

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HÜCRESEL HAREKETLİ YER HABERLEŞMESİ SİSTEMİNİN

DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE (TRABZON)

UYGULANMASININ İNCELENMESİ

Eln. Yük. Müh. Adnan CORA

A.Ş. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DENEYİM VE İZLENİM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"

Unvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.07.1994
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 19.01.1996

Tezin Danışmanı : Doç. Dr. Kemal ERDOĞDU

K. Erdoğan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Selim ŞEKER

S. Şeker

Jüri Üyesi : Yard. Doç. Dr. Temel KAYIKÇIOĞLU

T. Kayıkçioğlu

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

39565

Temmuz 1994

TRABZON

ÖNSÖZ

Bu çalışmada araç telefonu diye bilinen Hücresel Hareketli Yer Haberleşmesi Sisteminin Doğu Karadeniz Bölgesinde uygulanması Trabzon il sınırları içinde, şehir merkezinde ve Beşikdüzü'nden Of'a kadar olan devlet karayolunda denenmiştir.

Bu tezin danışmanlığını üstlendiğinden dolayı Sayın Doç. Dr. Kemal Erdoğan'ya ve Sayın Prof. Dr. Hasan Dinçer'e teşekkür ederim. Deney cihazlarının satın alınması için Fakülte bütçesinden sağladığı imkânlar dolayısıyla Sayın Dekan Prof. Dr. Türkey Tüdeş'e teşekkür etmeği bir borç bilirim.

PTT Bölge Vericiler Müdürlüğü ve PTT Baş Müdürlüğü ile birçok özel sektör kuruluşundan arkadaşım ve meslekdaşım çok yakın işbirliği ve ilgilerinden dolayı teşekkür ederim. Çalışmanın bir an evvel bitmesi için teşviklerini esirgemeyen çok sayıda dost ve meslekdaşımı da unutmam mümkün değildir.

Yazım ve çizim işlerini büyük bir gayretle ve dikkatle yürüten arkadaşlarıma da teşekkürlerimi iletiyorum. Son bir yılda özellikle gösterdikleri anlayıştan dolayı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümündeki mesai arkadaşlarıma da teşekkür etmeliyim.

Bir grup daha var ki onları da anmamam mümkün değil. Deneysel çalışmalar sırasında benimle birlikte bulunan beş öğrencimin emek ve gayretleri çoktur, onlara da teşekkür borçluyum.

Son olarak, üzerimde hakkı ve emeği bulunanlardan hayatta olmayanları rahmetle anıyorum, mekânları Cennet olsun. Hayatta olanlara ise minnet ve şükran borçluyum, çok fedakârlıklarda bulundular.

Trabzon, Temmuz 1994

Adnan CORA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XII
SEMBOL LİSTESİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER : HAREKETLİ YER HABERLEŞMESİ	
1.1 Hareketli Radyo Haberleşmesinin Tanımı ve Önemi	1
1.2 Hareketli Radyo Haberleşmesinin Tarihi Gelişimi	1
1.3 Hareketli Yer Haberleşmesi Şekilleri.....	3
1.4 Hücresel Hareketli Yer Haberleşmesi Yayılımı Konusunda Yapılan Çalışmalar.....	6
1.5 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	10
1.5.1 Çalışmanın Amacı.....	11
1.5.2 Çalışmanın Kapsamı.....	12
1.6. HAREKETLİ RADYO HABERLEŞME SİSTEMİ VE ÖZELLİKLERİ	
1.6.1 Hareketli Radyonun Konuları ve Problemleri....	13
1.6.2 Hücresel Sistemin Temel Yapısı.....	15
1.6.3 Hücre Kavramı ve Frekansın Tekrar Kullanılması.	16
1.6.4 Hücresel Geometri.....	18
1.6.5 Hücresel Hareketli Sistemde Telefon Trafiği....	21
1.6.5.1 Analiz Metodu.....	22
1.6.5.2 Kanal Tahsis Şekillerine Göre Hücresel Sistemler	22
1.7 HAREKETLİ RADYO YAYILIMI	
1.7.1 Hareketli Radyo Yayılımı Problemi.....	25
1.7.2 Tanımlar.....	26
1.7.3 Serbest Uzayda Yayılım.....	28

1.7.4	Bir Yüzeyden Yansıyarak Yayılım.....	30
1.7.4.1	Yerin Yansıma Katsayısı.....	30
1.7.4.2	Düzlemsel Yüzeyden Yansıyarak Yayılım.....	32
1.7.4.3	Atmosferin Etkisi.....	35
1.7.5	Engebeli Arazide Üzerinden Yayılım.....	37
1.7.5.1	Yeryüzündeki Engellerden Dolayı Kırınım.....	37
1.7.5.2	Fresnel Bölgesi Elipsleri.....	39
1.7.5.3	Kırılma Kayıpları.....	40
1.7.5.4	Yerden Yansımalar.....	43
1.7.6	Binalarla Kaplı Alanlarda Yayılım.....	43
1.7.7	Çok Yollu Yayılım	46
1.7.8	İşaret Spektrumu.....	51
1.7.9	Alınan İşaretin Zarfı ve Fazı.....	52
1.7.9.1	Alınan İşaretin Zarfı.....	52
1.7.9.2	Alınan İşaretin Fazı.....	53
1.7.10	Rician Bayılması.....	54
1.8	HAREKETLİ YAYILIM MODELLERİ	
1.8.1	Yayılım Modellerinin Sınıflandırılması.....	56
1.8.2	Bilinen Yayılım Modelleri.....	57
1.8.3	450-800-1300-1700 MHz'de Yapılan Yayılım Çalışmalarının Karşılaştırılması.....	64
1.8.4	800-900 MHz Frekans Aralığı için Kullanılan Modellerde Mevcut Eksiklikler.....	64
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	
2.1	Hareketli Yayılım Ölçmeleri	
2.1.1	Deney Düzeneği ve Kullanılan Araç Telefonunun özellikleri.....	66
2.1.2	Araç Telefonu Sisteminin Trabzon'daki Altyapısı: Yer İstasyonları.....	67
2.1.3	Yapılan Deneyler ve Ölçmeler.....	74
2.1.3.1	Güç Seviyesi Ölçmeleri.....	74
2.1.3.2	Konuşmaların İşaret Seviyesi Çizimleri.....	80

2.1.4	Hareketli Ortamda Veri İletimi ve Kaydı.....	88
2.2.	BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÇALIŞMALAR	
2.2.1	TAP Program Paketi.....	90
2.2.2	Anten Işıma Diyagramları.....	90
2.2.3	Yol Geometrisi Diyagramları.....	99
2.2.4	Mesafe ve Koordinat Hesaplamaları.....	108
2.3	GSM DİJİTAL SİSTEMİ	
2.3.1	Analog ve Dijital Sistemlerin Karşılaştırılması ve Dijital Sistemin Üstünlükleri.....	113
2.3.2	GSM Sisteminin Özellikleri ve Tanıtımı.....	114
2.3.2.1	GSM Sisteminin Özellikleri.....	115
2.3.2.2	GSM Sisteminin Tanıtımı.....	116
2.3.3	GSM Bandı (890-960 MHz) için Yapılan Teorik Çalışmalar.....	119
2.3.4	Hareketli Yer-Uydu Haberleşmesi.....	120
3.	BULGULAR.....	127
3.1	Güç Seviyesi Ölçmelerinden Elde Edilen Bulgular	127
3.2	Bilgisayar Destekli Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular.....	129
3.3	GSM Sistemi İçin Yapılan Teorik Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular.....	130
4.	İRDELEME.....	131
4.1	Sistemin Kapsama Alanında Haberleşmeyi Gerçekleştirmedeki Başarısı.....	131
4.2	Yayılıma Etki Eden Faktörler.....	133
4.3	Sistem Tasarımı.....	134
5.	SONUÇLAR.....	137
6.	ÖNERİLER.....	139
7.	KAYNAKLAR	141
8.	ÖZGEÇMİŞ.....	148

ÖZET

HÜCRESEL HAREKETLİ YER HABERLEŞMESİ SİSTEMİNİN DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNDE (TRABZON) UYGULANMASININ İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında Hücresel Hareketli Yer Haberleşmesi Sisteminin Doğu Karadeniz Bölgesinde (Trabzon) uygulanması incelenmiştir.

Çalışmalar araç telefonu ile Trabzon'da şehir içinde ve Beşikdüzü'nden Of'a kadar olan devlet karayolunda deneysel ve bilgisayar destekli olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda araç-ıçtı ve araç-dıştı kullanılabilen bir araç telefonu ve araca yüklenen diğer deney düzeneğı ile servis alma seviyeleri dBm cinsinden ölçülmüştür. Elektromagnetik dalğanın yayılım özellikleri ve hareketliden-sabite, sabitten-hareketliye ve hareketliden-hareketliye olmak üzere 3 şekilde gerçekleştirilen deneylere ait işaret seviyesi değışimleri ve diğer özellikler 5. kısımda verilmiştir.

Bilgisayar destekli çalışmalarda ise "Yer Analiz Paketi" (Terrain Analysis Package) adlı program yardımıyla anten ışına diyagramları ve yol geometrisi diyagramları çizilmiş, sınır değerler ve mesafe-koordinat hesapları yapılmıştır.

Elde edilen bulgular ve sistemin kapsama alanında haberleşmeyi gerçekleştirmedeki başarımının incelenmesi ve çalışmadan çıkarılan sonuçlar verilirken daha ileri yapılabilecek çalışmalar için teklifler bu tezin öneriler kısmında sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler:Hücresel Hareketli Yer Haberleşmesi,
Hareketli Radyo Yayılımı.

SUMMARY

APPLICATIONS OF CELLULAR LAND MOBILE RADIO COMMUNICATION SYSTEM IN THE EASTERN BLACKSEA REGION (TRABZON)

In this thesis, applications of cellular land mobile radio communication system in the Eastern Blacksea region (Trabzon) is searched.

The studies are carried out in two parts, first one the experimental works have been done in the city centre in Trabzon and on the highway from Beşikdüzü to Of, the second part is the computer-aided studies.

By using the mobile telephone and the other equipment loaded into a car, service signal levels are measured in dBm. Properties of electromagnetic wave propagation and signal level variations with the other features obtained from the experiments mobile-to-fixed, fixed-to-mobile and mobile-to-mobile calls accomplished are given in Chapter 5.

Terrain Analysis Package Program partly used in the computer-aided studies. Antenna patterns and path geometry diagrams are plotted, boundary lines and distance-coordinate values calculated. The results of this work is given in the sixth Chapter.

The results obtained are discussed in Chapter 8, 9 and given in Chapter 10, while suggestions for further works are presented in the 11th Chapter of this thesis.

Key Words. Cellular Land Mobile Radio Communications,
Mobile Radio Propagations.

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1	Hareketli radyo sistemleri. 3
Şekil 2	Yedi hücreli demet yapısı. 5
Şekil 3	Hücresel hareketli bir telefon sisteminin temel yapısı. 15
Şekil 4	Frekansın tekrar kullanılması mesafesi. 17
Şekil 5	Hücre bölünmesinde hücrelerin durumları. 17
Şekil 6	Düzensiz çokgen şeklindeki hücre yapıları. 19
Şekil 7	Merkezden uyarmalı ve köşeden uyarmalı hücre yapısı. 19
Şekil 8	Altıgen hücresel geometri için uygun bir koordinat eksenini. 21
Şekil 9	N hücreli (7-12-19) tekrar kullanma örneği ve kaydırma parametreleri. 24
Şekil 10	Radyo iletiminde bozulmalar. 26
Şekil 11	Düzlem yeryüzü üzerinden yayılım. 33
Şekil 12	Yansıtıcıdan yansıyan işaret şiddetinin mesafe ile değişimi. 34
Şekil 13	Etkin yer yarıçapı ve düz-doğru yayılım yolları. 36
Şekil 14	Bir engelin kenarında kırınım. 37
Şekil 15	Fresnel bölgelerinin sınır daireleri. 39
Şekil 16	Bıçak-ağzı kırınımı geometrisi. 39
Şekil 17	İlk üç Fresnel bölgesi elipsleri. 40
Şekil 18	Fresnel açıklık oranının gösterilmesi. 40
Şekil 19	Bıçak-ağzı kırınımı. 42
Şekil 20	v-parametresinin bir fonksiyonu olarak tek bir bıçak ağzından kırınım kaybı 42
Şekil 21	Yerden yansımalı bıçak-ağzı kırınımı. 43
Şekil 22	Şehirci alanlarda radyo yayılımı mekanizması 47
Şekil 23	Gelen dalga ve alıcı anteni gösteren küresel koordinat sistemi. 47
Şekil 24	Anten bölgesi, Fresnel bölgesi ve Fraunhofer bölgesinin gösterilmesi. 48
Şekil 25	Hareketli radyo işaret bayılması gösterilmesi. 49

	<u>Sayfa</u>
Şekil 26 Çok yollu bayılma derinliğinin zamanla değişimi.	49
Şekil 27 Fazları farklı gelen iki işaretin oluşturdukları işaretin bayılma zarfı.	50
Şekil 28 Doppler kayması.	51
Şekil 29 Rician ihtimal yoğunluğu fonksiyonu.	55
Şekil 30 Bullington çizelgeleri.	59
Şekil 31 Carey ve TIREM modelleri ve ortalama iletim kaybının karşılaştırılması.	61
Şekil 32 Çeşitli yayılım modeli tahminleri ve ortalama iletim kaybının karşılaştırılması.	61
Şekil 33 Araca monteli deney düzeneğinin blok diyagramı.	68
Şekil 34 Araca monteli deney düzeneğinin görüntüsü.	68
Şekil 35 Trabzon şehir merkezindeki Yer istasyonu ve şehrin anayolları.	70
Şekil 36 Trabzon il sınırları içindeki yer istasyonları, devlet karayolları ve ilçe merkezleri.	71
Şekil 37 Trabzon şehir merkezindeki Yer istasyonunun anteni.	72
Şekil 38 Kırsal alandaki Yer istasyonu anteninin görünümü.	73
Şekil 39 Bir yer istasyonunun iç yapısının görünümü	73
Şekil 40 Kahraman Maraş Caddesinden bir görünüm.	74
Şekil 41 Şehir içinde bir güzergahta işaret seviyeleri değişimi.	75
Şekil 42 Şehir içinde diğer bir güzergahta işaret seviyeleri değişimi.	76
Şekil 43 Akçaabat (Mersin)'dan DSİ tesislerine kadar olan yolda işaret seviyelerinin değişimi.	76
Şekil 44 Şehir içinde ve sahil yolunda işaret değişimlerinin karşılaştırılması.	78
Şekil 45 Düz ve meyilli arazideki işaret değişimlerinin karşılaştırılması.	78
Şekil 46 Meyilli ve düz arazi için ölçülen ve hesaplanan sonuçların karşılaştırılması.	79

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 47 Şehir içinde ve sahil yolundaki işaret seviyesi değişimlerinin 3-boyutlu çizimi.	79
Şekil 48 Uzak mesafe ölçüleriyle Lee ve Okumura modellerinin karşılaştırılması.	79
Şekil 49 İki yansıyan dalga olması halinde A-tipi arazi için Lee modeli.	80
Şekil 50 Konuşmalar sırasında işaret seviyelerinin değişimi.	82-83-84-85-86-87
Şekil 51 Üç farklı işaret değişimi çiziminden elde edilen Rayleigh ve lognormal dağılımlar	87
Şekil 52 IEEE-488 arabağlantısının blok diyagramı.	89
Şekil 53 İdeal yönlentmesiz bir antenin ışımaya diyagramı	93
Şekil 54 420-430 MHz'de çalışan yönlentmesiz bir antenin düşey ışımaya diyagramı.	93
Şekil 55 Trabzon Yer İstasyonu için yönlentmesiz alıcı antenin ışımaya diyagramı.	94
Şekil 56 Trabzon Yer İstasyonu için yönlentmesiz verici antenin ışımaya diyagramı.	94
Şekil 57 Akçaabat Yer İstasyonu için yönlentmesiz alıcı antenin ışımaya diyagramı.	95
Şekil 58 Akçaabat Yer İstasyonu için yönlentmesiz verici antenin ışımaya diyagramı.	95
Şekil 59 Of Yer İstasyonu için yönlentmesiz alıcı antenin ışımaya diyagramı.	96
Şekil 60 Trabzon Yer İstasyonu hareketli abone için ışımaya diyagramı.	96
Şekil 61 Azimuth açısının gösterilimi.	98
Şekil 62 Örnek ölçmeleri için anten ve koordinatlar	99
Şekil 63 Merkez Yer İstasyonu için 500 m mesafelik alanda gölgeleme kontrolü.	102
Şekil 64 Akçaabat Yer İstasyonu için 50 km'lik mesafelik alanda gölgeleme kontrolü.	103
Şekil 65 Of Yer İstasyonu için 50 km'lik mesafelik alanda gölgeleme kontrolü.	104
Şekil 66 70°'lik azimuth açısında 500 m mesafede farklı Fresnel açıklıkları.	105

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 67	90°'lik azimuth açısında 500 m mesafede farklı Fresnel açıklıkları.	106
Şekil 68	270°'lik azimuth açısında 500 m mesafede farklı Fresnel açıklıkları.	107
Şekil 69	Trabzon iline ait 3-boyutlu harita örneği.	112
Şekil 70	GSM dijital sisteminin mimarîsi.	118
Şekil 71	GSM hücreşel şebekesinin elemanları.	119
Şekil 72	890-960 MHz GSM bandında çalışan yöneltmesiz bir antenin düşey ışıma diyagramı.	121
Şekil 73	GSM sisteminde mobil bir aboneye ait ışıma diyagramı.	121
Şekil 74	GSM 1.kanal verici anteninin ışıma diyagramı.	122
Şekil 75	GSM 1.kanal alıcı anteninin ışıma diyagramı.	122
Şekil 76	GSM 125.kanal alıcı anteninin ışıma diyagramı.	123
Şekil 77	GSM 125.kanal verici anteninin ışıma diyagramı.	123
Şekil 78	Hareketli-Uydu servisi kavramı.	125

TABLO LiSTESi

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1 : Yer sabitlerinin tipik değerleri.	32
Tablo 2 : 168 ve 455 MHz'de mesafeye bağlı gerileme eşitlikleri.	45
Tablo 3 : Lee modeli için yayılım parametreleri.	46
Tablo 4 : Trabzon Yer istasyonu alıcı anteninin azimuth açıları ve kazançları.	97
Tablo 5 : Merkez Yer istasyonuna 500 m mesafedeki engeller	100
Tablo 6 : Trabzon Merkez Yer istasyonundan diğer ilçelere olan uzaklıklar ve azimuth açıları.	108
Tablo 7 : Of-Fındıkoba Yer istasyonundan diğer ilçelere olan uzaklıklar ve azimuth açıları.	109
Tablo 8 : Akçaabat-Eskiköy Yer istasyonundan diğer ilçelere olan uzaklıklar ve azimuth açıları.	110
Tablo 9 : GSM alıcı anten azimuth açıları ve kazançları	124
Tablo 10: Yol açıklığı kriterleri.	136

SEMBOL LİSTESİ

- A : Toplam trafik; efektif alan
AMPS : Amerikan Hareketli Telefon Sistemi
BS : Yer istasyonu
BSC : Yer istasyonu Kontrolörü
BSS : Yer istasyonu Sistemi
BTS : Yer alıcı-verici istasyonu
c : Toplam Kanal Sayısı
CB : Halk Bandı
CEPT : Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Konferansı
d,D : Mesafe; yönelticilik
DTMF : Çift Tonlu Çoklu Frekans
E : Elektrik Alan Şiddeti (V/m)
ECAC : Elektromagnetik Uygunluk Analiz Merkezi
f : Frekans (Hz)
FCC : Federal Haberleşme Komisyonu (A.B.D)
G : Güç kazancı
G_R : Alıcı anten kazancı
G_T : Verici anten kazancı
GMSK : Minimum Kaydırmalı Gauss anahtarlama
GSM : Global Hareketli Sistemi
h : Yükseklik, anten boyu (m)
HLR : Abonenin kendi yer kaydedicisi
IEEE : Amerikan Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
IMSI : Milletlerarası Hareketli Abone Kimliği
ISDN : Entegre Servisler Sayısal Şebekesi
L : Kayıp (dB)
MS : Hareketli Abone (Araç seti)
MSC : Hareketli Bağlantı Merkezi
MTSO : Hareketli Telefon Santrali(MSC)
MSS : Hareketli-Uydu Servisi
N : Bir demetteki hücre sayısı
n : Kırılma indisi
NMT : İskandinav ülkeleri Hareketli Telefon Sistemi

P(x) : ihtimal Yoğunluğu
PDF : ihtimal Yoğunluğu Fonksiyonu
PMR : Hareketli Özel Radyo
PSTN : Telefon Santrali
Q(y) : ihtimal Yoğunluğu
S/N : İşaret/Gürültü oranı
T : Mutlak sıcaklık derecesi(K)
TACS : Toplu Girişli Haberleşme Sistemi(ingiliz)
TAP : Yer Analiz Programı
UHF : Ultra Yüksek Frekans
VHF : Çok Yüksek Frekans
VLR : Misafir Abone Yer Kaydedicisi
W : Güç Yoğunluğu (W/m^2)
 α : Zayıflama sabiti
 β : Faz sabiti
 τ : Yol kaybı eğrisinin eğimi
 Ω : Serbest uzayın karakteristik dalga empedansı
 θ : Yükselme açısı
 ϵ : Dielektrik sabiti
 ϵ_0 : Serbest uzayın dielektrik sabiti
 σ : İletkenlik
 ϕ : Faz farkı; Azimuth açısı

1.GENEL BİLGİLER: HAREKETLİ YER HABERLEŞMESİ

1.1 Giriş: Hareketli Radyo Haberleşmesinin Tanımı ve Önemi

Hareketli radyo haberleşmesi terimi, iki terminalden birinin veya her ikisinin hareket halinde olduğu veya bilinmeyen yerlerde bulunduğu ve bunlardan birinin yer istasyonu (Base Station, BS) gibi sabit bir terminal olabileceği iki terminal arasındaki radyo haberleşmesi linkini tanımlar. Bu tanım hareketliden-hareketliye ve hareketliden-sabite radyo haberleşme linklerine uygulanır. Hareketliden-hareketliye olan link, gerçekte, hareketli-sabit-hareketli radyo haberleşmesi linkini kapsar.

Sabit olmayan (non-fixed) noktalarla görüş hattı (line of sight) boyunca iletkenler kullanmadan haberleşme potansiyeli 19.yüzyılın sonlarında radyonun (telsizin) bulunmasından beri biliniyordu. Gelişmesi ise 1900'lerin başlarından beri devam etmektedir. Bu potansiyelin ilk önemli uygulaması denizlerdeki gemilere denizcilik ve emniyetle ilgili konularda yardımda bulunmaktı. İlk günlerden beri hareketli radyo haberleşmesinin kullanılması dikkat çekici bir şekilde giderek artmaktadır. Bugün, hareketli radyo haberleşmesi sadece denizlerdeki gemilerle değil, karadaki araçlarla, uçaklarla hatta taşınabilir cihaz (portable equipment) kullanan kişilerle haberleşmede de kapsamaktadır.

"Hareketli" terimi karadaki araçlar, denizdeki gemiler, uçaklar ve haberleşme uyduları için uygun ise de bu çalışmada hareketli yer haberleşmesi esas alınarak incelenmiştir.

1.2 Hareketli Radyo Haberleşmesinin Tarihi Gelişimi

Hareketli radyo haberleşmesinin ilk uygulaması 1897'de Guglielmo Marconi tarafından gerçekleştirilmişti. Marconi, karadaki bir yer istasyonu ile bir römorkör arasında 18 mil uzunluğunda bir yol üzerinden radyo iletimini başarıyla gerçekleştiren ilk insan oluyordu. Aşağıdaki kısa özet hareketli radyo haberleşmesinin tarihinde önemli kilometre taşlarını göstermektedir[1] ;

- 1880 : Hertz - radyo haberleşmesi uygulamasının ilk gösterilişi
- 1897 : Marconi - 18 millik bir yol boyunca bir römorköre radyo iletiminin gerçekleştirilmesi
- 1921 : Detroit Emniyet Müdürlüğü - Polis arabalarında radyo gönderme servisi (2 MHz frekans bandı)
- 1932 : New York Emniyet Müdürlüğü - Polis arabalarında radyo gönderme servisi (2 MHz frekans bandı)
- 1933 : FCC - Federal Haberleşme Komisyonu 30-40 MHz aralığında 4 kanal için yetki verilmesi
- 1938 : FCC - Düzenli servis için kurallar konulması
- 1946 : Bell Telefon Laboratuvarları - 152 MHz (simplex çalışma)
- 1956 : FCC - 450 MHz (simplex çalışma)
- 1959 : Bell Telefon Laboratuvarları - Yüksek kapasiteli hareketli radyo haberleşmesi için 32 MHz frekans bandı teklifi.
- 1964 : FCC - 152 MHz (full duplex çalışma)
- 1964 : Bell Telefon Laboratuvarları - 800 MHz'de aktif çalışmaların başlaması
- 1969 : FCC - 450 MHz (full duplex çalışma)
- 1974 : FCC - 800-900 MHz aralığında 40 MHz band genişliği tahsisi
- 1981 : FCC - 800-900 MHz aralığında ticari işletmeler için 40 MHz band genişlikli hücreli yer hareketli telefon servisine izin verilmesi.

Özellikle son on yılda hücreli hareketli radyo haberleşmesi hızlı bir gelişme göstererek ticari bir gerçek

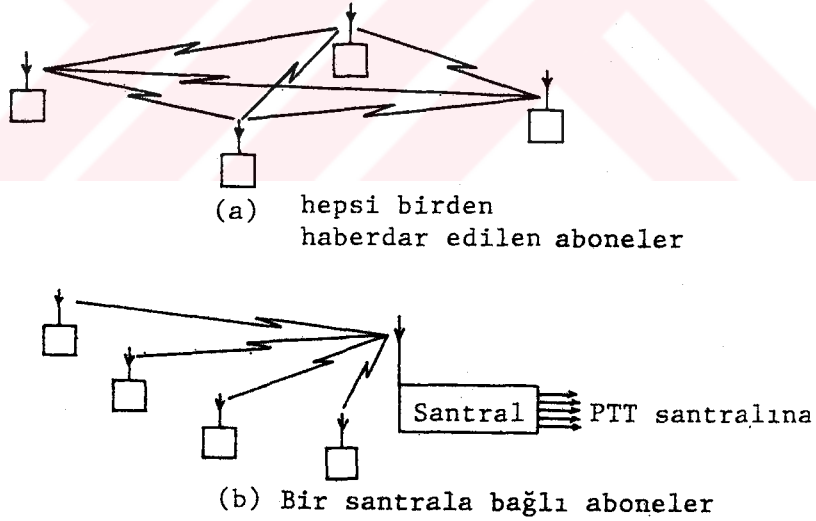
haline geldi. Bu hızlı gelişmeyi belgeleyen bir örnek olarak "Frost and Sullivan" adlı şirket tarafından yayınlanan bir raporda 1990'da sadece A.B.D'de 3.6 milyon, 1989'dan önce bütün Avrupa'da 1.6 milyon ve bu yüzyılın sonundan evvel bütün dünyada 100 milyon hareketli telefon abonesinin olmasının beklendiği belirtilmişti[2].

1.3 Hareketli Yer Haberleşmesi Şekilleri

Hareketli haberleşme sistemlerini ayrıntılı inceleyebilmek için bu sistemler iki ana gruba ayrılabilir, Şekil 1.

1. gruba girenler, oldukça az sayıdaki kullanıcılar arasında haberleşmeyi sağlar.

2. gruba girenler ise - sivil hayatta dünya çapında telefon şebekesine bağlanabilme ve askeri amaçlı kullanıcılar için de geniş bir alanda abonelere ulaşabilme gibi - daha geniş çaplı haberleşmeyi gerektiren durumlar içindir.



Şekil 1 Hareketli radyo sistemleri

(a) şebeke tipi radyo

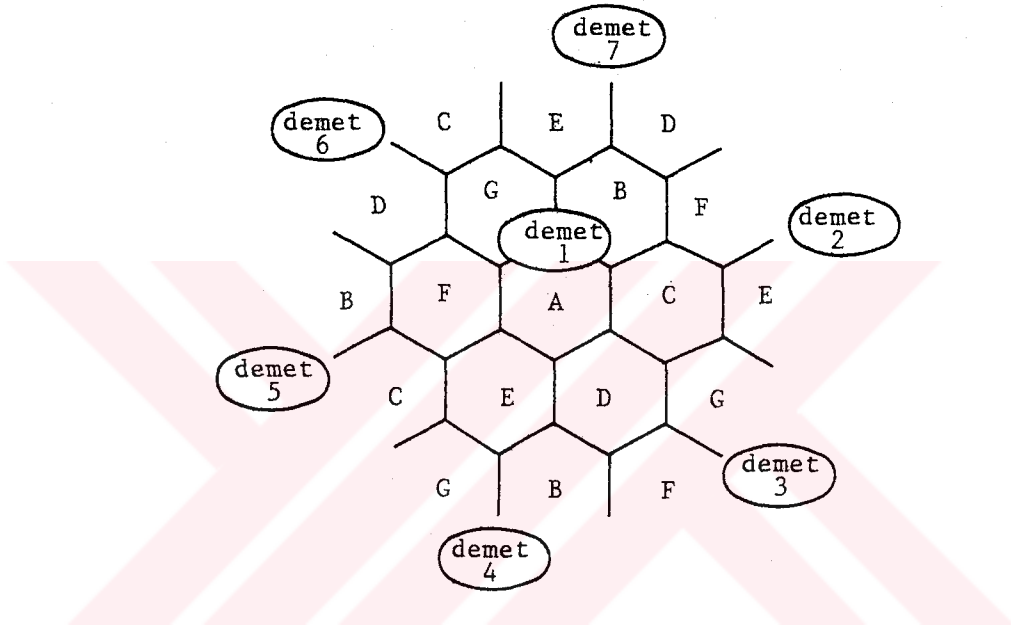
(b) anahtarlama sistemi

1. gruba giren sistemler ya tek bir radyo kanalını veya kullanıcıya özellikle tahsis edilmiş olan az sayıda kanalları kullanırlar, Şekil 1.a. Bu sistemlerin önemli bir özelliği bir kanalın kullanıcılarının hepsinin birden haberdar edilmeleridir (all-informed) ve telefon

sistemlerinin ilk devirlerindeki gibi bir kaç telefon aynı devreye bağlıdır. Kanalin bir anda bir iletim için kullanıldığından emin olmak için sıkı bir işletme disiplini kurulmalıdır. Benzer sistemler ve işletme usulleri hava alanı personeli, polis ve diğer kamu hizmetlileri tarafından ve nisbeten kısa mesafelerde kullanılır. Bunun yanında, anahtarlamalı sistem olmadığı halde, az sayıda kanaldan paylaşmalı bir şekilde çok sayıda kullanıcının faydalandığı ve resmi bir disiplini olmayan halk bandı (citizen band, CB) vardır. Bu sayede yüksek güvenilirlikli olmasa da faydalı bir haberleşme gerçekleştirilebilir.

2. grupta ise, sistemin merkezi olarak bir çeşit anahtarlama (switching) imkânının olması gerekmektedir. En basit şekilde bu, bir elle bağlantıdır (manuel), modern sistemlerde ise hareketli aboneler için direkt arama imkânı vardır, Şekil 1.b. Çok sayıda aboneye eşzamanlı (simultaneous) bağlantılar gerçekleştirmek, çok sayıda radyo kanalını gerektirir. Bu sistemlerin bu iş için kullanılması "hepsi birden haberdar edilen" çalışma şeklini kabul edilemez duruma getirir. Normal bir ev telefonunun bir gün boyunca kullanımı çok azdır. Bu yüzden sabit sistemlerde pahalı cihazları ve uzak mesafe devrelerini aboneler arasında ana hat (trunk) esasına göre kullanmak standart bir uygulama olmuştur. Halka açık hareketli bir telefon servisi de aynı şekilde düşünülebilir. Bir kanalın bir aboneye tahsisi sadece kendi cihazı kullanılmakta iken gerçekleşecektir. Bu teknikler kullanılırken bile ülke çapında bir servis için gerekli radyo kanallarının toplam sayısı elde edilebilir band genişliği kapasitesinin çok ötesindedir. Bu yüzden de, bir takım eşzamanlı frekans paylaşma teknikleri gereklidir. Bu ise sadece coğrafik özelliklerin ve radyo yayılım özelliklerinin etkin bir şekilde kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Ultra Yüksek Frekans (UHF) bandında modern hareketli telefon sistemlerinin başarısının sebeplerinden biri, işaretlerin yayıldığı sınırlı alanın mesafesidir. Sonuçta, aynı radyo kanalı ilk vericiden belirli bir mesafe uzaklıkta tekrar kullanılabilir. Hücreler 'e tahsis edilen frekansların geometrik örneği sisteme "hücresel radyo

şebekesi" adının verilmesini sağlamıştır. Şekil 2 yedi hücreli bir demetin frekans yapısını ve geniş bir coğrafik alanı kapsamaları için frekansın nasıl tekrar kullanıldığını göstermektedir. Bir demetteki hücre sayısı 7, 12, 19 ve daha değişik sayılarda olabilmektedir. Frekansın tekrar kullanılma mesafesi ve ilgili diğer büyüklükler 2. Bölüm'deki "Hücresel Hareketli Haberleşme Sistemi ve Özellikleri" konusunda incelenecektir.



Şekil 2 Yedi hücreli demet yapısı

Sivil bir ortamda ve bir araçta hareket halinde iken telefon etmek isteyen bir kişiye sunulabilen servisler ise şöyle sıralanabilir:

(a) Kordonsuz telefonlar : Bu tip, elde edilebilir "telsiz" telefon türlerinin en ucuz ve en basitidir. Herbiri bir yönde olmak üzere, iki sabit kanal kullanan ve telefon şebekesinde (Public Switched Telephone Network, PSTN) abonenin hattına bağlı basit bir alıcı-verici ile 100-200 m. lik bir mesafe ile sınırlı bir alanda telefon görüşmesinin genişletilmesi imkânını sağlar.

(b) Araç telsizleri (Özel Hareketli Radyo = Private Mobile Radio, PMR) : "Taksi telsizi" diye bilinen bu sistem sabit bir kanalı tek yönlü çalışma modunda ve bir yer

istasyonunun kontrolu altında kullanır. Bir kaç kilometreye kadar mesafeye erişilebilir, fakat frekans tahsisleri sınırlı olabilir.

(c) Elde taşınabilir VHF/UHF telsizler : Hava alanı çalışanları, polis devriyeleri ve benzeri kimseler tarafından geniş ölçüde kullanılır ve 1-2 km mesafeye erişilebilir. Bu tür cihazlar normalde tek bir kanal kullanır, fakat farklı şebekelerle haberleşmeyi sağlamak için bir takım kanallardan frekans seçimini sağlayan daha karmaşık şekilleri de vardır.

(d) Çağrı sistemleri (Paging) : Bir veya daha fazla yer istasyonu ile kişisel alıcılar arasında işaretleşmeyi sağlayan bir hareketli yer sistemidir. Sadece-ton, optik okumalı ton veya ton+ses şekilleri vardır. Çağrı cihazı alıcılarının iletim kaybı alıcının yakın çevresi tarafından büyük ölçüde etkilenir. Alıcı, cihazına gelen mesaja göre en yakınındaki bir telefonda karşı tarafı arayabilir.

(e) Hava/Yer sistemleri : Bu sistemler hareketli istasyonun bir uçakta olması hariç hücreli sistemlerin benzeridir. Bu sistemde hücreler, yer hareketli sistemlerinden çok daha büyük boyutludur.

(f) Hücreli radyolar : Araç içi ve araç dışı (elde taşınır) şekilleri vardır. Hareketli bir aboneden ve hareketli bir aboneye dünya çapında telefon şebekesine bağlantı yapılabilirdir. Hücreli sistemin özelliği geniş bir coğrafik alanda herhangi bir yerde haberleşmeyi mümkün kılmasıdır.

(g) Uydu-hareketli sistemi : Bir uydu-hareketli sistemi hareketli ile yer istasyonları(earth stations) ve aktif uydular arasında haberleşmeyi sağlar. Yer istasyonu sabit veya hareketli olabilir ve belirlenmemiş sabit yerlerde bulunabilir[3-4].

1.4 Hücreli Hareketli Yer Haberleşmesi Yayılımı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Bu bölümde, konuyla ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmaların tarihçesi ulaşılabildiği kadarıyla kronolojik

bir sıra ile verilecektir. Hareketli radyo iletimi (transmisyon) ve yayılımı konusunda bilinen ilk çalışma W. R. Young, Jr.'in [5] 1952 'de yayınladığı ve 150, 450, 900 ve 3700 MHz için yaptığı bir takım deneylerden elde ettiği karşılaştırmalı sonuçlardır. Daha sonra JJ.Egeli [6] 1957 engebeli arazi için ağaçlar, binalar ve insan yapısı diğer engellerin yayılıma etkilerini frekansa, anten yüksekliğine, antenin kutuplanmasına (polarization) ve alıcı ile verici arasındaki mesafeye bağlı olarak inceledi ve sonuçları deneysel formüllerle ve sayısal bağıntıları gösteren çizelgeler (nomograph) halinde verdi. 1968'de Okumura ve arkadaşları [7] VHF (200 MHz) ve UHF bandlarında (453, 922, 1310, 1430 ve 1920 MHz) engebeli arazi ve ortam şartlarının çeşitli durumlarında yaptıkları çalışmaları açıkladılar.

Okumura ve arkadaşları ortalama alan şiddeti değerinin mesafe ve frekansa bağımlılığını, yer istasyonu ile hareketli istasyon için yer değişikliklerinin anten yüksekliği ve kazanç faktörlerinin etkisini şehirler, kenar semtler ve açık alanlar için incelediler. Aynı yıl Nylund [8] 150 MHz bandında hareketli devreler üzerinde şiddetli olduğu yerlerde küçük alanlardaki işaret bayılmalarının (fading) karakteristikleri, bayılmaların derinliği ve genişliğini (süresini) şehirler, kenar semtler ve kırsal alanlar için verdi. Black ve Reudink [9] (1972), 836 MHz'de, ortalama işaret gücünün yer istasyonundan 1 milden 2 mile kadar olan uzaklıklarda mesafenin küpüyle (3. kuvveti) ters orantılı olarak azaldığını gösterdiler.

Turin ve arkadaşları [10], 488, 1280 ve 2820 MHz'de şehirlerde çok yönlü yayılımın istatistiksel bir modelini verdiler. 1973'de Barsis'in [11] VHF/UHF bandlarında Hareketli Yer Haberleşmesi ve yayın (Broadcast) için engebeli arazideki servis bölgelerinin belirlenmesinde bilgisayar metodlarının kullanıldığı çalışması yayınlandı. Cox (1973), Cox ve Leck (1975), Cox (1977), Cox ve arkadaşları [12-13-14-15] (1985) 'de binalarda ölçülen 800 MHz zayıflamasının anten yüksekliğine bağımlılığını gösterdiler. Arrendo ve arkadaşları (1973) Rayleigh dağılımlı hızlı bayılmaların karşılaşıldığı durumlar için

çok yollu bir bayılma benzetimcisini (simülatörünü) [16], Yashikowa ve Nomura (1976) UHF bandında küçük bölgesel Hareketli Yer Haberleşmesi Sisteminin tasarımını verdiler [17]. Suzuki (1977) şehirlerde radyo yayılımı için istatistiksel bir model [18], gene aynı yıl, Bullington kendi adıyla anılan modeli ve çizelgeleri (nomograph) verdiler[19], Shepherd 900 MHz'de radyo dalgalarının kayıplarının sapmasını ve gölgeleme kayıplarını inceledi[20], Wells ise UHF radyo işaretlerinin evler (binalar) tarafından zayıflatılmasını deneylerle gösterdi[21], Komura ve arkadaşları yeni bir radyo arama sistemini ve yayılım karakteristik-lerini 150 MHz bandı için tanıttılar[22].

1979'da French, Hareketli Radyo Haberleşmesinde Rayleigh bayımlı lognormal gölgelemeli bir ortamda ortak kanal girişim ihtimallerinin alanın işaret seviyesinin ortalama değerinin dördüncü kuvvetinin tersiyle orantılı olduğunu gösterdi [23]. Lee 1977'de Hareketli Radyo işaretinin anten yüksekliği ve antenin yerleştirilmesi ilişkisini, 1980'de yer istasyonu anten yüksekliğinin Hareketli Radyo üzerine olan etkilerini, 1983'de Askeri Taktik ortamda Hareketli Radyo Sistemlerinin değerlendirilmesi için bir bilgisayar benzetim (simülasyon) modelini, 1990'da Rayleigh bayımlı bir ortamda kanal kapasitesi tahminlerini verdi [24-25-26-27].

Hata ve arkadaşları da alan şiddeti ölçmelerini kullanarak hareketlinin yer tesbitini(1980, Hata ve Nagatsu) ve Hareketli Yer Haberleşmesi Sistemlerinin Radyo Link Tasarımı(Hata, Kinoshita ve Hirade) verdiler (1982) [28-29]. Muammar ve Gupta (1982) yüksek kapasiteli sistemlerde Rayleigh bayılımı, lognormal gölgeleme ve yol kayıplarını incelediler[30]. 1983'de Cadman ve Brewster VHF ve UHF Hareketli Yer Haberleşmesi kanalları üzerinden kontrollü bir veri iletimi sistemini tanıttılar [31]. Aynı yıl Sass, UHF Yaygın Spektrum Haberleşmesi için yayılım ölçümlerinin sonuçlarını yayınladı. Paunoviç ve arkadaşları (1984) Hareketli Yer Haberleşmesi Sistemlerinin planlanmasında alan

şiddetinin tahmini için uygun bir metod seçimini verdiler [32]. Bajwa ve Parsons şehirler ve banliyölerde UHF hareketli radyo yayılımının küçük alanlar için belirlenmesini deneylerle gösterdiler (1982) [33]. Bajwa (1985) UHF'de Hareketli Radyo çok yollu yayılım etkilerinin model ve benzetimini gösterdi[34]. Parsons ve arkadaşları kırsal alanlarda 168, 455 ve 896 MHz'de hareketli radyo yayılımı için yaptıkları deneylerin sonuçlarını verdiler. Parsons ve Turkmani (1991) Hareketli Radyo işaretlerinin model tanımını verdiler[35]. Turkmani, Demery ve Parsons 900 MHz'de geniş bantlı hareketli radyo kanallarının ölçme ve modellemesini (1991), Turkmani ve Parsons hareketli radyo işaretlerinin karakterizasyonu olarak yer istasyonu ile olan çapraz ilişkisini (cross-correlation) incelediler [36-37]. Delisle ve arkadaşları(1985) yayılım kaybı tahminlerini karşılaştırmalı bir çalışma olarak yayınladılar [38]. Davis ve Bogner, 500 MHz'de hareketli radyo yayılımı için yaptıkları deneylerin karşılaştırmalı sonuçlarını verdiler[39]. Loew (1985) Hücreler arasındaki sınırlara binaların ve bitki örtüsünün etkilerini deneysel olarak inceledi[40].

Whitteker (1988), çok küçük hücreli (microcellular) şehir hareketli sistemleri için 910 MHz'de yol kaybı ölçmelerini çeşitli ortamlar için verdi [41]. Mumammar (1990), çok küçük hücreli (microcellular) hareketli radyo sistemlerinde Ricean bayılma kanalının etkilerini inceledi[42]. Rappaport ve arkadaşları, 900 MHz' de dijital sistem için çok yollu yayılım ölçmelerini verdiler (1990), Rappaport ve Milstein de kod bölmeli çoklu girişte (CDMA) Radyo yayılım yolu kaybının etkilerini yayınladılar (1992) [43-44]. Kuboyama ve arkadaşları da (1990) şehirlerde ve kırsal alanlarda çapraz kutuplamalı (cross polarization) bileşenlere sahip hareketli antenlerde yapılan deneysel neticeleri verdiler[45]. Tannous, Davies ve Angus da (1991) çok yollu yayılımda deterministik kaosu incelediler[46]. Ikegami ve arkadaşları şehir hareketli radyo haberleşmesi için alan şiddeti ortalamasının teorik tahminlerini verdiler (1991), [47].

1980 ' li yıllarda dijital sistemler için yapılan

yayımlı çalışmalarında 80'li yılların sonlarıyla 90'li yılların başlarında çok küçük hücreli ve yüksek kapasiteli sistemlere yönelindiği görülmektedir. Green (1990) çok küçük hücrelerin Radyo karakteristiklerinin belirlenmesinde ölçmeler ve modelleri ile [48], çok küçük hücreli sistemler için radyo link tasarımı verdiler [49], Green ve Hata (1991) şehir ortamında çok küçük hücreli sistemlerin yayılım ölçmelerini verdiler[50].

Hill ve Kneisel (1991) taşınabilir radyo anteninin performansını 150, 450, 800 ve 900 MHz bandlarında "Araç dışı" ve "Araç içi" için incelediler[51]. Chan (1991) Hücre- sel Radyo Sistemleri için UHF işaret yayılımı ve kapsam tahminlerini, bilgisayar destekli tahminleri ve alan şiddeti ölçmelerinin karşılaştırmalı sonuçlarını verdi[52]. Loo ve Secord (1991), bayımlı kanalların digital iletme uygulanması için geliştirdikleri bilgisayar modellerini açıkladılar[53]. Prasad, Kegel ve Olsthoorn(1991), çok küçük hücreli hareketli radyo ortamında UHF yer dalgası yol kaybı için uygun bir modelin spektrum verimliliğine etkisini incelediler [54]. Şafak ve Prasad (1991), hareketli radyo sistemlerinde ilişkili gölgeleme işaretlerinin (correlated shadowing signals) kanalın tekrar kullanılması üzerine etkilerini araştırdılar[55]. Gene Prasad ve Kegel, aynı yıl, hücre- sel radyo performansında girişim limitlerinin değerlendirilmesini verdiler[56].

Linnartz (1992) lognormal ve Rayleigh bayılma bileşen- leri olan çoklu girişim işaretlerinin (interfering signals) mevcudiyetinde hareketli bir vericiden alınan işaretin oran ihtimalini veren yeni bir matematiksel model verdi[57]. Sowerby ve Williamsom (1992) ortak kanal girişiminden rahat- sız olan hareketli radyo sistemlerinde alma oranı ihtimalle- rinin [58], Stüber ve Kchao ise çok hücreli direk sıralamalı Kod Bölmeli Çok Girişli Hücre- sel Hareketli Radyo Sisteminin incelemesini yaptılar [59].

Bu tez çalışmasında yayılım özelliklerinin incelenmesi gaye edinildiğinden listeden de görülebileceği gibi sadece yayılım (propagation) konusundaki yayınlar sıralanmış ve listenin daha fazla uzamaması için alma (receiving)

teknikleri ve yayılımdaki bozulmaları ve gürültü v.s'yi önleme yolları konusundaki çalışmalar dahil edilmemiştir.

1.5 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu başlık altında önce çalışmanın amacı ve bu amacı gerçekleştirmek için yapılan çalışmaların kapsamı iki alt başlık halinde verilecektir.

1.5.1 Çalışmanın Amacı : Bu çalışmada ülkemizde mevcut hücrenel hareketli yer haberleşmesi sisteminin Doğu Karadeniz Bölgesinde özellikle Trabzon şehir içi, şehirler arası yollar ve bütün il sınırları dahilinde uygulanabilirliğinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesi, Türkiye geneline göre daha dağlıktır ve yükseklik ortalaması Türkiye ortalamasının üstündedir. Dağlar denize paralel olarak uzanır, sahil şeridi yer yer girintili çıkıntılıdır. Kıyı şeridini iç Anadolu'ya bağlayan yollar dar geçitler şeklindedir. Bunlardan Trabzon-Gümüşhane-Erzurum yolu üzerinde bulunan Zigana Geçidi tarihi ve uluslar arası bir taşımacılık yoludur. Her ne kadar ülkemizde halen kurulu bulunan NMT-450 hücrenel hareketli sistemi hemen hemen bütün şehirleri, şehirlerin civarlarını ve şehirler arası ana yolları kapsamakta ise de zamanla bütün ilçeleri ve bütün devlet yollarını kapsayacağı şüphesizdir.

Ülkemiz ve özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi için önem kazanmaya başlayan iki husus bu çalışmanın amacını daha da önemli kılmaktadır. Birincisi, dağılan Sovyetler Birliği ülkeleri ile başlayan gerek kıyı ticareti ve gerekse turizm veya iş potansiyeli dolayısıyla karşılıklı gidiş-gelişlerin giderek artması hareketli haberleşmenin önemini artırmıştır. İkincisi ise, Doğu Karadeniz Bölgesinin zengin tarih ve tabiat güzelliklerinden dolayı son zamanlarda dağ ve yayla turizmine olan ilginin artmasıdır.

Coğrafik özellikleri dolayısıyla Trabzon ve dolaylarında yapılacak çalışmalar tüm Türkiye için yapılacak çalışmalara ışık tutabilir. Hücrenel hareketli yer haberleşmesinin

problemleri olan yer istasyonunun seçimi, hücrenin yarıçapı, yol kaybı hesabı, iklim olaylarının etkisi, bayılma (fading), kanal değişikliği (hand-off) girişim (interference) gibi problemler en fazla bu bölgede kendini hissettirir.

Hareketli haberleşme sistemlerinin bir bölgede uygulanabilirliğinin ölçüsü, ilgilenilen servis bölgesinin yüzde kaçını kapsadığı ve bölgede yaşayan nüfusun yüzde kaçına hizmet verebildiğidir.

1.5.2 Çalışmanın Kapsamı:

Trabzon'da şehir içindeki deneyler yollar ve ana caddelerde, şehir içindeki tünelde, gürültülü ve kapalı ortamlar için deneyler Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Şehirler arası devlet yolunda batıdan Trabzon-Giresun il sınırı yakınındaki Eynesil tüneline kadar olan yolda Doğuda ise Sürmene ve Of'a kadar olan yolda, Trabzon-Maçka yolunda, Beşikdüzü-Şalpazarı yolunda servis alma seviyesi ölçmeleri yapılmıştır.

Hareketliden sabite, sabitten hareketliye ve hareketli-den hareketliye olmak üzere üç türlü konuşma şekli için deneyler gerçekleştirilmiş ve kaydedici izimleri alınmıştır. Gerek şehir içindeki ve gerekse biri doğuda diğeri batıda olan kırsal alanlardaki yer istasyonlarına gidilip incelemelerde bulunulmuş, mesafe ve koordinat hesapları yapılmıştır. Bu çalışmaların ayrıntıları tezin beşinci Hareketli Yayılım Ölçmeleri bölümünde, bilgisayar destekli çalışmalar ise, 6.kısımda verilmiştir.

1.6. HAREKETLİ RADYO HABERLEŞME SİSTEMİ VE ÖZELLİKLERİ

1.6.1 Hareketli Radyonun Konuları ve Problemleri

Çalışır hareketli bir radyo sistemi kurmak sabit bir yer hattı sistemi kurmaya göre oldukça zor bir iştir. Çünkü radyo linkinin kendisi yeryüzünün yapısından dolayı kolay etkilenebilir. Bir araç hareket ederken alınan işaret şiddeti çok azalabilir, radyo linkini devam ettirebilmek daha da güç bir iştir. Bu düşünceler ışığında hareketli bir radyo sistemi planlamak isteyen birisi şu sorulara cevap aramalıdır [60];

1. İyi bir radyo kapsamı sisteminden nasıl emin olunabilir?
2. Karşılaşılabilecek problemler neler olabilir?
 - İşaret şiddetinin zayıflaması veya kesilmesi
 - Girişim problemleri
 - Sistem kapasitesi
3. Göz önüne alınması gereken kaynaklar nelerdir?
 - Frekans spektrumu
 - Mevcut imkânlar.

Hareketli telefon sisteminin hedefleri : Sistemin hedefleri 8 başlık halinde, önem sırasına göre şöyle özetlenebilir [61]:

1. Büyük bir abone kapasitesi sağlamak : Lokal bir servis bölgesinde, örneğin büyük bir metropol alanda, binlerce kullanıcıya büyük miktarda bir trafik servisi sunma imkânı.
2. Spektrumun verimli kullanılması : Kamuya ait kaynaklara olan talepler karşısında radyo spektrumunun güçlükle bulunabilir oluşu onun kullanılış sorumluluğunu artırmaktadır. Bu yüzden spektrum verimli bir şekilde kullanılmalıdır. Bölüştürülerek tahsis edilen

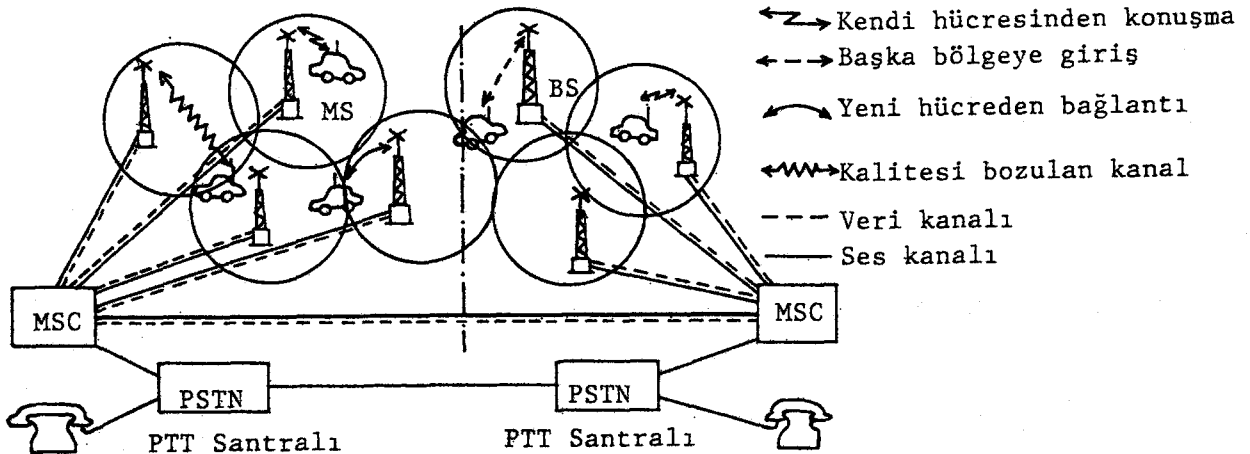
- band içinde istenen trafik geçirilebilmelidir.
3. Ülke çapında uygunluğun sağlanması : Bir yerde kurulu hareketli istasyonun başka bir yerde de tatmin edici bir servisi gerçekleştireceğinden emin olmak için hareketli sistemlerin her yerde aynı işletme standartları ile aynı temel servisi vermesi gerekir.
 4. Yaygın olarak gerçekleştirilebilme : Çalışmalar mevcut sistemlerde bir çok kullanıcının, kendi hücrelerinden ayrılmış olsa bile, servis alabilmesinin önemli olduğunu göstermiştir. Geniş bölge kapsamı, metropolitan merkezlerin kapsamalarını etraflarındaki banliyölere ve metropolitan merkezler arasında ana otoyollar ve demir yollarıyla derece derece genişleyerek gerçekleştirmesi demektir.
 5. Trafik yoğunluğuna uyum : Trafik yoğunluğu bir şehirde veya bir bölgede bir noktadan diğerine ve daha uzak noktalarda değişeceğinden, bütün bunlar da zamanla değişebileceğinden hareketli bir telefon sisteminin hedefi bu değişken ihtiyaçlara uyabilmek olmalıdır.
 6. Düzenli telefon servisi ve özel servisler : Düzenli telefon servisine ilâveten, bir telefon sisteminden gönderme veya filo işletmesi, kısaltılmış arama, üçlü telekonferans, bekletmeli arama, veri alış-verişi, Entegre Servisler Dijital Şebekesine (Integrated Services Digital Network, ISDN) bağlanabilme gibi özellikler beklenir.
 7. Servisin kalitesi : Servis kalitesi açısından normal telefon servisinin kalitesi ile aynı olmalıdır. Her iki şekilde bozulma çeşitleri aynı olmamakla birlikte aynı kaliteyi tutturmak bâzen güçtür. Amaç kullanıcı tarafından alınan sesin kalitesinin aslına uygun olarak tekrar üretilmesi ve aşırı gürültüsüz ve bozulmasız olmasıdır.

8. Maddi güç yettirebilme : Diğer bir amaç da iş hayatının ve halkın önemli bir kısmının bu servise güç yettirebilmesidir. Geniş çaplı üretimlerden ve imalâtçı firmalar arasında doğacak rekabet nedeniyle fiyat ekonomisi bunu mümkün kılacaktır.

1.6.2 Hücresel Sistemin Temel Yapısı

Hücresel hareketli bir sistemin temel yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi yer istasyonları ile bunların bağlantılı olduğu Hareketli Bağlantı Merkezleri (Mobile Switching Centers, MSC) ve bu merkezlerin kendi aralarındaki bağlantı hem ses (voice) ve hem de veri (data) haberleşmesi şeklinde sağlanmaktadır. Hareketli bir abone (Mobile Station, MS) bağlı bulunduğu hareketli istasyon aracılığı ile kendi hücresindeki başka bir aboneyle, aynı servis bölgesindeki abonelerden biriyle, ait olduğu hareketli istasyonun bağlı bulunduğu PTT santrali aracılığı ile görüşebilir. Bu santralin bir abonesi veya şehirler arası diğer santrallerin herhangi bir abonesi ile, ses ve veri kanallarıyla bağlı bulunduğu diğer bir servis bölgesinin Hareketli Bağlantı Merkezi (MSC) aracılığı ile de o servis bölgesindeki hücrelerden herhangi birinin bir abonesiyle görüşebilir.

Servis bölgesi I Servis bölgesi II



Şekil 3 Hücresel hareketli bir telefon sisteminin temel yapısı[62].

Hücresel hareketli bir telefon sistemi üç ana kısımdan meydana gelir;

a) Hareketli Bağlantı Merkezi : Bütün sistemin beyni durumundadır. Hareketli aboneler bu merkezden numara alırlar. Bütün abonelerin durum ve yer bilgileri burada değerlendirilir, konuşma kayıtları burada tutulur, hangi aracın hangi kanaldan konuştuğu ve kanal kalitesi buradan izlenir. Kalitesi bozulan konuşmanın başka bir kanala aktarılmasına burada karar verilir ve gerçekleştirilir. Kısaca, hem hareketli sistem hem de mevcut PTT santraliyle olan irtibatı sayesinde milli telefon şebekesiyle hareketli sistem arasında bir köprü vazifesi görür.

b) Yer istasyonu : MSC ile araç seti (hareketli abone) arasındaki telsiz bağlantısını sağlar.

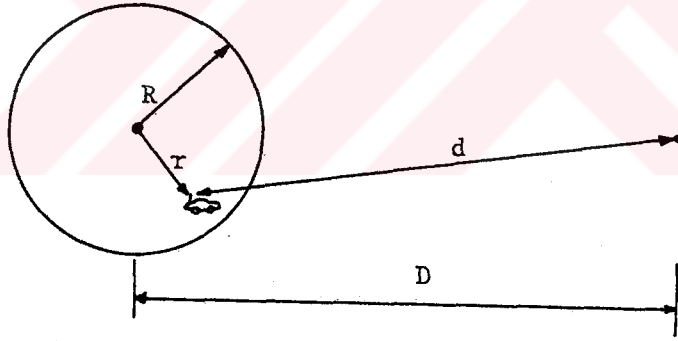
c) Hareketli abone veya araç seti : Bütün sistemde hareketli olan tek kısımdır. Araca monteli olarak veya elde taşınabilir şekilde kullanılabilir. Ahize üzerinde tuşlu numara kadranı vardır. Tuşlanan numaralar ahize üzerindeki bir ekrana yazılır, numaraların doğruluğu görüldükten sonra gönderme düğmesine basılarak bir defada gönderilir. Bu durum, araç hareket halinde iken hem kolaylık sağlar hem de daha fazla süre kanalı işgal etmeyi önler[63].

Hücresel hareketli sistemde konuşmalar şehirler arası bir arama gibi gerçekleştirilir. Örneğin; 0-522-2170959 (0, şehirler arası arama için, 522, araç telefonu sisteminin kodu ve 7 rakamlı abone numarası).

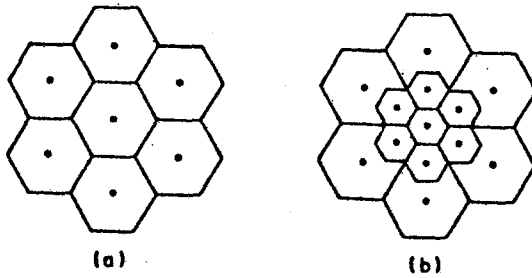
1.6.3 Hücre Kavramı ve Frekansın Tekrar Kullanılması

Frekansın tekrar kullanılması (frequency re-use) ve hücre bölünmesi (cell splitting) "hücresel" kavramının belirgin özelliklerini ifade eder. Hareketli bir telefon sistemi lokal bir servis bölgesinde çok sayıda aboneye hizmette bulunabilmek için büyüme (veya genişleme) imkânına sahip olmalıdır. Yüzlerce kanalın tahsis edildiği bir sistemde işletme ve süresiz olarak büyüme ihtiyacı "hücresel" kavramının arkasındaki itici güç olmuştur.

Frekansın tekrar kullanılması aynı taşıyıcı frekansındaki kanalların birbirinden yeteri kadar mesafe ile ayrılan farklı bölgeleri kapsamak üzere kullanılması demektir. Bu durumda ortak-kanal girişimi (co-channel interference) kabul edilebilir bir seviyenin altındadır. Frekansların bu şekilde tekrar kullanılmaları sayesinde trafik kapasitesinin artırılacağı düşüncesi ilk defa 1947'de Bell Laboratuvarlarında (A.B.D) D. H. Ring'in yayınlanmamış bir çalışmasında ortaya kondu[61]. Hücresel sistemde her hücre hareketli haberleşmeyi sağlayacak teçizat ile donatılmıştır. Girişimin önlenmesi için aynı frekanslı kanalların birbirinden yeteri kadar uzakta yerleştirilmeleri gerektiği ifade edilmişti. Bu uzaklık hücre yarıçapına ve bir demetteki (birbirine komşu ve farklı frekans kanallarından oluşan grup) hücre sayısına bağlıdır. Şekil 4 frekansı tekrar kullanılması örneğini, Şekil 5 ise hücre bölünmesinde bölünmeden önce ve bölünmeden sonraki hücre durumlarını göstermektedir.



Şekil 4 Frekansın tekrar kullanılması mesafesi



Şekil 5 Hücre bölünmesinde hücrelerin durumları

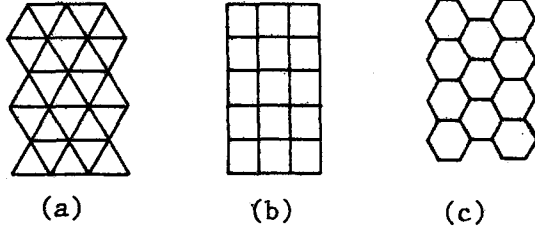
(a) bölünmeden önce

(b) bölünmeden sonra

1.6.4 Hücresel Geometri

a) Hücre yapısı : Bu bölümde, hücre yapısını ve hücresel sistemin çalışmasını anlamaya yardımcı olması için hücresel geometrinin temel özellikleri verilecektir. Bölüm 2.3'de ortak kanal girişimi problemini önlemek için kanal kullanımının yeterli bir ölçüde coğrafik sınırlamasının gerekli olduğu ifade edilmişti. Arzu edilen hücresel bir örnek alanda verici istasyonların uygun yerleştirilmesi ve yer istasyonu antenlerinin azimut kazanç örneklerinin uygun şekilde tasarımı gerekir.

Yer verici istasyonlarının düzensiz yerleştirilmesi ve şekilsiz (amorph) hücre yapıları uygulamada trafik büyümesine karşı uyumluluğu güçleştirir. Düzgün bir geometrik yapının olmayışı spektrumun verimsiz kullanılmasını ve cihazların ekonomik olmayan bir şekilde yayılmasını gerektirebilir. Halbuki bütün hücrelerin aynı şekilde olması tasarımı kolaylaştırır ve hücresel sistemin düzenini sağlamaya yardımcı olur. Bir "hücre", bir yer istasyonunun kapsadığı alan olarak düşünülür. Yöneltilmesiz (omni-directional) verici antenler kullanıldığında düşünülürse, her hücrenin kapsadığı alan, sabit işaret şiddeti için kabaca bir daire oluşturur. Her ne kadar yayılım açısından dairesel şekil tavsiye edilebilirse de tasarım açısından dairesel şekil pratik değildir, çünkü dairesel hücresel dizi, herhangi bir hücrede bulunmayan veya birçok hücrede birden yer alan belirsiz alanlar ihtiva eder. Öte yandan, herhangi bir düzgün çokgen mesela, eşkenar üçgen, kare ve düzgün altıgen şekiller, bir alanı arada boşluk bırakmaksızın ve üst üste çakışma olmaksızın kapsayabilir, Şekil 6.a,b,c.

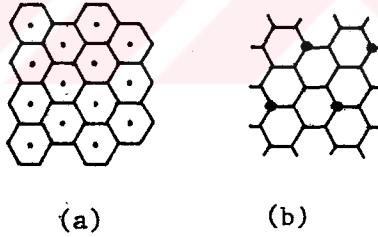


Şekil 6 Düzgün çokgen şeklindeki hücre yapıları

- (a) eşkenar üçgen
- (b) kare
- (c) düzgün altıgen

Ekonomik nedenlerden dolayı düzgün altıgen hücre şekli olarak seçilmiştir. Pratik bir sistemde hücrelerin gerçekleştirilmesi için iki türlü uyarma yapılabilir.

- (1) merkezleri hücre yerinde (cell-site) olan hücreler "merkezden uyarmalı" (center-excited),
- (2) "köşeden uyarmalı" (corner-excited), Şekil 7.a,b.



Şekil 7 (a) merkezden uyarmalı hücre yapısı
(b) köşeden uyarmalı hücre yapısı

Merkezden uyarmalı hücreler için her yöne yayın yapan (omnidirectional) antenler verici ve alıcı anten olarak kullanılır, 120°'lik üç sektörden her biri için de yönlü (directional) antenler köşeden uyarmalı sistemlerde kullanılır.

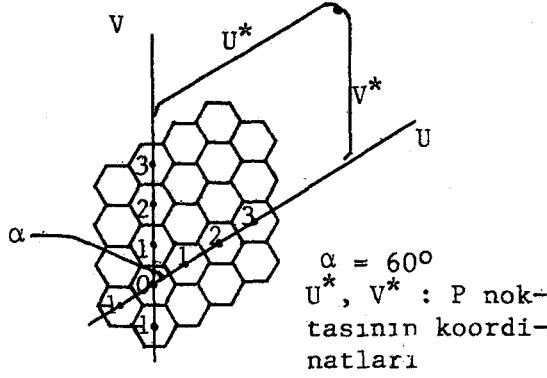
b) **Maximum hücre yarıçapı** : "Düşük fiyat" ve "iyi bir iletim kalitesi" arasında tatmin edici bir cevabı sağlamalıdır. Maximum hücre yarıçapı nihai sistem kapasitesi üzerinde dolaylı olarak etkilidir. Vericinin gücü düşük fiyat ve iyi bir iletim kapasitesinin optimizasyonunda önemli bir parametredir. Deneyler 16-18 dB'lik bir işaret gürültü oranının (signal/noise ratio, S/N) birçok dinleyici tarafından oldukça iyi veya mükemmel olduğunun ifade edildiğini göstermiştir.

c) **Minimum hücre yarıçapı** : Bu değer , hücre bölünmesinden sonraki yarıçaptır. Nihai sistem kapasitesi üzerinde önemli bir role sahiptir. Bu işlem komşu hücreler arasındaki mesafeyi yarıya indirir ve dolayısıyla hücre yarıçapı 2, hücrenin kapsam alanı ise 4 kat azalır.

d) **Ortak kanal tekrar kullanma oranı** : Bu oran Hata ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmanın esasına dayanır [28]. Hareketli bir abonenin kendi yer istasyonundan r kadar ve aynı frekansı kullanan istenmeyen (girişim yapan) yer istasyonundan da küçük d kadar uzakta olduğu kabul edilsin, D/R oranı hem iletim kalitesi hemde sistemin toplam kapasitesi üzerinde etkilidir. D/R oranını mümkün olduğu kadar küçük yapmak yüksek kapasite ve düşük fiyat imkânı sağlar. Öte yandan D/R oranını mümkün olduğu kadar büyük yapmak iletim kalitesini artırır. Frekansın tekrar kullanılma mesafesi Şekil 8'deki gibi bir koordinat eksenli sisteminden hesaplanabilir[29]. Bu sistemde koordinatları (x_1, y_1) ve (x_2, y_2) olan iki nokta arasındaki uzaklık,

$$d_{12} = [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{1/2} \quad (1)$$

dir. Hücre yarıçapı $R=1/\sqrt{3}$ 'dür. Frekansın tekrar kullanılma mesafesi demetteki hücre sayısı N ile de ilişkilidir. Şekil 9'da N hücreli (7-12-19) tekrar kullanma örneği ve kaydırma parametreleri gösterilmiştir. Buna göre, bir koordinat sisteminin merkezinde seçilen bir referans hücre ile merkezi $(x, y)=(i, j)$ 'de bulunan (i ve j kaydırma parametreleridir) yakın iki ortak kanal hücrelerinin merkezleri arasındaki D mesafesi,



Şekil 8 Altıgen hücreli geometri için uygun bir koordinat eksenini

$$D = (1^2 + ij + j^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

ile hesaplanır. Bir demetteki toplam hücre sayısı N , (2) eşitliğindeki faktörün karesidir, yani,

$$N = 1^2 + ij + j^2 \quad (3)$$

dir. Yukarıdaki (2), (3) ve $R=1/\sqrt{3}$ eşitliklerinden ortak kanal tekrar kullanma oranı ve bir demetteki hücre sayısı arasındaki bağıntı,

$$D/R = (3N)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

elde edilir.

1.6.5 Hücreli Hareketli Sistemde Telefon Trafığı

Bu bölümde trafik teorisinden bilinen "tıkanan çağırma" kaybı esasına göre çalışan hücreli sistemlerdeki zaman tıkanıklığı için trafik formülleri verilecektir. Sistemin Bölüm 2.4'te verilen frekansın tekrar kullanılma oranı mesafesini koruyan altıgen hücrelerden meydana geldiği kabul edilmiştir.

1.6.5.1 Analiz metodu : Trafik analizinde tamamen rastgele trafiğin kullanıldığı ve meşgul etme süresinin de negatif üstel bir dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Hücresel sistemde üç tip arama şekli vardır, bunlar 1) sabit aboneden hareketliye, 2) hareketliden sabit aboneye ve 3) hareketliden hareketliye olan arama şekilleridir. İlk iki tip arama şekli tek bir kanalın kullanılmasını gerektirir. Bu arama şekli aynı hücrede olmayan başka bir hareketliyle olan konuşma şeklini de kapsar. Teletrafik analizinde bu tür konuşmaların sayısı 'x' ile gösterilmektedir. İkinci tip aramalar ise ikisi de aynı hücrede bulunan bir çift hareketliyi kapsar, bu tip aramalar iki frekans kanalı kullanmayı gerektirir. Bunların sayısı ise 'y' ile gösterilir. x ve y istatistiksel olarak bir birinden bağımsızdırlar. P(x) ve Q(y) ayrık ihtimal yoğunluğu fonksiyonları olmak üzere bir ve iki kanallı aramaların ortak ihtimali,

$$T(x,y) = P(x)Q(y) \quad (5)$$

ile verilir. Hareketli abonelerin sayısı M'nin veya frekans kanallarının sayısı C'nin ya da sonlu olduğu durumlarda x ve y'nin mümkün değerleri için ortak ihtimal yoğunluğu, toplamı 1 olacak şekilde s bir skala faktörü olmak üzere,

$$T(x,y) = \begin{cases} sP(x)Q(y) & 0 \leq x+2y \leq C \text{ ise} \\ 0 & \text{bu aralığın haricinde} \end{cases} \quad (6)$$

şeklinde verilebilir. Sistemde elde edilebilir bir kanal olmadığında gelen bir kanallı aramalar tıkanır. Elde edilebilir sadece bir kanal varken veya hiç kanal yok ise gelen iki kanallı aramalar tıkanır.

1.6.5.2 Kanal tahsis şekillerine göre hücresel sistemler:

Kanal tahsis şekillerine göre sistemler üç grupta incelenir. Bunlar sabit, değişken (dynamic) ve ikisinin bileşimi olan karma (hybrid) sistemlerdir[64].

Sabit Kanal Tahsisli Sistemler : Bu sistemlerde bütün sistem için elde edilebilir frekans kanallarının bir alt takımı her bir hücreye tahsis edilir. Bu durumda her hücre, sistem sanki tek hücreli imiş gibi birbirinden yalıtıldığı göz önüne alınarak trafik incelemesi yapılabilir. Sabit kanal tahsisinde kayıplı ve gecikmeli durumlar söz konusudur. $A = A_1 + A_2 + A_3$ toplam trafik, C toplam kanal sayısı ve X devam eden konuşmaların sayısı olmak üzere sonsuz sayıda hareketlinin olması halinde 1 ve 2 kanallı aramalar için tıkanma formülleri,

$$B_1 = B_2 = \frac{A^{C/2}}{\sum_{x=0}^C A^x / x!} \quad B_3 = \frac{(A/2)^{C/2} / (C/2)!}{\sum_{x=0}^{C/2} (A/2)^x / x!} \quad (7)$$

ile verilir. Sonlu sayıda hareketlinin olması durumunda kaybolan aramalar ($a = a_1 + a_2 + a_3$), herbir serbest hareketli için istenen trafik, M hareketli abone sayısı ve C kanal sayısı olmak üzere,

$$B_1 = B_2 = \frac{\binom{M}{C} a^C}{\sum_{x=0}^C \binom{M}{x} a^x} \quad B_3 = \frac{\binom{M/2}{C/2} a^{C/2}}{\sum_{x=0}^{C/2} \binom{M/2}{x} a^x} \quad (8)$$

(7) ve (8) eşitlikleri Engset formülleridir, ancak iki kanallı aramalar için kanal sayısı ve hareketli sayısı yarıya inmiştir.

Değişken Kanal Tahsisli Sistemler : Değişken kanal tahsisli çok hücreli bir sistemde elde edilebilir herhangi bir kanal hücrelerden herhangi birinde kullanılabilir. Bunun tek istisnası, bir hücrede veya onun etrafındaki ara bölgede o frekansın kullanılmamakta olmasıdır. x bir kanallı ve y iki kanallı aramaların ihtimali yaklaşık olarak,

$$T(x,y) = \begin{cases} sF(x+2y)P(x)Q(y) & 0 \leq x+2y \leq C \text{ ise} \\ 0 & \text{bu aralığın haricinde} \end{cases} \quad (9)$$

ile verilir. Bir kanallı aramalar için tıkanma ihtimali,

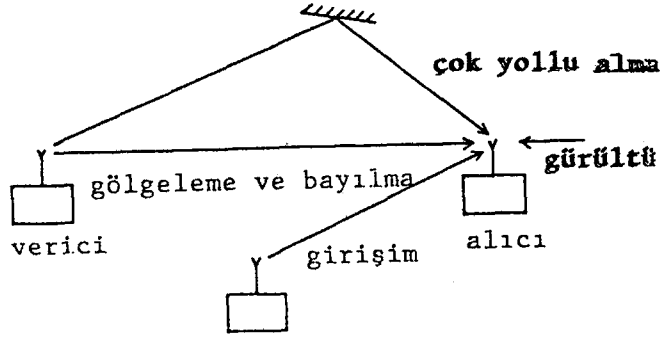
1.7. HAREKETLİ RADYO YAYILIMI

1.7.1 Hareketli Radyo Yayılımı Problemi

Hareketli radyo ortamında arazi yapısının engebeli oluşu, insan yapısı binaların değişik şekilleri, iklim değişiklikleri ve bitki örtüsündeki değişiklikler yayılım kaybının tahminini çok güçleştirir. Bunlara ilave olarak, işaret araç hareket halindeyken alınmaktadır. Dolayısıyla bu problemin kolay bir analitik çözümü yoktur. İstatistik ve elektromagnetik teorinin birleştirilmesi yayılım kaybının tahmin edilmesine büyük ölçüde yardımcı olur [60]. Enerjinin bir hareketliye iletilmesinde başlıca yollardan olan yansıma ve kırılma genellikle birbirinden ayırd edilemezler. O yüzden bu kayıpları topluca saçılım (scatter) veya gölgeleme (shadow) kayıpları diye isimlendirmek mümkündür [67]. Çalışmalar, saçılımın, genlikleri uzayda Rayleigh dağılımı gösteren alanlar meydana getirdiğini göstermiştir. Lokal istatistikler Rayleigh dağılımı gösterirken "lokal ortalama", yeryüzünün şeklinden ve diğer engellerden dolayı değişkendir.

Hareketliden yer istasyonuna iletim yolları, arasıra oluşan direkt görüş hattından (line of sight) ve geniş yeryüzü engellerinden ileri gelen son derece gölgelenmiş yollara kadar değişebilir. Şekil 10, radyo iletimindeki bozulmaları basit bir şekilde göstermektedir. Genellikle, kolaylık sağlanması için, oldukça basitleştirilmiş bulunan belirli şartlar altında iki anten arasındaki yol kaybı tam olarak hesaplanabilir. Bu bölümde görüş hattı antenlerinin yol kaybı, düzlem yeryüzünde iletim, yol üzerindeki engellerden dolayı kırınım kayıpları incelenmiştir. Şüphesiz yağmur, su buharı ve atmosferdeki oksijen gibi iletimi zayıflatan diğer faktörler de vardır.

Yoğun şekilde binalarla kaplı alanlarla şehirlerin kenar bölgeleri arasında saçılım kayıpları bakımından önemli ölçüde farklar olduğu görülmüştür. Anten yükseklikleri, mesafe ve frekans her iki durumda yayılımı etkilemektedir. Şehir içinde binalar, gölgeleme kayıplarını kuvvetli bir şekilde etkiler ve enerjiyi caddelere paralel yönlendirir.



Şekil 10 Radyo iletiminde bozulmalar.

Engelibeli arazi üzerindeki ölçmeler ise inişli-yokuşlu tepeler, meyiller, kara-deniz arasındaki iletim yollarında, tünellerde ve altgeçitlerde iletim, ağaç yapraklarının iletme etkileri incelenmiştir.

Alınan işaretin lokal ortalamasının istatistiksel gösterilimi bir yer istasyonunun kapsam alanının (coverage area) ve ortak kanal girişiminin (co-channel interference) tahmininde önemlidir. İşaretin lokal ortalaması, ortalamanın ve varyansın ortama bağlı olduğu, lognormal bir dağılım gösterir.

1.7.2 Tanımlar :

Bu bölümde antenler ve yayılımla ilgili bazı tanımlar verilecektir. VHF ve UHF bandlarının iki-yönlü hareketli radyo haberleşmesi için uygun olduğu bilinmektedir. 1 GHz'in altındaki frekanslarda antenler normalde bir tel veya bir transmisyon hattı ile vericiye kuple edilen uygun uzunlukta dizi olabilir. Dalga boyuna ve dizinin boyutlarına göre büyük mesafeler için mesafe artıka serbest uzayda alan

şiddeti azalır ve uzay açısının fonksiyonu olarak alan şiddetinin değişiminin çizimi antenin ışınma diyagramı olarak bilinir. Buna göre bir antenin yönelticiliği (directivity,D)

$$D = \frac{\text{maximum ışınlama yönünde d mesafesindeki güç yoğunluğu}}{\text{d mesafesindeki ortalama güç yoğunluğu}}$$

olarak tanımlanır. Sistem tasarımcısı açısından ise terminal gücü ve güç kazancı;

$$G = \frac{\text{maximum ışınma yönünde d mesafesindeki güç yoğunluğu}}{P_T/4\pi d^2}$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada,

P_T : Antene verilen güçtür.

P_T ve G verilince, maximum ışınma yönünde bulunan uzak alanda herhangi bir noktada güç yoğunluğu hesaplanabilir. İzotropik yani bütün yönlerde aynı şekilde ışınlayan bir antenin güç kazancı 1'dir. Güç kazancının diğer bir tanımı, maximum ışınma yönündeki güç yoğunluğunun aynı gücü yayınlayan izotropik antene oranı şeklinde verilebilir. Meselâ, bir $\lambda/2$ dipolünün güç kazancı dipole dik doğrultuda 1.64 (2.15 dB)'dir ve antenin alıcı veya verici olarak kullanıldığına bakılmaksızın bu rakam aynıdır.

Diğer önemli bir kavram ise, özellikle alma modundaki antenler için kullanılan "etkin alan" dır (effective area). Bir alıcı antenin uçlarından alınan güç, elektromagnetik dalganın taşıdığı birim alan başına güç ile etkin alanın çarpımıdır, yani $P=W.A$ 'dır.

Bir antenin etkin alanı ile güç kazancı arasındaki bağıntı ise

$$A = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (11)$$

şeklindedir.

1.7.3 Serbest Uzayda Yayılım

Serbest uzay iletim yolu, bir boşlukta (vakumda) veya ideal atmosferde enerjiyi yutan (absorb) veya yansıtan bütün nesnelere yeteri kadar uzaklaştırılmış doğrusal bir yoldur. Bir verici anten serbest uzayda, yani yerden veya herhangi bir engelden uzakta yerleştirilmişse ve alıcı anten yönünde kazancı G_T ise, seçilen yönde d mesafesindeki güç yoğunluğu (birim alan başına güç);

$$W = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (12)$$

dir. Etkin alanı (effective area) A olan bir alıcıda elde edilebilir güç ise

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \cdot A = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi} \quad (13)$$

dir. Burada,

G_R : Alıcı antenin kazancıdır.

Alınan gücün yayınlanan güce oranından

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (14)$$

Bu temel bağıntı "serbest uzay" veya Friis denklemi diye bilinir. Aynı bağıntı $c=f \cdot \lambda$ (yayılım hızı, frekans ve dalga boyu) bağıntısından

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{c}{4\pi d f} \right]^2$$

şeklinde de yazılabilir.

Yayılım kaybını (veya yol kaybını) dB cinsinden ifade etmek uygun olduğundan

$$L_F = 10 \log \frac{P_R}{P_T} \quad (15)$$

$$= 10 \log G_T + 10 \log G_R - 20 \log f - 20 \log d + k$$

yazılabilir. Burada $k=20\log(3 \cdot 10^8/4\pi)=147.6$ dB sabittir. Bazen de yol kaybını izotropik antenler arasındaki temel yol kaybı ile karşılaştırmak kullanışlı bir yoldur. Öyle ki

$$L_B(\text{dB}) = -32.44 - 20 \log f(\text{MHz}) - 20 \log d(\text{km}) \quad (16)$$

(14) Eşitliği serbest uzay yayılımının d mesafesi ile ters kare kanununa uyduğunu gösterir, öyle ki mesafe iki katına çıktığında güç 6 dB azalır (veya 20 dB/dekad azalır). Benzer şekilde yol kaybı iletim frekansının karesi ile artar, frekans iki katına çıkarsa kayıplar gene 6 dB artar. Bu kaybı telafi etmek için yüksek kazançlı antenler kullanılabilir. Bu, VHF bandında noktadan noktaya sabit linkler için bir çözüm olabilir. Fakat yöneltmesiz (omni-directional) kapsamın gerekli olduğu VHF ve UHF hareketli linkleri için çözüm değildir.

Bazı durumlarda da, güç yoğunluğundan ziyade, bir verici antenden belli bir mesafede elektrik alan şiddetini yazmak daha uygundur. Alan şiddeti ve güç yoğunluğu arasındaki bağıntı $W=E^2/\eta$ dir. Burada η , serbest uzayın karakteristik dalga empedansı diye bilinir ve 120π (veya $\approx 377 \Omega$) dir. Böylece (12) eşitliği yeniden yazılırsa,

$$\frac{E^2}{120\pi} = \frac{P_T G_T}{4\pi d^2} \quad (17)$$

elde edilir ki,

$$E = \frac{(30P_T G_T)^{1/2}}{d}$$

elde edilir. Empedans uygunluğu sağlanmış bir alıcının uçlarına verilebilecek maximum faydalı güç ise,

$$P = \frac{E^2 \cdot A}{\eta} = \frac{E^2 \cdot \lambda^2 \cdot G_R}{120\pi \cdot 4\pi} = \left[\frac{E \lambda}{2\pi} \right]^2 \frac{G_R}{120} \quad (18)$$

ifadesi ile elde edilir.

1.7.4 Bir Yüzeyden Yansıyarak Yayılım

Serbest uzay yayılımı eşitliği sadece çok sınırlı şartlar altında uygulanabilir; pratikte hemen hemen daima yayılım yolunda veya yolundaki yüzeylerden radyo dalgalarının yansıyacağı engeller vardır. Bunlardan çok basit fakat pratikte ilgi çekici olanı, yeryüzünün üstünde birbirinin görüş hattı içinde bulunan iki yüksek anten arasındaki yayılımdır. Burada iki durum söz konusu olabilir. Birincisi, hücrenel yansıtan bir yüzey üzerinden yayılım, diğeri ise, antenler arasındaki mesafe yerin eğriliğini hesaba katmayacak kadar kısa ise, yansıtan yüzey düz kabul edilebilir. Bu durumlarda alınan işaret direkt ve yerden yansıyan dalgalardan meydana gelir. Sonucu belirleyebilmek için yansımaya katsayısının bilinmesi gerekir.

1.7.4.1 Yerin Yansımaya Katsayısı

Yerden yansıyan dalganın genliği ve fazı yansımaya noktasında yerin yansımaya katsayısına bağlıdır ve yatay (horizontal) ve düşey (vertical) kutuplama için farklıdır. Pratikte yer, ne mükemmel iletken ne de mükemmel dielektriktir ve yansımaya katsayısı yer sabitlerine bağlıdır (özellikle dielektrik sabiti ϵ ve iletkenlik σ).

Yerin yüzeyine gelen yatay kutuplanmış bir dalga için (son derece düz olduğu varsayılıyor) yansımaya sabiti

$$\rho_y = \frac{\sin \psi - [(\epsilon/\epsilon_0 - j\sigma/\omega\epsilon_0) - \cos^2 \psi]^{1/2}}{\sin \psi + [(\epsilon/\epsilon_0 - j\sigma/\omega\epsilon_0) - \cos^2 \psi]^{1/2}}$$

ile verilmiştir. Burada

ω : iletimin açısal frekansı,

ϵ_0 : Serbest uzayın dielektrik sabitidir.

Yerin bağıl dielektrik sabiti ϵ_r , yukarıdaki eşitlikte yerine konursa

$$\rho_y = \frac{\sin \psi - [(\epsilon_r - j\kappa) - \cos^2 \psi]^{1/2}}{\sin \psi + [(\epsilon_r - j\kappa) - \cos^2 \psi]^{1/2}} \quad (19)$$

elde edilir. Burada ise $\kappa = (\sigma / \omega \epsilon_0) = 18 \cdot 10^9 \sigma / f$ dir. Düşey kutuplama için aynı ifade

$$\rho_d = \frac{(\epsilon_r - j\kappa) \sin \psi - [(\epsilon_r - j\kappa) - \cos^2 \psi]^{1/2}}{(\epsilon_r - j\kappa) \sin \psi + [(\epsilon_r - j\kappa) - \cos^2 \psi]^{1/2}} \quad (20)$$

eşitliği ile verilir. Bu iki ifadeden yansıma katsayıları ρ_y ve ρ_d 'nin karmaşık (complex) oldukları ve yansıyan dalganın genlik ve faz bakımından gelen dalgadan farklı olacağı görülmektedir. (19) ve (20) eşitliklerinin incelenmesi oldukça ilgi çekici farklılıklar ortaya koyar. Yatay kutuplama için gelen ve yansıyan dalgaların bağıl fazı, bütün geliş açıları için 180° 'ye yakındır. ψ 'nin çok küçük değerleri için (19) eşitliği bütün frekanslar ve bütün yer iletkenliklerinde, yansıyan dalga, gelen dalga ile aynı genlikte ve 180° faz farklıdır. Öte yandan çok küçük geliş açısı için;

$$\rho_y = | \rho_y | / \theta = 0^\circ = 1 \text{ ve } \rho_y = | \rho_y | / \theta = 180^\circ = -1 \quad (21)$$

dir. Geliş açısı artarsa $| \rho_y |$ ve θ nisbeten küçük miktarlarda değişir. Yüksek frekanslarda ve yerin iletkenliği zayıf ise değişiklik en yüksek değerini alır.

Düşey kutuplama için sonuçlar oldukça farklıdır. Çok küçük geliş açıları arasında yatay ve düşey kutuplama arasında fark yoktur ve (21) eşitliği halâ geçerlidir. Bununla birlikte ψ arttığında önemli değişiklikler farkedilir. ψ artarken yansıyan dalganın genliği ve bağıl fazı süratle azalır ve sahte-Brewster (pseudo-Brewster) açısı denilen bir açıda genlik minimum olur ve faz -90° 'ye erişir. ψ 'nin Brewster açısından büyük değerlerinde $| \rho_d |$ tekrar artar ve faz sifıra doğru yönelir.

Tablo 1 ρ 'nun değerini etkileyen yer sabitlerinin tipik değerlerini verir. Goller ve denizler üzerindeki yansımada sabitleri σ ve ϵ_r 'nin değerlerinin yüksek olmasından dolayı oldukça farklıdır.

(21) eřitlięi, özellikle deniz suyu üzerinde yatay kutuplama için geęerlidir fakat dūşey kutuplama için ρ , -1'den çok farklı olabilir.

Tablo 1 Yer sabitlerinin tipik değerleri

Yüzey	iletkenlik σ (Siemens)	Dielektrik sabiti ϵ_r
Zayıf yer (kuru)	0.001	4 - 7
Ortalama yer	0.005	15
iyi yer (ıslak)	0.02	25 - 30
Deniz suyu	5	81
Tatlı su	0.01	81

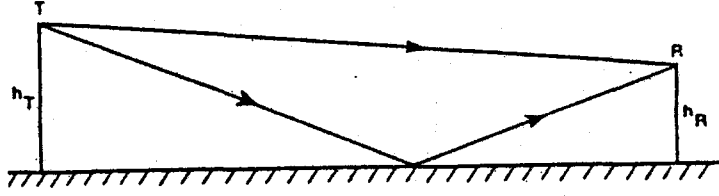
1.7.4.2 Düzlemsel Yüzeyden Yansıyarak Yayılım

Bir kaç on km'den daha az mesafeler için genellikle yerin yuvarlaklığı ihmal edilebilir ve Şekil 11'deki gibi yüzey pürüzsüz ve düz kabul edilebilir. Ayrıca, geliş açısının çok küçük olduğu kabul edilsin öyle ise $\rho = -1$ 'dir ve direkt dalga E_d 'den dolayı alıcı antende alınan toplam alan şiddeti

$$E = E_d[1 - \exp(-j \Delta\phi)] = E_d[1 - \cos \Delta\phi + j \sin \Delta\phi] \quad (22)$$

Buradan

$$\begin{aligned} |E| &= |E_d| [1 + \cos^2 \Delta\phi - 2 \cos \Delta\phi + \sin^2 \Delta\phi]^{\frac{1}{2}} \\ &= 2 |E_d| \sin \frac{\Delta\phi}{2} \end{aligned}$$



Şekil 11 Düzlem yeryüzü üzerinden yayılım.

Burada $R=R_2-R_1$ yol farkından dolayı faz farkı

$$\Delta \phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta R = \frac{4\pi h_T h_R}{\lambda d} \text{ dir ve}$$

$$|E| = 2|E_d| \sin\left\{\frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d}\right\} \text{ olur.}$$

Alınan güç P_R , E^2 ile orantılıdır, o halde

$$P_R \approx 4|E_d|^2 \sin^2\left[\frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d}\right]$$

$$P_R = 4P_T \left[\frac{\lambda}{4\pi d}\right]^2 G_T G_R \sin^2\left[\frac{2\pi h_T h_R}{\lambda d}\right] \quad (23)$$

Eğer $d \gg h_T, h_R$ ise (23) eşitliği

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left[\frac{h_T h_R}{d^2}\right]^2 \quad (24)$$

şeklini alır. (24) eşitliği düzlem-yerin yayılım denklemi adıyla bilinir. Bu ifade, (14) eşitliği ile verilmiş serbest uzay bağıntısından iki önemli noktada farkeder. Birincisi, $d \gg h_T, h_R$ kabulünün sonucu olarak, $\Delta\phi$ açısı küçük ve (24) eşitliğinde λ bulunmamakla frekanstan bağımsız hale gelir. İkincisi, (24) eşitliği mesafe ile dördüncü dereceden ters orantı kanununa uyar, halbuki (14) eşitliği ters karesel orantı kanununa uymaktaydı. Bu, mesafe ile alınan güçte daha çabuk bir azalma demektir ve bu durumda

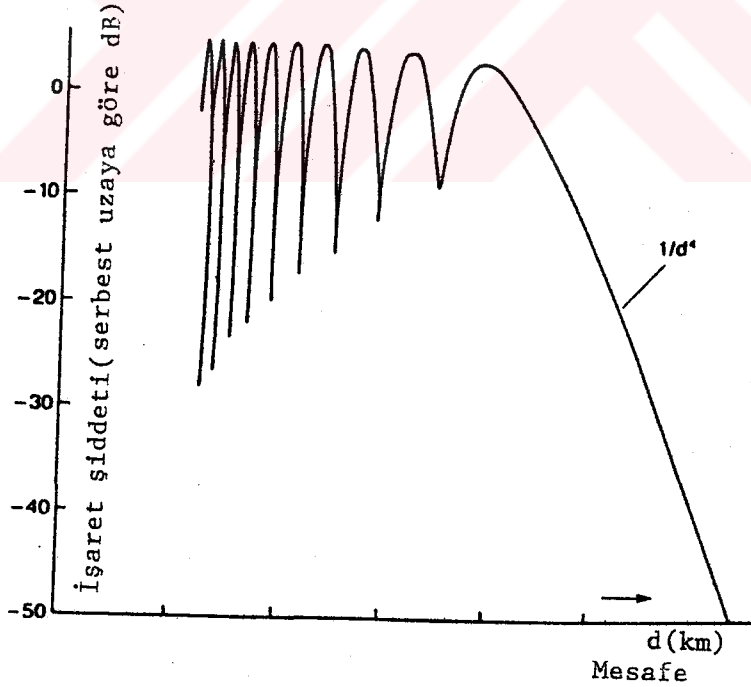
mesafenin iki katına çıkmasıyla güç 12 dB azalacaktır. Yalnız (24) eşitliğinin $d \gg h_T, h_R$ kabulünün geçerli olduğu aralıkta uygulanabileceğini belirtmek gerekir. Şekil 12, alan şiddetindeki maximum ve minimumları gösterir. (24) eşitliği uygun logaritmik şekilde

$$L_p = 10 \log G_T + 10 \log G_R + 20 \log h_T + 20 \log h_R - 40 \log d \quad (25)$$

yazılabilir ve (16) eşitliği ile karşılaştırıldığında izotropik antenler arasındaki "temel kayıp" (basic loss) ifadesi

$$L_B = 20 \log h_T + 20 \log h_R - 40 \log d \quad (26)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 12 Bir yansıtıcıdan yansıyan işaretin şiddetinin mesafe ile değişmesi

1.7.4.3 Atmosferin Etkisi

Atmosferin, troposfer diye bilinen alt kısmı, sıcaklığın yükseklikle azalmaya yöneldiği bölgedir. Troposfer, tropopauz adı verilen bir sınırla stratosferden ayrılır ve bu bölgede havanın sıcaklığı yükseklikle sabit kalır. Genel olarak tropopauzun yüksekliği kutuplarda yaklaşık 9 km'den ekvator da ise yaklaşık 17 km'ye kadar değişir. Tropopauzun yüksekliği, aynı zamanda atmosferik şartlarla da değişir. Meselâ; orta enlemlerde yüksek basınç alanlarında 13 km'ye erişirken, alçak basınç alanlarında 7 km'nin altına iner.

30 MHz'in üstündeki frekanslarda bahse konu olabilecek üç etki vardır. Birincisi lokal kırılma indisi değişimleri ki saçılma sebep olabilir; ikincisi, yüksekliğin fonksiyonu olarak kırılma indisindeki ani değişiklikler yansımaya sebep olabilir. Son olarak, daha karmaşık ve oluklama(ducting) adı verilen bir olay meydana gelebilir. Eğilmeler (ducts), yeryüzeyine yakın (yüzey oluklaması) veya yerin yaklaşık 1500 m üzerinde (yükseklik oluklaması) şeklinde oluşabilir. Uzun mesafeli bir yayılım elde edebilmek için verici ve alıcı antenlerin her ikisi de oluklama alanı içinde etkin bir çift teşkil edecek şekilde yerleştirilmelidir. Oluklamaların kalınlığı birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar değişir. Maximum dalga boyu ile oluklama kalınlığı t arasındaki bağıntı iyi bir yayılma için $t=500\lambda^{2/3}$ dür.

Troposferin iklim şartlarındaki değişiklikler, sıcaklığın, basıncın ve nemin değişimi, havanın kırılma indisinde değişikliğe sebep olur. Kırılma indisindeki büyük çaplı değişiklikler radyo dalgalarının kırılmasına sebep olur ve bu etki bütün frekanslarda, düşük yükselme açılarında oldukça önemli olabilir. Atmosferik etkiler içerisinde, kırılma, VHF ve UHF'de noktadan-noktaya sistemlerde en çok etkisi olandır.

İdeal atmosferin dielektrik sabiti 1 ve absorpsiyonu sıfırdır. Gerçekte ise havanın dielektrik sabiti 1'den büyüktür, ve havanın ve su buharının basınç ve sıcaklığına bağlıdır. Dielektrik sabiti hava şartları ve yerden

yükseklikle değişir. Her zaman değilse de normalde artan yükseklikle azalır.

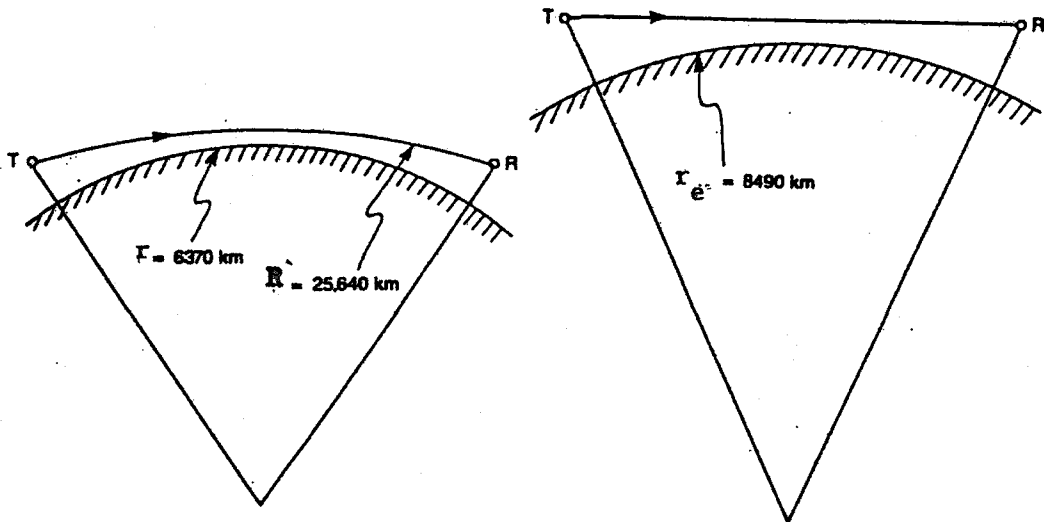
Atmosferin kırılma indisi deniz seviyesinde birden yaklaşık $300/10^6$ kadar farkeder ve yükseklikle yaklaşık olarak üstel (exponential) olarak azalır. Kırılma genellikle N birim olarak $N=(n-1)10^6$ ile ifade edilir. Burada atmosferin kırılma indisi n , $n=(1+300.10^{-6})$ ile verilir ve N için yaygın olarak kullanılan değer

$$N = \frac{77.6}{T} \left[P + \frac{4810e}{T} \right] \quad (27)$$

ile verilir ki, P =toplam basınç (milibar), e =su buharı basıncı (milibar) ve T =mutlak sıcaklıktır. Eğer $P=1000$ mb, $e=10$ mb ve $T=290^\circ$ ise $N=312$ elde edilir. Pratikte, P, e ve T yükseklikle üstel olarak azalır, dolayısıyla N de azalır. h yüksekliğinde N 'nin değeri yeryüzeyindeki değerine (N_S) bağlı olarak

$$N(h)=N_S \exp(-h/H) \quad (28)$$

ile verilir. Burada H , bir ölçek yüksekliğidir ve genellikle 7 km alınır. Şekil 13, 8490 km'lik $(6370 \times 4/3)$ etkin yer yarıçapının görüş hattı yayılım yolunu göstermektedir.



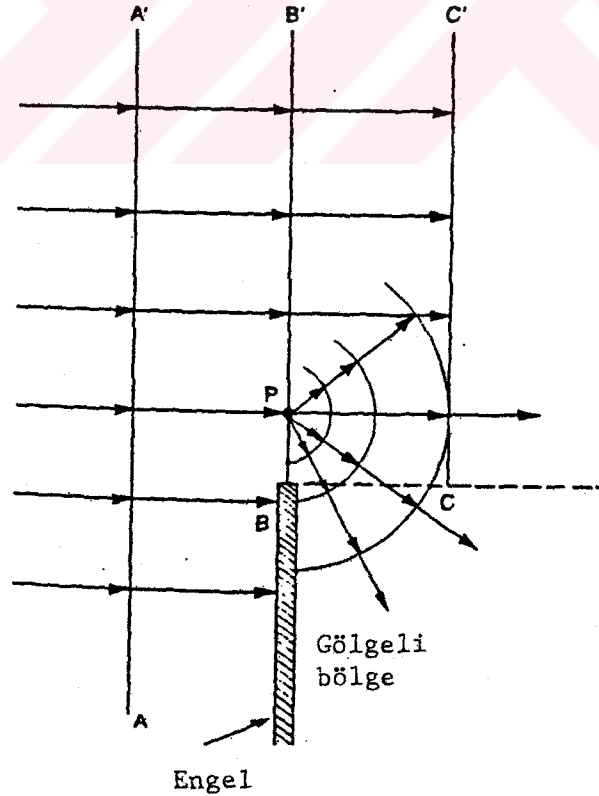
Şekil 13 Etkin yer yarıçapı ve düz-doğru yayılım yolları.

1.7.5 Engelibeli Arazide Yayılım

Uygulamada, yer radyo haberleşmelerinin en elverişsizleri arasında yer hareketli radyo kanalları gelir. Yol kaybı genellikle, serbest-uzay veya düzlem-yeryüzü yol kayıplarını birkaç on dB aşar ve son derece değişkendir. Alıcı düzgün olmayan bir arazide ve/veya binalar arasında hareket ettiğinden düzensiz bir şekilde rastgele değişir. Çeşitli şekillerde elektriksel cihazların ürettiği ortam gürültüsü kanalı tamamen kesintiye uğratabilir. Bu gürültü kısa sürelidir ve "insan yapısı" gürültü diye adlandırılır.

1.7.5.1 Yeryüzündeki Engellerden Dolayı Kırınım

Şekil 14'de görüldüğü gibi engelin ötesinde (engelin nüfuz edilemez olduğu veya mükemmel yutucu olduğu kabul ediliyor) sadece yarı sonsuz bir CC' dalga cephesi mevcuttur.



Şekil 14 Bir engelin kenarından kırınım.

Işık ışınlarının yayılımı teorisinden, BC kesikli çizgisinin altındaki gölgeli bölgede elektromagnetik alan mevcut olmadığı sonucuna varılır, fakat Huygens prensibine göre BB'doğrusu üzerinde bütün noktalardan başlayan yeni dalgalar, örneğin P noktasından, gölgeli bölgeye doğru yayılır ve bu bölgede herhangi bir noktadaki alan, bu yeni dalgaların girişiminin sonucu olacaktır. Engelin kenarında açıkça görülen radyo dalgalarının bükülmesi kırınım olarak bilinir. Şekil 15'deki gibi serbest uzayda bir verici T, bir alıcı R ile gösterilsin. T ile R arasında herhangi bir noktada görüş hattına dik bir düzlem düşünölsün. Bu düzlemde keyfi yarıçaplı eşmerkezli daireler oluşturulsun. Bu daireler üzerinde herhangi bir noktadan geçerek T'den R'ye yayılan bir dalganın TOR yolundan daha büyük bir yol katedeceği açıktır. Şekil 16'den göröleceği gibi bu yol farkı $h \ll d_1, d_2$ kabulü ile

$$\Delta = \frac{h^2(d_1+d_2)}{2d_1d_2} \quad (29)$$

eşitliği ile verilir. Faz farkı ise

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{h^2}{2} \cdot \frac{d_1+d_2}{d_1d_2} \quad (30)$$

dir ve genellikle v parametresiyle

$$\phi = \frac{\pi}{2} v^2 \quad (31)$$

şeklinde yazılır, burada

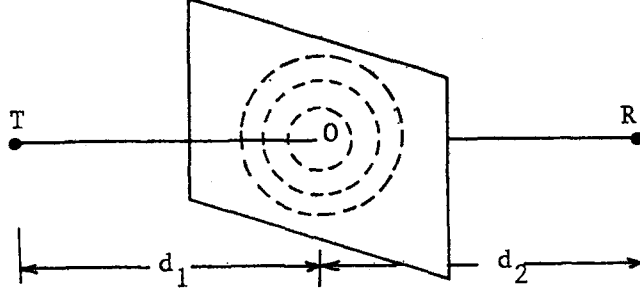
$$v = h \left[\frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1d_2} \right]^{1/2} \quad (32)$$

dir ve Fresnel-Kirchoff kırınım parametresi olarak bilinir. Aynı yaklaşıklık kullanılarak

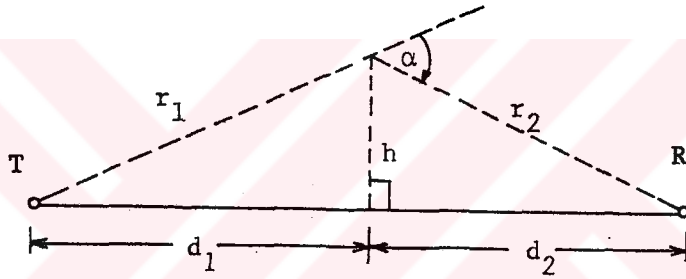
$$\phi = \frac{\pi a^2}{\lambda} \cdot \frac{d_1d_2}{d_1+d_2} \quad (33)$$

ve

$$v = \alpha \left[\frac{2d_1d_2}{\lambda (d_1+d_2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (34)$$



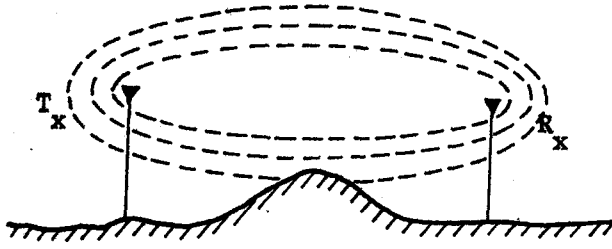
Şekil 15 Fresnel bölgelerinin sınır daireleri.



Şekil 16 Bıçak-ağızlı kırınım geometrisi.

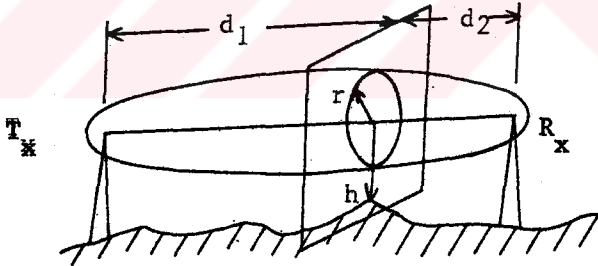
1.7.5.2 Fresnel Bölgesi Elipsleri

Şekil 15'e dönülecek olursa O'dan geçen düzlemde, T'den R'ye olan toplam yol uzunluğu her bir daire için TOR'dan $n \lambda / 2$ kadar daha uzundur (n bir tamsayı). En içteki daire $n=1$ durumunu gösterir ki yol uzunluğu fazlalığı $\lambda / 2$ dir. Diğer daireler, $3 \lambda / 2$ v.s. için çizilebilir. "Fazlalık" yol uzunluğu yarım dalgaboyunun bir tamsayı katı olan noktaların geometrik yeri Şekil 17'de görülen elipsoidler oluşturur. $n=1$ ile tanımlanan elipsin meydana getirdiği hacim, birinci Fresnel bölgesi diye isimlendirilir. $n=2$ ile belirlenen elipsin meydana getirdiği hacim ise ikinci Fresnel bölgesidir.



Şekil 17 ilk üç Fresnel bölgesi elipsleri.

Ard arda gelen Fresnel bölgelerinin alma noktasında alan şiddetine katkısı zıt fazlı olmaya yönelir ve birbirinin etkisini artırmak yerine yok etme yönünde girişim yaparlar. Eğer gerçekten T ile R arasında bir noktaya engelleyici bir ekran yerleştirilirse ve birinci Fresnel bölgesinin açıklık yarıçapı ikinci Fresnel bölgesinin sınırına kadar, oradan üçüncü Fresnel bölgesine kadar v.s. artırılırsa R'deki alan şiddeti osilasyona gelir. Osilasyonun genliği derece derece azalacaktır, çünkü gittikçe azalan miktarlardaki enerji daha dıştaki bölgeler yoluyla yayılır. Şekil 18'deki h/r oranına Fresnel açıklık oranı denir.



Şekil 18 Fresnel açıklık oranının (h/r) gösterilmesi.

1.7.5.3 Kırınım Kayıpları

T ile R arasına ideal, düz ve mükemmel yutucu bir ekran konulduğunda, ekranın tepesi görüş hattının oldukça altında ise çok az bir etkisi olacaktır. R'deki alan şiddeti serbest uzayın alan şiddeti E_0 'a eşit olacaktır. Ekranın yüksekliği arttıkça alan şiddeti osilasyona başlayacak ve böylece görüş hattının altında daha çok Fresnel bölgesini engelleyecektir. Engelleyici kenar T ile R arasındaki doğrultuya gelinceye kadar osilasyonun genliği artar, tam bu noktada alan şiddeti

engel yokkenki değerin tam yarısı olur, yani kayıp 6 dB'dir. Yükseklik bu değerin üstünde artmaya devam ettiğinde osilasyon kesilir ve alan şiddeti düzgün bir şekilde azalır. Bıçak-ağzı kırınım terimi bütün yer yansımalarının ihmal edildiği durumu tanımlar. Şekil 16'da R noktasında alan şiddeti bütün ikincil Huygens kaynaklarının engelin üstündeki düzlemdeki toplamıdır ve (35) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{(1+j)}{2} \int_v^{\infty} \exp(-j \frac{\pi}{2} t^2) dt \quad (35)$$

Bu eşitlik karmaşık Fresnel integrali diye bilinir ve v , incelenen engelin yüksekliği için (32) eşitliği ile verilen değerdir. Burada iki durum söz konusu olabilir, eğer engel görüş hattının altında ise h ve v negatiftir, yol gerçekten engellenmiş ise şekil 19'da görüldüğü gibi h ve v pozitiftir. (35) eşitliği,

$$\int_v^{\infty} \exp(-j \frac{\pi}{2} t^2) dt = \int_v^{\infty} \cos(\frac{\pi}{2} t^2) dt - j \int_v^{\infty} \sin(\frac{\pi}{2} t^2) dt$$

ve

$$\int_v^{\infty} \cos(\frac{\pi}{2} t^2) dt = \frac{1}{2} - \int_0^v \cos(\frac{\pi}{2} t^2) dt$$

dir ve genellikle $(1/2)-C(v)$ şeklinde yazılır. Benzer şekilde

$$\int_v^{\infty} \sin(\frac{\pi}{2} t^2) dt = \frac{1}{2} - S(v)$$

yazılabilir. Karmaşık Fresnel integrali

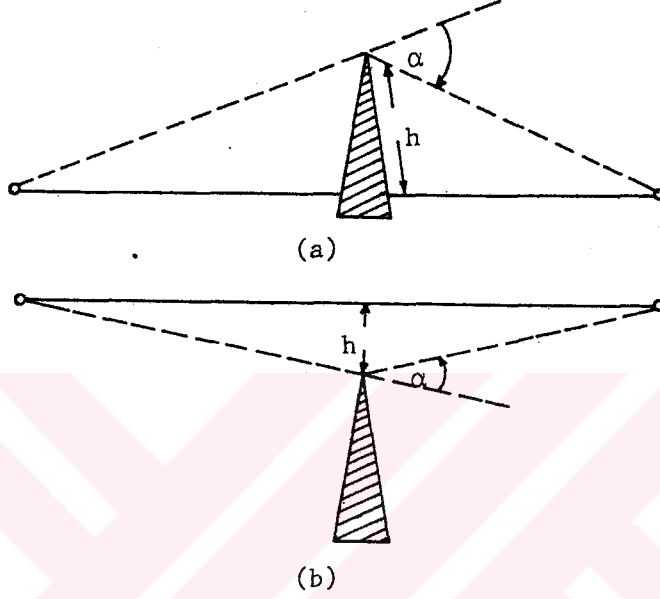
$$\frac{E}{E_0} = \frac{(1+j)}{2} \left[\left[\frac{1}{2} - C(v) \right] - j \left[\frac{1}{2} - S(v) \right] \right] \quad (36)$$

şeklinde ifade edilebilir.

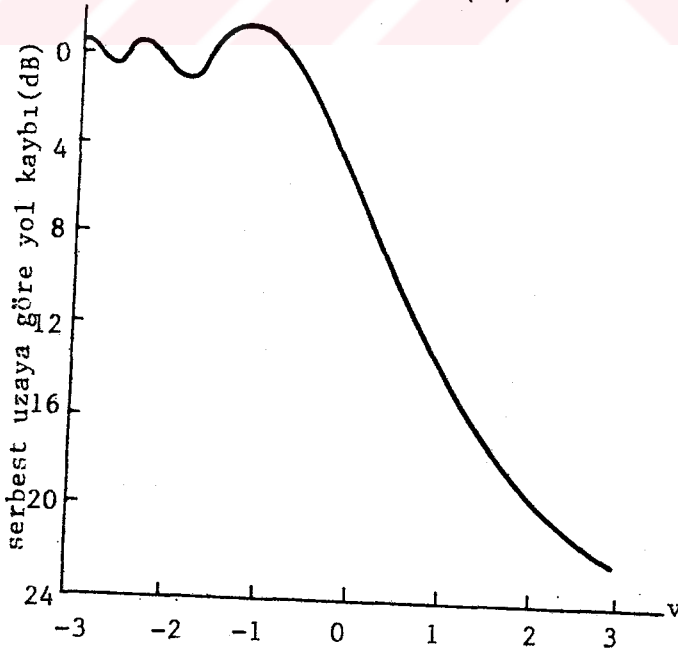
$$C(v) - jS(v) = \int_0^v \exp(-j \frac{\pi}{2} t^2) dt \quad (37)$$

ile verilir.

Şekil 20, (36) eşitliği ile verilen kırınım kaybının serbest uzay kaybına göre dB cinsinden bağıl olarak değişimini gösterir.



Şekil 19 Bıçak ağız kırınımı (a) h ve v pozitif
(b) h ve v negatif

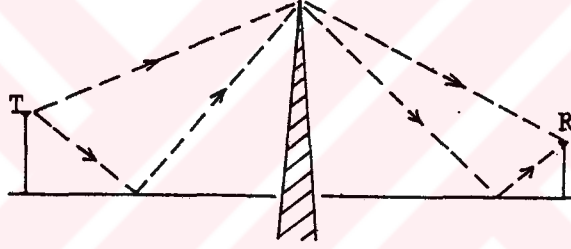


Şekil 20 v parametresinin bir fonksiyonu olarak tek bir bıçak ağızından kırınım kaybı.

1.7.5.4 Yerden Yansımalar

Önceki paragrafta yer engelinin iki tarafında da yerden yansıma ihtimali önemsenmemiştir. Şekil 21'de görüldüğü gibi şüphesiz, böyle bir ihtimal mevcuttur. Alma noktasında alanın hesabında dört yol gözönüne alınmalıdır. Bu dört ışın farklı mesafeler katettiği için alıcıda farklı fazlarda olacaktır. Her durumda Fresnel v parametresinin farklı olmasına ilâveten alıcıda alan şiddeti (38) bağıntısı ile hesaplanır.

$$E = E_0 \sum_{k=1}^4 [L(v_k) \exp(j\phi_k)] \quad (38)$$



Şekil 21 Yerden yansımali bıçak ağız kırınımı

1.7.6 Binalarla Kaplı Alanlarda Yayılım

Binalar ve insan yapısı diğer engellerden dolayı meydana gelen kayıplar esas ilgi konusu ise de, bir çok durumda arazinin şeklindeki değişikliklerin de önemli bir rol oynadığını belirtmek gerekir. Binalarla kaplı alanlarda binaların gölgeleme etkisi ve radyo dalgalarının caddeler boyunca kanalize edilmesi işaret şiddetinin orta değer (median) tahminini güçleştirir. En güçlü olan yollar genellikle en belirgin veya direkt olanlar değildir. Yer istasyonuna göre radyal (merkezden çevreye doğru yayılan) veya radyale yakın olan sokaklarda merkeze göre daire veya kapalı eğri şeklinde olan sokaklardaki değerleri aşar.

Kenar semtlerde büyük binalar az sayıdadır ve radyo dalgalarının kanallı olma etkilerinin önemi daha azdır. Buna karşılık ağaç yapraklarının etkileri, şehir merkezlerinde ihmal edilebilirken, buralarda oldukça önemli olabilir. Genel olarak ağaçların etkisi binaların etkisine benzer ve ilâve yol kaybı ile uzaysal bayılma (fading) üretirler.

Alınan hareketli radyo işaretinin tahmini, servis alanının küçük bir bölgesinde işaret seviyesinin orta değerinin tahmini ve bu orta değer etrafındaki değişebilirliği belirleyen iki aşamalı bir işlemdir. Bir alandaki işaret değişikliklerinin mertebesini belirlemek ise başlı başına bir problemdir, çünkü iki faktör buna katkıda bulunmaktadır. Biri lokal ortalama değer etrafındaki kısa süreli değişikliklerdir, diğeri ise lokal ortalama etrafındaki uzun süreli değişikliklerdir ve hareketli abone bir yerden diğerine hareket ederken yer istasyonu ile hareketli arasındaki arazinin profilinden dolayı meydana gelen büyük değişikliklerin sebep olduğu uzun süreli değişikliklerdir. Bu değişiklik genellikle yavaş bayılma diye isimlendirilir ve lognormal bir istatistikle tanımlanabilir.

Binalarla Kaplı Alanların Sınıflandırılması:

Binalarla kaplı alanlarda radyo dalgalarının yayılımı, ortamın tabiatından, özellikle binaların boyutları ve sık oluşlarından önemli ölçüde etkilenir. Hareketli radyo yayılım çalışmalarında, genellikle, ortam tanımlanırken kırsal alanlar (rural), kenar semtler veya banliyöler (suburban) ve şehirler veya şehir merkezleri (urban) diye üç grupta incelenir. Şehirlerde genellikle yüksek binalar, büro blokları ve diğer ticarî işyerleri gibi binalar çoğunlukta-
dır, kenar semtler ise yerleşim yerleri, parklar ve bahçeler gibi yerlerdir. Kırsal alan tanımı ise seyrek aralıkta binaların bulunduğu çiftlik arazileri, ağaçlıklar ve ormanları kapsar. Bu tanımlar belirli bir ayırım yapmakla birlikte kesin değildir ve değişik kimseler tarafından farklı tanımlar yapılabilir. Meselâ bir şehirde, şehir merkezleri (urban) tanımına uyan bir bölge, diğer bir şehirde kenar semt (suburban) tanımına girebilir.

Bu bakımdan radyo dalgalarının yayılımında ortamın etkilerini incelemek için aşağıdaki karakteristikler gözönüne alınabilir.

- (1) Binaların sıklığı (binaların kapsadığı alanın yüzdesi)
- (2) Binaların boyutları (bir binanın kapsadığı alan)
- (3) Binanın yüksekliği
- (4) Binanın yeri
- (5) Bitki örtüsünün yoğunluğu
- (6) Arazinin dalgalılığı

Yukarıdaki karakteristiklerin bir kaçını veya tamamını gözönüne alarak bir çok araştırmacı çalışmalarını yürütmüşlerdir. Bu çalışmalar diğer türleriyle birlikte 4. kısımda ayrıntılı olarak incelenmiştir. "En iyisi" olarak kabul edilebilecek genel bir metodun olmadığını belirtmek gerekir. Verilen herhangi bir durum için bir metodun doğruluğu modelin öngördüğü gerekli parametreler ile ilgili bölge için elde edilebilir parametrelerin uygunluğuna bağlı olacaktır. Genellikle küçük bir bölgede ortalama (veya orta) işaret şiddeti tahmini ile, hareketli hareket halindeyken, bu değer etrafında işaretin değişebilirliği aynı derecede önemli kabul edilir. İbrahim ve Parsons deneylerini gerçekleştirdikleri kare şeklindeki test alanları için 168 ve 455 MHz'de azalma (regression) analizi ifadelerinin mesafeye bağlılığını Tablo 2'deki gibi vermişlerdir.

Tablo 2 168 ve 455 MHz'de mesafeye bağlı gerileme eşitlikleri [68].

Frekans (MHz)	Yol kaybının orta değeri (dB)	rms tahmin hatası (dB)
168	En uygun: $1.6+36.2 \log d$	5.30
	Dördüncü derece kanunu $-12.5+40 \log d$	5.50
455	En uygun: $-15.0+43.1 \log d$	6.18
	Dördüncü derece kanunu $-4.0+40.0 \log d$	6.25

Alınan işaretin zayıflamasının mesafe ile olduğu gibi iletim frekansındaki artma ile de arttığı görülmektedir. Her iki frekansta da dördüncü dereceden mesafeye bağımlılık kuralının vericiden 10 km'ye kadar olan mesafeler için iyi bir yaklaşıklık gösterdiği görülmektedir.

Lee'nin iletim kaybının bir km'deki orta (median) değeri L_0 , yol kaybı eğrisinin eğimi τ dB/dekad ve düzeltme faktörü F_0 olmak üzere,

Taşıyıcı frekansı : 900 MHz,

Yer istasyonun anten yüksekliği: 30.48 m (100 ft),

Verici gücü: 10 W,

$\lambda/2$ dipole göre yer istasyonunun anten kazancı: 6 dB,

Hareketli anteninin yüksekliği: 3 m (10 ft),

için elde ettiği değerler ise Tablo 3'de verilmiştir.

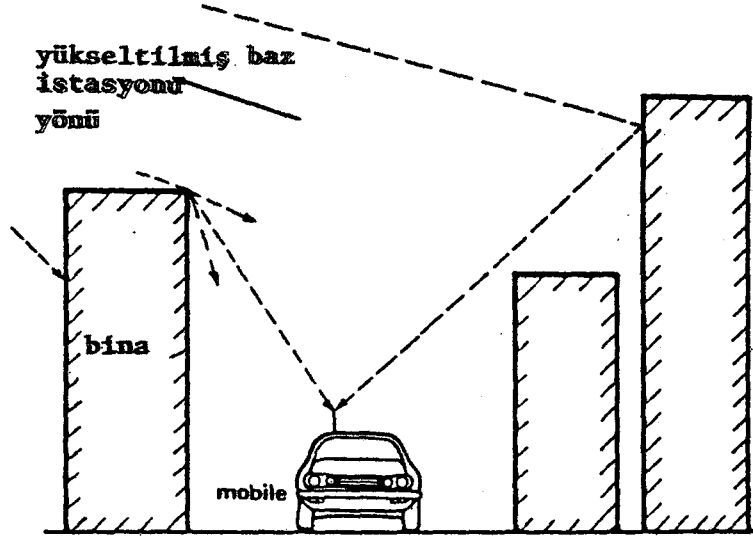
Tablo 3 Lee modeli için yayılım parametreleri.

Ortam	L_0 (dB)	τ dB/dekad
Serbest uzay	91.3	20.0
Açık (kırsal) alan	91.3	43.5
Kenar semtler	104.0	38.5
Şehiriçi alanlar		
-Philadelphia	112.8	36.5
-Newark	106.3	43.1
-Tokyo	128.0	30.0

1.7.7 Çok Yollu Yayılım

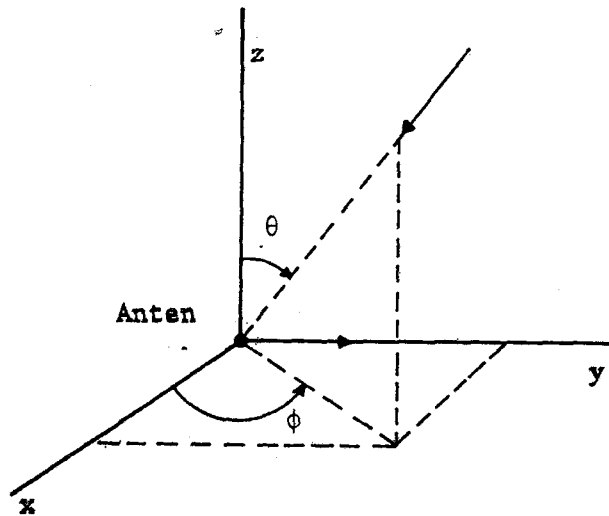
Şekil 22, bir aracın antenine enerjinin ulaşabileceği bir mekanizmayı gösterir.

Pratikte enerji, birkaç yoldan eşzamanlı olarak gelir ve "birden çokyol" olayı farklı yönlerden farklı zaman gecikmeleriyle gelen radyo dalgalarının mevcudiyeti demektir. Gelen bu dalgalar alıcı anteninde vektörel olarak toplanıp sonuçta, bileşen dalgalar arasındaki faz dağılımına bağlı olarak daha büyük veya daha küçük genlikli olarak ortaya çıkar. Kısa bir mesafede bir noktadan diğerine, gelen dalgalar arasındaki faz ilişkisinin değişmesinden dolayı birkaç on dB'lik işaret değişimi gözlenebilir. Dolayısıyla işaret genliğinde önemli değişimler meydana gelir. Bu işaret



Şekil 22 Şehir içi alanlarda radyo yayılımı mekanizması

değişiklikleri bayılma (fading) olarak bilinir ve lokal çok yollu yayılımdan dolayı meydana gelen kısa süreli değişikliklerden hızlı bayılma (fast fading), işaret seviyesinin ortalamasındaki uzun-süreli değişiklikler olan yavaş bayılmadan (slow fading) ayrılır. Şekil 23, gelen bir dalganın alıcı antene varışını küresel bir koordinat sisteminde göstermektedir. Şekil 24'de ise [69] bir antenin etrafında oluşan üç farklı alan görülmektedir. Bu üç

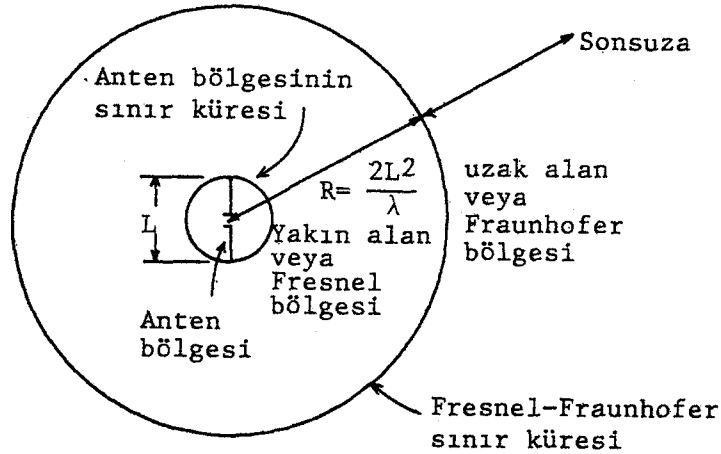


Şekil 23 Gelen dalga ve alıcı anteni gösteren küresel koordinat sistemi.

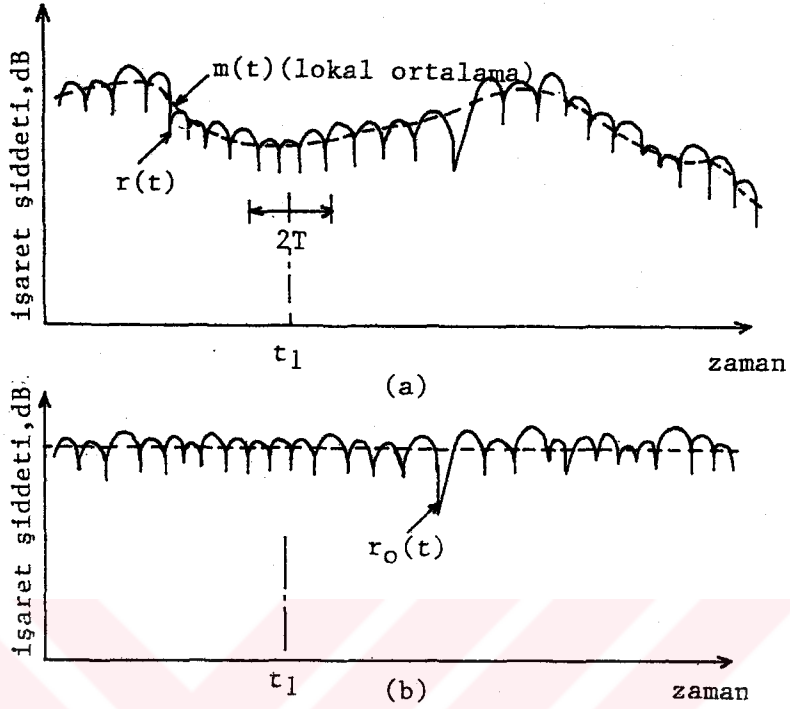
alandan birincisi, anten boyunu λ kabul eden "anten bölgesi", ikincisi yarıçapı $R=2L^2/\lambda$ olan "yakın alan veya Fresnel bölgesi", üçüncüsü de teorik olarak sonsuza uzanan "uzak alan veya Fraunhofer" bölgesidir. Son iki alan arasındaki sınıra da Fresnel-Fraunhofer sınır küresi denir.

Şekil 25, hareketlinin aldığı işaretteki bayılmayı ve lokal ortalama ile kısa süreli işaret bayılmasını, Şekil 26 ise çok yollu bayılmanın derinliğini göstermektedir.

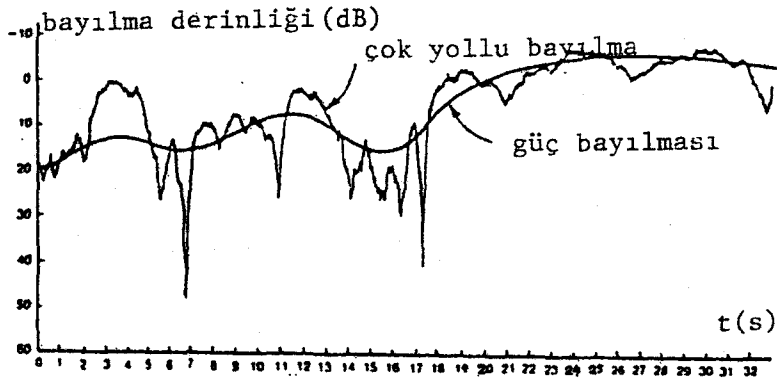
Yavaş bayılmalar için tatmin edici bir model yoktur, fakat bu bölümde daha önce anlatıldığı gibi, ölçmeler ortalama yol kaybının frekansa ve ortama bağlı bir standart sapma ile lognormal dağılıma uyduğunu göstermiştir. Bayılma temelde uzaysal bir olaydır ve uzaysal değişiklikler bir alıcının çok yollu alana doğru hareket ederken karşılaştığı geçici değişiklikler olarak gözlenir. Hızlı bayılma yarım dalgaboyu mesafeler boyunca gözlenir. 20 dB'den az derinlikli bayılmalar oldukça sıktır, 30 dB'i aşan derinlikteki bayımlara daha az rastlanır. Fakat hiç alışılmamış değildir. Şekil 25 (a)'da kesikli çizgilerle gösterilen ortalama işaret seviyesindeki yavaş değişiklik uzun mesafeler boyunca meydana gelir. 50 km/h hızla hareket eden bir alıcı bir saniyede bir kaç defa bayılmadan geçer, hatta bir bayımda alıcının susması bile mümkündür.



Şekil 24 Anten bölgesi, Fresnel bölgesi ve Fraunhofer bölgesinin gösterilimi.



Şekil 25 Hareketli radyo işaret bayılmasının gösterilimi
 (a) Hareketli işaret bayılması
 (b) Kısa süreli işaret bayılması



Şekil 26 Çok yollu bayılma derinliğinin zamanla değişimi.

Çok yollu yayılım ortamında elektromagnetik dalgaların vericiden alıcıya değişik birkaç yoldan ulaştığı ifade edilmiştir. İlk olarak, duran bir alıcı düşünülürse "çok yollu statik" bir durum düşünülebilir. Zaman gecikmelerindeki farkın etkisi bileşen dalgalar arasında bağıl faz

kaymaları oluşturacaktır. Şekil 27'de görüldüğü gibi farklı bileşenlerin toplamı (süperpozisyonu) bağıl fazlara göre ya birbirlerinin etkisini artırıcı veya birbirlerinin etkisini azaltır.

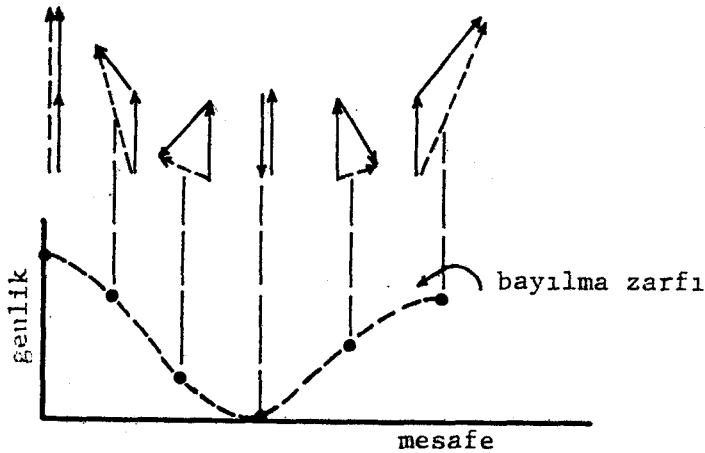
Vericinin veya alıcının hareket halinde olduğu düşünülürse "dinamik çok yollu" durum söz konusudur. Burada her yayılım yolunun elektriksel uzunluğunda sürekli bir değişiklik vardır ve bu yollar arasındaki bağıl faz kaymaları, bulunulan yerin bir fonksiyonu olarak değişir.

Yayılm yolunun uzunluğundaki zaman değişiklikleri veya dinamik değişiklikler doğrudan doğruya alıcının hareketine ve dolaylı olarak da ortaya çıkan Doppler etkilerine bağlanabilir. Hareketten dolayı faz değişikliğinin hızı, her yayılım yolunda bir Doppler frekans kayması olarak görülür. Bir yolda, v hızıyla giden bir aracı gözönüne alalım. Artan d mesafesi $d=v \cdot t$ 'dir. Dalganın yol uzunluğundaki artış $\Delta l=d \cdot \cos\alpha$ 'dır. Dolayısıyla faz değişikliği

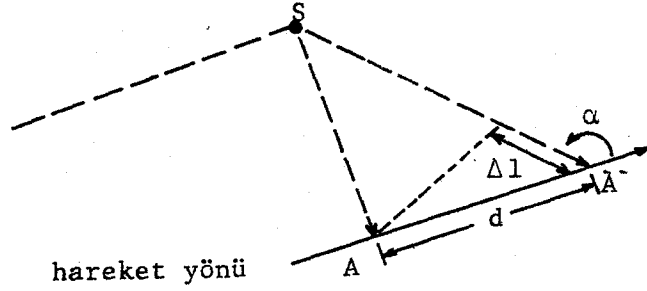
$$\Delta \phi = - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l = - \frac{2\pi v \Delta t}{\lambda} \cos\alpha \quad \text{dir}$$

ve (Doppler kayması) frekansta görülen değişiklik (39) eşitliği ile verilir.

$$f = - \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{v}{\lambda} \cos\alpha \quad (39)$$



Şekil 27 Fazları farklı gelen iki işaretin oluşturdukları işaretin bayılma zarfı.



Şekil 28 Doppler Kayması.

Hareket halinde iken herhangi bir anda ,yol uzunluğundaki değişiklik, dalga ve hareket yönü arasındaki uzaysal açıya bağlı olacaktır. Şekil 28, bu Doppler frekansı kaymasını göstermektedir.

1.7.8 İşaret Spektrumu:

Verici veya alıcı hareket halinde ise alınan işaretin bileşenlerinin Doppler kaymasına uğrayacağı yukarıda belirtilmişti. Gelen dalganın uzay açısı α_n ve hareket yönünün uzay açısı β_n olsun. Frekans değişikliği,

$$f_n = \frac{w_n}{2\pi} = \frac{v}{\lambda} \cdot \cos(\tau - \alpha_n) \cdot \cos \beta_n \quad (40)$$

Burada τ , hareketlinin x eksenine yaptığı açıdır. Alınan işaretin RF spektrumu, zaman gecikmesi ile ifade edilen otokorelasyonun Fourier transformasyonu olarak elde edilebilir.

$$\begin{aligned} E\{E(t) \cdot E(t+\tau)\} &= E\{I(t) \cdot I(t+\tau)\} \cos w_c \tau - E\{I(t) \cdot Q(t+\tau)\} \sin w_c \tau \\ &= a(\tau) \cos w_c \tau - c(\tau) \sin w_c \tau \end{aligned} \quad (41)$$

İlişki (korelasyon) özellikleri ;

$$\begin{aligned} a(\tau) &= (E_0/2) E\{\cos w \tau\} \\ c(\tau) &= (E_0/2) E\{\sin w \tau\} \end{aligned} \quad (42)$$

ifadesiyle verilmiştir.

$$I(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos(\omega_n t + \theta_n) , \quad (43)$$

$$Q(t) = \sum_{n=1}^N c_n \sin(\omega_n t + \theta_n) \quad \text{ve}$$

$$\omega_n = (2\pi v / \lambda) \cos(\tau - \alpha_n) \cos \beta_n$$

$$\theta_n = (2\pi z_0 / \lambda) \sin(\beta_n + \phi_n) \quad \text{dir.}$$

Burada $I(t)$ ve $Q(t)$ uygun bir alıcı tarafından detekte edilebilecek aynı fazlı (in-phase) ve 90° faz farklı (quadrature) bileşenleri göstermektedir ve,

$$\omega_n = (2\pi v / \lambda) \cos(\tau - \alpha_n) \cos \beta_n \quad (44)$$

$$\theta_n = (2\pi z_0 / \lambda) \sin(\beta_n + \phi_n)$$

Bu eşitliklerdeki $\omega_n = 2\pi f_n$ dalganın n . bileşeninin karşılaştığı Doppler kaymasını gösterir.

1.7.9 Alınan İşaretin Zarfı ve Fazı

1.7.9.1 Alınan İşaretin Zarfı : Pratikte radyo alıcıları normalde $I(t)$ ve $Q(t)$ bileşenlerini detekte edemezler ve karmaşık (kompleks) $E(t)$ işaretinin zarfına ve fazına cevap verirler.

Karmaşık işaret $E(t)$ 'nin zarfı $r(t)$,

$$r(t) = [I^2(t) + Q^2(t)]^{1/2} \quad (45)$$

eşitliği ile verilir, $r(t)$ 'nin ihtimal yoğunluğu fonksiyonu (Probability Density Function, PDF) ise

$$P_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \quad (46)$$

dir. Bu ifadede σ^2 ortalama güç, $r^2/2$ ise kısa-süreli işaret

gücüdür. Bu Rayleigh yoğunluk fonksiyonunun belirlenen bir R değerini aşmayan kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$\text{prob } [r \leq R] = P_r(R) = \int_0^R P_r(r) dr = 1 - \exp\left[-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right] \quad (47)$$

ile verilir. (46) ve (47) eşitlikleri σ 'dan ziyade ortalama, karesel ortalama veya orta değer terimleriyle ifade edilir. karesel ortalama değer olarak

$$P_r(r) = \frac{2r}{r^2} \exp\left[-\frac{r^2}{r^2}\right] \quad (48)$$

$$P_r(R) = 1 - \exp\left[-\frac{R^2}{r^2}\right]$$

ortalama değer cinsinden

$$P_r(r) = \frac{\pi r}{2r^2} \exp\left[-\frac{\pi r^2}{4r^2}\right] \quad (49)$$

orta değer ise

$$P_r(r) = \frac{2r \ln 2}{r_M^2} \exp\left[-\frac{r^2 \ln 2}{2r_M^2}\right] \quad (50)$$

$$P_r(R) = 1 - 2^{-\left[\frac{R}{r_M}\right]^2}$$

1.7.9.2 Alınan İşaretin Fazı: Alınan işaretin fazı $\theta(t)$, $I(t)$ ve $Q(t)$ cinsinden

$$\theta(t) = \arctg\left[\frac{Q(t)}{I(t)}\right] \quad (51)$$

dir. Sonuçta işaretin zarfı Rayleigh dağılımı gösterir, fazı ise $(0, 2\pi)$ aralığında üniform dağılımlıdır.

$$P_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi} \quad (52)$$

rastgeledir ve $(0, 2\pi)$ aralığında eşit ihtimalle bütün değerleri alır. Fazın ortalama değeri

$$E\{\theta\} = \int_0^{2\pi} \theta p_{\theta}(\theta) d\theta = \pi \quad (53)$$

karesel ortalaması ise

$$E\{\theta^2\} = \int_0^{2\pi} \theta^2 p_{\theta}(\theta) d\theta = \frac{4\pi^2}{3} \quad (54)$$

1.7.10 Rician Bayılması:

Şimdiye kadarki incelemelerde, hareketli tarafından alınan işareti meydana getiren dalga bileşenlerinin eşit veya yaklaşık olarak eşit genlikli olduğu kabul edildi. Bu da alınan işaretin zarfının Rayleigh dağılımlı olduğu sonucunu doğurur.

Genellikle, hareketliden vericiye direkt görüş hattı yoktur ve vericiden gelen baskın (dominant) bir dalga bileşeni olmamakla birlikte küçük hücreli sistemlerde görüş hattı veya en azından baskın bir bileşen olabilir. Bu durumda istatistikler şimdiye kadar bahsedilenlerden farklı olacaktır. Burada problem Rice tarafından üzerinde ayrıntılı bir şekilde çalışılan sinüzoidal bir işarete rastgele gürültü eklenmesi problemine benzer. Az sayıda derin bayılmalar beklenebilir ve bir bileşen spektrumun önemli bir özelliği olabilecektir.

Baskın bileşeni r_s olan bir işaretin zarfı ve fazının ortak ihtimal dağılım fonksiyonu (Probability Distribution Function, PDF),

$$p(r, \theta) = \frac{r}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2 + r_s^2 - 2rr_s \cos\theta}{2\sigma^2}\right] \quad (55)$$

ile verilir. Literatürde Rician dağılımı genellikle bir K parametresi ile,

$$K = 10 \log \frac{r_s^2}{2\sigma^2} \quad [\text{dB}] \quad (56)$$

şeklinde verilir ve baskın işaret gücünün çok yollu (rastgele) bileşenlere oranı şeklinde açıklanabilir. K 'ya bağlı olarak ihtimal dağılım fonksiyonu

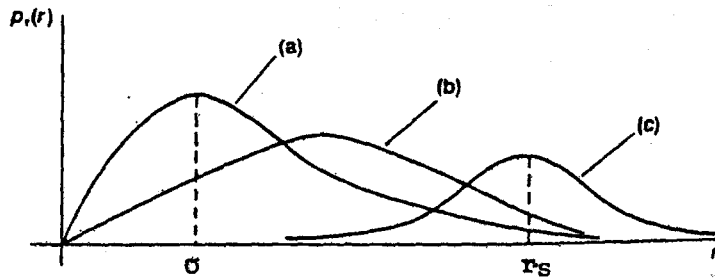
$$P_r(r) = \frac{2r_{10}K/10}{r_s^2} \exp\left[-\frac{10K/10}{r_s^2}(r^2+r_s^2)\right] I_0\left[\frac{2r_{10}K/10}{r_s}\right] \quad (57)$$

şeklinde verilebilir. Burada $I_0(\cdot)$ birinci tip ve sıfırıncı dereceden düzeltilmiş Bessel fonksiyonudur. $P_r(r)$ 'nin PDF zarfı K 'nın farklı değerleri için Şekil 29'da gösterilmiştir $K \rightarrow 0$ iken PDF, Rayleigh dağılımına doğru yönelir, $K \gg 1$ ise PDF, r_s ortalama değerli bir Gauss dağılımı şeklini alır.

Fazın PDF'i

$$p_\theta(\theta) = \frac{1}{2\pi} \exp\left[-\frac{r_s^2}{2\sigma^2}\right] \left[1 + \left(\frac{\pi r_s \cos\theta}{\sigma}\right)^2 \exp\left[-\frac{r^2 \cos^2\theta}{2\sigma^2}\right]\right] \left[1 + \operatorname{erf}\frac{r_s \cos\theta}{2\sigma}\right] \quad (58)$$

eşitliği ile verilir. $(-\pi, \pi)$ aralığında fazın üniform bir şekilde dağılacığı açıkça görülür, yani, $r_s \rightarrow 0$ ise $p_\theta(\theta) = 1/2\pi$ dir. $K \gg 1$ ise faz baskın bileşen haline gelecektir. RF ve temel-band spektrumu üzerinde baskın bileşenin etkisi kolayca tasavvur edilebilir. Aracın hareket yönüyle α_0 geliş açısı yaparak gelen ve yatay olarak yayılan bileşen $f_m \cos\alpha_0$ Doppler kayması ile karşılaşır.



Şekil 29 Rician ihtimal yoğunluğu fonksiyonu.

- (a) $K \rightarrow 0$ ise Rayleigh dağılımı
- (b) $K = 1$
- (c) $K \gg 1$ ise normal (Gauss) dağılımına yaklaşıyor.

1.8. HAREKETLİ YAYILIM MODELLERİ

1.8.1 Yayılım Modellerinin Sınıflandırılması

Bir model teorik, deneysel veya bunların ikisinin bileşimine dayalı olabilir. Teorik yayılım modelleri çok geniş bir aralıkta çeşitli durumlara uygulanan temel bağıntıları verir. Bu modeller, aynı zamanda, giriş parametrelerinin herhangi bir bileşiminde mevcut bağıntıların tanımını da verir. Deneysel modeller ise ölçmelerden ve gözlemlerden çıkarılmıştır ve ayrı ayrı göz önüne alınıp alınmadıklarına ve teorik olarak incelenip incelenmediklerine bakılmaksızın bütün çevre etkilerinin sonuçlarda yer alması gibi önemli bir avantaja sahiptir. Deneysel modellerin yayılım olayının ihtimale dayalı tanımlarını verme imkânı da vardır[70].

Deneysel modellerin geçerliliği ise sadece ölçmelerin doğruluk derecesi ile değil, aynı zamanda modelin uygulandığı ölçme ortamının fiziksel ortamı ne derece uygun temsil ettiği ile de sınırlıdır. Bir model hangi temele dayalı olursa olsun aşağıda özetlenen birkaç şekilde olabilir:

(a) Analitik modeller : Matematiksel ifadeler ve kesin işlemleri kapsar. Genellikle Hata'nın Tokyo'daki ölçmelerine yaptığı analitik uydurma gibi daha büyük doğruluk, kararlılık, uygulama alanı genişliği verir ve bir çok değişkenin birbirine etkisini hesaba katar. Farklı kullanıcılar tarafından uygulansa bile aynı sonuçları verir ve bilgisayar programları için kullanılmaya hazır değerlerdir.

(b) Grafik modeller : Carey'in eğrileri ve Bullington'un çizelgeleri (nomograph) gibi. Hesap makinasına (veya hesaplama becerikliliğine) ihtiyaç göstermeden problem çözümüne imkân verir. Böylece, fazla bir eğitim almamış kişiler tarafından da kullanılabilir. Bütün bunlara

karşılık grafik metodlar, sayı, aralık ve temsil edilebilecek giriş değişkenleri arasındaki bağıntılar ve sınırlı doğrulukları dolayısıyla sınırlı bir uygulamaya sahiptir.

(c) Sürgülü cetveller : General Electric firması tarafından geliştirilenler gibi, doğru, taşınabilir ve bir çok problem çözümleri için faydalıdır. Bu cetveller gerekli yer istasyonu anten yüksekliği, kapsanan alan yüzdesi ve gerekli verici gücü gibi bir çok farklı sistem parametresinin hızlı bir şekilde tahmini için kullanılabilir.

(d) Bilgisayar programları : Çizimlerin, grafiklerin veya elle yapılacak (manuel) uygulamalar için çizelgelerin hazırlanmasında kullanılır ve bir çok uygulama için mükemmel bir tasarım aracıdır. Bununla birlikte fiziksel/matematiksel modellerden daha iyi olmayacaktır, hele iyi tasarlanmamışsa daha da kötü sonuçlar verebilir.

1.8.2 Bilinen Yayılım Modelleri

Yer hareketli sistemlerinde radyo yayılımını tahmin etmek için deneysel ve teorik esaslara dayalı birçok model geliştirilmiştir. Modeller, çevre ve yayılım faktörleri ve sağladıkları çıkış bilgisi (information) bakımından karşılaştırılırlar. Sonuçta, çeşitli modellerin ortam iletim kaybı tahminleri verilen bir yer istasyonu anteni için yapılmıştır.

Yer istasyonu ile hareketli istasyon arasındaki mesafe D (km), yer istasyonunun yüksekliği h (m), 900 MHz çalışma frekansında yarım dalga dipoller arasındaki ortamın iletim kaybı L (dB) olarak alınmıştır. Bu bölümde mevcut modeller kısaca sıralanacaktır.

(1) Serbest uzay : Bu temel teorik model ideal bir bölgede yayılım için radyal kayıpları tahmin eder. Bu modelle tahmin edilen iletim kaybı, D (km) olmak üzere

$$L = 87 + 20 \log D \quad (\text{dB}) \quad (59)$$

dir. Bu model 2. Bölümde de ifade edildiği gibi diğer modellerde verilen iletim kaybını karşılaştırmak için referans olarak kullanılır.

Fresnel açıklığı 0.6 veya daha büyük ise bu model, verici antenden alıcı antene direkt yayılım yapan (yerin yüzeyinden yansıma olmaksızın) alanlar için kaybı tahmin etmede kullanılır.

(2) Düzlem yeryüzü : Bu metod, sonlu iletkenlikli idealize edilmiş bir yeryüzünün varlığını hesaba katmak üzere teorik olarak çıkarılmıştır. 900 MHz için, 1.5 m yükseklikteki hareketli antenine verilen gücün iletim kaybı,

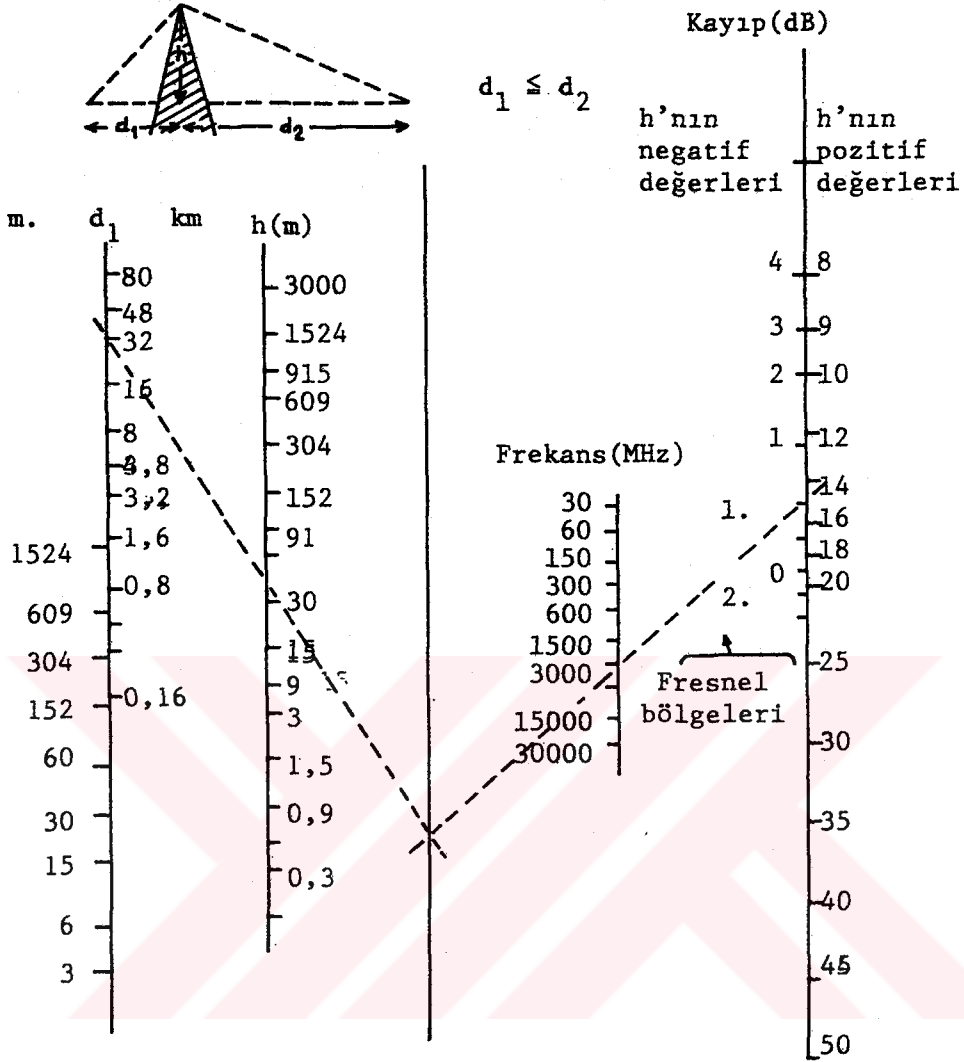
$$L = 111.6 - 20 \log h + 40 \log D \quad (\text{dB}) \quad (60)$$

ile verilir. $D=h/17$ km olduğunda bu eşitlik serbest uzayın kaybına eşit olur.

Bu model de diğer modellerle karşılaştırmak için bir referans olarak kullanışlıdır. Oldukça basitleştirilmiş bir metoddur ve arazinin profili, bitki örtüsü ve binalar gibi önemli faktörleri hesaba katmaz.

(3) Bullington çizelgeleri : Serbest uzay ve düzlem yeryüzü etkilerine ek olarak bu çizelgeler, özellikle, (1) engelsiz, (2) tek bir keskin tepe ve (3) çok sayıda tepeler şeklinde araya giren arazinin idealize edilmiş tipleri için anten yüksekliklerinin fonksiyonu olarak alan şiddetini ve ortamın iletim kaybını verir. Şekil 30 bu çizelgeleri göstermektedir.

Düz yeryüzü ve tek bir tepe durumu doğrudan doğruya fiziksel teorideki sonuçlardan elde edilir. Çok sayıda tepelere ait işlem verici ve alıcı antenlerin birbirine göre ufuklarında yerleştirilen iki bıçak ağzı (knife-edge) gibi keskin kısımdan kırınım probleminin yaklaşık çözümü esasına dayanır. Bu çizelgelerin bilgisayarla elde edilenleri ise yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitki örtüsü, binalar ve diğer arazi faktörleri hesaba katılmadığından bu metod da oldukça basitleştirilmiştir.



Şekil 30 Bullington çizelgeleri[68].

(4) Egli modeli : Teorik düzlem yeryüzü alan şiddetine uygulanacak şekilde deneysel formülleri ihtiva eder. Yer faktörü 900 MHz'de 27.5 dB'lik bir ortalama değere sahiptir. 1.5 m yüksekliğindeki hareketli anteni için iletim kaybı (61) eşitliği ile verilir.

$$L = 139.1 - 20 \log h + 40 \log D \quad (\text{dB}) \quad (61)$$

Egli modeli, doğruluktan biraz vazgeçmek suretiyle 90 MHz'den 1000 MHz'e kadar olan geniş bir aralığı kapsayan ölçmelerin sistematik bir açıklamasıdır. Daha dar bantları tek tek incelemek suretiyle doğruluk artırılabilir.

(5) Carey metodu : Eğriler , 1) hareketlinin anten yüksekliği 1.8 m; 2) yer istasyonunun anten yüksekliği yeryüzü ortalamasının üzerinde 30-1500 m arasında değişirken ve 3) mesafe $F[60,50]$ eğrileri için 130 km 'ye kadar, $F[50,10]$ eğrileri için de 240 km'ye kadar olan ortalama yeryüzü şartları altında yayılım için $F[50,50]$ ve $F[50,10]$ alan şiddetinin mesafe ile değişimini verir. Burada, genel olarak $F[L,T]$ ile ifade edilen F : alan şiddeti (Field Strength), L : yer yüzdesi (percent of location) ve T : zaman yüzdesidir (percent of the time). Alan şiddeti zamanın T kadar yüzdesi esnasında yerlerin L kadar yüzdesinde belirli bir seviyeyi aşıyor demektir. Yer hareketli servislerinde ilgilenilen mesafelerde sadece yer değişikliği önemlidir. Zaman değişebilirliği $T=100$ olarak düşünülebilir. Carey eğrileri 450-1000 MHz arasındaki bütün bandı kapsar. Bu model için ortalama iletim kaybı,

$$L = 110.7 - 19.1 \log h + 55 \log D \text{ (dB)} \quad 8 \leq D \leq 48 \text{ km} \quad (62)$$

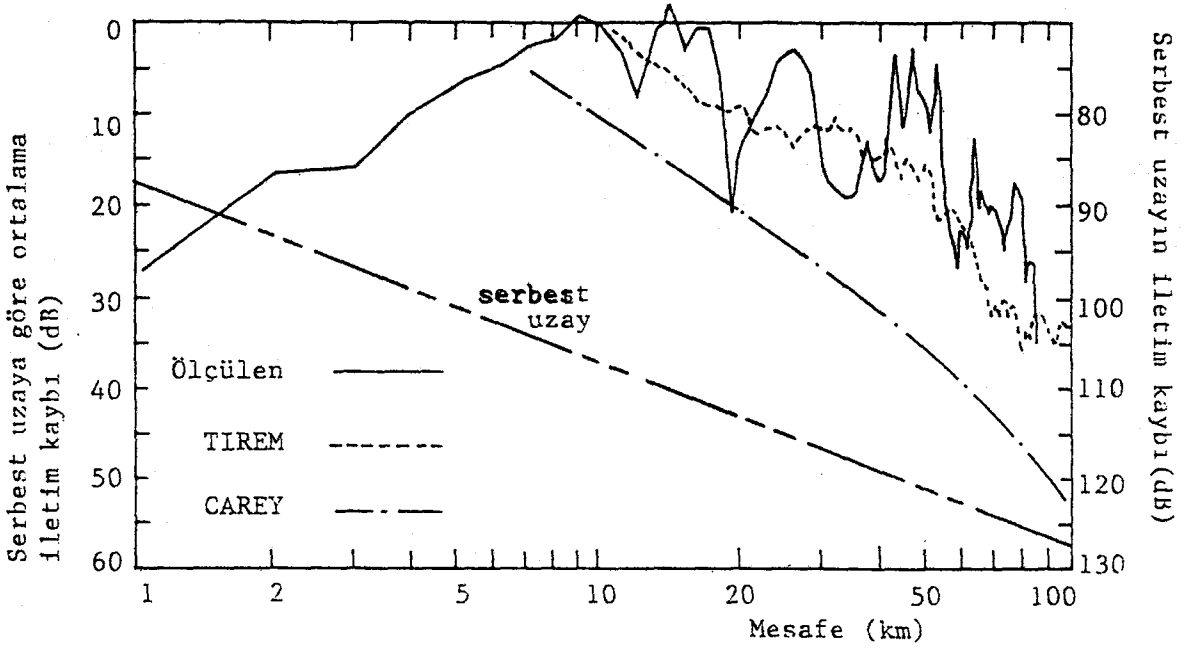
ve

$$L = 91.8 - 18 \log h + 66 \log D \text{ (dB)} \quad 48 \leq D \leq 96 \text{ km} \quad (63)$$

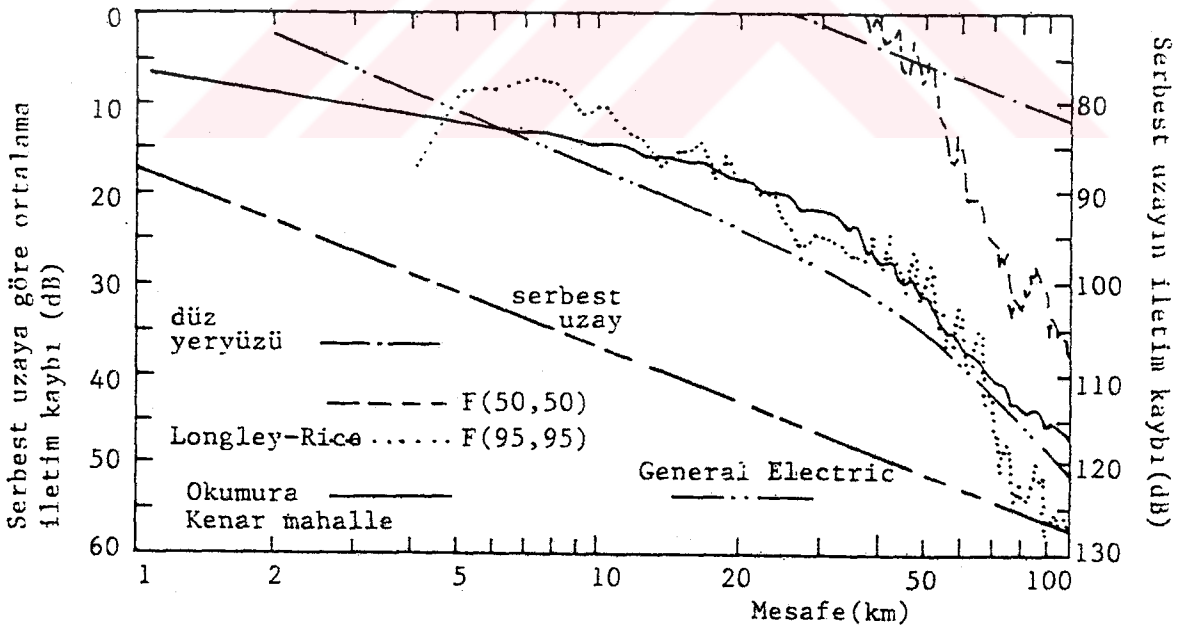
ifadelerinden elde edilebilir. Şekil 31 Carey tarafından verilen, TIREM, Carey ve ölçülen veriler arasındaki bir karşılaştırmayı göstermektedir.

(6) Longley-Rice noktadan noktaya tahmin metodu : Bu model engebeli arazi üzerinden uzun süreli ortalama iletim kaybının tahmini için bilgisayar kodları şeklindedir. Metod 20 MHz'in üstündeki frekanslara uygulanabilir. Noktadan noktaya tahmin işlemi ayrıntılı arazi profilini gerektirir. Radyo ufkuna olan mesafe, ufuk yükselme açıları ve etkin anten yüksekliklerinin belirlenmesi gerekir.

(7) Longley-Rice alan tahmini : Yeryüzünün yüksekliğindeki değişikliklerin istatistiksel olarak karakterize edildiği bir alandaki rastgele yollar için, bu metod uzun süreli ortalama (medium) iletim kaybını tahmini eder. Bu tahminler yer ve zamanla değişkendir ve standart tahmin hatası içinde ayrıca bir tahmin verilmiştir.



Şekil 31 380 m. yükseklikteki yer istasyonu anteni için Carey ve TIREM modellerinin verdiği tahminlerle ölçülen ortalama iletim kaybının karşılaştırılması [71].



Şekil 32 380 m yükseklikteki yer istasyonu anteni için çeşitli yayılım modeli tahminleri ile ortalama iletim kaybının karşılaştırılması [71].

(8) Okumura metodu : 1. Bölümde de bahsedilen bu modelle Okumura, 150 MHz'den 2000 MHz'ekadar olan frekanslar ve 1'den 100 km'ye kadar olan mesafede 30-1000 m yer istasyonu efektif anten yükseklikleri ve yer hareketli uygulamaları için tipik alıcı anten yüksekliklerinde verilen bir yeryüzü şekli için alan şiddeti ve servis alanını tahmine yarayan bir metod vermiştir. 900 MHz için ortalama alan şiddeti eğrisi şehiriçi alanlara uygulanır. Kenar mahalleler, açık ve yalıtılmış dağlık bölgeler, inişli-çıkışlı tepeler, meyilli arazi ve karışık kara-deniz yolları için düzeltme faktörleri de verilmiştir. Ölçmeler Tokyo ve etrafındaki banliyöler için 200, 453, 922, 1310, 1430 ve 1920 MHz'de yapılmıştır. Şekil 32, serbest uzaya göre bağıl ortalama iletim kaybının beş ayrı modelle verilen bir karşılaştırmasını göstermektedir.

(9) TIREM(Terrain Integrated Rough Earth Model=Tümleşik kaba yer modeli);

Bilgisayar programı şeklindeki bu model Elektromagnetik Uygunluk Analiz Merkezi (Electromagnetic Compatibility Analysis Center, ECAC) tarafından geliştirilmiştir. Metod, frekansı, atmosferik ve yer sabitlerini ve arazinin profil karakteristiklerini hesaba katarak iki nokta arasındaki yayılım kaybını hesaplar. Program girdi olarak frekansı (40 MHz'den 20 GHz'e kadar), kutuplamayı, yerin dielektrik sabitini ve iletkenliğini, atmosferik kırılma modülünü, mutlak nemliliği, verici ve alıcı antenin yapısal yüksekliğini, istasyon binalarının yüksekliklerini, enlem ve boylamları alır. Çıkış olarak yol kaybını ve bayılma istatistiklerini verir.

(10) General Electric firmasının sürgülü cetvel modeli: Adından da anlaşılacağı gibi bu model, yer hareketli bandlarında hareketli, taşınabilir ve noktadan noktaya haberleşmede maximum aralığı hesaplamak için sürgülü cetvel şeklindedir. Alternatif olarak verilen bir aralık için gerekli verici gücünü hesaplamada da kullanılabilir.

(11) Lee modeli : Bu modelde iki eleman kullanılarak noktadan noktaya iletim tahmin edilir. Birincisi alandan alana yol kaybı tahminini, ikinci eleman ise her mesafe için noktadan noktaya tahmini verir. Yer istasyonu anteni 30 m, hareketli anteni ise 3 m olarak sabit alınır. İletim kaybı ifadeleri farklı şehirler için farklı bulunmuştur. Tipik bir örnek,

$$L = 142.3 - 20 \log h + 36.8 \log D \quad (\text{dB}) \quad 8 \leq D \leq 48 \text{ km} \quad (64)$$

olarak verilmiştir. Meyilli arazi ve yol engelleri için düzeltmeler verilmiştir.

Parsons ise bu metodları üç ayrı grup halinde inceler ve sayılarını en az 15 olarak tesbit eder. Parsons bu grupları şu başlıklar altında incelemiştir:

Çoklu bıçak ağzı kırılması olayı,

- 1) Bullington eşdeğer-bıçak ağzı metodu
- 2) Epstein-Peterson metodu
- 3) Japon metodu
- 4) Daygout metodu

Yol kaybının tahmini modelleri,

- 1) Egli modeli
- 2) JRC modeli
- 3) Blomquist-Ladel modeli
- 4) Longley-Rice modeli
- 5) CCIR metodu
- 6) BBC metodu

Yayılim tahmini modelleri

- 1) Young'ın yaptığı ölçmeler
- 2) Allesbrook metodu
- 3) Okumura metodu
- 4) İbrahim ve Parsons'un metodu
- 5) Lee modeli

Aurand ve Post [72] ise literatürde bilinen yayılım metodlarının sayısını 12 olarak alırlar.

1.8.3 450 - 800 - 1300 - 1700 MHz'de yapılan yayılım çalışmalarının karşılaştırılması

Bir mobil radyo sisteminin tasarımı ve gerçekleştirilmesi, ilgilenilen coğrafik bölgenin yayılım karakteristiklerinin değerlendirilmesi veya tahminini kapsar. Farklı hareketli ortamlar için çok çeşitli tahmin metodları geliştirilmiştir. Öyle ki uygun bir yayılım tahmin metodunu seçme işi güç ve karmaşık olabilir. Bu durum özellikle, hareketli radyo servislerinin hızlı bir gelişme gösterdiği UHF 'nin üst kısmında bulunan 800 - 950 MHz bandında çalışan sistemler için doğrudur. Mevcut tahmin metodlarının bir karşılaştırması[72], çok yollu Rayleigh bayılmasından ziyade yavaş değişen lognormal bayılma için belli başlı üç kriter gözönüne alınarak verilmiştir. Bu kriterler ;

- her metodun uygulandığı arazinin veya coğrafyanın tipi
 - metodun öngördüğü tahmin tipi (mesela, iletim kaybı tahminleri, alan şiddeti sınırları (contour) haritası v.s),
 - gerçekleştirme güçlüğü ve karmaşıklık derecesidir.
- Aurand ve Post bu üç kriterle elde ettikleri sonuçları kaynak [72] 'de vermişlerdir.

1.8.4 800-900 MHz frekans aralığı için kullanılan modellerde mevcut eksiklikler [73] :

1) Yapılan çalışmaların hiçbiri binalardan veya tepelerden yansıma için bir düzeltme terimi vermemektedir.

2) Yapılan çalışmaların hiçbiri ağaç yapraklarının meydana getirdiği iletim kaybı için bir kabul yapmamaktadır.

3) Longley-Rice modeli bir çok tipik hareketli durum için iletim kaybını olduğundan düşük değerlendirmektedir.

4) Okumura 'nın şehir için verdiği model, bir çok Amerikan şehri için iletim kaybını, genellikle olduğundan fazla değerlendirmiştir.

5) TIREM ve Longley-Rice modellerinin ikisi de bir yayılım modundan diğerine geçerken iletim kaybı değerlerinde önemli süreksizlikler göstermiştir.

6) 8.2 dB'lik bir kayıp sapması (loss deviation) hariç modellerin hiç biri çok-yollu almadan (multi-path reception) dolayı sektör iletim kaybı dağılımları hakkında bir bilgi vermemektedir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 HAREKETLİ YAYILIM ÖLÇMELERİ

2.1.1 Deney düzeneği ve kullanılan araç telefonunun özellikleri

Deneylerde, Türkiye'de araç telefonu sistemini kuran Finlandiya firmasının araç telefonu kullanıldı. Piyasada bir kaç firmanın daha araç telefonu bulunmasına rağmen bahsedilen firmanın geniş bir servis ve bakım ağına sahip olduğu görüldüğünden bu firmanın cihazı satın alınmıştır. Ölçü aleti olarak 200 khz-2(18) GHz'e kadar kullanılabilen ve birçok özelliklerinin yanında kendi içinde monteli bir IEEE - 488 paralel çıkış kapısı (port) da olan bir RF digital (ayrıca analog bir göstergeye de sahip) güçmetresi kaydedici olarak da K.T.Ü. Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümündeki x-y kaydedicisi kullanıldı. Güçmetre sensörü -60 dBm ile +20 dBm arasında hem mutlak hem de bağıl olarak ölçme yapabilen (ayarlandığı değere göre) diyotlu bir sensördür. Güçmetrenin ve x-y kaydedicisinin çalışması için gerekli 220V AC gerilim temin etmek üzere yerli yapım 12V DC /220V AC statik bir inverter kullanıldı. Bütün bu cihazlar, otomobilinkinden ayrı 12V 75A h'lik bir akümülatör ile station wagon tipi bir otomobilin arkasına monte edildi. Araç telefonu taşınabilir (potatif) kullanımda araç dışında özel anteni ile birlikte kullanılabilir. Telefon cihazı hem kendi aküsünden hem de diğer aküden beslenebilir. Telefonun ana gövdesi kızıağı ile birlikte otomobilin arkasına monte edildi. $\lambda/2$ 'lik bir dipol olan araç anteni sağ arka kapının üzerine, ahize ve askısı ise şöför mahalline yerleştirildi.

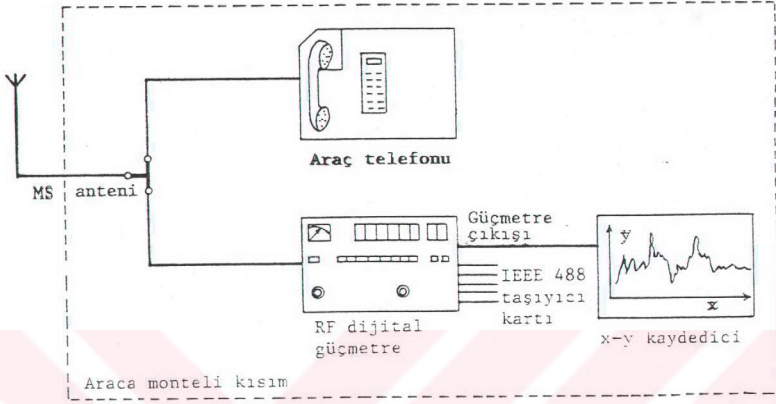
Araç telefonu sisteminden bant genişliği 25 kHz'dir. Toplam 180 kanalın Trabzon il sınırları içindeki yer istasyonlarına tahsisi (4-13-22-31), (5-14-23) ve (6-15-24). kanallar şeklindedir. Dolayısıyla bir aboneye tahsis edilen bir kanaldan diğerine geçişte 9-25=225 kHz ötede bir kanal tahsis edileceğinden ölçü aletinin bant genişliği dışında olacak ve yakın kanal karıştırmaları en azından şimdilik problem ortaya çıkmayacaktır.

Deneylerde anten ile araç telefonu ve ölçme aleti arasında bir defasında PTT Bölge Vericiler Müdürlüğünden temin edilen ve UHF bandında çalışan 1/3'lük bir güç bölücüsü bir diğerinde de T konnektör kullanıldı. Güç bölücü yaklaşık 5 dB zayıflatan ve araya girme kaybı 0.1 dB olan bir bölücüdür. Özel elemanlardan yapılmış olup faz farkı meydana getirmemektedir. Deney düzeneğinin blok diyagramı Şekil 33'de, ölçmeler ve konuşmaların gerçekleştirildiği aracın bir görünüşü ise Şekil 34'de verilmiştir.

Ölçmelerde neden Alan Şiddeti Ölçü Aleti (Field Strength Meter) kullanılmadığı sorusu akla gelebilir. Gerek Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarındaki seviye Ölçü Aleti (Level Meter) gerekse PTT Bölge Vericiler Müdürlüğündeki ve piyasadaki Alan Şiddeti Ölçü Aletleri FM ve VHF-UHF TV band frekansları için yapılmışlardır. Batarya ile çalışılan bu cihazlar digital, maximum alan şiddeti taraması yapabilen, çıktı (print-out) veya monitörde spektrumu verebilen cihazlar olmalarına rağmen ülkemizde kullanılan NMT-450 Hücreli Hareketli Haberleşme sisteminin frekansı 415-425 MHz arasında olduğundan bu aletlerin band genişlikleri ya bu frekans aralığının biraz aşağısına kadar uzanmakta ya da biraz yukarisından başlamaktadır. Bu sebepten çalışmada daha gelişmiş mikroişlemci kontrollü ve dBm, μ W, nW, dBr, IEEE-488 kontrol kartıyla uzaktan 4 türlü kontrolü yapabilen digital güçmetre kullanıldı.

2.1.2 Araç Telefonu Sisteminin Trabzon'daki Altyapısı: Yer İstasyonları

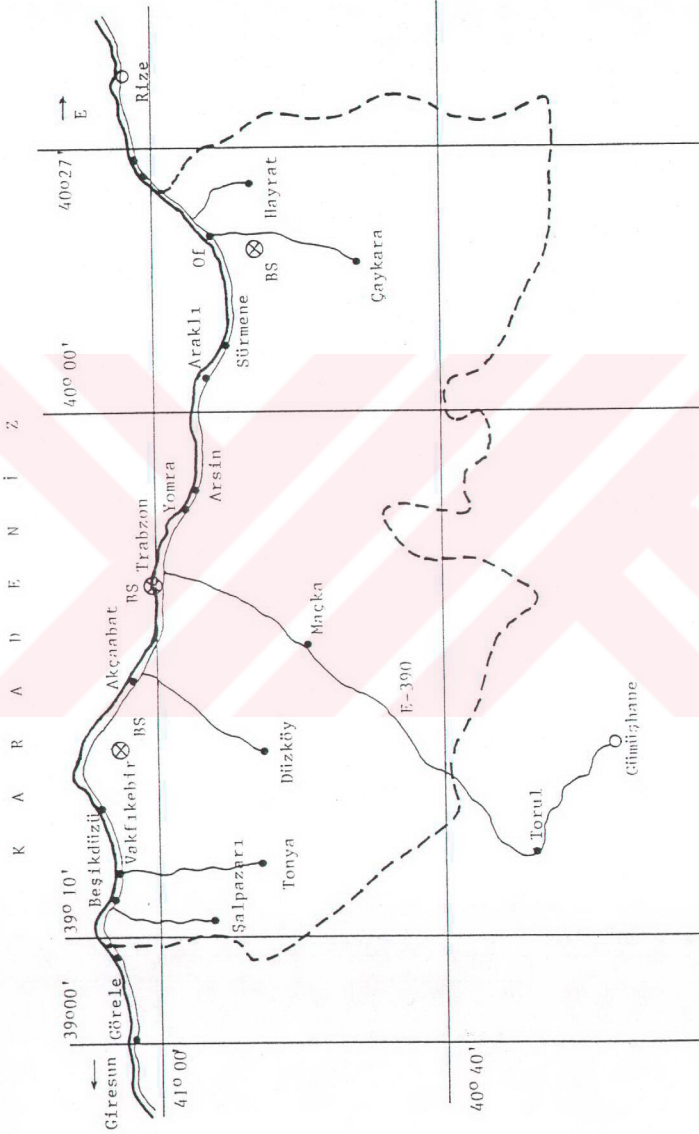
Trabzon il sınırları içinde üç yerde Yer İstasyonu vardır. Bunların birisi şehir merkezindeki santralda (R/L istasyonunda), ikincisi Of-Fındıkoba köyü civarındaki yaklaşık 720 m. rakımlı tepedeki R/L istasyonunda, üçüncüsü ise Akçaabat-Mersin Eskiköy yakınlarındaki yaklaşık 690 m. yükseklikteki R/L istasyonundadır. Mevcut bu yer istasyonlarından şehir merkezindeki, Şekil 35'de Trabzon şehiriçi için çizilmiş olan harita üzerinde ölçekli olarak işaretlenmiş ve ölçme yapılan yollar iki veya tek yönlü olarak oklarla gösterilmiştir. Şekil 36'da ise bütün Trabzon



Şekil 33 Araça monteli deney düzeninein blok diyagramı.



Şekil 34 Araça monteli deney düzeninein görünüşü.



Şekil 36 Trabzon il sınırları içindeki Yer İstasyonları, Karayolları ve İlçe Merkezleri

il sınırları içindeki üç Yer İstasyonunun bulunduğu yerler, sahil boyunca devlet yolları, ilçe merkezleri, bütün il sınırlarının yaklaşık enlem ve boylamları gösterilmiştir.

Şehir merkezindeki ve kırsal alanlardaki yer istasyonlarının her ikisine de gidilerek incelemeler yapıldı. Şekil 37 Merkezdeki Yer İstasyonu antenini göstermektedir (sağda en üstteki antenlerden biri alıcı diğeri verici olmak üzere kullanılmaktadır).



Şekil 37 Şehir merkezindeki yer istasyonunun anteni
(sağda en üstteki iki anten).

Şekil 38 ise kırsal alandaki Yer İstasyonlarından birinin (bu iki istasyonun yapısı ve özellikleri birbirinin aynıdır) anten yapısını göstermektedir.

Şekil 39 bir Yer İstasyonunun iç yapısını, Şekil 40 ise Trabzon merkezdeki Yer İstasyonunun bulunduğu ve bir kısım ölçmelerin yapıldığı K.Maraş Caddesinin 5-6 katlı yoğun binalar ve yaya araç trafiği ile kaplı halini göstermektedir.



Şekil 38 Kırsal alandaki Yer İstasyonu antenin görünüşü.



Şekil 39 Bir Yer İstasyonunun iç yapısının görünüşü.



Şekil 40 Yüksek binalar ve yaya-araç trafiği ile kaplı K.Maraş Caddesinden bir görünüm (ileride Yer İstasyonu antenleri).

Ankara, İstanbul, İzmir gibi büyük metropol şehirlerdeki Yer İstasyonlarının antenleri 120°'ser derecelik açıyla sektörel yayın yapan $\lambda/2$ dipol antenlerdir. Diğer şehirlerdeki ve kırsal alanlardaki antenler 360°'lik açıyla yayın yapan yani yöneltmesiz (Omnı-Directional) $\lambda/4$ dipol antenlerdir. Şehirlerdeki Yer İstasyonlarının çıkış gücü 10 W, kırsal alanlardaki İstasyonların güçleri ise 10, 25 ve 50 W 'a ayarlanabilir ve halen 50 W çıkış gücü kullanılmaktadır. Bütün Türkiye'de tahsis edilmiş toplam 180 çift kanal (verici ve alıcı) bulunmaktadır. Trabzon merkezde 4,13,22,31,40'ıncı kanallar, Of'ta 5,14 ve 23. kanallar, Akçaabat'ta ise 6,15 ve 24. kanallar kullanılmaktadır (kanal frekanslarının açıklanmaması gerektiği için bu frekanslar verilmemiştir).

İlk kanallar MSC-BS ve MS arasında ortak link kanalı (Co-link channel) olarak çalışır ve hem trafik ve hem de bu link görevini yerine getirirler.

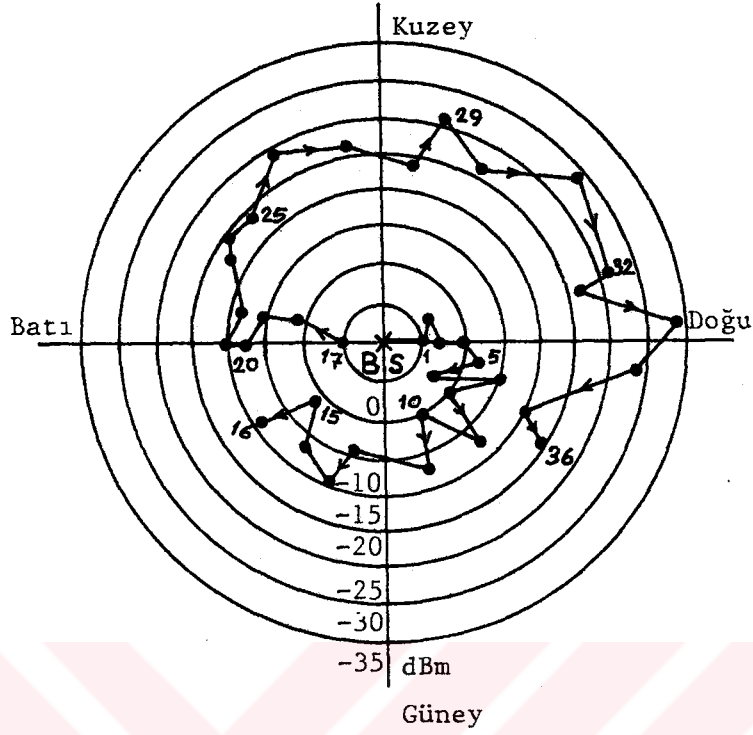
2.1.3. Yapılan Deneyler ve Ölçmeler

Deneyler ve ölçmeler Trabzon'da şehir içinde ana caddelerde, çeşitli yollarda, belirli yükseklikteki semtlerde, sahil yolunda, şehir içindeki tünelde, Üniversite kampüsünde, Trabzon-Erzurum yol ayrımından Maçka'ya doğru, batıda Akçaabat, Vakfıkebir, Beşikdüzü, Trabzon-Giresun il sınırı ve Eynesil tüneline kadar (tünel içi ve çıkışı dahil), doğuda ise Yomra, Arsin, Araklı, Sürmene ve Of'a kadar olan devlet karayolunda gerçekleştirildi.

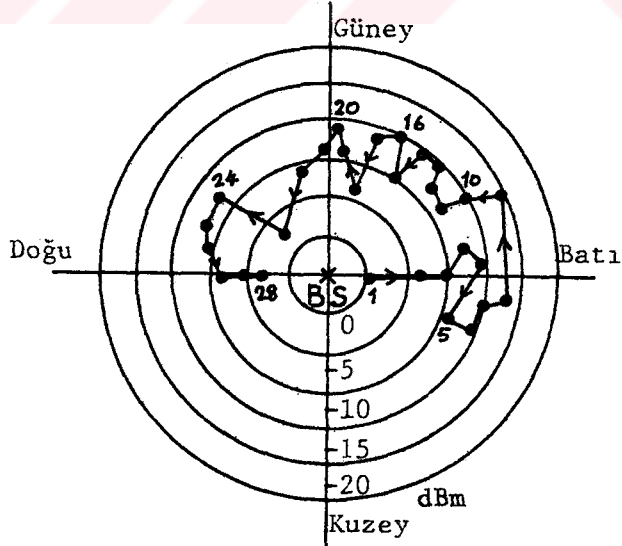
2.1.3.1. Güç Seviyesi Ölçmeleri

Ölçme yapılan çift yönlü veya tek yönlü yollarda ölçmeler en az iki veya üç defa tekrarlanmıştır. Ölçülen güç seviyesi değerleri bazı yerlerde her defasında eşit denecek kadar yakın, bazen 2-3 dBm farketmekte, en fazla 5-10 dBm lik farklar olmaktadır. Şehir içinde Uzunsokak'ta caddenin dar ve binaların yüksek olması dolayısıyla yer yer kısa süreli servis kesintileri olmaktadır. Aynı şey Boztepe'ye ve Erdoğan semtine doğru çıkarken de gözlenmektedir. Kemik Hastalıkları Hastanesinden yukarıda, Erdoğan'dan Çamlık'a doğru araç anteni yer yer Yer İstasyonu antenini görebilmektedir. İşaret seviyesi değişimlerini yol boyunca uzun uzadıya ya da birbirine dik, paralel veya birbirini keser şekilde çizmek yerine yönler göre Yer İstasyonundan radyal bir şekilde çizilmesi uygun görülmüştür. Şekil 41, 42 ve 43 bu değişimlerin radyal çizimini göstermektedir.

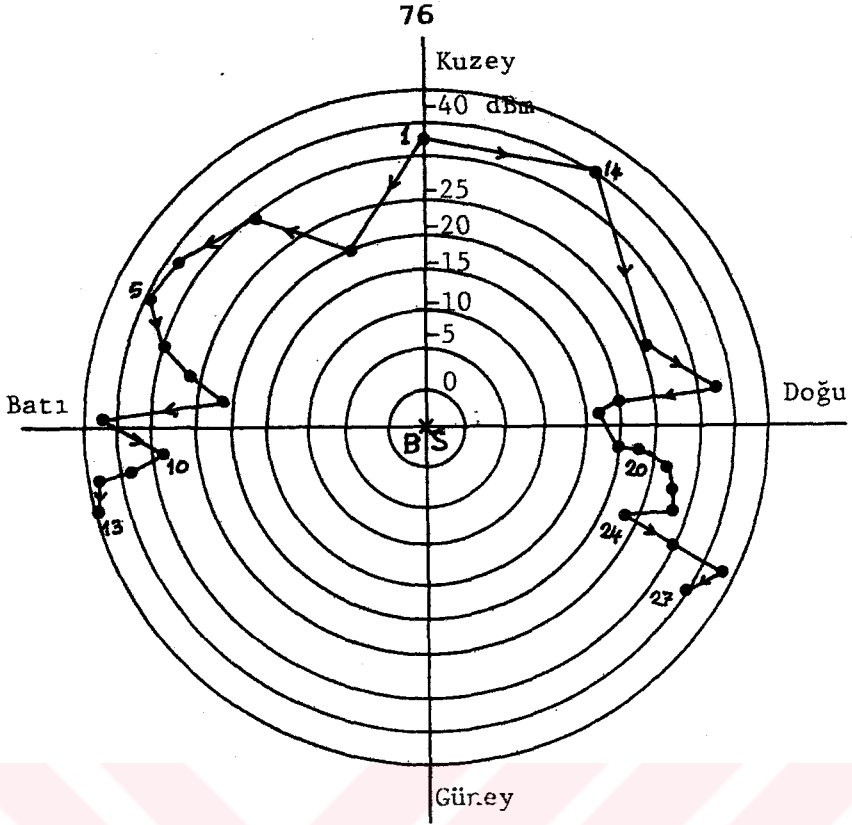
Şekil 44'de şehir içinde ve Yer İstasyonundan batıya doğru Maraş Caddesi istikametinde giderkenki işaret seviyesi ile sahil yolunda tünelden geçerek doğuya doğru Üniversiteye kadar olan yoldaki işaret değişimlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Her iki durumda da araç Yer İstasyonundan uzaklaşmaktadır. Şehir içinde işaret seviyesi sadece binaların etkisinden dolayı birkaç dBm değişmekte ve işaret değişiminin lokal ortalaması hemen hemen aynı kalmakta iken sahil yolunda veya açık alanda mesafe ile artan zayıflamanın yanında diğer etkilerin varlığı da görülmektedir.



Şekil 41 Şehir içinde BS'den-Maraş Cad.-Meydan-Boztepe/Boztepe-Meydan-Maraş Cad.(1-16)-BS-Maraş Cad.-Kalekapı-Reşadiye Cad.-Sahil yolu-Tünel-Çömlekçi yolunda (17-37)işaret seviyelerinin değişimi.

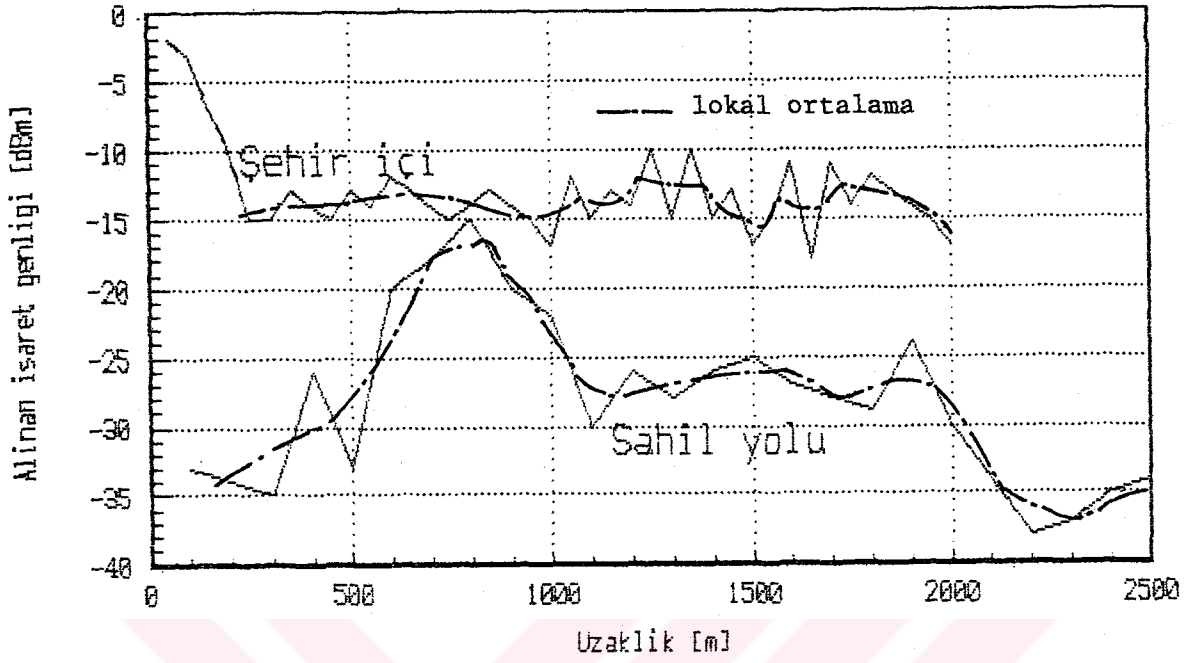


Şekil 42 Şehir içinde BS'den-Maraş Cad.-Yenimahalle-Ayasofya-Sahil yolu-Üst geçit-Tanjant yolu-Atapark-Zağnos Köprüsü-Tabakhane-Uzunsokak-Meydan-Maraş Cad. ve BS arasında işaret seviyelerinin değişimi.

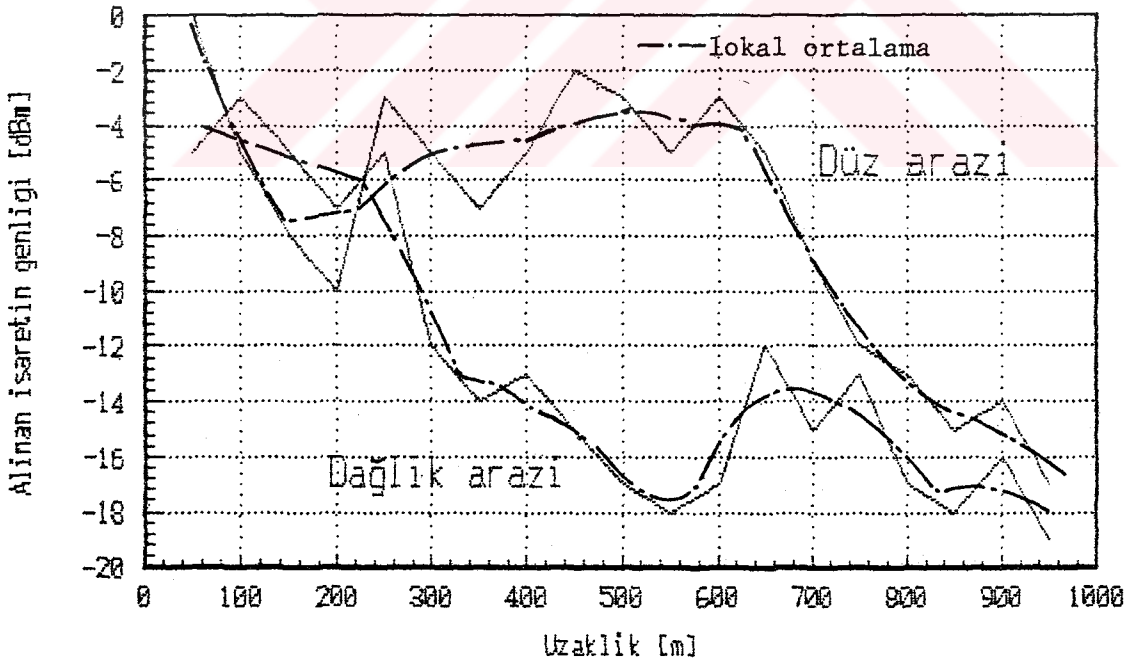


Şekil 43 BS'nin kuzeyinden batıya doğru devlet karayolunda Akçaabat-Mersin' e kadar yaklaşık 25 km uzaklıkta (1-13), doğuda Trabzon-Yomra arasında DSI tesislerine kadar olan yoldaki(14-27) işaret seviyelerinin değişimi.

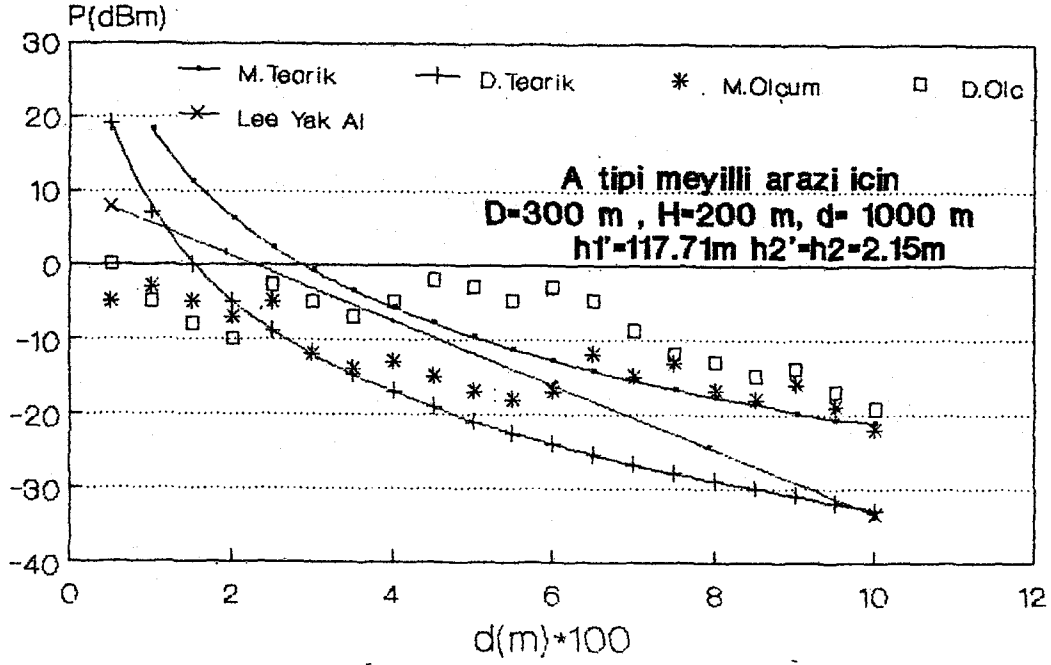
Şekil 46'da şehir içini düz arazi, Boztepe yolunu da meyilli arazi kabul ederek Lee'nin modeline göre [24] şehir içinde 600 m'ye, Boztepe yolunda kuş uçuşu yaklaşık 1000 m'ye kadar olan mesafede hesaplanan teorik değerler ile ölçülen değerler aynı eksen takımı üzerinde gösterilmiştir. Şekil 47, şehir içinde Boztepe-Meydan-K.Maraş cad.-Kalekapı-sahil yolu ve Uzunsokak'taki işaret değişiminin 3-boyutlu çizimidir. Şekil 48'de ise yaklaşık 25 km mesafeye kadar olan uzaklıkta Okumura ve arkadaşlarının Tokyo şehri ve banliyölerinde yaptıkları alan şiddeti ($\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$) cinsinden elde ettikleri ölçme sonuçları ile Lee modeline göre tahmin edilen değerler, ölçülen değerlerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (dBm cinsinden güç seviyesi olarak ölçülen değerler elektrik alan şiddetine dönüştürülmüştür).



Şekil 44 Şehir içinde ve sahil yolunda işaret değişimlerinin karşılaştırılması.



Şekil 45 Düz ve meyilli arazidaki işaret değişimlerinin karşılaştırılması.

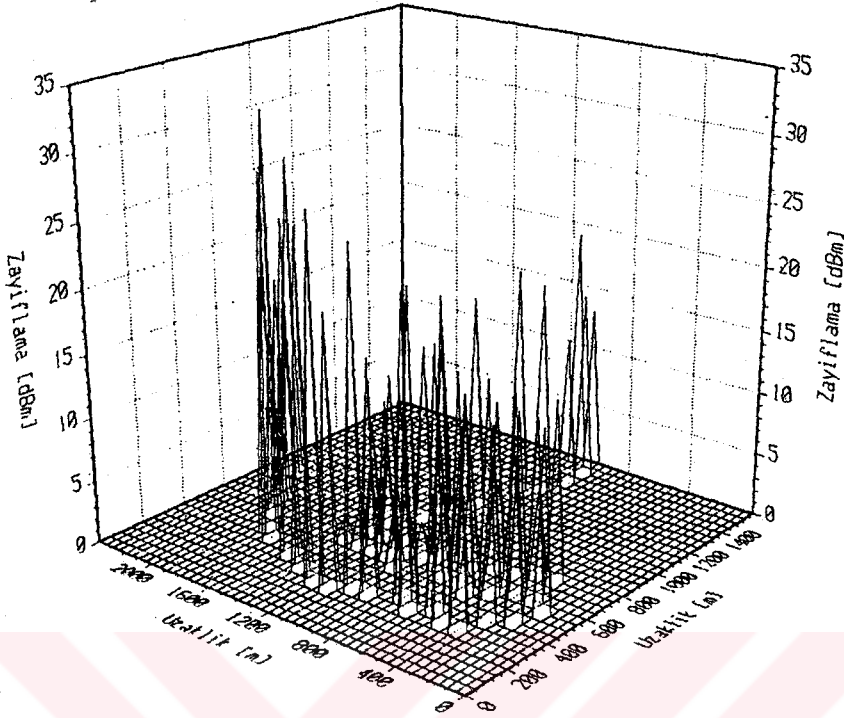


Şekil 46 Meyilli ve düz arazi için ölçülen ve hesaplanan değerlerin Lee'nin yakın alan modeli ile karşılaştırılması.

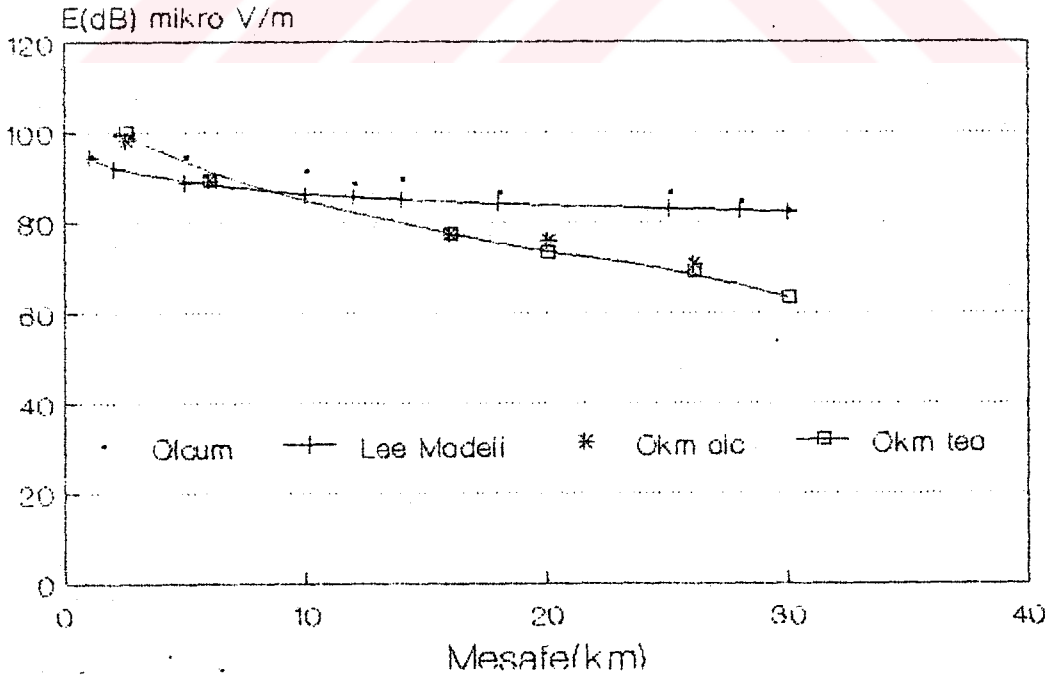
Lee modeline göre düz arazi için hareketli de alınan güç serbest uzay veya Friis eşitliği diye bilinen (14) eşitliğinden elde edilir. Meyilli arazi için Şekil 49'dan elde edilen

$$P_r = \alpha_0 \frac{P + g_1 g_2}{d^4} n^2 \left[h_1 + \frac{DH}{d-D} \right]^2 \quad (65)$$

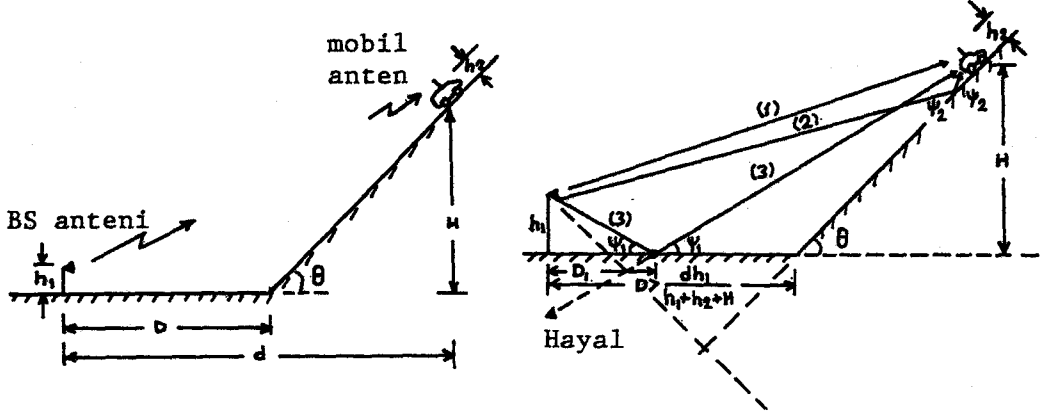
eşitliği ile bulunur. Burada α_0 , direkt dalganın zayıflamasıdır. Düz arazi modeli için mesafenin her iki katına çıkışında zayıflamadaki artış 12 dB dir, diğer bir ifade ile zayıflamanın mesafe ile değişimi 12 dB/oktav'dır.



Şekil 47 Şehir içinde ve sahil yolunda işaret seviyesi değişimlerinin 3-boyutlu çizimi.



Şekil 48 Uzak mesafe ölçmeleriyle Lee ve Okumura modellerinin karşılaştırılması.



Şekil 49 iki yansıyan dalga olması halinde A-tipi arazi için Lee modeli.

2.1.3.2. Konuşmaların İşaret Seviyesi Çizimleri

Şekil 50'de, hareketliden-sabite, sabitten-hareketliye ve hareketliden-hareketliye olmak üzere üç türlü haberleşme şekli için çeşitli durumlarda ve çeşitli zamanlarda gerçekleştirilen konuşmaların $y-x(t)$ değişimleri çizilmiştir.

(a) Yer İstasyonuna yaklaşık 250 m mesafede ve kaydedicinin hızı 0.25 s/cm iken bir konuşmanın işaret seviyesinin değişimi.

(b) Şehirlerarası yolda toptancı hali civarında ve oldukça yoğun bir trafikteki bir konuşmanın işaret seviyesinin değişimi.

(c) Saat 16.00 civarında oldukça güneşli bir havada sabit bir aboneden gelen bir konuşmanın kaydıdır. Kaydedicinin hızı 0.25 s/cm.

(d) Kaydedicinin değerleri 1 mV/cm ve 0.25 s/cm iken bir konuşmanın kaydı.

(e) Yer İstasyonundan yaklaşık 2 km mesafede direkt görüş hattının olmadığı durumda, kaydedici parametreleri 0.5 mV/cm ve 1 s/cm iken gelen konuşmanın kaydı.

(f) Değirmendere-Maçka yolu kavşağından 100-200 m arasında kaydedici sabitleri 1s/cm ve 0.5 mV/cm iken çok zayıf bir görüşmenin işaret değişimi.

(g) Akçaabat yolunda Yıldızlı tepe üstü mevkiinde hareketliden sabit aboneye gerçekleştirilen konuşmanın işaret değişimi.

(h) Yıldızlı tepe üstü mevkiinde gelen bir konuşmanın kaydı.

(i) Maraş caddesinde araç Yer İstasyonuna (araç anteni Yer İstasyonu antenini görüyor) yapılan konuşmanın işaret değişimi, 0.05 mV/cm, 1 s/cm.

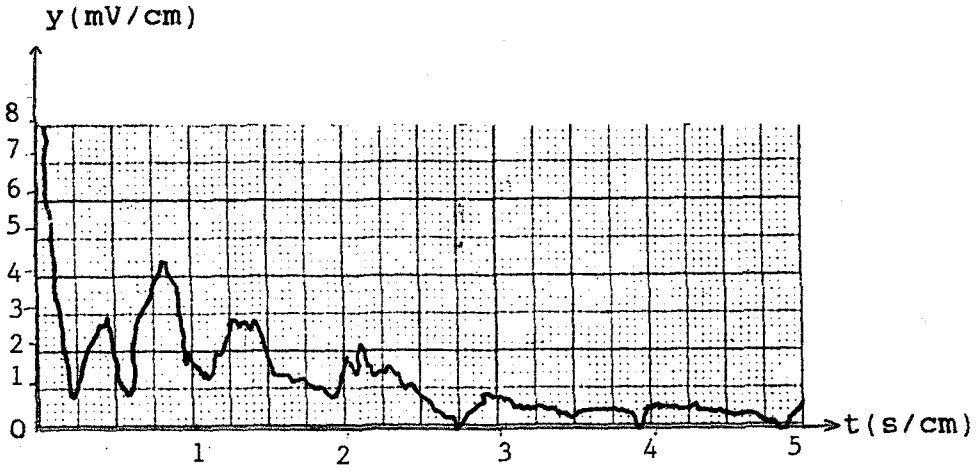
(j) Uzunsokak çıkışı ile Meydan parkı arasında gerçekleştirilen konuşma, 0.05 mV/cm, 1 s/cm.

(k) Gelen bir konuşmanın kaydı.

(l) Hareketlilerden biri Beşirli'den şehre doğru, diğeri Of-Sürmene'den şehre doğru (her ikisi de Yer İstasyonuna yaklaşırken) iken gerçekleştirilen konuşmanın çizimi.

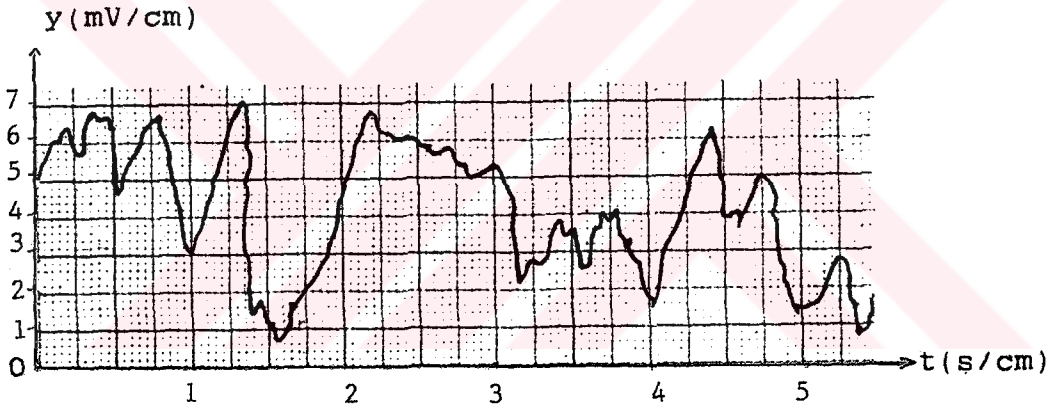
(m) Kapalı alanda gürültülü ortamda hareketliden sabit aboneye konuşma işaretinin değişimi (kaydedici sabitleri 0.25 V/cm ve 1 s/cm)

Makina Mühendisliği Bölümü atölyesine girerken -35 dBm olan işaret seviyesi, atölyede -38 dBm'e düştü. Aracın motoru çalışırken gürültülü olan ve çok zor gerçekleştirilen konuşmada kaydedici kayıt yapamadı. Motor durdurulunca değişimi Şekil 50 (m)'de görülen rahat anlaşılır bir konuşma gerçekleştirildi.

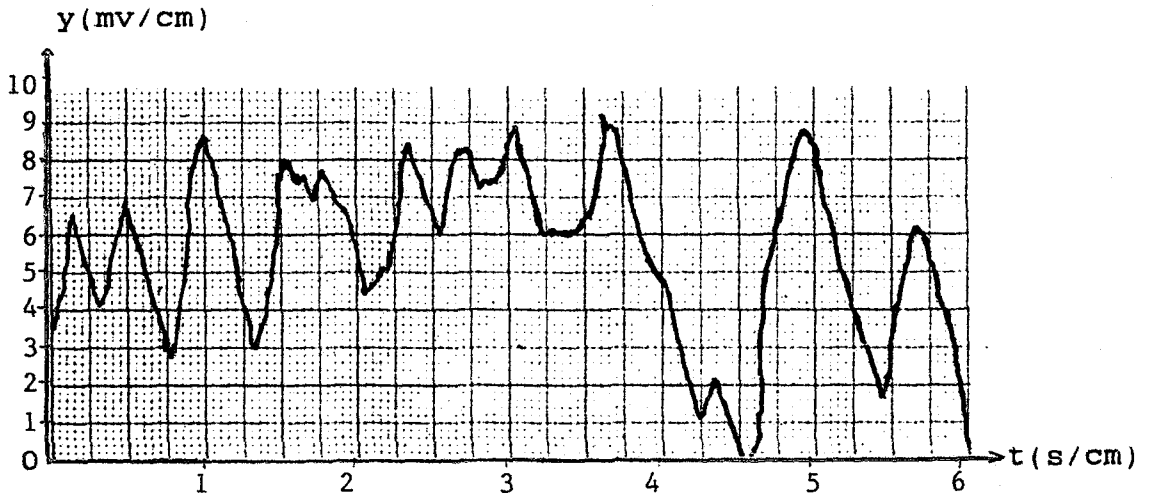


(a)

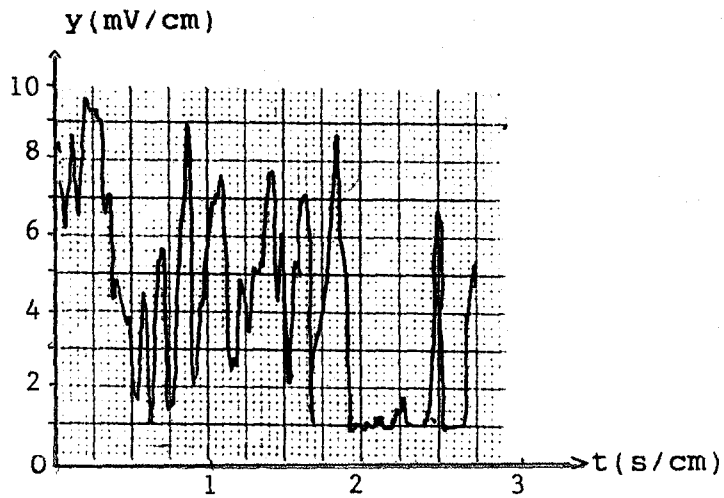
Şekil 50 Üç şekilde gerçekleştirilen konuşmaların işaret seviyeleri değişimlerin $y-x(t)$ çizimleri



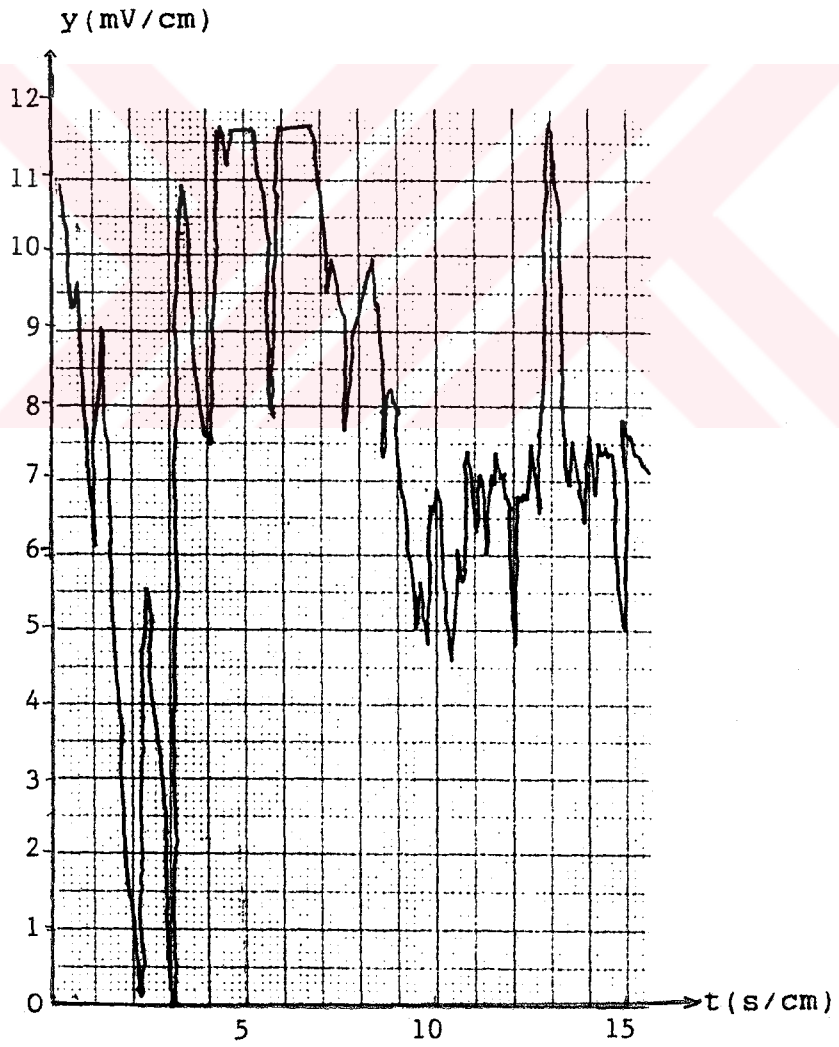
(b)



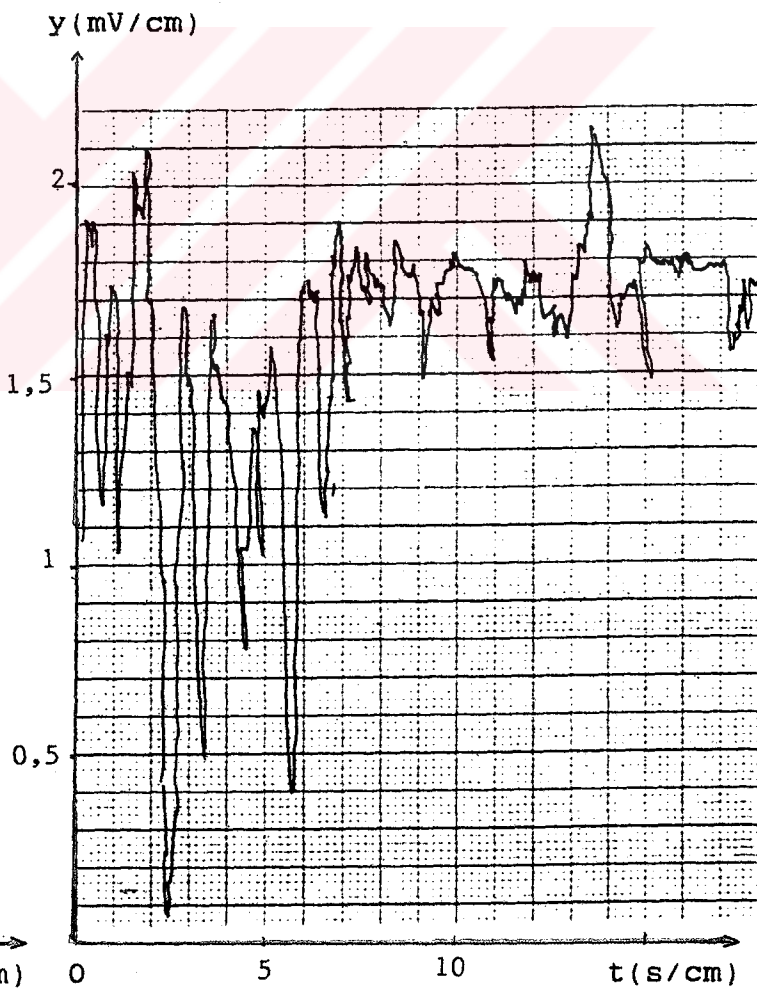
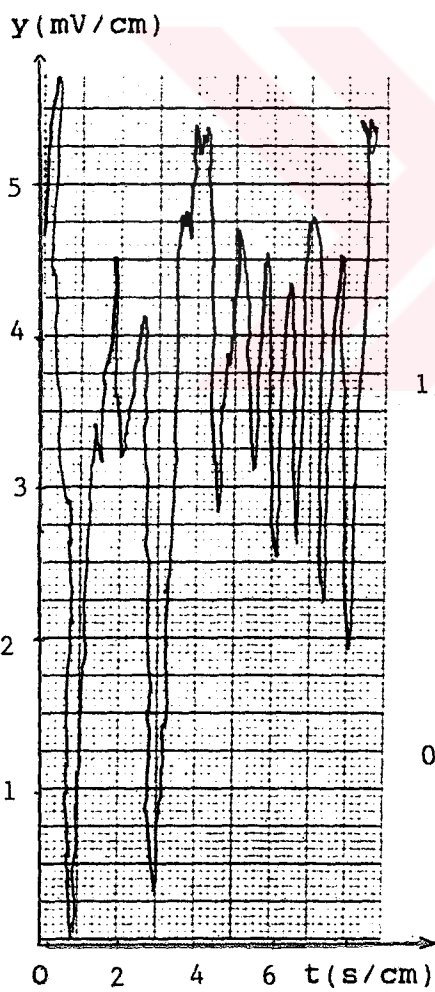
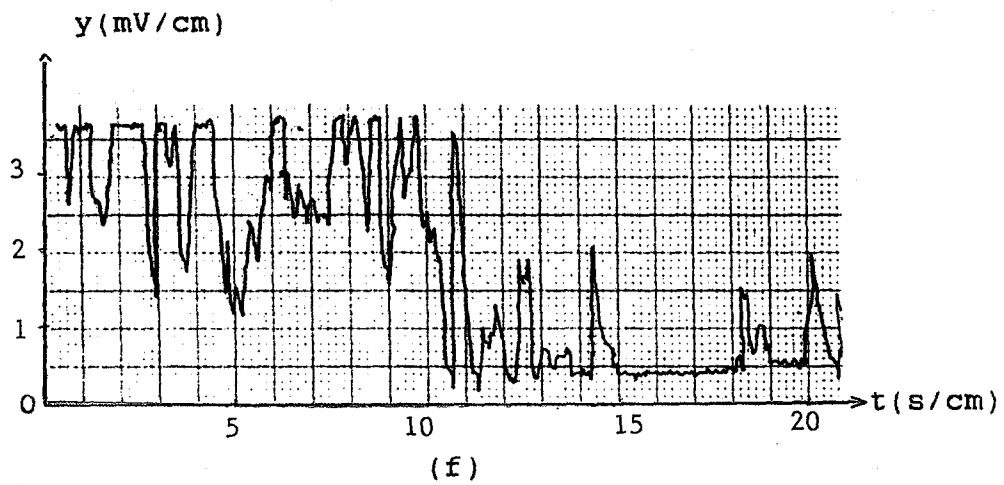
(c)

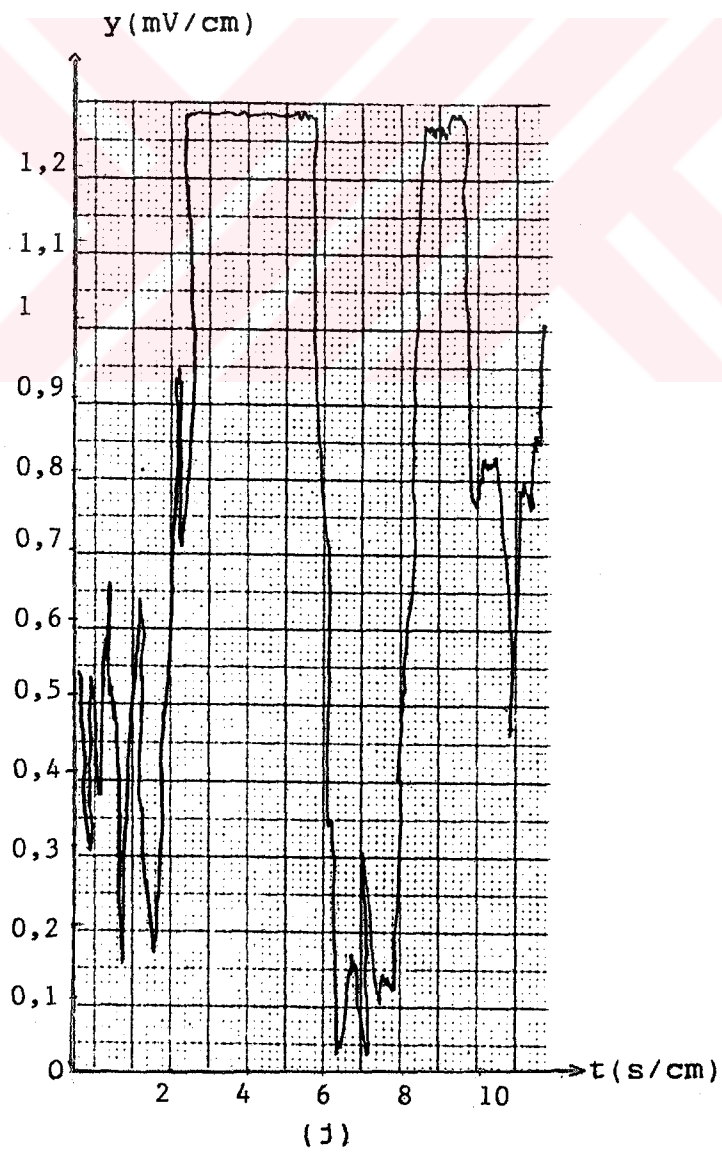
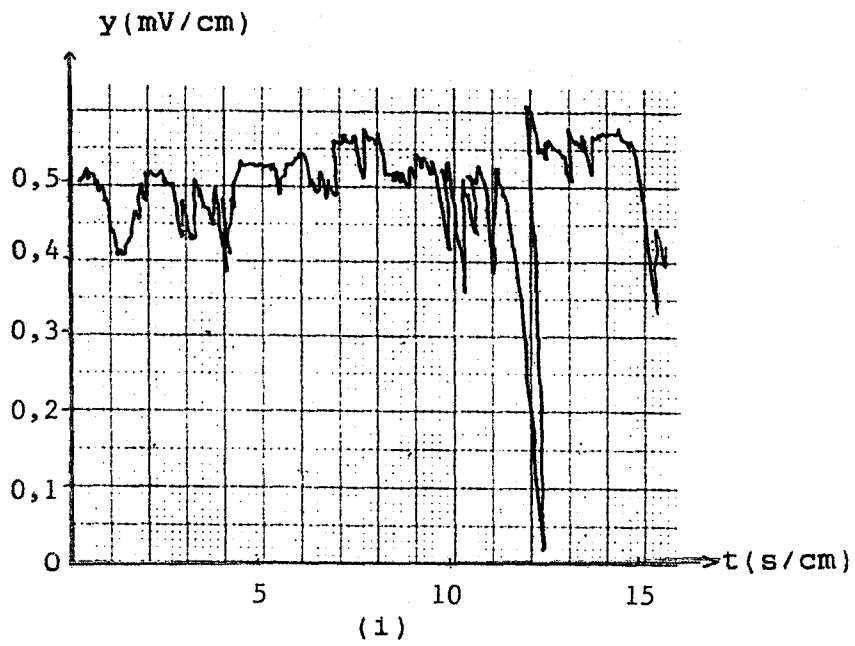


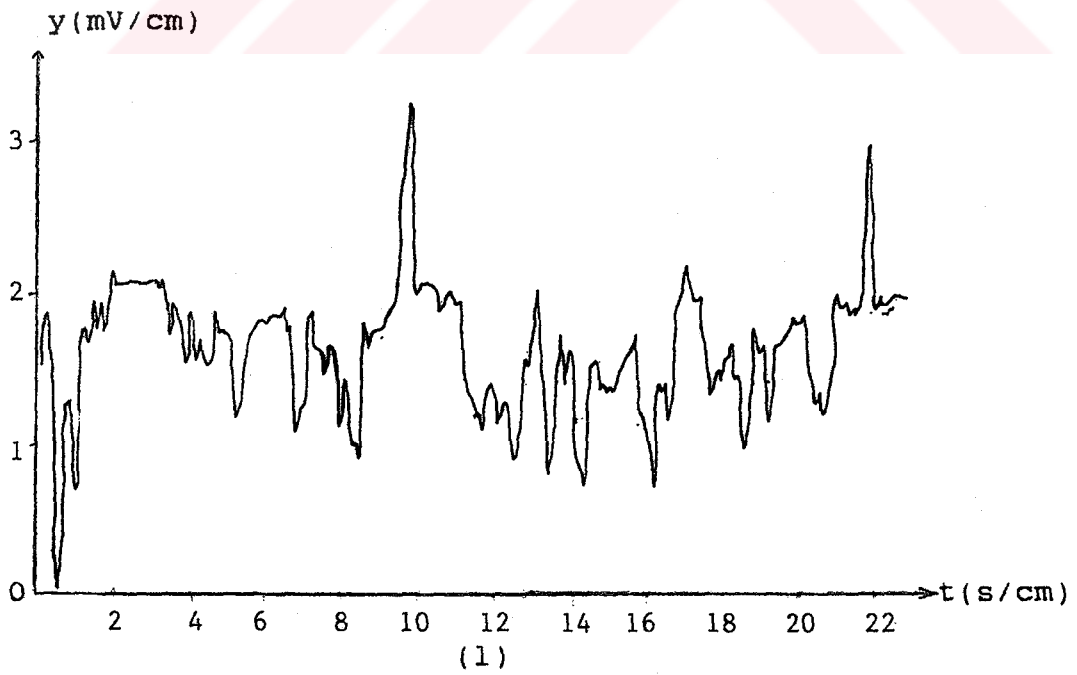
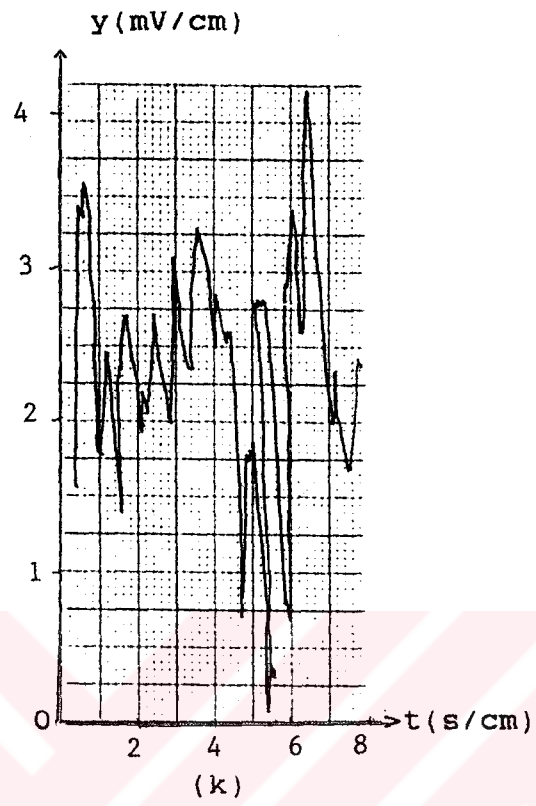
(d)

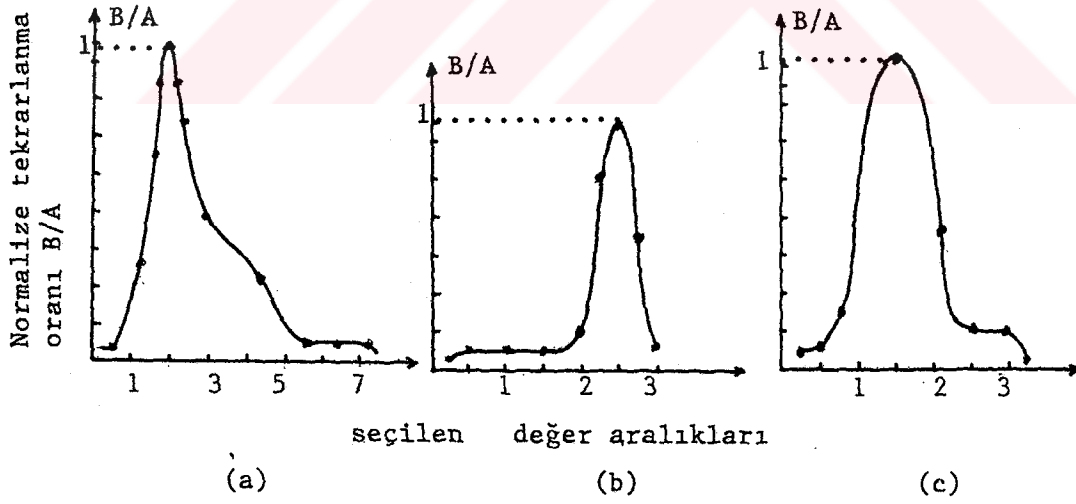
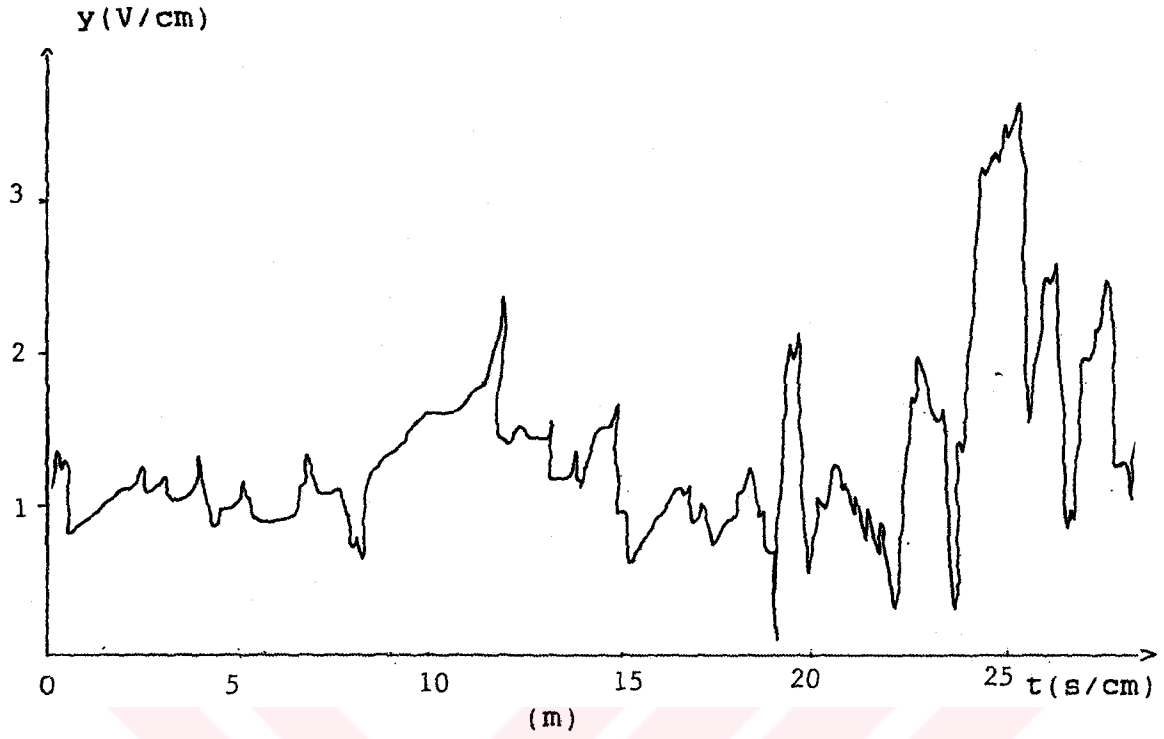


(e)







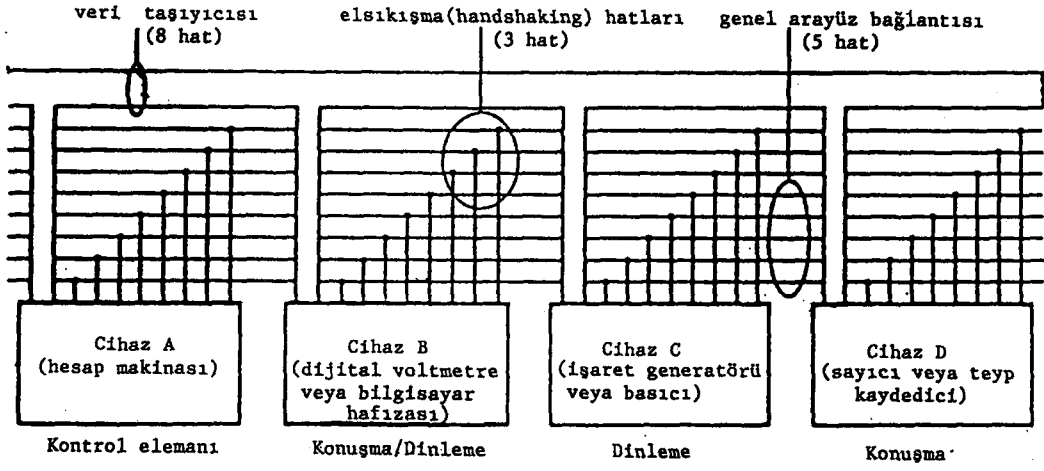


Şekil 51 Üç farklı işaret değişiminin çiziminden elde edilen Rayleigh ve lognormal dağılımlar
(a) Rayleigh (b) ve (c) lognormal dağılımlar

2.1.4. Hareketli Ortamda Veri İletimi ve Kaydı

Sayısal bilgi gönderme ve alma işlemi iki türlü gerçekleştirilebilir: 1) Araç telefonunun sayısal bilgi gönderme tuşunu (M) kullanarak. Bu tuşla sayısal bilgiler sayısal telefon şebekelerinde olduğu gibi çift-tonlu çoklu frekans (Dual Tone Multi Frequency, DTMF) işaretlerine dönüştürülerek MSC'ye gönderilir. Böylece istenilen numaraya veya uzaktan kumandalı telex, telefax gibi cihazlara mesaj iletilebilir veya bu cihazlardan mesaj alınabilir. Bu kolaylık PTT'nin kanal tahsis imkanlarına bağlıdır. Trabzon' da henüz böyle bir imkandan yararlanmak isteyen araç telefonu sahibi olmadığı PTT yetkililerince ifade edilmiştir. 2) Deneylerde kullanılan RF dijital güçmetresinin IEEE-488 Paralel çıkış kapısı kullanılarak sayısal bilgi iletimi ve alınması mümkündür. Şekil 51 bu taşıyıcı bağlantısının dört farklı çalışma şekline göre nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Güçmetrenin uzaktan kontrolü; 1. Konuşma (talker) modu bir sayıcı veya teyp okuyucunun bağlantısı gibidir. 2. Dinleme (listener) modu ise bir işaret kaynağı veya bir yazıcı (printer) bağlanması gibidir. 3. Hem konuşma hem de dinleme (talker / listener) modu ise dijital bir voltmetre veya bilgisayar hafızasına bağlanabilmesidir. 4. Kontrol modu ise bir bilgisayara veya cep bilgisayarına bağlanmasıdır. IEEE-488 kapısının 16 çıkış hattından 8'i veri hattı (data bus) olarak, 3'ü işaret hattı kalan 5'i de genel arayüz kontrolü için kullanılır [74-75].



Şekil 52 IEEE-488 arayüzünün blok diyagramı.

2.2. BİLGİSAYAR DESTEKLİ ÇALIŞMALAR

2.2.1. TAP Program Paketi:

SoftWright firması tarafından geliştirilen bu program paketinin tam adı Yer Analiz Paketi (Terrain Analysis Package, TAP) dir. 25 kadar programdan oluşan ve bunlar için 3-boyutlu bir çizim programını da kapsayan bir takımdır. Bu takımdan çalışmalarla ilgili edinilebilen

- Anten Işıma Diyagramları,
- Yol Geometrisi Diyagramları,
- Topografik Veri Diyagramları,

- Mesafe ve koordinat hesaplamalarına ait program paketleri bilgisayar destekli çalışmalarda kullanıldı. Paket programın ana menüsünde 16 değişik program yer almaktadır. Program paketi oldukça geniş kapsamlı bir kullanıcı el kitabı ile desteklenmiştir [76].

2.2.2 Anten Işıma Diyagramları:

Hücreli hareketli haberleşme sisteminde kullanılan antenlerin her yöne yayın yapan yöneltmesiz (omni-directional) antenler olduğu daha önce ifade edilmişti. Bu antenler Şekil 37 ve 38'de görüldüğü gibi bir kulenin kenarına monte edilmişlerdir. Belirlenecek anten parametreleri

- Anten kullanılacağı frekans (çalışma frekansı),
- Kulenin biçimi (üçgen veya kare),
- Kulenin kenar uzunluğu,
- Anten montaj şekli (kulenin kenarına, merkezine veya köşesine),
- Anten çerçevesinin kuleden montaj uzaklığı,
- Anten kazancı,
- Anten ışım kazancı için referans seçimi (ortalama), (max).

Sonuçta girilen parametreler esas alınarak ışım diyagramları çizdirilebilir ve bu diyagramlara ilişkin eğrileri her noktasının sayısal değerleri elde edilebilir. Işıma diyagramları ışınlanan güce göre (radiated power) veya alan şiddetine (field strength) göre çizilebilir. Bu bölümdeki çizimlerde alan şiddetleri hesaplanarak kullanılmıştır. Sadece yatay örnekler (horizontal patterns) çizdirilmiştir.

Anten montaj şekilleri menüsü ekrana geldiğinde:

- Çalışma frekansı (MHz),
- Yöneltilmesiz antenin kazancı [dBd], [dBi], [REL],
- Kenar montaj tipi (üçgen, kare),
- Antenin kuleden yüksekliği (m),
- Kulenin kenar uzunluğu (m),
- Kazanç referansı [AVG], [MAX] girilir.

Çalışma frekansı 25-1300 MHz arasında seçilir.

Yöneltilmesiz antenin kazancı dipol antene göre [dBd] girilir.

Azimuth kazanç değerleri ana kulağa normalizeli bağıl alan değerleridir. Ana kulak azimuth alan kazancı değeri 1'e setlenmiştir. Diğer azimuthların kazanç değeri 0.01'den 1'e kadar azimuth cinsinden bağıl gerilim kazancını gösterir. Her radyalin gücü ise o azimuthun bağıl gerilim kazancının karesiyle orantılıdır. 450 MHz için antenin kuleye montaj mesafesi 60.96 cm ve kulenin kenar uzunluğu 3.657 m'dir. Işıma kazancı hesabı için referans seçimini kazanç değerlerini hesaplarken referans olarak alır.

[MAX] seçilirse; farklı azimuthlardaki anten kazancında hesaplanan değişiklikler maximum değere orantılı olarak hesaplanır.

[AVG] seçilirse; farklı azimuthlardaki anten kazancında hesaplanan değişiklikler aritmetik ortalama değere göre hesaplanır.

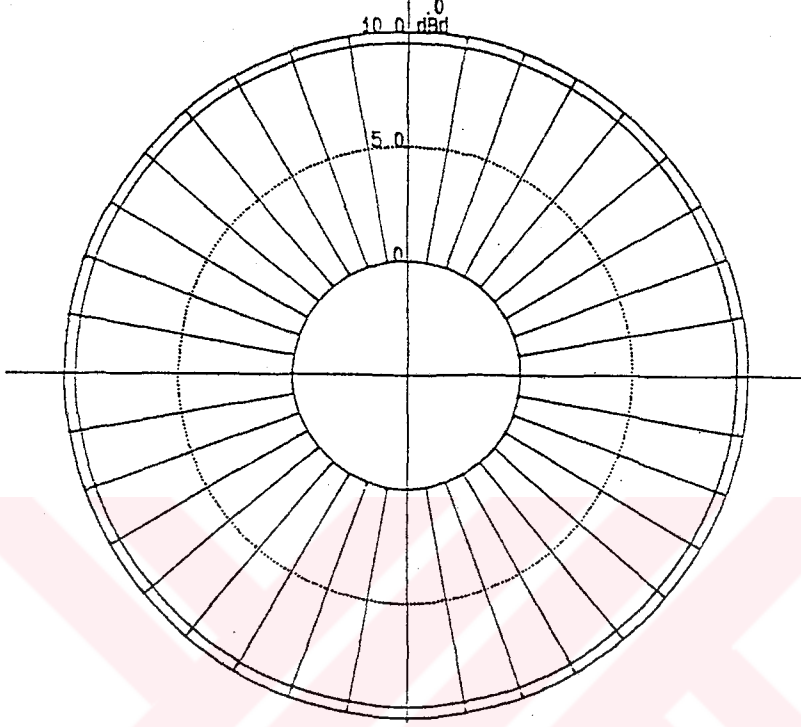
Mükemmel bir yöneltilmesiz örnek (pattern) için kazanç uniform olmalıdır (değişmemelidir). böylece maximum ve minimum değerleri arasında bir fark olmayacaktır. Aradaki fark yöneltilmesiz örneğin toplam bozulmasının (distorsiyonunun) bir ölçüsünü verir.

TAP anten kütüphanesinde sadece yöneltilmesiz antenler için değil, yönlü antenler için de edit imkânı ve hem yatay

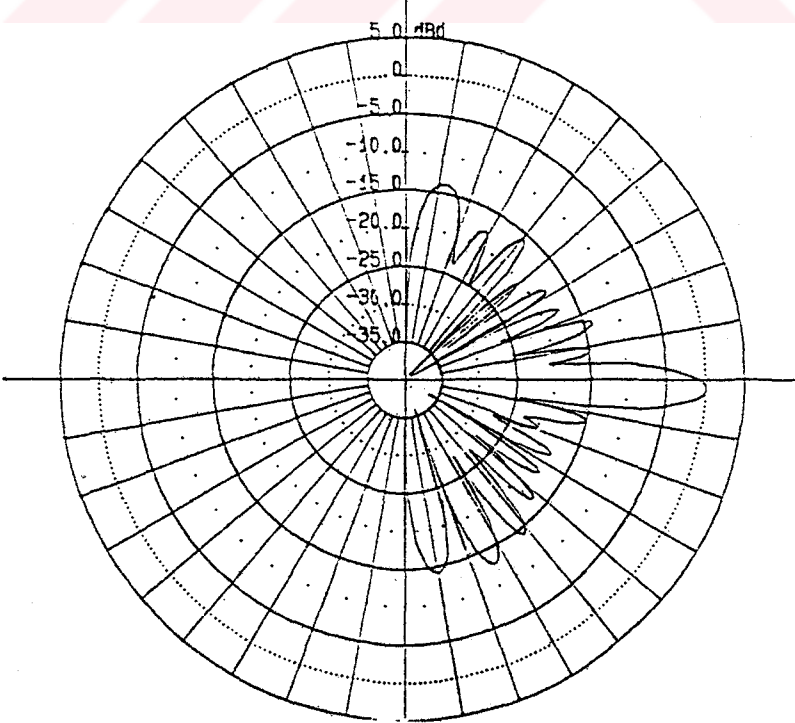
ve düşey ışımaya diyagramlarını çizdirebilme imkanı vardır. Şekil 24'de verilen bir antenin alan bölgeleri sınıflamasındaki antenin çok yakınındaki reaktif yakın alan bölgesinde reaktif alan bileşenleri baskın olur. Bölgenin dış sınırının antenden uzaklığı R , antenin boyu L ise bölgeyi tanımlayan ifade $R < 0.62(L^3/\lambda)^{1/2}$ olarak alınır. Yakın ışımaya alanı (Fresnel) bölgesinde ise ışımaya alanlarının bileşenleri daha baskındır ve alanın açısal dağılımı antenden olan uzaklığa bağlıdır. Bölgenin iç sınırı $R \geq 0.62(L^3/\lambda)^{1/2}$, dış sınırı ise $R < 2L^2/\lambda$ olarak alınır [77]. Uzak alan bölgesi alanın açısal dağılımının antene olan uzaklıktan bağımsız olduğu bölgedir. Bölgenin iç sınırı $R = 2L^2/\lambda$, dış sınırı ise sonsuz kabul edilir. Bu çalışmada çizilen bütün ışımaya diyagramlarında yakın alan bölgesi temel olarak alınmıştır. Ayrıca çizimlerde antenin ışımalarının mesafeye göre değişimi değil, açıya göre değişimi verilmiştir.

Programda kullanılan antenler yönlendirmesiz olmasına rağmen ışımaya diyagramları şekillerden görüleceği gibi, yönlü çıkmaktadır. Bunun sebebi antenin bir kuleye monte edilmiş olması ve antenin yüksekliğidir. Yönlendirmesiz bir antenin ışımaya alanı bölgesinde alanların sadece enine bileşenleri bulunur. Güç akışı (Poynting Vektörü) kaynaktan çıkan doğrular boyunca olur. Yönlendirmesiz bir antenin ışımaya alanı (idealde) küresel bir çatıdaki θ yükselme açısından (elevation angle) ve ϕ yatay açıdan (azimuth angle) bağımsızdır. Yer istasyonlarındaki alıcı ve verici antenler yüksek kazançlı yönlendirmesiz ve düşey kutuplamalı olarak seçilmişlerdir. Bu antenler bir kule direğine monteli olarak alıcı ve verici anten olmak üzere iki ayrı anten olarak kullanılır. Haberleşmede birinci kanal için ortak anten kullanılır. Bu kanal hareketli haberleşmede test için kullanılır. Yer istasyonlarında kullanılan antenler $\lambda/4$ boyunda olup bir antene maksimum 40 kanal bağlanabildiği ifade edilmiştir. Çizilen ışımaya diyagramları karakteristik özellikleriyle birlikte Şekil 53 - 60 'da verilmiştir. Işımaya diyagramları sadece verici antenler için değil, alıcı antenler için de çizilebilir. Şekil 60, bir hareketlinin

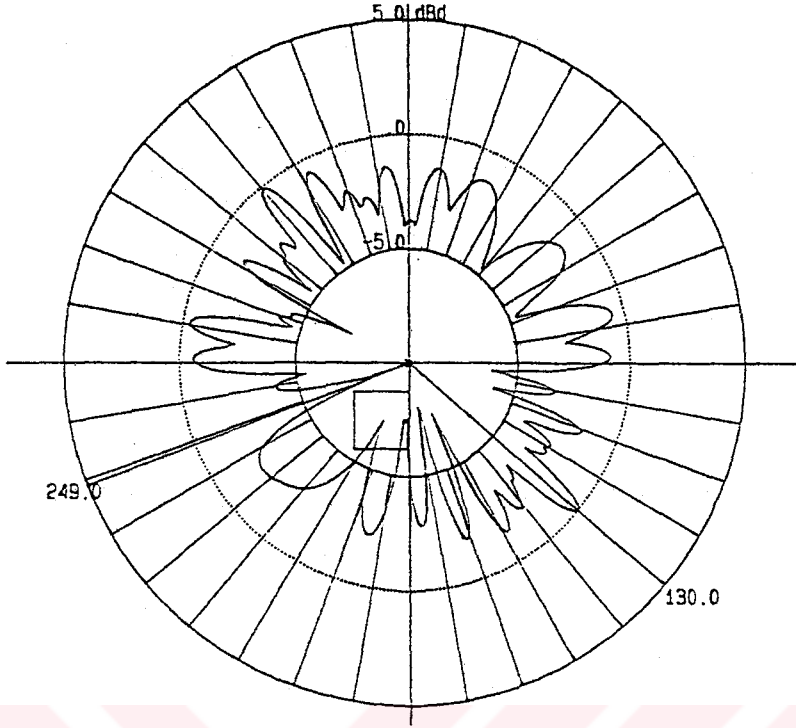
anteninin ışımaya diyagramını göstermektedir. Tablo 4'de ise 5'er derecelik azimuth açılarıyla (72 radyal için) hesaplanan kazanç değerleri verilmiştir.



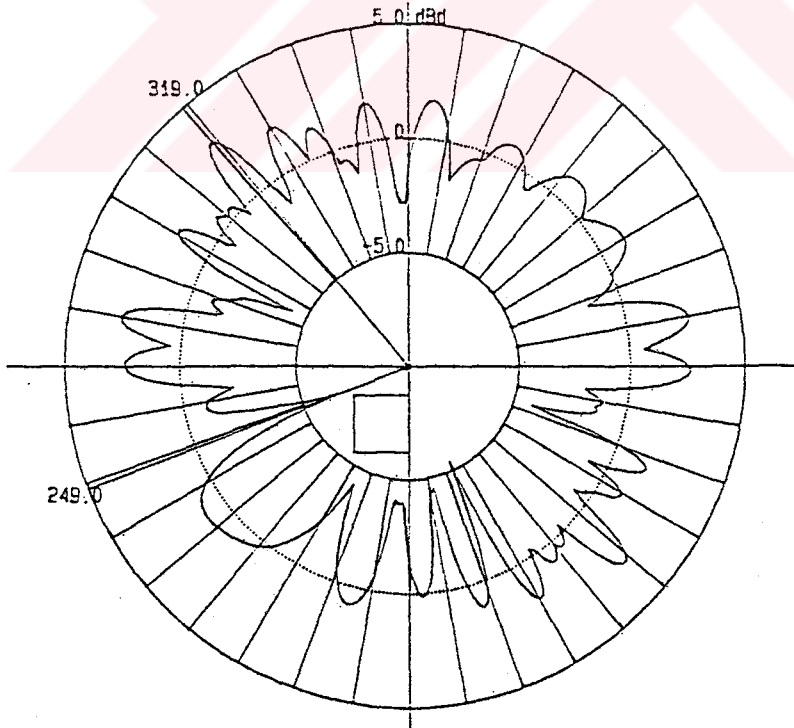
Şekil 53 ideal yönelimsiz bir antenin ışımaya diyagramı
Ana kılak kazancı: 9.5 dB, azimuth açısı: 0°.



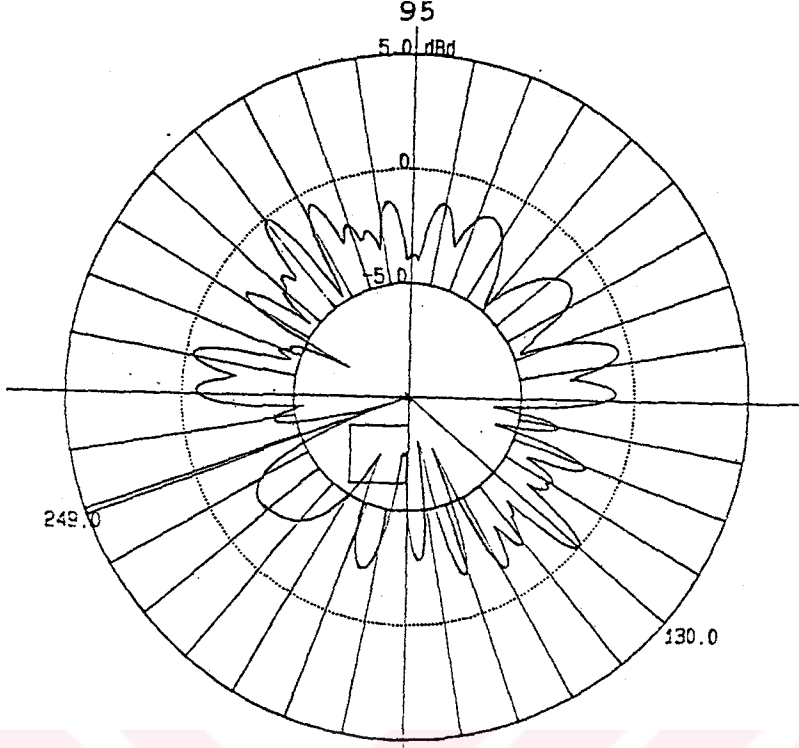
Şekil 54 420-430 MHz'de çalışan yönelimsiz bir antenin düşey (vertical) ışımaya diyagramı.



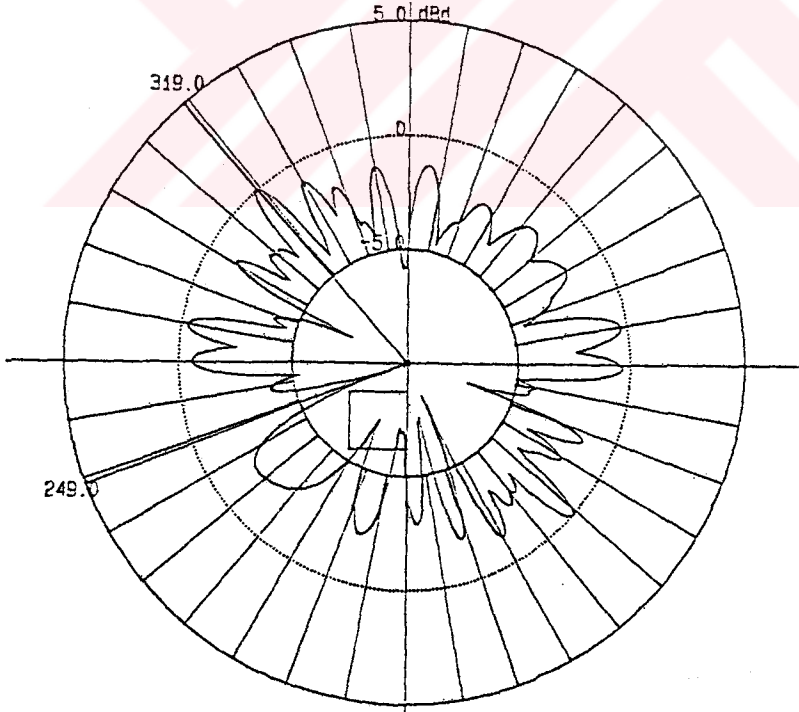
Şekil 55 Trabzon BS 4. kanal için yönlentmesiz alıcı anten ışım diyagramı. Max. ışım: 3 dBd, azimuth: 130°
Min. ışım: -6.227 dBd, azimuth: 249°
Kazanç: 3 dBd.



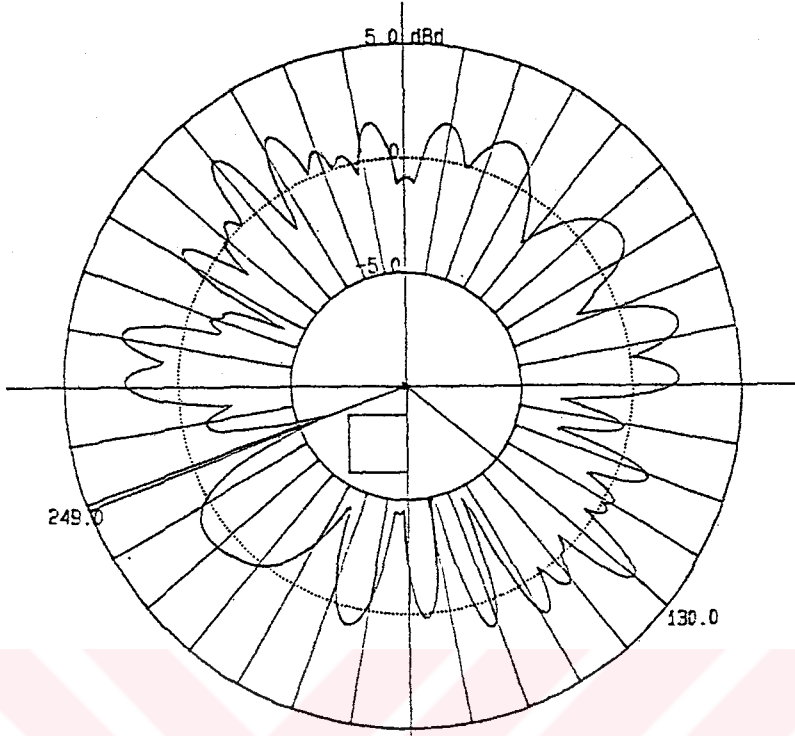
Şekil 56 Trabzon BS 4. kanal için yönlentmesiz verici anten ışım diyagramı. Max. ışım: 3 dBd, azimuth: 319°
Min. ışım: -6.227 dBd, azimuth: 249°
Kazanç: 3 dBd.



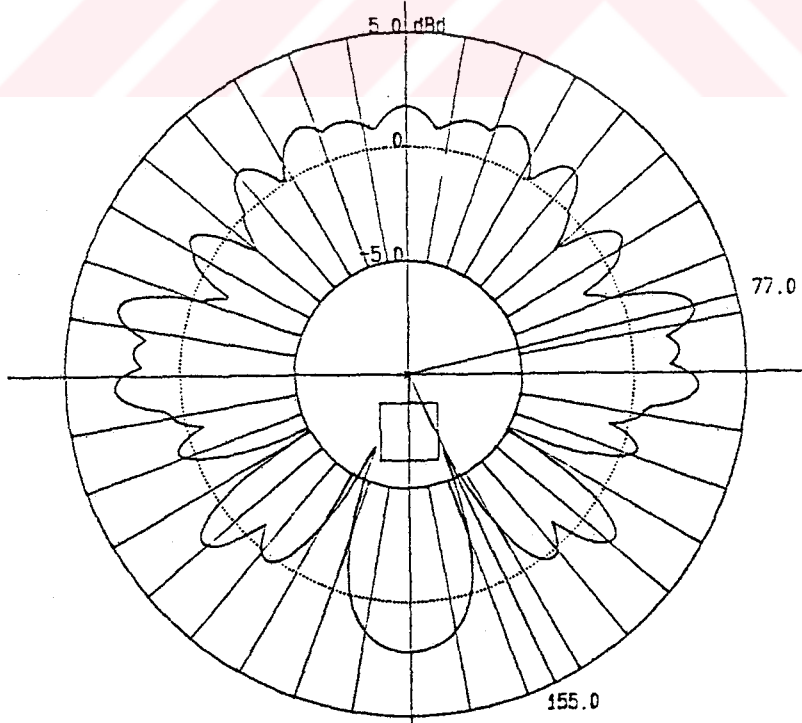
Şekil 57 Akçaabat BS 6. kanal yöneltmesiz alıcı antenin ışım diyagramı. Max. ışım: 0 dB, azimuth: 130°
Min. ışım: -9.232 dB, azimuth: 249°
Kazanç: 0 dB.



Şekil 58 Akçaabat BS 6. kanal yöneltmesiz verici antenin ışım diyagramı. Max. ışım: 0 dB, azimuth: 319°
Min. ışım: -9.611 dB, azimuth: 249°
Kazanç: 0 dB.



Şekil 59 Of BS 23. kanal yöneltmesiz alıcı antenin ışım diyagramı. Max. ışım: 3 dB, azimuth: 130°
Min. ışım: -6.270 dB, azimuth: 249°
Kazanç: 3 dB.



Şekil 60 Trabzon BS 4.kanal hareketli abone için ışım diyagramı. Max. ışım: 3 dB, azimuth: 77°
Min. ışım: -6.480 dB, azimuth: 155°
Kazanç: 3 dB.

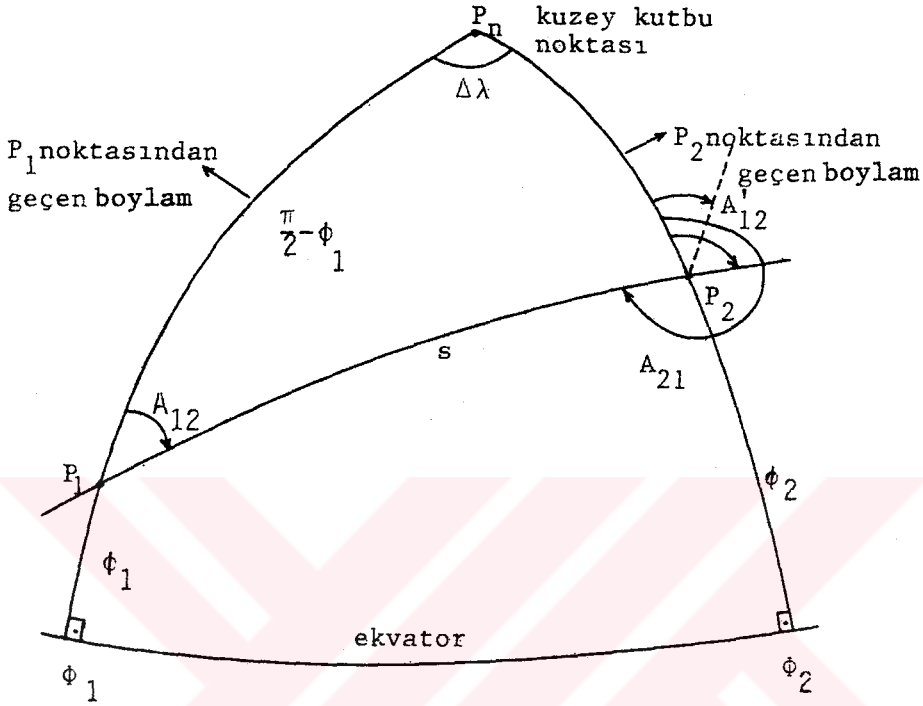
Tablo 4 TRABZON Yer istasyonu alıcı anteninin
Azimuth açıları ve kazançları (4.kanal)

ANTEN PARAMETRELERİ

415.575MHz Antenin Kuleden Yüksekliği=1m
Kule Kenar Uzunluğu=2.5m Ana kulak kazancı=3dBd
Yöneltmesiz (Omni-Directional) Anten

AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)	AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)
.0	-.791	180.0	-2.107
5.0	+.247	185.0	-4.504
10.0	+1.572	190.0	-.388
15.0	+.114	195.0	+.719
20.0	+1.256	200.0	-.793
25.0	+1.685	205.0	-4.224
30.0	+1.015	210.0	-2.078
35.0	-.381	215.0	-.571
40.0	-1.605	220.0	+.183
45.0	+.156	225.0	+.561
50.0	+1.261	230.0	+.821
55.0	+1.624	235.0	+.902
60.0	+.909	240.0	+.315
65.0	-.999	245.0	-1.933
70.0	-.051	249.0	MIN -6.227
75.0	+2.283	255.0	-2.726
80.0	+1.762	260.0	-1.142
85.0	+1.375	265.0	-1.136
90.0	+1.780	270.0	+2.271
95.0	-3.157	275.0	+.974
100.0	-.269	280.0	+2.659
105.0	-2.963	285.0	+.044
110.0	+1.223	290.0	-1.100
115.0	-1.030	295.0	-2.932
120.0	+.301	300.0	+.918
125.0	-.542	305.0	-.514
130.0	MAX +3.000	310.0	+.008
135.0	-.710	315.0	+.014
140.0	+.985	320.0	+2.894
145.0	-.221	325.0	-.915
150.0	+1.285	330.0	+1.891
155.0	-4.451	335.0	+1.182
160.0	+.956	340.0	+.939
165.0	+1.267	345.0	+.489
170.0	-3.959	350.0	+.814
175.0	+.151	355.0	+1.167
180.0	-2.107	360.0	-.791

Burada azimuth açısı kısaca şekille açıklanmaya çalışılacaktır. Şekil 61'de A_{12} , A'_{12} ve A_{21} azimuth açılarıdır.



Şekil 61 Azimuth açısının gösterilimi.

Şekilde P_1 ve P_2 noktaları $P_1(\phi_1, \lambda_1)$, $P_2(\phi_2, \lambda_2)$ koordinatlarıyla verilmiştir. İstenenler S , A_{12} ve A_{21} 'in hesaplanmasıdır. S , metre cinsinden P_1 ve P_2 arasındaki uzaklıktır.

- A_{12} : 1'den 2'ye olan azimuth açısı,
 A_{21} : 2'den 1'e olan azimuth açıdır.
 $A_{21} = A'_{12} \pm \pi$ dir. Mesafe

$$S = \sigma R / \rho \quad (66)$$

den hesaplanır. Burada $\rho = 180/\pi$ dir.

$$\sigma = \arccos (\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos \Delta\lambda) \quad (67)$$

eşitliğinden bulunur. R ise dünyanın yarıçapıdır ve 6 373 924.115 m'dir. Bu değerlerden hesaplanacak azimuth

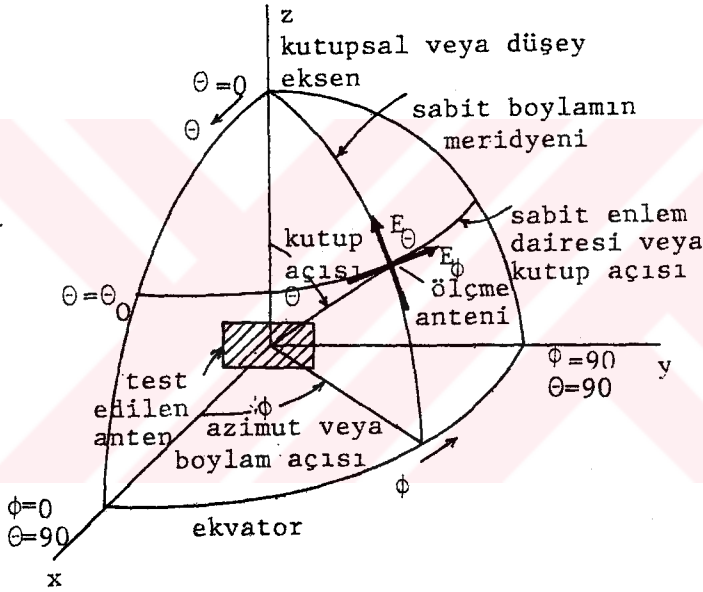
açıları ise

$$A_{12} = \arctan \frac{\sin \Delta \lambda}{\tan \theta_2 \cos \phi_1 - \sin \theta_1 \cos \Delta \lambda}$$

(68)

$$A'_{12} = \arctan \frac{\sin \Delta \lambda}{\tan \theta_2 \cos \phi_1 - \cos \theta_2 \tan \theta_1}$$

ile bulunur. Şekil 62 ise örnek ölçmeleri için anten ve koordinatları göstermektedir [69].



Şekil 62 Örnek ölçmeleri için anten ve koordinatlar.

2.2.3 Yol Geometrisi Diyagramları

Yerküre üzerinde belirli noktalara yerleştirilmiş olan verici ve alıcılar arasında sağlıklı bir haberleşmenin yapılması, aradaki mesafeye bağlı olduğu kadar yol boyunca engellerin (dağ, orman, bitki örtüsü, binalar vs...) alınan ve gönderilen işaretlerde meydana getirdiği zayıflatmalara da bağlıdır. Alıcı ile verici arasındaki yol üzerindeki engellerin tipleri ve büyüklükleri hakkındaki bilgilerin girilmesiyle yol şeklinin profili ve bu yol üzerinde hangi noktalarda gölgeleme, Fresnel bölgeleri ve engellemeler

olduğu düzenli bir şekilde çizdirilebilir. Yol boyunca engellerin bulunduğu yerin enlemi (latitude), boylamı (longitude) girilir. Engelin tabanının deniz seviyesinden yüksekliği, engelin en üst noktasının engelin tabanından yüksekliği ve engelin yarıçapı girilir. Bu suretle engelin genişliği tanımlanmış olur. Engelin tipi olarak, şayet engel binalar ise "B" (building), ağaçlar ise "T" (trees), bitki örtüsü ise "V" (vegetation) girilir.

Yol geometrisi programı yardımıyla merkezi Trabzon Merkez Yer İstasyonu olan 500 m yarıçaplı daire (şehir merkezi) içerisindeki engellerin listesi çıkarılmıştır.

Tablo 5 Merkez Yer İstasyonuna 500 m mesafedeki engeller

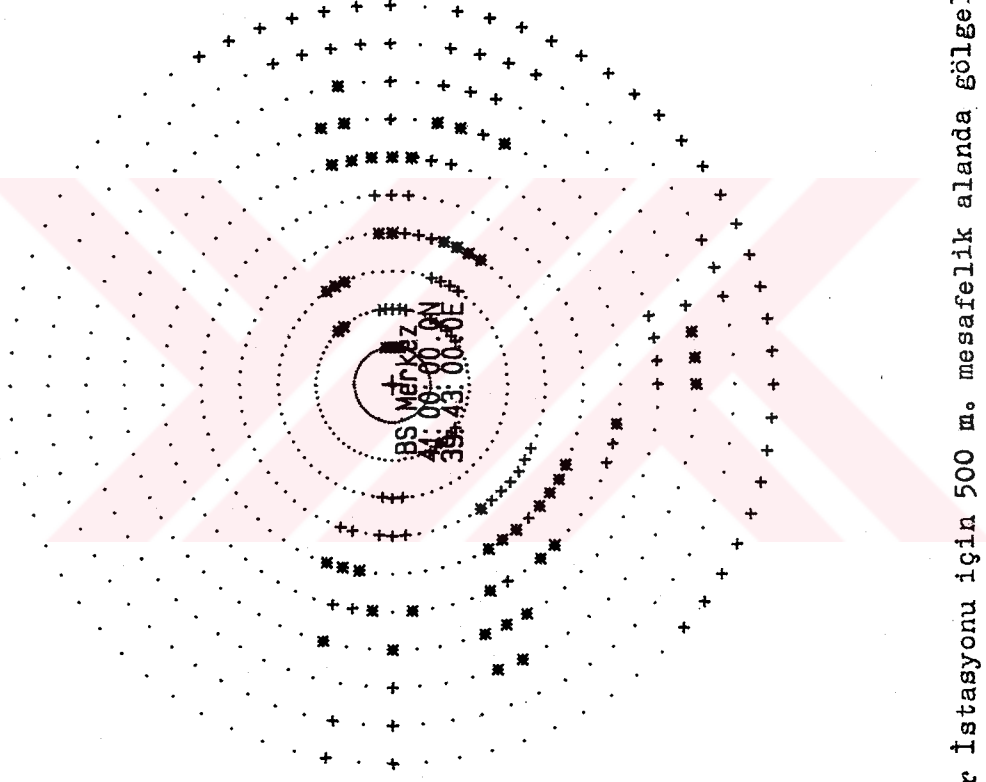
Merkez Yer İstasyonunun koordinatları 41:00:00:0N ve 39:43:00:0E				
Engelin Enlemi	Boylamı	Tipi	Mesafe(km)	Açıklık Açısı(°)
40:59:58 N	39:43:12 E	b	.29	102.4
40:59:58 N	39:43:19 E	t	.45	97.9
40:59:58 N	39:43:13 E	b	.31	101.5
40:59:58 N	39:43:15 E	b	.36	100.0
41:00:00 N	39:43:05 E	b	.12	90.0
41:00:00 N	39:43:07 E	b	.16	90.0
41:00:00 N	39:43:09 E	b	.21	90.0
41:00:00 N	39:43:11 E	b	.26	90.0
41:00:00 N	39:43:13 E	b	.30	90.0
41:00:00 N	39:43:14 E	b	.33	90.0
41:00:00 N	39:43:16 E	b	.37	90.0
41:00:00 N	39:43:17 E	b	.40	90.0
40:59:56 N	39:43:17 E	b	.42	107.3
40:59:56 N	39:43:16 E	b	.39	108.3
40:59:56 N	39:43:02 E	b	.13	159.3
41:00:01 N	39:43:18 E	b	.42	85.8
41:00:07 N	39:43:18 E	b	.47	62.8
41:00:12 N	39:43:18 E	b	.56	48.7
40:59:57 N	39:43:18 E	b	.43	102.4

Şekil 63, Merkez Yer istasyonunun 500 m etrafında 50'şer m aralıklarla (72 radyalda) yapılan gölge kontrolünü göstermektedir. Görüş alanının engellendiği yerlerde "+", Fresnel bölgesi engelini olduğu yerlerde "*" ve görüş hattının açık olduğu yerlerde ise "." konulmuştur. Şeklin ölçeklenmesi 1:10000'dir. Alıcı antenin yerden yüksekliği 1 m alınmıştır. Harita çizilirken yukarıda verilen engeller göz önüne alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi Yer istasyonunun kuzeyinde deniz olduğu için görüş hattı açıktır. Doğusunda ve batısında binalardan dolayı yer yer gölgelemeler meydana gelmektedir. Güneyde ise rakım yükseldiğinden görüş hattının açık olduğu noktalar daha fazladır.

Benzer şekilde kırsal alandaki Yer istasyonları için (Of-Fındıkoba ve Akçaabat-Eskiköy) 50 km yarıçaplı bir daire içinde her 5 km'de bir gölgeleme kontrolleri yapılmış ve sadece ilçelerle Trabzon il merkezinin yerini gösteren harita üzerinde engeller çizdirilmiştir. Şekil 64, Akçaabat-Eskiköy Yer istasyonu için çizilen gölgelemeyi göstermektedir. Burada sadece Eskiköy-Zigana-Fındıkoba üçgeni içerisine rastlayan engeller seçildiği için bu üçgen içerisine rastlayan kısımda görüş hattı engellenmiştir. 10 km'den sonra görüş hattının hemen hemen hiç olmadığı gözlenmektedir. Haritanın ölçeği 1:750000'dir.

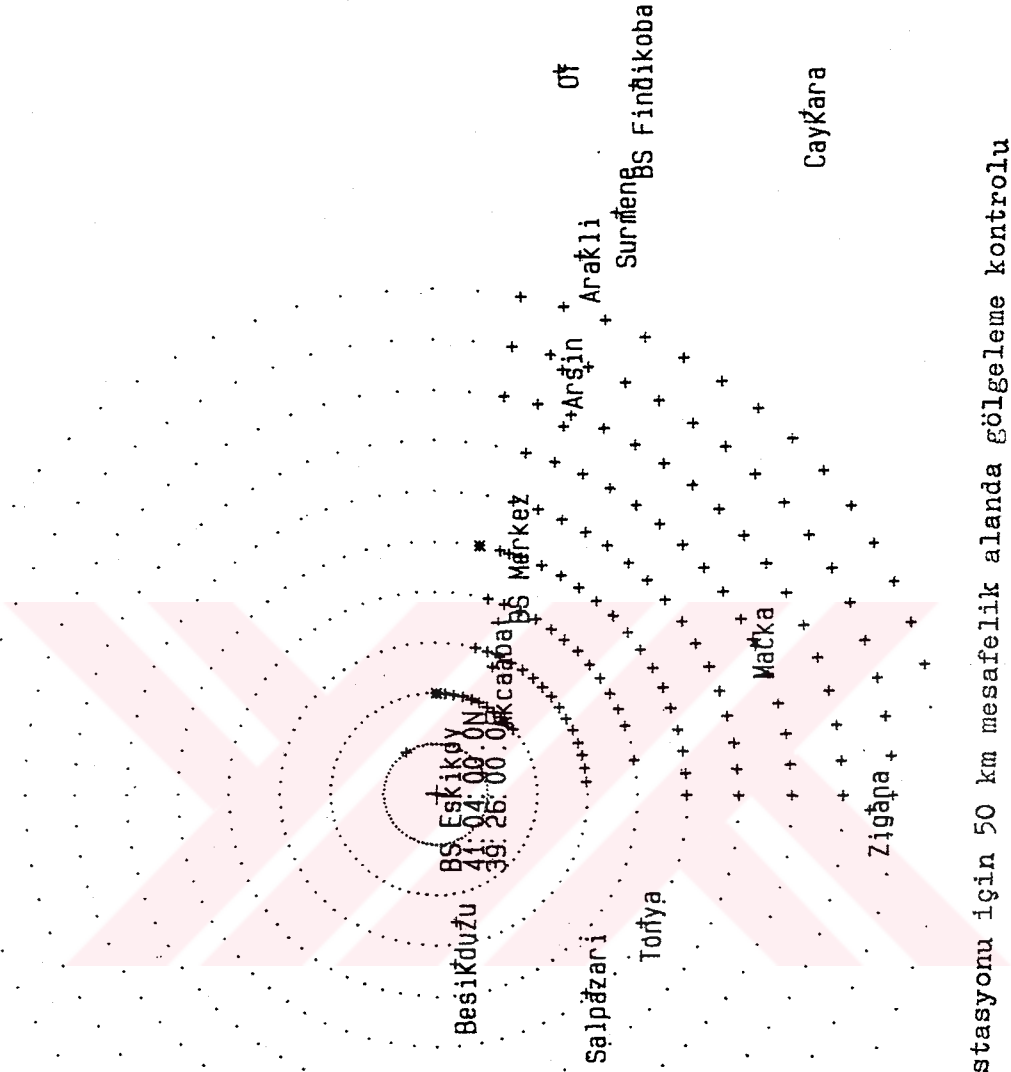
66-67-68. şekiller Merkez Yer istasyonuna göre 500 m mesafede farklı azimuthlarda (70-90-270°'de) engellerin ve Fresnel bölgesi engellerinin farklı Fresnel açıklıklarında (0.3-0.7-1.1 0.2-0.4-0.6 0.4-0.8-1.2) ve farklı Fresnel bölgelerine göre (1., 2., 3. v.s.) ve yeryuvarlağı $k=1.333$ alınarak aynı frekans için çizimlerini göstermektedir.

5'er derece arayla 72 radyalda golge kontrolu yapılmıştır. Gölge kontrol mesafesi 500 m'dir. Azimuth basına her 50 m de bir golge kontrolu yapılmıştır. Trabzon Merkez BS



Şekil 63 Merkez Yer İstasyonu için 500 m. mesafelik alanda gölgeleme kontrolü

Trabzon sınırları içinde çalışılmıştır.
Trabzon-Zigana-Of ucgenindeki engeller
kullanılmıştır.



Şekil 64 Akcaabat Yer İstasyonu için 50 km mesafelik alanda gölgeleme kontrolü

BS Eşiköy

Besiközü

Akcaabat

BS Merkez

Salpazarı

Tonya

Maçka

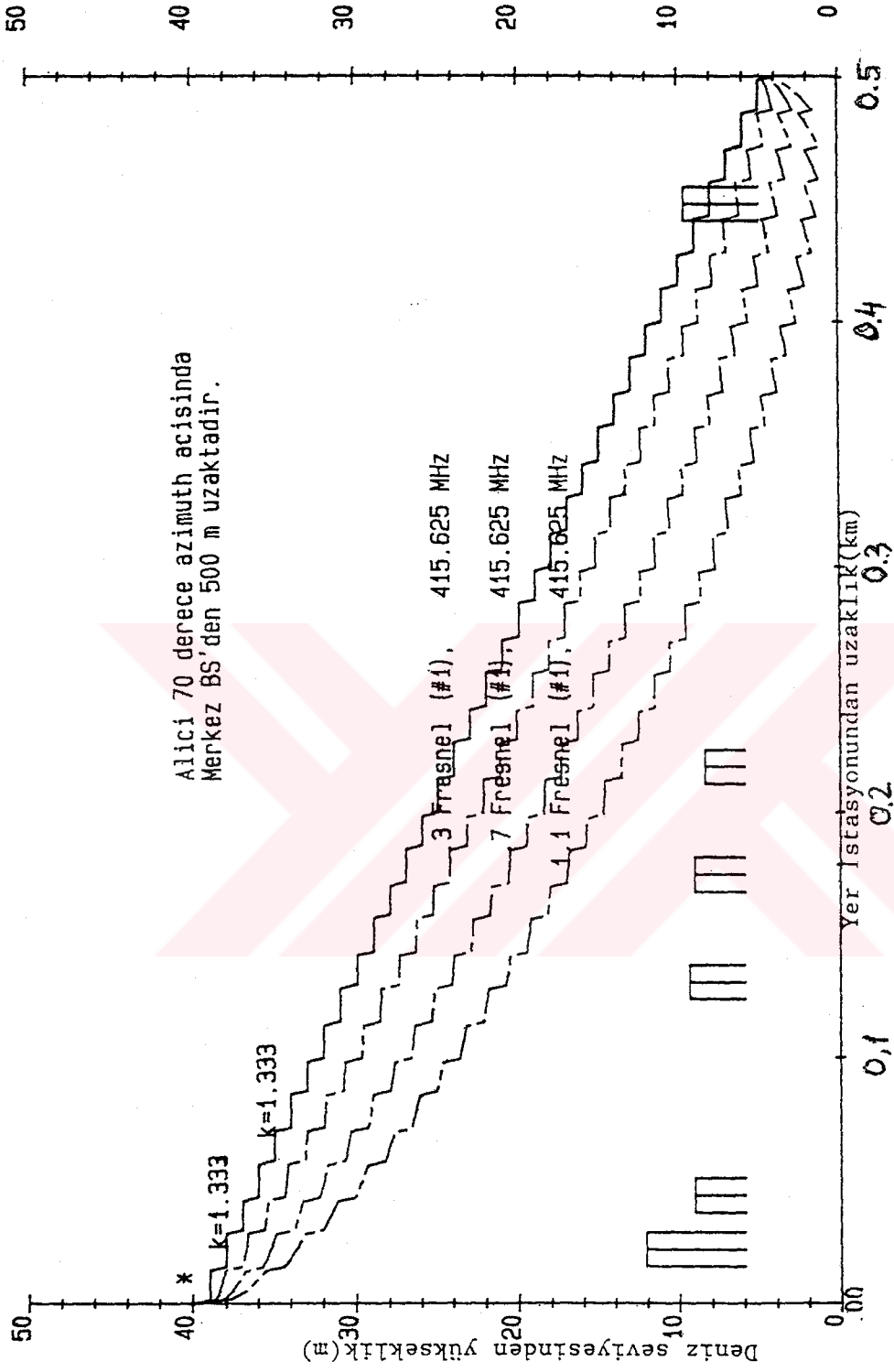
Zigana

Caykara

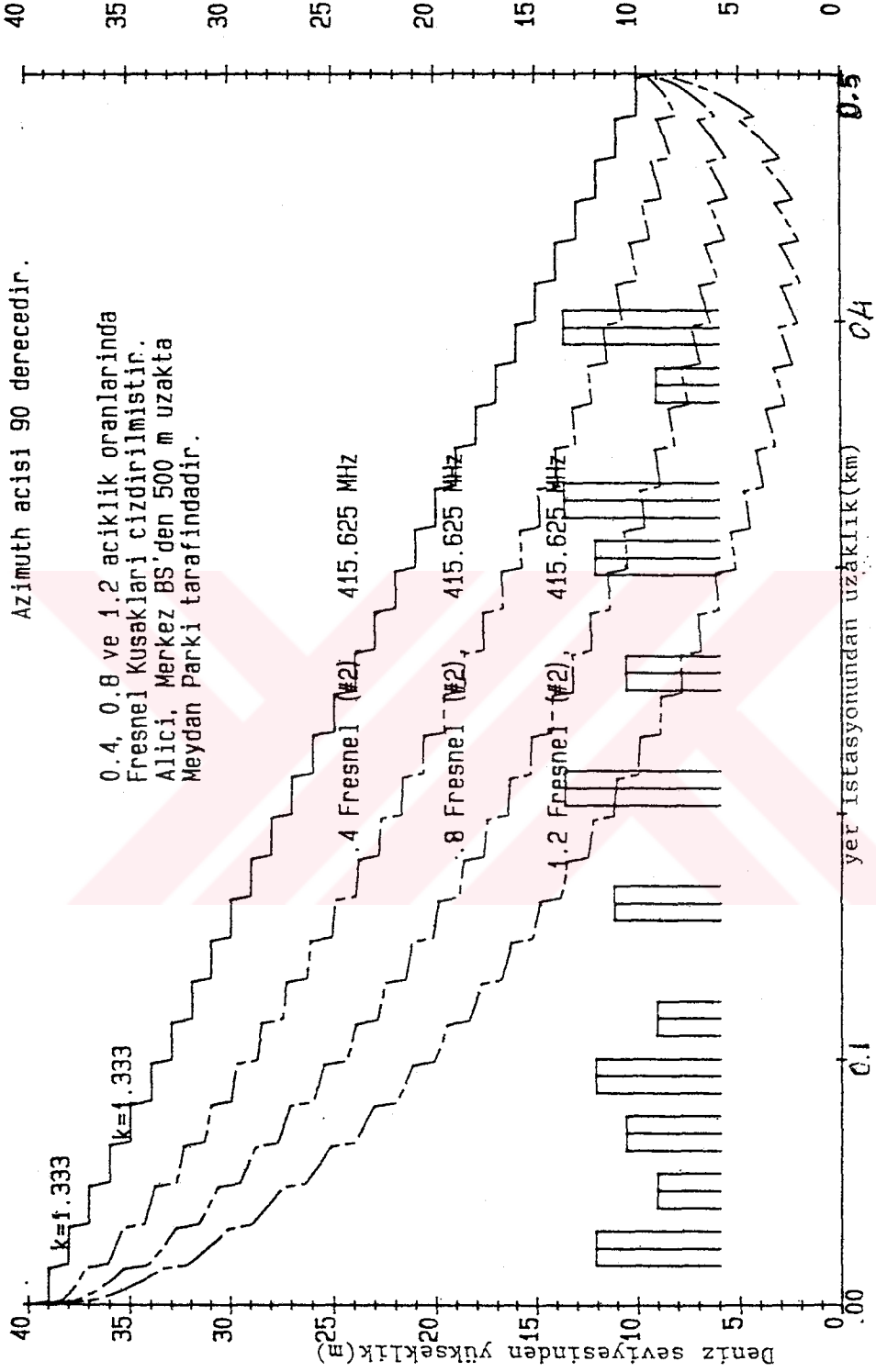
OT
 Finbikoba
 40:53:00.0N
 40:16:00.0E
 Sümerfe
 Atraklı

Trabzon sınırları içinde çalışılmıştır.

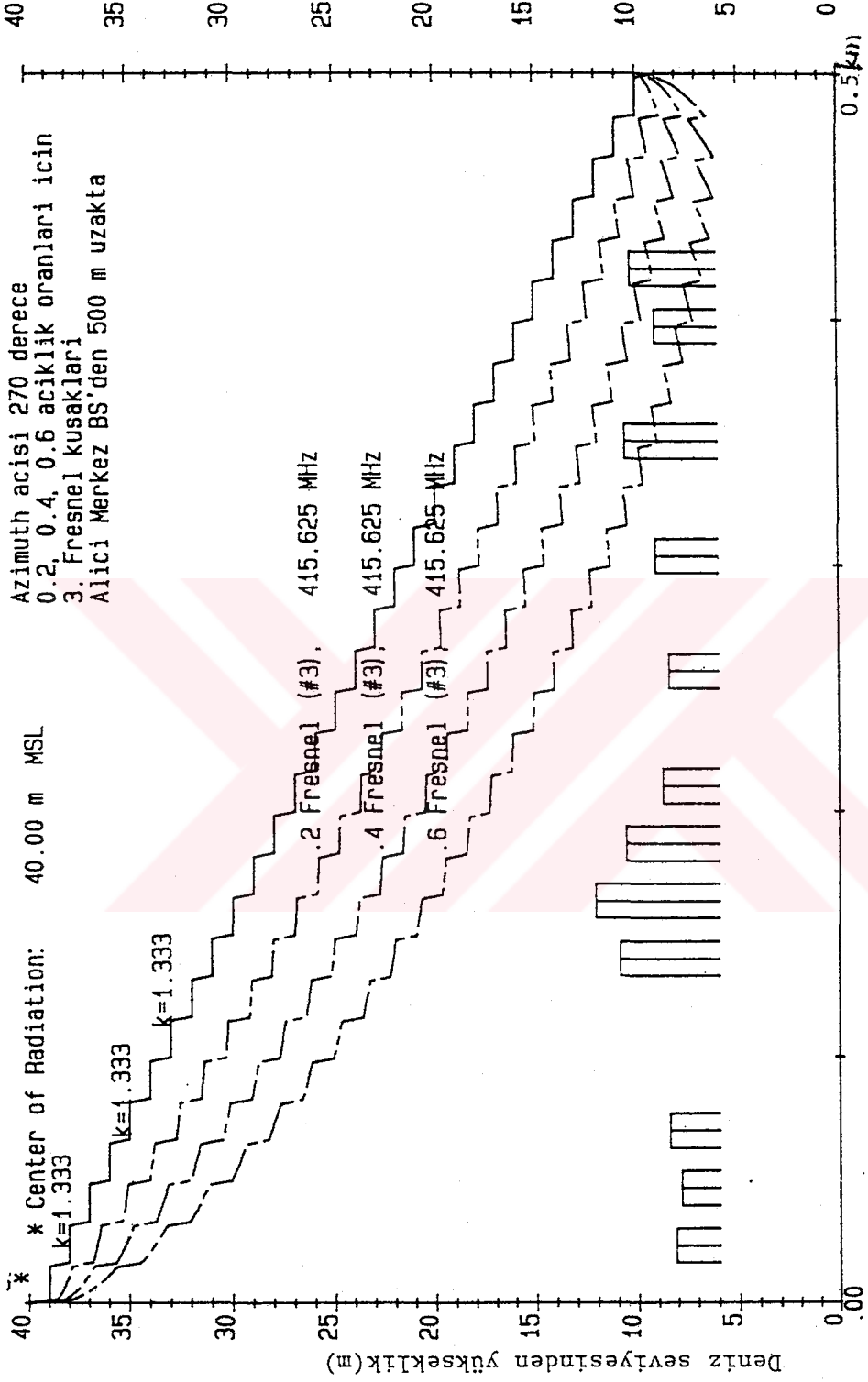
Sekil 65 Of Yer İstasyonu için 50 km mesafelik alanda gölgeleme kontrolü



Şekil 66 70° lik azimuth açısında 500 m. mesafede farklı Fresnel açıklıkları için gölgeleme



Şekil 67 90° lik azimuth açısında 500 m. mesafede farklı Fresnel ağırlıkları için gölgeleme



Şekil 68 270° lik azimuth açısında 500 m. mesafede farklı Fresnel açıklıkları için gölgeleme.

2.2.4 Mesafe ve Koordinat Hesaplamaları

Programın bu kısmında bir yer istasyonu merkez kabul edilerek her yerleşim biriminin (il merkezi ve ilçeler) yer istasyonuna uzaklıkları ve azimuth açıları hesaplanmıştır.

Tablo 6, 7 ve 8'da (üç Yer istasyonundan diğer ilçe merkezlerine olan mesafeler ve azimuth açıları gösterilmiştir.

Tablo 6 Trabzon Merkez Yer istasyonundan diğer ilçelere olan uzaklıklar ve azimuth açıları.

Merkezin Enlemi ve Boylamı: 41:00:00:0N 39:43:00:0E

Yeri	Enlemi	Boylamı	Mesafe (km)	Azimuth açısı	Ters Azimuth açısı
Merkez	41:00:00 N	39:43:00 E	.0	180.0	.0
Akçaabat	41:01:00 N	39:35:00 E	11.4	279.4	99.3
Vakfıkebir	41:03:00 N	39:17:00 E	36.9	278.8	98.5
Beşikdüzü	41:03:00 N	39:14:00 E	41.0	277.9	97.6
Şalpazarı	40:56:00 N	39:12:00 E	44.1	260.5	80.2
Tonya	40:53:00 N	39:17:00 E	38.7	250.6	70.3
Maçka	40:47:00 N	39:37:00 E	25.5	199.3	19.3
Çaykara	40:44:00 N	40:14:00 E	52.7	124.0	304.4
Of	40:57:00 N	40:17:00 E	48.0	96.5	276.8
Araklı	40:56:00 N	40:04:00 E	30.4	104.0	284.2
Sürmene	40:54:00 N	40:07:00 E	35.5	108.1	288.4
Arsin	40:57:00 N	39:56:00 E	19.1	106.9	287.0
Yomra	40:57:00 N	39:52:00 E	13.8	113.7	293.8

Tablo 7 Of-Fındıkoba Yer İstasyonundan diğer ilçelere olan uzaklıklar ve Azimuth açıları

Merkezin Enlemi ve Boylamı: 40:53:00:0N 40:16:00:0E

Yeri	Enlemi	Boylamı	Mesafe (km)	Azimuth açısı	Ters Azimuth açısı
Merkez	41:00:00 N	39:43:00 E	48.1	285.8	105.4
Akçaabat	41:01:00 N	39:35:00 E	59.4	284.7	104.2
Vakfıkebir	41:03:00 N	39:17:00 E	84.8	282.9	102.3
Beşikdüzü	41:03:00 N	39:14:00 E	88.9	282.4	101.7
Şalpaazarı	40:56:00 N	39:12:00 E	90.0	273.9	93.2
Tonya	40:53:00 N	39:17:00 E	82.9	270.3	89.7
Maçka	40:47:00 N	39:37:00 E	55.9	258.8	78.3
Çaykara	40:44:00 N	40:14:00 E	16.9	189.6	9.6
Of	40:57:00 N	40:17:00 E	7.5	10.7	190.7
Araklı	40:56:00 N	40:04:00 E	17.7	288.3	108.2
Sürmene	40:54:00 N	40:07:00 E	12.8	278.4	98.3
Arsın	40:57:00 N	39:56:00 E	29.0	284.9	104.7
Yomra	40:57:00 N	39:52:00 E	34.5	282.5	102.3

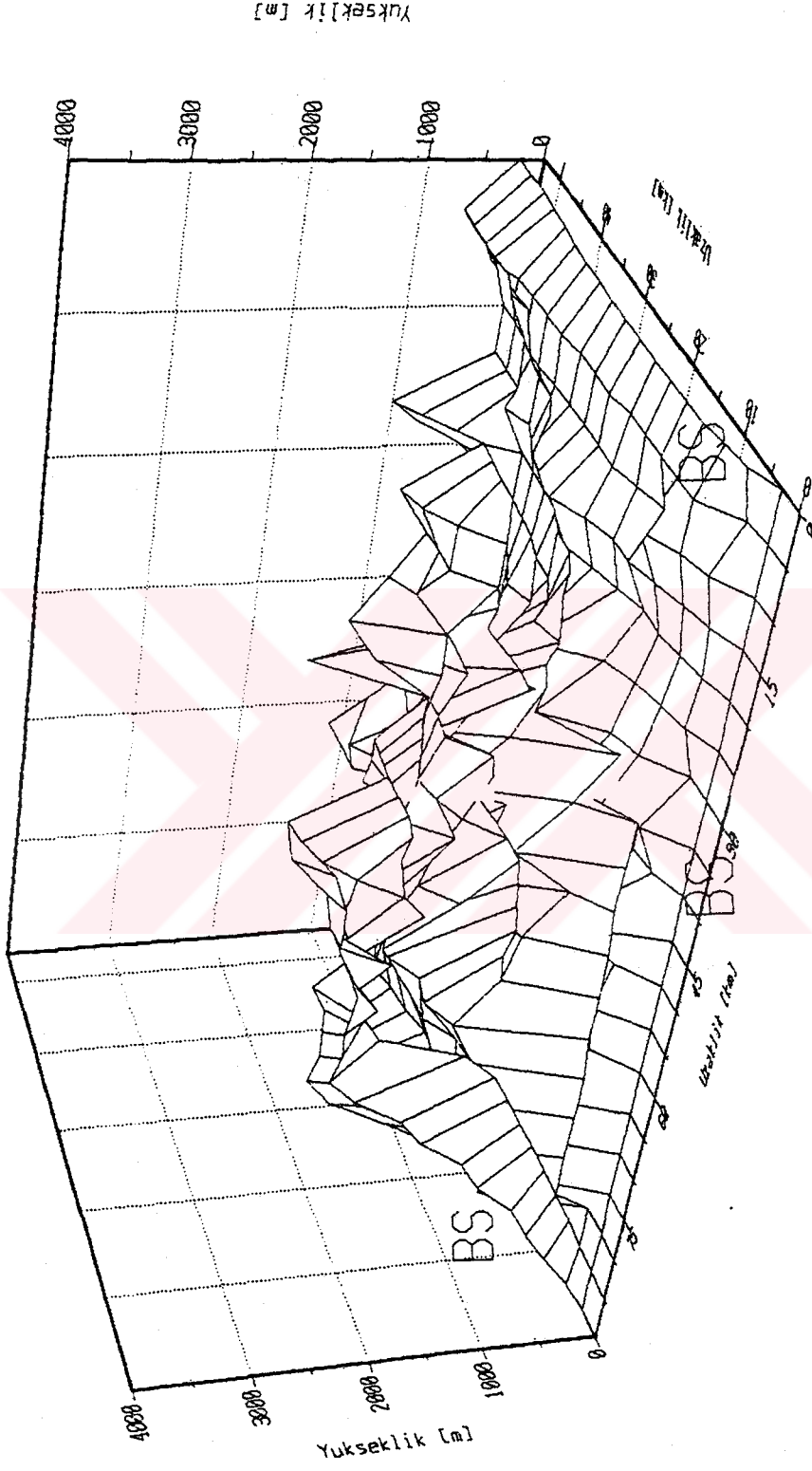
Tablo 8 Akçaabat-Eskiköy Yer İstasyonundan Diğer İlçelere olan uzaklıklar ve Azimuth açıları

Merkezin Enlemi ve Boylamı : 41:04:00 N 39:26:00 E

Yeri	Enlemi	Boylamı	Mesafe (km)	Azimuth açısı	Ters Azimuth açısı
Merkez	41:00:00 N	39:43:00 E	25.0	107.2	287.4
Akçaabat	41:01:00 N	39:35:00 E	13.8	113.7	293.8
Vakfikebir	41:03:00 N	39:17:00 E	12.7	261.7	81.6
Beşikdüzü	41:03:00 N	39:14:00 E	16.9	263.8	83.7
Şalpazarı	40:56:00 N	39:12:00 E	24.6	233.1	52.9
Tonya	40:53:00 N	39:17:00 E	24.0	211.9	31.8
Maçka	40:47:00 N	39:37:00 E	35.0	153.8	333.9
Çaykara	40:44:00 N	40:14:00 E	76.9	118.5	299.0
Of	40:57:00 N	40:17:00 E	72.7	100.0	280.5
Araklı	40:56:00 N	40:04:00 E	55.3	105.3	285.7
Sürmene	40:54:00 N	40:07:00 E	60.4	107.6	288.1
Arsin	40:57:00 N	39:56:00 E	44.0	107.0	287.3
Yomra	40:57:00 N	39:52:00 E	38.7	109.4	289.7

Yukarıdaki değerlerden zayıflama, gölgeleme kontrolu ve gerektiğinde yeni yer istasyonlarının yer seçiminde faydalanılabilir. Şekil 69'da, Trabzon il sınırlarının GrafTool isimli çizim programı yardımıyla çizilen 3-boyutlu küçük bir haritası verilmiştir. Harita, 1:100000'lik paftalar üzerinden Yer istasyonlarının civarlarından Zigana'ya kadar olan alandan seçilen ve yükseklikleri 250-300 m'den yaklaşık 2000 m'ye kadar olan 140 kadar noktanın program tarafından yuvarlatılmasıyla elde edilen 400 kadar noktayla çizilmiştir. Seçilen nokta sayısı artırılarak ve boyutlar da büyültülmek suretiyle diğer ilçelere ve Trabzon-Maçka-Zigana geçidinde hareketli haberleşmeyi sağlayabilecek Yer istasyonlarının konumlarının ve anten boylarının belirlenmesinde bu haritalardan yararlanılabilir.





Şekil 69 Trabzon iline ait 3-boyutlu bir harita (Yer İstasyonları işaretlenmiş).

2.3. GSM DiJİTAL SİSTEMİ

2.3.1 Analog ve DiJital Sistemlerin karşılaştırılması ve DiJital Sistemin Üstünlükleri

Ülkemizde halen kurulu bulunan hücreli hareketli sistem frekans modülasyonu kullanan analog sistemdir. GSM diJital sistemi ise Ankara, İstanbul, İzmir başta olmak üzere birkaç il sınırları dahilinde hizmete açılmıştır.

Genel olarak analog bir sistemde iletim ortamına uygulanan işaretler iletilen mesajın dalga şeklinin sürekli fonksiyonlarıdır. Sinüzoidal bir taşıyıcının genliği, fazı veya frekansı ses veya mesajla birlikte sürekli olarak (continuously) değişir. DiJital iletim sistemlerinde ise iletilen işaretler zaman, genlik, faz, frekans veya bunların herhangi ikisinin bileşimi şeklinde ayrıktır (discrete). Analog şekilden diJital şekle dönüştürmek için ayrık seviyelerden dolayı gelen kuantalama gürültüsü her örnek için yeterli sayıda dijit tahsis edilerek kontrol edilebilir.

Mesaj işaretlerinin diJital şekle dönüştürülmesinin bir yararı diJital işaretin pürüzsüz oluşudur. İletim ortamında katılan gürültü ve girişime rağmen bozulmalar daima düzeltilebilir. "Tekrar üretme" (regeneration) adını alan bu işlem diJital iletimin ilk avantajını oluşturur. Buna karşılık bu pürüzsüzlüğün bir dezavantajı esas işaret için gerekli band genişliğinin artmasıdır. Artan band genişliği ortama katılan bozulmaların giderilmesi için kullanılır[78].

DiJital iletim sisteminin kurulması ve devamlılığının sağlanması analog tekniklerin pahalı ve etkin olmadığı ortamlarda üniform ve kaliteli bir haberleşmeye imkân verir. DiJital sistemler gürültüye karşı dayanıklıdır. Gerçekte hatasız (error-free) iletim sağlanabilir, yani kanal gürültüsü olmadan sadece dönüşüm işleminden gelen minimum kuantalama gürültüsü ile 15 dB kadar az bir işaret/gürültü

oranı için gürültüden 30-40 kat daha kuvvetli bir işaret elde edilebilir. Dijital sistemler kanal karışmasına (cross-talk) karşı da dayanıklıdır. Analog sistemlerin çoğu gürültü sınırlamalı değildir. Bu problem dijital sistemlerde eşik etkisiyle önemli ölçüde giderilmiştir.

Dijital sistemler değişen kanal durumlarını göstermek (monitoring) ve gereken düzeltmeyi (adapting) yapmak üzere tasarlanabilir. Esnek bir yapıya sahiptirler. En önemli karakteristiklerinden biri de genellikle büyük ölçüde kullanıcının veya operatörün esnekliğini artıran bir yazılım (software) kontrolü altındadır.

Dijital çoğullama (multiplexing) sayesinde frekans spektrumu daha verimli kullanılır. Dijital haberleşme sistemleri askerî ve gizlilik dereceli uygulamalarda kullanıldığında şifrelemeye (encryption) uygundur. Analog güvenlik sistemleri de mevcuttur, fakat ses kalitesini bozarlar. Dijital şebeke dinamiktir, gelişen teknolojiye ve sistemlere uyumu kolaydır [79].

Bütün bunlara fiyat avantajı, güç sarfiyatının düşük olması, dijital cihazların ağırlıkta hafif olması (sadece 197 g'lık cep telefonu gibi) özellikleri de eklenebilir. Hücreli hareketli sistemlerde dijital teknolojinin daha bir çok avantajları vardır.

2.3.2 GSM Sisteminin özellikleri ve Tanıtımı

Hâlen, Avrupa'da kullanılmakta olan birçok sistem vardır ve bir sistem için tasarlanan hareketli birim, bir diğeri ile kullanılamamaktadır. İngiltere ve İrlanda, Amerikan AMPS (Advanced Mobile Phone System) standardının bir türü olan TACS'ı (Total Access Communication System) kullanmakta, İskandinav ve Benelüks ülkeleri ile İspanya ve Avusturya NMT 450 ve son olarak NMT 900'ün değişik türlerini kullanmaktadırlar. Buna karşılık, Federal Almanya, C 450'yi geliştirmiş, İtalya RTMS, Fransa ise Radio Com 2000 sistemini başlatmıştır.

1981'de bir Fransız-Alman ortak çalışması, ortak bir yaklaşımı geliştirmek için başlatıldı. Çok geçmeden CEPT işi

ele aldı ve Harmonizasyon Kurulunun gözetimi altında Özel Hareketli Grubu'nu (GSM=Groupe Speciale Mobile) kurdu. GSM, 1990'larda bütün Avrupayı kapsayacak bir sistemi tanımlamakla görevlendirilmişti. 1991'in ortalarında 17 PTT idaresi tarafından bu hizmeti işletmeye koyacak şekilde teçhizat temin etmek için kendilerini bağlayan bir sözleşme imzalamıştı.

2.3.2.1 GSM Sisteminin Özellikleri

GSM sisteminin özellikleri önem sırasına göre 7 maddelik bir liste halinde verilebilir. Bu listenin başında km^2 başına 1 MHz'deki eşzamanlı konuşmaların sayısı olan spektral verimlilik gelir. GSM sisteminin özellikleri şunlardır.[80]:

- Spektrum verimliliği,
- Subjektif ses kalitesi,
- Hareketlinin maliyeti,
- Elde taşınabilirlik,
- Yer istasyonlarının maliyetleri,
- Yeni hizmetleri destekleme imkânları,
- Mevcut analog sistemlerle birarada varolabilme.

Önemli bir konu da hücrel radyonun icrasındaki başarı (performance) idi. Bu konu ilk olarak ortak-kanal girişimi ile sınırlıdır. Telefonun kalitesi, şayet dijital iletim kullanıyorsa, ortak-kanal girişiminin çok yüksek seviyelerinde elde edilebilir. Bu durum, hücrelerin daha sık kullanılmasına imkân sağlar. Sadece bu faktörle GSM sisteminin NMT sistemine göre spektral verimlilik açısından üç kat daha gelişmiş olduğu ileri sürülmektedir. Dijital iletimi destekleyen diğer bir unsur da Tümüleşik Servisler Sayısal Şebekesinin (ISDN =Integrated Services Digital Network) gerçekleştirilmesiyle bugüne kadar olduğundan daha yüksek seviyede sayısal işaretleşmeyi sağlayacak yöntemin geliştirilmesidir.

CEPT, GSM tarafından kullanılacak olan iki frekans kanalı tahsis etmiştir. Bunlardan 890-915 MHz bandı hareketli terminalden yer istasyonuna doğru, 935-960 MHz

bandı ise yer istasyonundan hareketli terminale doğru kullanılacaktır. Bu bandlar 200 kHz'lik çiftler halinde 124 taşıyıcı çiftine bölünmüştür. En uygun iletim yöntemi olarak, teklif edilen diğer yaklaşımlara rağmen zaman bölmeli çoklu giriş (Time Division Multiple Access, TDMA) kabul edilmiştir. Frekans spektrumu, sabit tahsisli TDMA sistemi kullanılarak zaman aralıklarına bölünmüştür. Zaman eksenini 0.577 ms'lik zaman aralıklarına bölünmüş olup 8 aralık (0'dan 7'ye kadar) 4.615 ms'lik bir zaman çerçevesi teşkil ederler. GSM sisteminde TDMA faktörü 8 olarak kararlaştırılmıştır. Bu, taşıyıcı başına 8 tam oranlı trafik kanalı yerleştirilecek demektir. GMSK (Minimum kaydırmalı Gauss Anahtarlama = Gaussian Minimum Shift Keying) modülasyon türü olarak seçilmiştir.

Dijital iletimin en mühim avantajlarından biri de kanal kodlama sayesinde hata korumasının (error protection) mümkün hale gelmesidir. Bilhassa son derece değişen yayılma (propagation) şartları olan hareketli radyo ortamında hata düzeltme kodlaması bayılmanın (fading) meydana getireceği boşlukları (işaretin kesildiği zaman aralıkları) kapatmakta son derece etkindir. Bir sistemin nihai iletim kabiliyeti, onun işaret formatı tarafından tayin edilir. Herhangi bir sistemin tasarımı, fiyat-etkin bir gerçekleştirilmeyi kolaylaştırmak üzere gerçekleştirme kayıpları için bir miktar pay (margin) bırakmalıdır.

2.3.2.2 GSM Sisteminin Tanıtımı

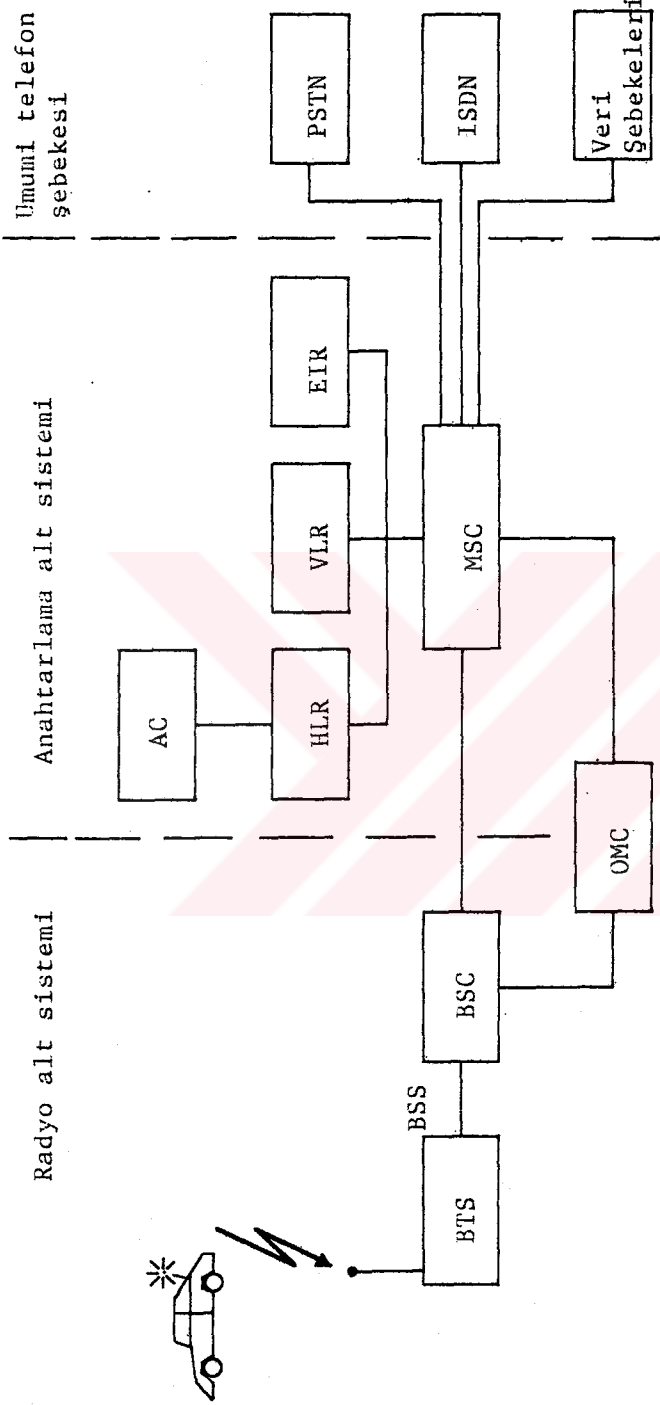
Burada, tabiiyle ancak sistemin ana öğelerine kısa bir bakış verilecek ve bunların fonksiyonları kısaca tanıtılacaktır. GSM yaklaşımının altında yatan ana felsefelerinden biri, sistemdeki ara bağlantıların (interfaces) halka açık olmasıdır. Bütün bağlantıların geliştirilmesi ve standardizasyonu için önemli ölçüde zaman ve gayret sarfedilmiştir. GSM sisteminin katları 1, 2 ve 3 (fizikî, veri linki ve şebeke katları) olarak belirlenmiştir. Bu durum, GSM sisteminin halen mevcut sistemle olan mühim farklılıklarından birisidir. Şüphesiz

diğer mühim bir farklılık, telsiz-bağlantısı (air-interface) ve dijital iletimin kullanılmasıdır.

Hareketli istasyon, klasik, araca monteli 20 W'ta çalışan telefonda tipik olarak 5 W'ın altında yayın yapan ve gittikçe güncel hale gelen, elde taşınabilir birimlere kadar değişik şekillerde olabilir.

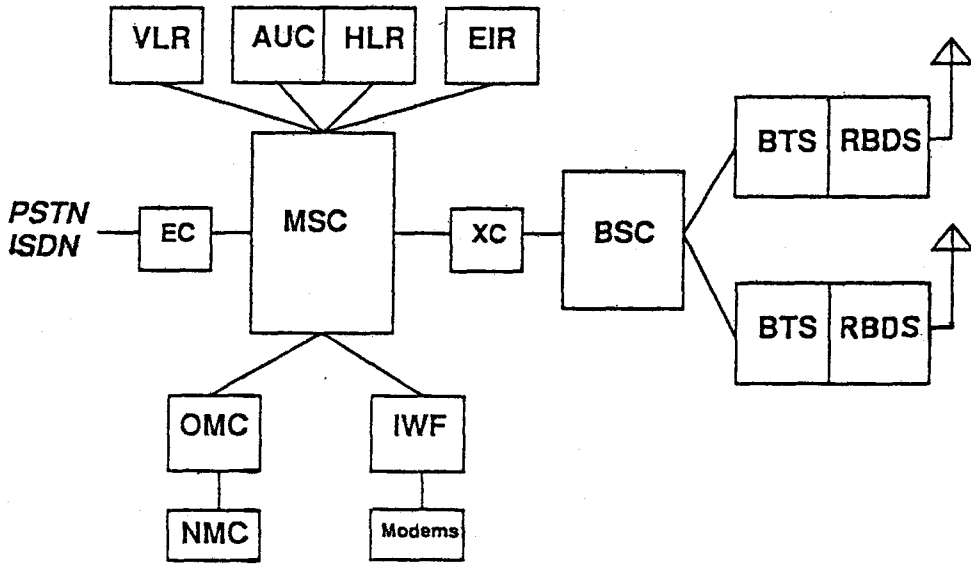
Bir yer istasyonu sistemi (BSS), bir yer istasyonu kontrolörü (BSC) ile bir veya daha çok sayıda yer alıcı/verici istasyonlarını (BTS=Base Transceiver Stations) ihtiva eder. Bunların herbiri bir veya daha çok frekans kanallı bir radyo hücresi temin eder (pratikte bu durum çok daha karmaşıktır). BTS, radyo bağlantısının 1. ve 2. katlarını teşkil eder (yani hatası düzeltilmiş bir veri yoludur). Her BTS, kanallarından birini (co-link channel) kontrol fonksiyonlarına ayırır, kalan kanallar trafiğe sunulur. Hareketli, bir defa bir BTS'ye giriş yapıp eşzamanlı olduğunda, BSC ona iki-yönlü bir işaretleşme kanalı tahsis edecek ve Hareketli Servisler Bağlantı Merkezi'ne (Mobile Switching Center) bir yol açacaktır. Hareketli istasyon, ilâve fonksiyonlarıyla beraber ISDN santrali (exchange) ve hareketli uygulamaları destekleyecek olan bağlantılardan ibarettir.

Bir hareketli, sisteme giriş yapmak için talepte bulunduğu, kendi IMSI (Milletlerarası Hareketli Abone Tanıtım) kimliğini belirtmek mecburiyetindedir. Bu kimlik, abonenin sisteme girişine izin edildiğini doğrulamağa yarayacak özel bir numaradır. Bu işlem, belgeleme (authentication) olarak isimlendirilir. Bununla beraber, hareketli abone, o şebeke içindeki bir hareketli istasyona ait olmalıdır. Bu durum, abonenin kendi Yer Kaydedicisine (Home Location Register) giriş yapmak suretiyle gerçekleştirilir. Bu kaydedici, abonenin izin verildiği hizmetler hakkındaki bilgileri taşır. HLR aynı zamanda tek bir belgeleme anahtarı ve ilgili çağrı/cevap üretici de ihtiva eder. GSM sisteminin radyo alt sistemi, modülasyon, kodlama, sistemin icrası ve kanal değişikliği için geliştirilmiş imkânları konusunda [81-82-83-84] nolu kaynaklara başvurulabilir. Şekil 70'de dijital bir sistemin mimarisi [85], Şekil 71'de ise GSM hücreli şebekesi [86], blok diyagram şeklinde verilmiştir.



Şekil 70 GSM Dijital sisteminin mimarisi.

- BSS : Yer İstasyonu Sistemi
 BTS : Yer alıcı-verici İstasyonu
 BSC : Yer İstasyonu kontrolörü
 OMC : İşletme ve bakım merkezi
 PSTN : Umumi telefon şebekesi
 MSC : Hareketli bağlantı merkezi
- AC : Doğrulama merkezi
 HLR : Abonenin kendi yer kaydedicisi
 VLR : Misafir abone yer kaydedicisi
 EIR : Cihaz tanıtım kaydedicisi
 ISDN : Birleşik servisler dijital şebekesi



Şekil 71 GSM hücresel şebekesinin elemanları.

Şekildeki Blokların Açıklamaları

AUC:Doğrulama Merkezi	BSC:Yer istasyonu Kontrol Elemanı
EC :Yankı Giderici	BTS:Yer Alıcı-Verici İstasyonu
XC :Konuşma kodlayıcısı	EIR:Cihaz Tanıtma Kaydedicisi
MSC:Hareketli Santral	NMC:Şebeke Yönetim Merkezi
IWF:işlem Elemanı	OMC:işletme ve Bakım Merkezi
PSTN:Umumî Telefon Şebekesi	
ISDN:Birleşik Servisler Dijital Şebekesi	
RBDS:Yer istasyonu Uzaktan Teşhis Altsistemi	
VLR :Misafir Abone Yer Kaydedicisi	

2.3.3 GSM Bandı (890 960 MHz) için Yapılan Teorik Çalışmalar

Edinilen bilgilere göre GSM frekans bandınının 890-915 MHz bandı bir işletmeci şirkete, 935-960 MHz bandı ise diğer bir işletmeci şirkete verilmiştir. Bu bandlar 890.2/935.2 MHz'den başlayan çiftler şeklinde 200 kHz aralıklarla 124 taşıyıcı çiftine bölünmüştür. Her taşıyıcıda 8 kanal vardır. Dolayısıyla 8x124 kanal vardır. Yer İstasyonunun verici gücü 50 W, abone cihazının (mobile subscriber) gücü 2 W'dır. Kullanılan anten tipleri NMT sisteminde olduğu gibi şehirlerde ve kırsal alanlardaki istasyonlarda yöneltmesiz,

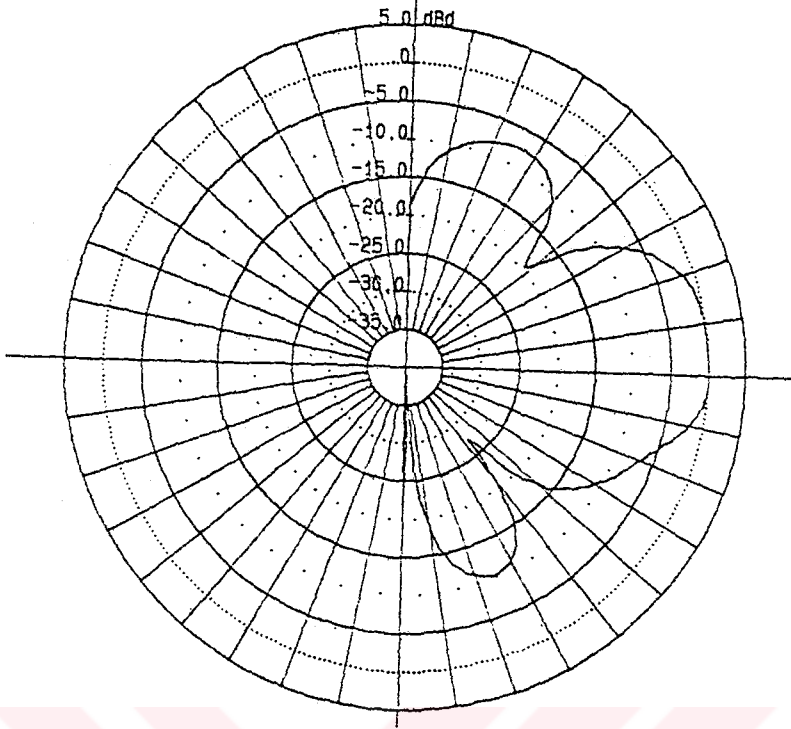
Tablo 9 GSM Alıcı Anten Işıma Diyagramının
Azimuth açıları ve kazançları

ANTEN PARAMETRELERİ

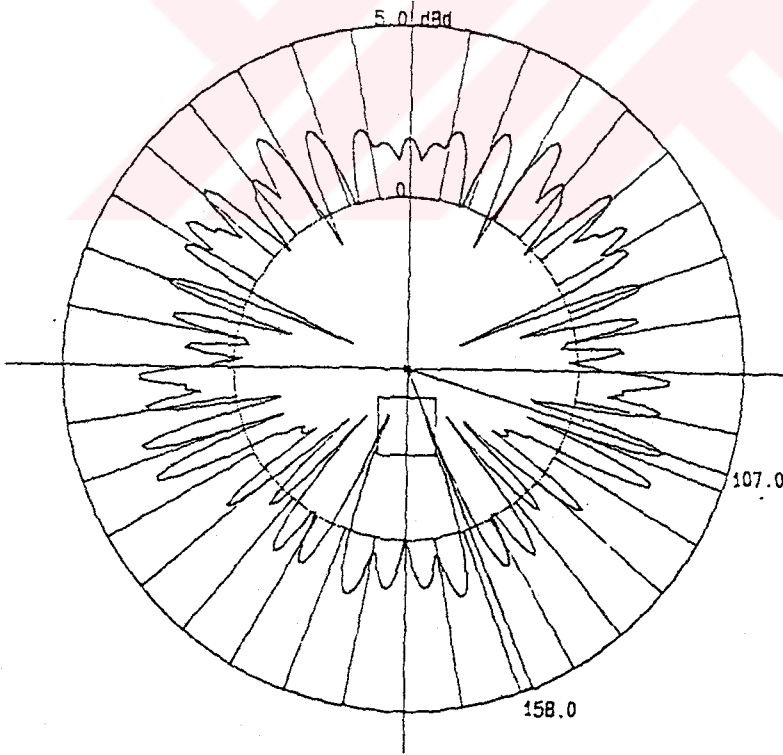
935.300MHz Antenin Kuleden Yüksekliği=1m
Kule Kenar Uzunluğu=2.5m Ana kulak kazancı=3dBd
Yöneltmesiz (Omni-Directional) Anten

AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)	AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)
.0	+1.897	185.0	-1.413
5.0	-1.767	190.0	-2.727
10.0	+ .784	195.0	- .446
15.0	-1.181	200.0	+ .923
20.0	-2.846	205.0	+1.088
25.0	+ .889	210.0	- .227
30.0	-1.949	215.0	+ .214
35.0	-1.508	220.0	-3.503
40.0	+1.195	225.0	- .542
45.0	+ .786	230.0	+1.311
50.0	+1.164	235.0	+ .992
55.0	-1.305	240.0	+ .053
60.0	+2.063	245.0	-1.538
63.0	+1.885	247.0	MIN -6.074
65.0	+ .185	250.0	-2.716
70.0	+ .976	255.0	-2.223
75.0	- .523	260.0	+ .465
80.0	+ .152	265.0	+1.036
83.0	MAX +3.000	270.0	+1.196
85.0	+1.336	275.0	+1.066
90.0	-1.114	280.0	+1.914
95.0	-1.227	285.0	+ .185
100.0	+1.924	290.0	-1.057
105.0	- .950	295.0	+ .529
110.0	-2.784	300.0	- .085
115.0	-1.300	305.0	- .530
120.0	+2.445	310.0	+1.432
125.0	+ .161	315.0	+ .672
130.0	+ .985	320.0	+1.447
135.0	- .482	325.0	+1.154
140.0	-3.048	330.0	-2.024
145.0	+ .484	335.0	-5.968
150.0	+1.495	340.0	-2.865
155.0	- .206	345.0	- .920
160.0	-1.118	350.0	-1.138
165.0	- .644	355.0	+ .875
170.0	-2.800	360.0	+1.879
175.0	-4.067		
180.0	- .202		

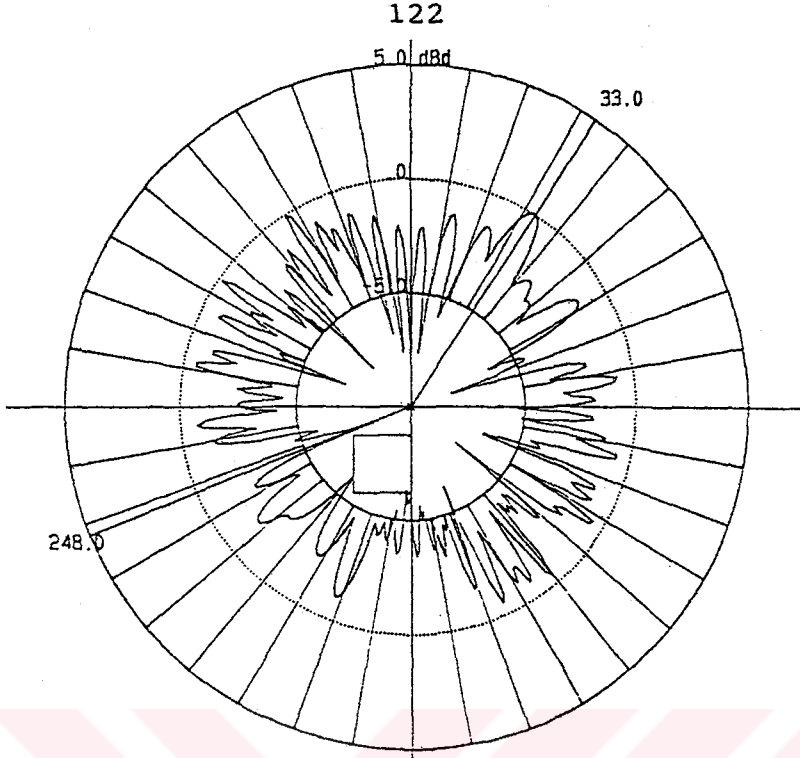
121



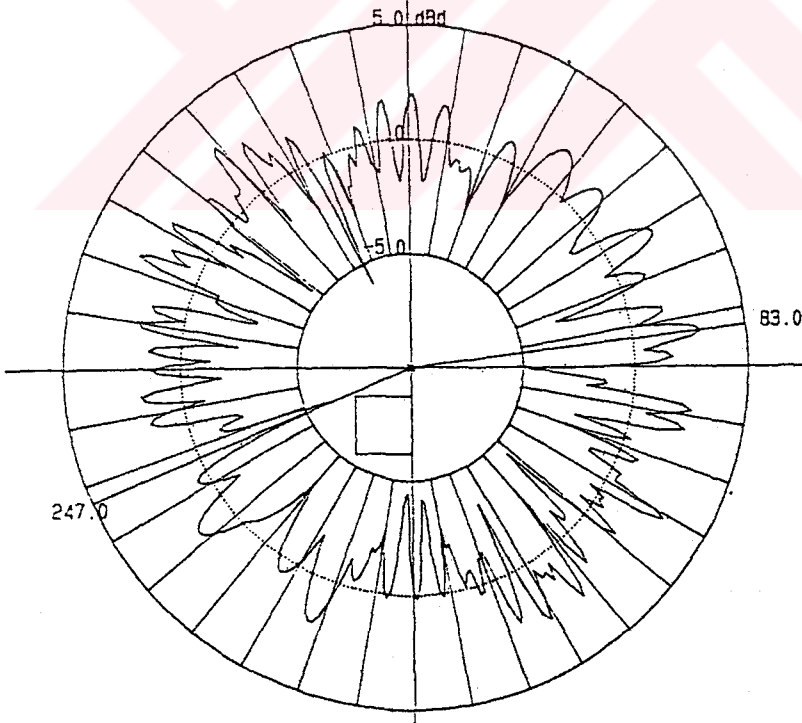
Şekil 72 890-960 MHz GSM Bandında çalışan yönlensiz bir antenin düşey ışınma diyagramı.



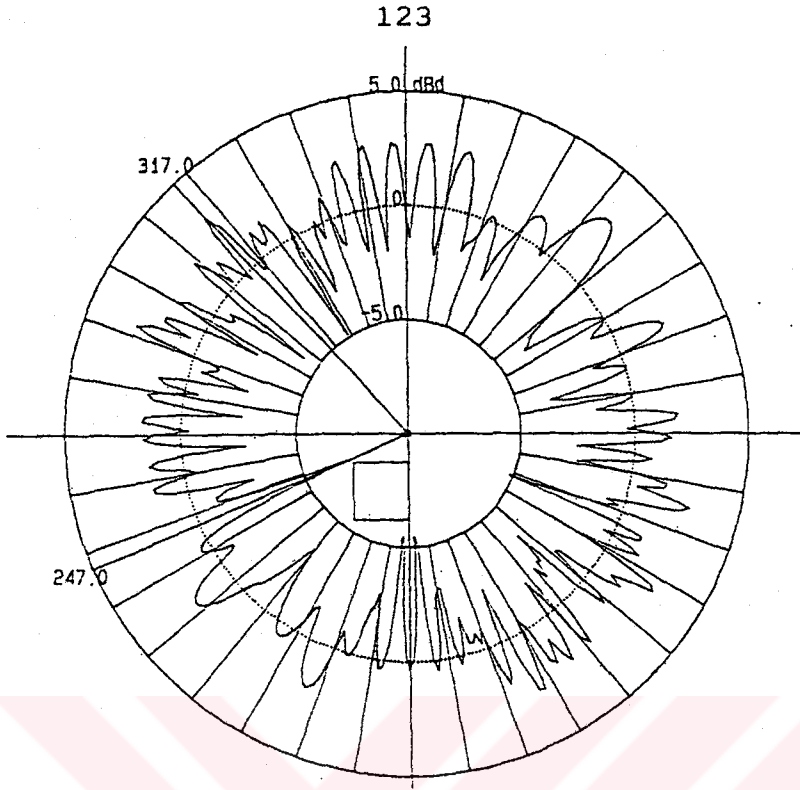
Şekil 73 GSM Hareketli abone için ışınma diyagramı.



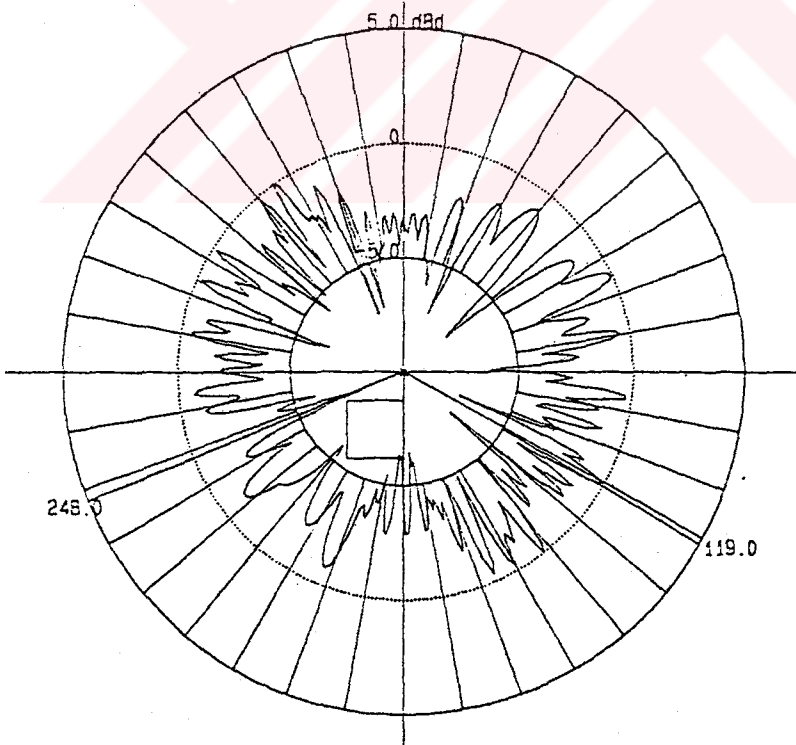
Şekil 74 GSM 1.kanal verici anten ışınma diyagramı.



Şekil 75 GSM 1.kanal alıcı anten ışınma diyagramı.



Şekil 76 GSM 124. kanal alıcı anten ışım diyagramı.



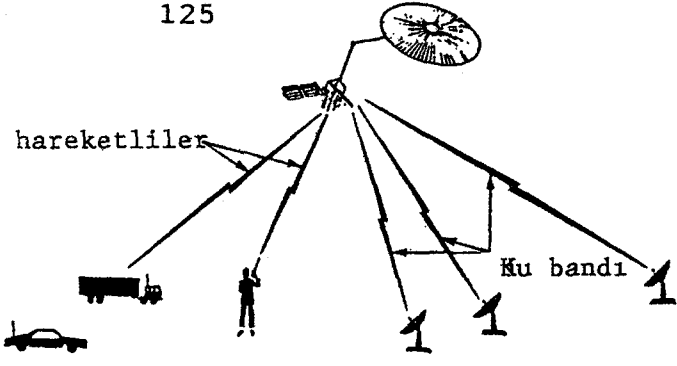
Şekil 77 GSM 124. kanal verici anten ışım diyagramı.

Tablo 9 GSM Alıcı Anten Işıma Diyagramının Azimuth açıları ve kazançları

ANTEN PARAMETRELERİ

935.300MHz Antenin Kuleden Yüksekliği=1m
Kule Kenar Uzunluğu=2.5m Ana kulak kazancı=3dBd
Yöneltmesiz (Omni-Directional) Anten

AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)	AZİMUTH(⁰)	KAZANÇ(dB)
.0	+1.897	185.0	-1.413
5.0	-1.767	190.0	-2.727
10.0	+ .784	195.0	- .446
15.0	-1.181	200.0	+ .923
20.0	-2.846	205.0	+1.088
25.0	+ .889	210.0	- .227
30.0	-1.949	215.0	+ .214
35.0	-1.508	220.0	-3.503
40.0	+1.195	225.0	- .542
45.0	+ .786	230.0	+1.311
50.0	+1.164	235.0	+ .992
55.0	-1.305	240.0	+ .053
60.0	+2.063	245.0	-1.538
63.0	+1.885	247.0	MIN -6.074
65.0	+ .185	250.0	-2.716
70.0	+ .976	255.0	-2.223
75.0	- .523	260.0	+ .465
80.0	+ .152	265.0	+1.036
83.0	MAX +3.000	270.0	+1.196
85.0	+1.336	275.0	+1.066
90.0	-1.114	280.0	+1.914
95.0	-1.227	285.0	+ .185
100.0	+1.924	290.0	-1.057
105.0	- .950	295.0	+ .529
110.0	-2.784	300.0	- .085
115.0	-1.300	305.0	- .530
120.0	+2.445	310.0	+1.432
125.0	+ .161	315.0	+ .672
130.0	+ .985	320.0	+1.447
135.0	- .482	325.0	+1.154
140.0	-3.048	330.0	-2.024
145.0	+ .484	335.0	-5.968
150.0	+1.495	340.0	-2.865
155.0	- .206	345.0	- .920
160.0	-1.118	350.0	-1.138
165.0	- .644	355.0	+ .875
170.0	-2.800	360.0	+1.879
175.0	-4.067		
180.0	- .202		



Şekil 78 Hareketli-Uydu servisi kavramı.

Şekil 72, 890-960 MHz bandında çalışan yöneltmesiz bir antenin düşey ışınma diyagramıdır. Burada 3 dB açıklığının 420 MHz'dekine nazaran çok daha geniş olduğu ve düşey ışımada ana kulakçığın yanlarında sadece birer kulakçığın olduğu görülmektedir. Şekil 73, 3 dB kazançlı mobil bir abonenin ışınma diyagramıdır. Şekil 74, 1. kanala ait 0 dB kazançlı bir verici antenin, Şekil 75 ise 1. kanala ait 3 dB kazançlı bir alıcı antenin ışınma diyagramlarıdır. 76. ve 77. Şekiller ise 124. kanala ait 3 dB'lik alıcı anten ile yine 124. kanala ait 0 dB'lik verici antene ait ışınma diyagramlarıdır. Burada antenin çerçevesinin kenar uzunluğu ve çerçeveden yüksekliği mevcut sistemdeki değerlere göre alınmıştır.

Tablo 9 ise 1. kanal için alıcı antenin azimuth açıları ve kazançlarını göstermektedir. Kulenin kenar uzunluğu ve antenin kuleden yüksekliği aynı alınmıştır. Tablodan maximum kazancın +3 dB ile 83°'de, minimum kazancın ise -6.074 dB ile 247°'de olduğu görülmektedir.

420-430 MHz'de çalışan antenin düşey ışınma diyagramında yatayla 90°'ye yakın bir açıda ana kulakçığın olduğu ve 3 dB açıklığının oldukça dar olduğu görülmektedir. Hareketli aboneler için maximum ışınmalar 3 dB iken minimum ışınma mevcut sistemde -6.48 dB, GSM'de teorik olarak alınan değerler için -3.578 dB'dir. Aradaki fark yaklaşık 3 dB'dir. Buna karşılık 890-960 MHz bandında çalışan yöneltmesiz bir antenin düşey ışınma diyagramında oldukça geniş bir ana kulak ve sadece iki yan kulakçık meydana gelmektedir. Bütün diyagramlarda GSM anteni ışınmalarında çok sayıda dar açılı kulakçıkların olduğu görülmektedir.

3. BULGULAR

3.1 Güç Seviyesi Ölçmelerinden elde edilen bulgular

Şekil 44'ün incelenmesinden şehir içinde alınan işaretin genliğinin 200 m'ye kadar mesafeyle azalırken bundan sonra 2000 m'ye kadar işaret seviyesindeki değişikliğin en fazla 7-8 dBm kadar olduğu görülmektedir. Bu da şehir içinde çok-yollu alma olduğunu göstermektedir. Şekil 45'de düz arazi modeli için, şekil 44'de olduğu gibi 200m'ye kadar sürekli bir azalma, 200-600 m arasında işaretin seviyesinde artma ve azalmalar meydana gelmekte, 600 m'den sonra ise 1000 m'ye kadar sürekli azalma gözlenmektedir. Meyilli arazi için yaklaşık 600 m'ye kadar sürekli bir azalma görülmekte, bundan sonra 1000 m'ye kadar artma ve azalmalarla az bir değişiklik olmaktadır.

Şekil 46'da Lee'nin yakın alan modelinin düz arazi için teorik modele daha yakın, 200 m'den 600 m'ye kadar meyilli arazi için teorik modele daha yakın olduğu, 600 m'den 1000 m'ye kadar tekrar düz arazi için teorik modele yaklaşmakta olduğu ve tam 1000 m'de çakıştıkları görülmektedir. Düz ve meyilli araziler için teorik ve ölçülen değerler birbirine oldukça yakın çıkmaktadır. Meyilli arazi için 600 m'ye kadar teorik değerler ölçülen değerlerin üstündeyken 600 m'den sonra birbirine eşit denecek kadar yakın olmaktadır.

Şehir içinde meyilli arazide 0-600 m. arasında ölçülen ve teorik değerler arasındaki fark 100 m. de 22 dBm, 200 m. de 12 dBm, 300 m. de 7 dBm, 400 m. de 6 dBm, 500 m. de yaklaşık 5 dBm ve 600 m. de yaklaşık 4 dBm olmak üzere teorik değerler ölçülen değerlerden büyük çıkmaktadır. 0-600 m. arasında bu farkı ifade edecek düzeltme faktörü (correction factor) $2,2/d(\text{km})$ dBm veya $2200/d$ (m) dBm'dir.

Şekil 48'de ise yaklaşık 30 km'ye kadar uzak mesafe ölçmelerinde elektrik alan şiddeti cinsinden (dB μ V/m) yapılan karşılaştırmada ölçme sonuçlarının Lee modeline büyük ölçüde uyduğu ve Okumura'nın ölçmelerine de oldukça

yakınlık gösterdiği görülmektedir. Elde edilen sonuçlardaki bu yakınlık deneyler için seçilen aletler ve kullanılan metodun uygunluğunu göstermektedir.

Şekil 51'de de üç farklı işaret seviyesi değişimlerinin çizimlerinden elde edilen dağılımlardan da (a) daki şeklin Rayleigh dağılımı gösterdiği ve kapalı bir alanda, gürültülü bir ortamdaki bu değişimin hızlı bir bayılmaya sebep olan lokal çok yönlü yayılım olduğunu göstermektedir. (b) deki şekil gölgelemeden dolayı meydana gelen ve yavaş bayılmaya sebep olan lognormal bir dağılımı, (c) ise uzak mesafeden yapılan ve zaman zaman gölgelemeli bir direkt dalga olduğunu doğrulamaktadır.

Ölçmeler sırasında Trabzon'dan Giresun yönünde il sınırına kadar yer yer kısa süreli servis kesintileri olduğu gibi doğu yönünde de Of'a kadar yer yer servis kesintileri gözlenmiştir. Bu kesintiler 50-100 m'den başlayarak çoğunlukla 200 m civarında olup Araklı yakınları ile Sürmene-Of arasında 1000-1500 m'ye kadar çıkmaktadır. Batı yönünde Akçaabat-Mersin-Yeros burnu arasında, Çarşıbaşı-Vakfıkebir arasında, Trabzon-Giresun il sınırı yakınlarında servis alınmamaktadır. Eynesil tüneline çıkış girişten görülebildiği için tünel içinde işaret seviyesi pek az değişmektedir.

Beşikdüzü-Şalpazarı yol ayrımından Şalpazarı'na doğru yakın mesafelerde servis alınmasına rağmen konuşma gerçekleştirilemedi, ancak cihaz araç dışı kullanıldığında gönderme yapılabildi.

Deneyler esnasında negatif olarak gözlenen servis seviyesi cihaz gönderme (veya alma) durumuna geçtiğinde 14.4-14.5 veya 21.3 dBm gibi pozitif değerlere çıkmakta ve çok zaman ölçü aleti +20 dBm ve HI (yüksek) değer göstermektedir. Bu da gönderme veya almada işaretin seviyesinin 100 mW'ın (20 dBm) üzerinde olduğuna işaret eder.

Gözlenen önemli bir özellik de hareketliden hareketliye olan konuşmalarda cihazın tuşlanan numarayı göndermesinden sonra (tuşlanan numaranın ekrandan silinmesiyle) karşı tarafta telefonun çalması arasındaki süre 1 s kadar kısa bir süre olabilmektedir. Bu süre diğer tür konuşmalarda ortalama 3-4-5 s bazen de 8-9 s. kadar olabilmektedir. Bunun yanında hareketliden hareketliye yapılan konuşmalarda

araçlardan biri Mersin-Akçaabat-Trabzon arasında, diğeri Of-Sürmene-Araklı civarlarında iken karşılıklı olarak yapılan aramalarda uzun süre görüşme sağlanamamıştır. Bu esnada aramalar kaybolmakta ve cihaz "aradığınız araç telefonu ya kapalı ya da kapsam bölgesi dışında olduğu için bağlantı sağlanamamıştır" mesajı vermektedir. Bu bölgelerin ölü bölgeler (dead zones) olduğu anlaşılmaktadır.

Trabzon-Maçka yolunda Fatih Sanayii Sitesine kadar servis alınabilmekte (yol ayrımından yaklaşık 300-400 m) daha ileride servis alınamamaktadır. Bu yol boyunca 10-15 km ye kadar deneyler yapıldı, ancak araca monteli durumda da, araç dışı kullanımda da servis alınamadı. Aynı şey cihazın gücü artırılarak da denendi (cihaz normalde 1.5 W güçle çalışmakta ve bu güç istenirse 15 W'a çıkarılabilmektedir, tabii ki bu durumda akü çabuk boşalacaktır) sonucun değişmediği gözlemlendi. Bu durum, Merkez Yer İstasyonunun yer seçiminin Trabzon-Erzurum yolunda haberleşme için uygun olmadığını göstermektedir.

3.2 Bilgisayar Destekli Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular

İşıma diyagramlarının incelenmesinde şekil 53'den ideal yöneltmesiz bir antenin ana kulak kazancının 9.5 dB ve azimuth açısının 0°, şekil 54'de 420-430 MHz'de çalışan yöneltmesiz antenin düşey ışıma diyagramından en büyük kazancın yaklaşık 90°'de olduğu, 0°ve 180°'de kazancın minimum olduğu görülmektedir. Her kanal için ışıma diyagramları (şekil 55-60) çizdirilerek maksimum ışıma açısının hareketli telefon trafiğinin yoğun olduğu yollarla karşılaştırılması sağlanabilir. Kare şeklindeki kule montajı ve 3 dB'd'lik maksimum ışımlar için 3dB'd'lik kazançlarda 130° ve 319° de maksimum ışıma 249°de de -6.227 dB'd'lik minimum ışımlar elde edilmiştir. 0 dB'lik kazançlar için aynı kanalın alıcı ve verici antenlerinin maksimum ışımanın 130°ve 319°'lik azimuth açılarına karşılık 249°'lik azimuth açısında -9.232 dB ve -9.611 dB'lik minimum ışımlar elde edilmiştir. Maksimum ve minimum ışımlar arasındaki fark böylece 12.227 dB ve 9.611 dB olmaktadır.

Yol geometrisi diyagramlarından ise deniz seviyesinden yükseklik, mesafe, engellerin yerleri ve yükseklikleri ve türleri (ağaçlar, bitki örtüsü ve binalar) girilerek istenilen Fresnel açıklıkları için arzu edilen Fresnel bölgeleri elde edilmiştir. Bu diyagramlardan şehir merkezlerindeki Yer istasyonlarının gölgelenme alanlarının elde edilmesinde yararlanılabilir. Gölgelenme kontrolünün yapıldığı diğer diyagramlarda da görüş hattının tamamen açık, Fresnel bölgesi engelleri ve görüş hattının kapalı olduğu bölgeler kısa ve uzun mesafeler için radyal bir şekilde elde edilmiştir. Böylece, bulunulan yerin enlemi ve boylamı bilindiği taktirde ilgili Yer istasyonunun enlem ve boylamı da mesafe ve koordinat hesapları programına girilerek aradaki direk mesafe ve bulunulan yerin azimuth açısı hesaplanabilmektedir. Bu durumda direkt görüş hattı olduğu taktirde işaretin zayıflaması doğrudan hesaplanabilir ve ölçülen değerlerle kolayca karşılaştırılabilir.

3.3 GSM Sistemi için Yapılan Teorik Çalışmalardan Elde Edilen Bulgular

890-960 MHz bandında çalışan yönlendirmesiz bir antenin düşey ışınım diyagramı şekil 72' de verilmiştir. Burada 3 dB açıklığının 420 MHz'dekine nazaran çok daha geniş olduğu ve düşey ışımda ana kulakçığın yanlarında sadece birer kulakçığın olduğu görülmektedir. Burada antenin çerçevesinin kenar uzunluğu ve çerçeveden yüksekliği mevcut sistemdeki değerlere göre alınmıştır.

Tablo 9 ise 1. kanal için alıcı antenin azimuth açıları ve kazançlarını göstermektedir. Kulenin kenar uzunluğu ve antenin kuleden yüksekliği aynı alınmıştır. Tablodan maximum kazancın +3 dB ile 83°'de, minimum kazancın ise -6.074 dB ile 247°'de olduğu görülmektedir.

420-430 MHz'de çalışan antenin düşey ışınım diyagramında yatayla 90°'ye yakın bir açıda ana kulakçığın oluştuğu ve 3 dB açıklığının oldukça dar olduğu görülmektedir. Hareketli aboneler için maximum ışınım 3 dB iken minimum ışınım mevcut sistemde -6.48 dB, GSM'de teorik olarak alınan değerler için -3.578 dB'dir. Aradaki fark yaklaşık 3 dB'dir.

4. İRDELEME

Bu kısım, sistemin kapsam alanında haberleşmeyi gerçekleştirmedeki başarımının (performance) incelenmesi, yayılıma etki eden faktörler ve sistem tasarımı alt başlıklarından meydana gelmektedir.

4.1 Sistemin Kapsama Alanında Haberleşmeyi Gerçekleştirmedeki Başarımı

Bu tür sistemlerde gerçekleştirme ölçüsünün iki kriteri olduğu daha önce ifade edilmişti. Bunlar; 1) Sistemin, nüfusu yüzde kaçına serviste bulunabildiği, 2) kapsam bölgesinin veya ülke yüzölçümünün yüzde kaçında bu hizmetin gerçekleştirilebildiğidir.

Bu kriterler ışığında, halen mevcut sistemin ülkemizin nüfusunun ne kadarına hizmet verebildiği ve ülke yüzölçümünün ne kadarına bu hizmetin götürülebildiği hakkında bir bilgi yoktur. Sistemin kuruluşundaki ilk gaye ana yolları, şehirleri ve yakın çevrelerini araç telefonu sistemiyle birbirine bağlamaktı. Sayıları 200'ün üstündeki Yer istasyonları ile Türkiye'nin bütün karayollarını ve sahil şeridini bu kapsama alabilmek imkânsızdır.

Bu çalışmanın yapıldığı Trabzon ve il sınırları içindeki devlet yolunda bile her noktadan servis alınamadığı ya da ancak kesikli servis alındığı ve bu durumda arama yapılamadığı fakat aranılabilindiği görülmüştür. Bu bölgelerin uzunluğu bazen 50-100 m'den başlayıp 1-1.5 km'ye kadar çıkmaktadır. Bu durum Doğu Karadeniz Bölgesinde Samsun-Ünye'den Hopa ve Sarp sınırına kadar olan yolda araç telefonunu kullananlarca da doğrulanmıştır. Halbuki araç telefonuna hatta cep telefonuna olan ilgi ve ihtiyaç açıktır ve gittikçe artmaktadır. Nüfusun önemli bir kısmı, özellikle de Doğu Karadeniz Bölgesinde, köylerde ve kasabalarda yaşamaktadır. Şehirlerde ve sahildeki ilçelerde nüfusun

yoğun olmasına rağmen buraların genel yüzölçümü içindeki yüzde oranı azdır. Öte yandan insanoğlu haberleşme ihtiyacını saatler alan bir sürede değil, acil durumlarda ve gerektiğinde, istediği yerde ve istediği anda karşılamak istemektedir. Olabildiği kadar geniş bir alanda haberleşmeyi sağlayabilmek için yer istasyonlarının ve Hareketli Santralleri (MSC) sayılarının artırılması gerekir. Bu ise haberleşme yatırımlarının artırılması demektir. PTT idaresi yer istasyonlarını R/L merkezlerinde kurmakla en az sayıda insan ve teçhizatla en ekonomik şekilde sistemi işletmektedir. Araç telefonu pahalı bir sistemdir, faturalar en uzak kategorideki şehirlerarası konuşma ücretine göre düzenlenmektedir. Abonman ve sabit tesis ücretleri sabit telefonunkinden fazladır. Kısacası bir maliyet-hizmet arz ve talebi söz konusudur.

Sistemin gerçekleştirmedeki başarısını tesbit edebilmek için daha geniş çaplı çalışmalara ihtiyaç vardır. Özellikle nüfusun ve araç sayısının yoğun olduğu şehirlerde yer istasyonunun şehre hakim tepelere kurulmasında fayda vardır. Şehir merkezlerinde Radyo Link istasyonlarında kurulan yer istasyonlarının şehrin her tarafından direkt olarak görülmesi veya bulunulan yerin kapsam alanı içinde olması, aradaki mesafe kısa bile olsa, bazen mümkün olamamaktadır. Meselâ Trabzon-Maçka yolunda Fatih Sanayii Sitesinden öteye servis alınamamaktadır. Bu da işaretin tamamen gölgelenmiş veya engellenmiş olması demektir. GSM sistemi Trabzon'da veya Doğu Karadeniz Bölgesinde kurulduğunda iki sistemin birarada uyumu (birinden diğerine haberleşmenin mümkün olup olmadığı) da o zaman araştırılmalıdır. İlçelere giden yollarda ve Trabzon-Maçka-Zigana geçidine kadar yol üzerinde araç telefonu haberleşmesini sağlayacak yeni yer istasyonları kurulmak istendiğinde PTT'nin kurulu tesis imkânları da göz önüne alınarak geniş bir alan araştırması çalışması yapılmalıdır. Kullanıcıyı tatmin edecek kalitede bir servis her zaman tabii olarak mümkün değildir. Her istenildiği yerde her zaman görüşme gerçekleştirilememektedir. Bu yüzden sistemin başarısı veya başarısızlığı hakkında henüz kesin bir hükme varmak yerine imkânların araştırılması ve çalışmaların devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

4.2 Yayılıma Etki Eden Faktörler

Bilinen yayılım modelleri bu çalışmanın 4. kısmında ayrıntılı şekilde verilmişti. Burada kısaca yayılıma etki eden faktörler incelenecektir. Bu faktörler şöyle sıralanabilir:

1. Dalga yayılımında yer şekilleri ve iklimin etkileri: Yayılımı etkileyen en önemli faktörler atmosferdeki değişikliklerden doğan ve yüzeydeki engellerin (yükseklikler, binalar) çevresinde ortaya çıkan kırınımın meydana getirdiği kayıplardır. Ayrıca çok yollu yansımadan dolayı ortaya çıkan sönüm ve ters-kutuplamadan (depolarization) ve nemden kaynaklanan zayıflamalar söz konusudur.

2. İletim yolu: İletim yolunun açıklığı iletimin gerçekleşmesi ve kalitesi için gereklidir. Bu da yer istasyonlarının coğrafik konumları tarafından belirlenir. Meselâ Trabzon'daki Merkez BS'nin yeri şehir içinde her yön için uygun değildir. Aynı şekilde Akçaabat BS'den Çarşıbaşı-Vakıkebir arasında direkt görüş olmadığından yer yer servis alınmamaktadır. Of BS de Of Sürmene arasında her yerde servis imkânı sağlayamamaktadır.

3. Yol Profilleri : Alıcıya varan direkt yayılım yolundaki binalar, ağaçlıklar, bitki örtüsü ve diğer engeller 6. Bölümde yapıldığı gibi hazırlanacak yol geometrisi profilleriyle çıkarılmalıdır.

4. Topoğrafik veriler : Kapsam alanının topoğrafik verileri bir harita üzerine işlenmelidir. Bu haritalar 3-boyutlu veya 2-boyutlu şekillerde olabilir.

5. Kritik sıçrama yerlerinin seçimi ve değerlendirilmesi: Yol geometrisi profillerinin belirlenmesinde bu kriterler için etkin olan faktörler şunlardır:

- Kullanılan frekans ve kanal kapasitesi,
- Arazinin yapısı, yol üzerindeki nehir göl ve su kütleleri,
- İklim şartları ve ışının eğim açısı v.b. 'dir.

Hem yayılım özellikleri hem de sistem tasarımında önemli olan parametrelerden biri de antenin monte edildiği kulenin yüksekliği, yapısı ve şeklidir. 6. kısımda

gösterildiği gibi yer istasyonlarında kullanılacak anten tipi, kulenin fiziksel yapısı tesbit edilip bu özelliklere göre çizilecek ışın diyagramlarında elde edilecek ana kulakçığın azimuth açısı haberleşme trafiğinin yoğun olduğu tarafa yönlenebilir. Mesela, minimum ışınlar veya ışınların sıfır olduğu yerler deniz yönüne gelecek şekilde antenler monte edilebilir.

Yukarıdaki faktörlere ilave edilebilecek başka faktörler de olabilir. İşaret seviyesinin değişmesinin ve bayılmanın büyük bir oranda kesinlikle tesbit edilebilmesi imkanı yoktur. Uzun yılların ortalamalarından elde edilen sonuçlara göre, belirli bir standardı tutturacak güvenilirlikte sistemler tasarlanabilir. Bayılmadan dolayı sistemin gerçekleştirmedeki başarısının düşmesi uygun cihazlar ve alma şekilleri seçilerek önlenir. Tablo 10 çeşitli K değerleri için yol açıklığının (path clearance) elde edilmesinde gerekli anten yüksekliklerinin tesbitinde yardımcı olarak kullanılabilir [89].

4.3 Sistem Tasarımı

Sistem tasarımında önemli olan faktörler şöyle sıralanabilir :

- 1) Bölgeden bölgeye radyo kapsamının yol kaybı tahminleri,
- 2) Her link için yol kaybının hesabı,
- 3) Almanın (receiving) kalitesini artırmak için anten tasarımı önerileri,
- 4) Bayılmayı azaltmak için çeşitli alma şekillerinin (diversity schemes) kullanılması,
- 5) Kullanılan frekans bandı ve bu frekansların yayılım özellikleri,
- 6) Yer istasyonu (BS) tasarım parametreleri,
- 7) Hareketli Ünite (MS) tasarım parametreleri,
- 8) Sistemin işaretleşme ve giriş bilgileri.

Sistem tasarımında yol bilgileri veya alıcı-verici merkezler arasında kazanç/kayıp hesapları için aşağıdaki gibi bir liste hazırlanabilir [89].

Verici

Çalışma Frekansı(veya kanalı)
 Yeri(enlem/boylam)
 Kule yüksekliği
 Profil
 Antenin kuleden yüksekliği

Alıcı

Çalışma Frekansı(veya kanalı)
 Bulunduğu yer(enlem/boylam)
 Anten boyu
 Vericiden olan uzaklığı

Kayıplar

Yol kaybı
 Kablo ve bağlantı kayıpları
 Diğer kayıplar
 Toplam:Belirli bir değerin
 üstünde olmamalı

Kazançlar

Verici gücü
 Alıcı gücü
 Toplam kazanç
 Gerekli anten kazancı

Alınan işaretin ortalama seviyesi
 Taşıyıcı/gürültü oranı
 Bayılma sınırı

Kazançlar vericinin çıkış ve alıcının giriş gücüne göre hesaplanır. Hareketli aboneler için güç genellikle 1.5 - 2 W civarında olduğundan en fazla 3 dB veya 33 dBm'dir. Alıcının eşik değeri ya denenmiş veya istenen belirli bir değer olur ya da imalatçı firmaların kataloglarda verdiği değerler seçilebilir.

Gerekli anten kazancı toplam kayıp ile toplam kazanç değerlerinin farkından bulunur. Bu kazanç değeri verici ve alıcı antenler için gereklidir.

Ortalama işaret seviyesi kazanç kısmında bulunan veya imalatçı firmaların kataloglarından elde edilen değerden çıkarılınca taşıyıcı/gürültü oranı elde edilir.

Bayılma sınırı ise imalatçıların verdiği tablolardan veya daha önce yapılan deneylerden elde edilebilir.

Tablo 10 Yol Açıklığı Kriterleri (F=1.Fresnel Bölgesi)

Yayılim Şartları	En Uygun	İyi	Ortalama	Kötü	Çok Kötü
Hava	Standart Atmosfer	Sis ve sıcaklık değışiklikleri yok	Bazı Standardın altında sis	Yüzeysel tabakalar ve karada sis	Aşırı kırılma (Ducting) su üzerinde sis
Cografik	—	Kayalı dağlar	Düz yerler	Deniz kıyıları	Deniz kıyıları ve körfezler
%60-85 çalışma güvenilirliği	—	—	0.6 F K=4/3	1.0 F K=4/3	0.6 F K = 1
%85-98 çalışma güvenilirliği	—	0.6 F K=4/3	1.0 F K=4/3	0.6 F K = 1	0.3 F K=2/3
%98-99.9 çalışma güvenilirliği	0.6 F K=4/3	1.0 F K=4/3	0.6 F K = 1	0.3 F K=2/3	Teğetsel K = 0.5
%99.9-99.99 çalışma güvenilirliği	1.0 F K=4/3	0.6 F K = 1	0.3 F K=2/3	Teğetsel K = 0.5	Teğetsel K = 5/12

5. SONUÇLAR

Bu tezde sunulan çalışmadan elde edilen sonuçlar maddeler halinde şöyle sıralanabilir:

(a) Hareketli haberleşme sisteminde şehir içinde yer istasyonuna yakın yerlerde (yakın alan) işaret seviyesi birkaç dBm değişmekte ve değişimin ortalaması hemen hemen aynı kalmaktadır.

(b) Şehirlerarası yolda ve açık alanlarda mesafeyle artan zayıflama açıkça görülmektedir.

(c) Şehir içinde hem düz arazi hem meyilli arazi için teorik ve deneysel sonuçlarla Lee'nin anten boylarına göre verdiği yakın alan modeli grafikleri birbiriyle uyumludur. 200 m. ve 600 m. mesafelerinin yakın alan için önemli mesafeler olduğu gözlenmiştir. 600 m.den sonra zayıflama artmaktadır. Okumura ve arkadaşları uzak mesafeler için verdikleri grafikleri 600 m. den başlatmaktadırlar. Elde edilen sonuçların adı geçen modellere uygunluğunu göstermektedir.

(d) Şehir içinde meyilli arazide 0-600 m. de teorik değerler ile ölçülen değerler arasındaki fark için düzeltme faktörü $2,2/d$ (km) dBm olarak bulunmuştur.

(e) Okumura ve arkadaşlarının Tokyo ve banliyölerinde yaptıkları deneylerin sonuçları, Lee modeli ve bu çalışmada ölçülen değerler yaklaşık 30 km'ye kadar olan mesafeler için dB μ V/m cinsinden elektrik alan şiddetine dönüştürülerek aynı eksen takımı üzerindeki çizimlerinde de aynı uygunluk elde edilmiştir.

(f) Araç seyir halinde iken fren yapılıncaya işaret seviyesinde hemen daima 4-5 dBm'lik bir azalma olmakta bu azalma hızlanma esnasında ise 5-6 dB gibi birbirine oldukça yakın ve her iki durumda da konuşmayı etkileyebilecek kadar uzun süreli bir bayılmaya sebep olmamaktadır.

(g) -40 dBm'in altındaki işaret seviyelerinde konuşma gerçekleştirilememiştir. Bu değer sistem tasarımında en düşük işaret seviyesi olarak göz önüne alınabilir.

(h) Kapalı alanlara girişte işaret seviyesi 3-5 dBm kadar azalmakta ve motor gürültüsü gibi sürekli gürültülü ortamda konuşma çok zor anlaşılır bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

(i) Negatif değerler alan servis alma seviyesi konuşma esnasında sürekli + 20 dBm'in (100 mW) üstüne çıkmaktadır.

(j) Tünellerde işaret seviyesi 5-7 dBm kadar azalmakta fakat tünel çıkışı girişten görülebiliyorsa uzun süreli bir bayılmaya sebep olmamaktadır.

(k) Hareketliden hareketliye olan konuşmalarda cihazın tuşlanan numarayı göndermesinden sonra karşı tarafta telefonun çalması arasındaki süre 1 s. kadar kısa olabilmektedir. Bu süre diğer tip konuşmalarda 3-4-5 s. hatta bazen de 8-9 s'ye çıkmaktadır. Bu da telsiz bağlantısının telli bağlantıya göre çok daha kısa sürede gerçekleştirilebildiğini göstermektedir.

6. ÖNERİLER

Bu tezde anlatılan çalışmalar büyük ölçüde gerçek alan değerlerine dayalı deneysel bir çalışma olmasına rağmen oldukça sınırlı imkanlarla gerçekleştirilmiştir. Batılı ülkelerde ve Japonya'da bu tür çalışmalar çok daha geliştirilmiş komple test cihazlarıyla bir minibüse monteli olarak yapılmaktadır. Hatta gerektiğinde bu çalışmalarda kullanılmak üzere uçak ve helikopterler bile kiralanabilmektedir.

Bu yüzden, bu tür çalışmalarda her şeyden önce, kullanıcının gerekli diğer donanımıyla birlikte, bir çok fonksiyona sahip tam bir Haberleşme Test Cihazına (Communication Test Set) ihtiyacı vardır. Bu tür bir cihazın bugünkü piyasa değeri ise 25-30 bin Amerikan dolarıdır.

Böyle bir deney düzeneğine sahip olunduktan sonra genel olarak yapılabilecek çalışmalar konusunda şu teklifler sıralanabilir;

1. Mevcut hücre sel hareketli yer haberleşmesi sistemin il bazında bile olsa hizmet verdiği nüfus oranı ve kapsama alanlarının artırılması istendiğinde, Trabzon için verilen 3-boyutlu harita çiziminden yararlanılabilir. Giriş verileri (yükselti değerleri sayısı) daha da artırılarak yeni konulacak yer istasyonları için en uygun yer seçimi gerçekleştirilerek sistemin kapasitesi, haberleşmenin kalitesi ve sistemin gerçekleştirme oranını (performans) azaltmadan, en az maliyetle artırılabilir.

2. 900 MHz bandında çalışan GSM sistemi ülke çapında ve Karadeniz Bölgesinde de yaygınlaştırılacağı zaman mevcut (analog ve 400 MHz bandında çalışan) sistemle yeni sistemin (dijital) bir arada fonksiyonunu yerine getirebilmesi için teorik ve deneysel çalışmalar yapılabilir, problemler ve çözüm yolları araştırılabilir.

3. Sunulan bu çalışma konunun sadece hücre sel hareketli yer haberleşmesi yönünü ele almıştır. Bunun yanında

denizden-karaya ve karadan-denize haberleşme için önemli bir kıyı şeridine sahip bölgemizde ve Trabzon'da bir tekne kiralarak haberleşme özellikleri incelenebilir. Şehirlerde ve kırsal alanda yüksek tepelere kurulan yer istasyonları ile hareketli abonenin birbirlerini görmeleri gayet rahat olabileceğinden, deniz için gölgeleme ve daha çok yollu alma olmayacak, sadece direkt dalga ve deniz yüzeyinden yansımalar olacaktır. Bu konuda literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Halbuki konu, Doğu Karadeniz Bölgesinin dağılan Sovyetler Birliği ülkeleri ile olan kıyı ticareti ve turizm açısından önemlidir. Çünkü sadece karayolu taşımacılığı değil, deniz ulaşımı da taşımacılık ve turizm açısından önem kazanmaktadır.

4. Yerden-havaya ve havadan-yere aynı çalışmalarını yapmak için bir helikopter veya pervaneli küçük bir uçak kiralanabilir.

5. Son olarak, mevcut ve yeni kurulmakta olan GSM sisteminin ülkeler arası dolaşımın (international roaming) ve uydu-yer hareketli haberleşmesinin sağlanabilirliği konusunda çalışmalar yapılabilir. Özelde ise bu tezde yapılan çalışmanın devamı niteliğinde RF Güçmetresinin IEEE-488 bus kartı Şekil 33'de belirtilen, güçmetrenin uzaktan kontrolü 4 türlü çalışma modu ile (konuşma, dinleme, dinleme/konuşma ve bilgisayar kontrolü) yapılabilir. İlk üç çalışma şekli için Şekil 52'de belirtilen uygun cihaz / cihazlar IEEE-488 ile uyumlu olarak deney setine ilave edilir ve güçmetre için uygun yazılım programı çalıştırılır. Son şekil olan bilgisayar kontrolü için araca yerleştirilecek PC veya dizüstü bilgisayarına IEEE-488'e uyumlu bir paralel I/O kartı ve konnektörü gerekir. Bunun da fiyatı 1000 Amerikan doları civarındadır. Ayrıca dizüstü bilgisayarları için ayrı bir yazılım (software) gerektiği de ifade edilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- [1] Lee, W.C.Y., Mobile Communications Engineering, McGraw-Hill Book Co., New York, 1982.
- [2] Moggeridge, J., Digital Cellular offers last chance for a pan-European standart, Communications Engineering International, 8, 8 (1986) 25-27.
- [3] Lomer, G.J., Telephoning on the move, IEE Proceedings Pt F, 134, 1 (1987) 1-8.
- [4] Background, IEEE Trans. Vehich. Tech., 37, 1 (1988) 9-19.
- [5] Young, W.R.Jr., Comparison of Mobile Radio Transmission at 150, 450, 900 and 3700 MHz, Bell Syst. Tech. J., 31, 11 (1952) 1068-1085.
- [6] Egli, J.J., Radio Propagation above 40 MHz over irregular terrain, Proc. IRE, 45, 10 (1957) 1383-1391.
- [7] Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T. ve Fukuda, K., Field Strength and its variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service, Rev. Elec. Commun. Lab., 16, 9-10 (1968) 825-873.
- [8] Nylund, H.W., Characteristics of small-area signal fading on mobile circuits in the 150 MHz band, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-17, 10 (1968) 24-30.
- [9] Black, D.M. and Reudink, D.O., Some characteristics of mobile Radio Propagation at 836 MHz in the Philadelphia Area, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-21, 5 (1972) 45-51.
- [10] Turin, G.L., Clapp, F.D., Johnston, T.L., Fine, S.B. and Lavry, D., A statistical model of urban multipath propagation, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-21, 2 (1972) 1-9.
- [11] Barsis, A.P., Determination of service area for VHF/UHF land mobile and broadcast operation over irregular terrain, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-22, 5 (1973) 21-29.
- [12] Cox, D.C., 910 MHz Urban mobile radio propagation : Multipath characteristics in New York city, IEEE Trans. Commun. COM-21, 11 (1973) 1188-1194.
- [13] Cox, D.C. and Leck, R.P., Correlation bandwith and delay spread multipath propagation statistics for 910 MHz urban mobile radio channels, IEEE Trans. Commun. COM-23, 11 (1975) 1271-1280.

- [14] Cox, D.C., Multipath delay spread and path correlation for 910 MHz urban mobile radio propagation, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-26, 11 (1977) 340-344.
- [15] Cox, D.C., Murray, R.R. ve Norris, A.W., Antenna heighth dependence of 800 MHz attenuation measured in houses, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-34, 2 (1985) 108-115.
- [16] Arredondo, G.A., Chriss, W.H., Walker, E.H., A multi-path fading simulator for mobile radio, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-22, 4 (1973) 241-244.
- [17] Yoshikawa, N. ve Nomura, T., On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-25, 3 (1976) 57-67.
- [18] Suzuki, H., A statistical model for urban radio propagation, IEEE Trans. Commun. COM-25, 7 (1977) 673-680.
- [19] Bullington, K., Radio propagation for vehicular communication, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-26, 11 (1977) 295-308.
- [20] Shepherd, N.H., Radio wave loss deviation and shadow loss at 900 MHz, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-26, 11 (1977) 309-313.
- [21] Wells, P.I., The attenuation of UHF radio signals by houses, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-26, 4 (1977) 358-362.
- [22] Komura, M., Hagihira, T. ve Ogasawara, M, New radio paging system and its propagasyon characteristics, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-26, 4 (1977) 362-366.
- [23] French, R.C., The effect of fading and shadowing on channel reuse in mobile radio, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-28, 3 (1979) 171-181.
- [24] Lee, W.C.Y., Mobile radio signal correlation versus antenna height and spacing, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-25, 8 (1977) 290-292.
- [25] Lee, W.C.Y., Studies of base-station antenna height on mobile radio, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-29, 2 (1980) 252-260.
- [26] Lee, W.C.Y. ve Smith, H.L., A computer simulation model for the evaluation of mobile radioo systems in the military tactical environment, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-32, 2 (1983) 177-190.
- [27] Lee, W.C.Y., Estimate of channel capacity in Rayleigh fading environment, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-39, 3 (1990) 187-189.

- [28] Hata, M., Nagatsu, T., Mobile location using signal Strength measurements in a cellular system, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-29, 2 (1980) 245-251.
- [29] Hata, M., Kinoshita, K. ve Hirade K., Radio link Design of cellular land mobile communication systems, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-31, 1 (1982) 25-31.
- [30] Muammar, R., Gupta, S.C., Co-channel interference in high-capacity mobile radio systems, IEEE Trans. Commun. COM-30, 8 (1982) 1973-1978.
- [31] Cadman, P.J., Brewster, R.L., Data transmission over VHF and UHF land mobile radio channels, IEE Proceedings Pt F, 6 (1983) 527-531.
- [32] Paunovic, D.S., Stojanovic, K. ve Stojanovic, I.S., Choice of cellular land mobile communication systems, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-33, 3 (1984) 259-265.
- [33] Bajwa, A.S., Parsons, J.D., Small-area characterisation of UHF urban and suburban mobile radio propagation, IEE Proceedings Pt F, 2 (1982) 102-109.
- [34] Bajwa, A.S., UHF wideband statistical model and simulation of mobile radio multipath propagation effects, IEE Proceedings Pt F, 5 (1985) 327-333.
- [35] Parsons, J.D., Turkmani A.M.D., Characterisation of mobile radio signals : model description, IEE Proceedings I, 6 (1991) 549-555.
- [36] Parsons, J.D., Turkmani A.M.D. ve Demery, D.A., Measurement and modelling of wideband mobile radio channels at 900 MHz, IEE Proceedings I, 5 (1991) 447-457.
- [37] Parsons, J.D., Turkmani A.M.D., Characterisation of mobile radio signals : base station cross-correlation, IEE Proceedings I, 6 (1991) 557-565.
- [38] Delisle, Y.G., Lefevre, J.P., Lecours, M. ve Chouinard Propagation loss prediction : A comparative study with application to the mobile radio channel, IEEE Trans. Vehich. Tech. VT-34, 2 (1985) 86-96.
- [39] Davis, B.R., Bogner, R.E., Propagation at 500 MHz for mobile radio, IEEE Proceedings Pt F, 132, 5 (1985) 307-319
- [40] Loew, K., Boundaries between radio cell - influence of buildings and vegetation, IEEE Proceedings Pt F, 132 5 (1985) 321-325
- [41] Whitteker, J.H., Measurements of path loss at 910 MHz for proposed microcell urban mobile systems, IEEE Trans. Vehich. Tech., 37, 3 (1988) 125-129.

- [42] Muammar, R.H., The effects of Ricean fading channel on microcell mobile radio systems, IEEE Military Commun. Conference Proceedings, Sept. 30 - Oct. 3 (1990) 1-5/5.
- [43] Rappaport, T.S., Milstein, L.B., Effect of Radio Propagation path loss on DS-CDMA Cellular frequency Reuse Efficiency for the reverse channel, IEEE Trans. Vehich. Tech., 41, 3 (1992) 231-242.
- [44] Rappaport, T.S., 900 MHz Multipath propagation measurements, IEEE Trans. Vehich. Tech., 39, 2 (1990) 132-139.
- [45] Kuboyama, H., Tanaka, Y., Sato, K., Fujimoto, K. ve Hirasawa K., Experimental results with mobile antennas having cross-polarizasyon components in urban and rural areas, IEEE Trans. Vehich. Tech., 39, 2 (1990) 150-160.
- [46] Tannous, C., Davies, R., Angus A., Strange Attractors in multipath propagation, IEEE Trans. Commun. 39, 5 (1991) 629-631.
- [47] Ikegami F., Takeuchi T. ve Yoshida S., Theoretical prediction of mean field Strength for urban mobile radio, IEEE Trans. Antennas and Propag. 39, 3 (1991) 299-302.
- [48] Green E., Measurements and models for the radio characterisation of microcells, ICCS Conference Singapore Nov. 5-9 (1990).
- [49] Green E., Radio link design for microcellular systems, British Telecom Technology Jour., 8, 1 (1990) 85-96.
- [50] Green E., Hata, M., Microcellular propagation measurements in an urban envoriment, IEEE Int. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun., Sept. 23 - 25 1991, London, Conference Proceedings, 324-328.
- [51] Hill, C., Kneisel, T., Portable radio anntenna performans in the 150,450,800 and 900 MHz bands "Outside" in vechile, IEEE Trans. Vehich. Tech., 4 (1991) 750-756.
- [52] Chan, C.K., Propagation and coverage prediction for cellular radio systems, IEEE Trans. Vehich. Tech., 40, 4 (1991) 665-670.
- [53] Loo, C. ve Secord N., Computer models for fading channels with applications to digital transmission, IEEE Trans. Vehich. Tech., 40, 4 (1991) 700-707.

- [54] Prasad, R., Kegel A., ve Olsthoorn, J., Spectrum efficiency analysis for microcellular mobile radio systems, Electronic Letters, 27, 5 (1991) 423-424.
- [55] Prasad, R., Safak A., Effects of Corelation shadowing on channel reuse in mobile radio systems, IEEE Trans. Vehich. Tech. 40, 4 (1991) 708-713.
- [56] Prasad, R., Kegel, A., Improved assessment of interference limits in cellular radio performance, IEEE Trans. Vehic. Tech. 40, 2 (1991) 412-419.
- [57] Linnartz, J-P.M.G., Exact analysis of the outage probability in multiple-user mobile radio, IEEE Trans. Commun. 40, 1 (1992) 20-22.
- [58] Sowerby, K.W., Williamson, A.G., Outage probability in mobile radio systems suffering Cochannel interference, IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 10, 3 (1992) 516-522.
- [59] Stüber, G.L., Kchao, C., Analysis of a multiple-cell direct-sequence CDMA cellular mobile radio system, IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 10, 4 (1992) 669-679.
- [60] Lee, W.C.Y., Mobile communications design fundamentals Howard W. Sams & Co. Indiana, 1986.
- [61] Young, W.R., AMPS : Introduction, background and objectives, The Bell System Technical Journal, 58, 1 (1979) 1-14.
- [62] PTT Genel Müdürlüğü yayını, Araç Telefonu Sistemi, Ankara , 1986.
- [63] Becker, F., Mobile stations for radio telephone systems, Siemens Telecom Report , 9, 1 (1986) 22-27.
- [64] Bakry, S.H., Ackroyd, M.H., Teletraffic analysis for multicell mobile radio telephone systems, IEEE Trans. Commun. COM-30, 8 (1982) 1905-1909.
- [65] Bakry, S.H., Ackroyd, M.H., Teletraffic analysis for singlecell mobile radio telephone systems, IEEE Trans. Commun. COM-29, 3 (1981) 298-304.
- [66] Bear, D., Principles of Telecommunication-Traffic Engineering, Peter Peregrinus, England, 1976.
singlecell mobile radio telephone systems, IEEE Trans. Commun. COM-29, 3 (1981) 298-304.
- [67] Jakes, W.C., Ed. Microwave mobile communications, John Wiley and Sons, New York, 1974.
- [68] Parsons, J.D., The mobile radio propagation channel, John Wiley and Sons, New York, 1992.

- [69] Kraus, J.D., Antennas, Second Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1988.
- [70] Measurement and Modeling Recommendations, IEEE Trans. Vehich. Tech., 37, 1 (1988) 45-53.
- [71] Propagation Models, IEEE Trans. Vehich. Tech., 37, 1 (1988) 20-25.
- [72] Aurand, J.F. ve Post, R.E., A comparison of prediction methods for 800 MHz mobile radio propagation, IEEE Trans. Vehich. Tech., VT-34, 4 (1985) 149-153.
- [73] Shepherd, N.H., Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800-900 MHz frequency range, IEEE Trans. Vehich. Tech., 37, 1 (1988) 3-5.
- [74] Berlin, H.M., Getz, F.C., Principles of Electronic Instrumentation and Measurement, Merrill Publishing Co. Columbus, 1988.
- [75] Wolf, S. ve Smith, R.F.M., Student Reference Manual for Electronic Instrumentation Laboratories, Printice-Hall International, Inc. New Jersey, 1990.
- [76] Terrain Analysis Package Version 2.4 User's Manual, Softwright Limited Liability Co., Aurora, 1993.
- [77] Erdoğan, K., Antenler I,ince Antenler, K.T.Ü. yayınları, 1993.
- [78] William, C.Y.L., Mobile Cellular Telecommunication Systems, McGraw-Hill Book Co., New York, 1990.
- [79] Calhoun, G., Digital Cellular Radio, Artech House, Norwood, 1988.
- [80] Balston, D.M., Pan-European cellular radio, Electronic and Communication Engineering Journal, Jan/Feb (1989) 7-13.
- [81] Ochsner, H., Overview of the radio subsystem, Digital Cellular Radio Conference, Oct 1988, Hagen, Conference Proceedings, 3a/1-12.
- [82] Langewellpott, U., Reiner, M., Modulation, Coding and Performance, Digital Cellular Radio Conference, Oct 1988, Hagen, Conference Proceedings, 3b/1-9.
- [83] Targett, D.J., Rast, H.R., Handover-Enhanced Capabilities of the GSM System, Digital Cellular Radio Conference, Oct 1988, Hagen, Conference Proceedings, 3c/1-11.

- [84] Cora, A., Dinçer, H., GSM Haberleşme Sisteminin Tasarımı ve Doğu Karadeniz Bölgesine Uygulanması, BiLKON'91, Bilkent Üniversitesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Konferansı, 15-16 Temmuz 1991, Ankara, Bildiriler Kitabı, 174-177.
- [85] Hoogendorn, C.H., Neubauer, K., Dynamic Aspects of Digital Mobile Telephone Call Processing, The 1989 Pan-European Digital Cellular Radio Conference, 8th-9th Feb 1989, Munich, Conference Proceedings, 1-9.
- [86] Mallinder, B.J.T., GSM System Aspects, The 1990 Pan-European Digital Cellular Radio Conference, 13th-14th Feb 1990, Rome, Conference Proceedings, 1-11.
- [87] Gibson, S.W., Cellular Mobile Radiotelephones, Prentice Hall, Inc., New Jersey, 1987.
- [88] Rees, D.W.E., Satellite Communication, John Wiley and Sons, New York, 1990.
- [89] ŞEKER, Ş.S., İletişim Sistemlerinin Planlanması, Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1993.

8. ÖZGEÇMİŞ

1952'de Vakfıkebir'de doğan Adnan CORA, 1969 yılında Vakfıkebir Lisesini bitirdi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesinin Makina-Elektrik Fakültesi, Elektrik Bölümünü kazandı. 1974 yılında Elektronik Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Askerlik hizmetinden sonra 1976'da kısa bir süre Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde çalıştı, ardından mezun olduğu bölümde Yüksek Frekans Tekniği kürsüsüne asistan oldu. Yurt dışında İngiltere'de bulundu. 1987 yılından bu yana aynı bölümde Öğretim Görevlisi olarak görevini sürdürmektedir. Evli ve dört çocuk babası olan Adnan CORA İngilizce bilmektedir.