik (ε) ve manyetik geçirgenlik

değerine (μ) bağlıdır. Şekil 2.1'de EM dalganın bileşenleri ve ilerleme yönüne dik eksende salınımları gösterilmiştir.



Şekil 2.1 EM dalganın vektörel bileşenleri

EM alanlar dalga özellikli olup, boşlukta yayılma özelliğine sahiptir. Bu tür dalgalar, dalga boyları ve frekansları ile belirlenir. Tüm EM dalgalar, boşlukta aynı hızla yayılırlar. Bu hız ışık hızına eşit olup, saniyede 300.000 km'dir. EM alan ve dalga oluşumu ve birbirleriyle ilişkileri ile ilgili önemli kavramlara aşağıda değinilmiştir.

Elektrik alan: "Elektrik alan" ($\vec{E}$) uzayda birim mesafe başına EM dalganın potansiyel enerjisinin değişimi olarak nitelendirilen vektörel bir nicelik olup, bunun skaler değerine "elektrik alan şiddeti" denilmektedir. Aynı zamanda elektrik alan, birim elektriksel q yüküne etki eden kuvvet $\vec{F}$ olup, vektörel bir niceliktir. Elektrik alan şiddeti Denklem 2.1'de verilmektedir.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ (V/m)} \qquad (2.1)$$

Manyetik alan: Manyetik akı yoğunluğu $\vec{B}$ vektörel bir nicelik olup, $\vec{v}$ hızıyla hareket eden q yükü üzerinde bir $\vec{F}$ kuvvetinin oluşmasına neden olur (Denklem 2.2).

$$\vec{F} = q.\vec{v} \times \vec{B} \ \ (N) \tag{2.2}$$

Manyetik akı yoğunluğu *B (T)* ile manyetik alan şiddeti *H (A/m)* arasındaki oran, manyetik geçirgenlik μ (Boşluk için $\mu_0 = 4.\pi.10^{-7}$ H/m) olup, Denklem 2.3 ile gösterilir.

$$\mu = \frac{B}{H} \tag{2.3}$$

Güç yoğunluğu: Güç yoğunluğu, dalga yayılım yönüne dik birim alandan geçen EM güç olarak tanımlanır. Birimi (W/m^2) olup, elektrik ve manyetik alan şiddetine basit olarak;

$$S = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{E^2}{377} \tag{2.4}$$

ilişkisi ile bağlıdır. 377 Ω değeri boşluğun EM dalgaya karşı gösterdiği dirençtir.

Elektromanyetik ışınım: EM ışınım, EM dalganın herhangi bir iletim ortamında yayılmasıdır. Haberleşmede kullanılan dalgalar "enine elektromanyetik dalga" olarak ifade edilir. Bu dalgada $\vec{E}$, $\vec{H}$ alan bileşenleri yayılma doğrultusunda dik bir düzlemde bulunurlar.

Bir alternatif işaretin birim zamanda salınım sayısına o işaretin frekansı denir ve frekans ile periyot Denklem 2.5'te verildiği gibi ters orantılıdır.

$$f = \frac{1}{T} \ \ \text{(Hz)} \tag{2.5}$$

Bir periyot boyunca EM dalganın almış olduğu yola, o dalganın veya işaretin "dalga boyu" denir. Dalga boyu (λ), ışık hızı (c) ve frekans arasındaki bağıntı, Denklem 2.6'da verilmektedir.

$$\lambda = c.T = \frac{c}{f} \ \ \text{(m)} \tag{2.6}$$

2.1.1. Elektromanyetik düzlem dalga

Uzayın her noktasında zamanla değişen $\vec{E}$ ve $\vec{H}$ alan vektörleri ilerleme yönüne dik olarak hareket ediyorsa, bu "EM düzlem dalga" olarak adlandırılır. Diğer bir ifadeyle, bir EM dalga "uzak alan" şartlarında, elektrik alan, manyetik alan ve yayılım yönünün birbirine tam dik olduğu koşullarda düzlem dalga olarak isimlendirilir (TK Yönetmeliği 2001).

2.2. Elektromanyetik Dalga Polarizasyonu

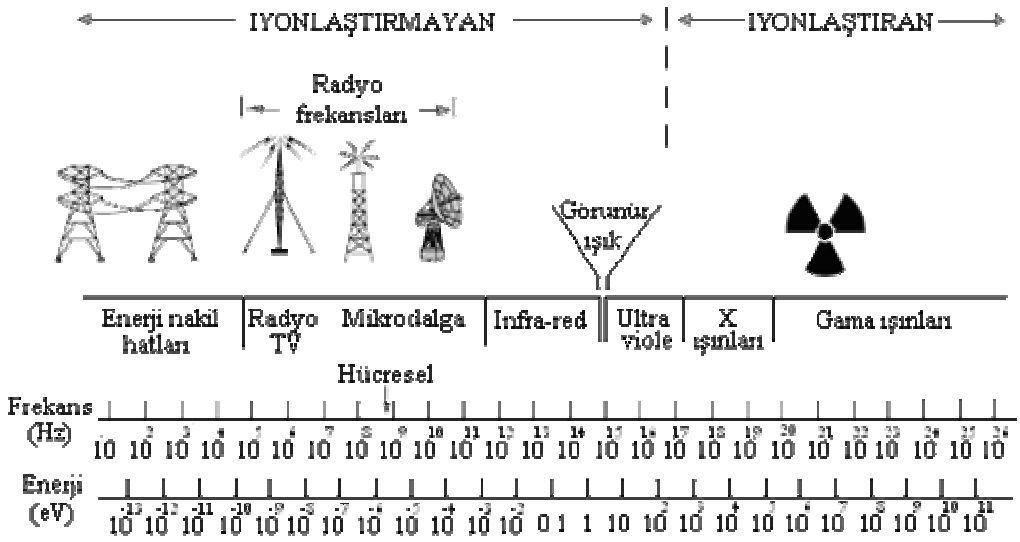
Ortamda yayılan EM dalgada, elektrik alan vektörünün yönü, dalganın polarizasyonu olarak tanımlanır. Elektrik alan bileşeni yer düzlemine dik konumda olduğu zaman "düşey polarizasyonlu", paralel konumda olduğu zaman ise "yatay polarizasyonlu" olarak adlandırılır (Sevgi 2000, Şeker ve Çerezci 1994). Alıcı antene çarpan dalganın polarizasyonu ile anten yönü birbirine paralel olduğunda; anten üzerinde maksimum indüklenme nedeniyle EM dalganın soğurulması maksimum düzeyde olur. Dalga polarizasyonu ve antenin yönü dik açılı olduğunda ise minimum indüklenme ve buna bağlı olarak da minimum soğurma gerçekleşir.

Uygulamada genellikle klasik telsiz sistemlerinin çoğunda olduğu gibi düşey veya TV vericileri gibi yatay polarizasyonlu sistemler bulunmasına rağmen yer yer dairesel, eliptik ve GSM vericileri gibi karışık polarizasyonlu sinyaller de kullanılmaktadır.

Genel olarak ölçüm amaçlı kullanılan antenlerin kalibreli olması, ölçülen belli bir sinyalin doğru değerini bulmak amacıyla çevredeki diğer sinyallerden etkilenmenin minimuma indirilebilmesi ve zayıf sinyallerde etkinliğin yüksek tutulabilmesi için, yönlülük ve kazanç özellikleri yüksek olan antenler kullanılır.

2.3. Elektromanyetik Spektrum

EM spektrum, doğada mevcut ya da üretilebilen EM dalgaların bütünüdür. EM spektrum çok geniş olup, muhtelif kesimlerinde değişik fiziksel etkileri söz konusudur. Spektrumdaki her tipteki dalganın farklı bir dalga boyu ve frekansı vardır. Bu dalgaların tamamı aynı hızla hareket ederler. Elektromanyetik spektrumu teşkil eden tüm dalgalar enine dalgalardır. Bu çalışma kapsamında, ortamda haberleşme yapılması sonucu oluşan EM dalgalarla ilgili spektrum kesimi üzerinde durulması amaçlanmıştır. EM spektrum kaynakları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 EM spektrum

2.3.1. Radyo frekans spektrumu

ITU kabullerine göre elektromanyetik spektrumda 300 GHz'in altında kalan kısım RF spektrumu ve bu kesimdeki EM dalgalar da RF dalgaları olarak isimlendirilir (ICNIRP 1998).

Haberleşme amaçlı tüm EM dalgalar, yani RF dalgaları bütünüyle spektrumda iyonlaştırmayan EM dalgalar kesiminde bulunmaktadır. EM spektrumunun çok dar bir kısmını kapsayan ve radyo haberleşme hizmetlerinin yürütülmesinde kullanılan radyo frekansları; bandlara ve dalga boylarına göre kendi arasında sınıflandırılır. Çizelge 2.1'de verildiği gibi belli isimlerle uluslararası terminolojide kullanılır.

Çizelge 2.1 Radyo frekans bandlarının kullanım alanına göre sınıflandırılması

Band	**Frekans**	**Dalga Boyu**	**Kullanıldığı Yer**
VLF	3 –30 kHz	100 – 10 km	Navigasyon, Sonar
LF	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Radyo ile yön bulma, seyir ve navigasyonel yardım
MF	300 – 3000 kHz	1 km – 100 m	AM yayını, deniz radyosu, yön bulma
HF	3 –30 MHz	100 – 10 m	Telefon, telgraf, faks, kısa dalga uluslar arası radyo yayını
VHF	30 – 300 MHz	10 – 1 m	TV, FM yayını, hava trafik kontrolü, polis, taksi mobil haberleşme
UHF	300 – 3000 MHz	1 m – 10 cm	TV, uydu haberleşmesi
SHF	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Uçak radarı, mikrodalga linkleri, kara-mobil haberleşme, uydu haberleşmesi
EHF	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm	Radar, deneysel amaçlar

RF spektrumu kullanımına bakıldığında, her ne kadar 300 GHz frekansına kadar planlama yapılsa da, günümüz cihaz ve teknolojilerinde yaygın kullanımın 60 GHz frekansa kadar olduğu görülmektedir. Başta telsiz sistemleri olmak üzere, FM radyo frekansı (88–108 MHz), VHF-UHF televizyon ve hücresel sistemler (GSM 900 MHz ve 1800 MHz) yoğun olarak kullanılmaktadır. 3 GHz'in üzerindeki RF spektrumunda, ağırlıklı olarak noktadan-noktaya karasal ve uydu uplink/downlink sistemleri kullanıldığı, bu tip sistemlerin parabolik antenler ve yönlülük özellikleri çerçevesinde çoğunlukla şehir yerleşim alanları dışında kaldığı dikkate alındığında; EM kirlilik üzerindeki etkilerinin ihmal edilebileceği sonucuna varılmıştır.

2.3.2. İyonlaştıran ve iyonlaştırmayan EM dalgalar

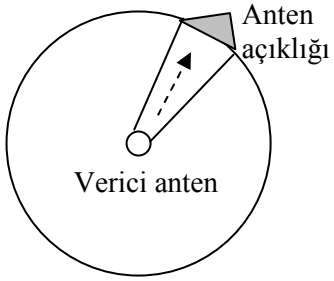
Fiziksel olarak 12 eV'dan daha yüksek enerjili bir EM dalga, atomun son yörüngesinden bir elektronu koparark o atomun pozitif yüklü hale gelmesine neden olur yani iyonlaştırır (ICNIRP 1998). Bu da basit bir hesapla yaklaşık 10^{15} Hz (1 THz) ve daha yukarı frekanslarda iyonlaşmanın olabileceği anlamına gelir. Buradan hareketle Şekil 2.2'de görülen frekans spektrumunda, iyonlaştıran ve iyonlaştırmayan olmak üzere enerjilerine göre, başka bir tasnifle canlılara etkilerine göre iki türlü EM ışınım (dalga) vardır.

İyonlaştırıcı EM dalgalar, madde içerisinden geçerken enerjisini ortama aktarmak suretiyle, ortamdaki atomları doğrudan veya dolaylı yollarla iyonlaştıran radyasyon türüdür. Diğer bir ifadeyle iyonlaştırıcı radyasyon, 100 nm ya da daha kısa dalga boyunda ($3x10^{15}$ Hz ya da daha yüksek frekansta) EM dalga veya parçacık şeklinde transfer edilen doğrudan veya dolaylı olarak iyon oluşturma kapasitesine sahip enerji olarak tanımlanır (Resmi Gazete 2007). Bu tür EM dalgalar, hücrelerdeki molekülleri bir arada tutan atomik bağları iyonlaştırmaya (yani atomlardaki pozitif ve negatif yükleri bir arada tutan yüksüz nötrona etki ile atomun yapısının bozulması) yetecek foton enerjisine sahip yüksek frekans (10^{14} Hz' den yukarısı) bölgesindedir. Ayrıca, minimum 12 eV' tan başlayan enerji değerlerine sahiptir. Bu tür dalgalara örnek olarak X, Gama ve Kozmik ışınlar verilebilir. Bu ışınlara fazla maruz kalmak, canlıya ait hücrenin hasara uğraması ve DNA zincirinin bozulması gibi etkilerinden dolayı tehlikelidir (TK Yönetmeliği 2001).

İyonlaştırmayan EM dalgalar ise bu atomik bağları kırmak için gerekli enerjiye sahip olmayan fotonların oluşturduğu EM dalgalardır. Yeteri kadar enerjiye sahip olamadıkları için radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi ışık, mor ötesi ışık (ültraviyole) ve görünür ışık iyonlaştırıcı olmayan EM dalgalar olarak isimlendirilirler. Ölçülen enerji değeri ise örneğin 300 GHz' de 0,00125 eV olup, iyonlaştırma yapacak seviyeye göre çok düşük değerdir. Ancak bu alanların, mesafe, güç yoğunluğu ve maruz kalma zamanı gibi faktörlere bağlı olarak vücutta ısı artışına sebep olduğu gibi, bazı uzmanlarca biyolojik etkilere de sebep olabileceği öne sürülmektedir (TK Yönetmeliği 2001).

2.4. EM Yayılımda Kayıplar Ve Ölçüm Değeriyle İlişkisi

EM dalgaların, teorik referans anten olarak tanımlanan (pratikte mümkün olmayan) bir nokta antenden her yöne yayın yaptığı durumda (yani anten kazancı *G=1* olan antende) ortama yayılan güç, etkin izotropik yayılan güç (E_{irp}) olarak tanımlanır. Şekil 2.3'de bir nokta kaynaktan gücün küresel olarak her yöne yayıldığı gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Bir nokta kaynak antenden yayılan güç

Nokta kaynaktan uzaklaştıkça, yani kürenin yarıçapı büyüdükçe, enerjinin daha geniş bir yüzeye dağılması sonucu; kürenin birim yüzey alanına düşen enerji azalır. Bu suretle bir verici kaynaktan uzaklaştıkça EM dalganın enerjisinde meydana gelen zayıflamaya "serbest uzay kaybı" denilir. Serbest uzay kaybı, verici ve alıcı arasındaki mesafenin karesiyle doğru orantılı olarak artar. Denklem 2.7 yalnızca uzak alan şartlarında geçerlidir (Liu ve ark. 2007).

$$FSL = \left(\frac{4.\pi.d}{\lambda} \right)^2 \tag{2.7}$$

FSL : Serbest uzay kaybı

λ : Sinyalin dalga boyu (m),

f : Sinyalin frekansı (Hz),

d : Kaynaktan olan uzaklık (m).

Antene olan uzaklığa göre güvenlik mesafesi Denklem 2.8 ile hesaplanır.

$$d = \sqrt{\frac{30.P_{eirp}}{E}} \quad \text{(m)} \tag{2.8}$$

Burada;

P_{eirp}: İzotropik antene göre etkin yayılım gücü,

E: Elektrik alan limit değeri

d: Güvenlik mesafesi

Verici kaynaktan radyal doğrultularda yayılan E_{irp} değerinin, *d* yarıçaplı bir kürenin birim yüzeyinde oluşturduğu "Güç Akı Yoğunluğu" Denklem 2.9'da verildiği gibidir (Şeker ve Çerezci 2003).

$$S = P.\frac{G}{4.\pi.d^2} = \frac{P_{eirp}}{4.\pi.d^2} = \frac{E^2}{120.\pi} \quad (\text{W/m}^2) \tag{2.9}$$

Antenden yayılan güç, serbest uzayda uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır (Şeker ve Çerezci 2003, Sevgi 2000). Aynı *d* mesafesinde farklı frekanslardaki serbest uzay kaybı değerleri Çizelge 2.2 ile verildiği gibidir. Buna göre frekansın iki kat artması serbest uzay kaybının 4 kat artmasına, dolayısıyla ölçülen elektrik alan şiddetinin de 6 dB azalmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 2.2 Çeşitli frekanslarda d uzaklığındaki serbest uzay kaybı

f (MHz)	**L_f(dB) d=1 km**
10	-52.4
20	-58.4

Aynı frekansta farklı *d* mesafelerinde hesaplanan serbest uzay kaybı değerleri Çizelge 2.3'de verilmektedir. Buna göre mesafenin iki kat artması serbest uzay kaybının 4 kat artmasına, dolayısıyla ölçülen elektrik alan şiddetinin de 6 dB azalmasına sebep olmaktadır (Şeker ve Çerezci 2003).

Çizelge 2.3 d uzaklığındaki serbest uzay zayıflaması

d (km)	L_f(dB) f = 100 MHz
1	72.45
2	78.45

Buraya kadar verilen tanımlar; uzak alandaki düzlem dalgalarda, herhangi bir çevresel etkenin hesaba katılmadığı ideal şartlarda ve serbest uzay yayılımında geçerlidir. Bu bakımdan verilen tarif ve denklemler, EM yayılım olgusunun anlaşılmasına yardımcı olmasına karşın her zaman gerçek ortamdaki durumu yansıtmamaktadır. Gerçek hayatta ölçülen değerlerde, serbest uzay denklemleriyle hesaplanan değerlerin altında veya üzerinde kayıplar ile karşılaşılmaktadır. Bunun nedenleri arasında verici ve alıcı arasındaki insan yapısı engeller, yeryüzü engebesi, yüzey örtüsü, şehir içi-dışı ortamlar, atmosferik şartlar (iklim, yoğunluk vb.), güneş lekeleri vb. pek çok fiziksel etken yani yansıma, kırılma ve kırınım etkileri bulunmaktadır. Bu etkiler zayıflamayı artırabildiği gibi ilave kazanca da sebep olabilmekte ve bu nedenle ölçülen değerler, hesaplanan değerden daha düşük veya daha yüksek çıkabilmektedir. Aynı şekilde çevresel etkenlerin durumuna bağlı olarak; ölçüm noktasına sinyalin çok yollu erişimi, mesafeye bağlı gecikmeler ve benzeri etkenler, kayıp veya kazanç üzerindeki etkinin zaman içinde salınım göstermesine ve dolayısıyla hesaplan ile ölçülen değerler arasındaki ilişkinin de zamana bağlı değişmesine sebep olmaktadır. Bu bakımdan EM yayılım tahminlerinde ortamda herhangi bir noktadaki elektrik alan şiddeti veya güç yoğunluğu değerinin; rakamsal bir mutlak büyüklük olmadığının ve ortamdaki EM alanın olasılık dağılımını verdiğinin bilinmesi gerekmektedir.

3. EM KİRLİLİK KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

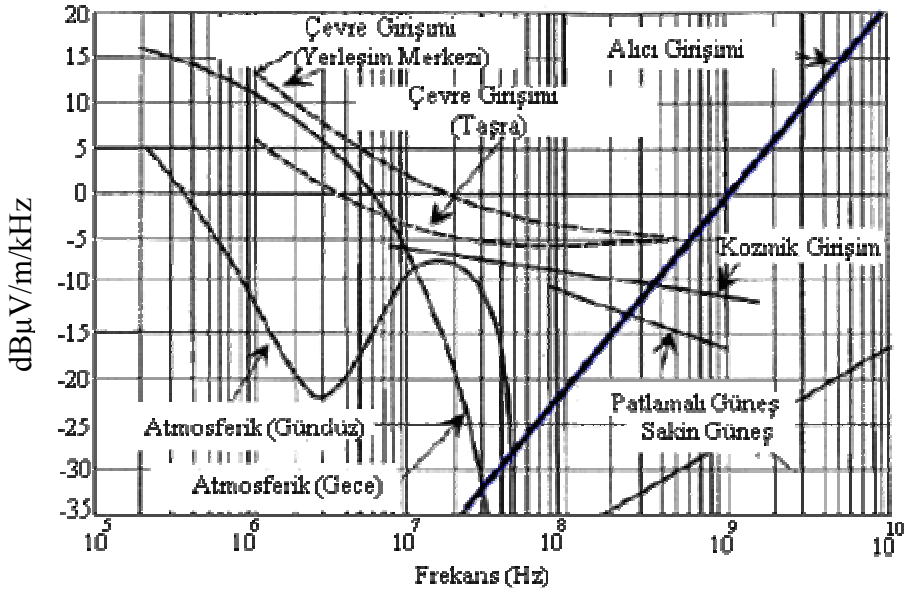
Endüstrileşme ile birlikte EM enerjinin kullanımının yaygınlaşması, EM alanların her frekansında canlıları etkileyen çevresel bir artış oluşturmuştur. Yapılan teorik modelleme ve deneysel çalışmalar sayesinde EM alanların etki mekanizması hakkında daha ayrıntılı bilgiler elde edilebilmekte ve istenmeyen fazla etkileşimi önlemek için insan sağlığı açısından güvenlik seviyeleri oluşturulmaktadır.

EM dalgalar; insan organizmasında önemli ölçüde karışıklığa neden olmakta, vücudun molekül ve atomları dengelerini yitirebilmekte, biyokimyasal işlevler etkilenebilmekte ve elektriksel dolaşımı zarar görmektedir. Bedensel işlevler, 1–250 μV arası çok küçük gerilimli elektriksel süreçlerle devam eder. Bir insanın sinir sistemi, uzunluğu 500 bin km olan 25 milyar sinir hücresi ile dev bir elektriksel donanıma sahip çok büyük bir elektronik sistemdir. EM alanların, dışardan bu duyarlı sistemi etkilemesi durumunda vücudun doğal elektriksel dolaşımı zarar görebilmekte ve buna bağlı olarak kalp dolaşım sistemi ve sinir sisteminde bozukluklar oluşabilmektedir (Şeker ve Çerezci 2003).

3.1. EM Girişim Kaynakları

Ortamdaki EM alanlar, çeşitli nedenlerle meydana gelen veya farklı EM yayın kaynaklarının oluşturduğu bileşke bir alan olup, spektrumun geniş bir bölümü söz konusu olduğunda rasgele ve karmaşık bir yapı gösterirler. Elektronik devreler ve sistemler bulundukları ortamda değişik kaynaklardan gelen etkilere maruz kalırlar. Bu etkiler genel olarak “gürültü” veya “girişim” olarak bilinir ve ortamdaki istenen haberleşme dalgalarının dışındaki tüm EM etkiler girişim olarak kabul edilir. Girişim çoğunlukla; kaynağı ne olursa olsun çok geniş bir frekans bölgesini kapsar. Ortamdaki EM kirliliğin değeri; istenen veya istenmeyen EM dalgalar ve gürültülerin bileşkesi olup, meydana getiren kaynaklar gruplara ayrılır.

Amacı ortama herhangi bir EM dalga yaymak olmayan ve elektrik ile çalışan tüm cihazlar; işleyişi için gerekli enerjinin kullanımı nedeniyle az ya da çok çevrelerinde EM alan oluştururlar. İstenmeyen bu EM dalgaların cihaz dışına yayılması önlenemediği takdirde, ortamda EM alan şiddetini arttırıcı etkiye neden olurlar. Şekil 3.1' de girişim kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 3.1 EM girişim spektrumu

Doğal girişim: Doğal nedenlerle (atmosferik elektriksel yüklerin sirkülasyonu vb) oluşan, çeşitli frekans ve güçlerdeki EM dalgaların meydana getirdiği EM alanlardır. Ortamdaki EM dağılımın dip seviyesini temsil eder.

Atmosferik girişim: Atmosferik girişim 200 kHz'de 5 dBµV/m ve 1 MHz'de yaklaşık -15 dBµV/m büyüklüğünde elektrik alan şiddeti oluşturur.

Çevre girişimi: Yerleşim yerlerinde 1 MHz'de 13 dBµV/m, 100 MHz'de -3 dBµV/m büyüklüğünde elektrik alan şiddetine sahip olup, özellikle HF ve 30–100 MHz frekans aralığında baskın olan girişimdir.

Kozmik girişim: 10 MHz'de -5 dBµV/m, 1GHz'de -12 dBµV/m değerindeki girişimdir. EM kirlilik ve ölçümler açısından kayda değer etkisi bulunmamaktadır.

Sakin ve patlamalı güneş girişimi: Güneşteki patlamaların oranının düşük olduğu dönem için "sakin", 11 yıllık dönemler halinde bu oranın yüksek olduğu

dönem için de “patlamalı” olarak nitelendirilen girişim tipidir. Yeryüzünde sırasıyla 20 MHz’de -35 dBμV/m, 10 GHz’de -17 dBμV/m, 90 MHz’de -11 dBμV/m ve 1 GHz’de -16 dBμV/m büyüklüğünde oluşur.

Isıl girişim: Telsiz haberleşme sistemlerinde bulunan yarı iletken elemanlarda serbest elektronların ortam sıcaklığına bağlı istem dışı hareketi sonucu ortaya çıkan girişim türüdür. Isıl girişim, ortamda bulunmayıp doğrudan alıcı cihazların içinde meydana gelen ve istenen faydalı işareti bozan ve alıcı hassasiyet seviyesini sınırlandıran bir etki gösterir.

Çeşitli fiziksel mekanizmalar ve cihazların tasarım özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan girişimlerin, haberleşmenin engellenmesi, kesintiye uğratılması veya kalitesinin bozulmasına sebebiyet vermelerinin yanında, ortamdaki EM kirlilik açısından da dikkate alınması gereken bir unsur olduğu ifade edilmektedir (Özsoy ve Saraçoğlu 1999).

3.2. Haberleşmede Kullanılan EM Dalgalar

Telsiz verici cihazları, işletildiği frekans bandı ve servis özelliklerine göre farklı teknik özelliklere sahiptir. Bunlardan örneğin mikrodalga link sistemleri noktadan noktaya olup, çoğunlukla şehir dışındadır. Buna karşılık, radyo ve TV vericileri göreceli olarak daha yüksek çıkış güçleriyle belli sektörler ve çoğunlukla da her yöne yayın yapan sistemlerdir. Şehirlere yakın konumda ve bazen de şehir içlerinde bulunmakta, geniş kapsama yapmakta ve ortamın elektrik alan şiddeti değerinin yüksek çıkmasının başlıca nedenleri arasında yer almaktadırlar.

Bu çalışmada ortamdaki EM kirliliğin analiz edilebilmesi için başlıca EM kirlilik yaratan kaynaklar incelenmiştir. Günlük hayatta sürekli olarak etkisine maruz kalınabilen ve çeşitli düzeylerde EM kirlilik oluşturan kaynakların çalışma frekansları Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 EM kirlilik kaynakları ve çalışma frekansları

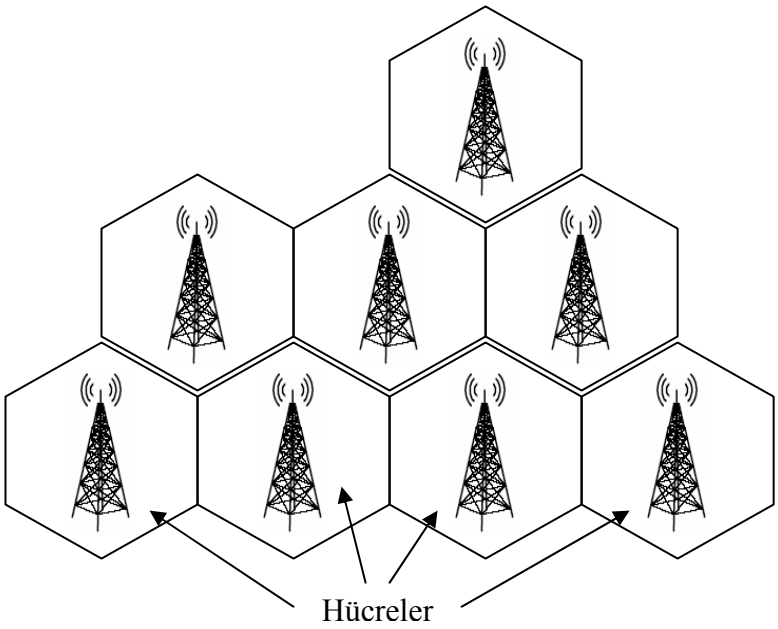
Verici Tipi	Frekans Aralığı
Şebeke gerilimi	50 Hz
AM radyolar	1 MHz
Halk bandı telsizler	27 MHz
FM radyolar	88–108 MHz
VHF televizyon vericileri	30–300 MHz
Araç telefonları	450 MHz
Kamusal amaçlı telsizler	45–500 MHz
UHF televizyon vericileri	300–860 MHz
GSM baz istasyonları	900 MHz
Hücresel telefonlar	860–900 MHz
Kişisel haberleşme sistemleri	1800–2200 MHz
Mikrodalga fırınlar	2450 MHz
X-ışınları	>1 GHz uygulamalar

3.2.1. GSM baz istasyonları ve hücresel sistemler

Sayıları hızla artan GSM hücresel haberleşme sistemi 900 ve 1800 MHz'de kapsama ve trafik yükü beklentilerini karşılamak amacıyla çok sayıda baz istasyonu (BTS) ile işletilmekte ve bu da özellikle yerleşim alanları içinde yoğun bir EM kirlilik oluşumuna neden olmaktadır. Artan abone talebi ve çeşitlenen hizmetler nedeniyle hücresel sistemler içinde radyasyon yayan kaynakların sayısı her geçen gün artmakta, bu da ortamdaki EM kirliliğin yoğunluğunu arttırmaktadır (Kaya ve arkadaşları 2003).

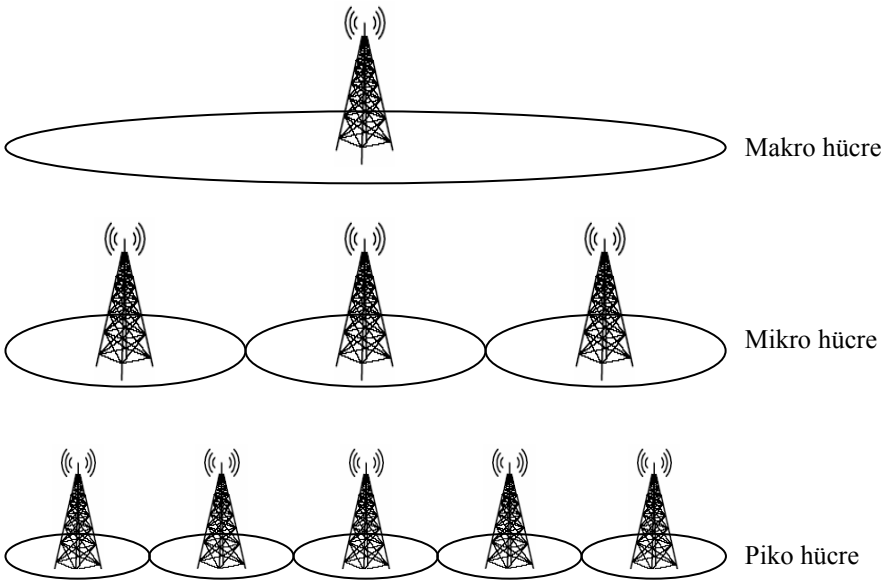
GSM hücresel sistemlerde haberleşme, Şekil 3.2'de görülen "hücre" adı verilen küçük alanlar üzerinden gerçekleştirilir. Her hücrenin merkezinde bir BTS bulunur ve haberleşme bu BTS üzerinden yapılır. BTS'ler birbirlerine bir ağ yapısı şeklinde bağlıdırlar. Herhangi bir mobil telefondan gelen çağrı isteğinin ilgili kullanıcıya ulaştırılması, bu ağ yapısı tarafından gerçekleştirilir. Baz istasyonları, Mobil

Anahtarlama Merkezleri (MAM) ile ve bu merkezler de birbirlerine kablo ya da yönlü radyolinklerle bağlıdırlar.



Şekil 3.2 Hücresel yapı

GSM hücrelerinin planlanması yerleşim bölgelerinin özelliklerine göre yapılır. Hücre planlamasını, hücrenin şehir içinde ya da şehir dışında olması ve kapsanacak bölgedeki GSM abone sayısı belirler. GSM hücresel sisteminde kapsama alanına göre üç tip hücre olup, bunlar makro, mikro ve piko hücre olarak adlandırılır. Şekil 3.3'de görülen; makro hücreler, yerleşimin az olduğu bölgelerde 25–35 km yarıçapında bir alana hizmet verebilirler. Ancak bina, ağaç ve tepe gibi engellerin çok olduğu yerleşim yerlerinde oluşturulan makro hücrelerin yarıçapları daha küçük olur. Makro hücrelerde GSM900 baz istasyonu antenlerinin çıkış güçleri 40–60 W olabilir. Mikro hücreler, genellikle yerleşimin yoğun olduğu ve makro hücresel kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak kurulan sistemlerdir. Mikro hücreler havaalanı, büyük alışveriş merkezleri gibi yerlerde kurulur. Birkaç yüz metrelik yarıçapı olan alanları kapsar ve çıkış güçleri 5–10 W seviyesinde olup, makro hücrelere göre düşüktür. Piko hücreler ise daha çok bina içi haberleşmelerde kullanılır ve birkaç W çıkış gücündedir.



Şekil 3.3 Hücre tipleri

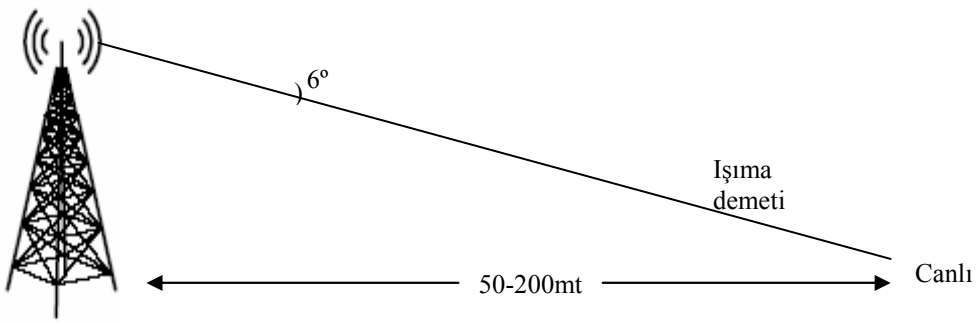
Baz istasyonu antenleri, GSM iletişimin kapsama alanını genişletmek için bina çatıları ve kulelere kurulan, genellikle beyaz renkli ve kutu şeklinde antenlerdir. BTS' deki, çubuk antenler mikrodalgaları toplayıp çanak antene verir ve bu dalgalar çanak anten aracılığıyla 16 farklı frekanstan UHF üzerinden yayınlanır. Şekil 3.4'de bir baz istasyonu kulesi ve anteni verilmiştir. Bu sistemde her bir telefon abonesi yaklaşık 200 kHz konuşma bandı kullanır.



(a) (b)

Şekil 3.4 (a) Baz istasyonu yapısı (b) Baz istasyonu anteni

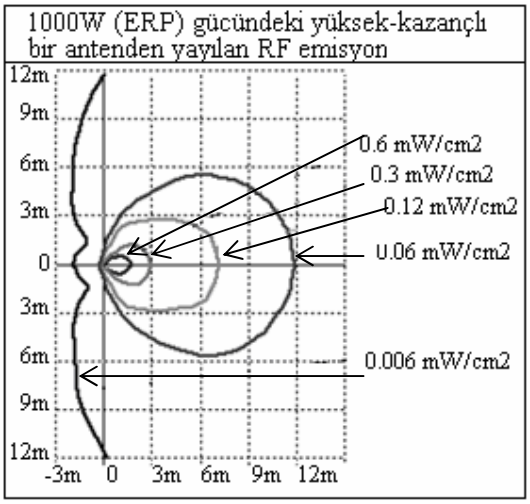
Her BTS anteni 16 farklı frekans üzerinden RF dalgaları yayar ve bu frekansların her birine "kanal" denir. Bir BTS en fazla 6 antene sahip olabildiği için en fazla 96 farklı frekanstan yayın yapar. BTS'ler tipik olarak 10–30 m yüksekliğindeki kulelere yerleştirilir. Genelde her kulede 120°'lik yatay açıyı kapsayan üç anten bulunmakta olup, her anten 2 ila 4 veya en fazla 16 konuşma kanalına sahiptir. Bir kule ile 30–40 km'lik yarıçapında bir alan kapsanabilmekte olup, her kanal ortalama 40–60 W güç ve 15–18 dB kazancındaki antenlere sahiptir. 60 W güç ile 10 m yüksekliğindeki bir kuleden 50 m uzakta ölçülecek elektrik alan şiddeti birkaç V/m civarında olacaktır. BTS'ler genelde açık alanlara ve caddelere doğru yayın yaptıklarından, ana yayılım yönünde yapılan ölçüm sonuçlarının diğer yönlere göre daha yüksek çıkacağı düşünülür. Bir BTS'ye ait ışıma yönü, temsili olarak Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Bir baz istasyonu ışıma yönü

Baz istasyonundaki anten sayısı arttıkça, üzerinden yayın yapılan frekans sayısı da artar. FCC, her kanaldan maksimum 500 W gücünde yayın yapılabileceğini standart olarak kabul etmiştir. Ancak GSM operatörleri en fazla kanal başına 100 W çıkış gücüyle yayın yapmaktadırlar. Yan yana kurulan hücrelerden yayılan yüksek çıkış güçlü RF dalgaların girişime neden olması ve bu nedenle de ses iletim kalitesini düşmesi sebebiyle, şehirlerde BTS çıkış gücü 1 W' a kadar düşmektedir.

Şekil 3.6'da 1000 W gücündeki yönlü bir antenin BTS kulesinden belli uzaklıklarda ölçülmüş RF radyasyonu güç yoğunluğu değerlerinin değişimi gösterilmektedir.



Şekil 3.6 Sektörel yönlendirilmiş tip antenlerde güç yoğunluğu değerinin mesafeye göre değişimi

3.2.2. Radyo ve TV vericileri

Çıkış güçleri itibariyle 88–108 MHz aralığında yayın yapan FM radyo ve TV vericileri genellikle yerleşim yerleri yakınında kurulu olmasına rağmen plansız yapılaşma nedeniyle büyük şehirlerde yerleşim alanı içinde kalmıştır. 100 W–50 kW'a kadar ulaşan çıkış güçlerine sahip olmaları nedeniyle EM kirlilik kapsamında önem arz ederler. Bir yerleşim bölgesinde aynı anda birden fazla radyo ve TV vericisinin bulunması ve yerleşimlerin topografik yapısı nedeniyle tek emisyon noktasından kapsamanın yapılamadığı durumlarda verici sayılarının arttırılması nedeniyle önemli birer EM kirlilik kaynağı olmaktadırlar.

3.2.3. Diğer EM kirlilik kaynakları

Bu kaynakların etkileri daha çok yerel olup, kullanıldıkları yer itibariyle bina içi ortamlar için yapılan değerlendirmelerde önemlidir. Ancak bu kaynakların etkileri açık alanda nispeten azdır ve bulundukları/geçtikleri bölgeler için dikkate alınması

gereklidir. Ortamdaki EM alan kaynağı olarak kabul edilen diğer cihaz ve sistemlerden belli başlıları şunlardır:

- Enerji nakil hatları ve trafo istasyonları,
- Elektrikli trenler,
- TV ve bilgisayarlarda kullanılan katot ışını tüplü ekranlar,
- Endüstride kullanılan indüksiyon fırınları ve indüksiyon kaynak makineleri,
- Tedavide kullanılan elektrikli/elektronik tıbbi cihazlar,
- Mikrodalga fırınları, sanayide RF frekansında çalışan çeşitli sistemler.

3.3. EM Dalgaların Etkileri

RF spektrumunda kullanılan EM dalgaların ortamdaki EM kirliliği arttırması sebebiyle canlılara olumsuz etkileri mevcuttur. İyonlaştırıcı olmayan EM radyasyon sınıfına giren radyo dalgalarının insanın biyolojik yapısı üzerinde iki tür etkisi vardır. Bunlar ısıl ve ısıl olmayan etkilerdir.

Isıl etkiler: RF dalgaları belirli bir miktar enerji taşıdıkları için, bu dalgalar vücut tarafından emilince taşınan enerji de dokulara geçer. Soğurulan enerjinin frekans ve alan şiddetine bağlı olarak hücre moleküllerini hareket ettirmesi sonucunda dokuların ısınmasına neden olur. Ortamdaki elektik alan değeri arttıkça vücut tarafından soğurulan enerji de artar. Isıl etkiler, limit emilim değerleri belirlemede ölçüt olarak kullanılmaya çok uygundur. Çünkü ısıl etkiler son derece açık ve ölçüme uygundur.

İyonlaştırmayan yani haberleşme amacıyla kullanılan 300 GHz'in altındaki EM dalgaların vücutta ısı artışına sebep olduğu kanıtlanmış durumdadır. Maruziyetinin dozuna yani EM alan şiddeti ve bu şiddetteki EM radyasyona sürekli maruz kalınan süreye bağlı olarak vücut ısısı RF dalga soğurumu nedeniyle artar (IEEE 1991).

Isıl olmayan etkiler*:* Bu tür etkiler açık ve ölçüme uygun değildir. Bu nedenle EM dalga radyasyonu konusunda standart belirlemek için temel alınamazlar. Isıl olmayan etkiler genellikle, düşük seviyeli, uzun süreli EM radyasyonun emilimi sonucu ortaya çıkarlar. Limit değerlerden daha zayıf RF dalga yaydıkları için, BTS

antenlerinin ısıl bir etkisi yoktur. Isıl olmayan etkiler üzerinde devam eden çalışmalar bulunmakla beraber, henüz herhangi bir zararlı etki rapor edilmemiş durumdadır (IEEE 1991).

3.3.1 EM dalgaların vücutta soğurulması

EM dalganın iletken bir ortam içine girerek ilerlemesi "nüfuz etme" olarak adlandırılmakta ve bunun ölçüsü genellikle "δ" ile gösterilen "nüfuz etme derinliği" olarak tanımlanmaktadır (Özen ve arkadaşları 2002). Denklem 3.4'de görüldüğü gibi nüfuz etme derinliği; frekansa, ortamın iletkenliğine (σ) ve manyetik geçirgenliğe (μ) bağlıdır.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{f\sigma\mu\pi}} \tag{3.4}$$

İnsan vücudu, EM dalgaya karşı bir anten gibi davrandığından belirli bir dalga boyunda daha fazla enerji soğurur. Örneğin kişinin boyu, EM dalganın yarı büyüklüğünde olduğunda rezonans frekansına eşit olması nedeniyle enerji soğurumu en yüksek düzeyde gerçekleşir (ICNIRP 1998). Çizelge 3.2'de farklı frekans aralıklarında izin verilen sınır değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Frekansa göre EM alan sınır değerleri

Frekans Aralığı	**Elektrik Alan Şiddeti (V/m)**	**Manyetik Alan Şiddeti (A/m)**	**S (W/m^2)**
3 – 150 kHz	87	5	-
0,15 – 1 MHz	87	0.73/f	-
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0.73/f	-
10 – 400 MHz	28	0.0073	2
400 – 2000 MHz	$1.375 \times f^{1/2}$	$0.0037 \times f^{1/2}$	f/200
2 – 300 GHz	61	0.16	10

3.3.2 Özgül soğurma oranı

Canlı vücudunun EM dalgadan soğurduğu enerji, Özgül Soğurma Oranı (SAR) olarak tanımlanır. SAR, ortalama bir insan vücudunun kg başına soğuracağı enerji miktarını temsil eder. Diğer bir ifadeyle SAR, vücudun 1 kg'ının sıcaklığını 1°C yükselten EM enerji miktarıdır. ICNIRP, SAR değerini 4 W/kg olarak kabul etmiştir. Bu değerin onda biri yani 0,4 W/kg değerini, meslekleri gereği EM alana maruz kalanlar için sınır olarak kabul edilmiştir. Toplumun maruz kalabileceği sınır ise 0,08 W/kg olarak belirlenmiştir (ICNIRP 1998).

EM dalganın insanlara nasıl bir etki yaptığının gerektiği gibi belirlenebilmesi için elektrik alan şiddetinin, doğrudan vücudun içinde ölçülmesi gerekir. Fiziksel olarak bu mümkün olmadığından insan vücudu iletkenliği değerine sahip kimyasal malzemelerden oluşan modeller üzerinde çalışmalar yapılmakta ve bilgisayar benzetimleriyle vücut içinde olması muhtemel elektrik alan değerleri hesaplanmaktadır. İnsan vücudu da tıpkı iletken bir madde gibi davrandığından ve vücut organlarının iletkenliği birbirlerinden farklı olduğu için EM dalganın soğurulması da organdan organa değişiklik göstermektedir.

3.4 Ülkemizde Kabul Edilen EM Alan Sınır Değeri

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun verilerine göre ülkemizdeki GSM şebekesi, toplam 63.614.157 abone sayısına ulaşmış ve buna paralel olarak BTS'lerin sayısı da artmıştır. Bu nedenle halkta ve bilim çevrelerinde, EM radyasyon tarafından oluşabilecek biyolojik etkiler konusunda tartışma başlamış ve bunun sonucunda vericilerin yakınında yaşayan halkta sağlık açısından endişeler oluşmuştur. Halkın bu endişelerini ve şikâyetlerini dikkate alan bazı kamu kuruluşlarınca, EM alan yaratan kaynaklara sınır değerler getirmek üzere aşağıdaki düzenlemeler yapılmıştır.

- Çevre Bakanlığı tarafından 11.05.2000 tarihinde Genelge çıkartıldı.
- Ulaştırma Bakanlığı tarafından 04.08.2000 tarihinde Yönetmelik yayınlandı.

- Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından 4502 Sayılı Kanunun verdiği yetkiyle 12.07.2001 tarihinde Yönetmelik yayınlandı.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından çıkartılan 2001 tarihli yönetmelik, bu konudaki diğer düzenlemeleri yürürlükten kaldırmıştır. Yönetmeliğin hazırlanması aşamasında diğer kamu kurum ve kuruluşları ile koordineli çalışılması nedeniyle bu yönetmelik, toplum ve kamu kuruluşları nezdinde kabul görmüş ve halen de başarıyla uygulanmaya devam etmektedir.

Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun Yönetmeliğine göre, ortamdaki EM alan şiddeti sınır değeri için ICNIRP değeri kabul edilirken, verici yakınında doğrudan maruziyet olabilecek bölgelerdeki limitler daha aşağı çekilerek cihaz başına EM alan limit değerlerine sınırlama getirilmiştir. Bu değer ICNIRP'ın elektrik alan şiddeti için kabul ettiği sınır değerin 1/4'üne karşılık gelmektedir.

EM alanın sınır değeri üzerinde ülkelerin çoğunluğunun belli bir mutabakatı bulunmakta olup, 18 Avrupa ülkesi CENELEC ve 42 Dünya ülkesi de ICNIRP sınır değerlerini benimsemiş durumdadır. Buna ilave olarak yalnızca beş dünya ülkesi, muhtemel olumsuzlukları önceden öngörme yoluna giderek ülkelerindeki sınır değeri daha aşağı seviyelere indirmişlerdir. Çizelge 3.3'de Ülkemizin kabul ettiği sınır değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.3 Genel yaşam alanları için uygulanan EM alan sınır değerleri

Ölçülen Büyüklük	**900 MHz**		**1800 MHz**	
	Tek bir cihaz için sınır değer	**Ortamın toplam sınır değeri**	**Tek bir cihaz için sınır değer**	**Ortamın toplam sınır değeri**
Elektrik Alan Şiddeti (V/m)	10.23	41.25	14.47	58.34
Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	0.027	0.111	0.038	0.157
Güç Yoğunluğu (W/m^2)	0.28	4.5	0.56	9

4. ELEKTROMANYETİK KİRLİLİK ÖLÇÜMÜ

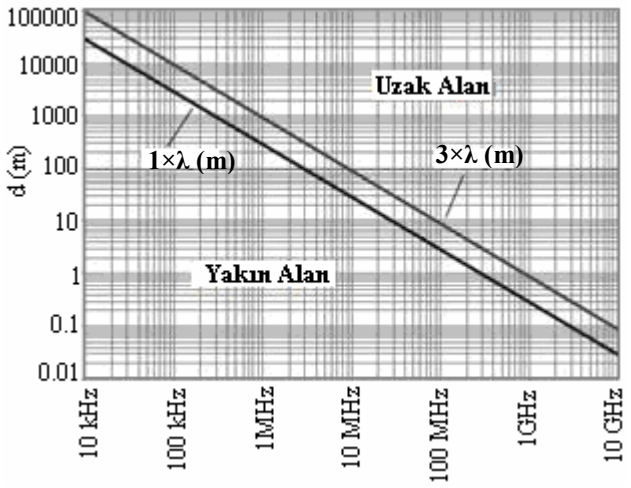
Bu tez çalışmasında, nüfusun yoğun olarak bulunduğu Ankara kent merkezinde ve geniş bir frekans spektrumunda EM kirlilik dağılımı bulunması amaçlandığı için bu amaca uygun bir ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Önceden yapılan mevcut çalışmalar ve Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu envanterine kayıtlı mevcut ölçüm cihazlarından yararlanılarak hızlı ve çok sayıda veri toplanmasına imkân veren bir yöntem uygulanmıştır. Yapılan bu EM kirlilik ölçümü çalışmasında şu hususlar dikkate alınmıştır:

- Geniş bandda ölçüm işleminde; ölçüm bölgesindeki mevcut tüm EM alan sinyallerinin etkileri belirlenirken, dar bandda ölçümde ise, spektrum analizör özellikli cihaz ile belirli bir frekans aralığındaki her bir EM kaynağın etkisi analiz edilir.
- Sadece statik verilerden yola çıkıldığında, özellikle elde kullanılan verici kaynakların etkilerinin yansıtılması mümkün olmamaktadır.
- EM kirliliğin haritalanmasının daha çok olasılık dağılıma dayanması nedeniyle, buna bağlı belirsizlik EM kirlilik dağılım haritalarının güvenilirliğini düşürmektedir.
- Arazi şekillerinin yeterli doğrulukta modellenebilmesine ve buna ilişkin verilerin pek çok ülke ve Türkiye'de temin edilebilir olmasına rağmen, yüzey detayları ve özellikle yerleşim alanlarındaki bina ve diğer insan yapısı unsurların modellenmesinin zorluğu ve buna ilişkin doğru ve güncel veri bulunmasının imkânsız olduğu değerlendirilmiştir (Özdemir 2004, Benjamin ve ark. 2001).

Yukarıdaki sebeplerden dolayı, EM kirlilik dağılım haritası oluşturulmasının yüzde yüz doğruluk vermeyeceği düşünülebilir. Ortamdaki gerçek değerleri ve EM kirlilik dağılımını daha iyi yansıtılabilmesi bakımından ortamda ölçüm yapılmasını temel alan bir metot kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülebilir.

4.1. Ölçümde Yakın ve Uzak Alan Tanımlamaları

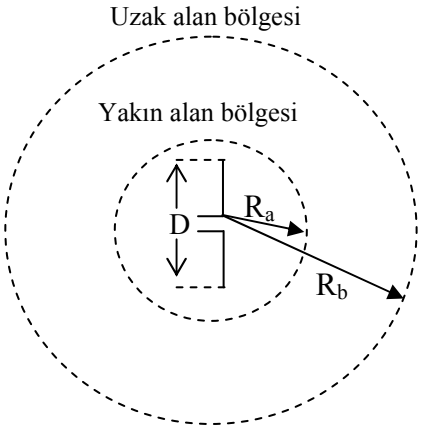
Verici anteninde oluşturulan EM enerjinin, yayılım ortamına aktarılması ve iletilmesi sırasında, anten ve yayılım ortamının iki ayrı iletkenlik değerine sahip olması nedeniyle; verici anteninden itibaren dışa doğru bir süreksizlik veya geçiş bölgesi söz konusudur. Bu bölge "yakın alan" olarak adlandırılırken, verici antenden belli uzaklıktan sonrası ise "uzak alan" olarak adlandırılır. Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu'nun Yönetmeliğine göre; EM dalganın düzlem dalga özelliği gösterdiği ve antenden 3 dalga boyundan daha uzak olduğu mesafe "uzak alan mesafesi" olarak tanımlanır.



Şekil 4.1 Yakın-alan ve uzak-alan tanımlaması

Yakın alanda durum oldukça karmaşıktır. EM kaynakların yakınında, kaynağın cinsine bağlı olarak elektrik ya da manyetik alan bileşeni, diğerine göre çok baskın olabilir. Hatta bazı bölgelerde sadece elektrik ya da sadece manyetik alan olabilir. EM dalgaya ait bileşenlerin baskın olduğu antenin çok yakınındaki bölgeyi yani yakın alanı, $R < R_a$ bağıntısı tanımlar. Şekil 4.2' de görüldüğü gibi anten yüzeyinin alan uzaklığı (R), bölgenin dış sınırının antene uzaklığı (R_a), antenin boyutu (D) ve EM dalga boyu (λ) ile gösterilir. Uzak alanda; elektrik ve manyetik alanın kaynaktan uzaklaştıkça mesafenin karesiyle ters orantılı olarak azalması (serbest

uzay kaybı olarak), hesaplamalarda elektrik alan şiddetinin veya coğrafi alandaki dağılımının tahmin edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Verici kaynaktan hangi uzaklıktan itibaren uzak alan varsayılması gerektiği, Denklem 4.1 ile hesaplanmaktadır (Özdemir 2004, Benjamin ve ark. 2001).



Şekil 4.2 Dipol antene ait uzak ve yakın alan bölgeleri

$$d > \frac{2.D^2}{\lambda} \tag{4.1}$$

Buna göre 1m uzunluğundaki anten için GSM 900 ve GSM 1800'de uzak alan şartlarının hangi mesafelerden itibaren geçerli olduğu Çizelge 4.1'de gösterilmiştir (Özdemir 2004, Benjamin ve ark. 2001).

Çizelge 4.1 Uzak alan mesafesinin frekansa göre değişimi

Frekans (MHz)	**Uzak Alan Mesafesi (m)**
GSM 900	6.4
GSM 1800	2.6

Çizelge 4.1'de verilen mesafelere göre bu çalışma kapsamında yapılan EM kirlilik ölçümlerine ilişkin şu hususlar vurgulanmıştır:

- Ölçüm yapılan bölgelerde; GSM900 ve GSM1800 BTS ve verici antenlerine, ölçümler sırasında bu kadar yaklaşılmasının mümkün olmadığı için daima uzak alan şartlarının söz konusu olduğu kabul edilmiştir.
- Yerleşim merkezlerinde TV ve FM radyo vericilerinin büyük kısmının yüksek tepelerde ve anten kuleleri üzerinde bulunması nedeniyle uzak alan şartlarının hâkim olduğu kabul edilmiştir.
- Yerleşim merkezlerinde münferiden bulunabilen FM vericilerinin de maksimum kapsama hedeflenmesinden dolayı genellikle yüksek binalar üzerinde bulunması nedeniyle, ölçüm sırasında uzak alan şartlarının geçerli olduğu kabul edilmiştir.
- Yapılan ölçümlerin, geniş bir coğrafi alanda ve ciddi ölçüde yüksek sayıdaki ölçüm değerini öngörmesi nedeniyle, ölçümlerde yakın alan şartlarının mümkün olmadığı değerlendirilmiştir (Grollo ve ark. 2000, Benjamin ve ark. 2001).

Yakın alan şartları, daha çok laboratuar ortamında ve belli bir kaynak için gerçekleştirilen ölçümler için gerçekçi sonuçlar vermektedir. Yerleşim merkezlerinde yapılan EM kirlilik dağılımına ait haritaların hazırlanmasına yönelik çalışmada yukarıdaki gerekçelerle uzak alan şartlarında ölçüm uygun görülmüştür.

4.2. Ölçüm Metodu

Belirli bir frekans spektrumundaki EM kirliliğin ölçümü amacındaki bu çalışmada; ölçülen spektrumdaki her türlü kaynağın etkilerinin bileşkesi olan elektrik alan şiddeti değerinin ölçülmesi, ölçümün hızlı gerçekleştirilmesi ve daha çok veri elde edilmesi esas alınmıştır. Uygulamada kullanılan yönlülük ve kazanç özellikleri iyi antenlerin birçoğu, her yöndeki sinyaller ve aynı anda farklı polarizasyonlar üzerinden hızlı ölçüm yapılmasına izin vermediğinden bu çalışma için uygun görülmemiştir. Bu nedenle ölçüm düzeneğinde amaca uygun olarak 75 MHz – 3 GHz gibi geniş bir spektrumda, bütün yönlerde ve her türlü polarizasyonda ölçüm yapabilen izotropik anten probu tercih edilmiştir.



Şekil 4.3 Ölçüm bölgesindeki bazı EM alan kaynakları

Ölçümler açık alan olarak nitelendirilen ve nüfusun çoğunluğunun kullanmakta olduğu alanlar, caddeler, sokaklar ve bina dışı ortamlarda yapılmıştır. Şekil 4.3' de görüldüğü gibi radyo-TV vericilerinin ve GSM baz istasyonlarının yoğun olarak bulunduğu ve EM alan şiddetinin nispeten yüksek çıkma ihtimalinin olduğu bölgeler ölçüm noktaları olarak belirlenmiştir. Kent merkezinde ölçüm için uygun bir araçla hareket halinde yapılan çevresel ölçümlerde, Çizelge 4.2'deki frekans aralıklarında çalışan EM alan kaynakları ve 75 MHz – 3 GHz frekans spektrumunda Çizelge

4.2'dekilerin haricinde bulunan diğer kaynaklar ölçülmüştür. Araç telefonları (450 MHz), kamusal amaçlı telsizler (45–500 MHz) ve Çizelge 4.2'dekilerin haricinde farklı bandları kullanan TV vericileri gibi kaynaklar "diğer EM alan kaynakları" olarak düşünülmüştür.

Çizelge 4.2 Ölçülen EM kirlilik kaynakları ve frekans aralıkları

EM Kaynak	**Frekans Aralığı**
FM	88 – 108 MHz
VHF	174 – 230 MHz
UHF4	470 – 605 MHz
UHF5	605 – 861 MHz
GSM900	870 – 960 MHz
GSM1800	1.77 – 1.85 GHz

Ölçüm aracı ile Ankara ilinin çeşitli semtlerinde trafik yoğunluğunun elverdiği ölçüde ortalama 30 km/h hızla hareket halinde ölçüm uygulaması gerçekleştirildi. Ölçüm değerleri ölçüm cihazı üzerinde sırasıyla kaydedilirken, ölçülen noktanın koordinat değeri de ölçüm esnasında düzenekte bulunan bilgisayar aracılığıyla kaydedildi. Nüfusun ve EM kirlilik kaynaklarının yoğun olduğu bölgelerde daha fazla değer kaydetmek amacıyla ölçüm adedi daha fazla tutuldu. Ayrıca, ölçüm güzergâhındaki trafiğin yoğun olduğu durumlarda durularak ölçümler yapıldı.

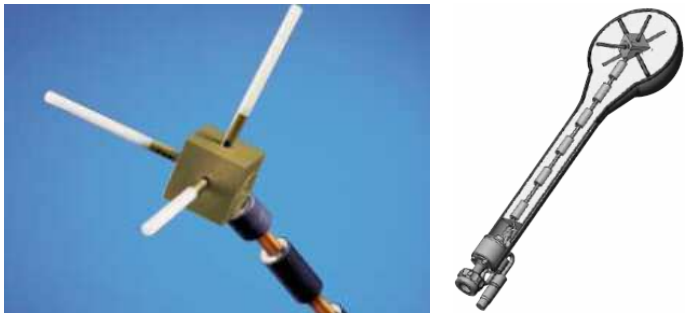
Ölçümlerde elektrik alan şiddeti (E) değeri kaydedildi. Çünkü uzak alan şartlarında; güç yoğunluğu ile elektrik ya da manyetik alan şiddeti arasında basit bir katsayı farkı vardır (Denklem 2.4). Bu nedenle herhangi birinin ölçülmesi diğerlerinin de elde edilmesini sağlar. Yani manyetik alan, ölçülen elektrik alan şiddeti değerinin 377'ye bölünmesi ile güç yoğunluğu ise elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin çarpımı ile elde edilebilir (Sevgi 2003). Bu nedenle elektrik alan şiddeti değerlerinin ölçülmesi yeterli görülmüştür.

4.2.1. EM alan şiddetinin izotropik prob ile ölçülmesi

EM alan ölçümlerinde özel sensör ve problar yardımıyla elektrik veya manyetik alan şiddeti değerleri ölçülür. Temelde iki tür EM alan ölçümü uygulaması vardır:

- Geniş band ölçümleri; geniş bir frekans aralığındaki herhangi bir sinyali alan ve genellikle birbirinden bağımsız üç diyot dedektörden oluşan bir geniş band probu kullanılarak uygulanır.
- Frekans seçici ölçümler; ilgilenilen frekans aralığını izlemeye yarayan bir spektrum analizör veya bir frekans seçici alıcı ve anteni içeren ölçüm uygulamalarıdır.

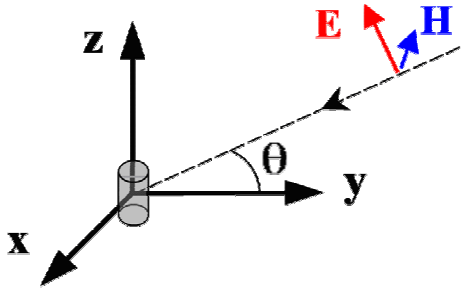
Elektrik alan şiddeti, binalar ve yerden yansımalar nedeniyle kısa mesafeler üzerinde önemli değişimlere sahiptir. Tüm kaynaklardan gelen sinyal seviyelerinin oranı, bulunulan şartlara bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu nedenle, belirlenmiş spektrum kesiminde dar bandlı ölçüm cihazları ile ölçümün ancak münferit noktalar için uygun olacağı düşünülmüştür. Bunun yanında, dar bandlı cihazlar ile coğrafi bir alandaki EM elektrik alan şiddeti dağılım bilgisine ulaşılmasının son derece zor olacağı değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4 İzotropik prob

İzotropik prob, yapısında birbirine dik (x, y, z eksenlerinde) olarak yerleştirilmiş ve ortamdaki elektrik alan şiddetini polarizasyondan bağımsız olarak

algılayabilen detektör diyotlardan oluşur. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi üç eksenli bir izotropik prob ile toplam alan şiddeti değeri ölçümü, sensör pozisyonu değiştirilmeksizin her üç yönden de yapılan ölçümle belirlendiği için daha doğru ve daha pratik olmaktadır. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi probun yapısında; birbirine dik olarak yerleştirilmiş birbirinden bağımsız üç geniş band sensörü bulunmaktadır (Solari ve Viciguerra 2005).



Şekil 4.5 İzotropik gösterim

İzotropik antenle yapılan ölçümlerde; toplam elektrik alan şiddeti E (V/m), her yönden alınan değerlerin bileşke toplamıdır (Denklem 4.2). Aynı şekilde toplam manyetik alan şiddeti H (A/m) de bileşke toplamdır (Denklem 4.3). Çevresel elektrik alan şiddeti değerlerinin belirlenmesi için yapılan ölçümlerde; n. kaynağa ilişkin elektrik alan şiddeti (E_n) olursa, ortamın toplam elektrik alan şiddeti değeri Denklem 4.4'deki gibi bulunur (Hamid ve ark. 2003, NARDA 2007).

$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \tag{4.2}$$

$$|H| = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2} \tag{4.3}$$

$$|E| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + \ldots + E_n^2} \tag{4.4}$$

4.3. Ölçüm Düzeneği

Ortamdaki birden fazla kaynaktan oluşan elektrik alan şiddeti seviyesinin ölçümünde, IEEE tarafından IEEE C95.3–1991 standardında;

- Ölçümlerin polarizasyondan bağımsız olarak yapılması,
- Ölçümlerde izotropik antenlerin kullanılması,
- 3 GHz'in altındaki yayın ve haberleşme bandlarında elektrik alan şiddetini ölçülmesi için diyot detektörlerden oluşan izotropik prob kullanılması

hususları vurgulanmıştır. Bu nedenle, 75 MHz – 3 GHz frekans bandında RF kaynaklarının ortamda oluşturduğu bileşke elektrik alan şiddetinin ölçümünde; geniş bandda, polarizasyon ve yönden bağımsız ölçüm yapabilen Şekil 4.6'da görülen NARDA SRM3000 cihazı kullanılmıştır. Ancak cihazın selektif spektrum analizör özelliği olması nedeniyle, bu frekans aralığındaki her bir kaynağın elektrik alan şiddeti değeri farklı frekans aralıklarında aynı anda ölçülebilmektedir. EMR cihazında ortamdaki elektrik alan şiddetinin 'maksimum', 'ortalama' ve 'anlık' değerlerini ölçme kabiliyeti bulunmakla birlikte; ölçümlerde anlık değerlerin ortalaması alınmıştır. Bununla birlikte elektrik alan şiddeti seviyelerinin göreceli olarak yüksek olduğu belirlenen yerlerde, daha çok ölçüm alarak değişken olan elektrik alan şiddetinin en yüksek değerlerinin elde edilmesine çalışılmıştır.



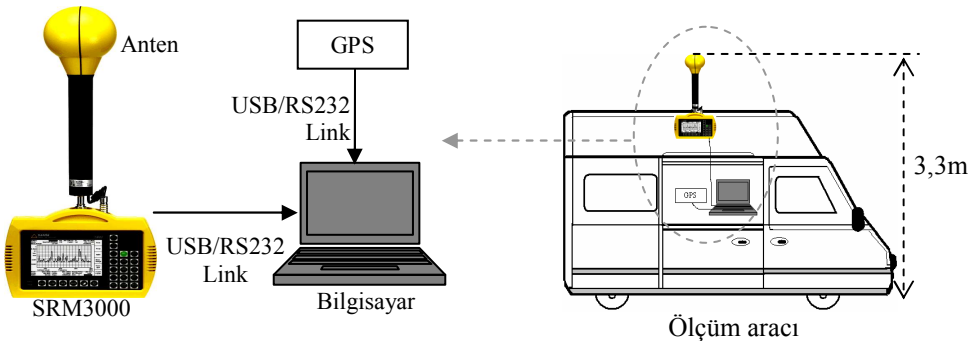
Şekil 4.6 EM alan ölçümlerinde kullanılan SRM3000 cihazı

Piyasada geniş ya da dar bandda çalışan ve elektrik alan şiddeti ölçümünde kullanılan çok sayıda cihaz bulunmasına rağmen SRM3000 cihazı, geniş bir frekans aralığındaki değerleri akort işlemine gerek olmaksızın hareketli ölçüm yapılmasını mümkün kılacak tepki zamanlarında ölçebildiği için seçilmiştir. Cihaz selektif ve geniş bantlı ölçüm imkânı sağlamaktadır. Cihaz spektrum analizör moduna ve seçilen ölçüm aralığına göre 1 kHz ve 5 MHz arası çözünürlükte bant genişliğine sahiptir. Cihaz ilk açılığında, kendini test edip sinyal sesi verdikten sonra proba uygun olan elektrik alan şiddetinin anlık değerini görüntülemektedir. Çizelge 4.3'de ölçüm cihazının özellikleri verilmiştir. Ayrıca EK–4'de SRM3000 ölçüm cihazı ve izotropik probuna ilişkin TÜBİTAK UME tarafından verilmiş olan kalibrasyon sertifikaları yer almaktadır.

Çizelge 4.3 Ölçümde kullanılan cihazın özellikleri

Ölçü birimi	V/m	Cihazın seri no	M–0005
Sonuç tipi	Ortalama	Cihazın kalibrasyon tarihi	26.07.2007
Ortalamanın tipi	Sayı	Anten	3AX 75M-3G
Ortalama zaman (sn)	360	Anten seri no.	H–0182
Ortalamaların sayısı	4	Antenin kalibrasyon tarihi	17.07.2007

Ölçümler esnasında Şekil 4.7'de görüldüğü gibi araç üzerine anten yerleştirilmiş bir düzenek kullanılmıştır. Bu amaçla, iyi elektriksel özelliklerde tasarlanmış bir bilgisayar ve GPS donanımı bulunan ölçüm düzeneği araç içine yerleştirilmiştir. Düzenekteki bilgisayara 5 m pozisyon doğruluğu sağlayan GPS alıcısı ve SRM3000 cihazı RS 232 portu üzerinden bağlanmıştır. SRM3000 cihazı ve probu, ölçüm aracının tavanına sabitlenmiş durumda yerden yaklaşık 3.30 m yükseklikte kullanılmıştır. Araç hareket halinde iken EMR cihazının izin verdiği maksimum periyotlarda (6dk) sürekli ölçüm yapılmıştır (ICNIRP 1998). Ölçümler özellikle GSM bandlarının yoğun olarak kullanıldığı gündüz mesai saatlerinde; saat 10.00'da başlamış ve 16.30'da bırakılmıştır.



Şekil 4.7 Ölçüm düzeneği

Araç üzerine ölçüm düzeneğinin sabitlenmesi ve kullanılması sırasında ölçüm değerleri üzerindeki etkilerin minimum seviyede tutulmasını sağlamak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir:

- İletken yüzeyler kısmen ya da tamamen yansıma veya saçılma etkisi göstererek ölçüm yerindeki elektrik alan değerinde çoklu yansıma etkileri oluşturmakta ve böylelikle elektrik alan şiddetinin azalmasına ya da artmasına neden olabilmektedir. Kullanılan araçta, cihaz ve ölçüm probu, yansıtmasız fiber malzemeden yapılmış yalıtkan tavan üzerine monte edilmiştir.
- Çoklu yansımalar, ölçülen elektrik alan şiddeti değerinde özellikle 300 MHz'in üstündeki frekanslarda önemli dalgalanmalara sebep olabildiğinden; kullanılan prob, aracın metalik yüzeylerinden yeteri kadar uzaklaştırılmış ve ölçümlerin güvenilir şartlarda yapılması sağlanmıştır (Özdemir 2004, Benjamin ve ark. 2001).

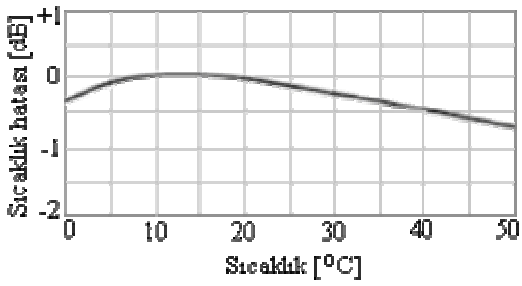
Özel tasarlanmış araç imkânının bulunmadığı durumlarda ölçüm cihazlarının portatif kullanım özelliklerinden yararlanılarak ve bir GPS cihazı ile koordinat belirlenerek veri toplama çalışmasına devam edilmiştir. Bu suretle şehir içinde maksimum ölçüde alan taranabilmiştir.

4.4. Ölçüm Belirsizlikleri

Ölçüm uygulamasında kullanılan cihazın teknik özellikler ve sıcaklık bakımından olası belirsizlikleri şu şekilde belirlenmiştir.

Prob kullanılan ölçüm düzeneklerinde etkin değer hesabının doğru yapılabilmesi için, elektrik alan problarının frekansa bağlı ölçüm tepkisinin, hesaplarda dikkate alınması gerekir. Cihazın TÜBİTAK UME Laboratuarı tarafından verilen EK─4.1'deki kalibrasyon sertifikalarına göre 0.1 MHz – 3 GHz frekans aralığındaki ölçüm belirsizliği değeri 0.17 dB olarak belirtilmiştir. Yine ölçümde kullanılan izotropik ölçüm probunun Çizelge EK─4.2'de verilen kalibrasyon sertifikalarına göre 3 GHz'e kadar olan frekans aralığındaki ölçüm belirsizliği 1–1.5 dB olarak belirtilmiştir.

Ölçümlerde elde edilen değerler yalnızca ölçüm cihazına ve ölçüm metoduna bağlı değildir. Ölçümün yapıldığı iklim şartları da ölçüm düzeneğinden bağımsız olarak ölçüm doğruluğunu etkileyebilmektedir. Bunun bir ölçüsü olarak 30 MHz'in üstündeki ölçümlerde ölçüm hatasının 1 dB'e kadar çıkabildiği belirtilmektedir (IEEE 1991). Kullanılan EMR cihazı için prospektüsünde verilen sıcaklığa bağımlılık Şekil 4.8' deki gibidir. Buna göre sıcaklıktaki yaklaşık 40 °C değişimin, ölçüm doğruluğunda yaklaşık 1 dB hataya neden olmaktadır (NARDA 2007).



Şekil 4.8 Ölçüm probunun sıcaklığa bağlı tepkisi

Ölçümün yapıldığı gerçek koşullar dikkate alındığında yani sıcaklık değerinde 30 – 40 °C' lik değişimler olmadığı için sıcaklığa bağlı ölçüm belirsizliği ihmal edilmiştir. Toplam belirsizliğin kabul edilebilirliği hususunda yapılan araştırma sonucunda; UME tarafından Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunun Yönetmeliği kapsamında spektrum analizör ile yapılan ölçümlerdeki belirsizlik 3 dB olarak belirtilmektedir. Buna göre tez kapsamındaki ölçümler için önerilen düzeneğin ölçüm belirsizliğinin "kabul edilebilir" olduğu değerlendirilmiştir (TK Yönetmeliği 2001).

5. EM KİRLİLİK ÖLÇÜM SONUÇLARI VE KİRLİLİK DAĞILIM HARİTALARI

Bu çalışma kapsamında, araçla hareket halinde veri toplanmasına izin veren bir düzenek kullanılarak Ankara ili kent merkezinin olabildiğince detaylı taranması ile EM kirlilik alanlarının daha iyi belirleneceği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, kent merkezinde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde çevresel EM kirlilik ölçümleri yapılmış ve EM kirliliğe ait dağılım haritaları elde edilmiştir.

Uygulamada kullanılan düzenek ile elde edilen çok sayıda ölçüm sonuçlarından görüleceği üzere; uygulanan veri toplama tekniğinin, geniş bir coğrafi alanda EM kirliliğin dağılımının bulunması için uygun bir yöntem olduğu düşünülmüştür.

5.1. Vericilerin Bulunduğu Yerlerdeki Kirlilik Dağılımı

Ankara kent merkezinde radyo ve TV vericilerinin yoğun olarak bulunduğu Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe verici bölgeleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu bölgelerde GSM 900 ve GSM 1800 bandlarını kullanan üç GSM operatörü (Turkcell, Vodafone ve AVEA) tarafından işletilen baz istasyonları bulunmaktadır. Konunun kamuoyunda tartışıldığı boyutu da dikkate alınarak, bu kadar çok sayıda ve değişik güçlerde verici bulunan bölgelerde EM kirlilik dağılımının belirlenmesinin önemli ve faydalı olacağı düşünülmüştür. Bu bölgelerde bulunan vericiler; Çizelge E.3.1, E.3.2, E.3.3' de verilmiştir. Nitekim Ankara için Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgeleri hâlihazırda faal anlamda vericilerin bulunduğu bir yer olmanın yanı sıra 4756 Sayılı Kanun uyarınca Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından yapılan Analog ve Sayısal Ulusal Radyo ve TV Frekans Planları'nda da birer emisyon noktası olarak dikkate alınmaktadır. Aynı zamanda bu bölgeler yerleşim yeri olup, halen çok sayıda insan yaşamaktadır (Özdemir 2004, Çolak ve Koşalay 2008). Çizelge E.1.1, E.1.2, E.1.3'de çevresel ve iki verici bölgesine ait elektrik alan şiddeti ölçüm sonuçları, Çizelge E.1.4'de Şentepe bölgesine ait güç

yoğunluğu değeri ve Çizelge E.1.5'de ise Çaldağı bölgesine ait güç yoğunluğu değerleri verilmiştir. Ayrıca Çizelge E.2'de çevresel ölçüm sonuçlarına ait GPS koordinat değerleri verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.1 Verici bölgelerinden görünüm (a) Dikmen Çaldağı verici bölgesi (b) Yenimahalle Şentepe verici bölgesi

5.2. Ölçüm Bölgesine Ait EM Kirlilik Haritaları

Grafik veriler, konuma bağlı olarak ölçülen ya da çeşitli yazılımlar aracılığı ile üretilen, görüntü ya da tablosal veriler olabilir. Grafik olmayan veriler ise, varlıklara ilişkin öznitelik bilgiler olabileceği gibi, ekonomik, sosyal ve yönetsel yapıya ilişkin veriler de olabilir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile grafik ve grafik olmayan verileri bütünleştiren, konumsal sorgulama, görüntüleme ve modelleme yaparak karar verme analizleri üretebilinmektedir. CBS, konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik veya grafik olmayan bilgilerin toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu 2000).

CBS için çevre problemlerinin çözümü en güçlü ve en başarılı uygulama alanlarından biridir. Özellikle, aynı coğrafyada bulunan farklı içerikli konumsal

bilgilerin hızlı analiz gereksinimi, kamu kurum ve kuruluşlar yanında artık bireyler için de etkin bir karar destek aracı olarak önemsenmektedir. CBS' de depolanan veriler üzerinde konuma dayalı karar verebilme; coğrafi verinin sorgulanması, görüntülenmesi ve analizler ile mümkün olmaktadır.

EM kirliliğin tespiti amacıyla CBS, konumsal ve konumsal olmayan bilgilerin veritabanında depolanması, işlenmesi ve sunulması fonksiyonlarını içermekte çeşitli sorgulamalar ve analizler yaparak, kirliliğin izlenmesinde önlem alıcı ve karar verici durumunda olan ilgili kuruluşlara yararlı olmaktadır. Bu kapsamda; Ankara kent merkezinde CBS' den yararlanılarak EM kirlilik haritasının hazırlanması amacıyla, çalışma alanı olarak Çankaya, Yenimahalle, Mamak, Altındağ ve Keçiören merkez ilçeleri seçilmiştir. Bu merkezlerde EM kirliliğin yüksek çıkabileceği alanlar önceden tespit edilerek ölçümler alınmış ve belirlenen bu merkezlerde çevresel ölçümler yapılmıştır. Ölçümler esnasında belirlenen noktalarda elektrik alan şiddeti ölçülmüş ve koordinatları el GPS'i ile tespit edilmiştir. Elde edilen veriler, ArcGIS 9.2 CBS yazılımında noktasal veri olarak tablolar halinde girilmiş ve farklı iki enterpolasyon yöntemi kullanılarak EM kirliliğin yoğun olduğu bölgeleri gösteren raster veriler elde edilmiştir. Oluşturulan bu veriler Ankara kent merkezine ait sayısal harita ile birleştirilerek EM alanların yoğun olarak tespit edildiği bölgeler belirlenmiştir.

5.3. Enterpolasyon Yöntemi

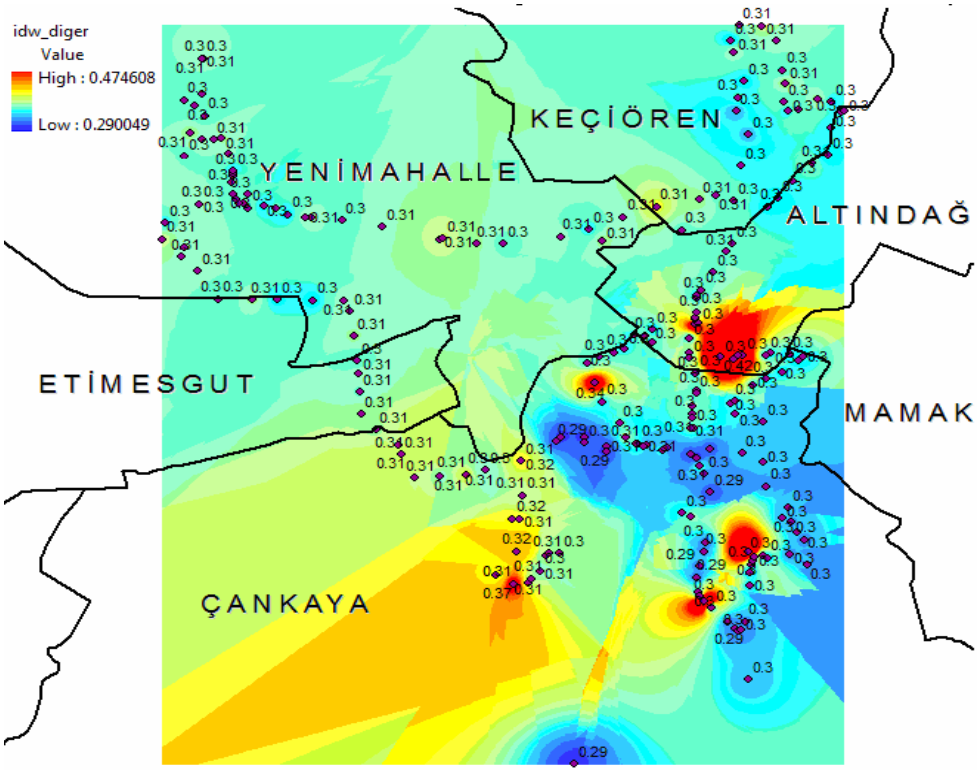
Enterpolasyon kavramı genel tanımıyla, dayanak noktalarındaki ölçüm değerlerinden, ölçülmeyen noktalardaki ölçü büyüklüklerinin kestirimidir (Yanalak, 1991, Taktak ve ark. 2008). Kriging yöntemiyle enterpolasyon, minimum eğrilik yöntemiyle enterpolasyon, doğal komşuluk yöntemiyle enterpolasyon ve mesafenin tersine göre enterpolasyon sıkça kullanılan enterpolasyon yöntemleridir.

Haritalama işlemleri sonucunda birbirlerine yakın sonuçlar vermeleri sebebiyle, bütün yöntemleri uygulamak yerine herhangi iki farklı enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Bunlar; mesafenin tersine göre enterpolasyonu (IDW) ve doğal komşuluk yöntemiyle enterpolasyon (NaN) teknikleridir.

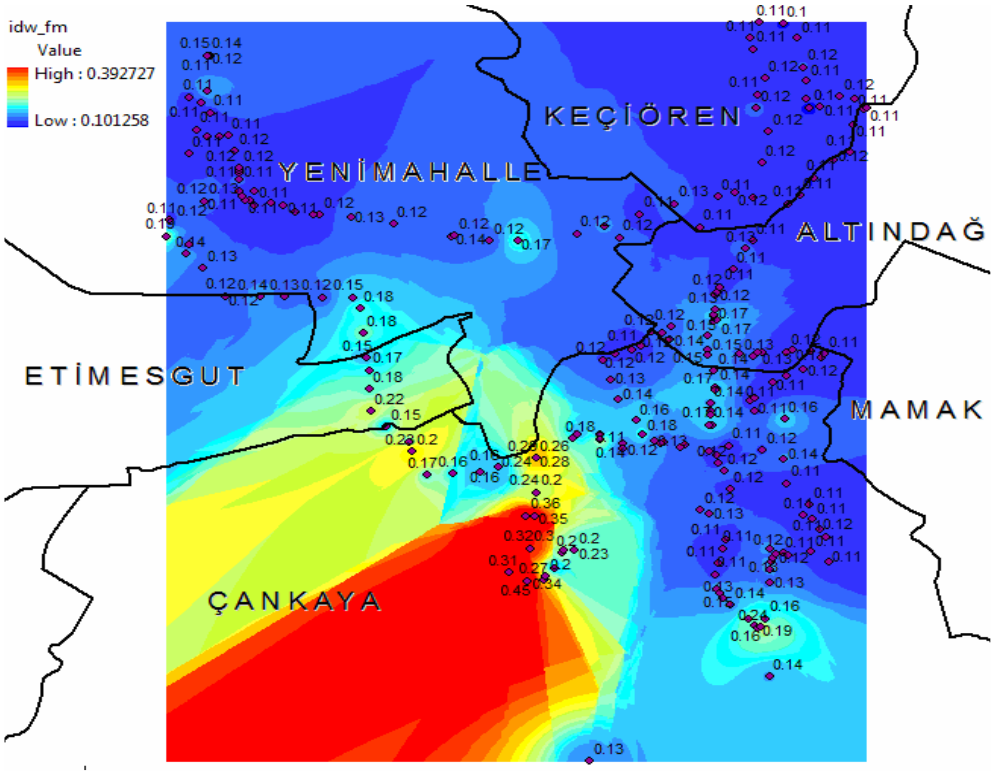
Uygulamada Ankara kent merkezinde araçla hareket halinde ortamdaki EM kirlilik için yapılan ölçümlerde elde edilen elektrik alan şiddet değerleri renklere göre sınıflandırılmıştır. En yakın üç noktada yapılan ölçüm sonuçları bileştirilerek bir renk dağılımı elde edilmiştir. Haritalarda açık mavi renk ile gösterilen yerlerdeki elektrik alan değerleri çok düşüktür. Yüksek elektrik alan şiddeti değerlerine sahip bölgeler ise sarı ve kırmızı renk tonlarında gösterilmiştir. Ölçülen her EM alan kaynağı için farklı EM kirlilik dağılım haritaları elde edilmiştir.

5.3.1. Mesafenin tersine göre enterpolasyon

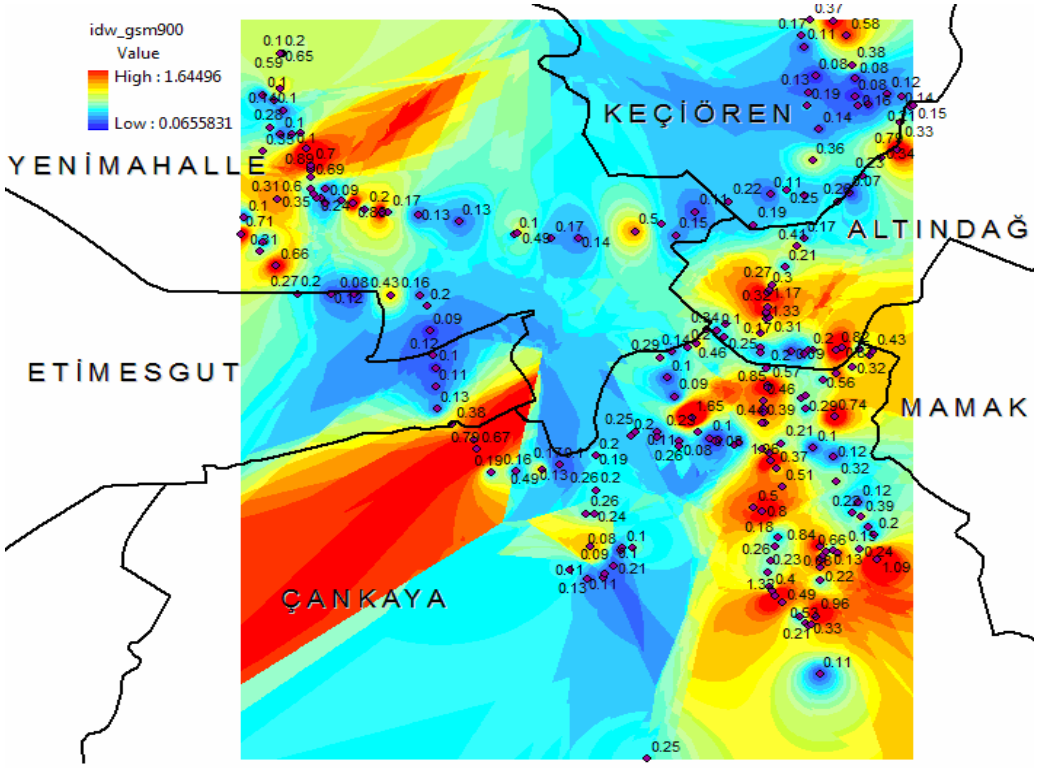
IDW tekniği, mevcut ölçülen gerçek değerler yani dayanak noktalarına göre enterpolasyonla grid üretmede çoğunlukla tercih edilen yaygın bir yöntemdir. Bu yöntem, enterpole edilecek yüzeyde yakındaki noktaların, uzaktaki noktalardan daha fazla ağırlığa sahip olması esasına dayanır. Yani enterpole edilecek noktadan uzaklaştıkça ağırlığı azaltan ve dayanak noktalarının ağırlıklı ortalamasına göre bir yüzey enterpolasyonu yapar (Taktak ve ark. 2008). Dayanak noktalarına ait veri kümelerinin ölçülmemiş noktalara yerel bir etkisinin olduğu farz edilir ve bu etkinin mesafeye bağlı olarak azaldığı esas alınır. Ölçülmemiş noktaların değerlerini tahmin ederken IDW, dayanak noktalarına yakın noktaları, uzaklara göre daha fazla ağırlıklandırır. IDW ile ölçüm yapılan bölgelere ilişkin elde edilen haritalar Şekil 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.



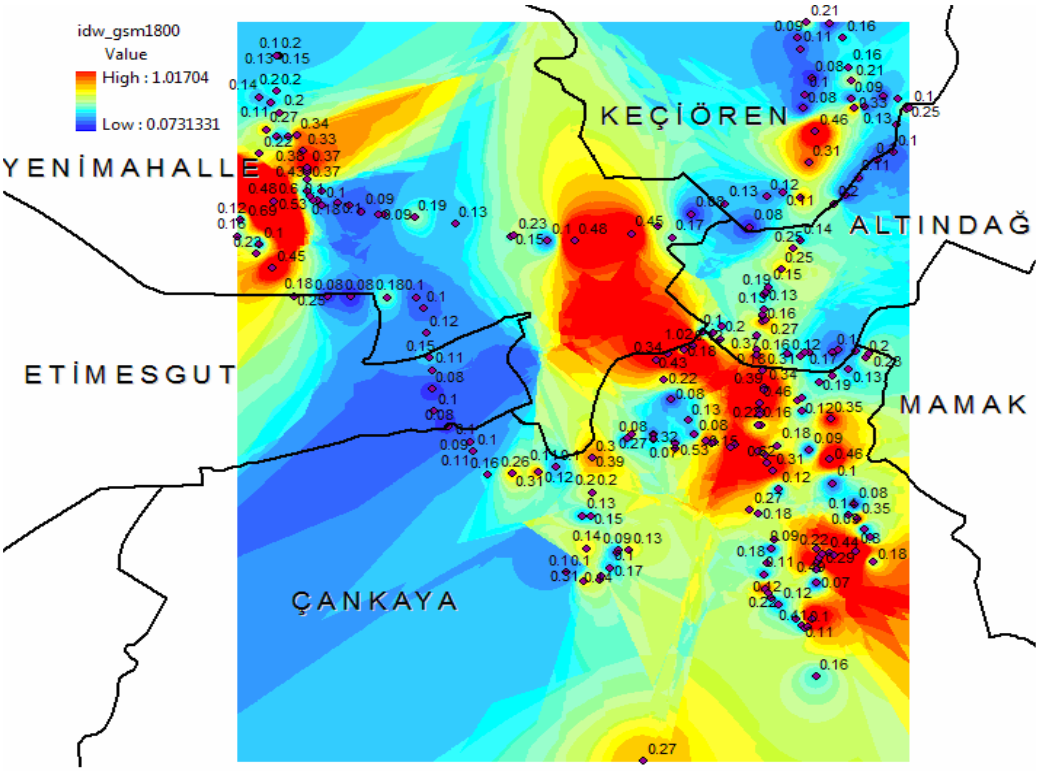
Şekil 5.2 IDW ile diğer kaynaklara ait E değerleri



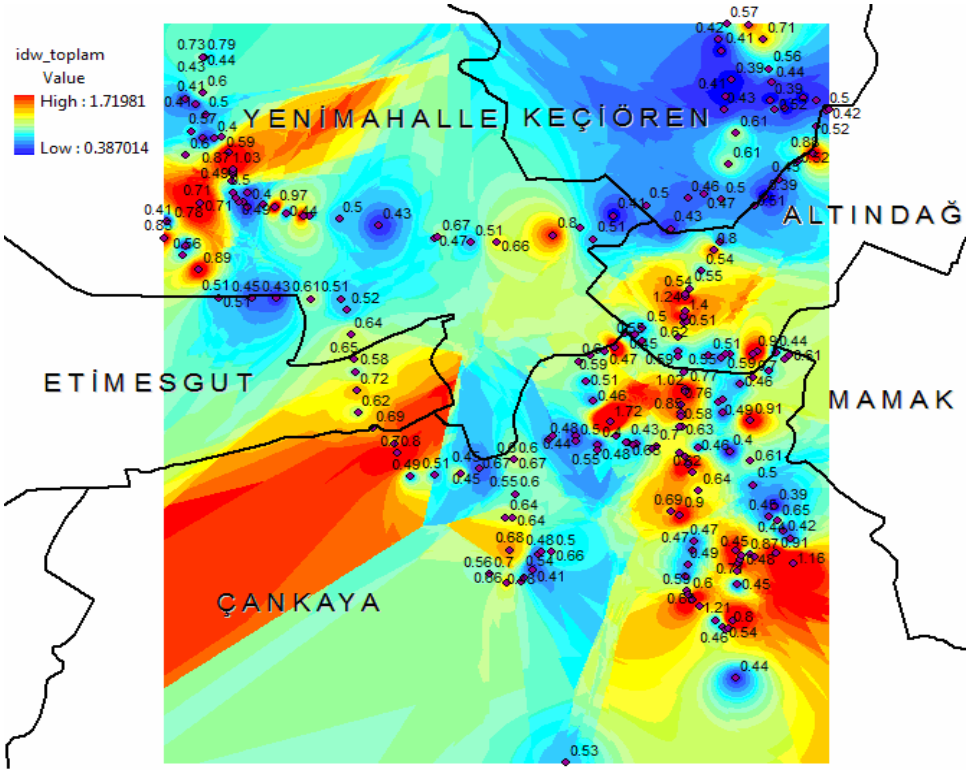
Şekil 5.3 IDW ile FM vericilere ait E değerleri



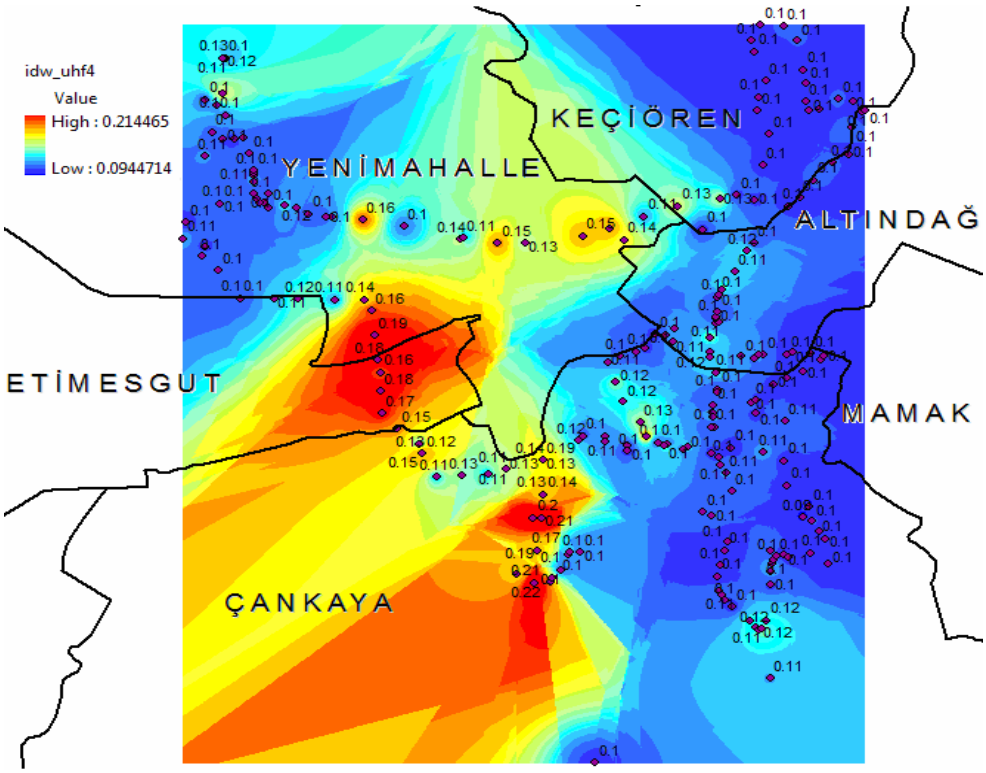
Şekil 5.4 IDW ile GSM900 baz istasyonlarına ait E değerleri



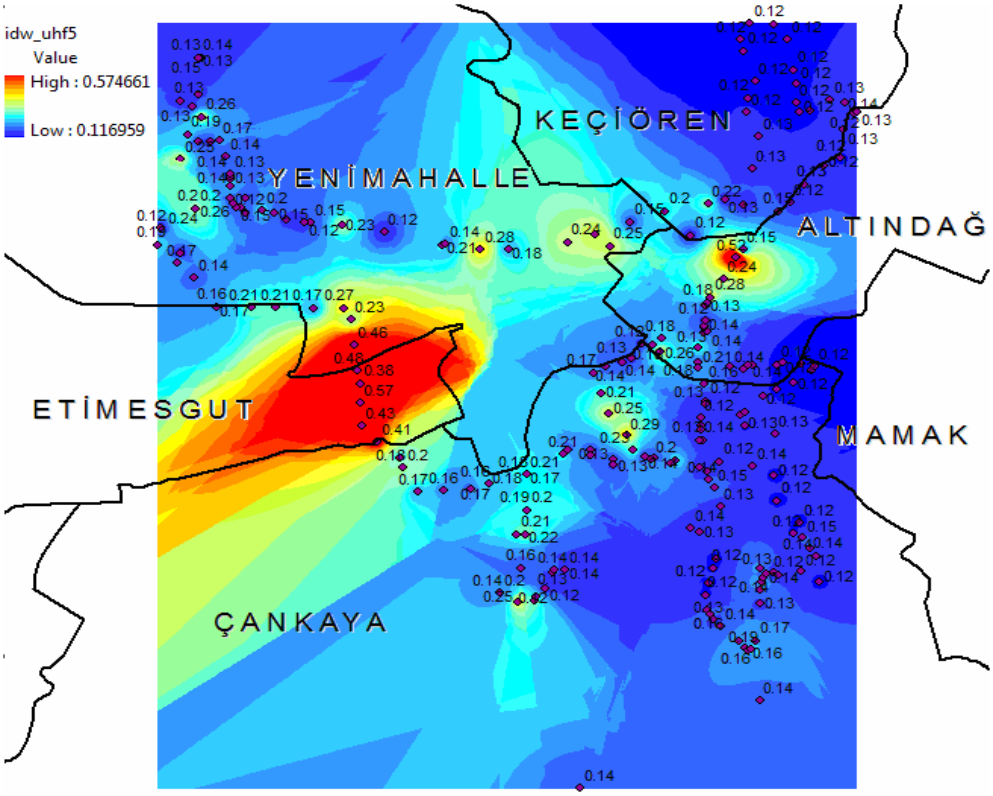
Şekil 5.5 IDW ile GSM1800 baz istasyonlarına ait E değerleri



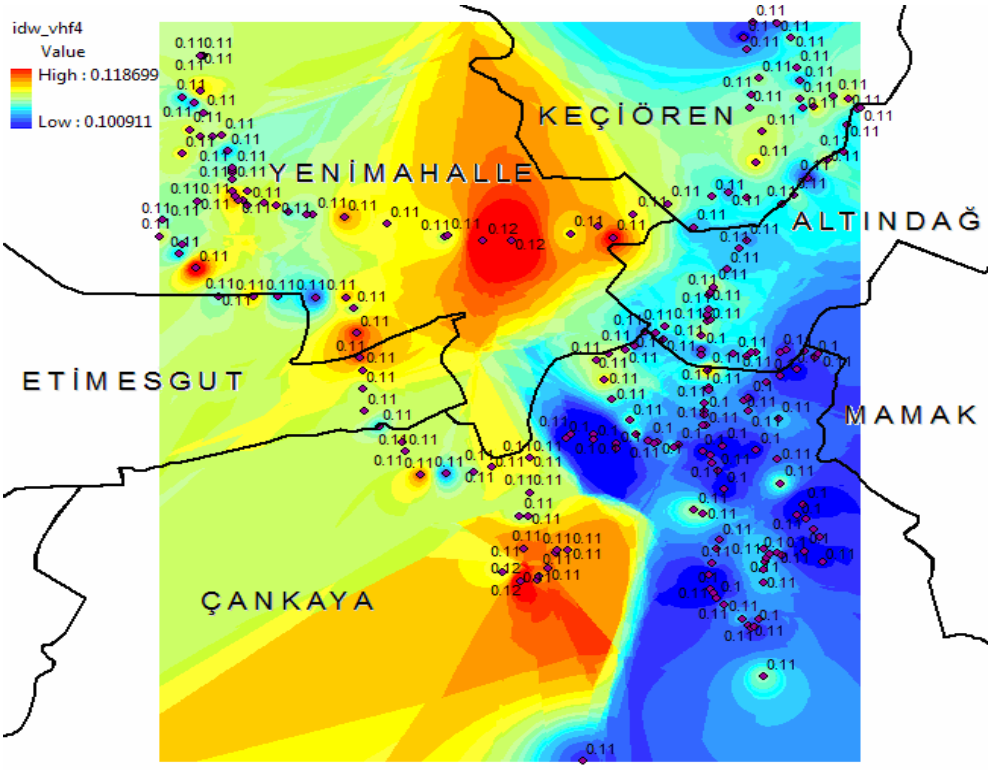
Şekil 5.6 IDW ile ortamdaki toplam E değerleri



Şekil 5.7 IDW ile UHF4 vericilerine ait E değerleri



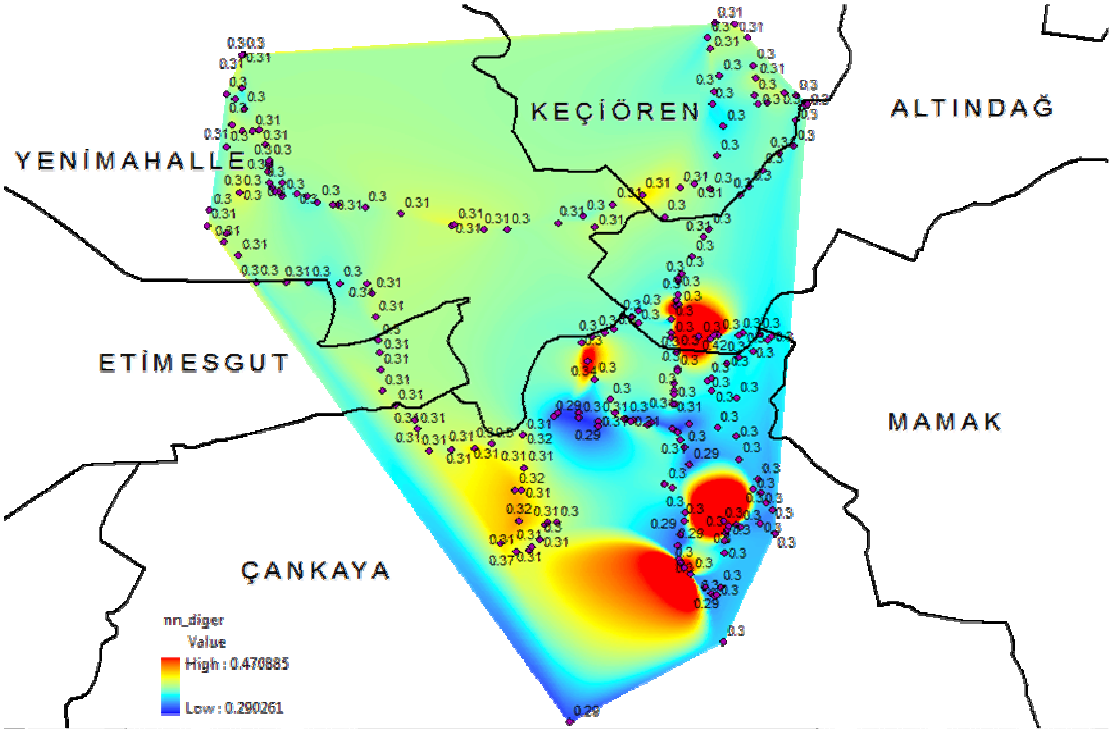
Şekil 5.8 IDW ile UHF 5 vericilerine ait E değerleri



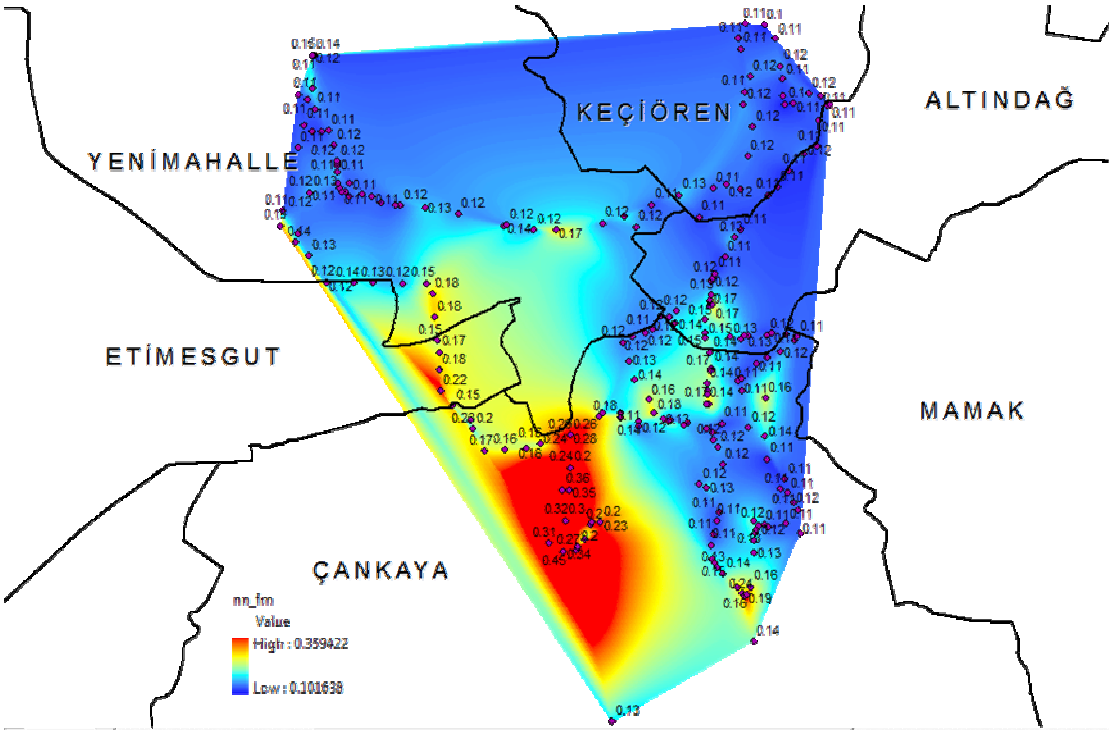
Şekil 5.9 IDW ile VHF vericilerine ait E değerleri

5.3.2. Doğal komşuluk yöntemiyle enterpolasyon

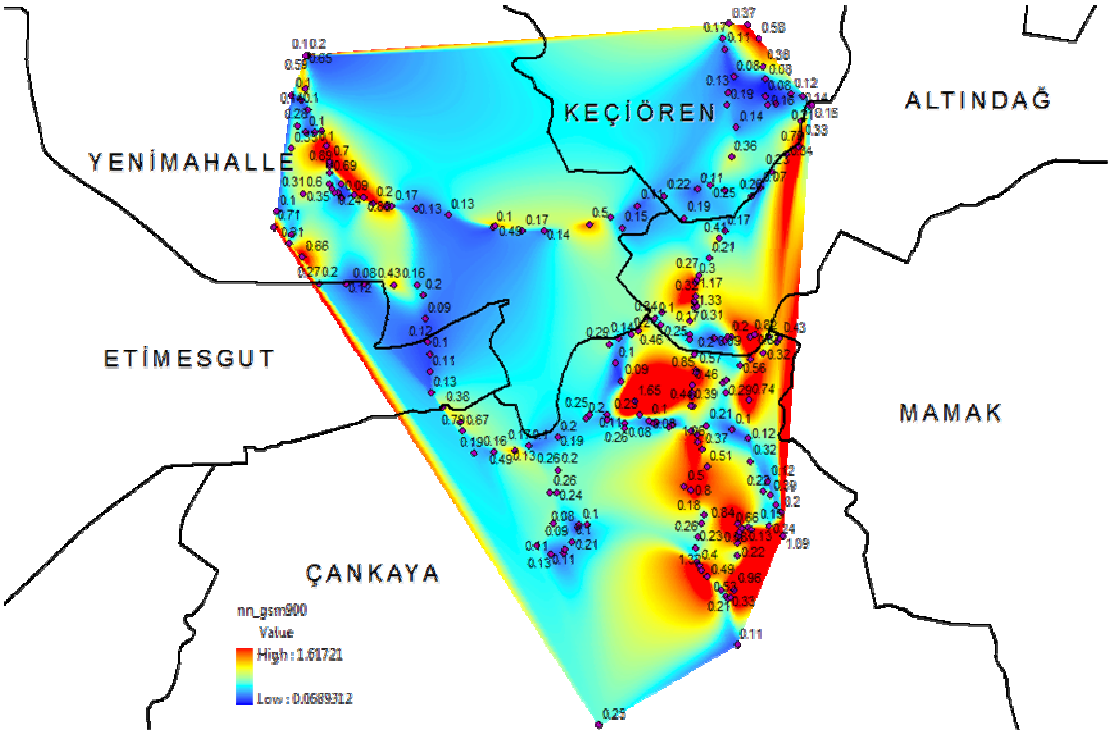
Ağırlıklı ortalamaya göre çalışan NaN yöntemi, IDW enterpolasyon tekniğine benzemektedir. Enterpole edilecek noktaları araştırırken dayanak noktalarında mesafeye bağlı ağırlıkları kullanır. Dayanak noktalarının ağırlıklı ortalamaları kullanılarak iç değer bulma yapılır (Taktak ve ark. 2008). IDW ile elde edilen dağılım haritaları Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 ve 5.17'de verilmiştir.



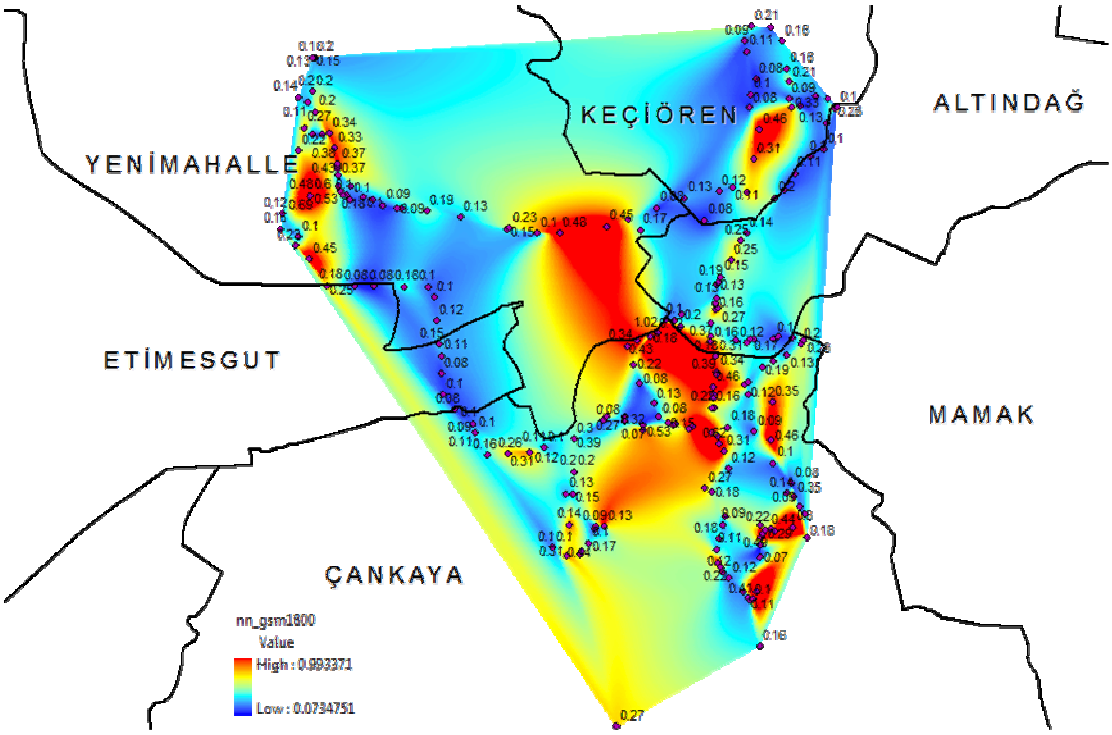
Şekil 5.10 NaN ile diğer kaynaklara ait E değerleri



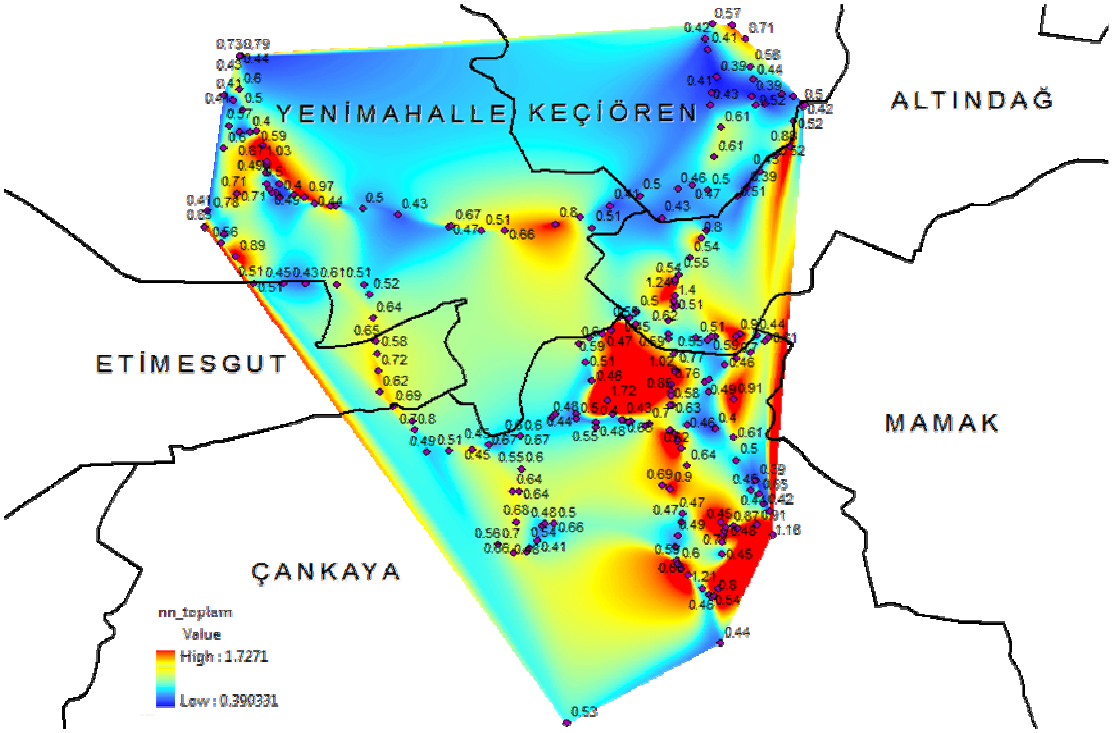
Şekil 5.11 NaN ile FM vericilere ait E değerleri



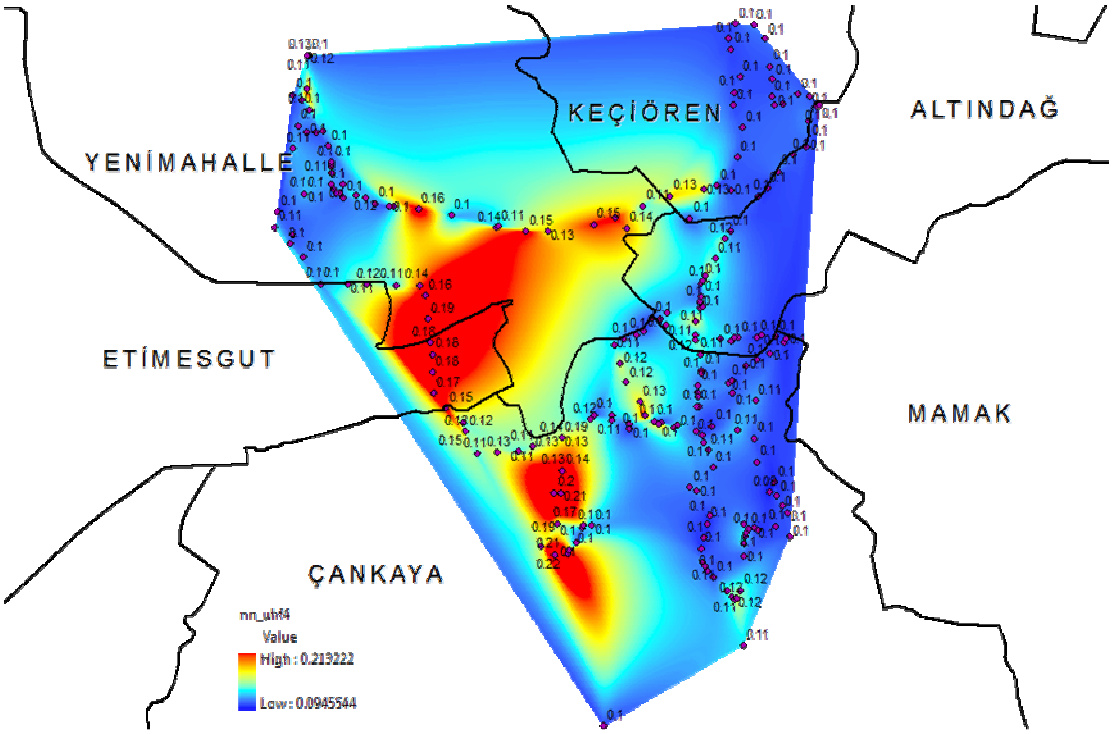
Şekil 5.12 NaN ile GSM900 baz istasyonuna ait E değerleri



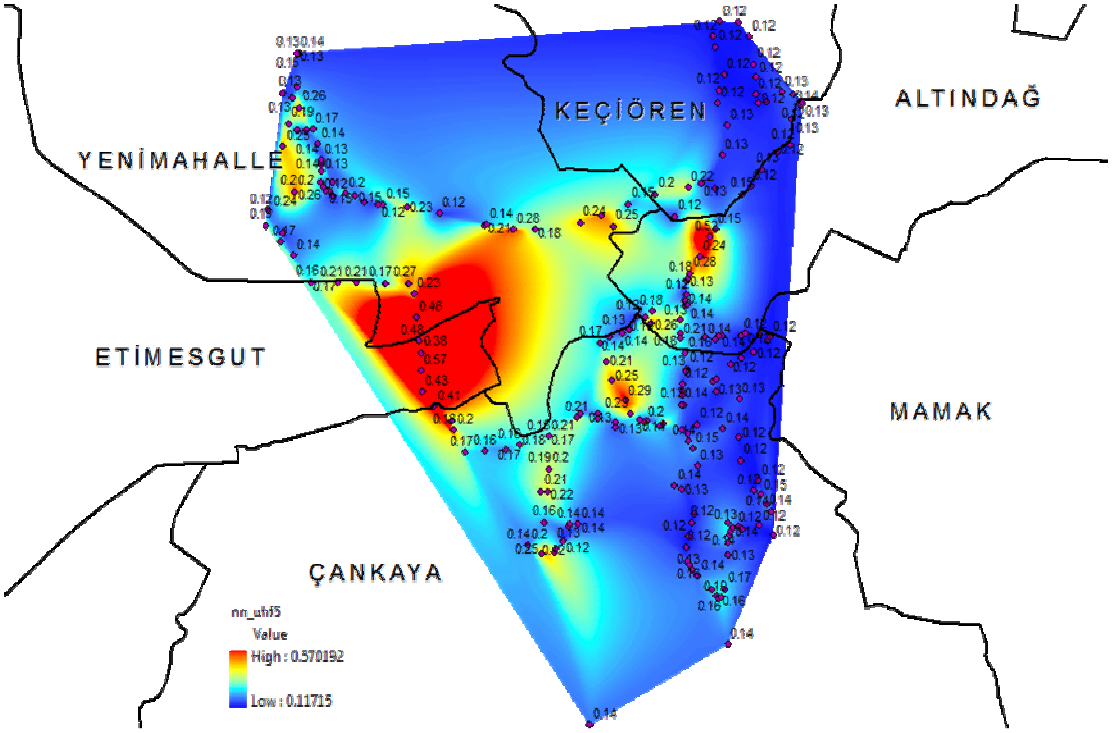
Şekil 5.13 NaN ile GSM1800 baz istasyonuna ait E değerleri



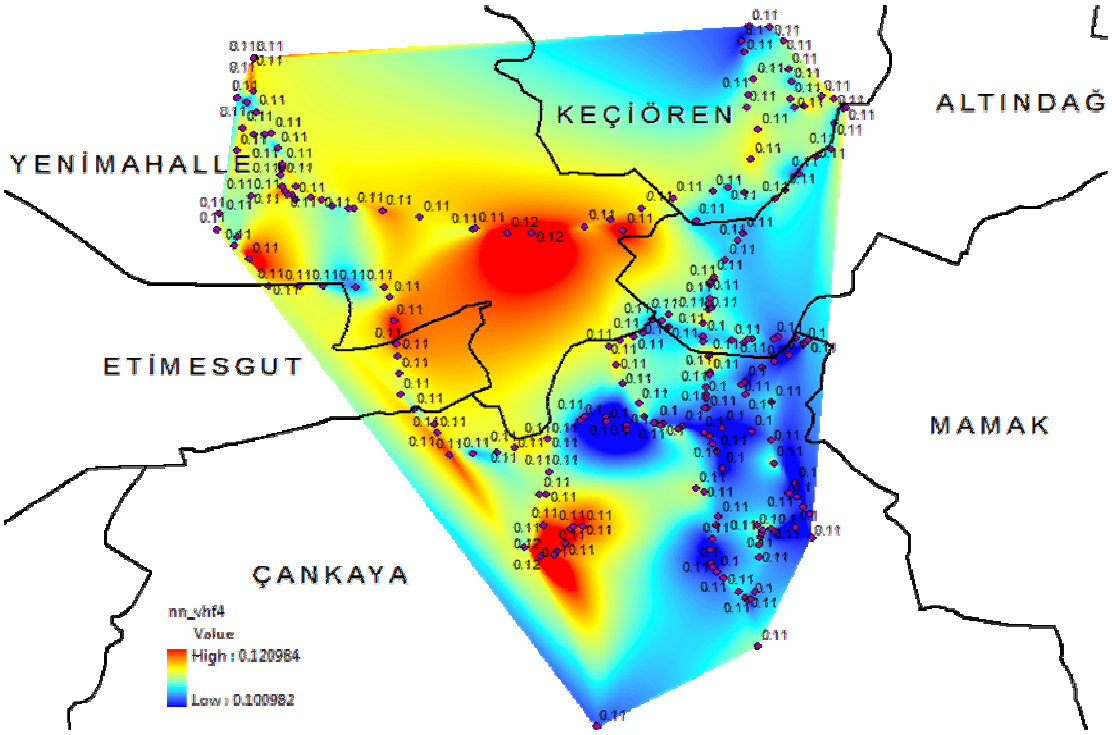
Şekil 5.14 NaN ile ortamdaki toplam E değerleri



Şekil 5.15 NaN ile UHF4 vericilerine ait E değerleri



Şekil 5.16 NaN ile UHF5 vericilerine ait E değerleri



Şekil 5.17 NaN ile VHF vericilerine ait E değerleri

6. ÖLÇÜM SONUÇLARININ İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Bilimsel araştırmalarda elde edilen verilerin çözümlenmesinde ve bulguların yorumlanmasında çeşitli istatistiksel yöntemler sıkça kullanılmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişki düzeylerini belirleyebilmek için çeşitli tanımlayıcı istatistik teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Veri toplamak için kullanılan ölçek türleri verilerin çözümlenmesinde kullanılacak olan istatistik tekniklerini de belirlemektedir. Araştırma sonucu elde edilen bulguların anlamlı bir biçimde yorumlanması ve rapor edilmesi en az araştırmada kullanılan uygun istatistik teknikleri kadar önemlidir. Niceliksel verilerin analizinde ve bulguların yorumlanmasında araştırmacıların en büyük desteği; SPSS, E-Views ve STATISTICA gibi istatistik çözümleme yazılımlarıdır.

Bilimsel çalışmalardan elde edilen verilerin istatistiksel analizleri ve uygulanabilecek testler; verilerin yapısına, dağılışına, ölçeğine, denemelerin kuruluş ve yürütülüş şekline göre farklılık gösterir. İşte bu ve benzeri sebeplerden dolayı istatistikle uğraşan araştırmacılar günümüze kadar birçok sayıda istatistiksel testler geliştirmişler ve halen de geliştirmeye devam etmektedirler (Üçkardeş 2006).

Ortamdan toplanan ölçüm verilerinin istatistiksel yöntemlerle analiz edilmesi sonucunda, ortamda yayılan EM dalga davranışının; belli şartlar altında ve kabul edilebilir doğruluk seviyeleriyle çeşitli hesap ve formüllere ulaşmak suretiyle modellenmesi mümkün olmakta ve kullanımı kolay bir yöntem getirmektedir. Bu yöntemin doğruluğu, uygulamada veri toplama süreci devam ettirilmek suretiyle zaman içinde sınanabilmektedir.

Ölçümlere dayalı verilerin istatistiksel karakteristiği nedeniyle elde edilen değerler zamanın ve konumun belli bir yüzdesi (örneğin %90, % 50, vb.) üzerinden bir "olasılık dağılımı" değeri olarak anlamlıdır (Benjamin ve ark. 2001).

Bu bölümde, elde edilen EM kirlilik ölçüm değerlerinin kurulan modelle ileriye dönük tahmine uygun olup olmadığı zaman serisi analizlerinden durağanlık testleri ile incelenmiştir. Oluşturulan veri setinin durağan olup olmadığı tespit edilerek, regresyon analizi ile regresyon modeli elde edilmiş ve serilerin ileriye yönelik tahmine uygunluğu kararlaştırılmıştır. Durağanlık testi için *Geliştirilmiş Dickey-*

Fuller (ADF) birim kök testi kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişki yani ikili olarak aralarındaki ilişkinin yönü (pozitif veya negatif yönlü), derecesi korelasyon testiyle hem grafiksel hem de analitik yönden incelenmiş ve yorumlanmıştır. Bu şekilde değişkenlerin ikili kıyaslaması ve birbirlerine etkisi incelenmiştir. Daha sonra varyans analizi ile kurulan modelin anlamlılığı test edilmiş ve bölgesel model oluşturabilmek için de çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Bu da gelecekte bu bölgelerde değişken değerlerin hesaplanarak veya ölçülerek modele uyarlandığında tahmini EM kirlilik değerinin hesaplanmasını sağlayacaktır.

Ölçümlerde elde edilen verilerin analizinde SPSS 17.0 ve E-Views istatistik paket programları kullanılmıştır. Bu çerçevede korelasyon, regresyon ve doğrusallık analizleri; çevresel ölçüm sonuçları ve farklı iki verici bölgesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

6.1. Araştırmaya İlişkin İstatistiksel Bilgiler

Bu bölümde araştırmada kullanılan istatistiksel analizler hakkında bilgiler verilmektedir.

6.1.1. Zaman serileri analizi

Zaman serisi, ilgilenilen bir büyüklüğün zaman içerisinde sıralanmış ölçümlerinin kümesidir. Zaman serisi ile ilgili bu analizin yapılma amacı, gözlem kümesince temsil edilen gerçeğin anlaşılması ve zaman serisindeki değişkenlerin gelecekteki değerlerinin doğru bir şekilde tahmin edilmesidir. Bu ise ancak durağan olan zaman serilerinde mümkündür. Yani geleceğe yönelik kararlar alırken ilk adım, serinin durağanlığının test edilmesidir (Berber ve Artan 2004).

İncelenen zaman serisinin ortalaması (veya trendi) ve varyansı simetrik bir değişim göstermiyorsa veya seri periyodik dalgalanmalardan arınmış ise böyle serilere "durağan zaman serileri" denir (Hanedar ve arkadaşları 2008).

Rastlantısal (olasılıksal) bir süreç izleyen zaman serilerinde, serinin durağan olup olmadığı çok önemlidir. Rastlantısal bir değişkenin zaman içinde ortalamasının ve varyansının sabit olması serinin durağan olduğunu gösterir. Durağanlık, serinin değerlerinin belli bir değere yaklaşmasını ya da beklenen değer etrafında dalgalandığını ifade eder. Eğer bir rastlantısal süreç durağan değilse, serinin davranışı sadece ele alınan tahmin dönemi için geçerli olur. Ancak seri hakkında diğer dönemler için bir genelleme yapılamayacaktır.

Zaman serilerinin durağan olmaması durumunda, zaman serileri trend içerecektir. Bu durumda zaman serilerinin kullanılacağı tahmin ve regresyon denklemlerinde sahte regresyon benzeri durumlar ortaya çıkacaktır. Zaman serileri durağan değillerse, rastlantısal ya da deterministik trend içerirler. Deterministik trend, oldukça uzun bir dönemde ortaya çıkan, yükseliş ve alçalış zikzakları arasında belli bir yöndeki uzun dönemdeki eğilimi ifade eder.

$$Y_t = a + \beta.t + \varepsilon \tag{6.1}$$

Denklem 6.1, durağan olmayan bir zaman serisi içerisindeki deterministik trendi açıklamaktadır. Rassal yani rastlantısal yürüyüş modeli, Denklem 6.2'deki rastlantısal bir trend ile ifade edilir.

$$Y_t = Y_{t-1} + \varepsilon \tag{6.2}$$

Tahmin modellerinde kullanılan değişkenler arasında anlamlı ilişkiler elde edilebilmesi için serilerin durağan olması gerekir (Berber ve Artan 2004). Zaman serisi yaklaşımında ele alınan modellerde değişkenlerin, durağan yani, ortalama ve varyanslarının zamanla değişmediği varsayılır (Sevüktekin ve Nargeleçekenler 2005). Serilerin durağan olup olmadığını anlamak için yapılan durağanlık testleri içinde en yaygın olan kullanılan *ADF* testidir. *ADF* ile serilerin durağanlığının sınanmasında Denklem 6.3 kullanılır.

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \beta_2 .t + \delta .Y_{t-1} + \sum_{i=1}^{m} \alpha_i .\Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (6.3)$$

Denklem 6.3'de, Δ fark işlemcisini, *m* maksimum gecikmeyi gösterir. $\delta=(\rho-1)$'dır. ε_t ise ortalaması sıfır, varyansı değişmeyen ve ardışık bağımlı olmayan olasılıklı hata terimidir. Bu hata terimi "beyaz gürültü hata terimi" olarak bilinir. ADF birim kök testinde serilerin birim köke sahip olup olmadıkları,

H_0: $\rho = 1$ ya da $\delta = 0$ (Seriler birim köke sahiptir, durağan değildir)
H_1: $\rho < 1$ ya da $\delta < 0$ (Seriler birim köke sahip değildir, durağandır)

hipotezlerinin sınanmasıyla belirlenir. Durağanlık sınaması için kritik değerler yani kabul-ret sınırları ise ADF yöntemi tarafından hesaplanan τ istatistik değerleridir. Bu testin %5 anlamlılık düzeyine göre kritik değerleri MacKinnon tarafından yapılmış olan Monte Carlo simülasyonlarına göre hesaplanır. Bu değerlere, "MacKinnon Kritik Değerleri" denilir. İstatistiksel analiz programları tarafından hesaplanan alışılagelmiş *t* istatistikleri bu hipotez testinde τ istatistiği ya da ADF test istatistiği diye adlandırılır. ADF test istatistiğinin mutlak değeri, MacKinnon Kritik Değerleri'nin mutlak değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir ve bu da serinin durağan olamadığını gösterir. Eğer ADF test istatistiğinin mutlak değeri, MacKinnon Kritik Değerleri'nin mutlak değerinden büyükse H_0 hipotezi reddedilir ve bu da serinin durağan olduğunu gösterir. Eğer serinin orijinal hali durağan değilse, serinin birinci farkı alınır ve tekrar ADF testi uygulanır. Bu da durağan değilse serinin ikinci farkı alınır ve tekrar ADF testi uygulanır. Bu işlem seri durağan hale gelinceye kadar devam eder.

6.1.2. Basit ve çoklu regresyon analizi

Regresyon analizi bağımlı değişken ile bir veya daha çok bağımsız değişken arasındaki bağımlılık ilişkisini incelemek için kullanılan bir analiz yöntemidir.

Regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil edecek olan bir doğrunun denklemi elde edilir. Regresyon denklemindeki açıklayıcı değişkenlerden herhangi birisi durağan olmadığında regresyon teorisi bozulur. Bu nedenle regresyon modeli, durağan değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için kullanılır. Regresyon analizi bağımlılık ve değişkenlerin durumuna göre şu şekilde isimlendirilir (Özdamar 2004).

- Bağımlı ve bağımsız değişken tek ise basit regresyon analizi,
- Bağımlı değişken tek, bağımsız değişken iki veya daha fazla ise çoklu regresyon analizi,
- Bağımlı değişken iki veya daha fazla ise çok değişkenli regresyon analizi ismini alır.

Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise "doğrusal regresyon analizi", aksi durumda "doğrusal olmayan regresyon analizi" olarak isimlendirilir. Değişkenler arasında bulunduğu varsayılan doğrusal ilişki, tek bir bağımsız değişken içeren bir doğru denklemi ile gösterilirse basit doğrusal regresyon modeli elde edilir (Alpar 2003, Özdamar 2004). Basit doğrusal regresyon modeli Denklem 6.4'de gösterilmektedir:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 . \chi_1 + \varepsilon \qquad (6.4)$$

Y: Bağımlı değişken
X: Bağımsız değişken
β_0, β_1: Regresyon katsayıları
ε : Hata terimi

Regresyon analizi sonucunda hesaplanan modelle ifade edilen ilişki fonksiyonel bir ilişki olmayıp istatistiksel bir ilişkidir. Bu sebeple regresyon analizi sonuçlarında güven aralığı kavramı yaygın olarak kullanılır. Regresyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir ilişki var mıdır? Eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin gücü nedir? Değişkenler arasında ne tür bir ilişki vardır? Bağımlı değişkene

ait ileriye dönük değerleri tahmin etmek mümkün müdür ve nasıl tahmin edilmelidir? gibi sorulara cevap aranır.

Değişkenler arasında doğrusal veya doğrusal olmayan bir ilişki olabilir. Bu nedenle, saçılım (serpilme) grafiği (ilişki yok/doğrusal ilişki var/doğrusal olmayan ilişki var) ve değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmadan regresyon analizine karar verilmemelidir.

Çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişken ($x_1, x_2 .., x_n$) ile bağımlı bir değişken (Y) arasındaki ilişki incelenir. Değişkenler arasındaki ilişkinin fonksiyonel şekli ve derecesinin bilinmesi önemlidir. İlişkinin fonksiyonel şekli regresyon analiziyle, ilişkinin güvenirlilik derecesi ise korelasyon analiziyle incelenir. En iyi regresyon modelinin belirlenmesinde çoklu belirlilik katsayısı R^2 veya düzeltilmiş çoklu belirlilik katsayısı $R^2_{düzeltilmiş}$ kullanılır. Belirlilik katsayısı R^2 ile modelin açıklama gücü belirlenir. R^2 değeri bağımlı değişkende meydana gelen toplam değişimin yüzde kaçının bağımsız değişkenlerdeki değişimlerle açıklandığını gösteren bir ölçüdür (Alpar 2003). Modelde yer alan her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisi, β_n'lerin anlamlılığının test edilmesi ile belirlenir. Her bir değişken için hesaplanan regresyon katsayılarının anlamlılığı t-testi ile belirlenir (Özdamar 2004).

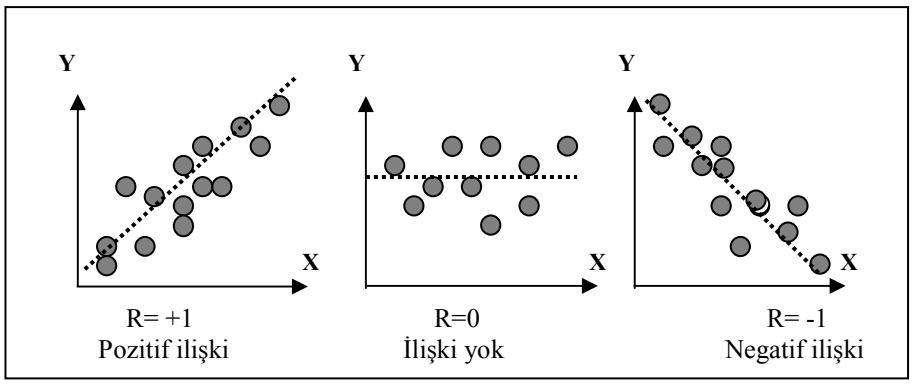
Çoklu doğrusal regresyon modeli: $Y = \beta_0 + \beta_1.\chi_1 + ... + \beta_n.\chi_n + \varepsilon$ (6.5)

Y bağımlı değişken, β_0 sabit değer, β_1 ilk tahmin değişkeninin X_1 katsayısı, β_n *n.* tahmin değişkeninin X_n katsayısı, ε ise Y'nin tahmin edilen ve gözlenen değeri arasındaki farktır. Verilere uyan modelin belirlilik yüzdesi, R^2 belirlilik katsayısı ile hesaplanmaktadır.

6.1.3. Korelasyon analizi

Korelasyon analizi iki değişken arasındaki veya bağımlı değişken ile olan ilişkinin seviyesini belirlemeye yönelik bir analiz tekniğidir. Bu testin güvenilir

sonuçlar verebilmesi için verinin metrik özellikler taşıması gerekir. Korelasyon analizinde ölçülmeye çalışılan ilişki, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olan kısmı ile ilgilidir. Eğer değişkenler arasındaki ilişki doğrusal değilse bunun korelasyon analiz ile tespiti mümkün değildir. Var olan ilişkinin sadece doğrusal kısmı tespit edilmeye çalışılır.



Şekil 6.1 Korelasyon katsayılarının şekilsel olarak gösterimi

Korelasyon analizinde iki değişken yani bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve seviyesi hesaplanır. İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi "R" ile gösterilen korelasyon katsayısı ile ölçülür. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi korelasyon katsayısı; iki değişkenin değişimlerinin ne kadar uygun olduğunun bir ölçüsü olup, –1 ile +1 arasında değer alır. R= 0 olduğunda değişkenler arasında herhangi bir açık görülebilir ilişkinin olmadığı anlamına gelir. R= +1 ise pozitif tam doğrusal ilişki, R= -1 ise negatif tam doğrusal ilişki var demektir. Korelasyon katsayısının işareti ilişkinin doğru veya ters olduğunu gösterirken, katsayının mutlak büyüklüğü ise değişkenler arasındaki, ilişkinin şiddetini gösterir. Çizelge 6.1'de korelasyonun katsayısının değeri ile ilgili ilişki düzeyleri belirtilmiştir (Cohen 1988).

Çizelge 6.1 Korelasyon katsayısı ve ilişki düzeyi

Korelasyon	Negatif	Pozitif
Düşük	-0.29 ─ -0.10	0.10 ─ 0.29
Orta derecede	-0.49 ─ -0.30	0.30 ─ 0.49
Yüksek	-0.50 ─ -1.00	0.50 ─ 1.00

Korelasyon katsayısı, örneklem yani ölçüm değerleri kümesinin büyüklüğünden etkilenir. Modeldeki her tahmin değişkeni için en az 10–15 ölçüm (veri) olmalıdır. Yani beş değişken varsa 50–75 ölçüm olmalıdır. Veri serisi ne kadar büyükse o kadar iyidir. Fakat elde edilen korelasyon katsayısı büyük bile olsa istatistiksel olarak önemli bir değeri olmayabilir. Bu nedenle istatistiksel anlamlılıktan kesin emin olabilmek için elde edilen sonuçların hipotez testinin yapılması gereklidir. Hipotez testi gruplar arasında fark olmadığı hipotezini test eder. %5 anlamlılık düzeyi; 100 adet boş hipotezden (H_0) 5 tanesinin gerçekte doğru olmasına karşın reddedilmesi anlamına gelir (Tonta 2008).

Genel Hipotez;

- Boş hipotez (H_0): Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yoktur.
- Araştırma hipotezi (H_1): Değişkenler arasında doğrusal bir ilişki vardır.

Sürekli nicel değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde yani değişkenlerin her ikisi de normal dağılım gösteriyor ise "Pearson Korelasyon Katsayısı" kullanılır.

6.1.4. Durbin Watson otokorelasyon testi

Çoklu doğrusal regresyon analizinin uygulanabilmesi için veri setinin uyması gereken; veri setindeki gözlemler arasında ardışık bağımlılık bulunmamalıdır (otokorelasyon) varsayımını test etmek için Durbin Watson testi kullanılır (Özdamar 2004). Bunun için gerekli hipotezler şu şekilde olur.

H_0: Otokorelasyon yoktur.

H_1: Otokorelasyon vardır. Veriler 1. dereceden ardışık bağımlıdır.

Bu test için modelde sabit parametrenin bulunması gerekir. Bu istatistik, bir regresyon modeli tahmin edildikten sonra artık terimlerin (hata terimlerinin) korelasyon halinde olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Durbin Watson katsayısı, 0 ile 4 arasında değişir. Sıfıra yakın değerler aşırı pozitif korelasyonu, 4'e yakın değerler aşırı negatif korelasyonu ifade eder. Durbin Watson değerinin 1,5 ile 2,5 arasında olması otokorelasyonun olmadığı anlamına gelir. Otokorelasyon, tahmin edilen bir regresyon modelindeki hata terimlerinin birbirleriyle ilişki içinde olması durumudur. Model tahmin edildikten sonra e_t terimi e_{t-1} ile korelasyon halinde ise 1. derece otokorelasyonun varlığından söz edilir. Hata terimleri arasındaki regresyon yüksek bir R^2 değeri veriyorsa ve bu yardımcı regresyonun β katsayısı anlamlı ise, bu durum otokorelasyonun varlığını işaret eder. Durbin Watson test istatistiği Denklem 6.6'da verilmektedir.

$$d = \frac{\sum (e_t - e_{t-1})^2}{\sum e_t^2} \tag{6.6}$$

e_t : t dönemi değeri

e_{t-1} : t–1 dönemi değeri

d: Durbin Watson değeri

6.1.5. Varyans analizi

Varyans, veri setindeki değerlerin birbirlerine olan yakınlığını veya uzaklığını ifade eder. Veriler birbirine yaklaştıkça varyansın değeri küçülür, veriler birbirinden uzaklaştıkça varyansın değeri artar (Levin ve Fox 1991).

Tek yönlü varyans analizi; *F* istatistiğini verir. *F*, iki varyansın birbirine eşit olup olmadığını test etmek için kullanılır. Bağımsız değişken; sınıflama (2 veya daha fazla kategori olmalı) ölçeğiyle, bağımlı değişken ise normal dağılımlı aralıklı/oranlı ölçekle toplanmış veriler içermelidir. Bağımsız değişkenin düzeylerine göre bağımlı değişkenin ortalamaları arasında fark olup olmadığı ölçülür. *t* testi ile iki örneklemin ortalamalarının eşit olup olmadığı hipotezini test edilirken, *F* testi ile ise üç ya da daha fazla ortalamanın eşit olup olmadığını test edilir (Tonta 2008).

Tek yönlü varyans analizi sonuçlandıktan sonra *F* istatistiğinin olasılık değeri $p>0,05$ ise "grup ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur" sonucuna varılmaktadır.

6.2. Ölçüm Değerlerinin ADF Birim Kök Testi Analizleri

Zaman serileri tahmin amaçlı sıkça kullanılmakta olup, bu ancak durağan zaman serilerinde geçerlidir. İleriye dönük tahminde ilk adım, serinin durağanlığının test edilmesi yani birim köke sahip olup olmadığının incelenmedir. Birim kök testi, Ankara kent merkezinde EM kirlilik değerlerinin yüksek çıkması muhtemel olan bölgelerde yapılan ölçümler için ayrı ayrı uygulanmıştır.

Ölçüm verileriyle oluşturulan serilerin durağanlığının belirlenmesinde ADF test istatistikleri (τ) kullanılmıştır. Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi ADF testi sonucunda; serilerin her birinin düzeylerine bakıldığında, modele hem yalnızca sabitin hem de sabit ve trendin birlikte eklendiği durumlarda elde edilen τ istatistiklerinin mutlak değerlerinin, %5 anlam düzeyindeki kritik değerlerin mutlak değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla elde edilen veriler kullanılarak çoklu regresyon uygulanabilir ve ileriye dönük tahmin yapılabilir.

Çizelge 6.2 Şentepe bölgesi için birim kök testi sonuçları

Değişken	ADF Test İstatistiği (τ değeri)		Kritik Değer*	
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit ve Trend
Toplam	5.225593	5.193618	2.905519	3.478305
FM	3.954933	3.902714	2.905519	3.478305
VHF	4.140766	4.572006	2.905519	3.478305
UHF4	2.916285	3.216430	2.905519	3.478305
UHF5	3.992379	4.181236	2.905519	3.478305
GSM900	3.501213	4.207872	2.907660	3.481595
GSM1800	3.603418	4.769593	2.905519	3.478305
Diğer	3.919077	3.895496	2.905519	3.478305

* %5 anlamlılık düzeyine göre Mac Kinnon tek yönlü kritik değerleridir.

Çizelge 6.3 Çaldağı bölgesi için birim kök testi sonuçları

Değişken	ADF Test İstatistiği (τ değeri)		Kritik Değer*	
	Sabit	Sabit ve Trend	Sabit	Sabit ve Trend
Toplam	3.525985	4.041977	2.907660	3.481595
VHF	3.786881	4.779315	2.905519	3.478305
UHF4	5.438207	5.886083	2.905519	3.478305
UHF5	4.322489	4.451809	2.906923	3.478305
GSM900	3.218113	4.358117	2.906210	3.479367
GSM1800	3.230266	5.058130	2.907660	3.478305
Diğer	5.465445	5.878580	2.905519	3.478305

* % 5 anlamlılık düzeyine göre Mac Kinnon tek yönlü kritik değerleridir.

6.3. Ölçüm Değerlerinin İstatistiksel Analizleri

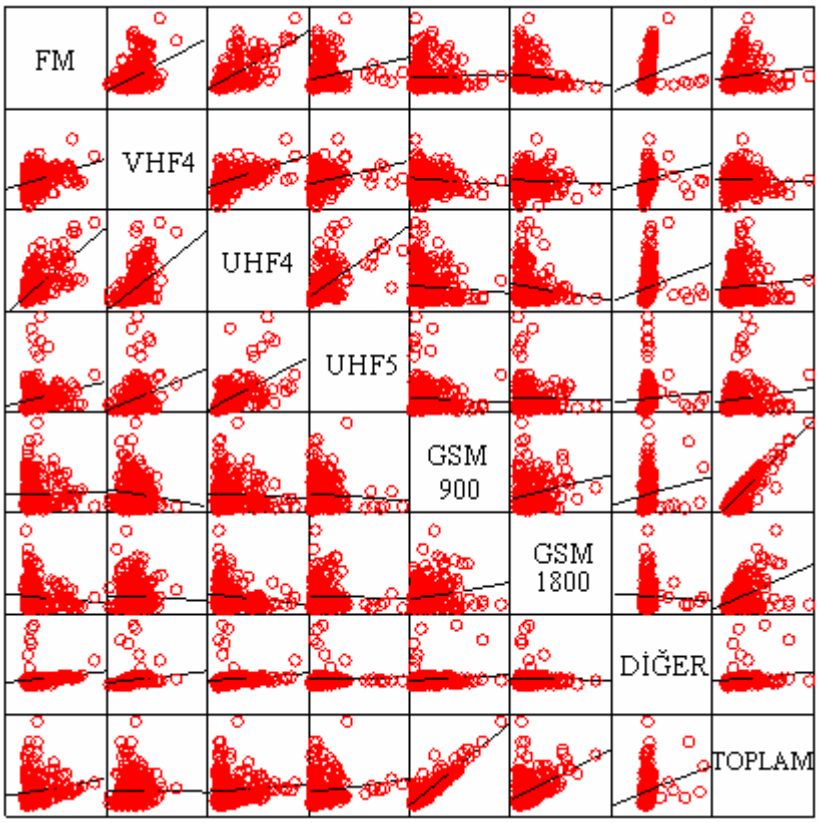
Ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizlerinin gerçekleştirilmesinde; çevresel ölçüm sonuçlarının analizi, Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe verici bölgeleri ölçüm sonuçlarının analizi sırası uygulanmıştır. Ölçümlerde ortamdaki toplam EM kirlilik değeri "bağımlı değişken", toplam değeri etkileyen ölçülen her bir EM kirlilik kaynağı ise "bağımsız değişken" olarak adlandırılmıştır.

6.3.1. Çevresel ölçüm değerlerine ait analizler

Ölçümlerde dikkate alınan tüm değişkenlerin (GSM900, VHF, vb) birbirleriyle olan ikili ilişkileri Şekil 6.2'de görülen serpilme grafiği ile belirlenmiştir. Serpilme grafiği bir zaman serisini oluşturan gözlemlerin zaman boyunca seyrini gösterir ve elde edilecek olan sonuçların istatistiksel modelleme sürecinde ele alınmasına yardımcı olur (Sevüktekin ve ark. 2005). Serpilme grafikleri iki değişken arasındaki ilişki hakkında genel bir bilgi edinilmesini sağlar, fakat ilişkinin miktarı konusunda yorum yapabilmek için korelasyon katsayısının hesaplanması gerekir. Ayrıca elde edilecek olan tahmin modeline girebilecek bağımsız değişkenlerin %5 anlamlılık düzeyine göre şu hipotezler için test edilmesi gerekmektedir.

H_0: $p>0.05$ ise tahmin modeli anlamlı değildir. Diğer ifadeyle regresyon katsayısı anlamlı değildir.
H_1: $p<0.05$ ise tahmin model anlamlıdır. Diğer ifadeyle regresyon katsayısı anlamlıdır.

Şekil 6.2'den de grafiksel olarak görüldüğü gibi GSM900 ve GSM1800 değişkenleri ile Toplam değişkeni arasında güçlü bir ilişki vardır. Kent merkezinde değişik noktalardan alınmış 275 adet ölçüm sonucuna göre Çizelge 6.4'de görüldüğü üzere çevresel ölçümlerde; toplam EM kirlilik değeri, ortalama 0.61 V/m iken standart sapması 0.20 V/m elde olarak elde edilmiştir. GSM900'e ait ortalama kirlilik değeri 0.32 V/m iken GSM1800'e ait kirlilik değeri ise 0.20 V/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.2 Çevresel ölçümlere ait değişkenler arasındaki ilişki

Çizelge 6.4 Çevresel ölçüm sonuçlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler

Değişken	**Ortalama (V/m)**	**Standart Sapma (V/m)**
Toplam	0.610	0.205
FM	0.155	0.062
VHF	0.108	0.003
UHF4	0.116	0.024
UHF5	0.167	0.064
GSM900	0.325	0.256
GSM1800	0.208	0.143
Diğer	0.307	0.019

N=275

Çizelge 6.4'da çevresel ölçüm sonucunda değişkenlere ilişkin ortalama, standart sapma, örneklem büyüklüğü gibi istatistikler görülmektedir.

Çizelge 6.5 Çevresel ölçüm sonuçlarının korelasyon değerleri

		Toplam	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM900	GSM1800	Diğer
Pearson Korelasyon	Toplam	1.000	0.147	-0.019	0.097	0.132	0.914	0.464	0.195
	FM	0.147	1.000	0.393	0.705	0.226	0.036	-0.091	0.197
	VHF	-0.019	0.393	1.000	0.501	0.308	-0.114	-0.055	0.177
	UHF4	0.097	0.705	0.501	1.000	0.608	-0.060	-0.133	0.158
	UHF5	0.132	0.226	0.308	0.608	1.000	-0.064	-0.026	0.054
	GSM900	0.914	0.036	-0.114	-0.060	-0.064	1.000	0.209	0.126
	GSM1800	0.464	-0.091	-0.055	-0.133	-0.026	0.209	1.000	-0.044
	Diğer	0.195	0.197	0.177	0.158	0.054	0.126	-0.044	1.000

Çizelge 6.5'de yer alan korelasyon değerleri, değişkenler arasındaki ilişki hakkında bilgi verir. Toplam değişkeniyle en yüksek ilişki, 0.914 korelasyonla GSM900 değişkenine ve ikinci olarak 0.464 korelasyon değeriyle GSM1800 değişkenine aittir.

Çizelge 6.6 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait model özeti

R	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahminin Standart Hatası**	**Durbin-Watson Değeri**
0.984	0.968	0.967	0.0373	1.612

Çevresel ölçüm sonuçları için; bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkeni ne kadar açıkladığının göstergesi olan R^2 değeri (0.968) yani %96.8' dir. Yani bağımsız değişkenler, %96.8 oranında bağımlı değişken olan toplam EM kirliliği açıklamaktadır. Modele değişken eklendikçe R^2 değeri artar fakat bu tek başına modelin anlamlılığın sınanmasına yeterli olmamaktadır. Çizelge 6.6'da görülen Durbin Watson değerinin de 1.612 çıkması otokorelasyon olmadığı anlamına gelir.

Çizelge 6.7'deki *F* istatistiğine göre anlamlılık değerinin ($p=0.00<0.05$) olması, değişkenler arasındaki ilişkinin, yani elde edilen tahmin modelinin istatistiksel olarak "anlamlı" olduğunu gösterir.

Çizelge 6.7 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait varyans analizi

	Kareler Toplamı	**Serbestlik Derecesi (dF)**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**Anlamlılık Değeri (p)**
Regresyon	11.120	7	1.589	1136.897	0.000
Hata	0.373	267	0.001		
Toplam	11.493	274			

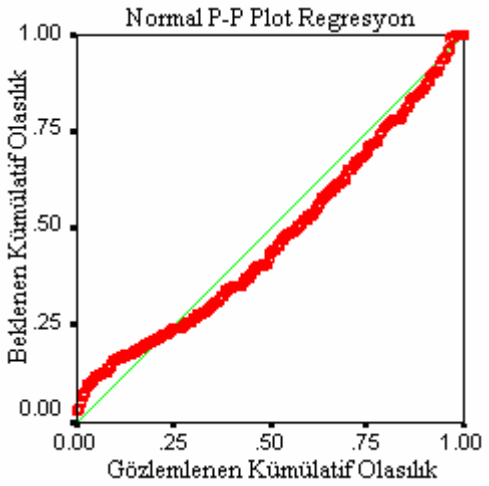
Çizelge 6.8 Çevresel ölçüm sonuçlarına ait değişkenlere ilişkin katsayılar

Değişken	**Standartlaştırılmamış Katsayılar**		**Standartlaştırılmış Katsayılar**	**t**	**Anlamlılık Değeri (p)**
	Beta	**Standart Hata**	**Beta**		
(Sabit)	0.010	0.097		0.106	0.916
FM	0.246	0.056	0.075	4.430	0.000
VHF	-1.056	0.925	-0.015	-1.142	0.255
UHF4	0.309	0.183	0.036	1.690	0.092
UHF5	0.500	0.048	0.156	10.473	0.000
GSM900	0.679	0.009	0.849	73.504	0.000
GSM1800	0.437	0.016	0.305	26.701	0.000
Diğer	0.801	0.121	0.076	6.610	0.000

Regresyon modelindeki katsayıların anlamlılığının istatistiksel olarak test edilmesi ve tahmin modeline girebilecek değişkenlerin belirlenmesi için uygulanan *t* testi sonuçları Çizelge 6.8'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre VHF ve UHF4 bandlarına ait değerlerin 0.05'den büyük çıkması nedeniyle bu değişkenler, tahmin modeli dışında bırakılır. Buna karşın FM, UHF5, GSM900, GSM1800 ve Diğer değişkenlerinin olasılık değeri 0.05'ten küçük çıktığı için modele girer. Buna göre elde edilen çoklu regresyon modeli Denklem 6.7'da görüldüğü gibi olur.

$$Toplam\ kirlilik\ değeri = 0{,}01 + 0{,}246.FM + 0{,}5.UHF5 + 0{,}679.GSM900 + 0{,}437.GSM1800 + 0{,}801.Diğer \quad (6.7)$$

Çevresel ölçüm sonuçları için elde edilen toplam EM kirlilik tahmin modeline göre; FM bandlarının toplam kirliliğe etkisi 0.246, UHF5'in 0.5, GSM900'ün 0.679, GSM1800'ün 0.437 ve Diğer değişkeninin ise 0.801 oranındadır.



Şekil 6.3 Çevresel ölçüm sonuçları için gözlenen ve beklenen kümülâtif olasılık grafiği

Tahmin edilen regresyon modeline ait değerlerin dağılımı Şekil 6.3'deki grafikteki gibidir. X ekseni tahmin edilen değerleri Y ekseni ise gözlemlenen değerleri gösterir. Kurulan modelin anlamlı olabilmesi için hataların normal dağılması gerekir. Toplam EM kirlilik değerine ait hataların, P-P grafik yöntemi ile test edilmesi sonucunda beklenen ve gözlenen değerlerin 45°'lik doğru etrafında dağıldığı görülmüştür. Bu nedenle modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır (Thode 2006, Gibbons 2003).

Çevresel ölçümlerde GSM900 değişkeni ve toplam kirlilik değeri arasında basit regresyon analizi yapıldığında; GSM900'ün bağımlı değişken olan Toplam EM kirliliği %83.6 düzeyinde yüksek bir oranla açıkladığı Çizelge 6.9'da görülmektedir. Yine Çizelge 6.10'dan görüldüğü gibi anlamlılık değeri $p=0.00<0.05$ olduğu için kurulan tahmin modeli anlamlıdır hipotezi (H_1) kabul edilir.

Çizelge 6.9 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisine ait model özeti

R	R^2	Düzeltilmiş R^2	Tahminin Standart Hatası	Durbin-Watson Değeri
0.914	0.836	0.835	0.08319	1.393

Çizelge 6.10 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisine ait varyans analizi

	Kareler Toplamı	**Serbestlik Derecesi (dF)**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**Anlamlılık Değeri (p)**
Regresyon	9.604	1	9.604	1387.897	0.000
Hata	1.889	273	0.007		
Toplam	11.493	274			

Çizelge 6.11 Çevresel EM kirliliğe GSM900'ün etkisi için değişkene ilişkin katsayılar

Değişken	**Standartlaştırılmamış Katsayılar**		**Standartlaştırılmış Katsayılar**	**t**	**Anlamlılık Değeri (p)**
	B	**Standart Hata**	**Beta**		
(Sabit)	0.373	0.008		45.960	0.000
GSM900	0.731	0.020	0.914	37.254	0.000

Çizelge 6.11'de görülen *p* değeri 0.00<0.05 olduğundan değişken modele girebilecek anlamlılıktadır. Denklem 6.8' deki regresyon modeli edilir.

Toplam kirlilik değeri = 0,373 + 0,731.GSM900 *(6.8)*

Yine çevresel ölçümlerde GSM1800 değişkeninin toplam EM kirlilik değerine etkisini belirlemek için iki değişken arasında regresyon analizi yapıldığında; bağımsız değişken olan GSM1800'ün bağımlı değişken olan Toplam kirliliği %21.5 düzeyinde yüksek oranla açıkladığı Çizelge 6.12' de görülmektedir. Yine Çizelge 6.13'den görüldüğü gibi anlamlılık değeri p=0.00<0.05 olduğu için kurulan tahmin modeli anlamlıdır hipotezi (H_1) kabul edilir.

Çizelge 6.12 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait model özeti

R	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahminin Standart Hatası**	**Durbin-Watson Değeri**
0.464	0.215	0.212	0.18175	1.447

Çizelge 6.13 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait varyans analizi

	Kareler Toplamı	**Serbestlik Derecesi (dF)**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**Anlamlılık Değeri (p)**
Regresyon	2.475	1	2.475	74.916	0.000
Hata	9.018	273	0.033		
Toplam	11.493	274			

Çizelge 6.14 Çevresel EM kirliliğe GSM1800'ün etkisine ait katsayılar

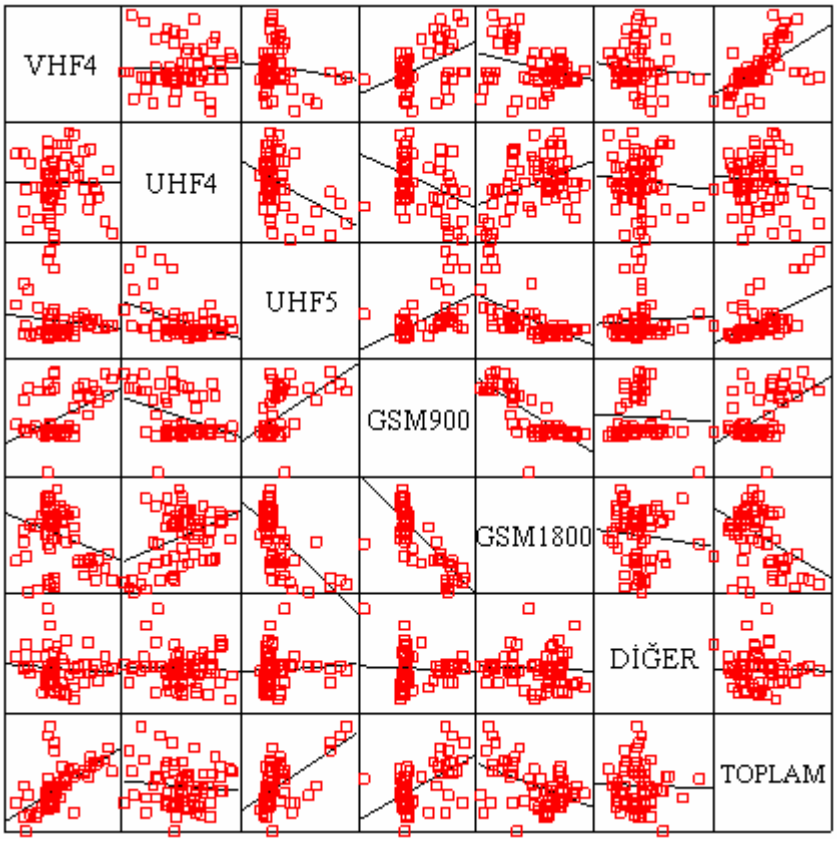
	Standartlaştırılmamış Katsayılar		**Standartlaştırılmış Katsayılar**	**t**	**Anlamlılık Değeri (p)**
	Beta	**Standart Hata**	**Beta**		
(Sabit)	0.473	0.019		24.379	0.000
GSM1800	0.665	0.077	0.464	8.655	0.000

Bağımsız değişken katsayısının anlamlılığı sınandığında ve Çizelge 6.14'de görüldüğü gibi $p=0.00<0.05$ olduğundan, değişken modele girebilecek anlamlılıktadır. Denklem 6.9'deki regresyon modeli şekilde edilir.

$$Toplam\ kirlilik\ değeri = 0{,}473 + 0{,}665.GSM1800 \qquad (6.9)$$

6.3.2. Dikmen Çaldağı verici bölgesi ölçüm değerlerine ait analizler

Şekil 6.4'deki serpilme grafiğinde Dikmen Çaldağı verici bölgesine ait bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken olan toplam kirlilik değeri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Çaldağı bölgesi değişkenleri arasındaki ilişki

Dikmen Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçlarına göre; toplam EM kirlilik değeri 3.65 V/m ve standart sapması ise 0.537 V/m olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.15). GSM900'e ait EM kirlilik değeri 0.102 V/m iken GSM1800' e değer 1.28 V/m olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.15 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları için tanımlayıcı istatistikler

Değişken	**Ortalama (V/m)**	**Standart Sapma (V/m)**
Toplam	3.658	0.538
VHF	2.395	0.693
UHF4	1.514	0.303
UHF5	1.583	0.795
GSM900	0.102	0.0364
GSM1800	1.276	0.587
Diğer	0.252	0.005

Çizelge 6.16 Çaldağı bölgesi değişkenlerinin korelasyon değerleri

		Toplam	VHF	UHF4	UHF5	GSM900	GSM1800	Diğer
Pearson Korelasyon	Toplam	1.000	0.606	-0.103	0.583	0.553	-0.462	-0.025
	VHF	0.606	1.000	-0.001	-0.131	0.460	-0.294	-0.098
	UHF4	-0.103	-0.001	1.000	-0.421	-0.393	0.410	-0.082
	UHF5	0.583	-0.131	-0.421	1.000	0.568	-0.660	0.053
	GSM900	0.553	0.460	-0.393	0.568	1.000	-0.808	-0.052
	GSM1800	-0.462	-0.294	0.410	-0.660	-0.808	1.000	-0.087
	Diğer	-0.025	-0.098	-0.082	0.053	-0.052	-0.087	1.000

N=68

Korelasyon için Çizelge 6.16'ya bakıldığında, toplam kirlilik değişkeniyle en yüksek ilişki içerisinde bulunan değişken 0.606 korelasyonla VHF, ardından 0.583 korelasyonla UHF5 ve 0.553 korelasyonla GSM900 gelir.

Çizelge 6.17 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin model özeti

R	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahminin Standart Hatası**	**Durbin-Watson Değeri**
0.963	0.927	0.92	0.15207	2.003

Kurulan modele ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 6.17'de verilmiştir. Belirlilik katsayısı R=0.963 çıkmış olup, bu bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. R^2=0.927 olması bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni %92.7 oranında açıkladığını gösterir. Durbin Watson değerinin 2.003 çıkması ise değişkenler arasında otokorelasyon olmadığını gösterir.

Çizelge 6.18 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları için varyans analizi

	Kareler Toplamı	**Serbestlik Derecesi (dF)**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**Anlamlılık Değeri (p)**
Regresyon	17.948	6	2.991	129.354	0.000
Hata	1.411	61	0.023		
Toplam	19.359	67			

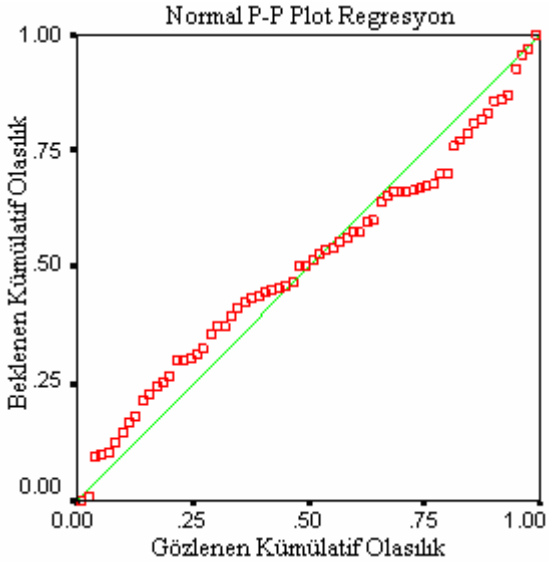
Modelin anlamlılığını sınamak için yapılan varyans analizi sonucu *p* değeri Çizelge 6.18'de görüldüğü gibi 0.05 anlamlılık değerinden küçük çıktığı için kurulan model anlamlıdır sonucuna varılır.

Çizelge 6.19 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçları değişkenlerine ait katsayılar

Değişken	**Standartlaştırılmamış Katsayılar**		**Standartlaştırılmış Katsayılar**	**t**	**Anlamlılık Değeri (p)**
	Beta	**Standart Hata**	**Beta**		
(Sabit)	-0.233	0.191		-1.036	0.304
VHF	0.707	0.036	0.911	19.512	0.000
UHF4	0.283	0.070	0.159	4.049	0.000
UHF5	0.723	0.037	1.070	19.508	0.000
GSM900	-1.847	1.018	-0.125	-1.814	0.075
GSM1800	0.321	0.061	0.351	5.289	0.000
Diğer	5.593	4.478	0.044	1.249	0.216

Çaldağı bölgesi için regresyon modelindeki katsayıların anlamlılığının istatistiksel olarak test edilmesi ve tahmin modeline girebilecek değişkenlerin belirlenmesi için uygulanan *t* testi sonuçları Çizelge 6.19'da verilmiştir. Buna göre GSM900 ve Diğer değişkenlerine ait değerlerin 0.05'den büyük çıkması nedeniyle, bu değişkenler tahmin modeli dışında bırakılır. Bunların dışındaki UHF4, UHF5, VHF ve GSM1800 değişkenleri, olasılık değerleri 0.05'ten küçük çıktığı için tahmin modeline girer. Buna göre elde edilen çoklu regresyon modeli Denklem 6.10' da görüldüğü gibi olur.

$$\textit{Toplam kirlilik değeri} = -0.233 + 0{,}707.VHF + 0{,}283.UHF4 + 0{,}723.UHF5 + 0{,}321.GSM1800 \quad (6.9)$$



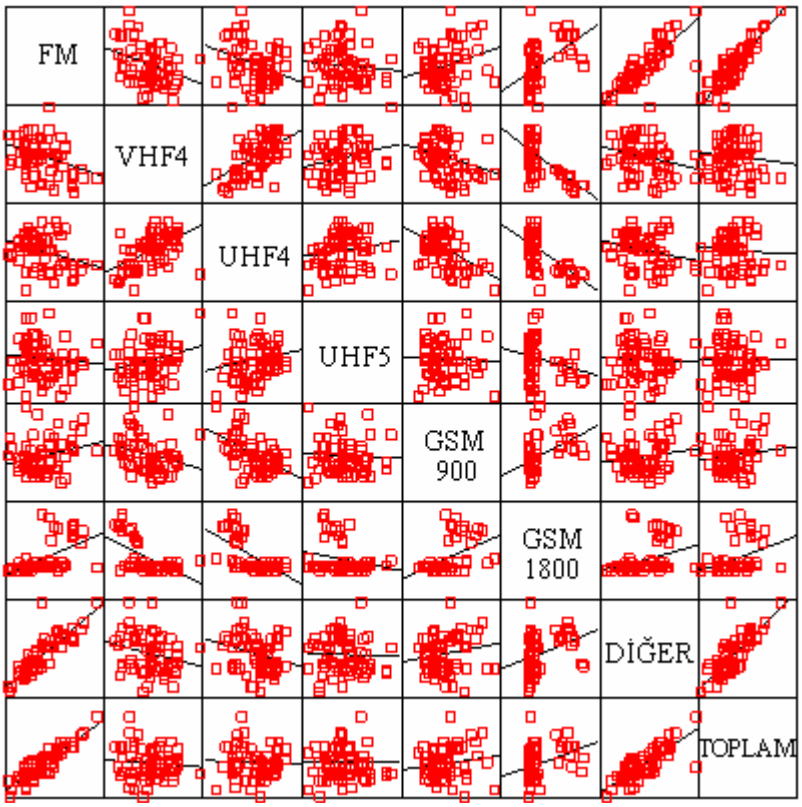
Şekil 6.5 Çaldağı bölgesi ölçüm sonuçlarına için gözlenen ve beklenen kümülâtif olasılık grafiği

Şekil 6.5'de P-P grafiğinden görüldüğü üzere gözlenen ve beklenen verilerin dağılımı normaldir.

6.3.3. Yenimahalle Şentepe verici bölgesi ölçüm değerlerine ait analizler

Şekil 6.6'daki serpilme grafiğinde Yenimahalle Şentepe verici bölgesine ait bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken olan toplam EM kirlilik değeri arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Çizelge 6.20'den görüldüğü gibi verici bölgesinden alınan ölçüm sonuçlarına göre; ortalama toplam kirlilik değeri 5.1 V/m ve 0.935 V/m standart sapma değeri hesaplanmıştır. Bölgedeki GSM900 baz istasyonlarına ait ortalama kirlilik değeri 0.28 V/m iken GSM1800 baz istasyonlarına ait ortalama kirlilik değeri ise 0.12 V/m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6 Şentepe bölgesine ait değişkenler arasındaki ilişki

Çizelge 6.20 Şentepe bölgesi değişkenleri için tanımlayıcı istatistikler

Değişken	**Ortalama (V/m)**	**Standart Sapma (V/m)**
Toplam	5.106	0.935
FM	3.369	1.178
VHF	2.409	0.735
UHF4	1.157	0.241
UHF5	1.691	0.303
GSM900	0.281	0.067
GSM1800	0.121	0.046
Diğer	1.866	0.573

N=68

Çizelge 6.21 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarının korelasyon değerleri

		Toplam	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM900	GSM1800	Diğer
Pearson Korelasyon	Toplam	1.000	0.907	-0.103	-0.062	0.000	0.140	0.366	0.802
	FM	0.907	1.000	-0.363	-0.326	-0.093	0.259	0.534	0.861
	VHF	-0.103	-0.363	1.000	0.524	0.241	-0.274	-0.606	-0.243
	UHF4	-0.062	-0.326	0.524	1.000	0.193	-0.535	-0.622	-0.249
	UHF5	0.000	-0.093	0.241	0.193	1.000	-0.037	-0.226	-0.038
	GSM900	0.140	0.259	-0.274	-0.535	-0.037	1.000	0.495	0.158
	GSM1800	0.366	0.534	-0.606	-0.622	-0.226	0.495	1.000	0.325
	Diğer	0.802	0.861	-0.243	-0.249	-0.038	0.158	0.325	1.000

N=68

Çizelge 6.21'deki korelasyon değerlerinden görüldüğü gibi Toplam değişkeniyle en yüksek ilişkiye sahip değişken 0.907 korelasyon ile FM, ardından 0.802 korelasyon ile Diğer değişkenidir.

Çizelge 6.22 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin model özeti

R	**R^2**	**Düzeltilmiş R^2**	**Tahminin Standart Hatası**	**Durbin-Watson Değeri**
0.953	0.908	0.898	0.2989	2.189

Çizelge 6.22'den görüldüğü gibi belirlilik katsayısı R=0.953 çıkmıştır. Bu değer, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. Bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni R^2 değerine göre %90.8 oranında açıklamaktadır. Durbin Watson değerinin 2.189 çıkması nedeniyle de değişkenler arasında otokorelasyon olmadığı sonucuna varılır.

Çizelge 6.23 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçları için varyans analizi

	Kareler Toplamı	**Serbestlik Derecesi (dF)**	**Kareler Ortalaması**	**F**	**Anlamlılık Değeri (p)**
Regresyon	53.213	7	7.602	85.085	0.000
Hata	5.361	60	0.089		
Toplam	58.574	67			

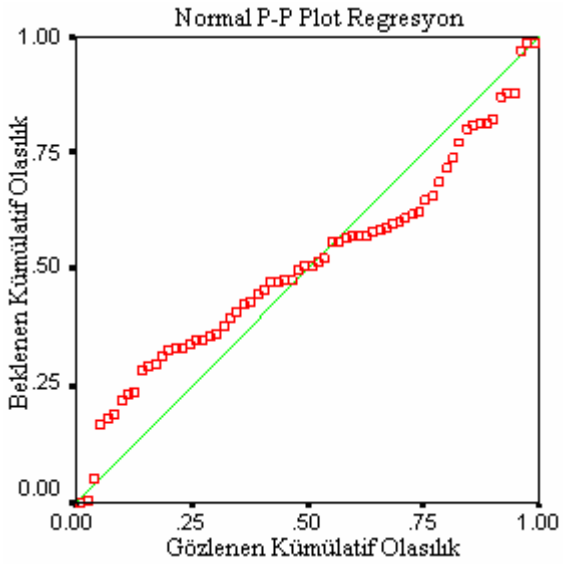
Modelin anlamlılığını sınamak için yapılan varyans testi sonucu *p* değeri, Çizelge 6.23'de görüldüğü gibi 0.05 anlamlılık değerinden küçük çıktığı için kurulan model anlamlıdır sonucuna varılır.

Çizelge 6.24 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin değişkenlere ait katsayılar

Değişken	**Standartlaştırılmamış Katsayılar**		**Standartlaştırılmış Katsayılar**	**t**	**Anlamlılık Değeri (p)**
	Beta	**Standart Hata**	**Beta**		
(Sabit)	0.823	0.869		0.901	0.371
FM	0.757	0.072	0.953	10.448	0.000
VHF	0.249	0.065	0.196	3.812	0.000
UHF4	0.852	0.216	0.220	3.946	0.000
UHF5	0.072	0.126	0.023	0.571	0.570
GSM900	0.114	0.676	0.008	0.169	0.866
GSM1800	1.959	1.312	0.097	1.493	0.141
Diğer	0.084	0.133	0.052	0.633	0.529

Katsayıların anlamlılığı sınandığında UHF5, GSM900, GSM1800 ve Diğer değişkenlerine ait *p* değerleri, Çizelge 6.24'den görüldüğü üzere 0.05 anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için tahmin modeli dışında kalır. FM, VHF ve UHF4 değişkenleri ise modele dâhil edilir. Buna göre Şentepe verici bölgesi için regresyon modeli Denklem 6.11' deki gibi olur.

$$Toplam\ kirlilik\ değeri = 0{,}823 + 0{,}757.FM + 0{,}249.VHF + 0{,}852.UHF4 \quad (6.11)$$



Şekil 6.7 Şentepe bölgesi ölçüm sonuçlarına ilişkin gözlenen ve beklenen kümülâtif olasılık grafiği

Kurulan regresyon modeline göre beklenen ve gözlenen değerler arasındaki dağılım normal olup, bu ilişki Şekil 6.7'deki P-P grafiğinde görülmektedir.

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI, TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER

EM kirlilik dağılımı çalışması; nüfus, yapılaşma, sanayi ve paralelinde EM kirlilik seviyesi bakımından beklentinin en yüksek olacağı yerleşim merkezlerinden birisi olan Ankara kent merkezinde yapıldı. Ankara'da vericilerin bulunduğu bölgelerde yapılan ölçümler sırasında, vericilerin yakınında yaşayan halkın EM kirlilik konusu ve ortamdaki elektrik alanı değerleri hakkında bilgi sahibi olmadıkları gözlenmiştir. Ayrıca çalışmalar sonucunda, EM kirlilik ölçümü yapan kuruluş sayısının fazla olmadığı ve bu tip ölçüm yapan kuruluşların halkı bilgilendirme ve bilinçlendirme görevlerinin bulunmadığı anlaşılmıştır.

Ankara ili kent merkezinde EM kirlilik kaynaklarının fazlaca bulunduğu düşünülen okullar, hastaneler, yurtlar, evler ve yüksek kulelerin civarında kısacası nüfusun yoğun olarak bulunduğu bölgelerde çevresel elektrik alan şiddeti seviyelerini belirlemek için 275 adet ölçüm yapılmıştır. Verici istasyonlarındaki kirlilik düzeyinin analizi için ise iki ayrı bölgede olmak üzere 134 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Lokal olarak yapılan ölçümlerde kaynağa olan uzaklık 200 m ile 5 m arasında değişmekte olup, kaynağa yaklaşıldıkça elektrik alan şiddetinin arttığı gözlenmiş ve değişimin 0.01 V/m ile yaklaşık 10 V/m arasında olduğu görülmüştür. Genel olarak bakıldığında verici istasyonlarındaki ortalama elektrik alan şiddeti değeri 5.1097 V/m civarında çıkmıştır. Şentepe verici bölgesine ait ortalama elektrik alan şiddeti değeri 5.1059 V/m iken Dikmen Çaldağı verici bölgesine ait ortalama değer ise 3.6585 V/m hesaplanmıştır. Çevresel ölçüm sonuçlarına göre ortalama elektrik alan şiddeti ise 0.61 V/m olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere ölçüm sonuçları ICNIRP' ın 900MHz'de 42 V/m limit değerlerinin çok altında kalmıştır. Konu ile ilgili aynı bölgelerde yapılmış önceki çalışmalarda; İnce (2007) Çaldağı ve Şentepe verici bölgelerinde NARDA EMR 300 cihazı ile ölçüm gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ölçüm esnasındaki anlık toplam elektrik alan şiddeti değerleri kaydedilmiş olup, bölgeye ait ortalama kirlilik seviyesi verilmemiştir. Şentepe bölgesi için 4.52 – 10.87 V/m arasında değişen anlık değerler ölçmüştür. Yine çevresel ölçümler için Ankara kent merkezinde farklı noktalarda yaptığı ölçümlerde 0.18 – 0.90 V/m arasında değişen elektrik alan şiddeti değerleri kaydetmiştir. Yine

benzer bir ölçüm çalışmasını Özdemir (2004) gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada da EMR 300 ölçüm cihazı kullanılarak ortamın anlık toplam elektrik alan şiddeti değerleri ölçülmüştür. Yani ölçülen frekans aralığındaki EM alan kaynaklarının bireysel katkıları ölçülmemiştir. Özdemir (2004)'in çalışmasına göre Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgelerinde yapılan ölçümlerde elektrik alan şiddeti değerlerinin 10 V/m'nin altında olduğu görülmüştür.

Şehir merkezinde; ağırlıklı olarak hücresel sistemlerden kaynaklandığı değerlendirilen elektrik alan şiddet değerleri ortalama (E<1 V/m) olarak ölçülmüştür. Radyo ve TV vericilerinin yoğun olarak bulunduğu Dikmen Çaldağı ve Şentepe Dededoruk mevkii verici bölgelerinde yapılan ölçümlerle en fazla elektrik alan şiddetinin olduğu noktalar tespit edilmeye çalışılmıştır. Her iki verici bölgesinde de 68'er adet ölçüm yapılmış olup, ölçülen elektrik alan şiddeti değerleri ile ICNIRP limit değerlerinin karşılaştırılması Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Ölçüm sonuçlarının ICNIRP sınır değerleriyle karşılaştırılması

Ölçüm Bölgesi	**Ölçümlerden Hesaplanan Değerler**		**ICNIRP Sınır Değerleri (V/m)**	
Çevresel ölçümler	Değişken	Ortalama (V/m)	GSM 900	GSM 1800
	GSM900	0.325	41.25	--
	GSM1800	0.208	--	58.34
Dikmen Çaldağı bölgesi	GSM900	0.102	41.25	--
	GSM1800	1.276	--	58.34
Yenimahalle Şentepe bölgesi	GSM900	0.281	41.25	--
	GSM1800	1.866	--	58.34

İnce (2007) Çaldağı bölgesinde yapmış olduğu çalışmada, GSM bandlarına ait elektrik alan şiddeti değerini 7 – 9 V/m arasında ölçmüştür. Fakat ölçümde kullanılan cihaz geniş bandda ölçüm yapan EMR 300 olduğu için ölçüm esnasında verici bölgesindeki diğer kaynaklara ait değerleri de ölçülüyor olması nedeniyle, ölçülen değerin olması gerekenden fazla olduğu düşünülmüştür. Hamid ve arkadaşları (2003) da Ankara'da yapmış oldukları ölçüm çalışmasında GSM 900 bandlarına ait elektrik alan şiddeti değerini ortalama 3.28 V/m'nin altında bulmuşlardır.

Çevresel ölçüm sonuçları için yapılan analizlerde GSM 900 bandlarının ortalama elektrik alan şiddeti 0.325 V/m iken standart sapması 0.256 V/m hesaplanmıştır. Bu değer Çaldağı bölgesi için 0.102 V/m ve standart sapması 0.0264 V/m iken, Şentepe bölgesi için 0.281 V/m ve standart sapması 0.067 V/m'dir. Hamid ve arkadaşları (2003), ölçülen bölge belirtilmemekle birlikte Ankara'da yapmış oldukları çalışmada GSM 900 bandlarının elektrik alan şiddeti değerlerinin istatistiksel analizinde ortalama değeri 0.08 V/m ve standart sapmasını 0.25 V/m olarak hesaplamışlardır. Çizelge E.1.4 ve Çizelge E.1.5'den görüldüğü gibi verici bölgelerinden ölçülen güç yoğunluğu değerleri, limit değer olan 4.5 W/m^2 değerinin altında kalmıştır.

Muhtemel RF kaynaklarından, radyo ve TV vericilerinin 10 – 50 kW mertebesindeki çıkış güçleri olması ve bir emisyon noktasında aynı zamanda çok sayıda radyo ve TV vericisinin bulunması nedeniyle, bu vericilerin civarında en yüksek elektrik alan değerleri ölçülmüştür. Şehir içinde ise çıkış güçleri 200 W mertebesinde olmakla birlikte, iyi haberleşme ve iyi hizmet kalitesi amaçlanarak kapsanan alanda boşluk bırakılmaması için çok sayıda baz istasyonu kuruludur. Bu nedenle, toplam elektrik alan şiddeti seviyesinde baz istasyonlarının etkisi fazladır. Buna ilave olarak şu sonuçlara varılmıştır;

- Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre bir genelleme yapılacak olursa, ortalama 4 katlı bina çatılarına kurulan baz istasyonu anteninden kaynaklanan elektrik alan şiddeti değerinin, antenin kapsama alanı içinde ölçüm yapılması durumunda E = 2 –3 V/m olduğu gözlenmiştir.
- Şehir merkezinde hücresel sistemlerden kaynaklanan EM kirliliğin toplamda ve cihaz başına yönetmelik şartlarına uygun olduğu gözlenmiştir. Dikmen Çaldağı ve Şentepe verici bölgelerindeki EM kirliliğin şehir içine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

SPSS ve E-Views programları ile yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen modelle yapılan tahmin sonucu ile ölçümlerde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında birbirine yakın değerlerin elde edildiği gözlenmiştir. Çizelge 7.2, 7.3 ve 7.4'de ölçülen ve modelle elde edilen verilerin karşılaştırılmasından görüldüğü üzere modelin elde edilmesi için kullanılan ölçüm sayısının yeterli olduğu anlaşılmıştır.

EM kirlilik ölçüm değerlerine ilişkin yapılan değerlendirmeler sonrasında, ölçüm çalışmaları sonucunda elde edilen verilere dayanarak istatistiksel analizler yapıldı. Hamid ve arkadaşları (2003) çalışmalarında; GSM baz istasyonlarından kaynaklanan EM radyasyon seviyelerinin genlik değişimlerini varyans analizi ile incelemişler ve zamana göre genlik değişiminin analizini yaparak zaman serisindeki gürültü tipini belirlemişlerdi. Bu çalışmada ise elde edilen EM kirlilik değerlerinin analizi sonucunda kurulan modelle ileriye dönük tahmine uygun olup olmadığı zaman serisi analizlerinden durağanlık testleri ile incelenmiştir. Veri setinin durağan olup olmadığı tespit edildikten sonra regresyon analizi ile ölçüm yapılan her bölgeye ait regresyon modelleri elde edilmiştir. Durağanlık testi için ADF birim kök testi kullanılması uygun görülmüştür. Değişkenler arasındaki ilişki yani ikili olarak aralarındaki ilişkinin yönü ve derecesi korelasyon testiyle hem grafiksel hem de analitik yönden incelenmiş ve sonrasında varyans analizi ile kurulan modelin anlamlılığı test edilmiştir.

Yapılan ölçümlere uygulanan ADF testleri sonucunda; serilerin her birinin düzeylerine bakıldığında; modele sabitin veya sabit ve trendin birlikte eklendiği durumlarda elde edilen τ istatistiklerinin mutlak değerlerinin, %5 anlam düzeyindeki kritik değerlerin mutlak değerlerinden daha büyük çıktığı gözlenmiştir. Dolayısıyla incelenen serilerin her birinin düzey değerleri için kurulan H_0 hipotezi reddedilmiştir. Diğer bir ifadeyle serilerin tamamı, düzeyde birim köke sahip olmayıp durağandır sonucuna varılmıştır. Bunun anlamı, elde edilen verilerin çoklu regresyon analizinin uygulanabilmesine ve ileriye dönük tahmin yapılabilmesine imkân tanımasıdır. Uygulanan çoklu regresyon tahmininden elde edilen hata teriminin *beyaz gürültü-white noise* (birbirinden bağımsız rassal hata terimi) hata terimi (gürültü tipi) olduğu anlaşılmıştır. Hamid ve arkadaşları (2003) da Ankara kent merkezinde GSM bandlarının EM kirliliğe etkisini belirlemek için yaptıkları EM kirlilik analizi çalışmasında varyans analizi sonucunda *beyaz gürültü* hata terimini gözlemlemişlerdir.

Çevresel ölçümler için yapılan analizler sonucunda, GSM900 ile Toplam değişkeni arasında sıkı bir doğrusal ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 6.2). Toplam değişkeniyle en yüksek ilişkisi bulunan 0.914 korelasyonla GSM900 değişkeni olmuştur. Ardından 0.464 korelasyonla GSM1800 değişkeni gelmektedir. Bağımsız

değişkenlerin, bağımlı değişkeni ne kadar açıkladığının göstergesi olan R^2 değerleri %96' dır. Yani EM kirliliğin %96 oranında bu faktörlere bağlı olarak şekillendiği anlaşılmaktadır. Çevresel ölçüm değerlerine göre elde edilen sonuçlarda FM, UHF5, GSM900, GSM1800 ve Diğer değişkenlerinin olasılık değeri 0.05'ten küçük çıktığı için modele girmiş, VHF ve UHF4'ün ise olasılık değerleri 0.05'ten büyük olduğu için modele katkısı olmadığı sonucuna varılmıştır. Çevresel ölçüm sonuçlarına göre yapılan analiz sonucunda tahmin modeli şu şekilde elde edilmiştir.

$$\textit{Toplam kirlilik değeri} = 0{,}01 + 0{,}246.FM + 0{,}5.UHF5 + 0{,}679.GSM900 + 0{,}437.GSM1800 + 0{,}801.\text{Diğer}$$

Çevresel ölçümlerle elde edilen verilerde FM değerinin toplam kirliliğe etkisi 0.246 oranındadır. UHF5'in etkisi pozitif yönde ve 0.500, GSM900'ün etkisi 0.679 oranında, GSM1800'ün etkisi 0.437 oranında ve Diğer değişkeninin kirliliğe etkisi 0.801 oranında olduğu görülmüştür. Çizelge 7.2'den de görüldüğü üzere ölçüm sonucunda elde edilen Toplam kirlilik değeri 0.46 V/m iken, analiz sonucunda ortaya çıkan modelle elde edilen değer 0.47 V/m'dir. Yani model %96.8 oranında ölçüm sonucunu açıklamaktadır. Çevresel ölçüm değerleri için gözlenen ve beklenen değerlerin dağılımına bakıldığında tahmin edilen model anlamlıdır ve geçerlidir sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7.2 Çevresel ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması

Ölçüm No	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam	Model Sonucu
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m
1	0.18877	0.10735	0.0987	0.1192	0.06703	0.17508	0.2957	0.4601	0.4749
2	0.1284	0.10091	0.1009	0.14439	0.10464	0.09094	0.2918	0.4566	0.4583
3	0.24396	0.10456	0.1046	0.14185	0.17056	0.1841	0.2974	0.5736	0.5754
4	0.15637	0.10304	0.103	0.16521	0.14197	0.12713	0.2906	0.4912	0.5158
5	0.18095	0.10319	0.1032	0.20904	0.19582	0.0819	0.2932	0.5515	0.5627

Dikmen Çaldağı verici bölgesinde yapılan ölçüm sonuçları için yapılan analiz sonucunda VHF, UHF5, GSM900 değişkenleri ile Toplam değişkeni arasında pozitif

yönde bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 6.4). Korelasyon analizine göre Toplam değişkeniyle en yüksek ilişki içerisinde bulunan değişken 0.606 korelasyonla VHF, ardından sırasıyla UHF5 ve GSM900 değişkenleridir. Bölgeye ait yapılan analiz sonucunda şu model elde edilmiştir.

$$\textit{Toplam kirlilik değeri} = -0.233 + 0{,}707.VHF + 0{,}283.UHF4 + 0{,}723.UHF5 + 0{,}321.GSM1800$$

Belirlilik katsayısı R=0.96 çıkmıştır. Bu da bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında pozitif yönlü güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. R^2=0.92 olduğu için bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni %92 oranında açıklamaktadır. Modelin anlamlılığını sınamak için yapılan varyans analizi sonucu ρ değeri 0.05'den küçük çıktığı için kurulan modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7.3 Dikmen Çaldağı ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması

Ölçüm No	VHF 4	UHF 4	UHF 5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam	Model Sonucu
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m
1	2.9	2.085	1.6	0.0708	1.234	0.243	4.094	3.96
2	2.59	1.51	1.68	0.0719	1.38	0.245	3.885	3.683
3	2.87	1.69	0.94	0.120	1.48	0.247	3.023	3.429
4	2.38	1.2	1.02	0.0704	1.96	0.245	3.384	3.156
5	2.32	1.5	1.26	0.0743	2.32	0.246	3.532	3.487

Çizelge 7.3'den de görüldüğü üzere Çaldağı bölgesi ölçüm sonucunda elde edilen Toplam kirlilik değeri 4.094 V/m iken, analiz sonucunda ortaya çıkan modelle elde edilen değer 3.96 V/m'dir. Yani model yaklaşık sonuç vermiştir.

Şentepe bölgesinde yapılan ölçüm sonuçları için yapılan analiz sonucunda FM ve DİĞER değişkeni ile Toplam değişkeni arasında pozitif yönde bir ilişki olduğu görülmüştür (Şekil 6.6). Korelasyon analizine göre Toplam değişkeniyle en yüksek ilişkiye sahip değişken 0.907 korelasyon ile FM değişkeni, ardından 0.802 korelasyon ile Diğer değişkenidir. Belirlilik katsayısı R=0.95 çıkmıştır. Bağımlı

değişken ile bağımsız değişkenler arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki mevcuttur. Bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni %90.8 oranında açıklamaktadır. Modelin anlamlılığını sınamak için yapılan varyans testi sonucu ρ değeri 0.05'den küçük çıktığı için kurulan modelin anlamlı olduğu sonucuna varılmıştır. Çizelge 7.4'de görüldüğü gibi Şentepe bölgesi ölçüm sonucunda elde edilen Toplam EM kirlilik değeri 6.92 V/m iken, analiz sonucunda ortaya çıkan modelle elde edilen değer 6.44 V/m'dir. Yani model yaklaşık olarak ölçüm sonucunu açıklamaktadır. Bölgeye ait yapılan analiz sonucunda şu model elde edilmiştir.

Toplam kirlilik değeri = 0,823 + 0,757.FM + 0,249.VHF + 0,852.UHF4

Çizelge 7.4 Şentepe ölçüm sonuçları için ölçülen ve hesaplanan toplam değerin karşılaştırılması

Ölçüm No	FM	VHF 4	UHF 4	UHF 5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam	Model Sonucu
	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m	V/m
1	5.79	1.9	0.893	1.68	0.389	0.177	2.63	6.92	6.44
2	3.37	1.32	0.8021	1.37	0.286	0.259	1.51	5.43	4.39
3	3.76	1.3	0.8383	1.34	0.325	0.257	1.59	4.59	4.71
4	5.23	1.22	0.7252	1.56	0.319	0.227	2.4	6.15	5.71
5	5.29	1	0.7479	1.78	0.306	0.230	2.29	6.18	5.72

Ölçüm bölgeleri için kurulan modellerin anlamlı çıkması o bölgelere ilişkin EM kirlilik verilerinin ileriye dönük tahmine uygun model oluşturduğunu göstermiştir.

7.1. Öneriler

Yapılan çalışmalar sonucunda EM kirliliğin etkilerine daha az maruz kalınma konusunda bazı önerilerin gerekliliği sonucuna varılmıştır:

- Ölçüm bölgeleri olarak halkın yoğun olarak yaşadığı bölgeler seçilmeli ve ölçümler özellikle GSM bandlarının daha fazla kullanıldığı gündüz saatlerinde yapılmalıdır.

- Yapılacak olan EM kirlilik ölçümü çalışmalarında mutlaka spektrum analizör özellikli ölçüm cihazları kullanılmalıdır. Bu sayede ortamdaki her bir EM kirlilik kaynağının etkisi incelenebilir. Bu bağlamda, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumunda da kullanılmakta olan NARDA SRM3000 ve benzeri cihazlar ölçümler için uygun özelliklere sahiptir.
- Özellikle aynı bölgede farklı operatörlere ait baz istasyonları için ortak anten kulesi kullanımına geçiş yapılmalıdır.
- Etkin ve anlamlı koruma için ölçüm yapan kurum veya şirketlerin arttırılması ve halkı bilgilendirme zorunluluğunun getirilmelidir. Bu bağlamda Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu sektöre öncülük etmeli ve konu ile ilgili konferans gibi bilgi verici etkinliklerin sayısını arttırmalıdır.
- Vericilere yakın bölgelerde; (Dikmen Çaldağı ve Yenimahalle Şentepe bölgelerinde) halen yaşamakta olan halkın bölgeden taşınmaları sağlanmalıdır.
- Enerji nakil ve dağıtım hatları, radarlar, radyo-TV ve BTS antenleri ve benzeri kaynakların, halkın yaşadığı bölgelerde oluşturabileceği elektrik alan şiddeti değerlerine ilişkin kontrol amaçlı sürekli ölçümler yapılmalıdır.
- Yerleşim merkezlerinin EM alanlardan arındırılabilmesi mümkün olmadığı için, radyo ve TV vericilerinin, daha yüksek anten kuleleri üzerine ve yerleşim merkezlerinden uzak bölgelerde kurularak etkilerinin en aza indirilmesi sağlanmalıdır.
- TV ve radyo vericilerinin bulunduğu bölgeler yerleşime açılmamalıdır.
- Baz istasyonlarının kurulduğu yerlere, oluşturduğu EM alan şiddetine göre değişik uyarı işaretleri konulmalı ve açık alanlardaki istasyonların çevresi uyarı işaretleri ile sınırlandırılmalıdır.
- Cep telefonlarının SAR değerleri, firmalarca kullanım kılavuzlarında belirtilmeli ve limit değer olan 0.1 W/kg SAR'ın üzerindeki cep telefonları kullanılmamalıdır.
- Ulusal Noniyonizan Radyasyon Kurumu bağımsız bir bilimsel kuruluş olarak en kısa sürede kurulmalıdır.
- Yeni kurulacak sistemin EM alan şiddeti, kurulacak yer ve güç açısından incelenmelidir. EM alan şiddeti değeri, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO)'nın belirlediği sınırların altında olanlara izin verilmelidir.

- Kurulu sistemlerin EM alan şiddeti değerleri sıkça ölçülmeli, radyasyon değerleri sınır değerini aşan sistemlerin değerleri sınır değerlerinin altına çekilmeli, aksi takdirde bu sistemin çalışmasına izin verilmemelidir.
- İl genelinde kurulu GSM baz istasyonlarının planı çıkartılmalı veya mevcut planlar sürekli güncellenmelidir.
- Baz istasyonlarının kurulumunda yer seçimi ve kurulumu, uzman kişi ve kurumlar gözetiminde üç operatörü (Turkcell, Vodafone ve AVEA) de içine alacak bir planlama ile gerçekleştirilmelidir.
- Tipik ölçü aletleri saptanmalı ve aynı parametreler ölçülmelidir.
- EM kirlilik analizi ile ilgili yapılacak istatistiksel çalışmalarda SPSS, E-Views ve STATISTICA gibi programlardan yararlanılarak hızlı ve verimli analizler gerçekleştirilebilir.
- EM kirliliğin haritalanması çalışmalarında NetCAD, ARCGIS ve MapInfo gibi programlardan yararlanılarak dağılım haritaları elde edilebilir.
- EM kirliliğin tahmini için ileride yapılabilecek olan çalışmalarda; istatistiksel analiz yöntemlerinin yanı sıra yapay sinir ağları da kullanılabilir.

8. KAYNAKLAR

Alpar, R. 2003. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş–1, 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Abdelati, M. 2005. Electromagnetic Radiation From Mobile Phone Base Stations at Gaza, Journal of the Islamic University of Gaza (Natural Sciences Series) Vol.13, No.2, P.129–146.

Benjamin, G., Galaucio, S. 2001. Electromagnetic Environmental Measurement in Specific Populated Areas of Brazil, National Institute of Space Research Integration and Testing Laboratory S.J.dos, Campos, Paulo, Brazil.

Berber, M., Artan, S. 2004. Türkiye'de Enflasyon-Ekonomik Büyüme İlişkisi: Teori, Literatür ve Uygulama, Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, Cilt.18, Sayfa1-17.

Colak, İ., Koşalay, İ. 2008. Neural Network Estimation of RF Electromagnetic Pollution Near TV Broadcast Transmitters, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 50, No. 4, P.1004–1008.

CENELEC. 1995. Human Exposures to Electromagnetic Fields (10 kHz to 300 GHz), CENELEC European Standard ENV 50166–2.

Cohen, J. 1988. Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, 2nd Ed., Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Cora, A., Demir, T. 2003. Elektromanyetik Alanların İnsan Sağlığına Etkileri ve Alınabilecek Önlemler, 3e Electrotech Dergisi, Sayı.113, Sayfa.78-82.

Fiori, S., Burrascano, P. 2000. Electromagnetic Environmental Pollution Localization by the Independent Component Simone, DIE–UNIPG, University of Perugia, Italy.

Forigo, D., Gianola, P., Scotti, R., Vallauri, R. 2009. Measurements and Numerical Evaluation of the Electric Field in the Near-Zone of Radio Base Station Antennas, Centro Studi E Laboratori Telecomunicazioni (CSELT) via Reiss Romoli 274, Torino, Italy.

Getsov, P., Teodosiev D., Roumenina, E. 2007. Methods For Monitoring Electromagnetic Pollution in the Western Balkan Environment, SENS 2007, Third Scientific Conference with International Participation, Space, Ecology, Nanotechnology, Safety, Varna, Bulgaria.

Gibbons, J., Chakraborti, S. 2003. Nonparametric Statistical Inference, 4th Ed., CRC Press, ISBN 9780824740528.

Grollo, M., Cornelius, W. A., Bangay, M. J., Essex, E. 2000. Radiofrequency Radiation Emissions From Mobile Telephone Base Station Communication Towers, La Trobe University and ARPANSA, Australia.

Hamid, R., Çetintaş, M., Karacadağ, H., Gedik, A., Yoğun, M., Çelik, M. 2003. Measurement of Electromagnetic Radiation From GSM Base Stations. IEEE International Symposium on EMC, TÜBİTAK-UME, Gebze-Kocaeli, Turkey.

Hanedar, A.Ö., Akaya, O., Bizim, Ç., 2008. Durağanlık Analizi, Birim Kök Testleri ve Trend, 10.Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu.

ICNIRP. 1998. Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74, No. 4, P. 494–522, http://www.rcs.re.it/emclab/download/icnirp.pdf.

IEEE. 1991. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields 3kHz to 300GHz, ANSI/IEEE C95.1–1991, http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/rf-faqs.html.

İnce, T. 2007. Elektromanyetik Kirlilik, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara.

Kaya, A., Özen, Ş., Çömlekçi, S. 2003. Yerel TV ve Hücresel Verici İstasyonlarındaki RF Alan Seviyelerinin Ölçülmesi, Sonuçlarının İnsan Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi, Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Sayfa.39, Ankara.

Levin, J., Fox, J.A. 1991. Elementary Statistics. Harper Collins Publishers Inc, P. 501, New York, USA.

Liu, Y., Contractor, K., Kang, Y., 2007. Path Loss for Short Range Telemetry, 4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2007), P.70-74, Aachen University, Germany.

Miclausi, S., Bechet, P., 2006. Estimated and Measured Values of the Radiofrequency Radiation Power Density Around Cellular Base Stations, Land Forces Academy, 3–5 Revolutiei St., Sibiu, Romania.

NARDA. 2007. Accounting for Measurement Uncertainty in the SRM-3000, NARDA Safety Test Solutions GmbH, Germany.

Özdemir, A. R. 2004. Ankara, İstanbul ve İzmir Şehirlerinde Elektromanyetik Kirlilik Haritasının Hazırlanması ve Elektromanyetik Kirliliğin Azaltılması Yönünde Öneriler, Telekomünikasyon Kurumu, Ankara.

Özdamar, K. 2004. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, 5. Baskı, Kaan Kitabevi, İstanbul.

Özen, Ş., Çömlekçi, S., Çerezci, O. 2002. Radyo Frekanslı Radyasyona (RFR) Maruz Kalan Deri Dokusundaki Sıcaklık Artışının Biyo-Isı Transferi ile Analizi, BIYOMT, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Özsoy, S., Saraçoğlu, Ö.G. 1999. Elektromanyetik Uyumluluk (EMC) Anlamı, Önemi ve Gerekleri, Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Sayfa.23-29, Ankara.

Resmi Gazete. 2007. Kamu Sağlık Hizmetlerinde İyonlaştırıcı Radyasyon Kaynakları İle Çalışan Personelin Radyasyon Doz Limitleri Hakkında Yönetmelik, Sayı.26665.

Shachar, A., Hareuveny, R., Margaliot, M., Shani, G. 2004. Measurements and Analysis of Environmental Radio Frequency Electromagnetic Radiation in Various Locations in Israel, Soreq Nuclear Research Center, Israel.

Sevgi, L. 2000. Elektromanyetik Uyumluluk ve Elektromanyetik Kirlilik, EMO Yayınları, Sayfa.64–81, İstanbul.

Sevgi, L. 2003. Elektromanyetik Girişim Kaynakları- Elektrik ve Manyetik Dipoller, Endüstri Otomasyon Dergisi, Aralık Sayısı.

Sevüktekin, M., Nargeleçekenler, M. 2005. Zaman Serileri Analizi, 1.Baskı, Nobel Yayınevi, Ankara.

Solari, G., Viciguerra, G. 2005. Frequency Selective Measurements of Electric Field (100 kHz - 2.5GHz) and Magnetic Field (100 kHz -120 MHz) with Active Electro-Optical Receiving Antennas. The 16th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility - EMC Zurich 2005.

Şeker, S., Çerezci, O. 2003. Elektromanyetik Dalgalar ve Mühendislik Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi yayınları, S.3, 226, 225, İstanbul.

Şeker, S., Morgül, A., Tulgar, T. M. 1998. Electromagnetic Pollution Survey in a Typical Turkish Residence, Plant and Hospital, Dept. of Electrical-Electronics Engineering Bogaziçi University, Electrotechnical Conference, MELECON 98. İstanbul.

Şen, A. 2007. Elektrik Alan Şiddetlerinin Ölçümü ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Yapay Sinir Ağları İle Analizi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

TK Yönetmeliği. 2001. 12 Temmuz 2001 tarih ve 24460 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan "10 kHz - 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik", Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu, Ankara.

Taktak, F., Tiryakioğlu, İ., Telli, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ. 2008. CBS Tabanlı Taşınmaz Değerlemesinde Kullanılan Enterpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırması: Afyonkarahisar Örneği, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Sempozyumu, Ankara.

T.C. Çevre Bakanlığı, Çevre Kirliliğini Önleme ve Kontrol Genel Müdürlüğü Genelgesi, (Sayı: B.19.0.ÇKÖ.0.02.00.03), 11 Mayıs 2000.

Thode, H.C. 2006. Methods of Probability Plotting, CRC Press, ISBN. 9780824796136.

Tonta, Y. 2008. Regresyon Analizi Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi.

Ulaştırma Bakanlığı Baz İstasyonları Hakkında Yönetmelik. 2000, TC Resmi Gazete Sayı 24130, Sayfa. 11–18.

Uygunol, O., Durduran, S.S. 2009. GSM Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Kirlilik Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Yardımıyla Oluşturulması; Konya Örneği, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.

Üçkardeş, F. 2006. İstatistiksel Tezler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Üniversitesi.

Wayne, A., Cornelius, M.J., Grollo, M. 2000. Levels of Radiofrequency Radiation from GSM Mobile Telephone Base Stations, Published by Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.

Yanalak, M. 2000. Yön ve Ters Uzaklık Ağırlıklı Ortalama ile Enterpolasyon. Harita Dergisi, Sayı 127, Sayfa. 48–55.

Yomralıoğlu, T., Reis, S., Nişancı, R. 2002. GPS İle Hareket Halindeki Araçlardan Elde Edilen Gerçek Zamanlı Verilerin Orta Ölçekli CBS Çalışmalarında Kullanılabilirliği, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya.

Yılmaz, A., Günay, S. 2008. Mekâna İlişkin Güvenlik Algılamasının Haritalanmasında CBS Kullanımı, 2.Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Sayfa. 232–237, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

EK–1 Ankara kent merkezindeki ölçüm sonuçları.

Çizelge E.1.1 Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
1	0.29566	0.18877	0.067032	0.17508	0.098721	0.1192	0.10735	0.44008
2	0.29218	0.13345	0.24948	0.26607	0.098247	0.14054	0.10546	0.52606
3	0.29218	0.13345	0.24948	0.26607	0.098247	0.14054	0.10546	0.52606
4	0.29218	0.13345	0.24948	0.26607	0.098247	0.14054	0.10546	0.52606
5	0.29218	0.13345	0.24948	0.26607	0.098247	0.14054	0.10546	0.52606
6	0.29176	0.1284	0.14464	0.090941	0.10816	0.14439	0.10091	0.41657
7	0.29743	0.24396	0.17056	0.1841	0.10781	0.14185	0.10456	0.50363
8	0.29059	0.15637	0.14197	0.12713	0.10742	0.16521	0.10304	0.44121
9	0.29325	0.18095	0.19582	0.0819	0.11706	0.20904	0.10319	0.4815
10	0.29278	0.14053	0.10778	0.073772	0.10115	0.13988	0.10262	0.40355
11	0.29003	0.11188	0.065259	0.21745	0.095167	0.1169	0.10492	0.42651
12	0.2926	0.12663	0.073942	0.55722	0.11173	0.21601	0.1043	0.69831
13	0.29211	0.11382	0.26115	0.31665	0.096372	0.13127	0.10097	0.55087
14	0.29296	0.11657	0.28641	0.41124	0.098821	0.12675	0.1041	0.62228
15	0.29002	0.11413	0.48404	0.16924	0.098692	0.12651	0.10523	0.62999
16	0.30765	0.11799	1.0588	0.61936	0.10555	0.14485	0.1054	1.2871
17	0.29634	0.12439	0.37182	0.31264	0.10652	0.1548	0.10507	0.62099
18	0.29358	0.11635	0.50646	0.12289	0.10139	0.12975	0.10414	0.63975
19	0.29369	0.10853	0.21359	0.18423	0.09676	0.12094	0.1043	0.46094
20	0.29537	0.11108	0.17962	0.23509	0.096958	0.11851	0.10578	0.4709
21	0.29666	0.10941	0.27946	0.086689	0.095574	0.12072	0.10646	0.46971
22	0.29418	0.11139	0.25999	0.18423	0.097225	0.11977	0.10644	0.4854
23	0.29388	0.11353	0.23498	0.105	0.09609	0.1183	0.10219	0.44628
24	0.29552	0.14024	0.18183	0.40956	0.10408	0.1301	0.1045	0.58863
25	0.29522	0.1494	0.40006	0.21657	0.10591	0.16462	0.10503	0.60479
26	0.43178	0.12617	1.3176	0.11557	0.098395	0.12546	0.10408	1.41
27	0.29633	0.13708	0.48655	0.11637	0.097385	0.13909	0.10693	0.63019
28	0.29603	0.18033	0.14523	0.11415	0.11767	0.17349	0.10771	0.45807
29	0.29411	0.16062	0.2056	0.10908	0.1136	0.15595	0.10578	0.46355
30	0.29669	0.18964	0.32951	0.10253	0.1216	0.16453	0.10524	0.54407
31	0.29602	0.23586	0.52561	0.40631	0.12488	0.18716	0.10455	0.80384

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
32	0.29752	0.15749	0.96101	0.61182	0.11556	0.1669	0.1066	1.2099
33	0.29933	0.14428	0.11258	0.1608	0.10973	0.1398	0.10853	0.43853
34	0.29981	0.13111	0.22059	0.073018	0.099391	0.13165	0.10714	0.44694
35	0.29629	0.13452	0.50815	0.073721	0.10774	0.14987	0.10763	0.64435
36	0.47519	0.14476	0.8438	0.21329	0.10639	0.16664	0.10838	1.0272
37	0.29915	0.14696	0.81389	0.66341	0.11813	0.20947	0.10827	1.1328
38	0.29576	0.12546	0.3438	0.49058	0.099388	0.13517	0.10711	0.70831
39	0.29882	0.1209	0.08006	0.2895	0.097755	0.13628	0.10475	0.48294
40	0.29805	0.11864	0.12984	0.22153	0.096961	0.1287	0.10893	0.45461
41	0.29746	0.10956	0.65815	0.4371	0.096418	0.1206	0.10363	0.87137
42	0.29794	0.11319	1.0851	0.18033	0.099365	0.11695	0.10503	1.1602
43	0.29525	0.11356	0.24274	0.79554	0.098857	0.12244	0.10297	0.90953
44	0.29565	0.11404	0.19706	0.12524	0.099466	0.13808	0.10547	0.44161
45	0.29898	0.1181	0.15233	0.089005	0.099172	0.14065	0.10562	0.41861
46	0.29688	0.11179	0.38731	0.3528	0.10253	0.14643	0.10523	0.64664
47	0.29856	0.10871	0.22129	0.13753	0.094463	0.11756	0.10469	0.45005
48	0.29806	0.10918	0.12166	0.082191	0.095856	0.11768	0.10295	0.39491
49	0.2981	0.10626	0.31875	0.099407	0.10038	0.12063	0.10883	0.49811
50	0.29917	0.13501	0.11748	0.46443	0.098929	0.12005	0.1062	0.6105
51	0.30023	0.11854	0.099652	0.089764	0.10852	0.13585	0.10462	0.40417
52	0.30128	0.11851	0.20674	0.12372	0.099092	0.11934	0.1065	0.44527
53	0.30147	0.11081	0.24891	0.27424	0.10435	0.14505	0.10707	0.53265
54	0.30132	0.10697	0.29305	0.11574	0.098605	0.12854	0.10415	0.48847
55	0.30228	0.11171	0.20859	0.16019	0.099888	0.12443	0.10581	0.45791
56	0.30017	0.11136	0.56067	0.18924	0.098497	0.11945	0.10483	0.6983
57	0.30106	0.1184	0.32224	0.12914	0.098345	0.11856	0.10421	0.50967
58	0.30219	0.11842	0.44769	0.19594	0.098372	0.11898	0.10493	0.61563
59	0.30062	0.11498	0.43193	0.23061	0.096805	0.11861	0.10668	0.61495
60	0.29957	0.11717	0.20883	0.094454	0.096599	0.12131	0.10617	0.4374
61	0.3014	0.10767	0.8673	0.088116	0.097181	0.11764	0.1053	0.94699
62	0.29946	0.11702	0.8167	0.099566	0.097117	0.1185	0.10541	0.9027
63	0.29975	0.11655	0.087151	0.19164	0.10323	0.12591	0.10683	0.4309
64	0.30328	0.11372	0.3135	0.11469	0.10157	0.13118	0.10794	0.50549

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
65	0.46431	0.13274	0.20124	0.17014	0.11325	0.14109	0.10894	0.58928
66	0.41704	0.13211	0.091905	0.11556	0.10775	0.13848	0.10655	0.50529
67	0.3049	0.12573	0.13881	0.17629	0.10699	0.14157	0.10485	0.449
68	0.30383	0.14935	0.1864	0.37227	0.1154	0.17958	0.10648	0.58724
69	0.30123	0.13776	0.19537	0.31325	0.11434	0.16118	0.11192	0.54552
70	0.30312	0.13933	0.56906	0.34377	0.10015	0.12389	0.10851	0.76841
71	0.30427	0.17371	0.84856	0.39095	0.10466	0.12937	0.10515	1.017
72	0.30734	0.14053	0.4643	0.45823	0.10123	0.12451	0.10795	0.75971
73	0.30248	0.14173	0.51164	0.38776	0.10657	0.13801	0.10736	0.7521
74	0.30716	0.17561	0.67047	0.31404	0.10933	0.13685	0.10465	0.84556
75	0.30041	0.1612	0.74126	0.3486	0.10563	0.13187	0.10747	0.90957
76	0.30223	0.17038	0.43876	0.22268	0.1016	0.13464	0.10582	0.63413
77	0.30648	0.14099	0.39163	0.15799	0.10313	0.13668	0.10734	0.57704
78	0.30615	0.13414	0.79765	0.17837	0.10465	0.12772	0.10871	0.90491
79	0.30276	0.11871	0.50257	0.26727	0.10214	0.13927	0.10908	0.68665
80	0.30533	0.12616	0.29248	0.31076	0.10889	0.1426	0.10959	0.57919
81	0.3062	0.15542	0.08064	0.18266	0.13737	0.19522	0.10848	0.47595
82	0.30311	0.12472	0.07669	0.52712	0.10069	0.12766	0.10415	0.65456
83	0.30519	0.13176	0.097561	0.15059	0.10301	0.14006	0.10569	0.42906
84	0.30846	0.17814	0.22792	0.079961	0.15054	0.23127	0.10972	0.52289
85	0.30464	0.16207	1.6458	0.13134	0.12901	0.29431	0.10859	1.7205
86	0.30164	0.1375	0.090916	0.083215	0.118	0.25232	0.10829	0.46303
87	0.34228	0.12534	0.095011	0.22266	0.12273	0.21066	0.11046	0.51295
88	0.30301	0.11926	0.29302	0.33704	0.10959	0.16716	0.10937	0.59784
89	0.30387	0.11802	0.14244	0.42952	0.10052	0.1394	0.10933	0.59374
90	0.30341	0.11775	0.20331	0.17993	0.10466	0.13503	0.10994	0.47001
91	0.30278	0.11067	0.46488	1.0181	0.097811	0.1305	0.10569	1.1808
92	0.30308	0.12041	0.34095	0.098934	0.097493	0.12208	0.1058	0.51767
93	0.30506	0.11814	0.10401	0.17008	0.10527	0.18036	0.1078	0.44944
94	0.30315	0.13603	0.25134	0.19827	0.1094	0.25832	0.10667	0.55042
95	0.30113	0.12383	0.27645	0.12374	0.10754	0.18297	0.10846	0.50453
96	0.29826	0.145	0.45079	0.1617	0.12622	0.21286	0.10986	0.64238
97	0.38345	0.11877	0.16549	0.38126	0.10538	0.17849	0.10992	0.62365

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
98	0.30317	0.17444	0.30691	0.2685	0.10639	0.1374	0.10795	0.57487
99	0.30625	0.15212	0.46238	0.18823	0.103	0.13342	0.1058	0.63699
100	0.3077	0.16662	1.33	0.16084	0.10232	0.1399	0.10789	1.3996
101	0.30225	0.12627	0.31774	0.12955	0.10027	0.12142	0.10705	0.51117
102	0.30202	0.11635	1.1737	0.12656	0.099943	0.12769	0.1064	1.2394
103	0.30235	0.11901	0.3044	0.19325	0.10258	0.17893	0.10955	0.53863
104	0.30355	0.10697	0.27374	0.14939	0.12503	0.28095	0.10948	0.55443
105	0.30396	0.11042	0.21132	0.25099	0.11168	0.23974	0.10657	0.54179
106	0.30528	0.1313	0.40631	0.24755	0.11842	0.52012	0.10741	0.79554
107	0.30402	0.10775	0.16596	0.1383	0.1001	0.14836	0.10629	0.44049
108	0.30485	0.10915	0.19249	0.077237	0.098623	0.12468	0.10676	0.42957
109	0.3023	0.11214	0.26195	0.20068	0.10046	0.14769	0.10746	0.50626
110	0.30182	0.1058	0.071941	0.078866	0.096389	0.12227	0.10884	0.387
111	0.30363	0.10588	0.22601	0.10562	0.10208	0.12858	0.10508	0.45126
112	0.30502	0.12054	0.34245	0.095092	0.10128	0.12306	0.10948	0.52083
113	0.3015	0.10588	0.78978	0.1004	0.099904	0.12166	0.10729	0.87877
114	0.30245	0.1132	0.33048	0.12773	0.10358	0.13442	0.10715	0.51971
115	0.3026	0.11594	0.21321	0.25041	0.099344	0.12313	0.10602	0.49945
116	0.30477	0.11451	0.15217	0.10166	0.098318	0.12559	0.10984	0.42071
117	0.30193	0.10512	0.14164	0.15054	0.099444	0.138	0.11051	0.43138
118	0.30784	0.1189	0.12379	0.085736	0.10213	0.13139	0.10872	0.41363
119	0.30544	0.10816	0.078638	0.076492	0.099918	0.11999	0.11084	0.39204
120	0.30268	0.10125	0.16225	0.32697	0.10064	0.11888	0.10655	0.5203
121	0.30433	0.10911	0.07997	0.087515	0.099426	0.11839	0.10924	0.39295
122	0.30831	0.11041	0.076242	0.21216	0.098399	0.12026	0.10675	0.44001
123	0.30336	0.12125	0.3843	0.15773	0.099381	0.12158	0.10833	0.56186
124	0.3061	0.11266	0.57689	0.15791	0.10114	0.11886	0.10832	0.70726
125	0.30902	0.10362	0.67222	0.082997	0.10285	0.11994	0.10602	0.77538
126	0.30544	0.11148	0.36645	0.21214	0.099054	0.11968	0.10545	0.56592
127	0.30093	0.11455	0.1719	0.089178	0.097928	0.11874	0.10452	0.41928
128	0.30704	0.1129	0.10949	0.10748	0.097934	0.11908	0.10677	0.4071
129	0.30189	0.11943	0.077556	0.075004	0.099167	0.11796	0.10903	0.39074
130	0.30386	0.11449	0.12585	0.09768	0.099581	0.11984	0.10821	0.40842

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
131	0.2999	0.1228	0.19087	0.075251	0.098414	0.12428	0.10865	0.42901
132	0.30067	0.11868	0.1386	0.46387	0.10041	0.1264	0.10989	0.61401
133	0.3027	0.1176	0.35632	0.31268	0.099844	0.127	0.11042	0.60703
134	0.3045	0.11462	0.1865	0.26793	0.099681	0.12353	0.10828	0.49934
135	0.30512	0.11733	0.24635	0.11144	0.098478	0.12534	0.10674	0.46559
136	0.30787	0.11325	0.10759	0.11901	0.12935	0.21734	0.10817	0.45719
137	0.3135	0.13005	0.21783	0.13269	0.1318	0.19598	0.1096	0.49804
138	0.30547	0.1093	0.10705	0.079823	0.11123	0.14515	0.11008	0.41067
139	0.30264	0.13706	0.21886	0.21598	0.15004	0.26285	0.1116	0.55586
140	0.30562	0.1203	0.49559	0.45029	0.1458	0.23847	0.11048	0.8041
141	0.30739	0.12459	0.14851	0.1748	0.13789	0.24816	0.11384	0.50614
142	0.30479	0.17387	0.13812	0.48346	0.12795	0.17888	0.11654	0.66173
143	0.30683	0.12342	0.17375	0.10315	0.15072	0.28029	0.11578	0.51468
144	0.30722	0.13583	0.10447	0.1483	0.1392	0.20779	0.10927	0.46929
145	0.31087	0.11808	0.48886	0.22835	0.10522	0.14291	0.11033	0.66737
146	0.30669	0.12191	0.13181	0.12913	0.10475	0.12388	0.11026	0.42596
147	0.30436	0.13187	0.13006	0.18784	0.15765	0.22576	0.11175	0.50053
148	0.30704	0.11579	0.17094	0.14233	0.11082	0.14646	0.10898	0.45029
149	0.30589	0.10995	0.85099	0.088122	0.099616	0.12451	0.10813	0.93527
150	0.30179	0.11285	0.19774	0.090969	0.1007	0.13142	0.10768	0.43611
151	0.30404	0.11443	0.88142	0.10096	0.10688	0.14614	0.11039	0.9683
152	0.30184	0.12181	0.12523	0.10264	0.11577	0.19844	0.10976	0.44383
153	0.30643	0.11941	0.10831	0.10349	0.10955	0.17516	0.10909	0.43032
154	0.30623	0.10978	0.23918	0.17928	0.10223	0.14507	0.11286	0.4893
155	0.30212	0.1159	0.28616	0.15561	0.10316	0.14749	0.11241	0.50581
156	0.30417	0.11606	0.27363	0.14185	0.10364	0.15316	0.11076	0.49745
157	0.30426	0.12994	0.23474	0.12866	0.10584	0.18031	0.10818	0.48635
158	0.30381	0.11592	0.17763	0.13254	0.11347	0.23152	0.11	0.48315
159	0.30589	0.1145	0.49126	0.2483	0.10229	0.14446	0.10803	0.67281
160	0.30259	0.11472	0.84556	0.43457	0.10326	0.14298	0.10561	1.0251
161	0.3039	0.11698	0.75844	0.38325	0.10305	0.13562	0.10656	0.93194
162	0.30107	0.1122	0.7012	0.37382	0.10301	0.13026	0.10893	0.87983
163	0.30384	0.11836	0.68861	0.37347	0.10144	0.13039	0.11172	0.87165

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
164	0.30659	0.11744	0.89263	0.32756	0.1002	0.13599	0.10648	1.0255
165	0.30724	0.11409	0.27613	0.3424	0.10401	0.16819	0.10967	0.59332
166	0.30656	0.10783	0.09642	0.091428	0.098016	0.12606	0.10874	0.40073
167	0.30635	0.10756	0.096185	0.10688	0.10043	0.13127	0.10947	0.40669
168	0.30532	0.10996	0.099457	0.11928	0.10021	0.12744	0.10978	0.40959
169	0.3028	0.10885	0.14863	0.13084	0.10658	0.15202	0.1057	0.43404
170	0.30631	0.11727	0.19502	0.098493	0.11035	0.12773	0.10926	0.44243
171	0.31131	0.15041	0.58712	0.14524	0.11896	0.13214	0.11253	0.72775
172	0.30287	0.14486	0.64734	0.19753	0.13333	0.13573	0.10771	0.7865
173	0.30862	0.13834	0.5872	0.15358	0.12607	0.13668	0.11124	0.72782
174	0.30734	0.15716	0.4673	0.1415	0.11404	0.13412	0.11515	0.63388
175	0.30077	0.13667	0.41399	0.19546	0.15228	0.14057	0.1076	0.61095
176	0.30384	0.15395	0.37987	0.203	0.16214	0.14047	0.1136	0.60038
177	0.30412	0.11051	0.14164	0.10523	0.10348	0.1371	0.10636	0.4203
178	0.30341	0.11112	0.10187	0.10887	0.10225	0.12657	0.10508	0.40516
179	0.30385	0.10981	0.0973	0.1369	0.097138	0.12514	0.10707	0.41128
180	0.30373	0.11341	0.10944	0.19867	0.10629	0.26366	0.10878	0.49921
181	0.3082	0.11131	0.28422	0.26976	0.1028	0.19058	0.11035	0.56568
182	0.3042	0.11418	0.34694	0.21961	0.10661	0.24708	0.1102	0.59893
183	0.30615	0.1157	0.13228	0.10207	0.098837	0.12292	0.10815	0.41425
184	0.30337	0.11138	0.091962	0.13782	0.10269	0.12723	0.1096	0.41308
185	0.30401	0.1096	0.085121	0.097199	0.099808	0.12105	0.10861	0.39691
186	0.30229	0.11104	0.099872	0.12449	0.096329	0.12168	0.10818	0.40616
187	0.30996	0.19301	0.70682	0.16293	0.10994	0.19022	0.10981	0.84841
188	0.30673	0.14353	0.31275	0.22575	0.1034	0.1715	0.10695	0.56125
189	0.30658	0.12554	0.65612	0.4467	0.10281	0.1422	0.11484	0.8853
190	0.30376	0.12225	0.44694	0.35616	0.10539	0.17833	0.10735	0.69875
191	0.30369	0.12176	0.61026	0.59115	0.10528	0.19631	0.10815	0.94353
192	0.30297	0.11848	0.62689	0.60354	0.10397	0.21163	0.10979	0.96474
193	0.30704	0.11754	0.59641	0.67851	0.10032	0.24114	0.11086	1.0023
194	0.30843	0.11123	0.52365	0.69319	0.10258	0.23532	0.10924	0.96957
195	0.30985	0.12367	0.35422	0.53272	0.10648	0.26112	0.10846	0.78221
196	0.30799	0.12755	0.31135	0.48317	0.10554	0.20167	0.10752	0.71056

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
197	0.303	0.12408	0.19859	0.25165	0.10422	0.17373	0.10936	0.5128
198	0.30496	0.12086	0.27257	0.18177	0.10252	0.16335	0.10737	0.51348
199	0.30721	0.14011	0.12059	0.08339	0.11229	0.21187	0.11094	0.45311
200	0.30217	0.12888	0.080367	0.075925	0.12202	0.20621	0.10758	0.43489
201	0.30187	0.123	0.43281	0.1793	0.11067	0.16886	0.10569	0.61454
202	0.30585	0.15373	0.16029	0.09883	0.14116	0.27207	0.11112	0.50885
203	0.30672	0.17507	0.20124	0.10144	0.16096	0.22901	0.1094	0.51559
204	0.3071	0.17838	0.094189	0.11703	0.18843	0.45915	0.11313	0.63861
205	0.30356	0.14738	0.12197	0.15065	0.17811	0.47857	0.11296	0.65189
206	0.30647	0.17295	0.096702	0.11468	0.15616	0.38481	0.11028	0.5753
207	0.30518	0.17817	0.10515	0.084881	0.17503	0.57469	0.1092	0.71831
208	0.30755	0.21775	0.12574	0.098086	0.16607	0.42739	0.1098	0.62428
209	0.307	0.15149	0.38427	0.081336	0.15382	0.41327	0.10749	0.691
210	0.30669	0.16143	0.38164	0.10251	0.11335	0.18315	0.11043	0.57867
211	0.30644	0.13687	0.20547	0.15166	0.1178	0.25246	0.11185	0.51766
212	0.31218	0.26464	0.45535	0.12564	0.15788	0.24366	0.10924	0.69775
213	0.31316	0.2679	0.66464	0.12192	0.16367	0.25567	0.10979	0.85479
214	0.31403	0.26318	0.69493	0.12727	0.15809	0.24361	0.10973	0.87372
215	0.31363	0.273	0.62854	0.12683	0.15899	0.23074	0.11169	0.82161
216	0.31142	0.24401	0.8251	0.11609	0.14472	0.21104	0.10828	0.96333
217	0.30826	0.24858	0.96547	0.11064	0.14587	0.21504	0.11001	1.0866
218	0.31049	0.22579	0.7887	0.098116	0.13268	0.19751	0.10785	0.92049
219	0.30804	0.19865	0.66632	0.093121	0.12486	0.18257	0.10718	0.80462
220	0.30916	0.17066	0.19003	0.15615	0.11325	0.16774	0.11266	0.48873
221	0.30603	0.16383	0.15752	0.25716	0.12519	0.15635	0.10615	0.51266
222	0.31424	0.15602	0.48709	0.30631	0.1115	0.14272	0.1081	0.70616
223	0.30748	0.15647	0.13094	0.12805	0.16513	0.1818	0.10776	0.47382
224	0.30529	0.14848	0.12181	0.15714	0.1409	0.21081	0.1123	0.48133
225	0.30457	0.13689	0.10894	0.17197	0.12977	0.18613	0.11133	0.46564
226	0.30575	0.14384	0.10391	0.1486	0.12153	0.17142	0.10855	0.45055
227	0.30615	0.15633	0.12178	0.12406	0.11819	0.17298	0.11035	0.45217
228	0.30529	0.15674	0.13245	0.10902	0.11388	0.16711	0.11214	0.44796
229	0.3043	0.16309	0.16614	0.099493	0.1107	0.15707	0.10974	0.45351

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
230	0.30772	0.16971	0.38032	0.1394	0.13427	0.21822	0.10764	0.60399
231	0.30861	0.23838	0.16157	0.18283	0.12521	0.18235	0.11011	0.52216
232	0.31282	0.28122	0.17925	0.30066	0.12653	0.17467	0.11029	0.59846
233	0.32242	0.29007	0.20308	0.38849	0.13751	0.17987	0.10986	0.66603
234	0.31459	0.25516	0.19037	0.39222	0.1851	0.21469	0.11304	0.66879
235	0.31043	0.21248	0.28557	0.19786	0.15699	0.20866	0.10858	0.58497
236	0.30851	0.17975	0.22402	0.20447	0.15521	0.199	0.10937	0.54326
237	0.30681	0.19552	0.2022	0.19349	0.14437	0.20598	0.11212	0.53528
238	0.30728	0.186	0.24406	0.20726	0.13205	0.20588	0.10917	0.55071
239	0.30801	0.24488	0.26393	0.26235	0.13869	0.19352	0.10882	0.60154
240	0.31367	0.35129	0.24482	0.14609	0.21449	0.22276	0.10913	0.6408
241	0.31533	0.36007	0.26271	0.12628	0.20465	0.20539	0.10873	0.64026
242	0.31281	0.25803	0.25464	0.34739	0.12165	0.14131	0.11047	0.63002
243	0.31678	0.26655	0.28816	0.3152	0.11963	0.14506	0.11258	0.63389
244	0.32248	0.31637	0.37897	0.27192	0.12097	0.15825	0.11292	0.68853
245	0.31829	0.31987	0.32521	0.22149	0.12819	0.16465	0.11199	0.64384
246	0.32091	0.30809	0.72418	0.21212	0.13479	0.15148	0.11271	0.90617
247	0.32209	0.29574	0.67728	0.17811	0.16809	0.15001	0.11104	0.86297
248	0.3147	0.28889	0.53031	0.15337	0.18793	0.1472	0.11196	0.74617
249	0.31524	0.31909	0.41355	0.1376	0.16798	0.15748	0.11304	0.67598
250	0.31135	0.29051	0.17646	0.14523	0.17185	0.20426	0.11206	0.56336
251	0.31489	0.277	0.15979	0.13059	0.15477	0.18015	0.11207	0.53613
252	0.31271	0.25683	0.14915	0.11756	0.16651	0.17391	0.10989	0.51949
253	0.31103	0.25053	0.13965	0.11109	0.17119	0.1844	0.11099	0.5167
254	0.31666	0.3264	0.15645	0.11278	0.15592	0.18193	0.11079	0.56008
255	0.32176	0.38334	0.42977	0.10482	0.12747	0.1435	0.10838	0.70339
256	0.31762	0.36121	0.38747	0.10775	0.13216	0.13966	0.1076	0.66456
257	0.31376	0.34055	0.3278	0.10852	0.13036	0.13823	0.11106	0.61813
258	0.31659	0.31905	0.25946	0.10296	0.12119	0.13798	0.1081	0.5704
259	0.31364	0.30834	0.25	0.10734	0.1213	0.14071	0.10805	0.56005
260	0.36572	0.45055	0.13042	0.20655	0.21968	0.28828	0.11611	0.7357
261	0.30984	0.33506	0.11353	0.30659	0.20527	0.2452	0.1213	0.65736
262	0.31055	0.27114	0.15112	0.2292	0.1605	0.2247	0.11201	0.57804

Çizelge E.1.1(Devam) Ankara kent merkezi çevresel ölçüm sonuçları

Ölçüm No	Elektrik Alan Şiddeti (V/m)							
	DİĞER	**FM**	**GSM900**	**GSM1800**	**UHF4**	**UHF5**	**VHF**	**İzotropik Toplam**
263	0.30623	0.19594	0.11338	0.2161	0.12774	0.19277	0.11048	0.50735
264	0.30407	0.17027	0.093025	0.13647	0.11198	0.14917	0.11036	0.44238
265	0.30644	0.14637	0.21463	0.17092	0.099339	0.12247	0.11472	0.47816
266	0.3062	0.14523	0.096808	0.10127	0.099746	0.12345	0.1113	0.41479
267	0.30875	0.1966	0.07608	0.078387	0.10476	0.1288	0.11274	0.43149
268	0.3103	0.21217	0.10102	0.08494	0.12393	0.17126	0.11182	0.46466
269	0.30609	0.14225	0.1412	0.090014	0.1167	0.14598	0.10941	0.43459
270	0.30834	0.15743	0.28284	0.58393	0.10486	0.12718	0.11032	0.76169
271	0.30769	0.17415	0.26621	0.38733	0.10229	0.12671	0.11388	0.62079
272	0.30749	0.18002	0.27807	0.22807	0.10391	0.12867	0.11216	0.54427
273	0.3039	0.19545	0.48965	0.13271	0.10543	0.13799	0.11084	0.65603
274	0.3095	0.18633	0.2498	0.094732	0.1057	0.14026	0.11154	0.49514
275	0.3069	0.23073	0.14046	0.12985	0.11035	0.13877	0.11131	0.47732

Çizelge E.1.2 Dikmen Çaldağı ölçüm sonuçları

Ölçüm No	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	V/m	V/m	V/m	mV/m	V/m	mV/m	V/m
1	2.9	2.085	1.6	70.79	1.234	243.20	4.094
2	2.59	1.51	1.68	71.90	1.38	244.80	3.885
3	2.87	1.69	0.94	120.00	1.48	246.70	3.023
4	2.38	1.20	1.02	70.43	1.96	245.03	3.384
5	2.32	1.50	1.26	74.33	2.32	246.60	3.532
6	2.40	1.36	1.25	77.11	1.85	245.80	3.743
7	1.87	1.46	1.24	76.12	1.74	245.50	3.149
8	1.94	1.34	1.20	73.14	2.11	247.30	3.483
9	2.11	1.07	1.33	79.48	2.09	262.80	3.370
10	2.05	1.86	1.27	76.19	1.79	250.40	3.294
11	2.27	1.69	1.30	74.22	1.51	245.00	3.570
12	2.69	1.85	1.13	80.45	1.19	244.40	3.664
13	2.01	1.52	1.18	77.28	2.16	248.00	3.668
14	2.12	1.52	1.23	76.26	2.05	247.20	3.498
15	2.20	1.77	1.90	77.68	1.21	253.00	3.485
16	2.07	1.62	1.23	77.71	1.53	248.20	3.298
17	2.48	1.99	1.13	83.39	1.79	248.00	4.163
18	2.72	2.12	1.32	88.51	1.74	249.70	4.042
19	2.12	1.52	1.69	92.65	1.01	246.00	3.326
20	2.04	1.53	1.05	85.15	1.80	251.00	3.125
21	2.17	1.33	1.22	81.81	1.68	248.50	3.312
22	2.21	1.32	1.22	80.59	1.47	251.00	3.232
23	2.25	1.49	1.19	76.79	1.86	256.00	3.660
24	2.27	1.50	1.10	78.24	1.54	252.00	3.330
25	2.29	1.67	1.21	85.68	1.23	252.90	3.193
26	2.05	1.59	0.91	80.34	1.32	251.20	3.075
27	2.13	1.35	1.03	89.63	1.69	247.90	3.222
28	2.04	1.40	1.20	79.91	1.52	251.10	3.161
29	1.97	1.46	1.10	81.33	1.77	252.40	3.235
30	2.24	1.42	1.11	81.38	1.58	251.10	3.157
31	1.89	1.63	1.15	79.46	1.85	254.40	3.329
32	2.31	1.97	1.14	83.16	1.57	257.20	3.599
33	2.68	1.97	1.15	81.62	1.75	259.00	3.949
34	2.23	1.67	0.95	79.93	1.66	250.40	3.402
35	2.23	1.79	1.13	78.05	1.94	255.70	3.655
36	1.93	1.71	1.13	79.50	1.34	249.90	3.137
37	2.91	1.56	1.20	84.48	1.81	251.60	3.967
38	2.59	1.61	1.40	79.94	1.84	252.80	3.843

Çizelge E.1.2 (Devam) Dikmen Çaldağı ölçüm sonuçları

Ölçüm No	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	V/m	V/m	V/m	mV/m	V/m	mV/m	V/m
39	2.51	1.71	1.28	83.78	1.65	254.10	3.697
40	2.02	2.02	1.40	83.98	1.66	258.10	3.600
41	1.99	1.47	1.32	79.47	1.54	249.70	3.220
42	1.47	1.74	1.04	83.62	1.52	250.40	2.951
43	1.62	1.45	1.11	88.74	1.46	254.80	2.884
44	1.23	1.86	1.10	82.37	1.42	251.40	2.889
45	1.24	1.42	1.40	78.74	0.88	257.80	2.532
46	0.97	1.87	2.38	92.40	0.77	254.80	3.268
47	2.03	1.22	1.97	107.00	1.12	267.00	3.874
48	3.40	1.18	1.43	110.00	0.70	258.40	3.957
49	3.76	1.35	1.30	128.10	0.76	248.40	4.290
50	4.03	1.66	1.41	142.00	0.92	251.20	4.683
51	3.50	1.30	1.53	137.00	0.75	250.10	4.181
52	3.98	1.04	1.26	176.90	0.61	254.70	4.362
53	3.09	1.77	1.66	140.60	0.74	251.90	4.011
54	3.25	1.89	1.63	162.90	0.75	252.90	4.018
55	3.45	1.93	1.72	140.90	0.79	250.50	4.400
56	4.19	0.91	1.38	170.40	0.36	251.30	4.053
57	3.21	1.44	1.92	159.30	0.45	248.00	4.053
58	3.04	1.60	1.86	151.30	0.71	250.50	3.986
59	3.61	1.42	1.72	148.00	0.33	252.70	4.275
60	3.54	1.51	1.75	157.50	0.63	251.20	4.295
61	2.28	0.82	2.18	177.00	0.28	252.80	3.290
62	2.24	0.88	3.91	154.10	0.19	247.70	4.609
63	2.03	1.25	4.35	160.50	0.33	252.30	4.989
64	1.23	1.16	3.25	133.20	1.19	252.40	3.689
65	2.26	1.40	3.95	182.10	0.38	251.60	4.792
66	2.10	1.01	4.64	148.30	0.26	250.70	5.213
67	1.65	1.07	2.29	149.10	0.12	252.10	3.042
68	1.37	0.92	2.97	154.70	0.09	252.00	3.419

Çizelge E.1.3 Şentepe ölçüm sonuçları

Ölçüm No	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	V/m	V/m	V/m	V/m	mV/m	mV/m	V/m	V/m
1	5.79	1.9	0.893	1.68	389.4	177	2.63	6.92
2	3.37	1.32	0.8021	1.37	285.9	259.4	1.51	5.43
3	3.76	1.3	0.8383	1.34	325.1	256.7	1.59	4.59
4	5.23	1.22	0.7252	1.56	319	226.5	2.4	6.15
5	5.29	1	0.7479	1.78	306.4	229.7	2.29	6.18
6	4.06	1.13	0.6801	1.41	358.1	228.1	2.12	4.99
7	5.99	1.61	0.9695	1.63	434.6	212.4	2.83	7.1
8	4.29	1.62	0.8918	1.47	419	217.9	2.63	5.58
9	5.18	1.78	0.9504	1.36	327.5	190.2	2.43	6.24
10	5.17	1.27	0.9455	1.56	354.7	212.3	2.72	6.24
11	5.42	1.71	0.8982	1.6	405.7	195.7	2.36	6.44
12	3.9	1.85	0.8509	1.67	292.9	181	2.28	5.24
13	2.39	1.71	0.5914	1.11	483.7	125.4	1.42	3.53
14	2.78	1.7	0.8478	2.11	368.3	107.6	1.44	4.25
15	3.78	4.43	0.811	2.45	375.7	115.1	2.09	4.43
16	3.03	3.16	0.9095	2.07	454.1	107.5	1.44	5.16
17	3.3	2.5	0.8906	1.97	302.7	99.87	3.47	4.98
18	6.81	1.55	0.9402	1.97	302.7	99.87	3.47	8.11
19	4.66	2.01	1.09	1.78	335	111.7	2.5	6.05
20	2.35	1.55	0.8517	1.82	246.6	99.5	1.6	3.63
21	2.71	2.2	1.2	2.4	256.5	103.7	1.35	4.63
22	2.37	2.17	1.22	2.39	232.5	103.7	1.29	4.39
23	1.94	2.24	1.29	2.04	221.3	112.6	1.3	4.05
24	3	1.64	1.19	2.14	203.5	105.5	1.56	4.5
25	2.36	2.39	1.21	2	203.2	104.7	1.13	4.25
26	2.84	2.97	1.38	1.72	206.4	94.8	1.42	4.83
27	3.24	3.25	1.25	1.66	201.2	102.5	1.56	5.28
28	3.58	3.15	1.33	1.83	199	100.2	1.84	5.6
29	3.11	2.59	1.24	1.99	213.3	99.14	1.94	5.08
30	3.48	2.82	1.32	1.74	196.5	96.52	2.08	4.56
31	4.22	2.59	1.6	1.59	225.8	96.24	2.57	6.09
32	4.39	2.49	1.5	1.54	241	99.3	2.62	6.09
33	4.31	2.43	1.45	1.64	231.1	92.62	2.38	5.93
34	3.55	2.74	1.15	2	209.9	93.11	2.38	5.59
35	3.3	3.12	1.6	1.65	295.9	112.4	1.54	5.33
36	2.21	2.92	1.41	1.53	241.2	105.3	1.11	4.37
37	2.27	2.67	1.21	1.6	246.6	96.56	1.37	4.28
38	2.38	2.91	1.26	1.98	321.2	90.28	1.41	4.67

Çizelge E.1.3 (Devam) Şentepe ölçüm sonuçları

Ölçüm No	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	V/m	V/m	V/m	V/m	mV/m	mV/m	V/m	V/m
39	1.37	2.15	1.21	1.3	358.6	859.5	777.7	3.13
40	1.21	3.36	1.13	1.27	287.3	86.38	887.2	4.07
41	1.55	2.31	1.09	1.66	313.4	99.83	898.5	3.51
42	2.43	3.53	1.45	1.81	259.3	96.82	1.62	5.14
43	2.28	3.41	1.33	1.66	285.4	89.61	1.36	4.83
44	2.25	3.4	1.4	1.95	271.1	99.46	1.27	4.91
45	1.95	3.3	1.31	1.55	242.3	91.46	1.48	4.4
46	1.9	3.01	1.03	1.31	271.9	96.33	1.23	4.13
47	2.05	2.63	1.22	1.67	266.6	85.99	1.38	4.15
48	2.53	3.56	1.41	1.95	266.2	91.77	1.58	5.25
49	2.5	2.63	1.49	2.02	269.8	103.6	1.53	5.01
50	2.67	2.37	1.46	1.76	277.9	96.29	1.39	4.47
51	2.6	1.23	1.42	1.79	301.1	91.72	1.25	4.32
52	2.52	2.44	1.16	2.04	269.7	90.11	1.87	4.63
53	2.85	3.52	1.21	1.77	251.6	98.15	1.8	5.34
54	3.8	3.48	1.49	1.73	271.3	108.6	2.17	6.05
55	4.72	2.9	1.48	2.08	276.3	102.8	2.41	6.57
56	4.53	3.26	1.38	1.68	332.1	112.5	2.34	6.47
57	3.77	2.55	1.16	1.4	261.4	99.57	2.17	5.37
58	3.93	2.35	1.17	1.44	260.2	97.2	2.06	5.36
59	2.77	2.42	1.23	1.49	205.7	94.19	1.64	4.48
60	3.56	2.79	1.04	1.3	232.6	97.38	2.12	5.28
61	2.84	1.99	1.25	1.56	227.2	97.86	1.57	4.31
62	3.32	2.43	1.36	1.77	243.4	102.4	2.04	5.11
63	2.94	2.51	1.32	1.52	275.1	102	1.56	4.65
64	3.13	2.29	1.3	1.43	220.8	99.24	2.03	4.8
65	2.72	1.69	1.14	1.39	239.7	101.1	1.72	4.13
66	3.37	1.37	1.19	1.17	257.8	102.17	2.21	4.67
67	4.75	2.74	0.9741	1.22	186.22	106.7	2.33	6.16
68	4.49	2.52	0.9514	1.1	172.3	95.7	2.07	5.74

Çizelge E.1.4 Şentepe bölgesi güç yoğunluğu ölçüm sonuçları

Ölçüm No	FM	VHF	UHF4	UHF5	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	µW/cm²	µW/cm²	µW/cm²	µW/cm²	nW/cm²	nW/cm²	µW/cm²	µW/cm²
1	4.08	3.61	0.5292	1.01	16.19	3.14	1.48	4.14
2	2.79	3.4	0.5515	1.03	13.1	4.01	1.37	9.18
3	2.23	2.98	0.5751	0.6612	17.32	3.36	0.8239	7.3
4	2.12	2.98	0.5609	1.27	15.97	3.23	0.5784	6.28
5	2.43	1.79	0.6209	3.3	30.21	2.65	0.4917	6.67
6	2.58	1.68	0.5678	1.03	26.28	2.82	0.567	6.45
7	1.91	1.74	0.671	1.19	24.81	2.31	0.5991	6.14
8	3.57	2.89	0.5576	0.9543	12.95	3.51	1	9
9	4.18	2.7	0.669.3	0.9729	17.86	3.43	1.12	9.67
10	3.42	2.56	0.7294	1.02	15.91	3.38	0.9062	8.67

Çizelge E.1.5 Dikmen Çaldağı bölgesi güç yoğunluğu ölçüm sonuçları

Ölçüm No	VHF	UHF4	FM	GSM 900	GSM 1800	Diğer	İzotropik Toplam
	µW/cm²	nW/cm²	µW/cm²	nW/cm²	nW/cm²	µW/cm²	µW/cm²
1	0.69	806.00	31.39	12.85	57.68	1.87	42.66
2	0.69	499.70	31.37	9.08	29.76	2.33	42.78
3	1.17	267.70	30.56	10.83	20.93	0.89	44.73
4	1.23	523.21	24.35	9.00	22.66	1.83	37.95
5	1.02	255.90	24.96	8.56	25.66	1.52	33.81
6	1.13	422.60	29.71	12.99	28.53	1.65	42.15
7	0.69	419.30	28.84	6.31	25.07	1.91	41.45
8	1.15	392.90	23.87	9.50	38.89	2.06	31.86
9	9.38	600.80	22.92	11.12	14.96	1.83	28.73
10	1.41	563.30	26.40	16.09	16.57	1.81	31.90

EK–2 Ankara kent merkezinde ölçüm noktaları koordinat değerleri

Çizelge E.2 Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
1	**39º**	**55'**	**1.7''**	**32 º**	**49'**	**23.8''**	Ulaştırma Bakanlığı
2	39	51	1	32	49	34.9	Milli kütüphane
3	39	55	1.3	32	49	42.8	
4	39	54	57.3	32	49	43.3	
5	39	54	57.2	32	49	43.3	
6	39	54	57.9	32	49	20.1	
7	39	54	54.8	32	50	2.1	
8	39	54	55.7	32	50	34.7	
9	39	54	53.3	32	50	52.3	
10	39	54	50.7	32	50	1.6	TBMM önü
11	39	54	48.8	32	51	12.3	
12	39	54	46	32	51	17.8	
13	39	54	40.2	32	51	20	
14	39	54	34.3	32	51	24.2	
15	39	54	20.8	32	51	29.2	TÜBİTAK önü
16	39	54	53.1	32	51	28.3	Cinnah Caddesi
17	39	53	43.9	32	51	25.6	
18	39	53	37.7	32	51	23.7	
19	39	53	26.7	32	51	19.6	
20	39	53	18.4	32	51	17.5	Atakule
21	39	53	7.5	32	51	18.9	
22	39	53	4.7	32	51	20.6	
23	39	53	1.1	32	51	23.6	
24	39	52	56.2	32	51	29.9	
25	39	52	45.7	32	51	44.3	
26	39	52	40.6	32	51	49.7	
27	39	52	38.7	32	51	52	
28	39	52	40	32	51	55.2	
29	39	52	46.2	32	51	58.1	
30	39	52	3.8	32	52	1.6	
31	39	53	12.1	32	52	2.2	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
32	39	53	22.4	32	52	2.4	
33	39	53	37	32	52	1.6	Yunanistan Kons.
34	39	53	28.2	32	52	3.7	
35	39	53	30.8	32	52	4.5	
36	39	53	33.6	32	52	6.4	
37	39	53	34.9	32	52	13.1	
38	39	53	32.8	32	52	16.7	Uğur Mumcu Cad.
39	39	53	28.2	32	52	50.1	
40	39	53	35.7	32	52	35.7	
41	39	53	46	32	52	47.6	
42	39	53	52.1	32	52	42.4	
43	39	53	59	32	52	37.1	
44	39	54	2.3	32	52	29.7	
45	39	54	9.5	32	52	34.6	Bağlar Cad.
46	39	54	25.5	32	52	15.9	
47	39	54	43.7	32	52	13.3	
48	39	54	49.7	32	51	55.5	
49	39	55	18.3	32	51	49.5	
50	39	55	25.8	32	51	45.7	Kolej
51	39	55	27.7	32	51	49.2	Kurtuluş Parkı
52	39	55	40	32	52	4.8	
53	39	55	44.3	32	52	15.7	Ankara Hukuk Fakultesi
54	39	55	49.2	32	52	28.8	
55	39	55	57.6	32	52	43.4	Dikimevi
56	39	56	0.6	32	52	46.6	
57	39	56	2.7	32	52	34.9	
58	39	56	3.4	32	52	19.8	Cebeci
59	39	56	1.8	32	52	15.5	
60	39	55	59.2	32	51	48	
61	39	56	1.3	32	51	55.9	
62	39	56	1.4	32	51	52	
63	39	56	0.7	32	51	37.3	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
64	39	56	3.3	32	51	10.8	Opera
65	39	55	59.8	32	51	11	Adliye Sarayı
66	39	55	48.4	32	51	16.3	Sıhhiye
67	39	55	36	32	51	17.6	Orduevi
68	39	55	33.9	32	51	17	Zafer Çarşısı
69	39	55	24.3	32	51	13.1	Kızılay
70	39	55	19	32	51	13.4	
71	39	55	16	32	51	13.2	
72	39	55	12.7	32	52	13.8	
73	39	55	8.4	32	51	14.3	
74	39	55	8.4	32	51	12.5	MEB Bakanlığı
75	39	54	3.3	32	51	12.7	
76	39	54	5.6	32	51	5.2	
77	39	54	52.2	32	50	48.4	
78	39	54	54.6	32	50	33.1	
79	39	54	56.8	32	50	28	
80	39	54	57	32	50	27	
81	39	55	1.3	32	50	18	
82	39	55	11.8	32	50	12.3	
83	39	55	27.4	32	49	58	Başkent Hastanesi
84	39	55	41	32	49	52	
85	39	55	56.1	32	49	45	Beşevler
86	39	56	0.4	32	49	55.4	
87	39	56	3.6	32	50	8.3	
88	39	56	6.3	32	50	16.4	
89	39	56	16.3	32	50	24.9	
90	39	56	15.6	32	50	33.3	Gar
91	39	56	11.4	32	50	39.6	
92	39	56	20.5	32	50	40.5	
93	39	56	14.4	32	51	11	
94	39	56	24.6	32	51	16.1	
95	39	56	25.7	32	51	18.3	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
96	39	56	28.5	32	51	15.9	
97	39	56	29	32	51	16	
98	39	56	33	32	51	16.8	
99	39	56	43.8	32	51	16.9	Yıba Çarşısı
100	39	56	45.9	32	51	17.7	
101	39	56	49.7	32	51	20.9	Dışkapı SSK Hastanesi
102	39	57	2.7	32	51	31.4	
103	39	57	18	32	51	41.6	
104	39	57	23.7	32	51	47.5	
105	39	57	33.5	32	51	4.2	
106	39	57	51	32	52	16.1	
107	39	57	56.9	32	52	25.9	Altınpark
108	39	58	10.1	32	52	37.2	
109	39	58	22.7	32	52	53.5	
110	39	58	28.4	32	53	7.2	
111	39	58	48.8	32	53	9.8	
112	39	59	0.8	32	53	18.2	
113	39	59	1.3	32	53	20.8	
114	39	59	7.6	32	53	10.5	
115	39	59	9.5	32	52	58.8	
116	39	59	1.8	32	52	42.6	
117	39	59	1.6	32	52	34.1	
118	39	59	7.8	32	52	30.6	
119	39	59	21.6	32	52	31.4	
120	39	59	31.3	32	52	28.8	
121	39	59	52.6	32	52	24	
122	40	0	3.3	32	52	12	
123	40	0	4.2	32	51	52.3	Keçiören Gazino
124	39	59	52.8	32	51	45.3	
125	39	59	44.5	32	51	47.6	
126	39	59	22.8	32	51	57.2	
127	39	59	11.2	32	51	51.3	Keçiören Tepebaşı

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
128	39	59	1.2	32	51	49.9	
129	39	58	43.6	32	52	0.7	
130	39	58	21.2	32	51	54.7	
131	39	57	55.2	32	51	48.1	
132	39	57	58.9	32	51	32.6	
133	39	57	56.2	32	51	18.9	Gülhane Tıp
134	39	57	50.8	32	50	43.2	
135	39	57	43.1	32	50	15.3	
136	39	57	34	32	49	46.8	
137	39	57	28.8	32	49	23.4	
138	39	57	25.9	32	49	58.2	
139	39	57	23.4	32	48	35	MİT Lojmanları
140	39	57	23.1	32	48	12.5	
141	39	57	26	32	47	41.3	
142	39	57	27.2	32	47	43.4	Lalegül Kavşağı
143	39	57	35.4	32	46	53.3	
144	39	57	40.2	32	46	18.6	
145	39	57	42.4	32	45	53.3	Aselsan
146	39	57	42.5	32	45	48	
147	39	57	44.5	32	45	32.9	
148	39	57	48.6	32	45	23.3	
149	39	57	50.5	32	45	12.8	
150	39	57	52.6	32	44	56.1	
151	39	57	52.9	32	44	51.8	
152	39	57	55.4	32	44	49.3	
153	39	57	59.6	32	44	47.1	
154	39	58	7.5	32	44	46.5	
155	39	58	12.9	32	44	47.4	
156	39	58	14.2	32	44	47.4	
157	39	58	16.2	32	44	47.5	
158	39	58	16.2	32	44	47.5	
159	39	58	16.2	32	44	47.5	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
160	39	58	16.2	32	44	47.5	
161	39	58	28.6	32	44	43.1	
162	39	58	40	32	44	37.7	
163	39	58	39	32	44	30.4	
164	39	58	39	32	44	21.2	
165	39	59	39	32	44	22.5	
166	39	59	39	32	44	21.3	
167	39	59	39	32	44	20.7	
168	39	59	39	32	44	20.7	
169	39	59	39	32	44	20.7	
170	39	59	12.9	32	44	20.7	
171	39	59	12.9	32	44	20.8	
172	39	59	12.6	32	44	20.9	
173	39	59	12.6	32	44	20.9	
174	39	59	12.6	32	44	20.9	
175	39	59	4.3	32	44	15.3	
176	39	59	8.2	32	44	5.7	
177	39	58	57	32	44	23.1	
178	39	58	44.5	32	44	11.5	
179	39	58	27.1	32	44	5.9	
180	39	57	20.1	32	44	5.9	
181	39	57	59.5	32	44	59.9	
182	39	57	49.1	32	44	59.7	
183	39	57	38.3	32	43	50	
184	39	57	26	32	43	48.1	
185	39	57	13.2	32	44	3.6	
186	39	57	2.7	32	44	17.6	
187	39	57	51.9	32	44	18.6	
188	39	57	51.9	32	44	18.6	
189	39	57	51.9	32	44	18.6	
190	39	57	51.9	32	44	18.6	
191	39	57	51.9	32	44	18.6	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
192	39	57	51.9	32	44	18.6	
193	39	57	51.9	32	44	18.6	
194	39	56	42.4	32	44	35.5	
195	39	56	42.4	32	44	35.5	
196	39	56	42	32	45	4.1	
197	39	56	41.7	32	45	24.6	
198	39	56	41.5	32	45	55	
199	39	56	41.5	32	46	20.8	
200	39	56	33.3	32	46	26	
201	39	56	15.1	32	46	28.8	
202	39	55	57	32	46	31.7	
203	39	55	48.2	32	46	33.6	
204	39	55	34	32	46	33.9	
205	39	55	18.2	32	46	35.2	
206	39	55	6.8	32	46	47.7	
207	39	54	55.5	32	47	6.4	
208	39	54	48.4	32	47	9	
209	39	54	48.4	32	47	9	
210	39	54	48.4	32	47	9	
211	39	54	48.4	32	47	9	
212	39	54	48.4	32	47	9	
213	39	54	48.4	32	47	9	
214	39	54	48.4	32	47	9	
215	39	54	48.4	32	47	9	
216	39	54	48.4	32	47	9	
217	39	54	31	32	47	21.1	
218	39	54	32.2	32	47	42	
219	39	54	33.6	32	48	4.4	
220	39	54	37	32	48	20	
221	39	54	37	32	48	20	
222	39	54	37	32	48	20	
223	39	54	37	32	48	20	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
224	39	54	37	32	48	20	
225	39	54	37	32	48	20	
226	39	54	37	32	48	20	
227	39	54	43.9	32	48	50.2	
228	39	54	43.9	32	48	50.2	
229	39	54	43.9	32	48	50.2	
230	39	54	43.9	32	48	50.2	
231	39	54	43.9	32	48	50.2	
232	39	54	18.6	32	48	51.1	
233	39	54	18.6	32	48	51.1	
234	39	54	18.6	32	48	51.1	
235	39	54	18.6	32	48	51.1	
236	39	54	18.6	32	48	51.1	
237	39	54	1.1	32	48	49.1	
238	39	54	1.4	32	48	42.8	
239	39	53	37.5	32	48	46.4	
240	39	53	37.5	32	48	46.4	
241	39	53	37.5	32	48	46.4	
242	39	53	37.5	32	48	46.4	
243	39	53	37.5	32	48	46.4	
244	39	53	37.5	32	48	46.4	
245	39	53	37.5	32	48	46.4	
246	39	53	37.5	32	48	46.4	
247	39	53	19.9	32	48	29.2	
248	39	53	19.9	32	48	29.2	
249	39	53	19.9	32	48	29.2	
250	39	53	19.9	32	48	29.2	
251	39	53	19.9	32	48	29.2	
252	39	53	19.9	32	48	29.2	
253	39	53	19.9	32	48	29.2	
254	39	53	19.9	32	48	29.2	
255	39	53	19.9	32	48	29.2	

Çizelge E.2 (Devam) Ankara kent merkezinde ölçüm noktalarının koordinat değerleri

Ölçüm No	Koordinat Değeri						Ölçüm Yapılan Nokta
	Kuzey			Doğu			
256	39	53	19.9	32	48	29.2	
257	39	53	13.5	32	48	43.5	
258	39	53	13.5	32	48	43.5	
259	39	53	14	32	48	56.8	
260	39	53	16.7	32	48	59	
261	39	53	23	32	49	6.13	
262	39	53	23	32	49	6.13	
263	39	53	23	32	49	6.13	
264	39	53	33.9	32	49	11.6	
265	39	53	36.3	32	49	13.3	
266	39	53	36	32	49	22.3	
267	39	53	36	32	49	22.3	
268	39	53	36	32	49	22.3	
269	39	53	36	32	49	22.3	
270	39	53	36	32	49	22.3	
271	39	53	36	32	49	22.3	
272	39	53	36	32	49	22.3	

EK–3 Ankara ilindeki radyo vericilerinin bulunduğu bölgeler, frekansları ve çıkış güçleri

Çizelge E.3.1 Dikmen Çaldağı radyo vericileri

No	Radyo Adı	Frekansı (MHz)	Çıkış gücü (W)	*Anten Kazancı (dB)*
1	Show Radyo	88.3	3000	*2*
2	Dost FM	88.4	1400	*4.44*
3	Radyo 7	89.2	5000	*0.3*
4	Burç FM	89.5	1000	*4.5*
5	Gimsa Radyo	90.0	1000	*12.15*
6	Süper FM	90.2	5000	*8.15*
7	Radyo Denge	90.8	250	*8.16*
8	Ses Radyo	92.1	1200	*2.7*
9	Radyo Vizyon	92.4	250	*3.7*
10	Radyo Viva	92.7	5000	*4.5*
11	Bayrak FM	93.1	950	*4.44*
12	Makro FM	93.9	1000	*6.1*
13	Mavi Radyo	94.2	5000	*4*
14	Radyo Foreks	94.8	5000	*3*
15	Meltem Radyo	95.0	4000	*3.7*
16	Radyo Atılım	96.3	1000	*2*
17	Metro FM	96.0	1000	*6*
18	Radyo Klas	96.9	1000	*4.5*
19	Tatlıses FM	97.2	250	*8.16*
20	Radyo Shema	97.4	10000	*10.15*
21	Best FM	97.7	5000	*4.2*
22	Radyo Art FM	98.0	3000	*2*
23	Sizin Radyonuz	98.4	5000	*6.7*
24	Radyo X	98.6	250	*2*
25	Kiss FM	99.1	1000	*6*
26	Power FM	99.5	10000	*3.12*
27	*Radyo 5*	*100.0*	*5000*	*4.2*

Çizelge E.3.1 (Devam) Dikmen Çaldağı radyo vericileri

No	**Radyo Adı**	**Frekansı (MHz)**	**Çıkış gücü (W)**	***Anten Kazancı (dB)***
28	Kral FM	101.8	6000	*8*
29	TRT Radyo–3	101.1	4500	*3.7*
30	Radyo ODTÜ	102.4	250–500	*5.15–8.16*
31	TRT Radyo–4	103.1	5000	*3*
32	Moral FM	104.4	1250	*11.92*
33	Alem FM	104.7	7167–3583	*15.67–12.66*
34	TRT Radyo–2	104.9	2000	*10*
35	Radyo Ankara	106.0	4000	*4.5*
36	Power FM	106.5	1000	*4.5*
37	Ekin Radyo	106.7	5000	*4*
38	Akra FM	106.9	5000	*4.2*
39	*Özgür Radyo*	*107.4*	*5000*	*11*

Çizelge E.3.2 Yenimahalle Şentepe radyo vericileri

No	**Radyo Adı**	**Frekansı (MHz)**	**Çıkış gücü (W)**	***Anten Kazancı (dB)***
1	Radyo BEK	88.8	5000	*11*
2	Dünya Radyo	89.8	1000	*8.47*
3	Hedef Radyo	90.5	1000	*3*
4	Radyo BİZ	91.8	1000	*3.7*
5	Radyo Birlik	93.6	5000	*11*
6	Radyo Başkent	95.3	10000	*11.93*
7	Radyo Capital	98.8	2500	*6.3*
8	Radyo Anadolu	99.7	5000	*13.43*
9	Radyo Megasite	100.8	5000	*6.1*
10	Radyo Arifan	102.8	1000	*1.99*
11	Radyo D	103.4	1500	*3.7*
12	TGRT FM	103.7	1000	*1*
13	NTV Radyo	104.0	10000	*11.93*
14	Radyo Mydonose	105.3	5000	*11*
15	Mydonose Türk	105.6	1000	*1.99*
16	*TRT Radyo–1*	*107.1*	*2000*	*1*

Çizelge E.3.3 Ankara ilindeki TV vericileri

TV	**Kanal**	**MHz**	**Verici Yeri**	**Çıkış (W)**	***Anten Yük. (m)***
Ses TV	VHF	175.25	Çaldağı	1000	*50*
Kanal 7		182.25	Çaldağı	333–167	*70*
TRT–1		189.25	Şentepe	5000	*48*
Gimsa TV		196.25	Şentepe	200	*40*
TRT–1		217.25	Çaldağı	1000	*43*
CNN Türk	UHF	479.25	Hüseyin Gazi	50	*45–25*
Star TV		479.25	Çaldağı	313–188	*77*
TRT–3		495.25	Şentepe	1000	*62*
Kanal 6		503.25	Çaldağı	500	*30*
Star TV		511.25	Altındağ	50–25	*35*
TRT–4		519.25	Şentepe	1000	*62*
Show TV		527.25	Çaldağı	1000	*25*
TGRT		543.25	Çaldağı	3125–2500–1250	*75*
TRT-Int		551.25	Şentepe	1000	*62*
Flash TV		559.25	Çaldağı	333–250–125	*30*
Star TV		567.25	Şentepe	2500	*80*
Show TV		583.25	Şentepe	1000	*100*
Kanal 6		591.25	Hüseyin Gazi	500–375–125	*60*
Cine 5		631.25	Çaldağı	1000	*25*
Kanal 6		639.25	Şentepe	666–333	*20*
TGRT		647.25	Şentepe	375–250–125	*45*
TRT–3		655.25	Çaldağı	1000	*47*
STV		671.25	Çaldağı	2500	*70*
TRT–2		679.25	Çaldağı	1000	*47*
Star Max		687.25	Çaldağı	313–188	*77*
ATV		695.25	Şentepe	3077–769	*100*
ATV		711.25	Çaldağı	250	*80*
CNN Türk		727.25	Çaldağı	250	*50*
Kanal D		735.25	Şentepe	2500	*80*
CNN Türk		*759.25*	*Şentepe*	*2500*	*80*

Çizelge E.3.3 (Devam) Ankara ilindeki TV vericileri

TV	**Kanal**	**MHz**	**Verici Yeri**	**Çıkış (W)**	***Anten Yük. (m)***
Flash TV	UHF	767.25	Şentepe	400–100	*30*
Kanal A		775.25	Şentepe	5000	*60*
NTV		783.25	Çaldağı	3750–1250	*50*
Başkent TV		799.25	Şentepe	10000	*100*
Cine 5		799.25	Şentepe	1000	*100*
STV		*831.25*	*Şentepe*	*250*	*20*

EK–4 Ölçüm cihazı ve probuna ait kalibrasyon sertifikaları

EK– 4.1 Ölçüm cihazı SRM3000'e ait kalibrasyon sertifikası

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 · D-72793 Pfullingen · Germany
Phone: +49-7121-9732-0 · Fax: +49-7121-9732-790

narda Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions hereby certifies that the referenced equipment has been calibrated by qualified personnel to Narda's approved procedures. The calibration was carried out within a certified quality management system conformining to DIN EN ISO 9001:2000.

The metrological confirmation sytem for test equipment complies with ISO 10012-1.

Object	**Selective Radiation Meter Basic Unit 100 kHz to 3 GHz**
Type	**SRM-3000, BN 3001/01**
Serial Number	**M-0005**
Manufacturer	Narda Safety Test Solutions
Customer	
Date of Calibration	13-Jul-2007
Result of Calibration	Measurement results within specifications
Confirmation interval recommended	24 months
Ambient conditions	23 °C ± 3 °C (20 ... 60) % rel. humidity
Calibration procedure	3000-8701-00A

Pfullingen, 26-Jul-2007

Person in charge
P. Geyer

Quality management representative
W. Kumbier

MANAGEMENT SYSTEM

Certified by DQS against DIN EN ISO 9001:2000 (Reg.-No. 099379)

This certificate may only be published in full, unless permission for the publication of an approved extract has been obtained in writing from the Managing Director.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 · D-72793 Pfullingen · Germany
Phone: +49-7121-9732-0 · Fax: +49-7121-9732-790

narda
Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Measurement

The SRM 3000 is calibrated with a signal generator. The output power of the generator is calibrated with a power meter. The frequency of the generator is calibrated with a frequency counter. The difference between the nominal output power or frequency and the real output power or frequency is taken into account by using the calibration results as correction values in the calibration software.

Uncertainties

The measurement uncertainty stated in this document is the expanded uncertainty with a coverage factor of 2 (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence probability of 95 %).

The uncertainty analysis for this calibration was done in accordance with the ISO/TAG-Guide (Guide to the expression of uncertainty in measurement). The measurement uncertainties are derived from contributions from the measurement of power, reflection, attenuation and frequency, missmatch, stability of instrumentation and repeatability of handling.

This statement of uncertainty applies to the measured values only and does not include effects like temperature response and long term stability of the calibrated device.

Test Equipment and Traceability

The calibration results are traceable to National Standards, which are consistent with the recommendations of the General Conference on Weights and Measure (CGPM), or to standards derived from natural constants. Physical units, which are not included in the list of accredited measured quantities such as field strength or power density, are traced to the basic units via approved measurement and computational methods.

The equipment used for this calibration is traceable to the reference listed above and the traceability is guaranteed by ISO 9001 Narda internal procedure.

Object	Manufacturer	Type	Serial Number	Certificate Number	Cal. due	Traced Property
Power meter	R&S	URV 55	100143	0131 DKD-K-16101 06-03	Mar-2008	Voltage
Power probe	R&S	NRV Z4	100199	0010 DKD-K-16101 06-05	May-2008	Power
Network analyzer	R&S	ZVC	100032	0063 DKD-K-16101 06-04	Oct-2007	Reflection
Cal. kit	R&S	ZV – Z 21	100072	86553 DKD-K-19401 06-04	Oct-2007	Reflection
Frequency Counter	Advantest	R5362	120700137	86556 DKD-K-19401 07-07	Jul-2009	Frequency
N Thru, 50Ohm (F/F)	Rosenberger	0859.4668.00	78002	9972 DKD-K-00201 06-03	Mar-2008	Transmission

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 · D-72793 Pfullingen · Germany
Phone: +49-7121-9732-0 · Fax: +49-7121-9732-790

narda
Safety Test Solutions
an ⓐ Communications Company

Results

The following results were obtained after adjustment of the SRM.

1. IF frequency response: **passed**

2. RF frequency response: **passed**

Frequency in MHz	Frequency response in dB at measurement range setting:							Meas. uncertainty in dB
	-27 dBm	-17 dBm	-8 dBm	-7 dBm	3 dBm	13 dBm	23 dBm	
0,1	-0,08	-0,05	-0,04	-0,02	-0,09	-0,04	-0,09	0,17
0,2	-0,04	-0,01	0,01	-0,02	-0,05	0,02	-0,02	0,17
0,5	-0,06	-0,03	-0,02	-0,04	-0,07	-0,01	-0,03	0,17
1,0	-0,11	-0,09	-0,06	-0,09	-0,11	-0,05	-0,07	0,17
2,0	-0,13	-0,11	-0,06	-0,11	-0,15	-0,07	-0,10	0,17
5,0	-0,09	-0,11	-0,11	-0,07	-0,14	-0,10	-0,09	0,17
10,0	-0,07	-0,05	-0,08	-0,06	-0,08	-0,10	-0,03	0,17
20,0	0,02	-0,10	-0,09	-0,08	-0,04	-0,11	-0,11	0,17
50,0	-0,06	0,00	-0,06	-0,06	-0,03	-0,04	-0,10	0,17
100,0	-0,06	-0,06	-0,04	-0,03	-0,10	-0,07	-0,09	0,17
200,0	-0,04	-0,07	-0,01	-0,04	-0,02	-0,05	-0,12	0,17
400,0	-0,07	-0,04	-0,03	-0,03	-0,09	-0,09	-0,05	0,17
600,0	-0,07	-0,08	0,00	-0,08	-0,03	-0,03	-0,04	0,17
800,0	-0,01	-0,05	-0,02	-0,12	-0,12	-0,06	-0,13	0,17
1.000,0	0,01	-0,08	-0,03	-0,04	-0,04	-0,06	-0,04	0,17
1.200,0	-0,06	-0,06	-0,01	-0,03	-0,10	-0,07	-0,09	0,17
1.400,0	-0,10	-0,04	-0,12	0,00	-0,02	-0,04	-0,12	0,17
1.600,0	-0,06	-0,07	-0,07	-0,11	-0,01	-0,13	-0,05	0,17
1.800,0	-0,08	-0,05	-0,13	-0,08	-0,10	-0,10	-0,08	0,17
2.000,0	-0,10	-0,16	-0,08	-0,07	-0,11	-0,15	-0,10	0,17
2.200,0	0,00	-0,09	-0,11	-0,08	-0,07	-0,08	-0,11	0,17
2.400,0	0,00	-0,07	-0,15	-0,08	-0,04	-0,12	-0,05	0,17
2.600,0	-0,04	-0,10	-0,10	-0,14	-0,03	-0,12	-0,08	0,17
2.800,0	-0,05	-0,10	-0,13	-0,13	-0,07	-0,09	-0,14	0,17
2.998,0	-0,06	-0,11	-0,11	-0,10	-0,16	-0,16	-0,12	0,17

The SRM is set to a frequency span of 3.274 MHz and a resolution bandwidth of 1 kHz. The nominal level applied to the input is – 27 dBm for the four lowest measurement ranges and – 3 dBm for the remaining measurement ranges. The RF frequency response G is calculated as the difference of the real input level L_{input} and the displayed level $L_{displayed}$ according to the following equation:

$$G = L_{displayed} - L_{input}$$

3. Out of band response: **passed**

4. Frequency accuracy: **passed**

5. Phase noise (SSB): **passed**

6. Spurious response (input related): **passed**

7. Spurious response (residual): **passed**

8. Noise: **passed**

9. Intermodulation (2nd and 3rd order): **passed**

10. Input return loss: **passed**

EK– 4.2 Ölçümde kullanılan izotropik proba ait kalibrasyon sertifikası

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 . D-72793 Pfullingen . Germany
Phone: +49-7121-9732-0 . Fax: +49-7121-9732-790

narda
Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions hereby certifies that the referenced equipment has been calibrated by qualified personnel to Narda's approved procedures. The calibration was carried out within a certified quality management system conforming to ISO 9001:2000.

The metrological confirmation system for test equipment complies with ISO 10012-1.

Object	**Three-Axis-Antenna, E-Field, 75 MHz to 3 GHz**
Type	**P/N 3501/01**
Serial Number	**H-0182**
Manufacturer	Narda Safety Test Solutions
Customer	
Date of Calibration	12-Jul-2007
Results of Calibration	Test results within specifications
Confirmation interval recommended	24 Months
Ambient conditions	23°C +/-3°C (20...60)% rel. humidity
Calibration procedure	3000-8702-00A

Pfullingen, 17-Jul-2007

Person in charge
Martin

Quality management representative
W. Kumbier

MANAGEMENT SYSTEM

Certified by DQS according to DIN EN ISO 9001:2000
(Reg.-No. 99379-QM)

This certificate may only be published in full, unless permission for the publication of an approved extract has been obtained in writing from the Managing Director.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 . D-72793 Pfullingen . Germany
Phone: +49-7121-9732-0 . Fax: +49-7121-9732-790

narda
Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Measurements

The calibration of RF field strength probes involves the generation of a calculable linearly polarized electromagnetic field, approximating to a plane wave, into which the device is placed.
The RSS value of three axis is used.

At each test frequency, the probe is orientated in the analytic angle (54.74 degrees between probe axis and electric field vector) and rotated 360 degrees. The noted indicated output voltage is calculated from the geometric mean of the minimum and maximum readings during rotation. The antenna factor is calculated from the ratio of the applied field strength to the output voltage (nominal impedance 50 Ohm). The minimum and maximum readings during rotation are further used to calculate the ellipse ratio.
A power meter head is connected by means of an ferrite beaded 50 Ohm coaxial cable.

A Crawford TEM cell is used to generate the known field at frequencies up to 100 MHz. The field strength is derived from the TEM cell's properties and from the output power of the cell.
Over the frequency range from 200 MHz to 1.6 GHz, the probe is positioned in front of a double balanced ridge horn antenna. The field strength is set to a known value by means of a calibrated E-field reference probe.
Above 1.7GHz the probe is positioned with the boresight of a linearly polarized horn antenna. The field strength is derived from the mechanical dimensions and the input power of the antenna.

The antenna factor is permanently stored in the antenna connector memory. When combined with the SRM basic unit (BN 3001 series) the frequency response of the antenna is automatically compensated.

Uncertainties

The measurement uncertainty stated in this document is the expanded uncertainty with a coverage factor of 2 (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence probability of 95%).

The uncertainty analysis for this calibration was done in accordance with the ISO-Guide (**G**uide to the expression of **U**ncertainty in **M**easurement). The measurement uncertainties are derived from contributions from the measurement of power, impedance, attenuation, mismatch, length, frequency, stability of instrumentation, repeatability of handling and field uniformity in the field generators (TEM cell and anechoic chamber).

This statement of uncertainty applies to the measured values only and does not make any implementation or include any estimation as to the long-term stability of the calibrated device.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 . D-72793 Pfullingen . Germany
Phone: +49-7121-9732-0 . Fax: +49-7121-9732-790

narda Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

Traceability of Measuring Equipment

The calibration results are traceable to National Standards, which are consistent with the recommendations of the General Conference on Weights and Measure (CGPM), or to standards derived from natural constants. Physical units, which are not included in the list of accredited measured quantities such as field strength or power density, are traced to the basic units via approved measurement and computational methods.

The equipment used for this calibration is traceable to the reference listed above and the traceability is guaranteed by ISO 9001 Narda internal procedure.

Ref.- / Working Standard	Type	Serial Number	Certificate Number	Cal Due Date	Traced Property
Network Analyser	ZVC	100032	0063 DKD-K-16101 06-04	Okt-2007	Reflection
Calibration Kit, 50 Ohm N	ZV–Z21	100072	86553 DKD-K-19401 06-04	Okt-2007	Reflection
Power Meter	URV 55	100213	0065 DKD-K-16101 06-04	Apr-2008	Voltage
Power Sensor DC - 6GHz	NRV Z4	100199	0010 DKD-K-16101 06-05	Mai-2008	Power
N Thru, 50 Ohm	0859.4668.00	78008	0067 DKD-K-16101 06-04	Apr-2008	Attenuation
Calliper 0 - 800mm	-	310121016	649724 DKD-K-12001 06-05	Mai-2008	Length
Set-Up "D" (75 MHz to 100 MHz)					
TEM Cell, DC - 120MHz	2-2250	-	MM 2-2250	Jul-2007	Length
Power Sensor 4.2GHz	8482A	US37295012	06D168 DKD-K-02201 06-05	Mai-2008	Power
Power Meter, Two Channel	438A	2839U01422	2-251224801-1A	Mai-2008	Voltage
Attenuator 30dB	49-30-33	KCC 115	2824 DKD-K-00501 05-04	Okt-2007	Attenuation
Set-Up "B" (200 MHz to 1600 MHz)					
E-Field Reference Probe	Type 9.2	V-0017	601C1734 / 51200637E	Dez-2007	Field Strength
Radiation Meter	EMR-300	AG-0099	22443100-AG00990347	Nov-2007	Voltage
Power Sensor 18GHz	8481A	US37299870	05D143 DKD-K-02201 05-07	Jul-2007	Power
Power Sensor 18GHz	8481A	2702A57611	05D144 DKD-K-02202 05-07	Jul-2007	Power
Power Meter, Two Channel	E4419B	GB43311917	1-538857742-1A	Feb-2009	Voltage
Set-Up "A" (1800 MHz to 3 GHz)					
Power Sensor 18GHz	8481A	US37299951	05D146 DKD-K-02201 05-07	Jul-2007	Power
Power Sensor 18GHz	8481A	US37299952	05D149 DKD-K-02201 05-07	Jul-2007	Power
Power Meter, Two Channel	E4419A	MY40330449	2-179865591-1B	Jul-2007	Voltage
Coupler 1-4GHz & 6dB Att.	3022 & 777C-6	77861/34425	00 596	Okt-2008	Attenuation
Coupler 1-4GHz & 10dB Att.	3022 & 777C-10	77860/38334	00 595	Okt-2008	Attenuation

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 . D-72793 Pfullingen . Germany
Phone: +49-7121-9732-0 . Fax: +49-7121-9732-790

narda Safety Test Solutions
an L3 Communications Company

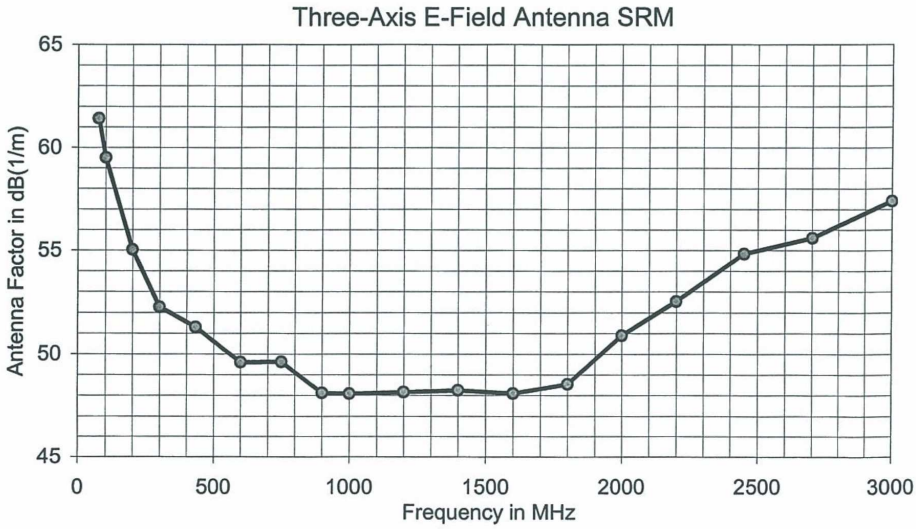
Results

Frequency Response passed

Frequency in MHz	E_applied in V/m	Output voltage in dB(µV)	Meas. Uncertainty in dB	Antenna Factor in dB(1/m)
75	10.0	78.60	1.0	61.40
100	10.0	80.50	1.0	59.50
200	10.0	84.98	1.0	55.02
300	10.0	87.74	1.0	52.26
433	10.0	88.72	1.5	51.28
600	10.0	90.39	1.5	49.61
750	10.0	90.38	1.5	49.62
900	10.0	91.88	1.5	48.12
1000	10.0	91.92	1.5	48.08
1200	10.0	91.85	1.5	48.15
1400	10.0	91.76	1.5	48.24
1600	10.0	91.91	1.5	48.09
1800	10.0	91.46	1.0	48.54
2000	10.0	89.12	1.0	50.88
2200	10.0	87.47	1.0	52.53
2450	10.0	85.18	1.0	54.82
2700	10.0	84.40	1.0	55.60
3000	10.0	82.60	1.0	57.40

Frequency Flatness (100 - 3000 MHz): 11.4 dB

The Antenna Factor data is permanently stored in the antenna connector memory.
The SRM basic unit uses this correction data to correct the display.



Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstrasse 7 . D-72793 Pfullingen . Germany
Phone: +49-7121-9732-0 . Fax: +49-7121-9732-790

narda
Safety Test Solutions
an Communications Company

Rotational Ellipticity **passed**

Frequency in MHz	Ellipse Ratio in dB
75	+/-0.10
100	+/-0.08
200	+/-0.04
300	+/-0.06
433	+/-0.06
600	+/-0.17
750	+/-0.25
900	+/-0.14
1000	+/-0.29
1200	+/-0.25
1400	+/-0.30
1600	+/-0.38
1800	+/-0.68
2000	+/-0.90
2200	+/-0.90
2450	+/-0.97
2700	+/-1.07
3000	+/-1.35

Output Return Loss **passed**