

C E P T E L E F O N L A R I
VE CEP TELEFONU
A N T E N L E R İ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Önder TÜRKOĞLU

Tezin Enstitüye verildiği Tarih :19 Haziran 1997

Tezin Savunulduğu Tarih :7 Temmuz 1997

Tez Danışmanı :Doç. Dr. Cevdet IŞIK (

Diğer Jüri Üyeleri :Prof. Dr. İnci Akkaya

:Prof. Dr. Osman Palamutçuoğlu

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	vi
SEMBOLLER LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv

BÖLÜM 1. GİRİŞ 1

1.1 Hücresele Radyo	1
1.2 Temel Özellikler	2
1.2.1 Mobil İstasyon	2
1.2.2 Hücresele Radyo Hücresi	3
1.2.3 Çoklu hücre düzenleme geometrisi	6
1.2.4 Hücresele Sistem	10
1.2.4.1 Mobil Konum	10
1.2.4.2 Konuşma Esnası-Aktarma	11
1.3 Sabit Destek Şebekesi (FSN)	12
1.3.1 Numaralama Planı	13
1.3.1.1 CCITT E.213 nolu protokol ;	13

BÖLÜM 2. HÜCRESEL SİSTEM TEMELİ 14

2.1 Hücresele sistemin Çalışması	15
2.1.1 Mobil Cihazı Koşullama	15
2.1.2 Mobil Merkezli Arama	16
2.1.3 Ağ Merkezli Arama	16
2.1.4 Konuşmanın Bitişi	16
2.1.5 Aktarma İşlemi	17
2.1.6 Mobil Güç Kontrolü	17
2.1.7 Bir hücreye düşen maksimum frekans kanalı	21

BÖLÜM 3. GSM

22

3.1 Açık Ara Birimler	22
3.2 Sistem Bileşenleri	22
3.2.1 Mobil İstasyon	24
3.2.2 Radyo Alt sistemi	24
3.2.3 Hareketlilik Yönetimi ve Güvenlik	25
3.2.4 Arama	26
3.2.5 Aktarma	26
3.2.6 Mobilin Aramayı Bitirmesi	26
3.3 Şebeke Yönetimi	27
3.4 Hava Ara Birimi	27
3.4.1 Frekans Tahsisi	27
3.4.2 Blok Yapı	28
3.5 Konuşmayı Kodlama	29
3.6 Kanal yapısı	30
3.7 Zamanın İlerlemesi	32
3.8 Modülasyon	33
3.9 Uzun yol ve Eşitleme	33
3.10 TDMA Yapısı	34
3.10.1 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDD)	34

BÖLÜM 4. PROPOGASYON

36

4.1 Ortalama İşaret Etkisi	36
4.2 Gerçek Propogasyon	37
4.2.1 Uzun yol Propogasyonu	38
4.2.2 Boş-Uzay İletim Kaybı	39
4.2.3 Alan şiddeti	44
4.3 Kara Mobil Propogasyonunun Temelleri Ve Öncelikli Modelleri	48
4.3.1 Kara Mobil Haberleşmesinde Propogasyon Problemleri	48
4.3.2 Propogasyon Modelleri ve Alan şiddeti	49
4.3.2.1 İki tip propogasyon modeli vardır.	49
4.3.3 Propogasyonu Önceden Bildirme Modelleri	49
4.3.3.1 Önceden Bildirme Modelinin Önemi	49
4.3.3.2 Mobil Radyoda Doğru Modeli Seçmek İçin Gerekenler	50
4.3.3.3 Boş Uzay Yol Kayıp Formülü (BUYK=FSPL)	50
4.3.3.4 Resiprokluk Teorisi:	51
4.3.4 Düz Bir Zeminde İki Dalga Teorisi Formülü	51
4.4 Önerilen Bazı Modeller:	53
4.4.1 Yol Kaybı Kestirme Modelinin Versiyonu Yerel Ortalama Kestirme Modeli	53
4.4.2 Yol Kaybı Modeli (Japon Okumura Modelidir.)	54
4.4.3 Yerel-Ortalama Kestirim Modeli-(Lee'nin Modeli)	54
4.4.3.1 Lee'nin Yönteminin Dış Hatları ve Değişik Şekilleri	55

BÖLÜM 5. ANTEN TASARIMI

59

5.1 Anten	59
5.1.1 Antenin Eş Değer Devresi	59
5.1.2 Vericiden Çıkış	60
5.2 Kazanç-Diyagram İlişkisi	62
5.3 Mobil Anten Gereksinimleri	64
5.4 İletken gövdeye yakın anten	68
5.4.1 Yakın Antenler Arası Belirsiz Girişim	69
5.5 Bir cihaza Yakın Anten	71
5.6 Diversite	72
5.6.1 Diversite Teknikleri	73
5.6.1.1 Diversite Performansı	73
5.6.1.2 Frekans Diversitesi	74
5.6.1.3 Uzay Diversitesi	75
5.6.1.4 Polarizasyon Diversite	77
5.6.1.5 Alan Bileşenli Diversitesi	78
5.6.1.6 Yönlü Diversite Sistemleri	78
5.7 Mobil Çevrelerde Anten Performans Değerlendirilmesi	78
5.7.1 Mobil Çevrede Anten Performansının Teorik Açıklaması	80
5.7.1.1 Mobil Antenlerin Ortalama Etkin Kazancı	80
5.7.1.2 Anten Diversite Dallarında Korelasyon Katsayısı	84
5.7.2 Dipol Antenlerin MEG Karakteristikleri	87
5.7.3 Güç Kazanç Diyagramı	87

BÖLÜM 6. CEP TELEFONU ANTENLERİ

91

6.1 Hücre Site Antenleri (Cell-Site Antennas)	91
6.1.1 Yönsüz Antenler;Kaplama İçin Kullanım	91
6.1.1.1 Başlatma Sistemi Konfigürasyonu	91
6.1.2 Yönsüz Antenler; Girişimin Azaltılması İçin Kullanım	92
6.1.3 Normal Anten (Ölçü Sistemi)	93
6.1.4 Yer antenleri	94
6.1.4.1 Set-Up Kanalı Antenleri	94
6.1.5 Hücre-Sitede Kullanılan Uzaysal Diversite Antenleri	95
6.1.6 Şemsiye diyagramlı antenler	96
6.2 Cep Telefonu Antenleri	97
6.2.1 İnce Lineer İletken Anten	98
6.2.1.1 Antenden Işıyan Güç	100
6.3 Anten Tipleri	102
6.3.1 Dipol Anten	102
6.3.2 Çeyrek Dalga Boylu Monopol (Whip)Anten	105
6.3.3 Sleeve Anten	106

6.3.4 Küçük Yapılı (Low-profile) Antenler	107
6.4 Cep (Portatif) Telefonu Anten Tasarım Teknikleri	108
6.4.1 Tasarımda Göz Önüne Alınacak Noktalar	109
6.5 Anten Tipleri	109
6.5.1 Sleeve Anten	109
6.5.1.1 Sleeve Dipollerinden Işıma	111
6.5.2 Heliks Antenler	114
6.5.3 Anten Diversitesi	115
6.6 Cep Telefonu Anten Sistemleri	117
6.6.1 Sistem Tasarım İlkeleri	117
6.6.1.1 Bir Çokyollu Çevredeki Antenlerin Ortalama Efektif Kazancını (MEG) Hesaplamak İçin Kullanılabilecek Basit Yol	117
6.6.2 Cep Telefonlarının İletken Kutusunun ve Eğilmesinin Etkisi	119
6.7 Tasarımda Operatöre Yakınlığa Bağlı Kazancın Azalması ve Etkisinin Değerlendirilmesi	124

BÖLÜM 7. BAZI BİLEŞKE ANTENLER **127**

7.1 Işıma Kuplajlı çift L-anten; (RCDLA)	127
7.1.1 Simülasyon:	129
7.2 Kısa-devre Ayağı Küçültülen Dairesel Yama Antenler	132
7.2.1 Destekli Dairesel Yama Anten (PCPA)	133
7.2.2 Anten Karakteristikleri	137
7.2.3 Antenin Rezonans Durumu	140

BÖLÜM 8. MOBİL ANTENLERİN ANALİZİ **144**

8.1 FDTD Metodu	144
8.2 FDTD Teorisi	144
8.2.1 Maxwell'in Eğrisel Denklemleri	144
8.2.2 Yee Hücre Formülasyonu	146
8.2.3 FDTD Temel İlkeleri	148
8.2.4 Yakın Alandan Uzak Alana Dönüşüm	149

BÖLÜM 9. OLASILIK TEORİSİ **154**

9.1 Dağılım Fonksiyonu	154
9.2 Yoğunluk Fonksiyonu	154
9.3 Varyans	156
9.4 Rastsal Vektörler	159
9.5 Gauss Dağılım Fonksiyonu	161
9.6 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu	161

10. SONUÇ	162
11. KAYNAKLAR	163
EK-A İngilizce Türkçe Sözlük	165
EK-B Trafik Yüğü Belirleme Tablosu	170
Özgeçmiş	180



ÖNSÖZ

Cep telefonları günümüzde giderek yaygınlaşmaktadır.

Ülkemiz açısından bakıldığında, cep telefonu teknolojisi yabancı kaynaklıdır. Sadece teknolojide değil literatürde'de bu söz konusudur. Teknolojiyi yakalama savaşının verildiği günümüzde bu teknolojiyi kullanmanın yanında, en azından literatür takip edilmelidir.

Diğer yandan cep telefonlarının kullanılabilirliğini artırmak istendiği zaman anten en önemli sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Belki anten cihazın portatifliğinin temeli de denilebilir.

Bu çalışma cep telefonu ve antenlerini inceleyerek bu konuda toplu bilgi elde etmeyi ve buna dayanarak özellikle anten geliştirmelerine katkıda bulunmayı hedefler.

Bana bu çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Sn. Doç. Dr. Cevdet Işık beye teşekkürü borç bilirim.

5 Haziran 1997

Önder TÜRKOĞLU

SEMBOL LİSTESİ

D	:Mean reuse distance	Ortalama tekrar kullanım uzaklığı
R	:Radius	Hücre çapı
N		Salkım hücre sayısı
C	:Carrier	Taşıyıcı
G	:Gain	Kazanç
I	:Interference	Girişim
	Current	Akım
CIR	:carrier to interference ratio	taşıyıcı/girişim oranını
VP	:Vertical polarization	Dikey polarizasyon
HP	:Horizontal polarization	Yatay polarizasyon
XPR	:Cross polarization ratio	Çapraz polarizasyon güç oranı
m_V, m_H	:mean	Yatay yönden gözlenen VP ve HP dalga dağılımlarının ortalama elevasyon açıları
σ_V, σ_H	:	VP ve HP dalgalarının standart sapması
		Elektriksel iletkenlik
α	:Inclination angle	cihazın eğilme açısı
λ	:wavelength	dalga boyu
f	frekans	frekans
f_c	carrier frekans	Taşıyıcı frekansı
MEG	:Mean efective gain	Ortalama efektif kazanç
P		Dalgaların açısal yoğunluk fonksiyonu
PIFA	Planar inverted-F antenna	Düzlemsel F-şekilli anten
MSA	Microstrip antenna	Mikro strip (şerit) anten
μ		Magnetik Geçirgenlik
ρ		Magnetik Direnç
ϵ	Dielectric constant	Dieletrik sabiti
E	Electrical Field	Elektrik Alan
H	Magnetic Field	Magnetik Alan
F()	Function	Fonksiyon
S	Surface	Yüzey
J_{seq}		S'deki teğet elektrik akım
M_{seq}		magnetik akım

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Temel bir radyo hücresi ve ilgili parametreler	5
Şekil 1.2 Pratik hücre kaplaması	5
Şekil 1.3 a) Eş büyüklükteki hücrelerle bir alanı kaplama b)R yarıçaplı bir daire içine sığan düzgün altıgen	6
Şekil 1.47-hücreli demet	7
Şekil 2.1 Hücresel radyo elemanları	14
Şekil 3.1 Aktarma	18
Şekil 3.1 GSM sistem mimarisi	23
Şekil 3.2GSM için önerilen bir Blok yapısı	28
Şekil 3.3GSM için önerilen bir Blok yapısı	29
Şekil 3.4a) GSM ses kodlama b)GSM kanal kodlama	31
Şekil 3.5GSM Mantık Kanalları	32
Şekil 3.6TDMA yapısı	34
Şekil 3.7 GSM'de zaman bölmeli çoğullama	35
Şekil 4.1 Bir deneysel propogasyon yol kayıpları diyagramı	38
Şekil 4.2 Küresel ko-ordinat sistemi	42
Şekil 4.3 Bir antenin simetrik güç diyagramı kesiti	43
Şekil 4.4 Bir yer düzleminde prropogasyon yolu	45
Şekil 4.5 Bir yer düzleminde prropogasyon yolu	52
Şekil 4.6 Seçilen bir alnda yol kaybı hesapları	56
Şekil 4.7 Ölçülmüş bazı alanların propogasyon verileri	58
Şekil 5.1 Antenin Eşdeğer Devresi	60
Şekil 5.2 Işıyan bir yayının bir anten tarafından alınması	60
Şekil 5.3 Küresel Ko-ordinatlar	63

Şekil 5.4 Anten Konfigürasyonu a) $f_1 \neq f_2$, Z_T alıcı ve vericiye bağlı b) $f_1 = f_2$	69
Şekil 5.5 a) Dipol b) Çevrim Anteni	69
Şekil 5.6 a) 250 MHz b) 400 MHz'de ışıma diyagramları	70
Şekil 5-7 PIFA'nın tel ızgara modeli	71
Şekil 5-8 Bir İletken Gövdeye monte edilmiş F-Şekilli Düzlemsel Anten (PIFA)	71
Şekil 5-9 PIFA'nın bir ışıma diyagramı	72
Şekil 5-10-a Frekans Diversitesi , Alıcı	74
Şekil 5-11 b Frekans Diversitesi , Verici	75
Şekil 5-12 η 'nün fonksiyonu olarak diversite kazancı	76
Şekil 5-13 Anteni dikey ayırma yöntemi	77
Şekil 5-14 Çokyollu bir çevrede mobil antene ulaşan ortalama güç	80
Şekil 5-15 Küresel Ko-ordinat Sistemi	81
Şekil 5-16 Anten Diversitesi ve koordinat sistemi	82
Şekil 5-17 Yarım dalga boylu dipol anten ve koordinat sistemi	87
Şekil 5-18 Dipolün güç kazanç diyagramı	88
Şekil 6-1 Her-yönlü hücrede hücre anteni	91
Şekil 6-2 Bir yönlü anten diyagramı	93
Şekil 6-3 Bir hücre-sitede alıcı ve verici anten konfigürasyonu	94
Şekil 6-4 Diversite antenleri	95
Şekil 6-5 Şemsiye anten diyagramı	96
Şekil 6-6 a) tek anten b) bir dizi anten (UPA)	96
Şekil 6-7 Farklı boylardaki ince lineer merkez beslemeli iletken antendeki akım dağılımı	98
Şekil 6-8 Merkezi beslemeli simetrik ince anten	98
Şekil 6-9 İnce lineer merkez beslemeli iletken antenin uzak-aln diyagramı	100
Şekil 6-10 Simetrik merkezi beslemeli küresel anten	102

Şekil 6-11 Simetrik merkezi beslemeli Küresel antenin toplam uzunluk/çap oranı ($2l/2a$) göre ölçülen giriş empedansı ($R+ jX$)	103
Şekil 6-12 Sinüsoidal akım dağılımı varsayımı altında merkezi beslemeli silindirik dipol antenin ışıma diyagramları	104
Şekil 6-13 $\lambda/4$ dalga boylu monopol anten a) tipik yapı b) anten görüntüsü ve akım dağılımı	105
Şekil 6-14 Boğazlı Koaksiyel merkezi-beslemeli yarım dalga boylu Sleeve dipol	106
Şekil 6-15 Mikroşerit anten a) Dairesel MSA'nın temel yapısı b) Yığınlı parazitik elemanlı yayın MSA	107
Şekil 6-16 F-şekilli anten a) Tel F-şekilli anten b) Düzlemsel F-şekilli anten	107
Şekil 6-17 Sleeve dipol anten kesiti	109
Şekil 6-18 Sleeve dipol antenli bir cihazdaki RF akımlar	111
Şekil 6-19 $f=f_c$ de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı	112
Şekil 6-20 $f=f_c -\%5f_c$ 'de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı	113
Şekil 6-21 $f=f_c +\%5f_c$ 'de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı	113
Şekil 6-22 Kazanç diversiteli heliks anten sistemi	116
Şekil 6-22 Portatif telefonların anten konfigürasyonları	119
Şekil 6-23 PIFA elemanlı bir cep telefonu ünitesinin tel-ızgara modelleri	120
Şekil 6-24 A tipi montaj bir PIFA'nın ışıma diyagramı	121
Şekil 6-25 B tipi montaj bir PIFA'nın ışıma diyagramı	121
Şekil 6-26 A tipi montaj PIFA'nın kazanç karakteristiği	122
Şekil 6-27 Eğilmiş kutu üzerindeki PIFA'nın kazanç karakteristiği a) B tipi b) C tipi	122
Şekil 6-28 Cep telefonu ünitesinin eğim açısı olasılık dağılımı	123
Şekil 6-29 A ve D tipi konfigürasyonlarının PAG değeri ve ölçülen ortalama efektif kazançlarının karşılaştırılması (Eğilme açısı $\alpha=60^\circ$ ve $f=920$ MHz.)	124
Şekil 6-30 Operatöre yakınlığa bağlı ışıma diyagramı azalması	125
Şekil 6-31 A tipi montaj PIFA'nın ortalama efektif kazanç karakteristiği	126

Şekil 7.1 İncelenen RCDLA'nın boyutları (mm)	128
Şekil 7.2 RCDLA'nın ışına diyagramı	129
Şekil 7.3 RCDLA ve FS-PIFA'nın VSWR'ı	129
Şekil 7.4 RCDLA ve FS-PIFA'nın ışına diyagramlarının karşılaştırılması	130
Şekil 7.5 PCPA'nın konfüğürasyonu	133
Şekil 7.6 PCPA'nın eş devresi a) Yüksek dereceli mod b)Koaksiyel TM_{01} modu	137
Şekil 7.7 Frekansa göre dönüş kaybı karakteristiği	138
Şekil 7.8 Giriş Fonksiyonu	138
Şekil 7.9 Dikey düzlemde ışına diyagramı	139
Şekil 7.10 Yatay düzlemdeki ışına diyagramı	140
Şekil 7.11 a) TM_{11} ve TM_{21} modu frekans karakteristiği b)Besleme noktası-kısadevre ayağı arası ileg enlik ilişkisi c) Besleme noktası-kısadevre ayağı arası ile frekans ilişkisi	141
Şekil 8-1 Yee hücre geometrisi	146
Şekil 8-2 Yakın alandan uzak alna dönüşüm yüzeyi	150

TABLO LİSTESİ

Tablo 2-1: Mobil İstasyon ERP Seviyeleri	19
Tablo 2-2: Bazı Ülkelerde Kullanılan Farklı Hücresel Haberleşme Sistemleri	20
Tablo 3-1 GSM Alt birimleri	24
Tablo 3-2 GSM’de Temel Hava Birimi Parametreleri ²⁵	
Tablo 5-1 Kara-mobil anten sistemlerinin gereksinimleri	67
Tablo 5-2 Mobil Telefonlarda Kullanılan Tipik Antenler	68
Tablo 6-1 kincil Anteninin konumuna göre diversite heliks anten kazanç kaybı	116

ÖZET

Günümüzde gelişen teknoloji ve toplumsal yapı sebebiyle insanların ihtiyaçları da değişti. Metropolitanlarda yaşayan vatandaşların yeni hayat tarzları ise hareketlilik üzerine kuruludur. Bu, bir vatandaş nerede olursa olsun, haberleşmesinin bir ihtiyaç olduğu mantığını daha da belirginleştirir.

Kamu telefon ağları gerek aboneler arası gerek şehirler arası gerekse milletler arası telefon görüşmelerine olanak sağlamakla beraber hareket kabiliyeti olmadığı için, haberleşmede radyo tipi teknikler araştırıldı ve geliştirildi.

Fiziki dünyanın da etkisiyle mobil haberleşmede bir çok kısıtlamalar ortaya çıktı. Mobil terminaller genellikle, küçük, hafif, az hacimli ve yatay düzlemde yönsüz bir ışın diyagramına sahip olmayı gerektirir. Uygulamada antenler propagasyon karakteristiklerini kuşatmalı ve hareket halindeyken oluşan mekaniksel ve çevresel zararlara karşı sağlam olmalıdır.

Cep telefonlarına monte edilen antenlerin bazı karakteristik özellikleri vardır. Cep telefonu kullanılırken yönü rastsal değiştiği için antenin kutuplama yönü ve ışın diyagramı sabit olamaz. Işın diyagramı ve ışın verimliliği insan vücuduna yaklaşıncaya değişir. Bu nedenle cep telefonu anteninin dikey kutuplama ve yönsüz ışın diyagramına sahip olması çok zordur. Cep telefonu anten tasarımında, efektif kazancı optimumlaştırmaya çalışmak önemlidir.

Bir anten tasarlanırken; çoklu yol propagasyon çevresinde efektif kazancı, cihazın, konuşurken, taşınırken ve arama durumlarındaki efektif kazancı belirlenmelidir.

Bu çalışmada 1. Bölümde mobil haberleşmenin temelleri, 2. Bölümde hücreli haberleşme felsefesi, 3. Bölümde GSM, 4. Bölümde propagasyon, 5. Bölümde anten tasarımı 6-7. Bölümde cep telefonlarında kullanılan antenler, 8. Bölümde anten analizi, ve 9. Bölümde değerlendirme incelenmiştir.

SUMMARY

Human requirements was changed by the transformation of development of the thecnology and the social structure. In generally, world is changed into big villages such as metropolitans. New life style of the citizens live in metropolitans bases on mobility. Wherever any citizen is in there, the requirement of communication is important.

Public telephone networks enable to calling between subscribers and calling city to city and internationally. However, since they have no mobility, new technics such as radio types was researched and developed in communication. The telephone was connected to each other to call from wires by using communication channels, by local exchange.

A lot of boundary was seen in mobile communication because of the physical world.

Generally, requirement of the mobile terminal is small, light, low profiled and omni-directional radiation pattern in horizontal plane. In application, The Antennas must have propagation characteristics and must be strong against to mechanical and envoiremental damages while movement.

The antenna mounted on portable telephone has some characteristic property. First, polarization direction and radiation pattern of antenna cannot be fixed since direction of phone varies randomly while calling. Second, radiation pattern and radiation efficiency is varied when the antenna is closed to human body. Because of these reasons, realization of vertical polarization of the portable phones is difficult.

In the design of antenna of the portable radio, optimization of effective gain is important. Theoretical analyzes must consist radiation pattern variation depends on coverage effects of the portable radio, induction of radiation efficiency of antenna

depends on closeness effects to human body and variation of polarization and pattern depends on operation with human.

In the design of any antenna;

- 1) Effective gain in the multipath environment
- 2) effective gain of portable phone while moving, calling and speaking

must be obtained.

Since effect of the human body isn't seen, not only truth of evaluation depends on free space radiation pattern isn't enough for calculating of an antenna practical performance, but also effect of RF power radiated from the antenna on the human body is necessary.

In this paper,

1. Chapter; fundamental of mobile communication,
2. Chapter; principles of cellular radio,
3. Chapter; GSM,
4. Chapter; propagation ,
5. Chapter, antenna design,
6. Chapter; first order or basic mobile hand-set antennas,
7. Chapter; advanced mobile hand-set antennas,
8. Chapter; mobile antenna analyzes (by FDTD method)
9. Chapter; Probability Theory

is discussed.

The importance of GSM system is increasing in this era of communications. Cellular systems now give more freedom to people who want to talk or simply communicate without preventing them moving as long as they are within the coverage area of the network. Digital technology is the keyword behind all these advantages of mobile communications.

Cellular telecommunications is one of the fastest growing and most demanding telecommunication applications ever. Today it represents a large and continuously increasing percentage of all new telephone subscriptions around the world. In many cases, cellular solutions successfully compete with traditional wire networks and cordless telephones. In the long term perspective cellular systems, using a digital technology, will become the universal method of telecommunication.

In 1982 the Nordic PTTs sent a proposal to CEPT (Conference Europeenne de Postal et Telecommunications) to specify a common European telecommunication service at 900 MHz. A standardisation group for GSM-Global System for Mobile communication-was established in order to formulate the specifications for this pan-European mobile cellular radio system.

During 1982-1985 there were discussions of whether to build an analogue or a digital system but in 1985 it was decided to specify a digital system. The next step was to choose between a narrowband and a broadband solution. In 1986 there was a field test in Paris where different companies, with different solutions, competed. In May 1987 the narrowband TDMA (Time Division Multiple Access) solution was chosen. At the same time, the first 13 countries (in United Kingdom two operators) signed MoU (Memorandum of Understanding) committing themselves to fulfill the specifications and promised to have a GSM system running by July 1, 1991, thus opening a very large potential market.

In addition to international roaming, GSM provides new user services, such as high speed data communication, facsimile and short message service. The GSM technical specifications are designed to work together with other standards, e.g. ISDN (Integrated Services Digital Network). Interworking between the standards is in this way assured.

The system specifications for the GSM network are:

Frequency band: Uplink: 890 MHz-915 MHz

	Downlink: 935 MHz-960 MHz
Carrier distance:	45 MHz
Carrier separation:	200 kHz (the first carrier at 890.2 MHz)
Modulation:	GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)
Air transmission rate:	270 kbit/ s
Access method:	TDMA (Time Division Multiple Access)

In cellular mobile communication systems, communication occurs between the exchange and roaming mobile stations. The geographical area in which the mentioned communication occurs, is called a "cell". And the Location Area is the name given to a certain area where all these certain group of cells come together. Each cell has a Base Transceiver Station (BTS) operating on a set of radio channels. These are different from the channels used in neighbouring cells to avoid interference. A group of BTSs is controlled by a Base Station Controller (BSC). Each area in the system has a certain identity-Location Area Identity and the system uses this to find the active subscriber. A number of Location Areas is named as an MSC Service Area. Additionally, the system needs certain databases to keep track of subscriber, which the most important of these databases is the Home Location Register (HLR). The Visitor Location Register (VLR) also is another database containing information about all the MSs currently located in the MSC area. AUC, whose function is to provide the HLR with authentication parameters is connected to the HLR. SIM (Subscriber Identity Module) is a small unit containing the subscription and together make up the mobile station with the mobile equipment. If someone in the fixed network (PSTN) wants to make a call to a GSM subscriber, the exchange in the PSTN will connect the call to a gateway, which is often realized in an MSC.

The Mobile Station (MS) is the subscriber equipment. It may be in the form of a permanently installed vehicle mobile, a transportable which operates as a full vehicle mobile, which may also be unclipped and used independently, or a portable capable of being carried in a pocket or briefcase. Portable may also be fitted to vehicle mounted adaptors. The MS is thus available in various forms to suit the user, and will provide him/ her with voice and/ or data facilities.

The Base Transceiver Station (BTS) provides the radio path equipment between the MS and the fixed network. It contains radio transmitters and receivers together with channel coding functions to maintain the integrity of the transmitted data. Speech and control information are both carried in digital form in GSM.

The Base Station Controller (BSC) is responsible for the use of the radio links resource provided by a group of BTS' s. The BSC thus provides the management of the mobility aspects of calls. For example it is responsible for determining when it is necessary to handover a call in progress from one BTS to another, either within its own group of BTS' s or to one controlled by another BSC. If handover is to another of its own BTS' s it may complete this handover internally. If handover is to a BTS connected to another BSC, the requirements and recommendations are passed to the MSC.

The Base Station System (BSS) describes the NSC and its associated BTS' s. The capacities of the BTS and BSC are not defined in GSM. Network operators can choose from the various configurations offered by manufacturers. The requirements of urban and rural environments may be best satisfied by different architectures.

The Mobile Services Switching Centre (MSC) provides the call routing functions of a fixed telephone network.

Just as the BSC connects to a number of BTS' s, so the MSC connects to a number of BSS' s. Again this number is not defined and can be determined by the switching and call processing capability of the digital switch, together with the capacity of the BSS systems themselves.

MSC connects calls to other telephone networks, both fixed Public Switched Telephone Networks (PSTN) and Public Land Mobile Networks (PLMN), as well as to other MSC' s in its own network. Thus the MSC provides the central node of the network.

For networks to route calls to and from mobile stations and allows users access only to those services to which they subscribe, as mentioned above, a number of databases are used.

The Home Location Register (HLR) contains individual subscriber data which includes details of the services subscribed to and the MSC area where the user is currently located. This latter information is used to route calls to the mobile to the appropriate area. A subscriber number indicates which HLR contains his data.

The Visitor Location Register (VLR) is normally associated with an MSC and contains some of the HLR data when a mobile is in the area covered by that MSC. This data is again used in call routing.

The Equipment Identity Register (EIR) contains list of equipment types of specific equipment serial numbers which an operator wishes to check. This database is independent to control:

- access by unapproved equipment;
- MSs that have subsequently found to create problems;

- stolen individual equipments.

The network operator can choose to allow, or bar use, or simply record the use of such an item of equipment.

An Authentication Centre (AUC) is used to provide the keys for security of subscriber identity and encrypting of information across both the network and radio air interfaces. It also provides safeguards against fraud for the network operator and the subscriber.

The equipment described above provides the ability to route calls, but to operate it as a telecommunications network requires further layers of management control. These layers are jointly described as a Telecommunications-Management Network (TMN). The lower of these two - the Operations and Maintenance Centre (OMC), provides the mechanism to define the operating configurations of individual nodes (Msc, BSC, BTS and databases) and the equipment within them, and monitor their performance. It allows equipment to be brought in and out of service and handles fault reports. OMC staff typically arrange fault and routine maintenance activities.



1. GİRİŞ

1.1 Hücresel Radyo

Kamu telefon şebekeleri, gerek aboneler arası gerek şehirler arası gerekse milletler arası telefon görüşmelerine olanak sağlamakla beraber hareket kabiliyeti olmadığı için, haberleşmede radyo tipi yeni teknikler araştırıldı ve geliştirildi. Buna göre ülke hücrelere bölünecek ve her hücrede bulunan alıcı ve verici bir birim vasıtasıyla abonelere ulaşılacak. Keza aynı yöntemi kullanarak abonelerde istedikleri abone yada servislere ulaşacaklar. Bu amaca binaen haberleşme kanallarını kullanarak teller vasıtasıyla bir telefon haberleşmesi sağlamak için mobil telefon ağı, bölgesel santral (LE) şebekesine bağlandı.

Hücresel radyo kavramının birtakım temel problemleri gündeme geldi; radyo mesafesi, kaplama, kanal sayısı, ses devreleri vs.

Milyonlarca abone olacağı düşünülürse, aynı anda tüm ülkenin kaplanmasını sağlayacak bir sistemde milyonlarca radyo kanalı olması gerekmektedir.

Böyle bir servisin gerçekleşebilmesi için bir kaç ana başlığın çözülmesi gerekmektedir.

1. Telefon yayınında *frekans çevikliği*
2. Mobil birimlerin kabul edilebilir radyo işaret seviyesinde her zaman çalışabilmesi için *radyo hücrelerinin komşuluklarının düzenlenmesi*
3. Mobil birimlerin kendi ihtiyaçlarına göre ülke sathında dolaşmasına imkan verecek *dolaşım özelliği*
4. Bu işlemlerin tümünü gerçekleyecek şeffaf *entegre sabit şebeke* [1]

Her şeyden önce, her durumda bir mobil istasyon (MS) [buna hand-set de denir] ve her iki yönde radyo bağlantısını sağlayacak olan baz istasyon (BS) vardır. Aynı anda birçok mobil ile alanı kaplayan baz istasyonlar arasında farklı kanallardan birçok bağlantı olacağı için, mobil birim ile bağlantılı olduğu baz istasyon arasında belirli bir kanal olmalıdır; mobil birimin frekans çevikliği özelliği olmalıdır.[2]

Yukarıdaki 4 özellik eşdeğerdir. Bu nedenle yönetim gereklidir. Yönetim yeri hücrel radyo sabit şebekesinin olduğu yerdir. Baz istasyonlarda hücre salkımları, birbirlerine en iyi şekilde bağlanmalıdır. Kayıt merkezi abonelerin "kim, nerede, ve hangi" sorularının cevaplarını tutar.

Kamusal anahtarlama telefon şebekesi (PTSN) gibi, bir hücrel radyo şebekesi de karmaşık bir anahtarlama numaralama hiyerarşisi içerir. [1]

1.2 Temel Özellikler

1.2.1 Mobil İstasyon

Radyotelefon; bir telsiz telefondur ve bölgesel santralla (LE) bağlantısı radyo üzerinden yapılır.

Radyotelefon biriminin çalışması için besleme birimi olarak tekrar doldurulabilir bir pil gereklidir. Bölgesel dönüşüm cihazları, bölgesel baz istasyona yerleştirilmiştir.

Baz ve mobil istasyonun ikisi de anten gerektirir. Çift yönlü çalışma için bir mobil birime iki radyo kanalı tahsis edilir. Böylece kullanıcı aynı anda hem dinleyebilir hem de konuşabilir. Kanallardan biri ileri yönlü kanal (BS'den MS'ye), diğeri ters yönlü kanal (MS'den BS'ye) denir. Her iki kanalda radyo yayın devreleri içerir. Mobil birimde pilin tekrar dolma süresini uzatmak için verici gücünü kontrol etmek gerektiğinden en zayıf yol geri dönüş yolu olur.

Mobil istasyon kendi telefon numarasını dahili belleğinde taşır. Bu kişisel radyotelefonun veya hücrel radyonun özelliğidir. Abone numarasının cihazın ü zerinde olması, abonelerin çalıştığı ve şebeke bölgesel baz istasyonlarının uygun şekilde düzenlenmesiyle kaplanan coğrafi alan üzerinde abonenin dolaşmasına imkan verir.

Mobil istasyonun bir radyo alıcısı, vericisi, ayarlama (sentez) devreleri, besleme gücü, bölgesel bellek ve kontrol modülü vardır. Cihazlar tuşla açılır ve kapanır.

Genellikle, mobil abone numaraları ile sabit abone numaraları -alan kodu hariç- aynı formattadır. Türkiye’de alan kodu da aynı formattadır.

Mobil haberleşme sistemlerinde sabit şebeke abonelerin aranması ve abonenin araması, abone bilgi ve taleplerinin doğrulanması ve abonenin haberleşme sistemine girebilmesi amaçlarına binaen mobil abone numaralarının kaydını tutar fakat mobil haberleşme araçlarının dolaşım özelliği, cihazın ve numaranın elden ele gitmesini sağlar.

Arama ve hat kurma işlemleri için mobil ve bölgesel baz istasyonlar arasında çok daha karmaşık işaretleşme gereklidir ve baz istasyonlara sabit şebekeler tarafından özel bir yönlendirme yapılıır. Sistem analog ya da sayısal olabilir fakat hücrel radyoda çok büyük miktarda sayısal veri trafiği olur. [1]

1.2.2 Hücrel Radyo Hücresi

Baz istasyon mobil haberleşmenin gerçekleşmesi istenen alana hakim ve alanın her tarafını görebileceği bir yere yerleştirilir ve uygun bir çıkış gücüne (10 Watt'ın üzerinde), düşük gürültü faktörlü duyarlı bir alıcıya, minimum konum gürültüsüne ve kullanışlı anten kazancına sahip olmalıdır. Mobil istasyon ise sınırlı bir verici gücüne ve basit bir antene sahip olacaktır. Baz istasyon alıcı performansı 20-dB'nin üzerinde dönüş yolu güç

kaybına uğramış bir işareti doğru olarak alamaz., bu nedenle dönüş yolu yayın mesafesi sınırlıdır. (bkz. Şekil 1.1)

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi üç mesafe var.

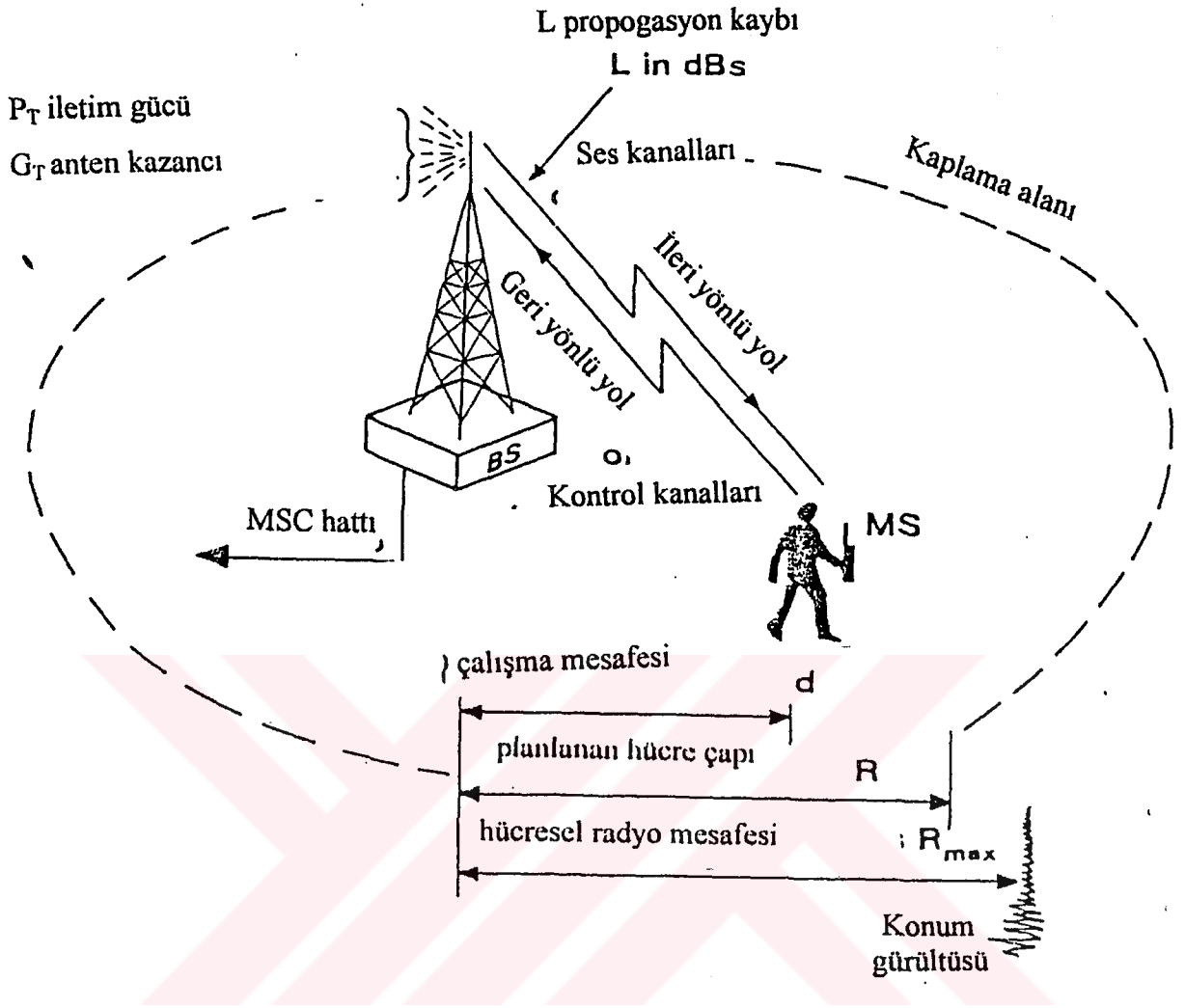
1. Çalışma mesafesi (baz istasyon ile mobil istasyon arası); *uzaklık*, d
2. *Maksimum radyo mesafesi* (hücresinin çapı gürültü propogasyon faktörü ve iletim gücüyle sınırlıdır); R_{max}

3. *Tasarlanan hücre çapı* (kaplama ve göz önüne alınan hücre diagramıyla karar verilir); R ($R < R_{max}$)

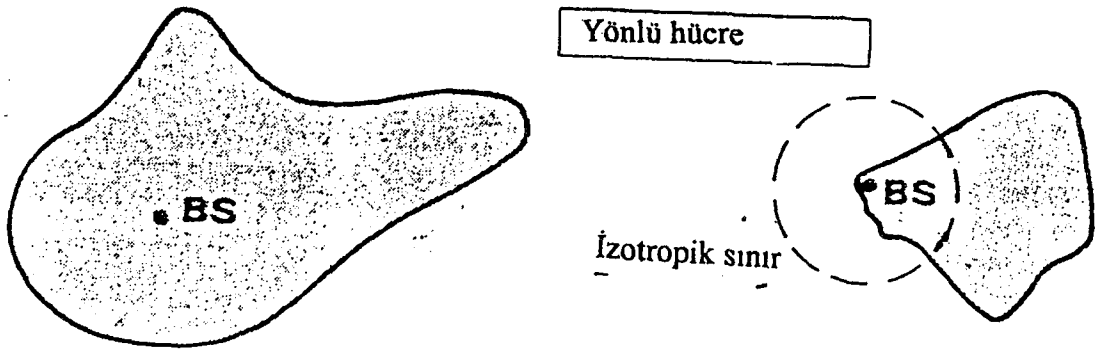
R , düz bir alanda dairesel hücrenin yarıçapıdır. Bu durumda kaplama alanı πR^2 olur. Pratikte hücre kaplama alanı dairesel olamaz ve R parametresi tam anlamıyla uygulanamaz. (bkz. Şekil 1.2)

Bir coğrafi alanı tamamen kaplamak için yönlü antenler kullanılır ve uygun bir düzenleme ile tüm alan kaplanır. Ancak yönlü anten düzenlemesi ya hücre sektörleştirmesine (hücresinin alt parçalara ayrılmasına, yeni küçük hücrelerin oluşmasına) ya da köşe aydınlatmasına izin verir.

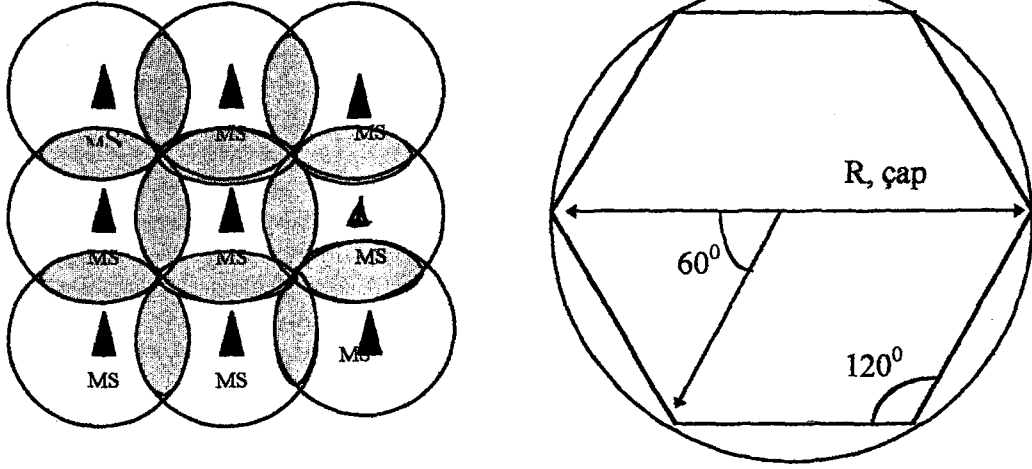
Görülebileceği gibi, ulusal alanı tamamıyla ve bu düzensiz hücre kaplama şekilleriyle kaplamayı planlamak çok zordur. (bkz. Şekil 1.3-a). Bir grup dairesel hücreyi üst üste bindirmek pahalı bir yoldur. Ancak bu şekilde bir düzenleme kaplanmamış alan kalmaması için yapılır



Şekil 1.1 Temel bir radyo hücresi ve ilgili parametreler



Şekil 1.2 Pratik hücre kaplaması



Şekil 1.3-a) Eş büyüklükteki hücrelerle bir alanı kaplama b)R yarıçaplı bir daire içine sığan düzgün altıgen

1.2.3 Çoklu hücre düzenleme geometrisi

Mobil haberleşmede yansıtıcılar kullanılarak çok geniş alanlar kaplanır. Yansıtıcılar çok iyi konumlandırılmış baz istasyon gibidir. Düşük güçlü kamu radyotelefon servisi için hücre çapı da küçüktür. Yakın hücrelerde aynı frekansta yansıtma yapılamaz.

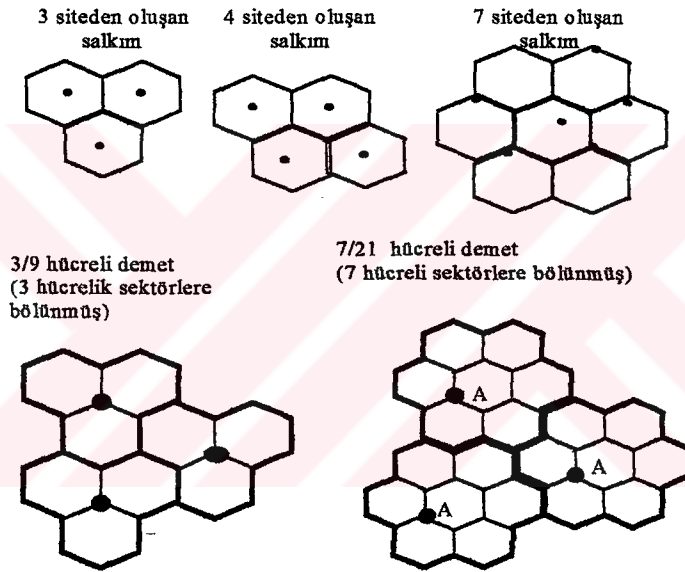
Hücreyel yayının karakteristik özelliği, bir baz istasyonun çevresindeki altıgen şeklinde olan herbir radyo hücresinin birleşmesidir. Kare ve üçgen gibi altıgende kenarlar birleştirilerek tüm alanı kaplar. (bkz. Şekil 1.3-b)

Altıgenlerin daireden çok farklı değildir. Bu nedenle sektörizasyon, 3-sektör için 120° 'lik açıyla, ya da 6-sektör için 60° 'lik açıyla doğal bir şekilde yapılır. Baz istasyonda yönlü antenler sektörizasyonu sağlayacak şekilde yerleştirilirler. Şekil 1.4'te, altıgen hücrelerle geniş bir alanın nasıl kaplanabileceği görülüyor. Şekilde örnek salkım büyüklükleri 3, 4, ve 7. Mobil istasyonlar için çoklu hücrelerin bu düzenlenişi, frekans çevikliği ve diğer özelliklerin sebebini gösterir. Buradan hareketle şunlara dikkat edilmelidir;

1. Yakın hücrelerde farklı frekanslar kullanılmalıdır.

2. Şekil 1.3-a'da görülen hücrelerin üst üste binmesi nasıl yönetilebilir.
3. Bu diyagramların düzenlenmesi için verilen sınırlı bir frekans bölgesinde, aynı frekanslar ne zaman tekrar kullanılabilir.
4. Hücre büyüklüğü abone taleplerini karşılamak için yeterli olmalıdır.

Bir hücresel radyo sisteminde en önemli nokta, bir blok frekans tahsisatına ihtiyaç duyulmasıdır. Sistem zaman bölmeli, frekans bölmeli yada karma bir yöntemle yönetilse de, ses ve işaret için tek bir hücresel alandaki abonelere gerekenden daha fazla band genişliği tahsis edilmelidir. Abone servis alanında dolaşırken, abonenin



Şekil 1.4 Çeşitli hücre tekrarlama diyagramları

radyo bağlantısını bir hücrede kullanılan bir frekanstan diğer hücrede kullanılan başka bir frekansa aktaracak bir mekanizma olmalıdır. Bu işleme aktarma denir. Bu küçük çaplı ya da büyük çaplı bütün hücresel radyo çalışmalarının temelidir. El cihazındaki karmaşıklığın çoğu aktarmayı yönetmek için frekans sentezleyici, kontrol ve bellek fonksiyonları için gereken devrelerdir.

Mobil istasyon, bir spektrumun taranmasını üstlenmedikçe hangi hücreyle bağlantılı olduğunu bilmez. Genellikle bunu sadece baz istasyon bilir ve mobil is-

tasyon ancak baz istasyonla haberleşerek hangi hücrede bulunduğunu öğrenebilir. Böylece baz istasyonlar ile birleştirilen bir haberleşme şebekesi organizasyonunun için gerekli olduğu görülür. Böyle bir şebekenin sabit şebekeyle bağlantısı kablo, mikrodalga hatları ya da uydu hatlarıyla gerçekleştirilir.

Böyle bir bağlantının varlığıyla, her baz istasyon diğeriyle haberleşebilir ve keşişim bölgesinden geçen abonenin komutunu almak için aralarında karar verebilirler. Aktarma işleminin gerçekleştirilmesi için sistemin parametrelerine ve diğer parametrelere ihtiyaç vardır ve kontrol için oldukça karmaşık bir işaretleşme gerekmektedir.

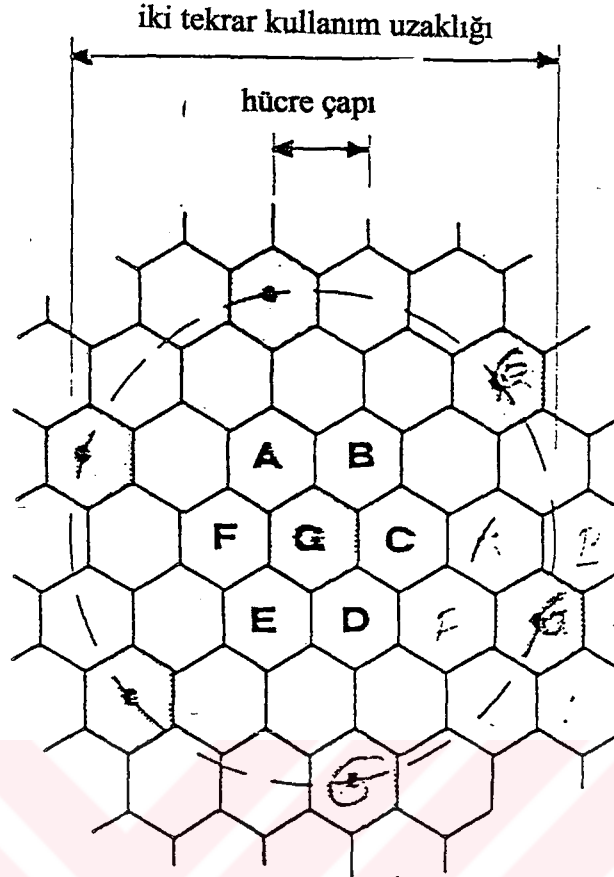
Bir hücrede bir çok aboneye servis verebilmek için birkaç frekans kullanılır. Yakın hücrelerde yine farklı frekans takımı kullanılır. Aynı frekansın ne sıklıkla kullanılacağı sorusu hücre düzenleme stratejisinin temel bir özelliğidir.

Şekil 1.5 7-hücrelik salkımlardan oluşan 7 grubu gösteriyor. Her bir demetin merkezinde aynı frekans takımına sahip baz istasyonlar bulunuyor. Bu merkezler arası uzaklığa tekrar kullanım uzaklığı denir.

Hücreler alt hücelere bölündüğü için, baz istasyonlar hücrenin tam ortasına yerleştirilirler, ve 120° lik sektörlere ışınlar yaparlar. Böylece hücreler 3/9, 4/12, 7/21 gibi salkım büyüklükleriyle ifade edilirler. Tekrar kullanılan hücreler, salkım boyu 9,12,21 vb. olduğu için aynı hücre frekans takımının tekrar kullanım özelliğiyle beraber hücrenin dışında gözden kaybolur. Hücre boyları aynı olmayı gerektirmez. Hücreler, kullanıcıların daha yoğun olduğu şehir merkezlerindeki trafiği idare etmek için şehrin merkezine doğru daha küçük hücelere bölünebilir.

Hücre demetlerinin özelliklerinden biri de elektronik bir işaretleşme stratejisidir. Mesela bir mobil abone bulunduğu demeti bilmek isterse ve aynı demetteki tüm baz istasyonlardan tüm mobil birimlere bir sayısal renk kodu gönderilir. Aynı şekilde gözetmen ses tonları (analog(SAT)) veya sayısal giriş bağış kanal mesajları radyotelefonlarda kullanılan hücreleri kurmak için kullanılmaktadır.

Hücre demet boyutu hücresel yayın planını etkiler. Eğer bir 7-hücrelik salkım incelenirse, bu salkımda 7 ayrı frekans takımı kullanmak gerekecektir. Eğer 210 farklı frekans varsa her hücrede yalnızca 30 frekans kullanılır. Keza 7-hücreli bir demet için 14 kontrol kanalı gerekecektir. Çift yönlü çalışma için bu durum, tahsis edilen iki frekans bandında tekrarlanacak, yani herbir hücrede 28 ses kanalı çifti kullanılacak demektir. Aynı frekans setini kullanan hücrelerin birbirinden ortalama



A,B,C.....,G frekans takımı

Şekil 1.5 7-hücreli demet

uzaklığına *ortalama tekrar-kullanım uzaklığı* denir ve D ile gösterilir. Altıgen hücrelerin geometrisinden dolayı D, hücre çapı R ile orantılıdır ve D/R oranına *tekrarakullanım oranı* denir. N salkımdaki hücre sayısını ifade ederse

$$D/R = \sqrt{3N} \quad (1.1)$$

2 km çaplı 7-hücreli bir salkım için, yansıtma merkezleri 9.2 km uzaklıkta olacaktır. Bir ters frekans *çeyrek güç uzaklık propagasyon yasası* gereğince yaklaşık bir taşıyıcı/girişim oranını (CIR);

$$C/R = \frac{C}{\Sigma GI} = \frac{R^{-4}}{GD^{-4}} = \frac{(3N)^2}{6} = 1.5 N^2 \quad (N=7 \text{ ise } C_i \leq 73 \leq 18 \text{ dB}) \quad (1.2)$$

Hesaba katılan iki etken var.

1. Komşu hücrelerdeki kanallardan küçük hücre demetleri için kötü durumu.
2. I girişimine göre C taşıyıcısının çoklu ortamda zayıflaması [1]

1.2.4 Hücresel Sistem

Frekans planlama ve kanallar arası girişim, tekrar kullanım ve kontrol vb. kavramları tüm radyo servisleri için geçerlidir.

Hücresel radyoda iki temel özellik vardır; mobil konum ve kanal aktarma.

1.2.4.1 Mobil Konum

Mobil istasyon arandığı zaman, hattın bağlanabilmesi için mobilin konumuna göre hüreye çağrı yönlendirilmelidir. Mobilin bulunmasının bir yolu, şebekedeki tüm hücre-siteler üzerinden bir çağrı mesajı göndermektir. Yüzlerce hücre ve binlerce mobil telefon trafiği için işaretleşme kapasitesi çok yüksek olacaktır. Bunun yerine hücresel şebeke, haberleşme hizmeti verdiği coğrafi alanı birçok parçaya böler ve herbirine birer alan kimlik numarası verir. Bu numaralar alandaki tüm baz istasyonlardan, sistem kontrol bilgisi olarak sürekli olarak iletilir. Aramaya kapalı bir mobil istasyon sisteme girmek istediğinde, anahtarlama yöntemiyle en yakın baz istasyonunun kontrol kanalına kilitlenecektir (yani hat kuracaktır) ve şebeke içerisinde gezerken zaman zaman kilitlenmek (yeni hat kurmak) için yeni baz istasyonlar seçecektir. Mobil, baz istasyondan gönderilen alan kimlik numarasını kontrol eder ve alanda konumunu değiştirdiğini gösteren bir farklılık saptadığı zaman, otomatik ola-

rak baz istasyonla bir işaret kanalı değiştirme işlemi yardımıyla yeni konumunun bulunduğu yeni hücreye girecektir. Bu yolda, şebeke her bir mobilin geçerli alandaki konumunun bir kaydını tutar ve böylece mobil sadece bu alanda aramak yeterli olacaktır.

1.2.4.2 Konuşma Esnası-Aktarma

Bir mobil istasyon hattayken sık sık üzerinden haberleştiği baz istasyonun kaplama alanı dışına çıkmakta ve hat diğer hücreye aktarılmadıkça hat kaybolmaktadır. Bu nedenle kesintisiz bir konuşma için hat yeni hücreye aktarılmalı ve bu çok kısa sürede olmalıdır.

Hat aktarmanın bir çok yolu vardır. Analog sistemlerde, aktarma şebeke kontrollüdür. Şebeke, işaretin gücünü ve kalitesini kontrol ederek aktarmayı yapar. İşaretin gücü eşik altına düşünce, aktarma haberleşmenin en iyi olacağı başka bir baz istasyona yapılır. Bu durumda sistem, hat için baz istasyondan bir kanal tahsis eder ve yeni frekansına anahtarlama için bir mobil işaretleme mesajıyla yönlendirilir. Ölçme, kanal tahsis etme ve aktarma işlemleri birkaç saniyede tamamlanır ve kullanıcı bunu farkedemez.

Baz istasyon mobil birimden yeterli seviyede güçlü işaret aldığı sürece, mobilin daha fazla güç göndermesine gerek yoktur. Baz istasyon mobile bir mesaj işareti göndererek, verici gücünü düşürmesini emreder. Mobilin gücünü düşürmesi, onun girişime katkısını azaltır. Hücre boyutunu belirlemek için, baz istasyonda en az bir kanalın gücü sabit kalmalıdır.

Yeni sayısal hücreli teknolojide, mobil-destekli aktarma mümkündür. Mobilin aktif olmadığı zaman diliminde (time-slot), kendisine yakın baz istasyonlardan gelen işaretlerin gücünü ölçebilir, bunu şebeke bildirebilir ve aktarmanın işleyiş kararına yardım edebilir.

1.3 Sabit Destek Şebekesi (FSN)

- FSN, şebekede çalışan abonelerin birbirlerine mesajlarını ve işaretlelerini göndermeleri için baz istasyonları birbirlerine bağlar.
- Ağ ortamında trafiği yönlendirebilecek anahtarlama merkezlerine *mobil anahtarlama merkezi* (MSC) denir. Bir MSC'nin her bir hücre demetiyle bağlantısı yoktur, ama genellikle yoğun merkezlere bağlantılıdır. Bir hücresel yayın şebekesi büyüdükçe MSC'ler çok geniş bir trafik yoğunluğunu kontrol etmeye başlar.
- Ağlar arası bağlantının sağlanması çok pahalıdır, bu nedenle ikinci dereceden geniş anahtarlama merkezlerini (TSC) kullanır. TSC aynı zamanda sabit duran PTSN ile bağlantılıdır.
- Her bir MSC ile bir sürekli konum kaydedicisi (HLR) ve geçici konum kaydedicisi (VLR) beraber çalışır. Sabit şebeke tam bağlantı sağladığı için kayıt ortamlarının fiziksel olarak MSC'ye yakın bir konumda olmasına gerek yoktur.

Pratikte çok fazla MSC ve özellikle baz istasyon vardır. Bugün uygulamadaki her bir şebekede, İşletim ve Bakım Merkezi (OMC) denilen bir şebeke yönetim merkezi vardır. Bir şebeke yönetiminde;

- Hata durumları bilinir.
- Hata kontrolü stratejileri uygulanabilir.
- Aşırı trafik bozukluğu gözlenir.
- Aynı frekanstan yapılan birbirinden bağımsız radyo yollarının neden olduğu girişim durumları kaydedilebilir.
- Bakım programları işler.
- Abone veritabanı ve girişi gözlenir.

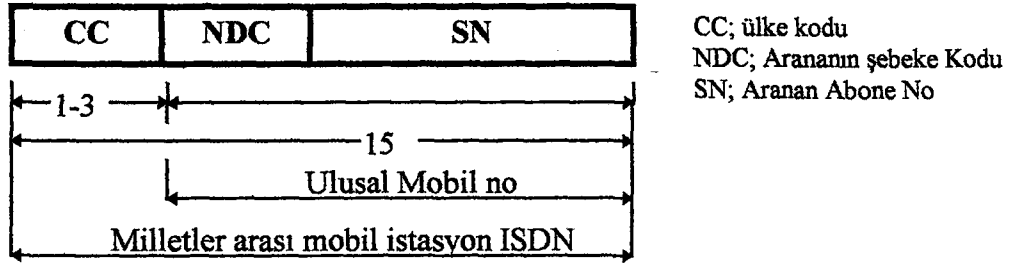
Ağdaki her cihazın bir elektronik kimlik numarası vardır, (Mobil kimlik no MIN, kişisel kimlik no PIN). Genellikle, 10 basamaklı olan bu numaralar cihaza yetkili serviste kaydedilir.

Mobil haberleşme sabit şebekesinin kamusal sabit şebekeyle bir trunk bağlantısı vardır. Böylece sabit abonelerle mobil aboneler birbirine bağlanabilirler.

1.3.1 Numaralama Planı

Sabit şebekeli mobil cihaz kimlik planıyla birleşik numaralama planı oldukça karmaşıktır. Bunları düzenlemek için bir çok protokol geliştirilmiştir.

CCITT'nin 31 Aralık 1996 tarihinde yürürlüğe giren E.164 nolu protokolü;



Şekil 1.6 CCITT E.164 nolu protokol

1.3.1.1 CCITT E.213 nolu protokol ;

- Mobil cihazı numaralama, mevcut uygulamaya ve standart telefonlarla bağlantıya imkan vermeli.
- Her şebeke yönetimi kendi numaralama planını geliştirebilmeli.
- Mobil cihaza yeni bir numara verilmeksizin cihazın milletler arası gezme kimliğine imkan verilmeli.
- Zorlanmadan dolaşabilmeli.
- Bu numaralama planı sadece PTSN ile bağlantılar arası bağlantı kurmayı önerir. [3]

2. HÜCRESEL SİSTEM TEMELİ

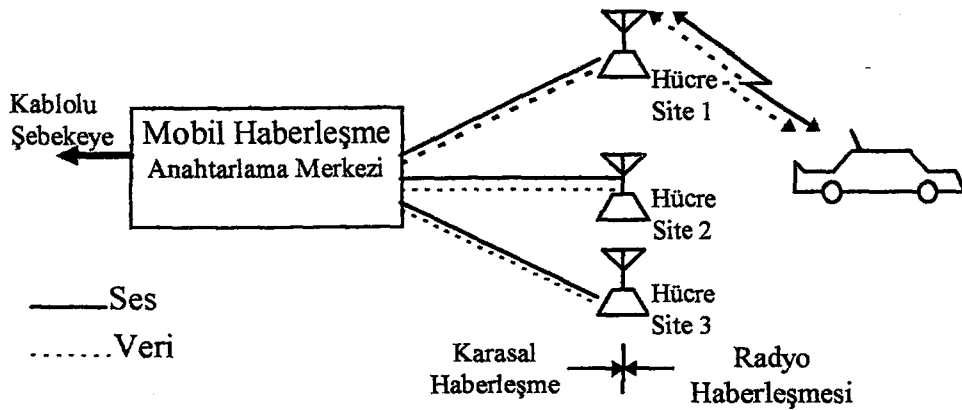
Bir temel hücreli sistem 3 parçadan oluşur; mobil birim, hücre merkezi anteni ve mobil telefon anahtarlama merkezi (MTSO).

1. Mobil Birim(MS); kontrol, alıcı-verici ve anten devrelerini de kapsayan bir mobil telefon birimi

2 Hücre Site Anteni(BS); Hücre antenleri mobil cihazlarla anahtarlama sistemi (MTSO) arasında bağlantıyı sağlar. Kontrol birimi, radyo devresi, antenler, güç kaynağı ve veri terminalerinden oluşur.

3. Mobil Telefon Anahtarlama Bürosu (MTSO); Hücre antenlerinin koordinasyonu için merkezi birim olan anahtarlama merkezi hücreli işlemci ve anahtarlar içerir. Yerel telefon şebekeleriyle mobil abonelerin iletişimi buradan sağlanır.

4. Bağlantılar, Radyo ve yüksek hızlı veri hatları yukarıdaki üç alt sistemi birbirine bağlar. Haberleşme esnasında, her bir mobil, aynı anda yalnızca bir kanal kullanılabilir. Fakat bu kanal sabit değildir.[1]



Şekil 2.1 Hücreli radyo elemanları

2.1 Hücresel sistemin Çalışması

2.1.1 Mobil Cihazı Koşullama

Bir kullanıcı mobil haberleşme cihazını (cep telefonunu) açıp hatta girmek istediğinde, cihazın alıcı devreleri mümkün olan bütün set-up kanallarını tarar. Eğer aboneli olduğu şebekenin hücresel haberleşme frekans bandında 333 telefon kanalı varsa bu kanalları kontrol ve hizmet için gereken 21 set-up kanalını tarar. Bu kanallardan en güçlüsünü seçer ve o kanala kilitlenir. Her bir set-up kanalı ayrı bir hücre anteni demek olduğu için, en güçlü set-up kanalına kilitlenmek en yakın hücre antenini seçmek anlamına geliyor. Hücresel sistem, abone hatta girmek için set-up kanalına bağlanınca, artık abonenin sisteme girdiğini ve abonenin konumunu belirlemiş olur. Yani mobil abone şebeke üzerinde konumunu belirlemiş olur. Bu kendini konumlandırma işlemi kullanıcıdan bağımsız gerçekleşir. Bu büyük bir avantaj sunar, çünkü hücrede mobil cihazın konumunu belirlemeye çalışan hücre anteni verici yükünü eler. Kendini konumlandırma işleminin dezavantajı ise hücre anteninde kapalı mobil birimlere ait hiç bir bilgi olmaz. Bu nedenle sabit bir telefon mobil aradığında çağrı işlemler uzun zaman alır. Mobil aboneye çağrılarının yoğunluğu artacağı hesaba katılırsa, mobil cihazın kendi konumunu belirlemesi ve hücresel sistemin sadece abonenin hatta ve hangi bölgede olduğunu bilmesi işleminin önemi dahada belirginleşir. Mobil cihaz her 60 saniyede bir kendini konumlandırma işlemi tekrarlar.

Koşullamada; Cihaz açılınca aboneli olduğu şebekeye ait en güçlü kanalı arıyor ve seçiyor. Şebeke cihazın PIN (Abone Kimlik Numarası)nı kontrol ediyor. Hücresel şebeke Hizmeti veren şirket coğrafi yapıyı ülke bazında belli büyük merkezler çevresinde bölgelere ayırıyor. Şebekeye giren abone bulunduğu bölgenin merkezi kayıtlarına ekleniyor; Abone bilgilerinin tutulduğu ana kayıtlara cihazın şu an bulunduğu bölge LAC (Local Area Code Number; Yerel alan kod numarası) işleniyor. Sabit bir telefon mobil aradığında, Ulusal Telefon Şebekesi MTSO aracılığıyla aramayı mobil şebekeye aktarıyor. Şebeke abonesinin LAC numarasını kontrol edip ilgili bölgeye çağrıyı yönlendiriyor.

2.1.2 Mobil Merkezli Arama

Kullanıcı aramak istediği numarayı kullandığı telefonun tuşlarını kullanarak ekranına yazar, doğruluğunu kontrol ettikten sonra "SEND" (Gönder) tuşuna basar. Kendini Konumlandırma işlemleri sırasında bağlantı kurduğu set-up kanalı üzerinden servis isteği işareti gönderir. Hücre anteni bunu alır, Ve en uygun ses alış verişı için en uygun yönlü anteni seçer. Bu sırada hücre yüksek hızlı veri hatları üzerinden MTSO ya talebini bildirir. MTSO konuşma için en uygun kanalı seçerken, hücre de en uygun antenini seçer. MTSO diğer taraftan aboneyi sabit telefon şebekesine de bağlar.

2.1.3 Ağ Merkezli Arama

Sabit bir abone bir mobil arar. Telefon şirketinin bölgesel merkezi (TCZO) bu numaranın bir mobile ait olduğunu belirler ve çağrıyı MTSO'ya yönlendirir. MTSO belli hücre antenleri üzerinden abone numarasını ve arama algoritmalarını kullanarak çağrı yapar Her bir hücre kendi set-up kanalına çağrı gönderir. Zaten Set-up kanalıyla sürekli ilişkide olan cihaz çağrıyı yakalar ve cevap verir. Hücre bunu MTSO'ya aktarır, en iyi ses kanalı seçilerek haberleşme sağlanır.

2.1.4 Konuşmanın Bitişı

Bir telefon konuşma sonrası kapatıldığı zaman, cihaz hücre antenine bir işaret (işaret tonu) gönderir ve her iki taraf ses kanalını boşaltır. Mobil cihaz en güçlü set-up kanalı aracılığıyla çağrılara tekrar bakmaya başlar.

2.1.5 Aktarma İşlemi

Konuşma boyunca iki ses kanalı kullanılır. Hareket eden bir mobil cihaz hücre anteninden uzaklaşır ve hücrenin kaplama alanının dışına çıkarsa, güzel bir işaret almak zorlaşır. Hücre aktarma talep eder. Sistem konuşmayı kesmeden yada kullanıcıya haber vermeden konuşmayı yeni bir hücrede yeni bir frekans kanalına anahtarlar. Böylece hat kullanıcı konuştuğu sürece açık kalır. Kullanıcının aktarmadan haberi olmaz. (bkz Şekil 2.2)[1,2,4,5]

Bir hücresel sistemde 3 unsur vardır:

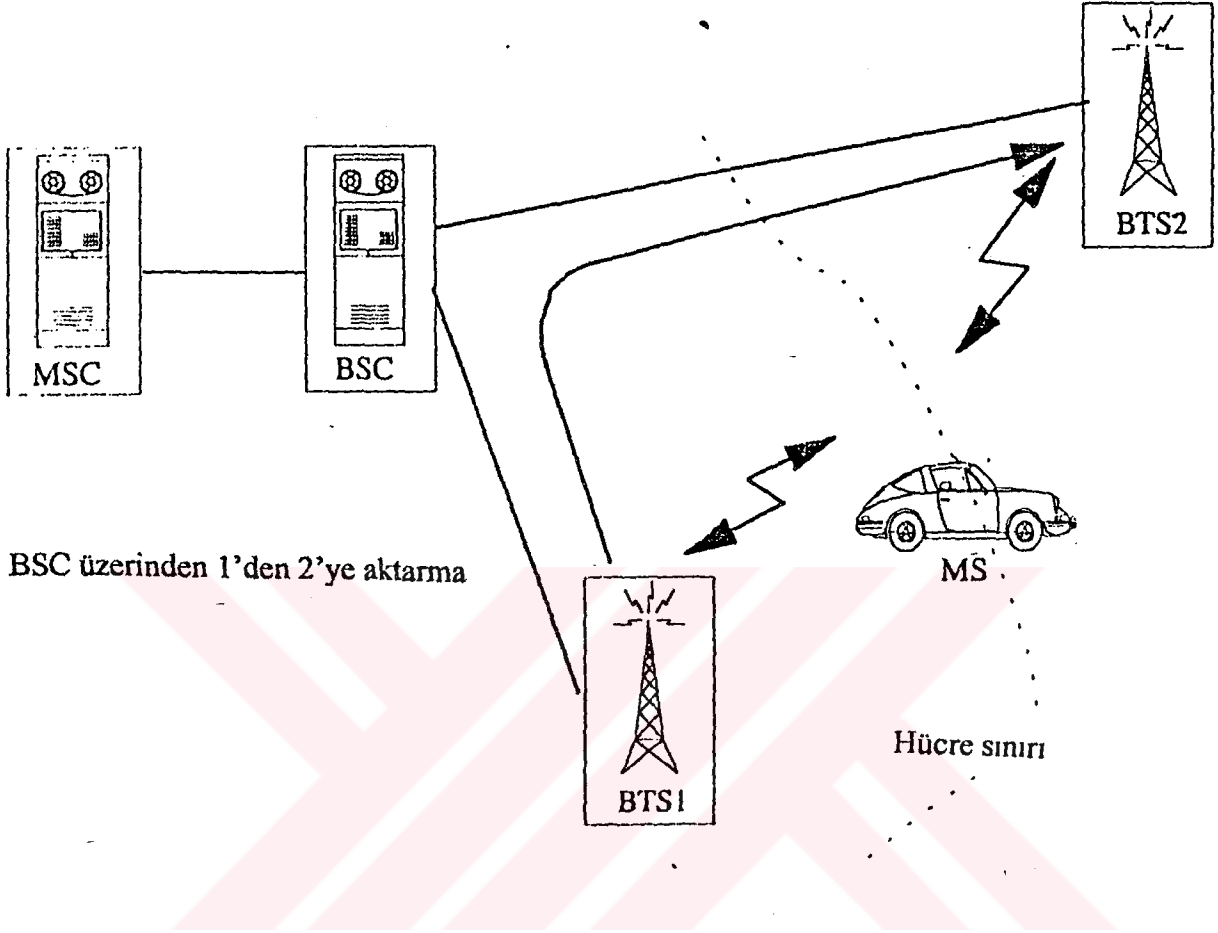
- i. MTSO
- ii. Kaplama alanına oturmuş birçok hücre site
- iii. Alana yayılmış binlerce abone

2.1.6 Mobil Güç Kontrolü

Bir hücrede mobil cihaz baz istasyona göre değişik uzaklıklarda bulunabilir. Bu, hem işaretin gecikme zamanını (vericiden alıcıya gelene kadar geçen süre= $\frac{\text{mobil-baz arası mesafe}}{\text{hız}}=r/c$) değiştirir hem de işaretin zayıflama oranını değiştirir. Aynı şekilde baz istasyon işaretlerinin de mobil tarafından alınmasında güç seviyesi ve işaret gecikme miktarı değişir.

İletim tekniğinde işareti doğru bir şekilde alabilmek için değişik teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan biri de güç kontrolüdür.

Çıkış gücüne göre 8 çeşit mobil verici var. 4 çeşidi nominal güç akışını azaltmaya dayanır. (1-4 sınıflar). 4 çeşidi de gelecekteki özellikler için rezerve edilmiştir (5-8. Sınıflar). 4. sınıf vericiler sadece çift modlu mobil için kullanılabilir. Nominal maksimum güç seviyesi (efektif ışınma gücü-ERP)'ye göre vericiler;



Şekil 2.2 Aktarma

Tablo 2-1: Mobil İstasyon ERP Seviyeleri

Güç Seviyesi	Güç Sınıfları İçin Nominal ERP (dBW)				
	I	II	III	IV	V-VIII
0	6	2	-2	-2	Rezerv
1	2	2	-2	-2	Rezerv
2	-2	-2	-2	-2	Rezerv
3	-6	-6	-6	-6	Rezerv
4	-10	-10	-10	-10	Rezerv
5	-14	-14	-14	-14	Rezerv
6	-18	-18	-18	-18	Rezerv
7	-22	-22	-22	-22	Rezerv
8* çift modlu					-26 ± 3 dB
9* çift modlu					-30 ± 3 dB
10* çift modlu					-34 ± 3 dB

- 1. Sınıf ; 6 dBW (4.0 W) Araç için
- 2. Sınıf ; 2 dBW (1.6 W) Seyyar
- 3. Sınıf ; -2 dBW (0.6 W) Portatif
- 4. Sınıf ; -2 dBW (0.6 W) Portatif

Mobil istasyonların maksimum efektif ışıma gücü 8 dBW (6.3 W)'la sınırlıdır. Mobil vericiler Hücre-Sitemden gelecek komutla gücünü 4.0 dB'lik adımla azaltabilmelidir. 10 güç düşürme adımı vardır: (bkz. Tablo 2-1)

GSM'de güç kontrolü 2 dB'lik adımlar halinde yapılır.

Güç ayarlama hücreyel alıcı-verici mantık biriminde kurulan birimle yapılır. Bir hücre-site mobilden gelen gücü çok yüksek algırsa, mobile "RF gücünü düşür" komutu gönderir. Aynı şekilde mobil hareket halindeyken hücre-site'nin algıladığı güç düşerse mobile "güç ver" komutu gönderir. Mobilin verici gücünü ayarlama yeteneğinin iki amacı vardır. İki mobilin verici gücünü düşürerek pil ömrünü uzatmak, ikincisi ortak kanal ve ayrık kanallar girişimini azaltmak için gücü ayarlamak. [4]

Tablo 2-2: Bazı Ülkelerde Kullanılan Farklı Hücrel Haberleşme Sistemleri

	USA AMPS	U.K TACKS	Japon NTT	Nordic NMT450	Nordic NMT900	Alman MATS-E	Alman C-450
Kanal Sayısı	2×416	2×500	2×500	180	1999	1000	222
Hücre Çapı (km)	2-20	2-20	2-20	1-40	0.5-20	2-25	2-30
Hücre Yineleme Sayısı (N)	7,12	4,7,12,21	9,12	7,12	9,12	7	
Hücre Alıcı Frekansı (MHz)	825-845	890-915	860-885	453-457.5	890-915	890-915	461.3-465.74
Verici Frekansı (MHz)	870-890	935-960	915-940	463-467.5	935-960	935-960	451.3-455.74
Alıcı Verici Arası Frekans Ayrılığı (MHz)	45	45	55	10	45	45	10
Kanal Aralığı	30	25	25	25	12.5	25	20
Hücre-Site verici gücü (W)	100	100	25	50	100		100
Mobil verici gücü (W)	3	7	5	15	6	4	7
Ses:							
Modülasyon	FM	FM	FM	PM	PM	FM	PM
Frekans Değişimi (kHz)	±12	±9.5	±5	±5	±5	±8	±4
İşaret:							
Modülasyon	FSK	FSK	FSK	FFSK	FFSK	MSK	FSK
Format	Bi-φ	Bi-φ	Bi-φ	NRZ	NRZ		NRZ
Frekans Değişimi (kHz)	±8.0	±6.4	±4.5	±3.5	±3.5		±2
Bit Hızı (Kbps)	10	8	0.3	1.2	1.2	2.4	5.28
Pazar Payı	59.4	16.1	—	6.56	6.6	—	—

2.1.7 Bir hücreye düşen maksimum frekans kanalı

T ortalama konuşma süresi,

Q_i ,Bir hücrede bir saatteki maksimum konuşma

A , beklenen yük (earlang trafik şiddeti birimidir)

N , bir hücreye düşen maksimum frekans kanalı

$$A=Q_i T/60 \text{ (earlang)} \quad (2.1)$$

Blok aracılığıyla A değerini kullanarak Blok Arama-Boş Tablodan (bkz. Ek-B) N değeri bulunur.

3. GSM

GSM , Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Komitesi (CEPT) tarafından standartları belirlenen hücreli mobil haberleşme sistemidir. Mobil haberleşmede küresel sistem demektir.

GSM'in 7 önemli kriteri vardır.

1. Spektral verimlilik
2. Nesnel ses kalitesi
3. Mobil ücretlendirme
4. Elle/portatif kullanılabilirlik
5. Baz istasyon ücreti
6. Yeni servisleri destekleme imkanı
7. Mevcut sisteme uyum[1]

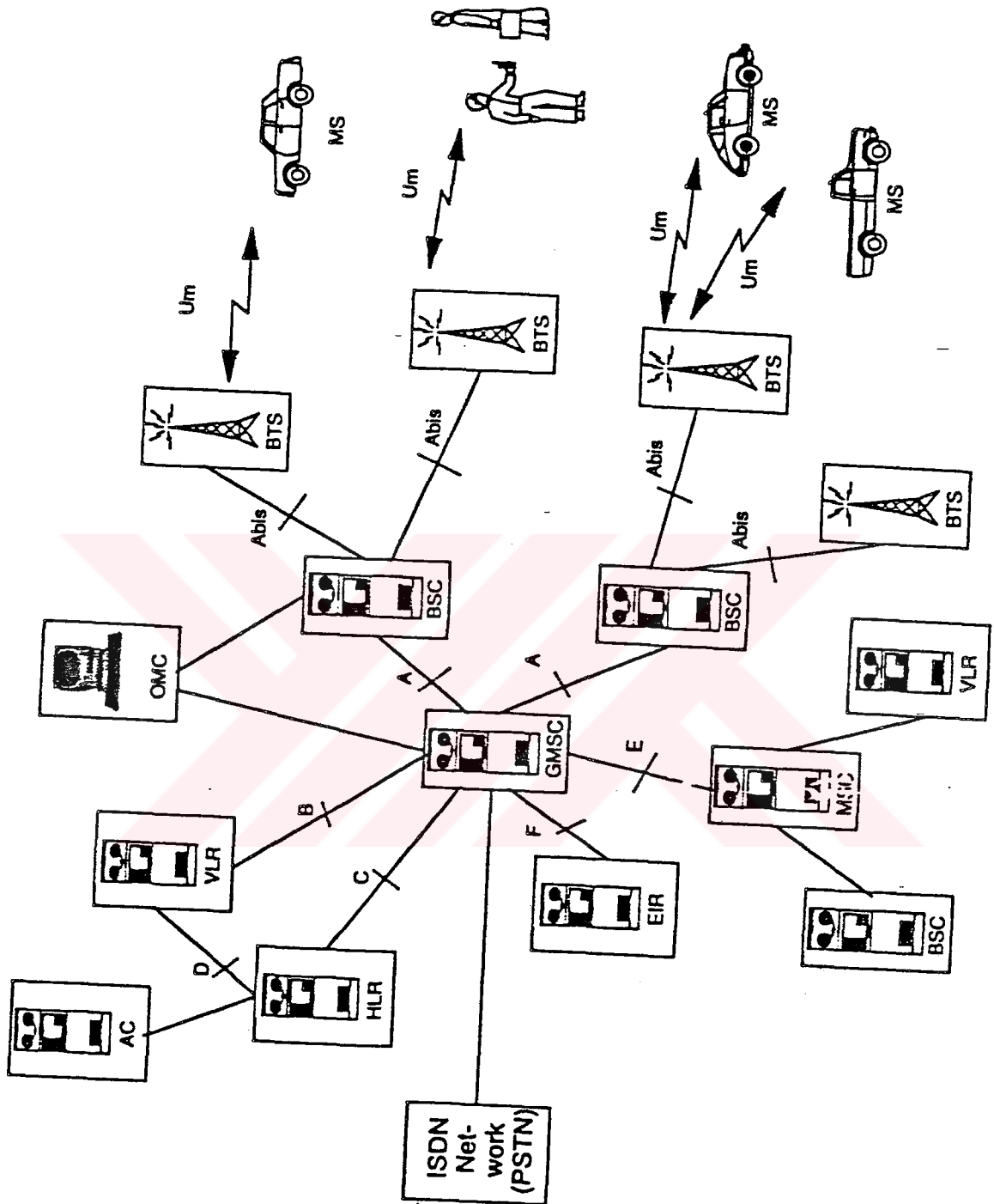
3.1 Açık Ara Birimler

GSM yaklaşımının altında yatan ana felsefe; sistemdeki ana arabirimlerin halk kullanımına açık olmasıdır. Zaman ve enerjiye verilen önem, tüm arabirimlerin gelişmesine ve standartlaşmasına matuftur.

GSM üç katlıdır. Fiziksel kat, veri katı ve şebeke katları.

3.2 Sistem Bileşenleri

GSM sistem birimlerini anlamak için şekil 3.1 yi incelemek gerekir. Şekil 3.1'deki GSM alt birimlerini aşağıdaki şekilde tablolayabiliriz (Tablo 3.1).



Şekil 3.1 GSM sistem mimarisi

Tablo 3-1 GSM Alt birimleri		
Alt Birim	İngilizce açıklımı	Anlamı
MS	Mobile Station	Mobil istasyon (örn.: Cep telefonu)
BTS (BS)	Base Transceiver Station	Baz alıcı/verici istasyon
BSC	Base Station Controller	Baz istasyon denetçisi
BSS	Base Station Subsystem	Baz istasyon alt sistemi
MSC	Mobile Switching Center	Mobil anahtarlama merkezi
HLR	Home Location Register	Dahili yerleşim kaydedicisi
VLR	Visitor Location Register	Ziyaretçi yerleşim kaydedicisi
AuC	Authentication Center	Doğrulama merkezi
EIR	Equipment Identity Register	Cihaz kimlik kaydı
OMC	Operational & Maintenance Center	İşletim ve Bakım merkezi
NMC	Network Management Center	Şebeke yönetim merkezi
ADM	Administration Center	Yönetim merkezi

3.2.1 Mobil İstasyon

Çeşitli şekillerde Mobil istasyonlar vardır. 20W çıkış güçlü araç modelleri, 5-8W gücündeki seyyar modeller, çıkış gücü 2W ve daha düşük olan cep modelleri ve 0.8W gücündeki küçük hücreli cep modelleri vs.

Cep telefonunun boyutunu ve ağırlığını etkileyen temel etken pil ünitesidir. Cep telefonunda konuşma yokken (DRX) enerji harcaması azaltılabilir ve sadece alıcı devrelerde enerji harcanır (stand-by). Böylece güç harcaması %90 azaltılabilir.

3.2.2 Radyo Alt sistemi

Mobil kullanıcı cihazını açınca, cihaz kendini koşullar; Cihaz yerel bir baz istasyon arar.

Bir BSS, bir BSC ve her biri bir hücreye birkaç kanal tahsis eden bir BTS içerir. BTS radyo arabirimlerinin ilk katlarını (hata düzeltme ve veri yolu katını) gerçekleştirir. Uygulamada her BTS trafik kontrol işaretlerini taşımak için ayrılan en az bir radyo kanalına sahiptir.

BSC bir bölgedeki radyo kaynaklarının yönetiminden sorumludur. Temel fonksiyonları, trafik kanallarının tahsisi, kontrolü, frekans *sıçraması* kontrolü, aktarmaları sağlama (bölge dışındaki hücreler hariç) ve radyo performans ölçümlerini yapma. Bir abone mobil sisteme (BSC'ye) girdikten ve (telefon konuşması yapmak için bir diğer aboneyle) eşleştikten sonra BSC ona bir çift yönlü işaret kanalı tayin eder ve MSC yolunu kurar.

3.2.3 Hareketlilik Yönetimi ve Güvenlik

Bir mobil anahtarlanıp hatta girdiği zaman, sisteme kaydedilir; şebekedeki konumu belirlenir ve HLR'indeki konum alanı güncellenir. Bir konum alanı; coğrafi olarak belirlenen hücre grubudur (LAC ; *abonenin bulunduğu* Bölgesel Alan Kodu). İlk kayıta yerel MSC, abonenin HLR'sini sorgulamak için IMSI'yı (Uluslararası Mobil Abone Kimliği) kullanır ve abone verilerini VLR'sine ekler. VLR, abonenin HLR adresini ve HLR'den abonenin doğrulama merkezine (AuC) bildirilen doğrulama isteğini içerir. Bu mobilin sistemle bağlantı kurduğu yerel şebeke tarafından kullanılan etki-tepki çifti üretir.

Keza uygulamada, bazı operatörler hırsızlığı, hileyi ve hatalı cihazları kontrol etmek için bir EIR'la mobil cihazı denetlemeyi planlıyor.

Doğrulama işlemi çok güçlüdür ve ileri şifreleme ilkelerine dayanır. Şebeke operatörleri için, servislerinin hileli kullanımdan korunmasını sağlar. Buna rağmen kullanıcıyı kulak misafirliğinden koruyamaz. Yine de frekans çevikliği kolaylığına sahip olan GSM'in TDMA özelliği, doğru işarete kilitlenen bir kulak misafiri için bunu çok zorlaştırır. Bu da analog sistemlere nazaran çok daha güvenli olmasını demektir. Yine de güvenli haberleşme isteyen aboneler için GSM hava birimi üzerinde şifreleme önerir. Bu, bir halk şifreleme ilkesine dayanır ve çok yüksek güvenlik sağlar.[5]

3.2.4 Arama

İlk önce kullanıcı ve cihazı şebekeye kabul edilir, sonra mobil ihtiyacına uygun (ses, veri, destekleme servisi vs.) servis ve hedef abone numarasını belirler. Bu noktada bağıl kapasiteli bir trafik kanalı tahsis edilir ve MSC hedefi arama yolunu kurar. Aranılan numarayla bağlantı kurulana kadar, şebeke trafik kanalını belirlemede gecikebilir (off-air, arama kurma). Bu herhangi bir aramanın haberleşme/işaret kanalını işgal etmesini azaltır ve sistemin trafik kapasitesini artırır.

3.2.5 Aktarma

GSM mobil yardımcı aktarma yöntemiyle aktarmayı gerçekleştirir. Mobil, boş zamanlarında sürekli olarak diğer baz istasyonlarla diyalog kurar ve onlardan aldığı işaret gücünü ve hata oranını ölçer. Bu ölçümlerle sisteme en iyi altı istasyon kimliği gönderilir. Buna göre şebeke aktarmanın gerekliliğine ve zamanına karar verir.

İşaret gücü uygulamasında, aktarma kararını vermek için, bit hata oranının kullanımı oldukça önemlidir. Eğer her iki BTS kendi kontrolündeyse BSC koşturmayı yapar aktarmayı gerçekleştirir. Bir coğrafi bölgede, bir radyo frekans grubunun yöneticisi olarak düşünebileceğimiz BSC, kullanımı maksimuma çıkarmak için kayıtları kontrol edebilir. Alternatif olarak BSC'nin aktarma kontrolü bir dış hücrededir ve bu aktarmayı MSC kontrol eder ve gerçekleştirir.

3.2.6 Mobilin Aramayı Bitirmesi

Sabit bir şebekeden mobil abone arandığı zaman da prosedür aynıdır. Buna rağmen ilk önce mobil abonenin yeri tespit edilmelidir. Bunun için mobil abonenin HLR'sinde kayıtlı bölgeyi (LAC no.) kaplayan bir alanda yayımlanan bir çağrı işareti yardımıyla mobil cihaza ulaşılır. Mobil cihaz sürekli olarak çağrı kanalını (set-up kanalını) izler ve bir çağrı belirlendiğinde tanımlanan giriş işlemini üstlenir.

Cep telefonlarında önemli derecede pil-tasarrufunu kolaylaştırmak için, çağrı işlemi uygun tasarlanır. Bir cep telefonu aşırı şekilde kullanılmadıkça, pildeki en büyük kayıp, kullanımda harcanan zamandan değil, aranma durumunda çağrı kanalını izlemenin yayıldığı standby periyodunda olur. GSM’de çağrı işaretine yerleştirilen ve baz istasyonla mobilin saatini eşleştirmek (senkronize etmek) için kullanılan ve Baz istasyondan mobile gönderilen DRX modu sayesinde GSM’in Zaman Bölme Çoklu Erişim (TDMA) özelliğinden dolayı, mobil cihaz belli bir zaman geçene kadar başka bir işaret gelmeyeceğini bilir. Böylece stand-by süresinin çoğunda devrenin gücü kesilebilir.

3.3 Şebeke Yönetimi

Bu karmaşık şebekenin yönetilmesi ve bakımı gerekmektedir. Bu OMC’nin işidir. GSM işletim ve bakımda (O&M) kararı bireysel kullanıcıya bırakır ama bir telekomünikasyon şebekenin de genel rehberlik hizmeti giderek yaygınlaşmaktadır. Burada beş ayrı yönetim fonksiyonu tanımlanır.

- Çalışma ve performans yönetimi
- Bakım
- Sistem değişim kontrolü
- Güvenlik Yönetimi
- Yönetim ve sosyallite açısından kullanılabilirlik

Telekomünikasyon yönetim şebekesi hiyerarşiktir. O&M şebekenin bireysel elemanlarıyla (hücreler ve baz istasyon vs.) ilgilidir. Şebeke yönetim merkezi (NMC) OMC’leri birbirine bağlar ve PLMN (Ulusal Kara-Mobil Şebekesi) ile gereken noktalarda ortak çalışmayı da içerir. [5]

3.4 Hava Ara Birimi

3.4.1 Frekans Tahsisi

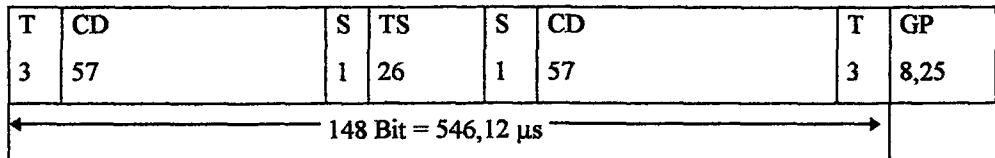
Avrupa’da GSM’e verici ve alıcı bandlara bölünen 50 MHz’lik bir spektrum tahsis edilmiştir. Her bir radyo kanalı 200 kHz genişliğindedir. Bu da toplam 125

kanal çifti anlamın gelir. Pratikte birden fazla operatörün olduğu durumlarda, bu frekans bandları arasına emniyet bandı eklenir.

Özellik	Parametre
Frekans Bandı	
Mobilden Baz'a (MHz)	890-915
Baz'dan Mobile (MHz)	935-960
Ses Kanalı Kodu	(RPE-LTP/Konvülüsyonel) 13 Kbps
Kanal Arası (kHz)	200
Modülasyon	GMSK
Modülasyon derinliği	B.T.=0.3
Veri iletim oranı (Kbps)	270.833
Kanal band sayısı	8 (16)
Kanal Sayısı	125
Aktarma	MAHO
Kullanıcı veri oranı (Kbps)	16 (8)
TDMA yapı periyodu (ms)	4.62
Time-Dilim süresi(ms)	0.858

3.4.2 Blok Yapı

GSM'de bir Blok'ta 148 bit iletilir. Süre ilk ve son yarı bitleri olarak ikiye bölünür ve ayrıca bir kısım da RF anahtarlama zamanı olarak ayrılır.



Şekil 3.2 GSM için önerilen bir Blok yapısı

Şekilde T (kuyruk) Blok'un başında ve sonunda bulunan 3 bitlik koruma süresi olarak kullanılan grup vericiye rampa şeklinde güç verilirken ve Blok'un sonunda gücün aynı şekilde kısılmasında kullanılır ve her zaman lojik sıfırdır.

CD (Kodlu Veri): Blok'de iki kere bulunur ve 57'şer bitlik birer gruptur ve işaretleme verisini ya da kullanıcı verisini taşır.

SC (Çalma Bayrağı) alıcıdan alınan işaretin bir işaretleme verisi mi yoksa kullanıcı verisi mi olduğunu anlamasına yarayan bir işaretçidir. İşaretleme verisi haberleşme trafiğini düzenlemek için farklı yerde kullanılır. Kullanıcı verisi farklı yerde kullanılır.

TS (Test Dizisi), Bu dizi mobilde hem de baz istasyonda aynı olup Blok'te alıcıların senkronizasyonunu sağlar. Senkronizasyon alıcının işareti doğru olarak çözmesini sağlar.

GP (Koruma Periyodu) Bu periyoda güç aşağı çekilir ve $8,25+3,19 = 30,4$ μ s lik bir süredir. [6,10]

GSM için önerilen diğer bir yapı ise; [11]

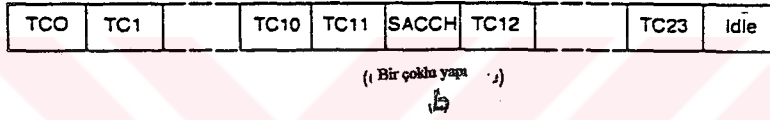
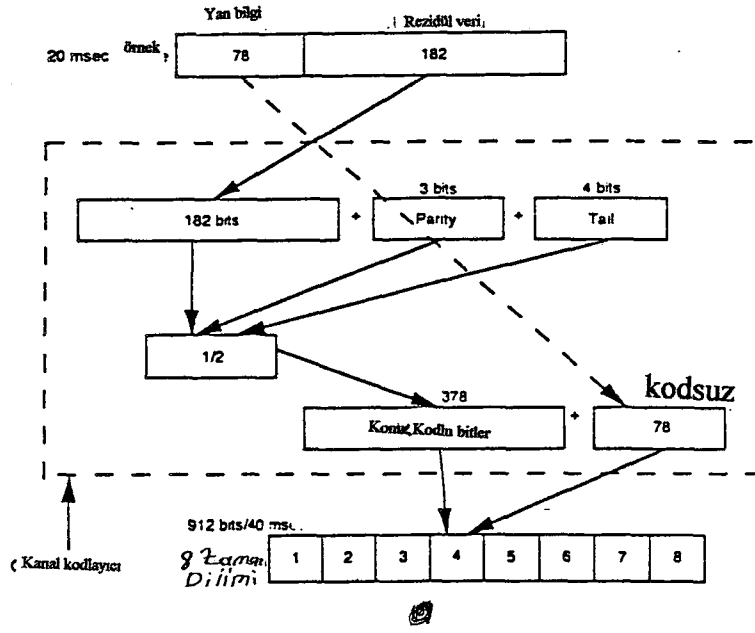
T	CD	Tekrar	TS	Tekrar	CD	T	E
000						000	
3	58	5	16	5	58	3	

Şekil 3.3 GSM için önerilen bir Blok yapısı

3.5 Konuşmayı Kodlama

GSM'in spektral verimlilik hedefi, 16Kbps veya daha az hızla kaliteli konuşmayı sağlayacak bir kodlamayı gerektirir. Çözümü, etkisi bir uzun-terimli kestirimciyle (LTP) artırılan, rezidüel uyarılmış lineer kestirimli (RELTP) kodlayıcı kullanmaktır. Bu ses kalitesini, önceki ünlü harflerden rezidüel veri kodlamaya çıkararak artırır. Kodlayıcının temel veri oranı 13 kbps'tir ve konuşma 20 ms'lik bloklarla işleniyor.

20 ms'lik blok kodlar iki parçaya bölünüyor. En kritik bitler öne konur. Bu ilk parça, ona uygulanan yarım orantılı konvülasyonlu koda sahiptir. İki parça tekrar



Şekil 3.4 a) GSM ses kodlama b) GSM kanal kodlama

Her bir zaman-dilimi 0.577ms 'dir ve dilimler arası 8.25 bitlik periyotla 148 bite eşittir. Zaman diliminde taşınan trafik işareti 57 bitlik iki bloğa bölünür ve her bir blok verileri ayrık ses kodlama yapısından belirlenir. Böylece 20 ms 'lik ses veri konvoyu için 8 dilim gerekir. Fakat her bir dilim aynı anda iki ses bloğunun verisini taşır. Böylece arka arkaya gelen 4 zaman dilimi 18.5 ms 'de 456 bit'lik akış sağlar. Bu her 20 sn 'de üretilen 456 bit'lik sesle çoklu yapıda iki kontrol yapısı elde etmek için 26 yapıya 1.5 ms 'e eklenir.

birleştirildiğinde toplam blok uzunluğu 456 bit olur. Bu blok 4 zaman-dilimine karşılık gelir fakat pratikte 8 zaman-dilimi yayılır. Bu işleme *diyagonal boşluk ekleme* denir ve bu, konvülsiyonel koda, TDMA veri iletiminde oluşan çok kötü bozulmuş işaretleri bile tekrar elde etmek gibi bir üstünlük sağlar. (bkz. Şekil 3.2)

3.6 Kanal yapısı

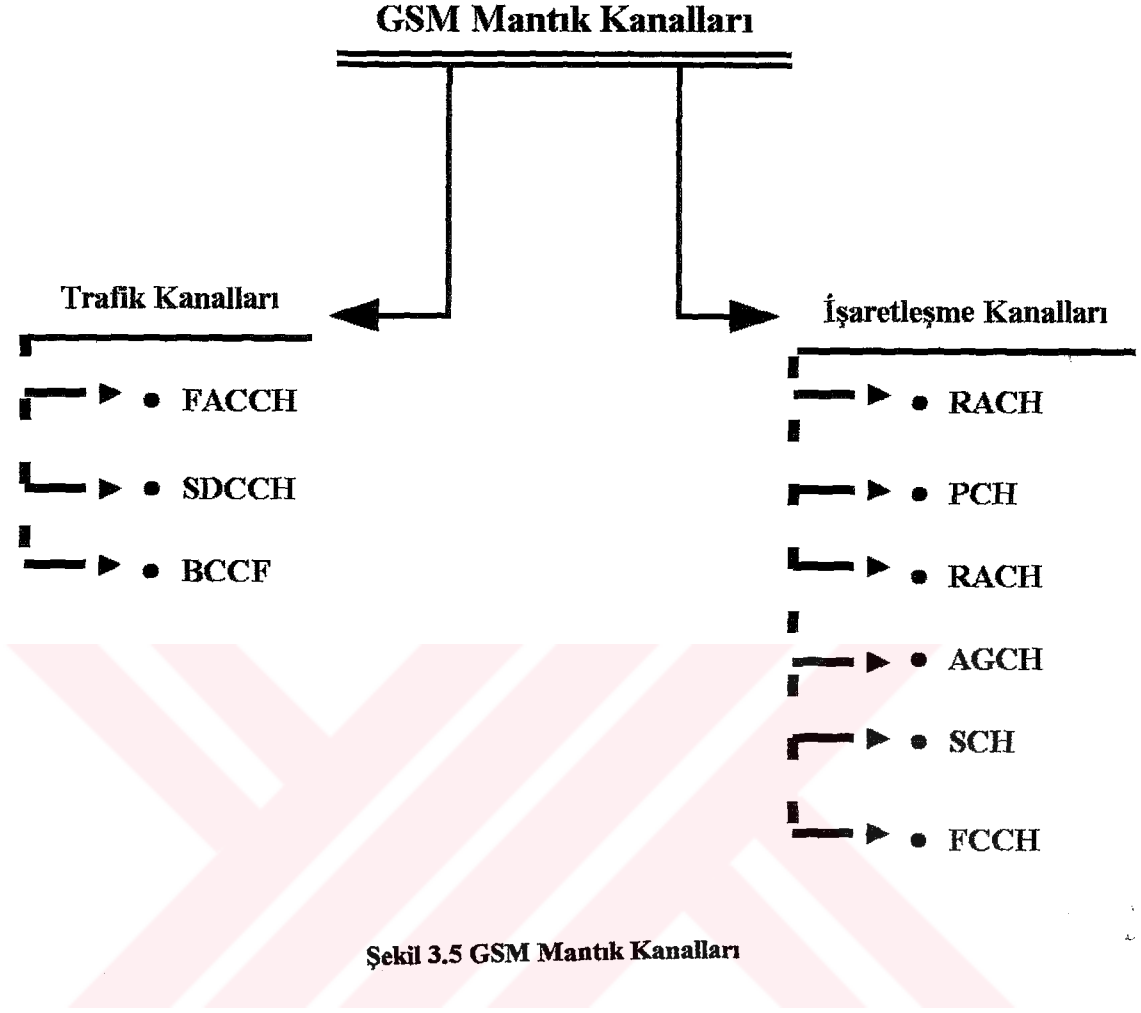
Veri iletim hızı çoklu-yol etkilerinin masraf-verimlilik dengesiyle orantılı olarak mümkün oldukça yüksek olmalıdır.

Temel trafik veri oranı, tek bir RF taşıyıcıda 8 kanalın iletilmesine olanak sağlar. Yarım oranlı bir ses kodlama kullanıldığında, trafik kapasitesi iki katına çıkabilir. Şekil 3.3'te basit bir yapı ve zaman-dilimi organizasyonu görülüyor. [5]

26 yapılı bir çoklu yapıda 24 yapı işaret akışı için, 2 yapı da akışı kontrol ve gözlem işaretleri için kullanılır. Burada her bir işaret akış kanalı, bu iki yapının 16 zaman-diliminden biriyle belirlenir. (8 kanal 13 kbps'lık ses iletimi için ayrılan kanallardan sonuncusu kullanılmaz.)

Bu iki yavaş birleştirilen kontrol kanalı (SACCH) uygulamasında sistem;

- Hızlı birleştirilmiş kontrol kanalları (FACCH)
- Yalnız duran adanmış kontrol kanalları (SDCCH)
- Yayın kontrol kanalları (BCCH)
- Rastsal giriş kanalları (RACH)
- Çağrı kanalı (PCH)
- Rastsal giriş kanalı (RACH)
- Giriş onay kanalı (AGCH)
- Senkronizasyon kanalı (SCH)
- Frekans düzeltme kanalı (FCCH)
- Trafik kanalları (TCH)
- İşaretleşme kanalları (SC) içerir. [5,6]



Her veri bloğuyla ilgili bir kontrol biti, veri akışı mı yoksa FACCH mı olduğunu belirleyen, bir bayraktır. Tam veya yarım, hızı belirleyen diğer bit, her bir dilimin merkezinde bulunur ve ekolayzer ve demodülatör'ün parametrelerini kurmak için, alıcının kullandığı 26 bitlik bir dizidir.[5,6,9]

3.7 Zamanın İlerlemesi

TDMA tüm mobillerden gelen işaretleri, doğru zamanda baz istasyona ulaştırarak tek bir kanala ihtiyaç duyar. İşaretler birbirlerinin üzerine gelmemelidir. Eğer baz istasyon bir referans işaret sağlarsa, ona en yakın mobiller, ona uzak mobillerden

daha önce işareti alıp cevaplayacaktır. GSM’de bir hücre maksimum 35 km genişleyebilir. Bu durumda bir işaretin sınırdaki mobile gidip gelmesi için geçen süre 0.23 ms olur. Bu uzunluktaki bir koruma periyodu her bir zaman dilimi için sağlanmalıdır. Bu da verimli bir yol değildir. GSM, mobili baz istasyona eşleştirmek için iletilen ileri referansta mobili ayarlayarak bu problemin üstesinden gelir. Bu da koruma periyodunu 0.03 ms’ye ya da 8.25 bit’e düşürür.

3.8 Modülasyon

GSM’de kullanılan modülasyon Gauss en az kaymalı anahtarlama (GMSK) modülasyonudur ve band genişliği veri hızı çarpanı 0.3’tür.[5]

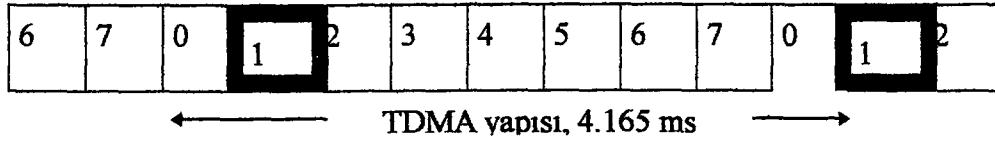
3.9 Uzun yol ve Eşitleme

GSM frekans bandında, radyo dalgaları coğrafi yapıdan çok iyi kırılmaz ve mobil yada baz istasyona gönderildiğinde pek çok gölge alan oluşur. Bu, binalar, tepeler, yüksek kasalı araçlar vb. şeylerden yansıyan işaretlere bağlıdır. Aynı noktaya birçok farklı yansımış işaret gelebilir. Direkt bir yol olsa da, bu işaret iyi bir şekilde alınan güçlü yansımalarından ayırt edilemez. Yansımalarından gelen işaretlerin radyo yolu, doğrudan gelen işaret radyo yolundan uzundur ve GSM bit hızında yol işaretindeki fark birkaç periyoda eşit olabilir mesela 6.6 gibi. Alınan bileşik işaret ciddi bir şekilde bozulabilir.

Bu gün radyo sistemlerinde, çoklu yol gecikmelerine göre beklenen en uzun bit oranı seçilerek, bu çoklu yol etkisi halledildi. Buna rağmen eşitleme ciddi çoklu yol bozulmalarına rağmen istenen işareti tekrar elde edebilen bir tekniktir. Bugün 50.000 çok büyük ölçekli tümleştirme (VLSI) tekniğiyle üretilen cihazlar nadir değildir ve eşitleme her ne kadar karmaşık olsa da tek bir tipe indirgenmiştir. yani spektral verimlilikte sonuç alan bir düzeltmeyle daha yüksek veri hızı kullanılabilir.

3.10 TDMA Yapısı

GSM 200 kHz'lik kanallara ayrılmıştır. Her bir frekans kanalı 8 farklı zaman dilimine bölünmüştür. Bu dilimlerden her biri bir kullanıcıya tahsis edilir. Bu zaman dilimine bir *TDMA yapısı* denir (bkz. şekil) ve tek bir frekansı kullanan tüm aboneler bu yapıyı -sırasıyla- paylaşır.



Şekil 3.6 TDMA yapısı

Bir mobil için, mesela 2 nolu zaman dilimi tahsis edilmişse, onun kullandığı cihazın vericisi sadece bu dilimde aktif olur ve işaretini gönderir, diğer 7 dilim boyunca verici boşa bekler. Mobilin düzenli ve periyodik olarak vericisini açıp kapamasına *Bloking* denir. Bir mobilin busrt'üne denk olan zaman dilimi boyu $577 \mu\text{s}$ 'dir ve TDMA yapısının boyu 4.615 ms 'dir. ($8 * 577 \mu\text{s} = 4.615 \text{ ms}$)

Bir TDMA kanalı için 200 kHz ayrılmıştı. Bu durumda bir kullanıcıya $200 \text{ kHz} / 8 = 25 \text{ kHz}$ düşecek demektir. Keza bir TDMA yapısının 4.615 ms olması, bir mobilin anahtarlama hızının $1 / 4.615 \text{ ms} = 216.6 \text{ Hz}$ demektir. Bu insanın duyabileceği bir frekanstır. Bu frekansın bir çok etkisi olabilir. Mesela otomobillerin elektronik devrelerini etkileyebilir. Yine mobil cihazın bazen güçlü yayın yapmak zorunda kalmasının da bir takım yan etkileri olmaktadır. Bu nedenle otomobil de kullanılan telefon antenlerinin harici olması tavsiye edilir.

3.10.1 Zaman Bölmeli Çoğullama (TDD)

TDMA tekniğinde işareti aynı anda hem almak hem de vermek gerekmez. GSM sisteminin avantajını artırmak için TDD kullanılır. Böylece ses vs. işareti varken yayın yapılır ve kabul edilir. Böyle bir

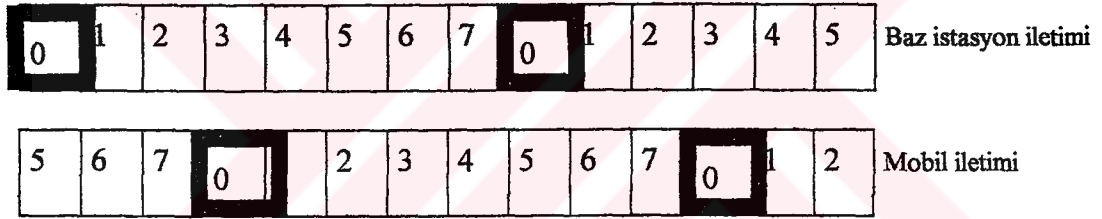
veri işaretinin olmadığı durumlarda hiç bir işlem yapılmaz. Bunun sağladığı avantajlar;

1) Aynı anda hem konuşan kişinin sesini alacak hem de karşı tarafın sesini alacak, bunları uygun katlara ayrı ayrı gönderecek bir çoğullayıcı (duplexer) gerekmez. Bunun yerine hızlı anahtarlamalı sentezci, RF filtre yolları, hızlı anten anahtarları yeterlidir.

2) Pil ömrünü artırır, ağırlığını azaltır.

3) Ses kalitesini artırır ve telefon maliyetini azaltır.

Bu nedenlerle baz istasyonla mobil istasyonun zaman diliminin aynı anda olmaması gerekir, aralarında 3 dilim fark vardır. (bkz. şekil) Böylece fazla bir zahmete girmeden mobil cihaz baz istasyondan 3 dilim sonra 1 dilimlik ilettime geçecektir.



Şekil 3.6 GSM'de zaman bölmeli çoğullama

4. PROPOGASYON

Her hangi bir hücrese radyo servisinin en temel ögesi yayın propogasyonudur. Propogasyonu etkileyen faktörler;

1. Genel mesafe
2. Gerçek propogasyon
3. Uzun yol mesafesi

Bir hücrese ağdaki herhangi bir hücre kendisi ve çevresindeki hücreler için bu üç konuyu çözümlemesi gerekir.

4.1 Ortalama İşaret Etkisi

Boş uzayda, konuma uygun şekilde yayın işaret genlikleri (ortalama taşıyıcı zarf seviyesi) ters uzaklıkla ve daha yüksek frekans, daha fazla zayıflamayla orantılıdır. Bu radyo işaret seviyesi gözlem yerinin vericiden uzaklığına (d), alınan güce (dBm desibel miliwatt seviyesinde) bağlıdır. Verici gücü (P_T) kaybı, zamanla alıcıya ulaşır ve oluşan farka propogasyon kaybı (L (dB)) denir.

$$L=32+20\log f_{\text{MHz}}+20\log d_{\text{KM}} \quad (\text{dB}) \quad (4.1)$$

Burada f_{MHz} radyo işaretin MHz biriminden yayın frekansı, d_{KM} ölçüm noktasının vericiye KM uzaklığı. Abonelerin karasal ortamda olduğu ve radyo dalgaların arazi yapısından yansıdığı dikkate alındığında, bu propogasyon kanunu biraz değişir. Baz istasyonun yüksekliği (h_T) ve mobil cihazın yüksekliği (h_R)de hesaba katılır (bkz. Bölüm 4.2.3);

$$L=40\log d_M-20\log h_{ThR} \quad (\text{dB}) \quad (4.2)$$

Bu eşitlik, yönsüz baz istasyon antenli bir hücrenin tasarım hesaplarına olanak verir ve burada, görüldüğü gibi, frekans eşitlikte yoktur. Teorik maksimum mesafe (R_{\max}), propogasyon kaybından (dB) dolayı küçük baz istasyon verici gücünün d mesafedeki toplam alınan gürültüye eşit olduğuzamanki mesafedir. Bu durumda taşıyıcı gürültü oranı $C/N=0$ dB olur. Ancak pratikte oran $C/N=10$ dB alınır.

4.2 Gerçek Propogasyon

Geniş yayın hücrelerinde, uzun yol üzerindeki coğrafi yapının etkileri de hesaba katılmalıdır. Bunlar;

1. Yüzey düzensizliği
2. Engellerin dış hatları
3. Binalar ve ağaçlar
4. Dağlık araziler

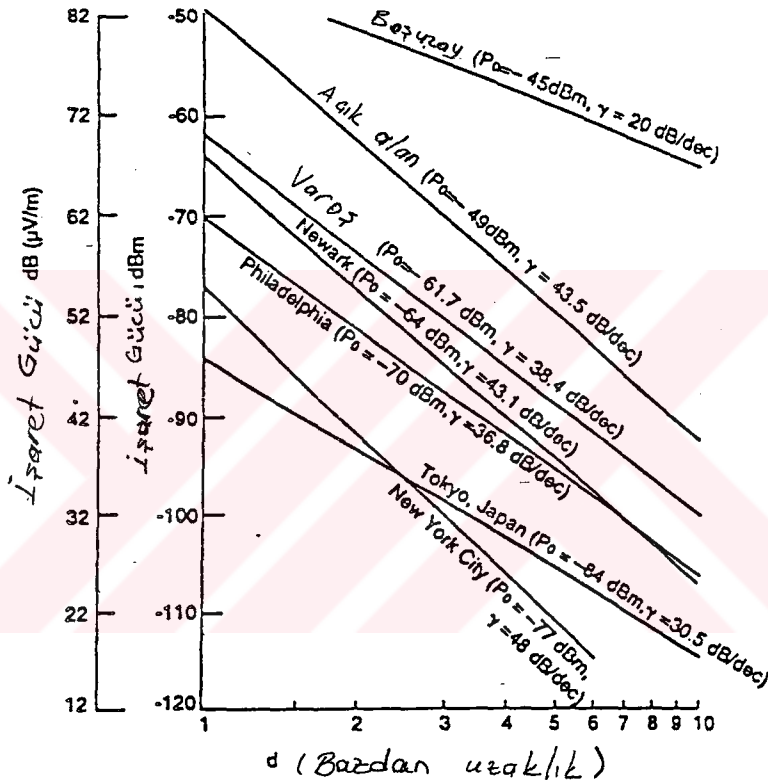
Bu etkenleri de hesaba kattığımızda, ortalama pratik kayıp faktörü (β) de eklenir ve eşitlik;

$$L=40\log d_M-20\log h_{ThR}+\beta \quad (\text{dB}) \quad (4.3)$$

şeklini alır. Gözlemlere göre frekans artıkça radyo kaplaması azalmıştır. β tüm coğrafi ve kentsel etkilerden etkilenen bir sabittir.

Pratik ölçülen işaret verileri, sadece düzlemsel yer denklemleri ve bulunan farkla önceden bildirilen verilerle karşılaştırılır. Bu model düzlemsel yer eşitliği artı bir karşılık farkı oluşturur

CCIR'ın kentsel alan için deneysel formu vardır. Deneysel bir diyagram için bakınız şekil 4.1. Diyagramda -107 dBm ($1\mu\text{V}/\text{m}$) eşik hattı çizilerek hücrenin R_{max} 'ı belirlenir. Hücre çapı belirlenirken işaret gücünün -107 dBm'e düştüğü yer R_{max} olur. Bu nedenle incelenen bölgenin işaret gücü yol diyagramında -107 dBm'e karşılık gelen uzaklık R_{max} 'tır. Şekilde γ işaret gücü-mesafe eğimi, P_0 alıcı cihazın alabileceği maksimum güçtür.



Şekil 4.1 Bir deneysel propogasyon yol kayıpları diyagramı

4.2.1 Uzun yol Propogasyonu

Uzun yol durumu, radyo yolu boyunca binalar, ağaçlar ve diğer engellerden dalgalar saçılır ve yansır. Bu ortalama işaret seviyesinin değişmesine neden olur. Mobil alıcıya bazı dalgalar doğrudan gelirken bazıları da çeşitli varlıklara çarparak, yansiyarak gelir. Yansiyarak gelen dalgaların yolu uzayacağı için doğrudan gelen dalgaya göre daha uzun sürede alıcıya

ulaşır. Radyo dalgaları mobil cihaza farklı açılardan, farklı gecikmelerle gelir.

Uzun yol işaret zarfı Rayleigh dağılım fonksiyonu olarak adlandırılan genliğin dağılım fonksiyonu ile karakterize edilir. Rayleigh sönümünden kaastedilen işaretle ani dalgalanmalara yol açan rastsal faz kaymalarıdır. [5]

4.2.2 Boş-Uzay İletim Kaybı

P_t watt güçlü bir verici tarafından beslenen bir izotropik kaynak düşünelim. Keyfi olarak, kaynaktan çok uzakta (r), ışyan güç bu r yarıçaplı bir silindirin yüzey alanı üzerinde üniform olarak dağılır. Işıtııcının kayıpsız olduğu varsayılarak r uzaklıktaki güç yoğunluğu S_r ;

$$S_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.4)$$

Kaynaktan r uzaklıktaki bir alıcı anten, efektif açıklığı A_e ile orantılı bir miktarda güç çekecektir. Antenle empedans uyumlu bir alıcının aldığı güç;

$$P_r = \frac{P_t \cdot A_e}{4\pi r^2} \quad (\text{W}) \quad (4.5)$$

Diğer taraftan bir antenin kazancı; antenin efektif açıklığı A_e ile elektromagnetik alanın dalga boyu λ 'ya bağlıdır;

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e \quad (4.6)$$

Bu durumda G_r anten kazançlı alıcıdan çekilen güç

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_r}{\left[4\pi \left(\frac{r}{\lambda}\right)\right]^2} \quad (W) \quad (4.7)$$

Verici anten kazancı G_t 'yi de hesaba katmak gerekir;

$$P_r = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r}{\left[4\pi \left(\frac{r}{\lambda}\right)\right]^2} = \frac{(ERP_t) \cdot G_r}{L_{fs}} \quad (W) \quad (4.8)$$

Burada ERP_t : Vericiden ışıyan efektif güç,

L_{fs} : Boş-uzay yol kaybı olup;

$$L_{fs} = 20 \log \frac{4\pi r}{\lambda} = 20 \log (f_{MHz}) + 20 \log (r_{km}) + 32,4 \quad (dB) \quad (6)$$

Bu eşitlikler yakın mesafeler için uygulanamaz. Bu eşitliklerin uygulanabilmesi için verici ve alıcı arası uzaklığın anten çapı veya boyu d cinsinden en az $r \geq$

$\frac{2d^2}{\lambda}$ olması gerekir. Bu kriter, $\lambda/16$ dalga boyu açıklık üzerindeki faz farkı ($22,5^\circ$) sınırlanmasına bağlıdır.

2.2 Kazanç Birimi

Anten kazanç birimi dBi'dir. Yani anten bir izotropik antene referanslı olmasıdır. FCC standartlarına göre referans anten kazancı yarım-dalga dipoldür. Böyle bir anten izotrop üzerinde 2.15 dB kazançla sahiptir. Böylece bir alıcı ve bir verici için dBd kazanç birimi kullanılarak alıcı ve verici iki anten incelendiğinden, yol kaybı 4.30 dB azalır.

2.3 Geleneksel Anten Terminolojisi

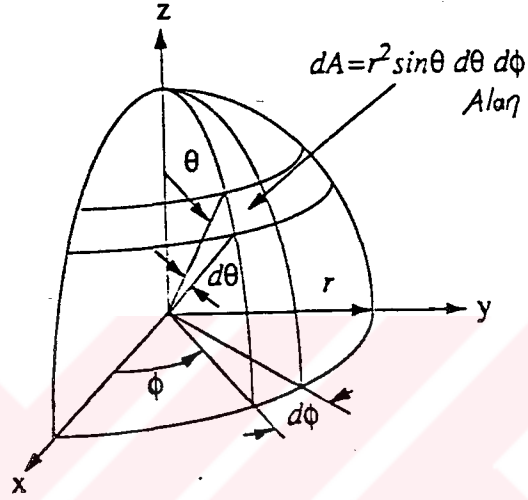
Kayıplı bir izotropik kaynağa referanslı bir antenin kazancı, yönlendiriciliğinin (D) verimliliği (k) ile çarpımıdır.

$$G=k \times D \quad (4.9)$$

Burada kazanç G maksimum ana-ışın demetindeki maksimum değerdir.

Herhangi bir açıdaki kazanç, normalleştirilmiş güç diyagramının G ile çarpımıyla bulunur. Normalleştirme işlemi fonksiyonu, fonksiyonun maksimum değerine bölerek elde edildiği için, anten verimliliği 0-1 arasında değişir ve antende omik kayıp yapar. k efektif anten açıklığının (A_e) maksimum anten açıklığına (A_{max}) oranına eşittir. ($k=A_e/A_{max}$)

Yönlendiricilik, maksimum ışımaya yoğunluğunun (birim açıya düşen güç, S_{\max}) ortalama ışımaya yoğunluğuna oranı; ya da antenden bazı uzaklıklardaki maksimum ortalama poynting vektör büyüklüğü oranına (watt/alan) eşittir.

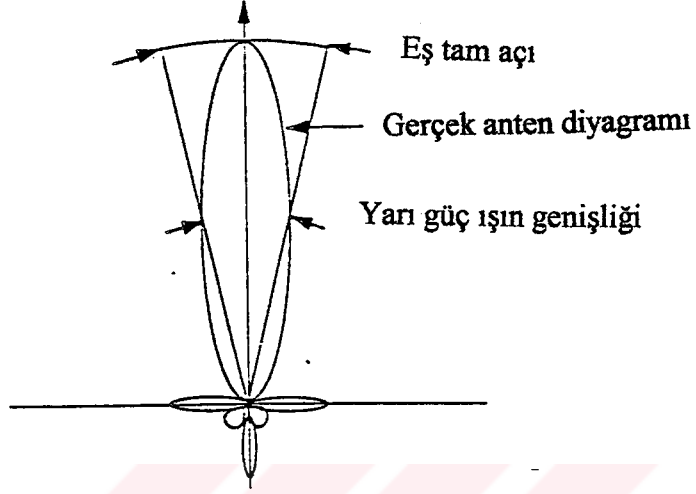


Şekil 4.2 Küresel ko-ordinat sistemi

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{s(\theta, \phi)_{\max}}{S_{\text{av}}} = \frac{s(\theta, \phi)_{\max}}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} s(\theta, \phi) d\Omega} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{s(\theta, \phi)}{s(\theta, \phi)_{\max}} d\Omega} = \frac{1}{\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad (4.10)
 \end{aligned}$$

P_n = normalleştirilmiş güç diyagramı

Ω_A , $\text{sr}(=3282.80644 \text{ derece}^2)$ ışın katı açısı ve $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$



Şekil 4.3 Bir antenin simetrik güç diyagramı kesiti

Bir yaklaşım yapabilmek için, her iki düzlemde ((z-x), (x-y)) ana demet ışın genişliğinin -3 dB daha düşüğünü (ışın gücünün yarı güç değerinde olduğu yer) ışın katı açısı almaktır. Yönlendiricilik yaklaşık olarak,

$$D \approx \frac{4\pi}{\theta_{-3\text{dB}} \cdot \phi_{-3\text{dB}}} \approx \frac{41000}{\theta^{\circ}_{-3\text{dB}} \cdot \phi^{\circ}_{-3\text{dB}}} \quad (4.11)$$

olur. (bkz. Bölüm 5.2.1)

4.2.3 Alan şiddeti

FCC standartlarında güç yerine $\mu\text{V}/\text{m}$ biriminde alan şiddeti kullanılır. Bir metredeki rms alan şiddeti E olan, hareket halinde düzlemsel bir dalga düşünelim. Z_0 boş uzaydaki insintric empedansı ve $Z_0 \cong 377 \Omega$ iken ortalama güç yoğunluğu S_{av} , $S_{av} = \frac{E^2}{Z_0}$ olur. Sinüsoidal akım dağılımlı bir lineer yarım dalga dipolün maksimum efektif açıklığı 0.13 dalga boyu karesidir. ($=0.13\lambda^2$) ve dalgaboyu $300/f_{\text{MHz}}$ (m)'dir. Böylece uyumlu bir yüke verilen güç;

$$P = \frac{E^2}{377} \times 0,13 \left(\frac{300}{f_{\text{MHz}}} \right)^2 \quad (\text{W}) \quad (4.12)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{dBm}} &= 10 \log(P) + 30 \quad (\text{dBm}) \\ &= 20 \log(E_{\mu\text{V}/\text{m}}) - 75 - 20 \log(f_{\text{MHz}}) \\ &= P_{\text{dB}\mu} - 75 - 20 \log(f_{\text{MHz}}) \end{aligned} \quad (4.13)$$

Burada $\text{dB}\mu$ bir metredeki $1 \mu\text{V}$ 'un sağladığı alan şiddetinin dB değeridir. 50Ω 'luk dipol antende -107 dBm 'e eşit olan ve anlamına gelen *rms gerilimi $1 \mu\text{V}$ 'un karşılığı anlamına gelmez.*

İletim Kayıp Bağlılıkları

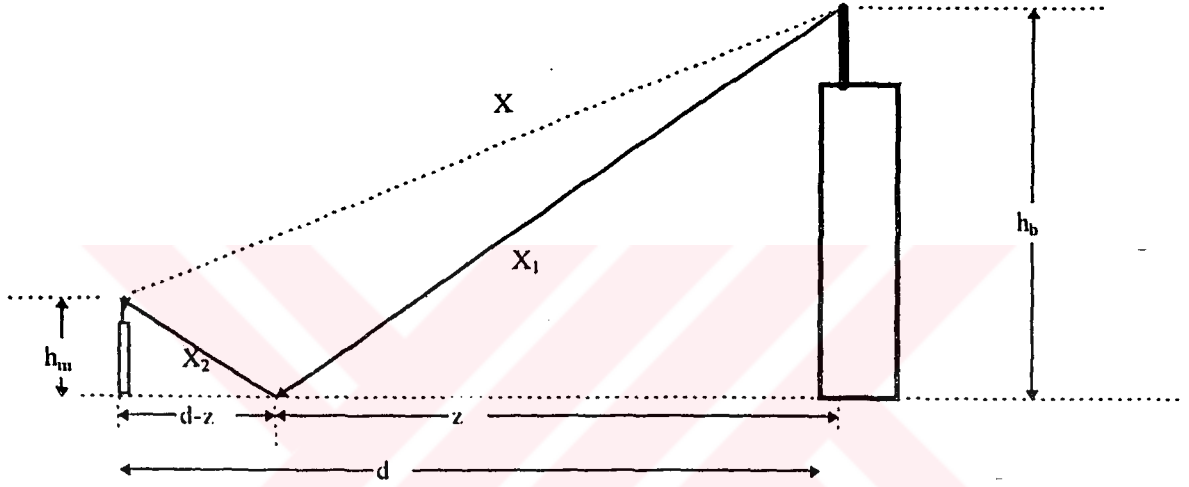
Bir antene vericiden sadece direkt dalgalar gelmez, aynı zamanda yansıyan dalgalar da gelir. Yerin yansıtma katsayısı R , gelen dalganın açısı θ 'ya, dalganın kutuplamasına ve yerin karakteristiğine bağlıdır.

ϵ , boş uzaya bağlı olarak yerin dielektrik sabitine,

σ , yerin 1 metredeki iletkenliği (U mho)'na ,

λ , dalgaboyuna eşittir. Bu durumda;

$$Z = \sqrt{\frac{(\epsilon^2 - j60\sigma\lambda)\cos^2\theta}{\epsilon - j60\sigma\lambda}} \quad (\text{yatay kutuplama için})$$



Şekil 4.4 Bir yer düzleminde prropogasyon yolu

$$R = \frac{\sin\theta - z}{\sin\theta + z} \quad (4.14)$$

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{\left[4\pi\left(\frac{d}{\lambda}\right)\right]^2} \left[1 + Re^{j\delta} + (1-R)Ae^{j\delta} + \dots\right]^2 \quad (4.15)$$

4.15 eşitliğinde prantez içindeki ilk terim antene direkt gelen dalga, ikinci terim R yansıtma katsayılı bir zeminden yansiyarak gelen dalga, üçüncü terim yüzey dalgaları ifadesidir. Şekil 4.4 'de direkt yol ile yansıyan yolu arasın-

daki faz farkı δ ile gösterilir. δ 'yı şöyle bulabiliriz; Pisagor teoreminden antene direkt gelen dalga yolu $x = \sqrt{d^2 + (h_b - h_m)^2}$ bulunur. d verici-alıcı anten arası mesafe, h_b baz istasyon anten yüksekliği, h_m mobil istasyon anten yüksekliği, θ yansıma açısı z yansıma noktasının baz istasyona uzaklığıdır. Faz biriminden (yani λ uzaklığı için 2π radyan) değeri x_p ;

$$x_p = \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{1 + \left(\frac{h_b - h_m}{d}\right)^2} \quad (4.16)$$

yazılır. Yansıyan dalganın aldığı yol X_r ise,

$$\begin{aligned} x_r &= x_1 + x_2 \\ &= \sqrt{h_b^2 + z^2} + \sqrt{h_m^2 + (d - z)^2} \end{aligned} \quad (4.17)$$

$$\tan\theta = \frac{h_b}{z} = \frac{h_m}{(d - z)} \text{ olduğu için, } z\text{'yi } d \text{ cinsinden çözebiliriz: } z = \frac{dh_b}{(h_m + h_b)}: \text{ Bu}$$

durumda yansıyan yolun faz biriminden değeri

$$x_{rp} = \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{1 + \left(\frac{h_b + h_m}{d}\right)^2} \quad (4.18)$$

$$\text{ve } \delta = x_{rp} - x_p = \frac{2\pi d}{\lambda} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{h_b + h_m}{d}\right)^2} - \sqrt{1 + \frac{h_b - h_m}{d}} \right] \quad (4.19)$$

Bu ifadeyi d mesafesinin anten yüksekliklerinin toplamından bir ihmal yapacak kadar büyük olduğu durumlar için tekrar düzenlersek bu durumda direkt gelen dal-

gayla yansiyarak gelen dalga arasındaki açı α da çok küçülecektir. Büyük anten aralıkları için Taylor serisine açıp söz konusu ihmal yaparsak ;

$$\delta \approx \frac{4\pi h_b h_m}{\lambda d} \quad (4.20)$$

bulunabilir. $e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\sin\alpha$, $d \gg h_b + h_m$ için α çok küçülecek ve küçük α 'lar için $\sin\alpha = \alpha$, $\cos\alpha = 1$ olur. Alıcıya doğrudan ve yansiyarak gelen dalgalar için 4.15 eşitliği;

$$P_r \approx \frac{P_t G_t G_r}{\left(4\pi \left(\frac{d}{\lambda}\right)\right)^2} [1 + R e^{j\gamma}]^2 \quad (4.21)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlik;

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{\left(4\pi \left(\frac{d}{\lambda}\right)\right)^2} [1 + R \cos\alpha + jR \sin\alpha]^2 \quad (4.23)$$

Bu eşitliğe yukardaki koşulları uygulayarak;

$$P_r \approx \frac{P_t G_t G_r}{\left(4\pi \left(\frac{d}{\lambda}\right)\right)^2} [1 + R + jR\gamma]^2 \quad (4.24)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Sınır koşulları uygulanarak çok küçük α açıları için $R \approx -1$ bulunur. Bu durumda

$$P_r \approx \frac{P_t G_t G_r}{\left(4\pi \frac{d}{\lambda}\right)^2} [-j\gamma]^2 \approx \frac{P_t G_t G_r}{\left(4\pi \frac{d}{\lambda}\right)^2} \gamma^2 \quad (4.25)$$

eşitliğe 4.20 eşitliğini koyarak

$$P_r \approx P_t G_t G_r \left[\frac{h_b h_m}{d^2} \right]^2 \quad (4.26)$$

şeklinde ele edebiliriz. [37]

4.3 Kara Mobil Propogasyonunun Temelleri Ve Öncelikli Modelleri

Bir mobil çevrede radyo dalgaları propogasyon mekanizması tasarımının hayati bir safhasıdır.

4.3.1 Kara Mobil Haberleşmesinde Propogasyon Problemleri

Bir mobil radyo çevresinde beş temel etken vardır.

- Düz zemin, tepeler, dağ, su, vadi ve göl gibi doğal arazi konfigürasyonu
- Açık alanlar, kenar mahalle ve kentsel alanlar ve büyük şehir alanları gibi insan yapısı alanlar

- Otomotiv ateşleme gürültüsü ve makina gürültüsü gibi insan yapısı gürültüler

- Mobil ve portatif birimlerin hareketliliğiyle oluşan ortam hareketi

- Frekans-seçmeli zayıflama ve ayrık zaman gecikmesine neden olan dağılım

Ortamı

Antenler yere yakın olduğu için bu beş etken önemlidir. Mobil antenin yerden 1.5-3m yükseklikte olması durumunda, mobil birimden alınan işaret, bir doğrudan yol işareti ile yere yakınlıktan kaynaklanan güçlü bir yansımış dalgayı içerir. Bu, mobilde aşırı yol kaybıyla sonuçlanır. Keza antenler insan yapısı yapılara ve gürültü kaynaklarına da yakın olduğu için, yol kayıpları, çoklu yol zayıflaması ve girişim gibi etkiler artacaktır.

4.3.2 Propogasyon Modelleri ve Alan şiddeti

4.3.2.1 İki tip propogasyon modeli vardır.

1) Propogasyonu önceden bildirme

2) Çoklu-yol zayıflama modeli

Propogasyonu önceden bildirme modeli, ortalama alan şiddeti (yerel ortalama) ve önceden bildirmeye dayanır ve farklı coğrafi alanlarda bir mobil radyo haberleşmesi tasarlamak için kullanılabilir bir aygıt gibidir. İstasyon anten yüksekliği, kazanç ve yönlendiriciliği modelde büyük rol oynar. Çoklu-yol zayıflama modeli, çoklu-yol dalga gelişiminin doğal rasgeleliğinden türetilir. Model, alanda anlık alan kuvvetlerinin davranışı önceden bildirilebilir.

4.3.3 Propogasyonu Önceden Bildirme Modelleri

4.3.3.1 Önceden Bildirme Modelinin Önemi

Önceden bildirme modeli insan gücünü, maliyeti ve zamanı korur. Bir alanda bir hücreli sistem tasarlamadan önce kaplama için baz istasyon yerinin seçimi büyük bir önem taşır. Önceden gösterme araçları olmadan, uygulanabilecek tek yol gerçek testlerle kes ve dene yöntemini kullanmaktır. Bu yöntem, her bir alana önerilen baz istasyon konumlarının kaplamasının ölçerek en uygun olanını seçmektir.

Doğru bir kestirim aracıyla ve bilgisayar yönlendirmesiyle, bilgisayar çıktılarından önerilen tüm kaplama planlarının performansını karşılaştırıldıktan ve değerlendirildikten sonra, hücre site ve baz istasyonlarının konumu belirlenebilir.. Sonuçlanabilir bir doğru önerme modeli bir mobil radyo çevresinde ölçmeyle bulunur ve seçilir.

4.3.3.2 Mobil Radyoda Doğru Modeli Seçmek İçin Gerekenler

Bir Mobil Radyo Önerme Modeli düz alanlar, tepelik alanlar ve vadiler gibi işaretin yansımalarına neden olan değişik doğal arazi yapıları ayırabilmelidir. Keza, açık, kenar mahalle, kent, büyük şehir alanları gibi işareti yansıtan sonuçlar veren değişik insan yapısı çevreleri de ayırabilmelidir. İnsan yapısı yapılar, farklı şehirlerde farklıdır., böylece, ilgilenilen bir şehirde alınan işaret gücünü önceden bildirmek herhangi bir yapıdaki bir veya birçok başka şehirlerden toplanan ve ortalaması alınan ölçülmüş verileri kullanamaz . Bir mobil çevrede radyo işareti propogasyonu, genellikle dalga propogasyon teorisini izler, fakat çevre kaynaklı birçok değişken gerekir. Bir istatistiki metodoloji, kestirim aracını tanımlamak için gereklidir.

İyi bir model, kullanımda basit olmalı, çok şeffaf özelleştirilebilmeli ve kullanıcıya aynı alanda kestirilmiş farklı değerleri açıklayabilen herhangi bir nesnel hüküm ya da yorumlar sunmalıdır. Dalga propogasyonu teorisinde fiziksel etkinin özelliklerini ekleme sebebini tam olarak açıklayabilmelidir.

4.3.3.3 Boş Uzay Yol Kayıp Formülü (BUYK=FSPL)

Dalga boyu λ için;

$$\text{BUYK} = -10 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) \text{ (dB) 'dir} \quad (4.27)$$

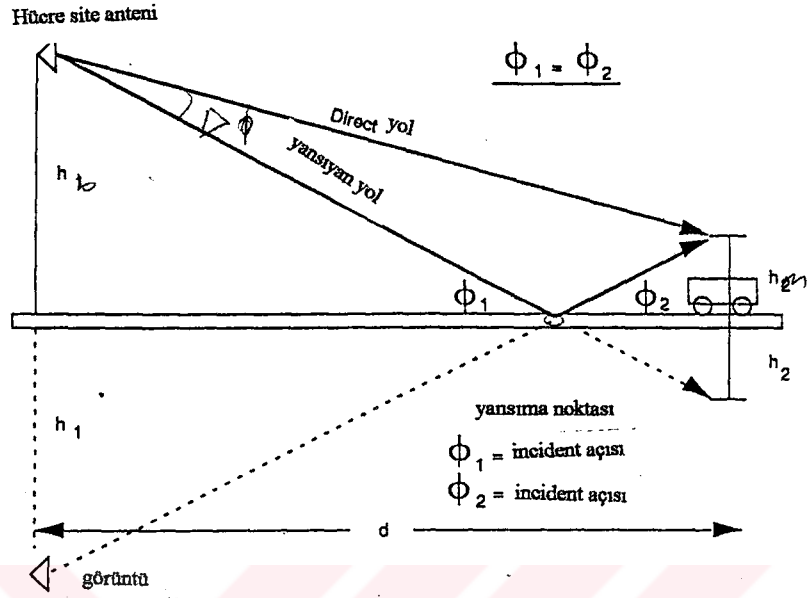
BUYK R uzaklığındaki bulunabilecek en az kayıptır. BUYK'u belirlemek için alıcı ve verici antenler yer yüzeyinden ya da saçılma etkisine sahip yüzeylerden çok yukarıya yerleştirilir. Böylece yerden ve seçicilerden gelen yansıyan dalgalar çok zayıflar ve ihmal edilir.

4.3.3.4 Resiprokluk Teorisi:

Eğer verici anten alıcı ve alıcı anten verici yapılırsa verilen aynı verici gücü ve uyum koşullarında alınan anten gücü eşittir. Buna **Resiprokluk Teorisi** denir. Fakat alınan taşıyıcı girişim aramı CIR eşit değildir. Çünkü girişim seviyesi I, mobil cihazda ve baz istasyonda farklıdır.

4.3.4 Düz Bir Zeminde İki Dalga Teorisi Formülü

Çevresel faktörleride ekleyerek Bölüm 4.2.3'teki çıkarımları başka yoldanda elde edebiliriz. Şekil 4.5'ten de görüleceği üzere mobil antende alınan güç, direkt yoldan gelen ve bir yansıyan yoldan yansıyan dalgayı toplayarak bulunur. (bkz. Bölüm 4.2.3) P_t vericiden çıkan güç, G_t hücre-site anten kazancı, G_m mobil anten kazancı, α_e : farklı insan yapısı çevrelerdeki propogasyona bağlı uygulama kaybı, θ_{r0} , yansıma katsayısı = -1 (yansıma açısı çok küçük). [7]



Şekil 4.5 Bir yer düzleminde prropogasyon yolu

β : Dalga sayısı, $\Delta\phi$: Bir direkt yolla yansıyan yol arasındaki faz farkı.

$$P_0 = P_t \cdot G_t \cdot G_m \cdot \alpha_e \quad (4.28)$$

$$P_r = P_0 \left(\frac{1}{4\pi d / \lambda} \right) \left| 1 + a_m e^{j\Delta\phi} \right| \quad (4.29)$$

$$\Delta\phi = \beta \Delta d \quad (4.30)$$

$\Delta\phi$: Direk yolla-yansıyan yol arasındaki yol farkı

$\Delta\phi$ çok küçük olur ve $\sin(\Delta\phi) \cong \Delta\phi$ ve $\cos \Delta\phi \cong 1$ olur. Bu durumda

$$e^{j\Delta\phi} = 1 + J\Delta\phi = 1 + J\beta\Delta d \quad (4.31)$$

$$P_r = P_0 \frac{h_1^2 \cdot h_2^2}{d^4} \quad (4.32)$$

4.28 eşitliği farklı insan yapısı çevrelerdeki propogasyona bağlı uygulama kaybı α_e ni içeriyor. Bu durumda 4.32 eşitliği 4.26 eşitliğine Bölüm 4.2'de adı geçen çevresel faktörlerin eklenmesidir. Bu formüle göre yaklaşık olarak, yol kaybı için 40 dB/dec olur ve ilgilenilen h_b , h_m ve d değerleri Hücre-site anten yükseklik kazancı için 6dB/oct olan ölçümlerle aynıdır. Bu ölçümler mobil anten yüksekliği 3 m'ye yakın olması durumunda mobil birim anten kazancı için 3dB değeri alması için yapılan ölçümlerdir[3]

Mobil antenin yere yakın olması, yansıyarak mobile ulaşan dalganın da yansıma açısının çok küçük olmasına neden olur ve yansıma katsayısı = -1 olur. Yani, direkt ve yansıyan dalgalar yaklaşık aynı işaret gücündedir. Fakat elektromagnetik dalgaların özellikleri nedeniyle her zaman yansıyan dalga yerden yansıdıktan sonra 180° faz kaymasına sahiptir. Bu nedenle iki dalga toplanmaz, çıkarılır. 4.1 eşitliğine göre boş-uzay yol kaybının eğimi 20 dB/dec'tir. İki dalganın farklı yol uzunluklarına bağlı hafif bir faz farkı ve bir tek dalga yoluna bağlı, 20dB/dec' lik boş uzay kaybıyla karşılaştırılırsa bu 40 dB'lik bir kayıptır. ve 4.2 eşitliğini sağlamaktadır.

4.4 Önerilen Bazı Modeller:

4.4.1 Yol Kaybı Kestirme Modelinin Versiyonu Yerel Ortalama Kestirme Modeli

Birçok model, mobilin konumundan baz istasyona ölçülen uzaklığın radyo yoluna bağlı olarak yol kaybını ölçmeden önceden bildirir. Bu modeller için ölçülen

verilerin önceden bildirme hatalarının Standart Sapması yaklaşık 6-18 dB'dir. Bu, nbir hücrel sistem tasarlarkeb, işaret gücünü önceden kestirmek için kullanılan yol kayıp eğrilerini, kullanmanın dikkatsizlik olduğunu gösterir. Başka bir önceden bil-dirme modeli mobil yol boyunca yerel ortalamaları önceden bildirir.

4.4.2 Yol Kaybı Modeli (Japon Okumura Modelidir.)

f_{MHz} : Taşıyıcı frekansı (Mhz)

h_b : Baz istasyon anten yüksekliği (m)

R: Baz istasyon-Mobil uzaklığı (km)

h_m : Mobil anten yüksekliği

L: Baz istasyon- Mobil birim yol kaybı

$$\Delta h_m : (1.1 \log F - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \log F - 0.8) \quad (4.33)$$

$$L = 69.55 + 26.16 \log F - 13.82 \log h_b + (44.9 - 65.5 \log h_b) \log R - \Delta h_m \quad (4.34)$$

Bu form 4.32 eşitliğindeki α_e çevresel faktörünü daha değişik bir şekilde yol kaybı fonksiyonuna katmaktadır. 4.33 eşitliğinden de görüleceği gibi çevresel fak-törler sadece anten yüksekliklerin ve antenler arası uzaklığın üstel bir fonksiyonu o-larak verilmektedir Daha önceki eşitliklerde çevresel etkenler bu parametrelerden bağımsız katsayılar olarak eşitliklere ekleniyordu.

4.4.3 Yerel-Ortalama Kestirim Modeli-(Lee'nin Modeli)

Model, verilen herhangi bir konumda ölçülen yerel ortalamayla karşılaştırır. Yol-kaybı kestiriminden farklıdır. Modelin felsefesi doğal arazi konfigürasyonu ile insan yapısı yapılardan alınan işaretlerin etkisini ayırmaya çalışmaktır.

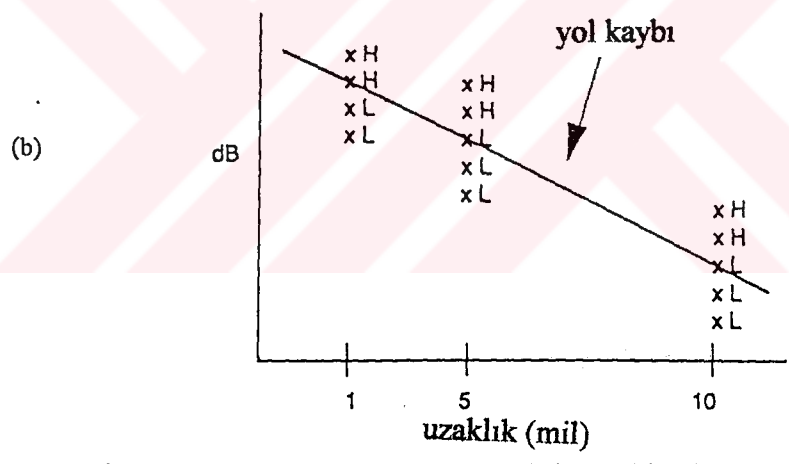
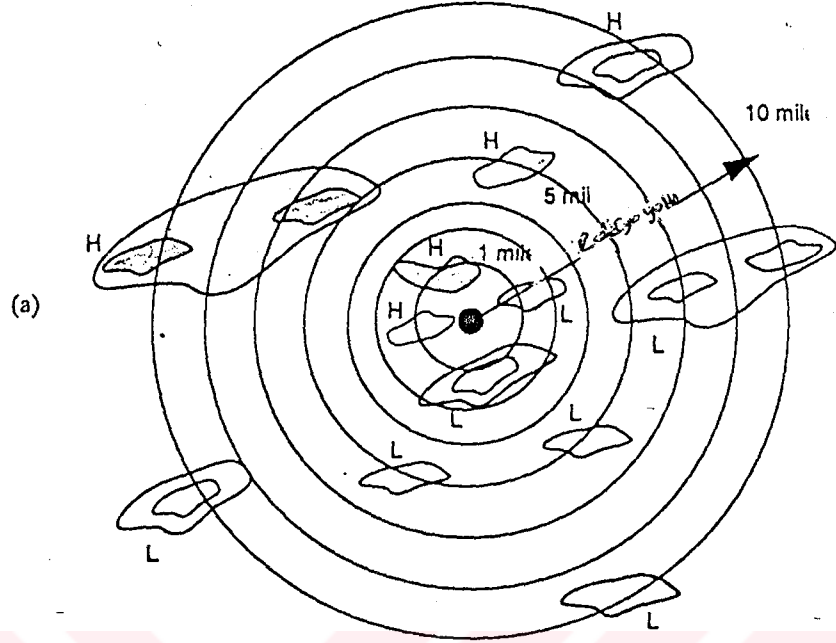
4.4.3.1 Lee'nin Yönteminin Dış Hatları ve Değişik Şekilleri

İnsan Yapısı Yapıların Etkisi

İnsan yapısı yapılarla, arazi konfigürasyonunu ayırmanın yolunu bulmak zorunludur. Bunun için alan düz olmasa da düz kabul edilip alanın yol kayıp eğrisi belirlenir.

Yol kayıp eğrisi sadece insan yapısı yapılara bağlı işaret kaybının etkilerini gösteren önemli derecede düz zeminde belirlenir. Yani, farklı şekilde farklı insan yapısına sahip her bir şehirde, belirlenen farklı yol kaybı vardır. Bunu belirlemek için, yüksek noktalarda ve hücre-sitelerin çevresindeki alçak noktalarda işaret güçlerini ölçmek zorunludur.

Daha sonra ortalama yol kayıpları bulunur. (Şekil 4.6) Yol kayıp eğrilerini belirlemek için başlama noktasından itibaren 1 km'lik veya 1 mil'lik kesitler alınır. Bunun sebepleri:



Arazi yapısı (a) ölçüm alanının seçimi (b) Yol kaybı görüntüsü

Şekil 4.6 Seçilen bir alında yol kaybı hesapları

- Hücre-sitenin bir mil içerisinde birkaç cadde vardır. İstatiki olarak Hücre-site'in bir mil içerisinde toplanan işaret gücü verileri yeterli değil.
- Hücre-site'ye daha yakın olanlarda Radyo yoluna dik caddelerden Radyo yoluna paralel caddeler daha güçlü işaretler olur. Bazen 1 mil çapta 2 dB'lik bir fark

olabilir. Mesafe 1 mil'den uzaklaşınca, görüntüler daha da açıklar. Bu durumda yakın alandaki veriler daha yukarı veya daha aşağı olmaya meyillidir.

- Hücre-sitede baz istasyona yakın alanlardaki bazı nesnelere, yakın alanlardaki işaret gücünü etkileyebilir. Bunları istatistiki olarak hesaba katılmalıdır.

Düz bir alan yol kaybının genel eşitliği;

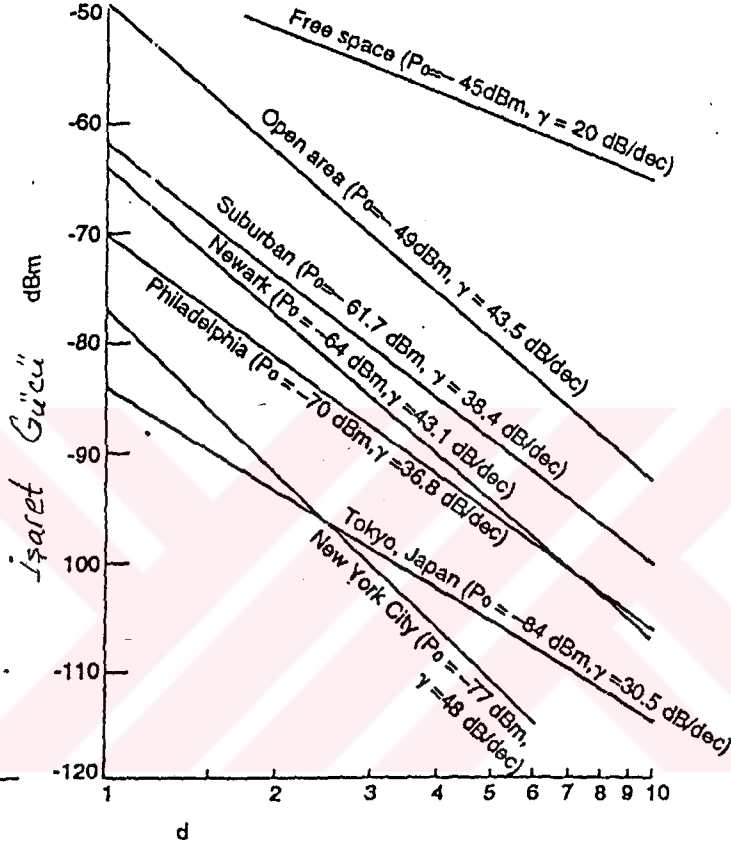
$$P_r = P_{r_0} \cdot \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\gamma} \cdot d_0 \quad (\text{mW}) \quad (4.35)$$

$$= P_{r_0} - 108 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + \alpha_0 \quad \text{dB}_m \quad (4.36)$$

P_{r_0} : d_0 mesafesinde alınan güç (mW) ve d_0 yaklaşık 1 km), γ : Mobil radyo çevresinde yol kaybı eğimi (dB/dec), α : Gerçek koşullar, referans koşullardan farklı olduğu zaman düzeltme faktörü olup

- Baz istasyon anten yüksekliği
- Baz istasyon anten kazancı
- Verici gücü
- Mobil birimde anten yüksekliği
- Mobil birimde anten kazancıyla belirlenir.
- Örnek bir diyagram şekil 4.7'de görülüyor. Şekil farkı sadece insan

yapısı binalarda kaynaklanır. Yol kaybı eğimlerine Düz-Alan Yol Kaybı Eğimi denir. Bu eğriler özel kurallarla ölçülmelidir. [2,5,7]



Şekil 4.7 Ölçülmüş bazı alanların propogasyon verileri

5. ANTEN TASARIMI

5.1 Anten

Anten ışıma diyagramı, kazancı ve yüksekliği hücresel sistem tasarımını etkilemektedir. Anten ışıma diyagramı yönsüz (Omnidirectional; her yönlü), yönlü (belli bir yön) veya dikey yada yatay herhangi bir şekilde olabilir. Anten kazancı verici gücünü etkiler.

Bir mobil birim birçok yapının olduğu binalar arasında gezerse, yönsüz anten(OA) homojen yönsüz ışıma diyagramı veremez. Diğer taraftan bir yönlü antenin boş-uzay ön-arka oranı 20 dB bulunursa bu hücre için 10 dB olacaktır.

- Anten çapı D , ışıyan dalganın dalga boyu λ ise düzlemde yoğunlaşacak 4.11 denkleminde verilen ışıma açısı θ ;

$$\theta = \frac{\lambda}{D} \frac{1}{fD} \quad (5.1)$$

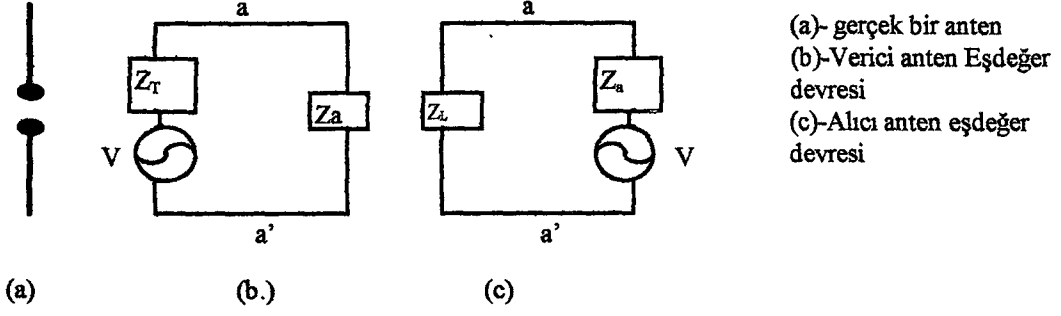
olur. Yani frekans arttıkça antenin yönün belirlemek

5.1.1 Antenin Eş Değer Devresi

Z_a , anten empedansı

Z_L , yük empedansı

Z_T verici terminallerin empedansı



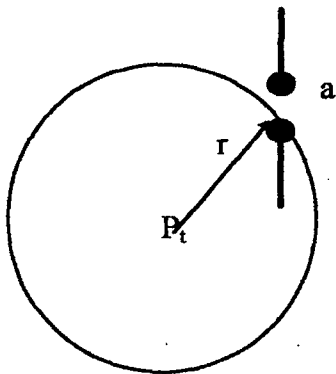
Şekil 5.1 Antenin Eşdeğer Devresi

5.1.2 Vericiden Çıkış

P_t bir verici antenin uzaya yaydığı güç. İzotropik kaynak kullanılıyor ve küresel uzayda birim alana düşen güç ölçülüyor. Güç yoğunluğu Pointing vektörüyle (ρ) gösteriliyor ve magnetik bir enerjinin verilen bir yüzeyden dışa doğru akışını belirtir. Hatırlatma olarak 4.4, 4.5 ve 4.6 denklemleri;

$$\rho = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (5.2)$$

Alıcı antenin açıklığı A ve verici antenden r birim uzaklıktadır. P_t verici güçtür. Bu durumda alıcı antenden alınan güç;



$$P_r = \rho A = A \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (\text{W}) \quad (5.3)$$

Anten Kazancı;

Şekil 5.2 Işıyan bir yayının bir anten tarafından alınması

$$G = \frac{4\pi A}{\lambda^2} \quad (5.4)$$

Boş uzayda küçük bir dipol için kazanç $G=1$ olacağından

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (5.5)$$

olur. Bu durumda boş uzayda r uzaklıktan alınan güç

$$P_r = P_t / (4\pi r / \lambda)^2 \quad (5.6)$$

olur. V antende indüklenen gerilim olduğunda

$$P_r = VI^* = V^2 Z_L / (Z_L + Z_a)^2 \quad (5.7)$$

Maksimum güç transferi için $Z_L = Z_a^*$ ve toplam empedans reel olmalıdır. Bu durumda

$$P_r = V^2 / 4R_L \quad (5.8)$$

olur. V alıcı antende alan kuvveti eş eksenli bölge'nin indüklediği gerilimdir.

$$V = E \lambda / \pi \quad (5.9)$$

$$P_r = E^2 \lambda^2 / 4\pi^2 R_L \quad (5.10)$$

Bu durumda

$$\rho = E^2 / Z_0 \quad (5.11)$$

Z_0 uzayın instrinsic empedansıdır(=120 π)

$$A = Z_0 \lambda^2 / 4\pi^2 R_L \quad [1,7] \quad (5.12)$$

5.2 Kazanç-Diyagram İlişkisi

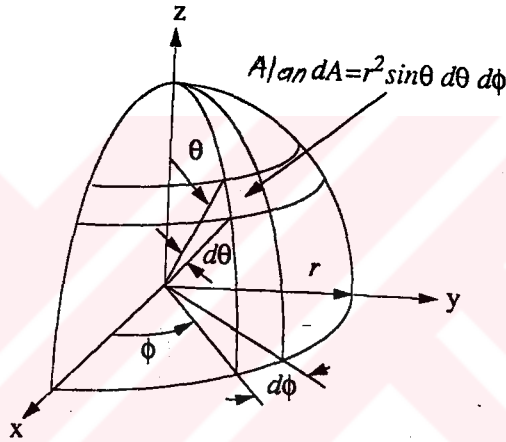
E	Elektrik alan
E_{max}	Maksimum elektrik alan
E^2	Işıma yoğunluğu ortalama E^2 değeri
θ, ϕ	Işıma açıları
N	Eleman sayısı
d	Dalga boyu cinsinden elemanlar arası uzaklık
ψ	Elemanlar arası faz farkı
$\theta=90$	Alan eksenindeki doğrusal-diklik
G	Kazanç
D	Yönlendiricilik iken normalize kazanç;

$$G = \frac{4\pi(\text{maksimum. ışma. yoğunluğu})}{\text{Yayılan. toplam. güç}} = \frac{E_{max}^2(\theta, \phi)}{\overline{E}(\theta, \phi)} \quad (5.13)$$

$$E(\theta, \phi) = \frac{\text{Sin}[N\pi(d\text{Cos}\phi \cdot \text{Sin}\theta + \psi)]}{N\text{Sin}[\pi(d\text{Cos}\phi \cdot \text{Sin}\theta + \psi)]} \quad \text{Bir antenin ışınma diyagramı} \quad (5.14)$$

$$G \cong D = \frac{32.400}{\phi^\circ \theta^\circ} \quad \begin{array}{l} \phi, \theta \ll \\ \phi, \theta \in -3\text{dB} \end{array} \quad (5.15)$$

$$G \cong D = \frac{41.203}{\phi^\circ \theta^\circ} \quad \phi, \theta \gg \quad (.516)$$



Şekil 5.3 Küresel Ko-ordinatlar

Lineer bir anten elemanı kullanılırsa, yine yaklaşık kazanç dikey -3dB ışın genişliğinden saptanabilir. -3dB ışın genişliği θ_0 ile G kazancı arasındaki ilişki

$$G \cong D = \frac{101.5^\circ}{\theta_0} \quad \text{yada} \quad G \cong D = 10 \log \left(\frac{101.5^\circ}{\theta_0} \right) \quad \theta_0 < 40^\circ \quad (5.17)$$

olur.

Lineer alanların birçok uygulaması toplam ve fark diyagramlarına dayanır. Diyagramın ana ışını θ_0 açısında toplam diyagram noktalaması olarak bilinir. Diyagramların farkı ikiz ana ışın (θ_0 Straddling) üretir. Bir alanda deformasyon sertleşmesi aralıklı yerleştirilmiş $2N$ eleman varsa, toplam ve fark için genel diyagram;

$$A(\theta) = \sum_{n=1}^N \left[I_n e^{j \frac{2n-1}{2} \beta d (\cos \theta - \cos \theta_0)} + I_{-n} e^{-j \frac{2n-1}{2} \beta d (\cos \theta - \cos \theta_0)} \right] \quad (5.18)$$

β Dalga sayısı $= 2\pi/\lambda$

I_n Normalleştirilmiş akım dağılımı

N Toplam eleman sayısı

Bir diyagram toplamı için bütün akımların genliği aynıdır.

$$I_n = I_{n-1} \quad (5.19)$$

Bir diyagram farkı için, bir tarafın (toplam elemanların yarısının) akımlarının genliği pozitif, diğer tarafın akımların genliği negatiftir.

$$I_n = -I_{-n} \quad (5.20)$$

Birçok diyagram sentez problemi I_n akım dağılımı saptanarak çözülebilir.

5.3 Mobil Anten Gereksinimleri

Mobil terminalleri genellikle, küçük, hafif, az profilli ve yatay düzlemde yönsüz bir ışına diyagramına sahip olmayı gerektirir. Uygulamada antenler

propogasyon karakteristiklerini kuşatmalı ve hareket halindeyken oluşan mekaniksel ve çevresel zararlara karşı sağlam olmalıdır.

Mobil haberleşmenin ilk yıllarında, whip antenler, monopol antenler, L-şekilli antenler gibi tel antenler kullanılıyordu. Bu antenler aracın veya cihazın üzerine kolayca monte edilebiliyordu.

Mobil haberleşme sistemlerinin devrimiyle, anten teknolojisi de gelişti. Esasları aynı kalsa da, tasarımın şekli değişti. Mesela küçük antenler geliştirildi. Mobil haberleşmede sivil uygulamaların hızla gelişmesi, kişisel terminallerin de kullanımını artırdı. Bu da küçük mobil terminallerin ve küçük ışıma sistemlerinin geliştirilmesini gerektirdi. Daha küçük anten daha az anten verimliliği ve daha az band genişliği demektir. Uygulamada portatif telefon tasarımı, cihazın gövdesini de ısıtıcının bir parçası olarak yapılmalıdır. Çünkü gövdeden akan akımlar ışımayı etkiler. Bir anten sisteminin karakteristiği, sadece boş-uzayda çalışan anten elemanlarının karakteristiğinden farklıdır. Işıma diyagramı cihazın şekline, büyüklüğüne ve antenin cihaz üzerindeki konumuna göre değişir.

Diğer bir durum ise frekans spektrumunun kullanımını artırmak için, benimsenmiş düzenli bölgesel sistemlerde kullanılan antenlerdir. Hücreli mobil sistemlerde baz istasyon antenlerinin ışıma diyagramları her zaman yönsüz değildir. Fakat yatay düzlemde özelleştirilen bölgenin diyagramına uygun, bölgeyi tamamen kaplayan ve dikey düzlemde kanallar arası girişimi azaltacak şekilde aşağıya doğru eğimli tasarlanır.

Bugün mobil haberleşme sistemlerinde kullanılan antenler, sistem performansını artıran yada azaltan kritik elemanlar olarak bilinir. Bu nedenle anten performansı ve karakteristiği araştırılmaktadır, özellikle mobil ortam ve propogasyon koşulları hesaba katılmaktadır.

Baz istasyonlarda kullanılan antenler mobil istasyon antenlerinden farklı bir fonksiyona sahiptir ve farklı ihtiyaçlar için tasarlanır. Baz istasyon anteninin elektriksel performansı ve farklı konfigürasyonu servis alanının büyüklüğüne ve şekline bağlıdır.

Araç telefon sistemlerinde, yaygın olarak sleeve yada monopol anten kullanılır ve arabanın bagaj kapağına veya çatısına monte edilir. Antenler

sürücünün görüşünü bozmayacak şekilde ve aracın gövdesi, antenin ışımaya diyagramını bozmayacak şekilde anten tasarlanır. Başka birçok anten çeşitleri vardır. Mesela yayınları almak için cama basılmış tel antenler gibi geliştirilen ve kullanılan (printed on window) monopol antenler, elektromagnetik kuplajla camdan beslenir.

Portatif radyotelefon, telsiz telefon ve çağrı antenleri kişisel kolaylık ve konfor açısından da önemlidir. Bu nedenle anten boyutları yeterince küçük olmalı ve cihazın içine ya da üzerine monte edilmeli. Bu ihtiyaçları karşılamak için küçük whip, normal modlu heliks ve küçük çevrim vb. antenler kullanılır.

Çevrimli mikroşerit ve PIFA gibi manyetik antenler ihtiyaçları karşılamalı. Böyle bir ışımaya sisteminin ışımaya diyagramları üç boyutlu alınmalı. Bu durumda kutuplaşmalar bileşik olabilir. Bunun yerine, cihazın gövdesinden bir ışımaya yapan dikey bir monopol element kullanıldığında, sadece dikey değil aynı zamanda yatay kutuplama olabilir.

Anten kazancı 3 boyutlu değerlendirilmesi gerekir.

Bir portatif birimin kazancı, verici gücü daha azaltacak ve mümkün olduğu kadar küçük pil kullanacak şekilde olabildiğince yüksek olmalı. Bu cihazın daha küçük ve hafif olmasını sağlar ve pilin şarj olma süresini geciktirir.

Vericinin insan vücuduna çok yakın çalışacağı durumlar için elektromagnetik enerjinin beyin ve göz gibi insan organları üzerindeki etkisi anten tasarımında dikkatli bir şekilde hesaba katılmalıdır.

Pratik portatif terminallerin kullanım ve tasarımında çevresel şartlar da dikkatli bir şekilde göz önüne alınmalıdır. Mobil haberleşme çevrelerinde özellikle kentsel alanlarda, Çokyollu zayıflama problemini çözmek için baz istasyon ve mobil istasyonların ikisine de diversite tekniği uygulanır.

Tablo 5-1 Kara-mobil anten sistemlerinin gereksinimleri				
Sistem	Baz istasyon anteni		Mobil istasyon anteni	
	ihtiyaç	örnek	ihtiyaç	örnek
Çağrı (250MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Geniş alanı kaplama • Alana etkin aydınlatma 	<ul style="list-style-type: none"> • Köşeli yansıtıcı • Brown anteni 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek verimlilik • Dahili anten 	<ul style="list-style-type: none"> • Küçük çevrim
Tren Telefon sistemi (400 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Şerit şekilli kaplama • Tünel içini kaplama 	<ul style="list-style-type: none"> • Parabol sal ızgara-yansıtıcı • Delik koaksiyel kablo 	<ul style="list-style-type: none"> • Düşük aerodinamik direnç 	<ul style="list-style-type: none"> • Monopol
Araç Telefonu (900 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Hücre konfigürasyonunu etkin ısıtma • Çok kanallı çalışma • Zayıflamayı azaltma 	<ul style="list-style-type: none"> • Ko-lineer düzen ışın eğimli ve/veya • Şekilli ışınli yayım düzeni 	<ul style="list-style-type: none"> • Yönsüz yüksek kazanç • Diversite 	<ul style="list-style-type: none"> • Sleeve (cama montaj) • Monopol
Cep Telefonu (900 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Hücre konfigürasyonu etkin ısıtma • Çok kanallı çalışma • Zayıflamayı azaltma 	<ul style="list-style-type: none"> • Ko-lineer düzen ışın eğimli ve/veya • Şekilli ışınli yayım düzeni 	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek verimlilik • Küçük hacim • Diversite 	<ul style="list-style-type: none"> • Monopol • PIFA

Diversite anten sistemlerinin korelasyon etkisi küçük dallara sahip olması gereklidir ve yoğun büyüklüğü ekonomik inşa edilmelidir. Bunun yanında iki elemandan oluşan fakat tek bir eleman görünüşüne sahip çok yoğun diversite antenler mobil istasyonlar için geliştirilmiştir. Bunlardan biri araca montaj için geliştirilen dikey boşluklu ışın diyagramına sahip Sleeve antendir. Diğer bir prototip radyo birimi için geliştirilen bir whip ve dahili PIFA'dan oluşan anten sistemidir.

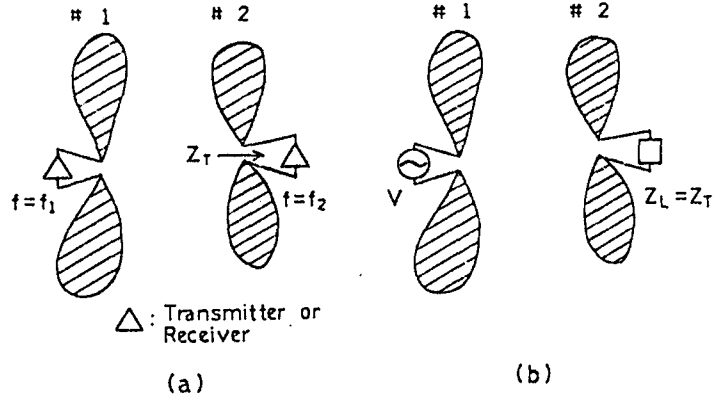
Tablo 5-2 Mobil Telefonlarda Kullanılan Tipik Antenler				
Sistem	Mobil İstasyon		Baz İstasyon	
	Anten Tipi	İhtiyaçları	Anten Tipi	İhtiyaçları
Araç Telefonu 800 MHz	<ul style="list-style-type: none"> • $\lambda/4$ monopol • $\lambda/2$ sleeve dipol • Baskı dipole • Monopol: <ul style="list-style-type: none"> • Dikey • Yatay 	<ul style="list-style-type: none"> • Yatay düzlemde yönsüz diyagram • Dikey düzlemde düşük irtifa • Uzay diversite 	<ul style="list-style-type: none"> • Ko-lineer Düzenleme MSA • Küresel Propt Yoğun düzenleme • Köşe yansıtıcı • Dipol 	<ul style="list-style-type: none"> • Geniş alanı kaplama veya şekillenmiş ışınla özel alanı kaplama • Servis alanında Homojen alan dağılımı • Uzay veya kutuplaşma diversitesi • Aşağı eğimli diyagram • Dikeyde düşük yan demetler
Cep Telefonu	<ul style="list-style-type: none"> • $\lambda/4$ monopol • $\lambda/4$ whip normal modlu heliks • PIFA 	<ul style="list-style-type: none"> • Anten montaj için sınırlı boşluk • Cihaz anten sistemini içermeli • Uzay diversitesi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ko-lineer Düzenleme MSA • Küresel Propt Yoğun düzenleme • Köşe yansıtıcı • Dipol 	<ul style="list-style-type: none"> • Geniş alanı kaplama veya şekillenmiş ışınla özel alanı kaplama • Servis alanında Homojen alan dağılımı • Uzay veya kutuplaşma diversitesi • Aşağı eğimli diyagram • Dikeyde düşük yan demetler • Baz istasyon yakınında alan ilişkisi

Sayısal modülasyon sistemlerinde bağlı dalgalarda ayrık gecikmeye bağlı problemler Açık veya yönlendiricilik diversite planlarıyla azaltılabilir. Çokyollu propogasyonu, girişim vb. ileri etkenlerden kaynaklanan problemleri idare etmek için bir kabiliyete sahip yeni anten sisteminin araştırılması ve geliştirilmesi gereklidir.

5.4 İletken gövdeye yakın anten

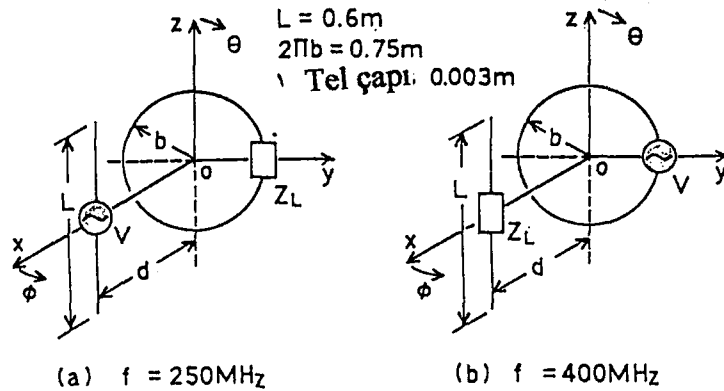
Genelde antenler çok iyi iletken olan bir gövdeye sabitlenir. Bu nedenle yakın ya da uzak antenin etkisi bilinmelidir. Günümüzde anten performansı bilgisayarla hızla yapılıyor. Mesela; MoM (Momentler metodu) 5λ 'dan küçük iletken gövdeler için Anten ve iletken gövdenin karakteristiğini başarılı bir şekilde hesaplıyor. Ya da FDTD tekniği. FDTD Tekniği son bölümde incelenecek.

5.4.1 Yakın Antenler Arası Belirsiz Girişim



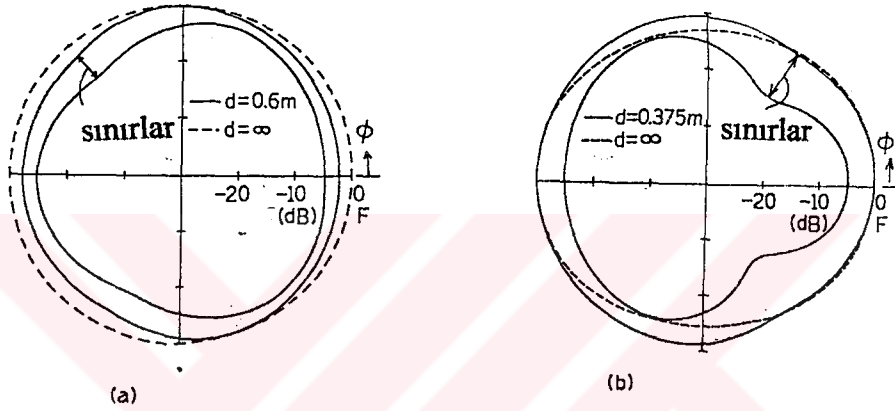
Şekil 5.4 Anten Konfigürasyonu a) $f_1 \neq f_2$, Z_T alıcı ve vericiye bağlı b) $f_1 = f_2$

Şekil 5.4 (a)'daki gibi yerleşmiş antenleri göz önüne alalım. Antenler f_1 ve f_2 frekanslarında çalışıyor. $f=f_1$ frekansı için #2 anteni saçıcı bir yük olarak düşünülebilir. #2 antenin besleme noktalarındaki yükleme empedansı Z_L vericiden alıcıya doğru bakılarak görülen giriş empedansıdır. $f=f_2$ de #2 antenin besleme noktasına göre iletim antenin karakteristik empedansı Z_0 'na yakındır., frekansın bir fonksiyonudur ve $f=f_1$ de Z_0 'dan oldukça farklıdır. Alıcı veya verici iletim hattına bağlı olmadığı zamanki durum için Z_L reaktif olabilir. Bu durumda Z_L 'nin değeri belirsiz olabilir ve #1 anteni karakteristikleri Z_L nin değişikliğiyle büyük oranda değişebilir. Böylece f_1 ve f_2 de antenin Z_L 'ye bağımlılığını belirlemek önemlidir.



Şekil 5.5 a) Dipol b) Çevrim Anteni

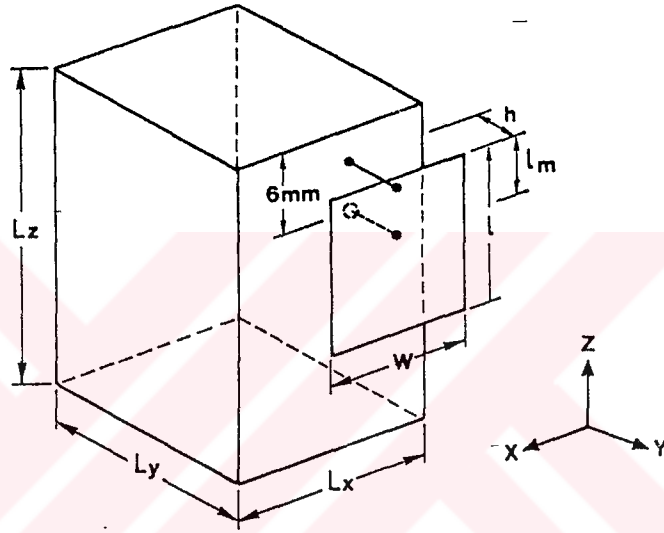
Şekil 5.5 de λ e bir dipol anten ve 400 Mhz'de bir çevrimsel anten için birbirinden d mesafeli durumda MoM'la alınan sonuçlar şekil 5.6'da görülmektedir. Antenler birbirine yakinken anten simetrisi değişmekte ve kazancı azalmaktadır.



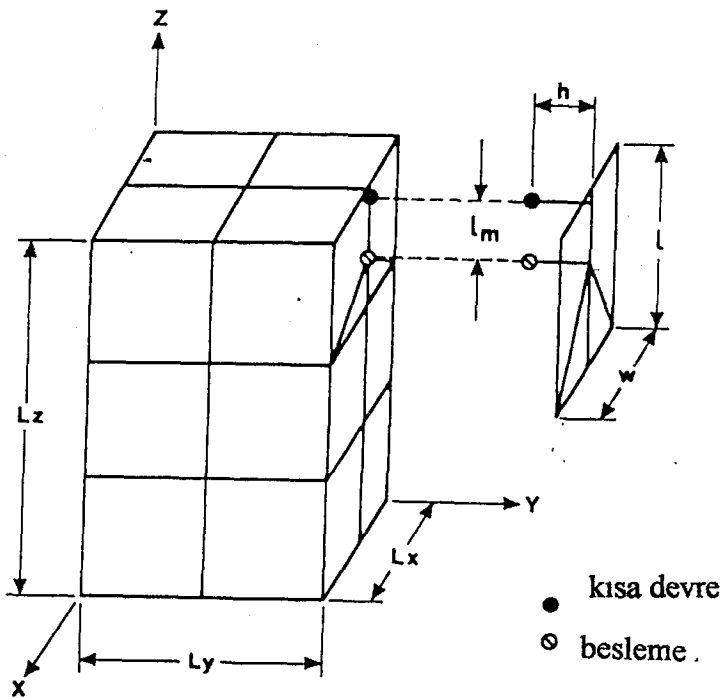
Şekil 5.6 a) 250 MHz b) 400 MHz'de ışıma diyagramları

5.5 Bir cihaza Yakın Anten

Genelde anten ve cihaz tek bir sistemde bulunur. İletken düzlem yer düzlemi olarak alınmaz, antenin bir parçası kabul edilir. Portatif telegon 900 MHz bandındaki bir frekansta bir dikdörtgensel metal kutu olarak idealize edilir. Bu frekans bandında, anten ve iletken gövde λ 'ya göre yeterince küçük olması gerekli değildir.

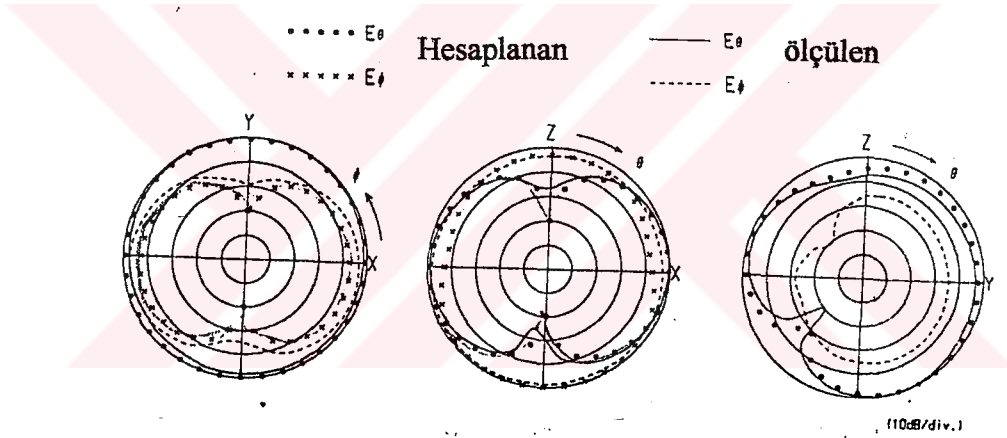


Şekil 5-3 Bir İletken Gövdeye monte edilmiş F-Şekilli Düzlemsel Anten (PIFA)



Şekil 5-3 PIFA'nın tel ızgara modeli

Mesela şekil 5.7 bir dikdörtgen iletken kutuya tutuşturulmuş bir Düzlemsel IFA'yı gösteriyor. (Şekilde Telefonun boyutları $L_x=\lambda/8$, $L_y=\lambda/4$, $L_z=3\lambda/8$, PIFA'nın boyutları $l=0.14\lambda$, $w=0.092\lambda$ ve PIFA-İletken cihaz arası boşluk h , PIFA'nın besleme noktası kısadevre ayağı arası uzaklık l_m) Analizler için cihazın tel ızgara modelde bir ızgara hücre boyu 0.037λ alınıyor. $f=920\text{MHz}$. r_m giriş empedansı 50Ω olacak şekilde ayarlanır[3].



Şekil 5-9 PIFA'nın bir ızgara diyagramı

İletken gövde ($\text{çapı}=0.0015\lambda$) tel ızgaralar olarak modellenir. Böylece MoM anten karakteristiğini hesaplamak için kullanılır. Bkz. şekil 5.9 [3]

5.6 Diversite

Mikrodalgalar alıcı ve vericinin birbirini doğrudan görmesi ilkesiyle çalışır. Eğer işaret kırılarak alıcıya giderse servis kesilebilir. Diversite tekniği alıcı ve verici

arasında birden fazla propogasyon yolu olmasına olanak sağlar. Alıcıda yüksek kaliteli bir işaret alınabilmesi için C/N oranının elimine edilmesi gerekir [8]

5.6.1 Diversite Teknikleri

5.6.1.1 Diversite Performansı

Mobil radyo çevresinde işaretin zayıflaması birkaç kabul problemine yol açtığından zayıflama etkisini azaltmak için diversite teknikleri kullanılır. Genellikle farklılığı sezme için iki farklı dal . Bundan dolayı pasif aygıtlar ve herhangi girişime yol açmaz. Çeşitli diversite yöntemleri vardır. Bir yöntem uzay diversitesi, alan bileşenli diversite, polarizasyon diversitesi, frekans diversitesi ve yönlendirici diversite formlarını alabilir.

Diversite performansı diversite dallarının planına ve alınan dallar arası korelasyon katsayısına bağlıdır. Dal korelasyon katsayısı aynı olduğu sürece, herbir diversite yöntemi aynı performansa ulaşabilir. Uzay, kutuplama, yönlendiricili diversite kullanılırsa iki antenden frekans ve alan diversitesi kullanılırsa bir antenden iki diversite işareti alınır. Diversite anteninden alınan işaretin nasıl birleştirileceğine dikkat edilerek ve uygun birleştirme tekniği kullanılarak daha iyi performans sağlayabilir. Dört genel birleştirme tekniği vardır:

Kısa Adı:	İngilizce	Türkçe	Özellik
MRC	Maximal Ratio Combining	Maksimum Oranlı birleştirme	$(S/N)_{max}$ birleştirmeden sonra SNR'ı maksimum yapmak
EGS	Equal-gain Combining	Eş kazançlı birleştirme	Alınan iki işareten en güçlüsünü seçer.
SEL	Selective Combining	Seçici birleştirme	Alınan işareti genel faza getirir ve gerilimsel olarak birleştirir.
SWC	Switch Combining	Anahtarlı birleştirme	İşareti diğer antene anahtarlama için 6N eşik seviyesi altına düşmesine dayanır.

MRC, EGC ve SEC, yalnızca bir çıkış gerektiren SWC den daha çok karmaşık cihazlar gerektirir. Ancak daha iyi performans verir ve pahalıdırlar.

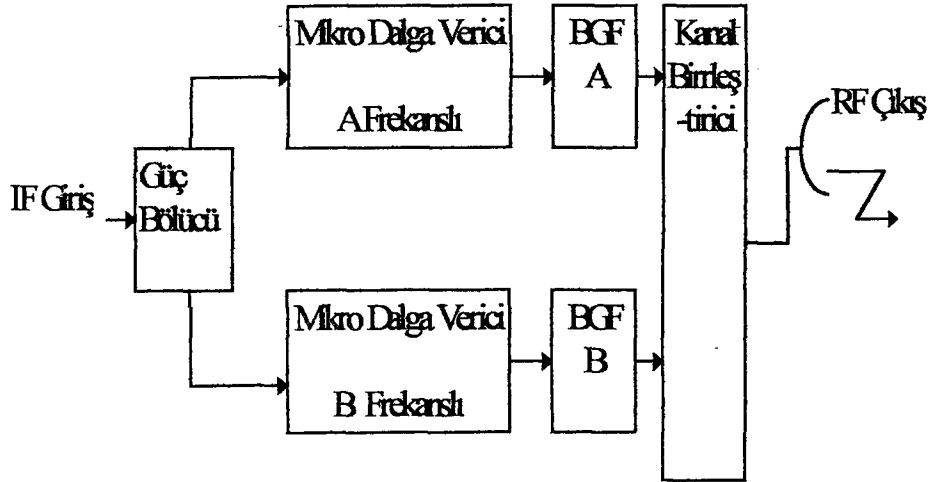
MRC, EGC ve SEC içinden MRC'nin performansı en iyidir. Fakat cihazı çok karmaşıktır. SEC'in performansı MRC ve EGC'den düşüktür. Fakat inşa için cihazı basittir.

5.6.1.2 Frekans Diversitesi

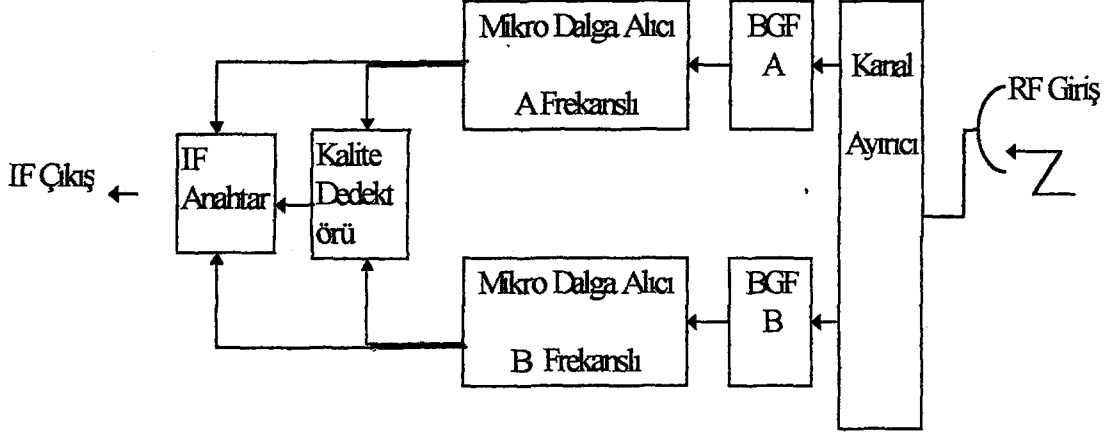
Aynı IF bilgiyle iki farklı RF taşıyıcısı modüle edilir ve her iki RF istenen yöne gönderilir. Alıcıda her iki işaret demodüle edilir ve en iyi işaret seçilir.

Şekil 6.4 IF üç splittera uygulanır. Bu da doğrudan mikrodalga vericilere işareti gönderir. Vericilerin çıkışı kanal birleştirme ağında birleştirilir ve antene verilir

Alıcıda alınan işaret kanal ayırıcıda ayrıştırılır ve mikrodalga alıcı ile işaret demodüle edilir. Alınan işaretlerinin kalitesi incelenerek en iyi seçilir.



Şekil 5-10 Frekans Diversitesi , Alıcı



Şekil 5-11 Frekans Diversitesi ,Verici

5.6.1.3 Uzay Diversitesi

– Hücresel sistemin bazı sorunları vardır. Bir hücre-sitede niçin yatay anten ayırması dikey ayırmadan daha iyi performans veriyor?. Çünkü daha büyük yatay anten ayırmasıyla alınan iki işaretin daha az benzerlikte zayıflaması aynı anda olur. Böylece zayıflama etkisini azaltmak için diversite kazancı ayırmayla beraber artacaktır. Antendeki işaretin gücü eşit değilse dikey ayırmada ayırık antenler kullanılmadan diversite kazancı elde edilemez.

Bir diversite anten planı tasarımı anten yüksekliği h ve anten aralığı (D)'ye bağlı η parametresine dayanır.

$$\eta = h/D \quad (5.21)$$

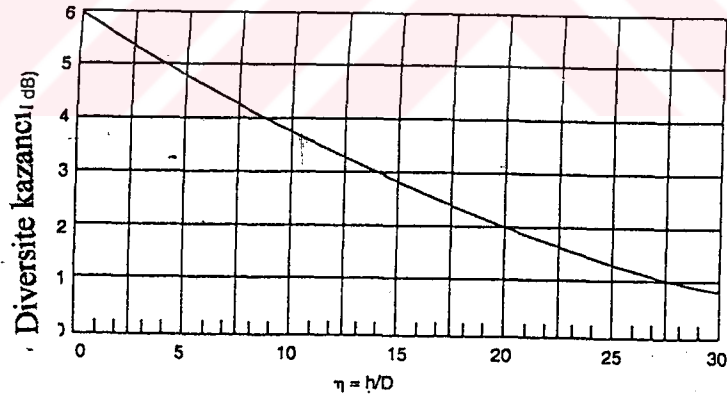
Yatay Ayırma

Deneysel olarak Yatay Anten Ayrılığı için $\eta=11$ optimum değerdir. Daha fazla ayırılma için daha yüksek anten gerekir.

Gerçek bir çevrede, telefon cihazları hücre-site'in her yerinde ve değişik rakımlarda bulunabilir. Bu nedenle cihazın efektif anten yüksekliği (h_e), konumuna bağlı değişikliğin en çok olduğu hücre-site'da ölçülür. Aynı gerçek anten yüksekliği farklı iki cihaz için farklı iki efektif anten yüksekliğine sahip olabilir. Özel bir baz-cihaz iletimi için, h_e 1'den küçük olduğu zaman cihazdan alınan işaret de zayıf olacaktır. Kayba ΔG dersek;

$$\Delta G = 20 \log_{10}(h_e/h) \text{ (dB) olur.} \quad (5.22)$$

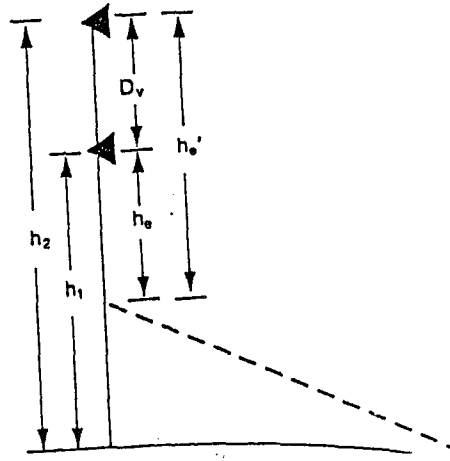
Sistemin çalışması boyunca ($\eta_e = h_e/D$) η_e cihazın hali hazırdaki konumuna bağlı olarak değişecektir. h_e h'den küçüldükçe/büyüdüğü η_e de 1'den küçülür/büyür ve diversite kazancı şekil 5.11'deki gibi değişir.



Şekil 5-12 η 'nin fonksiyonu olarak diversite kazancı

Dikey Ayırma

Verilen bir diversite kazancına ulaşmak için genellikle dikey anten ayırma ya-tay anten ayırmadan daha büyüktür.



Şekil 5-13 Anteni dikey ayırma yöntemi

Düşük antenin yüksekliği h_1 ve yüksek antenin yüksekliği h_2 olsun İki antenin efektif anten yükseklikleri arsaındaki kabul farkı Δg , h_e , h_e' dikey ayrılmış iki anten yükseklikleri, Q dikey ayrılık:

$$\Delta g = 20 \log_{10} \left(\frac{h_e'}{h_e} \right) = 20 \log \left[1 + \left(\frac{D r_0}{h_e} \right) \right] \quad (5.23)$$

Mesela $\Delta p=4\text{dB}$ ise $D_2=0.58 h_e$ olur ve bu da 15.26 fit yüksekliği gerektirir. $\eta_e = \frac{h_e}{D} = 1.73$ olduğu için diversite kazancı Δg çok büyük olduğu için sorun olmayacaktır. Yatay ayrılmış antenler daha yüksek diversite kazancı sağlayabilir. Cihaz baz istasyona göre belirli konumlarda olması halinde diversite kazancı bağıl anten yüksekliğine bağlı olmadığı için bazen sınırlamalar vardır.

5.6.1.4 Polarizasyon Diversite

Bir radyo frekansında yatay ve dikey iki kutuplama, iki işareti iki antenden yeryüzü hattı veya mikro dalga hatlarıyla taşıyabilir. Burda ortam tarafından üretilen

bağlama etkisi yoktur, karşılıklı girişim oluşmaz. Buna rağmen mobil radyo çevresinde, güçlü karşılıklı kavrama etkisi oluşur. Mobil radyo ortamında propogasyon yapılan işaretlerden sonra dikey polarizasyon dalgasında işaret enerjisi yatay polarizasyon dalgasında çapraz kutuplanabilir diversite geçerli.

5.6.1.5 Alan Bileşenli Diversitesi

Haberleşme ortamının istenmeyen çokyollu saçılma ve zayıflama etkisine karşı E ve H olan bileşenlerinin ikisini de almak istendiğinde anten için çapraz polarizasyon oluşturulmalıdır. Buna **Enerji Diversite Anteni** denir. Bu tekniğin avantajı sadece bir konuma ihtiyaç duyması ve verici antenin sadece E-alanına gereksinim olmasıdır.

5.6.1.6 Yönlü Diversite Sistemleri

Zayıflamış işaretler alıcı antene farklı açılardan ve farklı yollardan gelir. Yönlendirilmiş diversitede iki zayıflamış işaretin geliş açısındaki korelasyondan kaçınmak için birbirinden yeterince uzak olmalıdır. Keza iki antenin cihazın hareket yönüne dik olmasındansa paralel olması tercih edilir.

İki anten 0° de ve 180° de yerleştirilir. Anten yönlendiriciliğinin etkisi mobil radyo çevresinde test edilir. Baz istasyon vericisine göre bir doğrudan görüş yolu olmadığı durumda alıcı antenin yönlendiriciliği ortalama gücü artırmaz fakat daha dar bir ışın için işaret zayıflaması azalır. Yönlü açıklık antenlerinin küçük bir fiziksel yapıya sahip olması durumunda mikro dalgalarda bu yöntem kullanışlıdır.

5.7 Mobil Çevrelerde Anten Performans Değerlendirilmesi

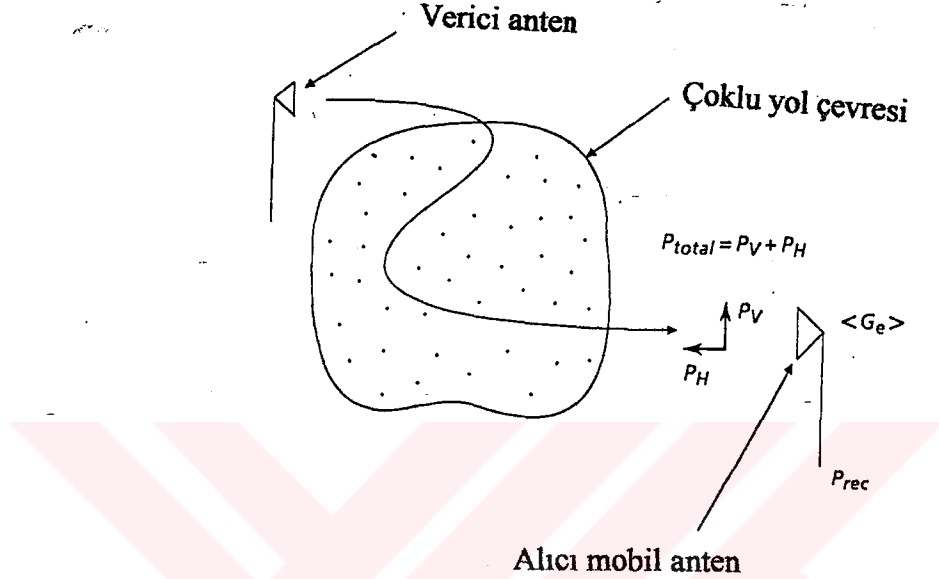
Kazanç, radyo bölge çapını, mobil radyo cihazının iletim gücünü ve portatif radyo cihazının pil kapasitesini etkiler, bu nedenle çokyollu propogasyon çevresinde

bir mobil antenin performansı efektif kazancına bağlıdır. Daha ziyade herhangi bir anten diversite sisteminde diversite kazancı, sadece anten öğelerinde alınan işaret zarfları arasındaki korelasyon katsayısıyla değil aynı zamanda anten elemanlarının efektif kazanç karakteristikleriyle belirlenir. Böylece Rayleigh tipi zayıflama ve rastsal değişen çokyollu yansıma, kırılma ve saçılmaya bağlı olduğu için keza propogasyon çevrelerinde mobil antenlerinin efektif kazancı anten yönlendirici kazancından yeterli doğrulukta hesaplanamaz. Bu nedenle efektif kazancı hesaplamak için belirli bir yol üzerinden alınan ortalama işaret seviyesi ölçülerek yapılan deneysel yöntem kullanılır. Bu yöntemle, bilinmeyen antenin ve bir referans antenin ortalama güç seviyeleri, seçilen aynı yol boyunca ayrı ayrı herbir anten hareket ederken alınan işaret seviyelerinin ortalaması alınarak belirlenir. Antenin bilinmeyen ortalama efektif kazancı (MEG), bilinmeyen antenle referans antenlerin ortalama güç seviyeleri karşılaştırılarak referans antene bağlı olarak bulunabilir. Referans anten olarak yarım dalga boylu dipol antenleri kullanılır. Bu metod pratikte mobil antenin MEG ölçümü için kullanışlıdır. Buna rağmen ölçülen MEG, yol boyunca anten kazanç güç diyagramı ve propogasyon karakteristikleri arasındaki birbirine etkilelerini yansıtır ve ölçülen yola bağlıdır.

Diğer taraftan bir mobil anten sisteminde çokyollu zayıflamasını azaltmak için anten diversite kabulü etkili bir tekniktir. Diversite kabulü, mümkün olan en az şekilde artırmak için, alınan birkaç korelasyonlu işareti sentez, seçim ve anahtarlayarak efektif zayıflamanın azalmasını sağlar. Anten diversitesinde alıcı anten dalları arasındaki korelasyon katsayısını azaltmak, bir artan diversite etkisine yol açar. Bir diversite anteni portatif alıcı-verici cihazın üzerine monte edildiği zaman, anten kutuplaması rasgele değişir. Keyfi bir üç boyutlu yönde konumlanmış diyagramın ana ışın yönünün veya çapraz polarizasyon bileşenlerinin hakim olması için, antenin yönlendiriciliğinde bazı durumlar vardır. Bu nedenle bir antenin diversite sistemi tasarlanırken, korelasyon karakteristiğinde bağıl dalga yönünün üç boyutlu dağılımının (bozulmasının) ve gelen dalganın çapraz polarizasyon bileşeninin etkisini göz önüne almak gerekir.

5.7.1 Mobil Çevrede Anten Performansının Teorik Açıklaması

5.7.1.1 Mobil Antenlerin Ortalama Efektif Kazancı



Şekil 5-14 Çokyollu bir çevrede mobil antene ulaşan ortalama güç

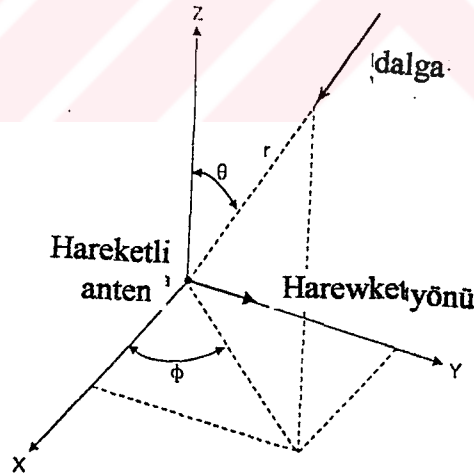
Çokyollu çevrelerinde VP (Dikey Kutuplu) ve HP (Yatay Kutuplu) bağıl radyo dalgalarını hesaba katan teorik bir MEG oluşturmak gereklidir. Bkz Şekil 5.15 P_V P_H cihaz çevrede rastsal bir yol üzerinde anten hareket ederken alınan VP ve HP bağıl radyo dalgalarının ortalama bağıl güçleridir. Aynı yol üzerinde ortalaması alınan, antene ulaşan toplam ortalama bağıl güç $P_V + P_H$ dir. Rastsal yol üzerinde antenin ortalama aldığı güç P_{rec} mobil antenin MEG'i olarak düşünülebilir. Bir çevredeki rastsal bir yol üzerinde ortalama ile çevrede üzerindeki ortalama eşit varsayılır. Mobil antenin MEG'i G_e :

$$G_e = \frac{P_{rec}}{P_V + P_H} \quad (5.24)$$

ile bulunur Çapraz polarizasyon güç oranı (XPR) ortalama bağlı güç oranı P_V/P_H

$$XPR = \frac{P_V}{P_H} \quad (5.25)$$

İletilen radyo dalgalarının kutuplaması yatay olduğu duruma XPR'a çapraz-polarizasyon Kuplajı denir ve iletilen dalgaların polarizasyonu dikey olduğu duruma çapraz polarizasyon kuplajının resiproğu denir. Küresel koordinat sisteminde ortalama antenden alınan güç P_{rec} ,

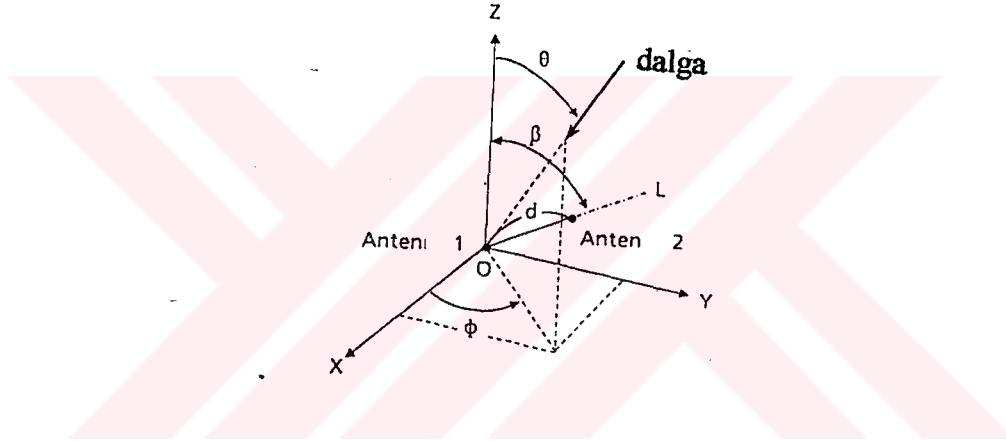


Şekil 5-15 Küresel Ko-ordinat Sistemi

$$P_{rec} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \{P_1 G_\theta(\theta, \phi) P_\theta(\theta, \phi) + P_2 G_\phi(\theta, \phi) P_\phi(\theta, \phi)\} \sin \theta d\theta d\phi \quad (5.26)$$

$G_\theta(\theta, \phi)$ ve $G_\phi(\theta, \phi)$ anten güç kazanç diyagramının θ ve ϕ bileşenleridir ve $P_\theta(\theta, \phi)$ ve $P_\phi(\theta, \phi)$ gelen düzlem dalgalarının açısıl yoğunluk fonksiyonlarının θ ve ϕ bileşenleridir. Bu fonksiyonlar:

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \{G_\theta(\theta, \phi) + G_\phi(\theta, \phi)\} \sin\theta d\theta d\phi = 4\pi \quad (5.27)$$



Şekil 5-16 Anten Diversitesi ve koordinat sistemi

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_\theta(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi = 1 \quad (5.28)$$

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_\phi(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi = 1 \quad (5.29)$$

Yukarda P_1 mobil radyo çevresinde \vec{i}_θ kutuplu izotropik anten tarafından alınacak ortalama güçtür. \vec{i}_θ ve \vec{i}_ϕ θ ve ϕ yönündeki birim vektörlerdir. Aynı şekilde

P_2 mobil radyo çevresinde \vec{i}_ϕ kutuplu izotropik anten tarafından alınacak ortalama güçtür.

Şekil 5.15 de mobil anten x-y düzleminde hareket ettiği için θ ϕ bileşenleri VP ve HP bileşenlerine karşılık gelir. Bu durumda, P_1 ve P_2 VP izotropik antenleri ve HP izotropik antenlerinden alınan ortalama güçtür ve $XPR P_1/P_2$ ye eşittir.

Bu durumda;

$$G_e = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \left[\frac{XPR}{1+XPR} G_\theta(\theta, \phi) P_\theta(\theta, \phi) + \frac{1}{1+XPR} G_\phi(\theta, \phi) P_\phi(\theta, \phi) \right] \sin\theta d\theta d\phi \quad (5.30)$$

iletimiyle. direkt yol görüş hattına karşılık gelen tek bir yönden geldiği zaman, sadece bir VP dalga ($XPR = \infty$) için açısal yoğunluk fonksiyonu;

$$P_\theta(\theta, \phi) = \frac{\delta(\theta - \theta_s) \delta(\phi - \phi_s)}{\sin\theta_s} \quad (5.31)$$

Yukarda θ_s ϕ_s işaret dalgalarının geliş açısıdır.

$$P_\phi(\theta, \phi) = 0 \quad (5.32)$$

Bu durumda MEG:

$G_e = G_\theta(\theta_s, \phi_s)$ olur. Yani, gelen işaretler (θ_s, ϕ_s) yönünden geldiği zaman MEG (θ_s, ϕ_s) yönünde antenin yönlendiricilik kazancına eşittir.

Değişik çevrelerden gelen işaretlerin karakteristiklerinde verilen istatistiki dağılım fonksiyonları P_θ , P_ϕ olarak gösterilebilirse MEG her bir çevrede antenin ortalama güç kazancıdır.

5.7.1.2 Anten Diversite Dallarında Korelasyon Katsayısı

Şekil 5.14'deki Küresel koordinatlarda bağıl dalgalar;

$$\vec{F}_\theta(\theta, \phi) = F_\theta(\theta, \phi) \vec{i}_\theta + F_\phi(\theta, \phi) \vec{i}_\phi \quad (5.33)$$

fonksiyonunu sağlar. Yukarıda F_θ, F_ϕ rastsal genliği, \vec{i}_θ ve \vec{i}_ϕ θ ve ϕ yönündeki birim vektörleri gösterir. Keza n , ($n=1,2$) antenin elektrik alan diyagramı;

$$\vec{E}_n(\theta, \phi) = E_{\theta_n} \vec{i}_\theta + E_{\phi_n}(\theta, \phi) \vec{i}_\phi \quad (5.34)$$

olarak verilebilir. Burada E_{θ_n} ve E_{ϕ_n} elektrik alan diyagramının θ ve ϕ bileşenlerinin kompleks açıklamasıdır. Böylece şekil 2.49'da gösterilen iki antenin aldığı gerilimler:

$$V_1(t) = C_1 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \vec{E}_1(\theta, \phi) \vec{F}(\theta, \phi) e^{-j.k.u.r.t} \sin\theta d\theta.d\phi \quad (5.35)$$

$$V_2(t) = C_2 \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \vec{E}_2(\theta, \phi) \vec{F}(\theta, \phi) e^{-j.k.u.r.t} . e^{jkx} . \sin\theta d\theta.d\phi \quad (5.36)$$

denklemlerde C_n ($n=1,2$) orantılılık sabitidir. \vec{u} antenin hızı, $e^{-j.k.u.r.t}$ antenin hızı \vec{u} tarafından uygulanan Doppler kayması \vec{r} yayılma yönündeki birim vektör, k dalga sayısı, x iki antende görülen bağıl dalgaların faz farkı. V_1 ve V_2 1 ve 2. antende indüklenen gerilim.

Şekil 5.15'de görüldüğü gibi diversity anten sistemi y-z düzleminde yeterse ve anten dallarını bağlayan hat dikey yönden β açısı yapıyorsa $x = d(\sin\theta \cdot \sin\phi \cdot \sin\beta + \cos\theta \cdot \cos\beta)$ 'dir.

Bağıl dalgalar arasında korelasyon olmadığı varsayılırsa farklı yönlerden ($\Omega=(\theta,\phi)$) ve $\Omega'=(\theta',\phi')$ den gelen bağıl dalgalar için F_θ ve F_ϕ 'nin fazları bağımsız olduğu için felen iki dalga arasındaki korelasyon;

$$\langle F_\theta(\Omega) \cdot F_\theta^*(\Omega') \rangle = \langle F_\theta(\Omega) F_\theta^*(\Omega) \rangle \delta(\Omega - \Omega') \quad (5.37)$$

$$\langle F_\phi(\Omega) \cdot F_\phi^*(\Omega') \rangle = \langle F_\phi(\Omega) F_\phi^*(\Omega) \rangle \delta(\Omega - \Omega') \quad (5.38)$$

F_θ ve F_ϕ fazları bağımsız ve $0-2\pi$ arasında üniform olduğu için

$$\langle F_\theta(\Omega) \cdot F_\phi^*(\Omega') \rangle = 0 \text{ olur.} \quad (5.39)$$

Bu eşitliklerde $\langle (\) \rangle$ etkili ortalamayı

$()^*$ Kompleks eşleniği

$\delta(\)$ Delta fonksiyonu gösterir.

Sıfır ortalamalı kompleks Gauss süreci tarafından yapılan yaklaşımlarla $V(t)$ ve

$$\langle V(t) \rangle = 0 \quad (5.40)$$

Böylece alınan iki gerilimin çapraz kovaryansı R_{12} (34), (35), (36), (37) yerleştirilerek ve (38), (39), (40) koşullarına uygulanarak; k oranlılık sabiti iken

$$\begin{aligned}
R'_{12} &= \langle V_1(t) V_2^*(t) \rangle & (5.41) \\
&= 2KP_H \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[XPR \cdot E_{\theta_1}(\theta, \phi) \cdot E_{\theta_2}^*(\theta, \phi) P_{\theta}(\theta, \phi) + E_{\phi_1}(\theta, \phi) \cdot E_{\phi_2}^*(\theta, \phi) P_{\phi}(\theta, \phi) \right] \sin \theta e^{-jkx} d\theta d\phi
\end{aligned}$$

Aynı şekilde 1. ve 2. antenin kompleks zarflarının standart sapmaları σ_1 ve σ_2 'dir.

$$\begin{aligned}
\sigma_1^2 &= \langle V_1(t) V_1^*(t) \rangle & (5.42) \\
&= 2KP_H \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[XPR \cdot E_{\theta_1}(\theta, \phi) \cdot E_{\theta_2}^*(\theta, \phi) P_{\theta}(\theta, \phi) + E_{\phi_1}(\theta, \phi) \cdot E_{\phi_2}^*(\theta, \phi) P_{\phi}(\theta, \phi) \right] \sin \theta d\theta d\phi
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_2^2 &= \langle V_2(t) V_2^*(t) \rangle & (5.43) \\
&= 2KP_H \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[XPR \cdot E_{\theta_2}(\theta, \phi) \cdot E_{\theta_2}^*(\theta, \phi) P_{\theta}(\theta, \phi) + E_{\phi_2}(\theta, \phi) \cdot E_{\phi_2}^*(\theta, \phi) P_{\phi}(\theta, \phi) \right] \sin \theta d\theta d\phi
\end{aligned}$$

Genellikle kompleks korelasyon katsayısı; ρ , gözlenen zarf için korelasyon katsayısı ise; ρ_e 'dir ve yaklaşık olarak $|\rho|^2$ 'ye eşittir.

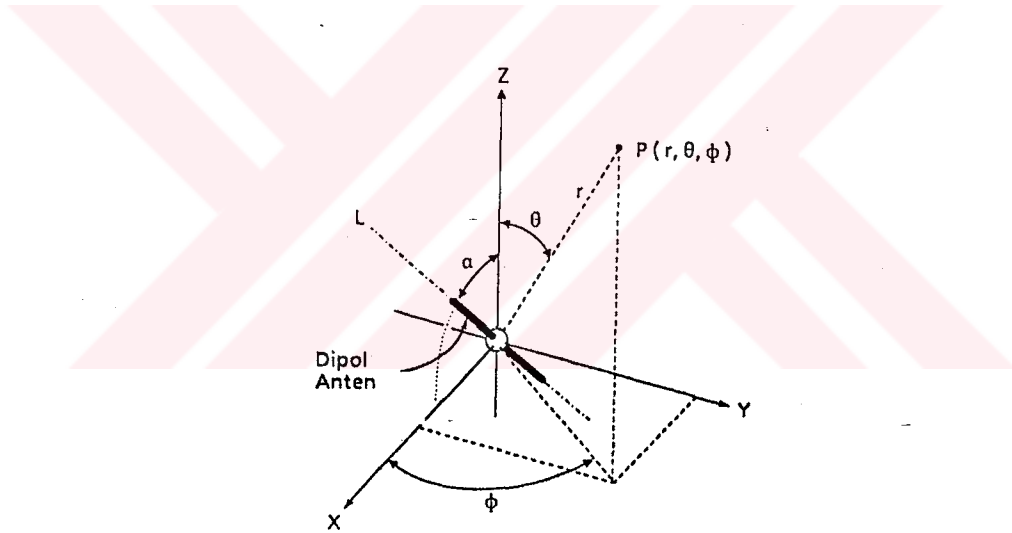
$$\rho_e \cong |\rho|^2 = \frac{|R_{12}|^2}{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2} \quad (5.44)$$

olduğu için (40)'den anten diversitesinin korelasyon katsayısının teorik bir açıklaması (41), (42), (43), (44) de yerine konularak bulunabilir. Bu açıklama XPR'in etkisi ve θ ve ϕ bileşenlerinin bağıl dalga dağılımlarını hesaba katan bir genel teorik denklemdir. İki antenin θ ve ϕ bileşenlerinin kompleks ışın diyagramları üstüste gelmişse bağıl dalganın açıl yoğunluk fonksiyonu veya XPR'in korelasyon katsayısı $\rho_e = 0$ olur. [3]

5.7.2 Dipol Antenlerin MEG Karakteristikleri

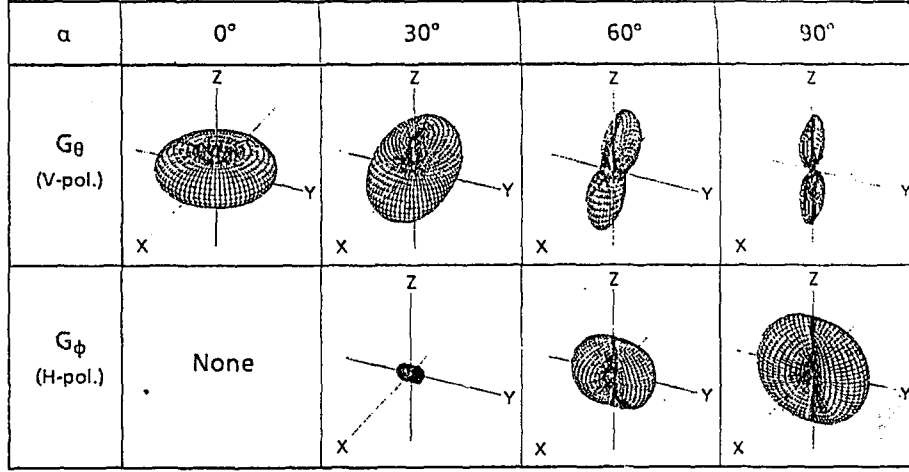
5.7.3 Güç Kazanç Diyagramı

Şekil 5.16'da yarım dalga boylu dipol anten ve göz önüne alınan Küresel koordinat sistemini gösteriyor. Dipol antenin besleme noktası koordinat sisteminin orijinine yerleştiriliyor ve anten elemanı z-x düzleminde z-ekseninden α açısı yapan z-ekseni üzerinde ince bir dipol varsayılıyor ve E eleman çapı ihmal ediliyor. Kayıplar ve ohmik kayıplar da ihmal ediliyor.



Şekil 5-17 Yarım dalga boylu dipol anten ve koordinat sistemi

0° den 90° 'ye değişen $\alpha = 0^\circ$ de anten sadece VP dalga duyarlıdır. Buna rağmen diğer eğilme açılarında VP ve HP dalga duyarlıdır.



Şekil 5-18 Dipolün güç kazanç diyagramı

Dikey Dipol Antenlerin MEG Karakteristikleri

Eğilme açısı $\alpha = 0$ olunca HP dalgaların güç kazanç diyagramı G_θ varolmaz (bkz. Şekil 5.19). Böylece MEG sadece integrali (yani XPR sonsuz büyük) olursa (16)daki integraldeki ilk terimleri $XPR/(1+XPR)$ sabiti 1 olur ve MEG XPR değerinden bağımsızdır. Buna rağmen bağlı dalgalar VP ve HP bileşenlerinin ikisine de sahiptir, MEG $XPR/(1+XPR)$ etkiyle daha azalır. Bu XPR'a bağlı kazanç indirme Şekil 5.19 da dalganın hatları gösteriliyor. Dikey dipol antenin MEG karakteristiklerini aydınlatmak için, $XPR = \infty$ için MEG karakteristikleri göz önüne alınmalıdır.

Şekil 2.55'de VP bağlı dalgalarının standart dalgaların standart sapması σ_v , ve MEG'e bağlılık gösteriliyor. $\sigma_v = 0^\circ$ olunca MEG bağlı dalgaların geliş yönüne bağlı yönlendirici kazancına eşittir. Bundan böyle, $m_v = 0^\circ$ ve $\sigma_v = 0^\circ$ olduğu zaman (yani tüm bağlı dalgalar tamamen yatay düzlemde yatınca) MEG, bağlı dalgaların geliş yönü maximum kazanç yönüne uygun geldiği için 2.15 dB'da $\lambda/2$ dipol antenin yönlendirciliğine eşittir.

Birçok standart sapma artar, daha MEG izotropik anten kazancı 0 dBi olur ve $\sigma_v = \infty$ da (yani dağılım tamamen üniform olduğunda) MEG izotropik anten kazancına eşittir. $m_v, m_v = 0^\circ$ 'den itibaren artarak $\sigma_v = 0^\circ$ ile (yani bağıl dalgalar m_v elevasyonunda azimut düzlemine yatar), MEG ortalama elevasyon açısı m_v de güç kazancıyla orantılı azalır. Buna rağmen standart sapma daha çok artar. MEG izotropik anten kazancına (0 dBi) daha çok yaklaşır. Mobil haberleşme görülen gerçek propogasyon çevrelerinde bağıl dalgaların dağılımı elevasyona yayılmış gibi görülür. Böylece dikey $\lambda/2$ dipol antenin efektif kazancının yönlendiriciliği 2.15 dBi den daha düşük olur. MEG XPR'lar tarafından daha da azaltılır. (Bkz. 5.18)

Eğilmiş Dipol Antenlerin MEG karakteristikleri

Şekil 5.20 birkaç XPR değeri için hesaplanan tipik MEG karakteristikleri gösteriyor.

1) XPR değerinden bağımsız -3dBi olan MEG'de bir eğilme açısında bulunur. Bu eğilme açısı 55° dir ve şekilde A noktasındadır. Bu açıda antenlerin VP ışınma gücü, HP ışınma gücüne eşittir. (Bkz.şekil 5.21) A noktasında verilen bağıl dalga dağılımının parametrelerinde (XPR, $m_v, m_H, \sigma_v, \sigma_H$) MEG değişimi 0.2 dBi'den küçüktür. VP ve HP dalgalarının bağıl güçleri toplamı orantı kullanılarak ölçülebileceği önerilir. $P_v + P_H$ gücü 55° eğimli bir dipol antende ölçülen alınan ortalama gücün iki katıdır. Böylece MEG ölçümlerinde, sonrakinin güç seviyesi propogasyon koşullarıyla güçlü şekilde etkilendiği için, dikey yerleştirilmiş dipol antenin ortalama güç seviyesi yerine referans işaret seviyesi olarak kullanılır.

2) XPR=-2dB için NMEG karakteristikleri anten eğilme açısından bağımsız MEG sabitini (-3Bi) yapacak bağıl dalga parametrelerinin var olduğunu gösterir. Teorik analize göre anten yerleştirilmesinden bağımsız sabit XPR (-3dBi) karakteristiklerini veren birçok propogasyon parametreleri vardır.

Diğer taraftan anten kutuplaması ve diyagramının değişikliğinden bağımsız sabit yapılan antenlerin ortalama alınan işaret seviyesinde yapay bir propogasyon çevresini geliştirmenin olasılığı vardır. XPR için iletici antenin kutupsallığı, ortalama elevasyon açısı için verici antenin ışın genişliği kontrol edilerek geliştirilebilir fakat bunu oluşturmak için daha çok deneysel araştırma gerekir.[3]

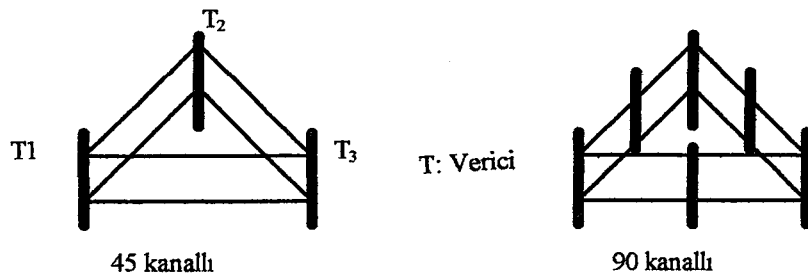
6. CEP TELEFONU ANTENLERİ

6.1 Hücre Site Antenleri (Cell-Site Antennas)

6.1.1 Yönsüz Antenler;Kaplama İçin Kullanım

6.1.1.1 Başlatma Sistemi Konfigürasyonu

Bütün verici antenleri yönsüz olduğu için bir başlatma sisteminde çok-yönlü hücre kullanılır. Her bir verici anten 16 kanallı bir tümleştirici(combiner) kullanarak 16 radyo vericisinden işaretleri eş zamanlı iletebilir. Normalde her bir hücre 45 ses radyo vericisine servis yapan 3 iletim antenine sahiptir. Her bir verici işareti, her bir radyo vericisinde kendi kanal kuvvetlendiricileriyle kuvvetlendirilir, sonra 16 kanal (radyo işaretleri), bir 16 kanallı tümleştiriciden geçerek verici antenler üzerinden iletilir.



Şekil 6-1Her-yönlü hücrede hücre anteni

Genellikle 2 alıcı anten, 45 ses-radyo işaretin tümünü eşzamanlı olarak alabilir. Sonra her bir kanalda 2 alıcı antenden alınan kimlik işaretleri, o kanalın bir diversite alıcısından geçer.

Halka tümleştirci 2dB'lik bir kayıpla 600W'ın üzerinde bir tutma gücü sınırı vardır.

6.1.2 Yönsüz Antenler; Girişimin Azaltılması İçin Kullanım

Kanallar arası girişimi azaltma faktörü η

$$\eta = D/R \quad (6.1)$$

Burada D, cihaz ile anten arası uzaklık. R, hücrenin çapı

6.1.2.1.1 Yönlü Antenler

Hücrelerde yönsüz ışınma diyagramı elde etmek için yönlü antenler kullanılmaktadır. Bir 120° 'lik köşeli yansıtıcı veya 120° 'lik düzlem yansıtıcı 120° -hücre parçasında kullanılabilir. 60° 'lik köşeli yansıtıcı 60° 'bir hücre parçasında kullanılabilir. Aşağıda ki şekilde 105° 'lik ışın genişlikli bir yönlü antenin tipik bir diyagramı görülüyor.[12]



Şekil 6-2 Bir yönlü anten diyagramı

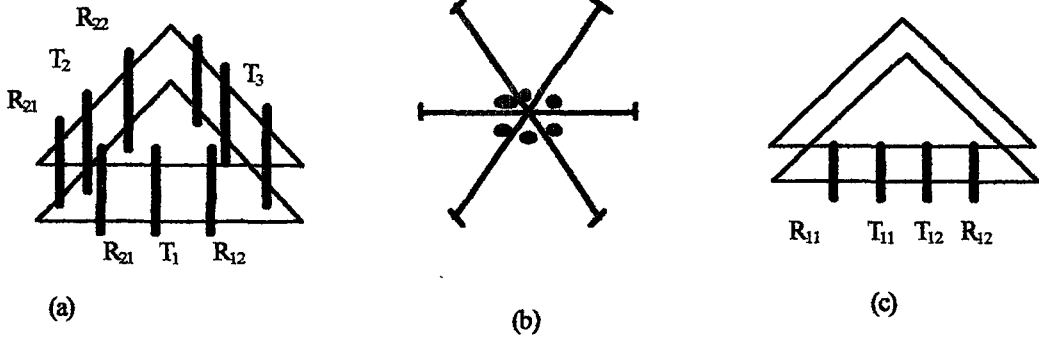
6.1.3 Normal Anten (Ölçü Sistemi)

1. $K=7$ hücre diyagramı (K , bir hücre site boyutu) (120° 'lik sektör); Frekansın tekrar kullanımını için kullanılan $K=7$ hücre diyagramında 333 kanal kullanılırsa, her bir hücre yaklaşık 45 radyo kanalına sahip olacaktır. Her 120° 'lik sektör 1 verici antene ve 2 alıcı antene sahip olacaktır ve 16 kanala servis yapacaktır. (bkz. 6.3 a)

2. $K=4$ hücre diyagramı (60° 'lik sektör); Kanallar arası tekrar kullanım uzaklığı dengeli olmadığı için bir her yönlü hücre sisteminde $K=4$ 'ü kullanamıyoruz. Böylece $K=4$ hücre diyagramında 60° 'lik sektör kullanılır. Bu durumda 24 sektör vardır ve 2 farklı şekilde uygulanabilir.

a) Alıcı-verici 60° 'lik sektör; Her sektör kendi frekans radyolarını ve komşu sektörlerle veya başka hücelere aktarma frekanslarını taşıyan bir verici antene sahiptir. Bu dolu bir $K=4$ hücre diyagramı sistemidir. Sektörde 333 kanal kullanılırsa, her sektörde 1 iletme ve 1 alma anteni olacağından, Alıcı uçta 6 alıcı antenin 2'si her bir radyo kanalı için, 1 açısal diversite için seçilir.

- b) 60° 'lik alıcı sektör; Sadece 60° 'lik sektör alıcı antenleri, mobil birimleri sabitlemek için ve yüksek bir doğrulukla komşu hücreye aktarmak için kullanılır. Her hücredeki verici antenlerin hepsi yönsüzdür. Bu durumda alıcı uçtaki her bir radyo kanalı için açısız diversite de kullanılır.



Şekil 6-3 Bir hücre-sitede alıcı ve verici anten konfigürasyonu

R alıcı anten T verici anten

6.1.4 Yer antenleri

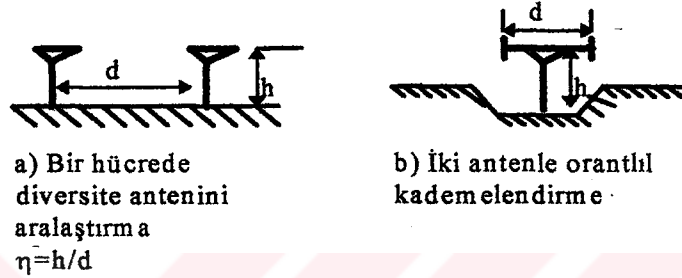
Her hücrede bir yer alıcısı yer anteniyle respektif bağlanır. Bu antenler ya yönsüz yada yön paylaşmalıdır. Yer alıcısı ya periyodik olarak yada ihtiyaca göre 333 kanaldan birine bir kanal uyarlanabilir.

6.1.4.1 Set-Up Kanalı Antenleri

Set-up kanalı anteni aranan bir mobil birime çağrı için veya mobil birimin çağrularına cevap vermek için kullanılır. Sadece veri iletir. Set-up kanalı anteni yönsüz anten ya da bir hücrede birden fazla yönlü anten olabilir. Genellikle hücre demetinde her iki çoklu hücre ve sektör hücre sisteminde işaret iletimi için bir yönsüz anten ve işareti almak için başka bir yönsüz anten kullanılır.

6.1.5 Hücre-Sitede Kullanılan Uzaysal Diversite Antenleri

İki dallı uzaysal diversite antenleri hücrede her antenden biri, farklı zarflarla zayıflamış aynı işareti almak için kullanılır. İki zayıflamış zarf arasındaki korelasyon derecesi, iki anten arasındaki ayırıştırma derecesiyle belirlenir. İki zayıflamış zarf birleştirilince zayıflama derecesi düşer.



Şekil 6-4 Diversite antenleri

$$\eta = h/d = 11$$

(6.2)

Bu denklemde ; h Anten yüksekliği

d Antenler arası uzaklık

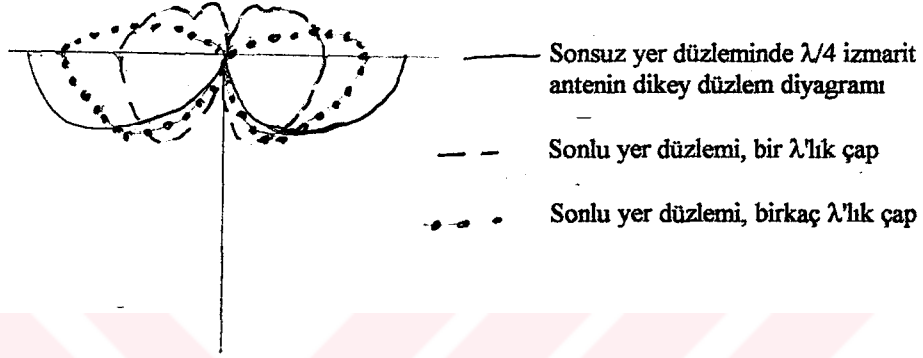
Yukarıdaki eşitlikten 30m anten yüksekliği için $d \geq 8\lambda$, 50m anten yüksekliği için $d \geq 14\lambda$ olması gerekir.

Herhangi bir yönsüz hücre sisteminde iki uzaysal diversiteli anteni şekil 6.4 b' de gösterildiği gibi U şekilli yer yapısıyla uyumlu olmalıdır.

Tasarımda dikey olarak ayırmanın bir avantajı olmadığı için uzay diversite antenleri sadece yatay olarak ayarlanabilir.

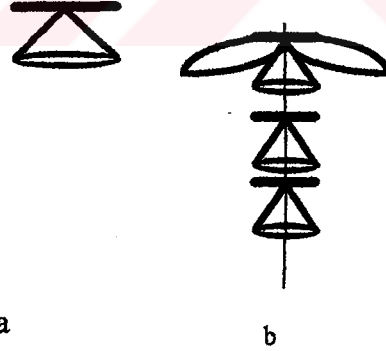
6.1.6 Şemsiye diyagramlı antenler

Hücre santeni olarak şemsiye diyagramı veren antenler kullanılmalıdır. Normal bir şemsiye diyagramlı anten (UPA) sınırlı bir alanda enerji kontrolü için kullanılır ve UPA üst-disk (üst-yükleme)yle tek kutuplu olarak geliştirilir.



Şekil 6-5 Şemsiye anten diyagramı

Diskün büyüklüğü diyagramın taşma açısından belirlenir. Daha küçük disk, daha büyük şemsiyenin taşma açısıdır.



Şekil 6-6 a) tek anten b) bir dizi anten (UPA)

Radio bandı UPA; Bir diskonik antenin parametreleri şekil a'da gösterilmiştir. Diskin Çapı koninin boyu ve koninin açılması bir UPA oluşturmak için ayarlanabilir.[5]

6.2 Cep Telefonu Antenleri

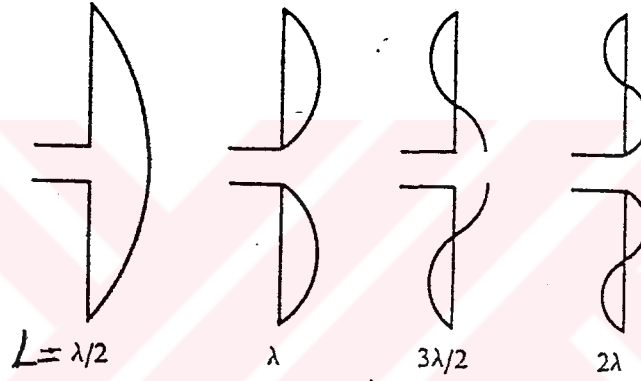
Pil kapasitesinin sınırlılığında dolayı cep telefonunun verici gücü araç telefonundan daha azdır. Keza cep telefonunun anten kazancı da araç telefonundan daha azdır. Çünkü cep telefonlarında sadece küçük antenler kullanılabilir ve insan bedeninin yakınlığına bağlı olarak kazancı azalır. Cep telefonlarının anten ihtiyaçlarını sağlamak için, gereken band aralığında mümkün olan en yüksek kazançlı anten geliştirilir. Efektif kazanç bir çokyollu mobil çevrede *ortalama Efektif kazanç (MEG)* demektir. Antenin Efektif kazancını artırmak cep telefonunun hacmini ve ağırlığını azaltılmasında çok etkilidir.

Cep Telefonlarına monte edilen antenlerin bazı karakteristik özellikleri vardır. İlk özellik, cep telefonu kullanılırken yönü rastsal değiştiği için antenin polarizasyon yönü ve ışınma diyagramı sabit olamaz. İkinci özellik, ışınma diyagramı ve ışınma verimliliği insan vücuduna yaklaşıncaya değişir. Bu nedenle cep telefonu anteninin dikey polarizasyon ve yönsüz ışınma diyagramına sahip olması çok zordur. Cep telefonu anten tasarımında, efektif, kazancı optimumlaştırmaya çalışmak önemlidir. Teorik analizler, cihazın kaplamasının etkisine bağlı ışınma diyagramının değişimini ve insan bedenine yakınlık etkisine bağlı antenin ışınma verimliliğini azaltmayı ve insanla çalışmaya bağlı polarizasyon ve diyagram değişimini göz önüne almalı. Bir anten tasarlanırken (1) çokyollu propagasyon çevresinde Efektif kazancı, (2) cihazın, konuşurken, taşınırken ve arama durumlarındaki Efektif kazancı belirlenmelidir.

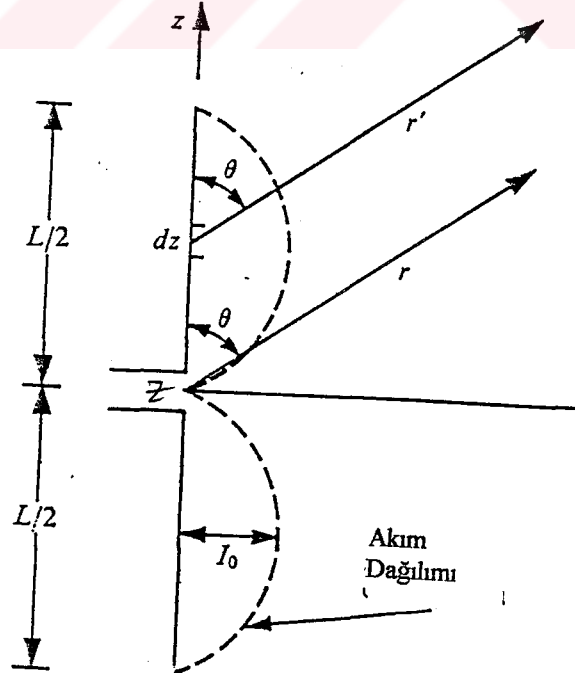
İnsan vücudunun etkisi gözönüne alınmadığı için, bir antenin pratik performansını hesaplamak için, boş uzay ışınma diyagramlarına dayanan bir değerlendirmenin doğruluğu yeterli değildir. Keza İnsan vücudunda antenden ışıyan RF gücünün etkisi cep telefonu anten tasarımında çok önemlidir.

6.2.1 İnce Linear İletken Anten

Bir linear anten, birbirine seri bağlanmış çok sayıda küçük elektrik akım elemanından oluşan bir yapı olarak düşünülebilir. Bir ince linear anten dengeli bir iki telli iletişim hattıyla merkezinden simetrik beslenirse antendeki akım dağılımının yaklaşık sinüzoidal olduğu varsayılır. (Bakınız Şekil 6.7)



Şekil 6-7 Farklı boylardaki ince linear merkez beslemeli iletken antendeki akım dağılımı



Şekil 6-8 Merkezi beslemeli simetrik ince anten

Şekil 6.8'den de görüldüğü gibi, L uzunluklu lineer merkez beslemeli iletken anten üzerindeki z noktasından r mesafe uzaklıktaki akım

$$[I] = I_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{L}{2} \mp z \right) e^{j\omega(t - \frac{r}{L})} \quad (6.3)$$

olur. Burada $z < 0$ iken $(L/2)+z$, $z > 0$ iken $(L/2)-z$ kullanılır. Anten dz boylu, sonsuz sayıda seri dipolden oluştuğu düşünülür ve antenin toplam alanı bu dipollerin alanın integrali alınarak bulunur. dE_θ ve dH_ϕ r' mesafedeki uzak olanları dz boylu dipollerden yayılan elektrik ve magnetik alanlar;

$$dE_\theta = \frac{j60\pi[I] \sin\theta dz}{r'\lambda} \quad (6.4)$$

$$dH_\phi = \frac{j[I] \sin\theta dz}{2r'\lambda} = \frac{dE_\theta}{\eta} \quad (6.5)$$

$\eta = 120 \pi$ dir. İntegrali alınırsa

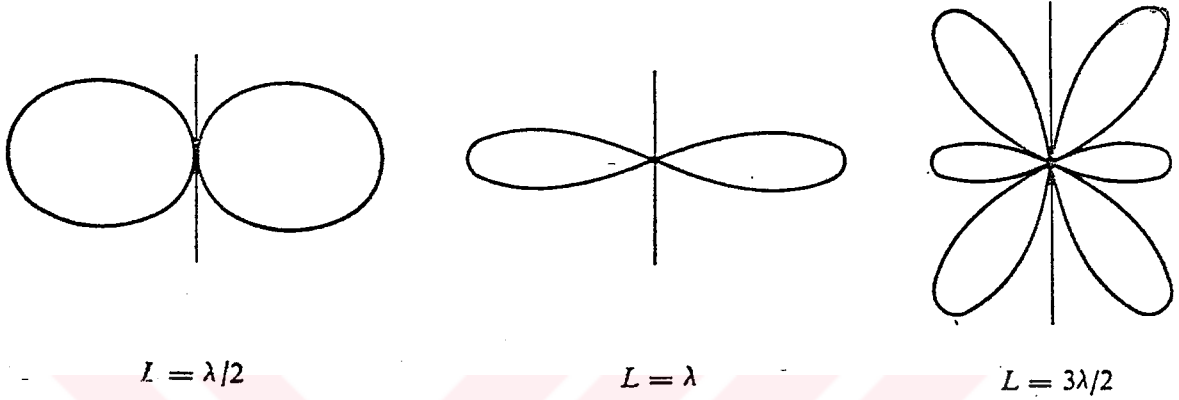
$$H_\phi = \frac{j[I_0]}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\beta L \cos \frac{\theta}{2}) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} \right] \quad (6.6)$$

$$E_\theta = \eta H_\phi = \frac{j60[I_0]}{r} \left[\frac{\cos(\beta L \cos \frac{\theta}{2}) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} \right] \quad (6.7)$$

$\beta = 2\pi/\lambda$ dir.

Burada $\left[\frac{\cos(\beta L \cos \frac{\theta}{2}) - \cos(\beta L)}{\sin \theta} \right]$ faktörü uzak mesafe ışınma diyagramını

belirler ve buna form faktörü denir. (Bkz. Şekil 6.9)



Şekil 6-9 İnce lineer merkez beslemeli iletken antenin uzak-alın diyagramı

6.2.1.1 Antenden Işıyan Güç

$$W = \int_S |P_r| dS = \int_S |E_\theta| |H_\phi| dS \quad (6.8)$$

$$= 30 I_0^2 \int_{\theta=0}^{\pi} \frac{\left[\cos\left(\frac{\beta L}{2} \cos \theta\right) - \cos\left(\frac{\beta L}{2}\right) \right]^2}{\sin \theta} d\theta = \frac{I_0^2 R_0}{2} \quad (6.9)$$

R_0 ışınma direncidir. Değişken dönüşümleriyle

$$R_0 = 30 \int_0^{\pi} \frac{1 - \cos x}{x} dx = 30 C_{in}(2\pi) \text{ olur.} \quad (6.10)$$

$$C_{in}(x) = \int_0^x \frac{1 - \cos v}{v} dv = \ln(\gamma x) - C(x) = 0.377 + \ln x + C_i(x) \quad (6.11)$$

$$C_i(x) - \int_{-\infty}^x \frac{\cos v}{v} dv = 0.577 + \ln x - \frac{x^2}{2!2} + \frac{x^4}{4!4} - \frac{x^6}{6!6} + \dots \quad (6.12)$$

$L=\lambda/2$ için $R_0=73 \Omega$ olur. [8]



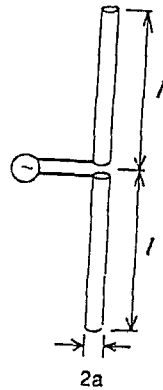
6.3 Anten Tipleri

6.3.1 Dipol Anten

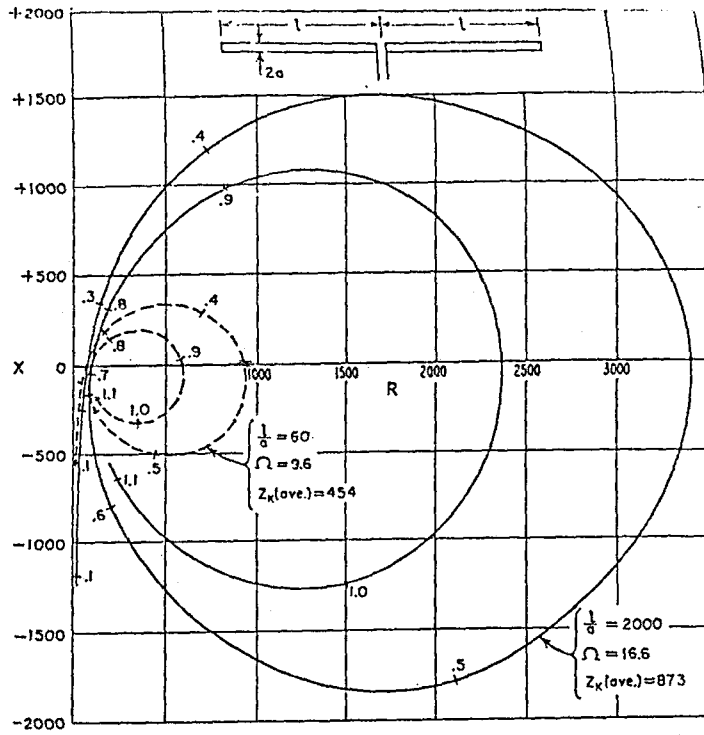
Basit dipol anten yapısı, bir merkezi beslemeli lineer Küresel antendir. (şekil 6.10)

Dipol antenin empedansı şekil 6.11'deki gibi dönmektedir. l uzunluğu yaklaşık olarak yarım dalga boyuna ($\lambda/2$) eşit olunca empedans reel değerli olur. Empedans uyumluluğu, karakteristik empedansı 76.13Ω olan bir iletim hattı kullanılarak gerçekleştirir. Daha kalın bir antenin empedansının frekansla değişimi, daha ince antenlerin empedansının frekansla değişiminden çok daha azdır. Ve daha kalın anten cihazın çok daha geniş yayın bandında çalışmasını destekler.

Bir merkez beslemeli silindirik antenin ışınma diyagramı genellikle uzunluğuna ve kalınlığına bağlıdır. Çapı $\lambda/100$ 'den daha az ince antenler için, sinüsoidal akım dağılımı gerçek diyagrama iyi derecede yakındır. Akımın tepe değeri I_0 , boş uzay dalga sayısı k , dipolün yarım dalga boyu l iken, eğer akım dağılımı;



Şekil 6-10_Simetrik merkezi beslemeli silindirik anten



Şekil 6-11 Simetrik merkezi beslemeli silindirik antenin toplam uzunluk/çap oranı $(2l/2a)$ göre ölçülen giriş empedansı $(R+jX)$

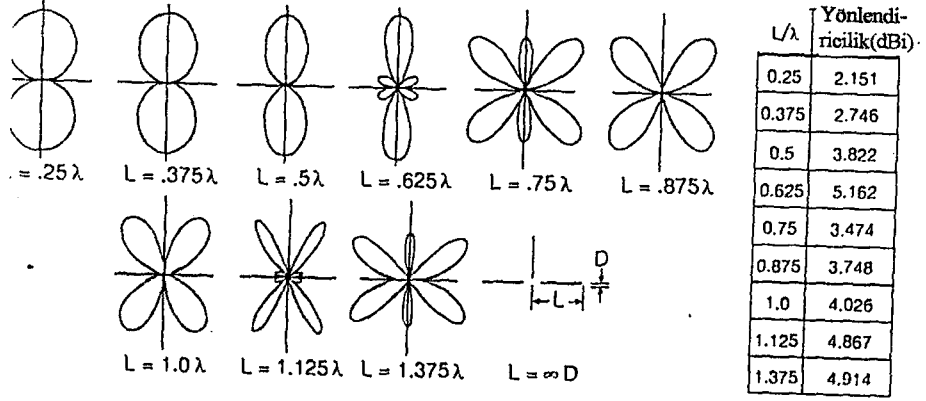
$$I(z) = I_0 \sin k(l-|z|) \quad |z| \leq l \text{ ise} \quad (6.13)$$

Küresel ko-ordinatlarda açıklanan ışınma alanı;

$$E_\theta = j60I_0 \frac{e^{-jR} \cos(kl \cos\theta) - \cos(kl)}{R \sin\theta} \quad (6.14)$$

$$H_\phi = \frac{E_\theta}{120\pi} \quad (6.15)$$

Yarım dalga boyu dipol anten için $(l = \lambda/2)$;



Şekil 6-12 Sinüsoidal akım dağılımı varsayımı altında merkezi beslemeli silindirik dipol antenin ışıma diyagramları

$$E_{\theta} = J60I_0 e^{-jkr} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{R \sin\theta} \quad (6.16)$$

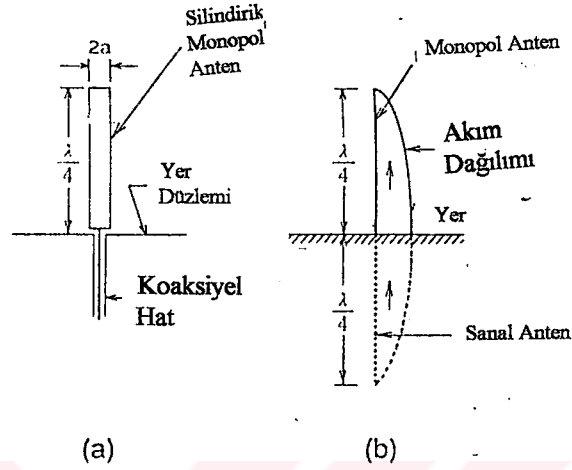
Şekil 6.12 sinüsoidal bir akım dağılımı varsayıldığında, değişik uzunluktaki merkezi beslemeli ince dipollerin ışıma diyagramları görülüyor. Yarım dalga boylu antenin yönsendiriciliği 2.15 dBi'dir.

Mobil haberleşme alanında, yarım dalga boylu dipol antenler yaygın olarak kullanılıyor. (dBi; izotropik anten kazancı, dBd; yarım dalga boylu dipol anten kazancı)

Dikey polarizasyon uygulamalarında pratik olarak dipol anten ilkeleri uygulanamaz. Çünkü montaj ve simetri ile beslemenin aynı anda gerçekleşmesi problemlidir. [3, 8]

6.3.2 Çeyrek Dalga Boylu Monopol (Whip)Anten

Çeyrek Dalga Boylu Monopol Anten mobil antenlerin temelidir ve basit bir yapısı vardır. (bkz. şekil 6.13)

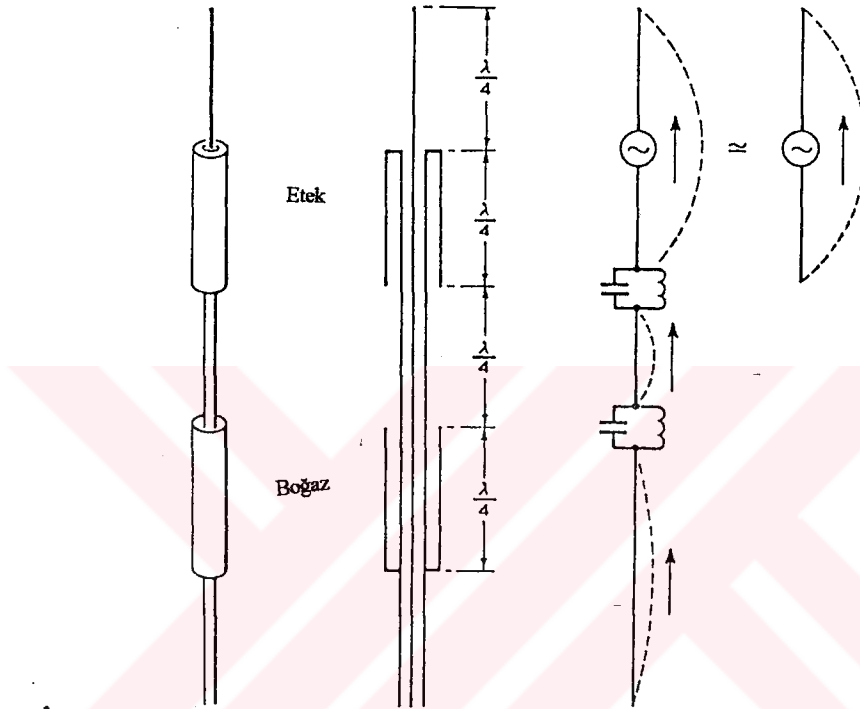


Şekil 6-13 $\lambda/4$ dalga boylu monopol anten a) tipik yapı b) anten görüntüsü ve akım dağılımı

Bu tip antenler normalde esnek bir antendir ve bu nedenle çeyrek dalga boylu whip anten de denir. Işıma elemanı bir yer düzlemine monte edilir. Eğer yer düzlemi çok geniş ve iyi derecede iletken ise ışıma diyagramı yarım dalga boylu dipol anteninkiyle aynıdır. Ancak giriş direnci 36Ω 'dur. Teorik yönlendiriciliği, ışıma diyagramında, yer düzleminin üst yarı uzayına ışıdığı için yarım dalga boylu dipolden 3 dB daha geniştir. Buna rağmen iletken yer düzleminin gerçek tel kayıpları nedeniyle yönlendiricilik bu kadar olmaz. Gerçek kullanımda Efektif anten kazancı yarım dalga boylu antenden daha küçüktür.

6.3.3 Sleeve Anten

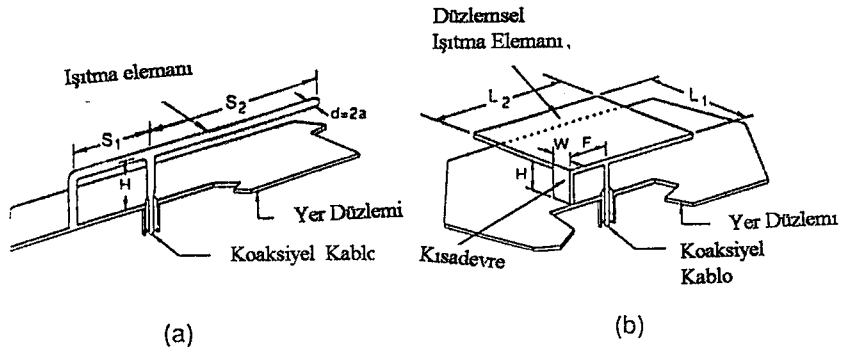
Şekil 6.14'te bir sleeve antenin yapısı görülmüyor. Bir koaksiyel kablunun merkezi iletkeni bir çeyrek dalga boylu bir elemana bağlanır, kablunun dıştaki



Şekil 6-14 Boğazlı Koaksiyel merkezi-beslemeli yarım dalga boylu Sleeve dipol

iletkeni ise bir çeyrek dalga boylu bir silindirik eteğe bağlanır. Bu Silindirik etek çeyrek dalga boylu bir boğaz gibi davranır, böylece anten akımının çoğu koaksiyel kablunun dış yüzeyine kaçmaz. Koaksiyel kablunun alt parçasına boğaz eklemek, genellikle, etekten kaçan akımı bastırarak ışıma diyagramını büyötmek için yapılır. Bu antenler yarım dalga boylu dipol antenlerle aynı karakteristiğe sahiptir. Bu antenler yer düzlemi gerektiğinde, böylece montaj konumuna bağlı kazanç azalması çeyrek dalga boylu merkezi beslemeli dipol anteninkinden daha azdır. Bu tip antenler araç ve portatif telefonlarda kullanılır.

b) imajiner kısım

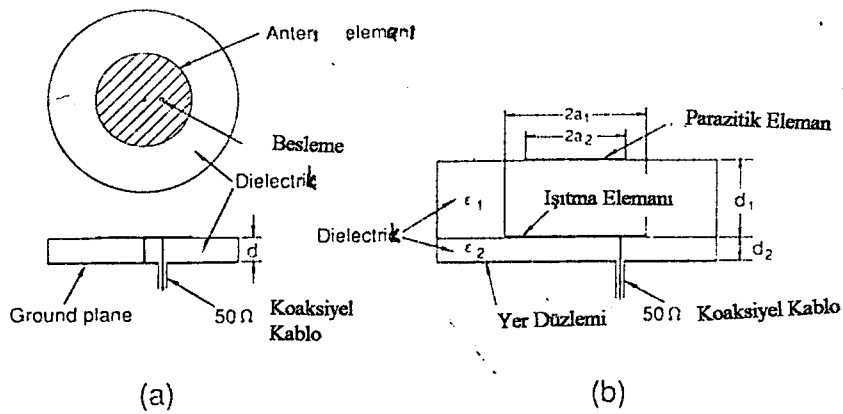


Şekil 6-16 F-şekilli anten a) Tel F-şekilli anten b) Düzlemsel F-şekilli anten

6.3.4 Küçük Yapılı (Low-profile) Antenler

Mikroşerit antenler (MSA) ve F-şekilli antenler (IFA) en çok bilinen tipik az profilli antenlerdir. Bir IFA'nın temel yapısı için Şekil 6.16'ya bakınız.

Bu anten, bir yer düzlemine monte edilmiş çeyrek dalga boylu bir elemanın L-şeklinde kıvrılmasıyla ve montaj noktasından biraz ötede bir noktadan beslenmesiyle elde edilir. Empedans uyumluluğu için besleme noktası uygun seçilerek yapılır. Frekans band genişliği, anten yüksekliği H ile orantılı büyür.



Şekil 6-15 Mikroşerit anten a) Dairesel MSA'nın temel yapısı b) Yığılı parazitik elemanlı yayın MSA

Düzlemsel bir F-Şekilli Anten (PIFA) elemanı kullanılarak genişbandlı bir rezonans karakteristiği sağlanır. Düzlemsel elemanın *çevre uzunluğu yaklaşık yarım dalga boyu* olduğunda rezonans belirlenir ve boyut küçülür. Bu da PIFA'nın cep telefonlarında kullanılmasına olanak sağlar.

Mikro şerit antenlerin (MSA) yapısı Şekil 6.16'da görüldüğü gibidir. MSA'lar dielektrik alt tabakaya iletkenler basılarak (print) oluşturulur. Buna kıymık (Yama) anten de denir. Çok çeşitli ısıtıcı şekli mümkündür. Dörtgensel kıymık, dairesel kıymık, üçgen kıymık, halka kıymık vs.

MSA'nın band genişliği dardır. Daha geniş band genişliği için alt tabakanın elektriksel kalınlığı artırılarak yada daha az dielektrik sabitli bir alt tabaka seçilerek belirlenir.

6.4 Cep (Portatif) Telefonu Anten Tasarım Teknikleri

Cep Telefon teknolojisi son birkaç yıldır hızlı gelişti. 84'lerde bir cep telefonu 550 cm³ ve 850 gr iken bugün 150 cm³ ve 200 gr civarındadır. Hacim ve ağırlıktaki bu değişim cihazlarda kullanılan antenlerinde hızla küçülmesini gerektirmiştir. Bu tasarım çabası, hızla azalan cihaz boyutuyla beraber kazanç, kaplama ve band genişliğinde aynı performansı göstermesi istemektedir.

6.4.1 Tasarımda Göz Önüne Alınacak Noktalar

Cep telefonu anten tasarımını etkileyen ana etken, bağlı band genişliği (~%10), istenildiği kadar küçük boyut, ve azimut açısında üniform kaplamanın sağlanması ihtiyacıdır. Kaplama ve boyutu belirleyen unsurlar, bir dalga boylu ana eksenle yaklaşık olarak soğurucu dielektrik özelliğe sahip olan kullanıcının kafasına yakın tutulan anten durumunda ters bir şekilde etkilenir. Kullanıcının kafası, ışınıcıya yakın olduğu zaman, azimut kaplaması üniform olmayacak şekilde antenden çıkan elektromagnetik enerjiyi soğurur. Basit bir şekilde üniform azimut kaplaması elde etmek için, anteni kullanıcının kafasından yukarda kabul ederek hesaba katmak

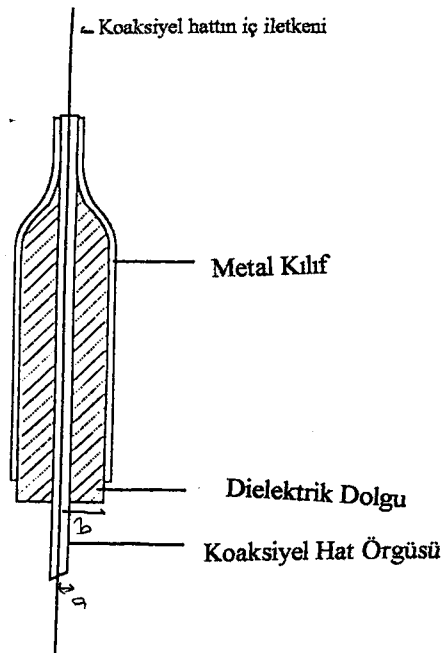
gerekir. Bu da cihazın ışıması yapılarının yaklaşık 15 cm olması demektir. Yarım dalga boylu dipol anten yada benzeri ısıtıcı kullanılıncı cihaz ve antenin toplam boyu yaklaşık 30cm olur. Bu boyut kabul edilemez. Bir cep telefonunda yaklaşık ağız-kulak arası mesafe 25 cm'den büyük olmamalı. 30 cm uzunluğundaki açılır kapanır bir yapı cep telefonunun hacmini azaltmak için ciddi mekanik problemler oluşturur. Bu durumda uzatılabilir antenli bir telefon kısmen kabul edilebilir ve bu uygulamada da yaygındır.

Alternatif olarak, anten bir şapka veya bir saçbandı vb. gibi eşyaların üzerine monte edilerek cihazla anteni ayırmak mümkündür. Bunun içinde cihazla anten arasına bir hat çekmek gerekecektir. Ancak kullanıcılar bunu kabul etmek istemeyebilirler.

6.5 Anten Tipleri

6.5.1 Sleeve Anten

Esas olarak, bir koaksiyel hatla bir ucundan beslenen yarım dalga boylu bir dipoldür. Yapısı Küresel olarak simetriktir. Boş uzayda azimutta mükemmel üniform bir ışıma diyagramına sahiptir.



Şekil 6-17 Sleeve dipol anten kesiti

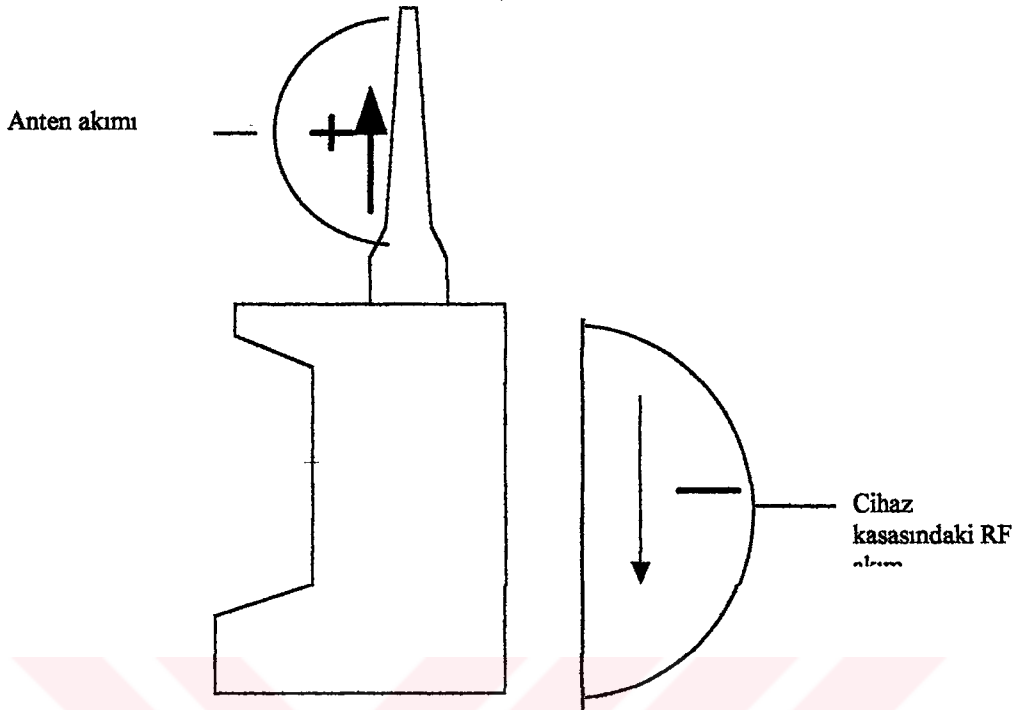
Işıma yapısı farklı çaplardaki ve birazcık farklı boylardaki iletkenlerden yapılan bir asimetrik dipoldür. Normalde daha kalın ışıttıcı, anteni besleyen koaksiyel kablunun iç iletkenidir. Bu iletken çalışma bandında iyi bir anten uyumuna erişmek için gereken bir uzunluğa sahip olmalı. Uygun anten çalışmasında, daha büyük çaplı iletken risklidir ve dikkatli tasarlanmalıdır. Büyük çaplı iletken kendi açık ucunda ve yarım ışıttıcı dipolde RF akımlarını kısmalıdır. İletken sleeve'i besleyen koaksiyel hattın dış örgüsüne kısa devre yapılır İyi bir RF kısması sağlamak için antenin sleeve parçası, anten estetikliğiyle uyumlu mümkün olduğu kadar geniş bir çapta olmalıdır. Koaksiyel hattın örgüsüyle oluşturulan sleeve iletim hattıyla sleeve'in iç yüzeyi rezonanslıysa boğaz çok etkili çalışır. Bu durumda;

$$Z = jZ_0 \tan(kl) \sim \infty \quad kl = \pi/2 \quad (6.17)$$

$$Z_0 = (60/\epsilon_r) \ln(b/a) \quad (6.18)$$

Yukarda l sleeve'in boyu, k hattın propogasyon sabiti, ϵ_r içteki dielektrik sabit, a koaksiyel besleme hattının dış örgüsünün çapı, b metal sleeve'in iç çapıdır. Sleeve hat normalde dielektrik yüklüdür. Antenin uygun performansına esas olan iletken hattın ortak merkezliliğinden emin olmak için az kayıplı, az dielektrik sabitli bir silindir gerekir. Maksimum band genişlikli bir anten elde etmek için ϵ_r küçük olmalıdır.

Metal sleeve'in dış yüzeyi ışıttıcı dipolün parçasıdır. Dış çapa bağlı olarak rezonans uzunluğu boş uzayda, çeyrek dalga boylu antenden biraz kısadır. Sleeve'in iç ve dış yüzeyleri için gereken farksal uzunluk koaksiyel besleme hattının dış örgüsüne sleeve kısa devre edilerek yapılır.



Şekil 6-18 Sleeve dipol antenli bir cihazdaki RF akımlar

6.5.1.1 Sleeve Dipollerinden Işıma

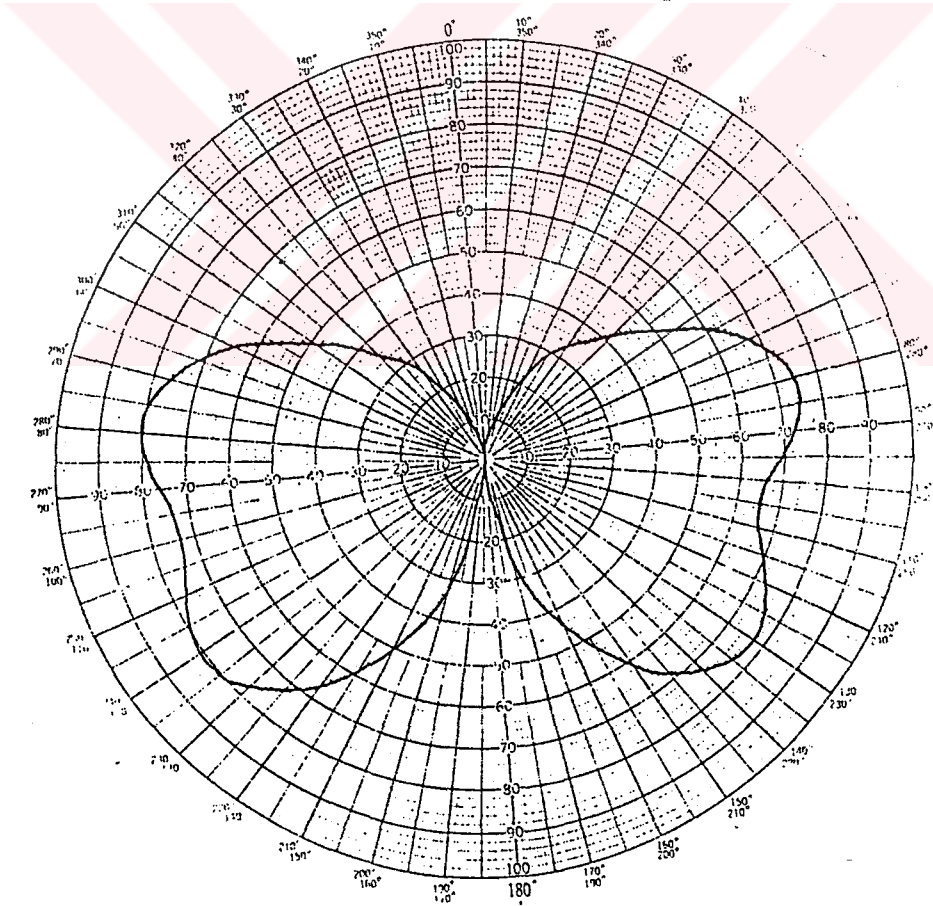
Sleeve'in omzunda ve antenin besleme noktasında bir çap süreksizliği vardır.

Eğer boğaz, sleeve hattın rezonansından yaklaşık $\pm\%5$ den daha uzak bir frekansta çalıştırılırsa RF akımlar anteni besleyen hattın dış yüzeyinden akacaktır. Bu akımlar cihaz kasasında da ters yönlü olarak mevcuttur.

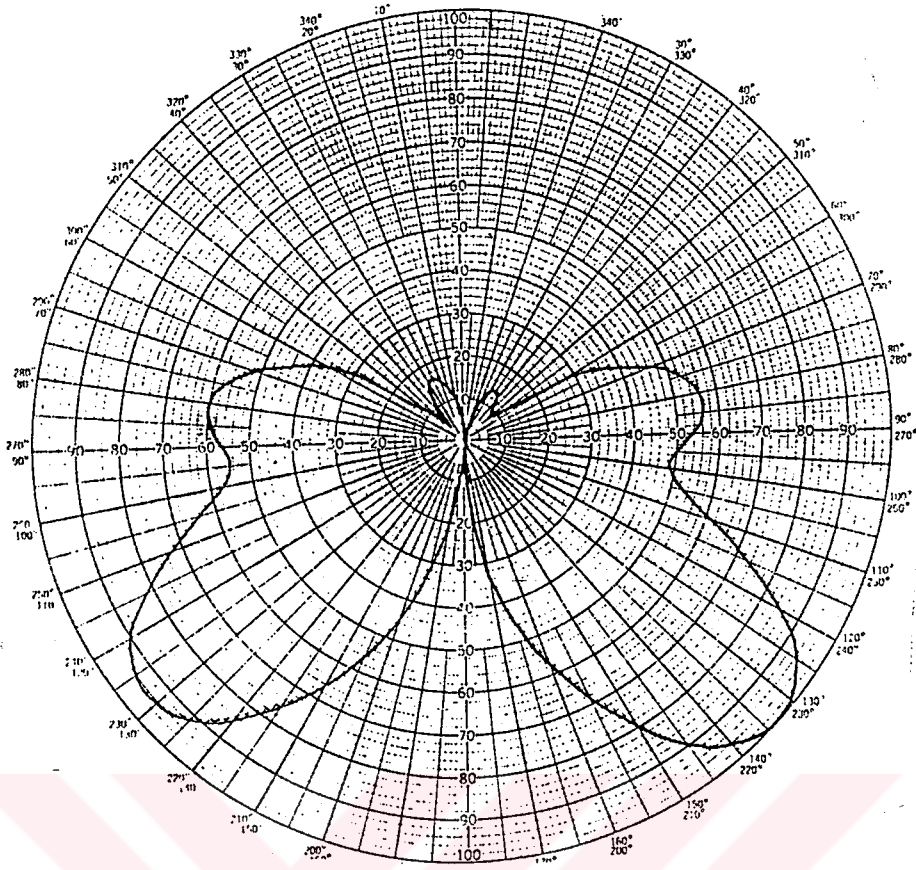
Işıtıcı yapının diyagramı Şekil 6.18'de görülüyor. Kazanç anten eksenine ortogonal olan yönde minimum olur. Bu ise en çok istenen bir durumdur.

Boğaz rezonans yakınında olduğunda bir sleeve antenin ışıma diyagramı aşağıda görülüyor.

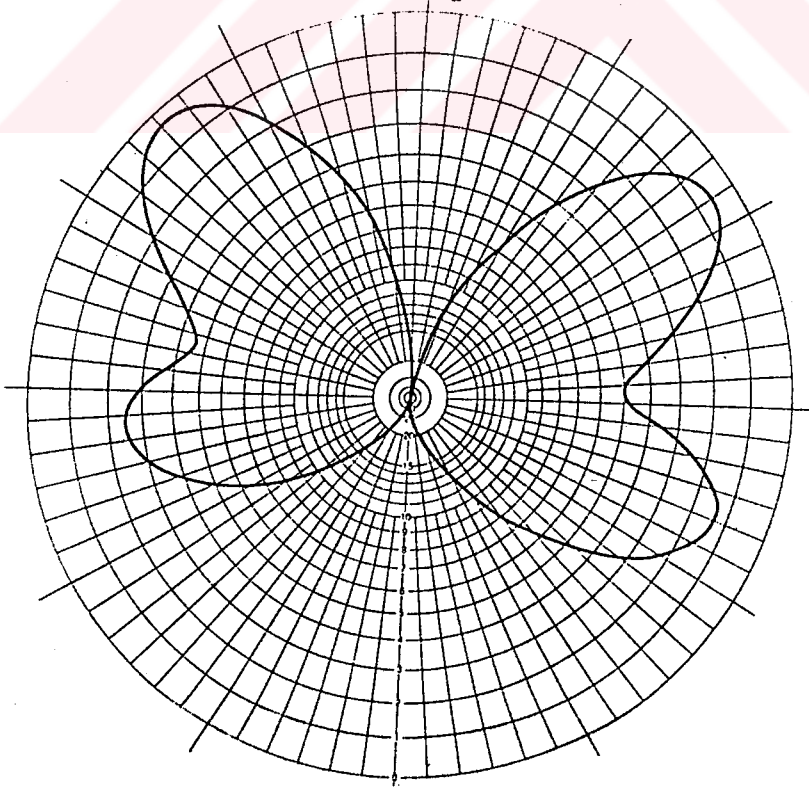
Bu durumda cihaz kasasında minimum RF akımı akar. Pratikte anten diyagramı merkezden beslemeli bir yarım dalga boyu dipol diyagramıdır. Aşağıda (Şekil 6.20 ve şekil 6.21'de) $f_c \pm \%5f_c$ frekansları için ışıma diyagramları görülüyor. Görüldüğü gibi farklılıklar var. Cihaz kasasından iletilen RF akımlar bir omik kayba neden olan kullanıcının elinde soğurular.



Şekil 6-19 $f=f_c$ de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı



Şekil 6-21 $f=f_c + 5\%f_c$ 'de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı



Şekil 6-20 $f=f_c - 5\%f_c$ 'de Sleeve dipol antenin elevasyon diyagramı

6.5.2 Heliks Antenler

Normal modlu heliks antenlerdeki ışımaya yönsüz ışıma da denir. Rezonanslı çeyrek dalga boylu anten ışıma sisteminin bir parçası olan cep telefonunun kasasında güçlü RF akımları uyarır. Görüntüsel durum cihazın yakın alanı taranarak kolayca belirlenebilir.

Bir çok uygulamada, aynı frekansta çalışan bir rezonanslı ince tel antenin uzunluğunu üç veya daha çok etken vasıtasıyla azaltmak için heliks anten kullanılır. Normal olarak, çift yönlü portatif haberleşme teknolojisinde kullanılan monopol heliksler fiziksel olarak $\lambda/12$, elektriksel olarak $\lambda/2$ boyludur. Fiziki boy $\lambda/12$ 'nin altına indirilebilir ama ışıma performansı tolere edilemez duruma gelir.

Heliks anten cihaz kasasının ışıma yapısı, UHF iki kanallı portatif haberleşme spektrumunun önemli bir bölümünü kaplamak için yeterli band genişliğine (50 Mhz) sahiptir. Kullanıcının RF'yi soğurmasına bağlı kazanç kaybıyla, heliks anten bir heliksel dipol konfigürasyonuna uygun geniş bir iletken yer düzlemi üzerinde test edilirse, yaklaşık 60'lık bir Q faktörü gösterdiği halde bütün iki yönlü UHF kara-mobil bandını (100 Mhz) bir heliks antende kapatabilir.

Cep telefonu uygulamalarında cihaz kasası çeyrek dalga boylu (≈ 9 cm) olmadıkça UHF'de kullanıma bağlı uygulama dezavantajı vardır. Cihaz kasası önemli derecede çeyrek dalga boyundan küçük ise, bir yatay kazanç kaybıyla demet yapan diyagram üretmek için, cihaz kasasındaki akımlar heliksin karşı fazındadır.

Eğer cihaz kasası çeyrek dalga boyundan uzunsa, kullanıcının kafasına çok yakın tutulan (2-4 cm) heliks önemli bir diyagram kaplama boşluğu sağlar. Diyagram ölçümlerinden, insan kafasına çok yakın bir cep telefonunun heliks anteni, boş uzaydaki yarım

dalga boylu bir dipol antene göre yaklaşık 12 dB'lik bir akım kaybı sergiler.

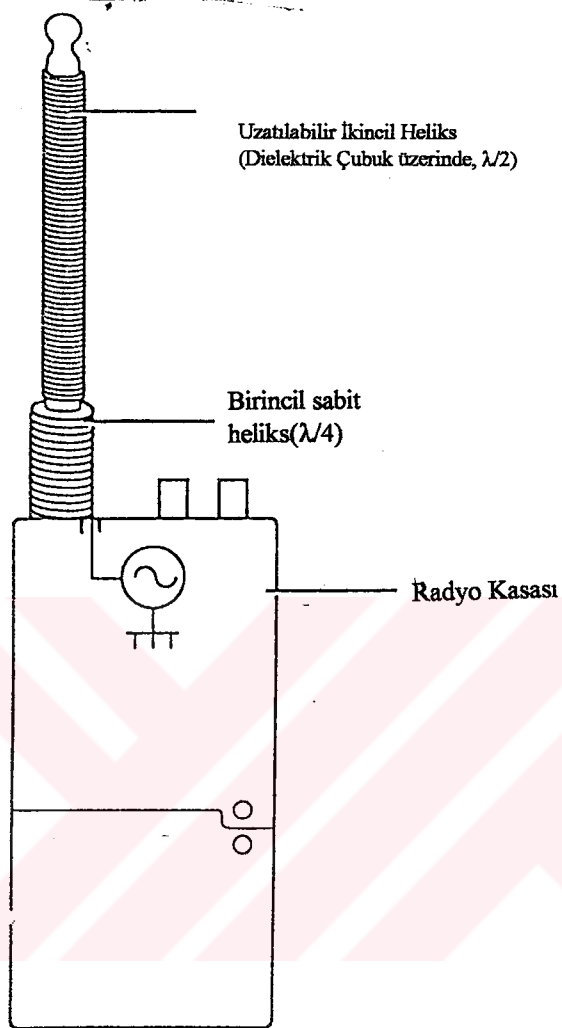
Yine de cep telefonları için en uygun antenlerden başlıcası heliks antendir.

6.5.3Anten Diversitesi

Cep telefonları için heliks antenin zayıf performansı, kısa helikslere alternatif bir ışıttıcı geliştirmeyi gerektirmektedir. (bkz. şekil 6.22)

Bu alternatif olarak geliştirilen antenler iki heliks yapı içeriyor. Bir birincil sabit heliks ($\approx 2\text{cm}$, $\lambda/4$ elektriksel boy) ve cihazın içine girip çıkabilir bir ikincil heliks rezonatör ($\approx 10\text{ cm}$, $\lambda/2$ elektriksel boy). Uzatıldığı zaman ikincil heliks dominant ışıttıcı olur. Çünkü cihaz kasasını tutan kullanıcının neden olduğu kayıplardan beridir.

İkincil heliks, birincil heliksin ucundan başlar ve heliksel metal teldeki omik kayıplar ve uzunluğuna bağlı mükemmel boş uzay performansı gösterir. İkincil heliksin tepesinde, bu yoldan cihaz kasasından içeri alınan minimal yönetilmiş RF gibi ikincil anten içeri çekildiğinde iki heliksi de kuple etmek için 2 cm'lik dielektrik çubuk bulunur.



Şekil 6-22 Kazanç diversiteli heliks anten sistemi

Tablo 6-1 İkincil Anteninin konumuna göre diversite heliks anten kazanç kaybı		
	Boş uzayda	elde
İkincil açık	-4	-7
İkincil kapalı	-6	-13

6.6 Cep Telefonu Anten Sistemleri

6.6.1 Sistem Tasarım İlkeleri

Cep telefonu anten tasarımında iki özelliğe dikkat etmeli; anten cihazın (radio housing) dışına monte edilmeli ve cihaz rastgele herhangi bir yöne döndürülebilecek ve kullanıcı tarafından kurulabilecek şekilde olmalı. Antenin radyo devrelerine yakın olmak zorunda kalması nedeniyle, anten akımı sadece anten elemanından değil, aynı zamanda cihazın iskeletinden de akar. Bu da orijinal ışın diyagramında değişikliğe neden olur.

Antenin insan vücuduna yakın olması da verimliliğini azaltır. Yine kullanıcının yönündeki değişikliklerden kaynaklanan polarizasyon farklılığı olacaktır. Bu zor özellikleri sağlamak cep telefonları için istenen küçük boyutluluk özelliğiyle daha da karmaşıklaşır. Çünkü antenin verimliliği ve band genişliği boyutunun küçülmesiyle azalır. Bunların yanında özel frekans bölgesi güvenliği gibi sistem tabanlı özellikler ile cihaz anten diversite kabulü ihtiyacı da hesaba katılmalıdır.

İncelenen ilkesel konu, çokyollu propagasyon çevresinde, istenen frekans bölgesinde mümkün olduğunca antenin kazancını maksimum yapmak gerekir. Yüksek efektif kazanç, boyutu ve ağırlığı azaltmaya izin verir. Bu da hem daha küçük elektrik alan kuvvetine sahip alanlarda çalışmasını hem de daha az verici gücü kullanılmasına olanak verir. Verici gücünün azalması, pil kapasitesini azaltır, pilin şarj edilme süresini uzatır ve hacmini de küçültür; cihazın ağırlığı azalır.

6.6.1.1 Bir Çokyollu Çevredeki Antenlerin Ortalama Efektif Kazancını (MEG) Hesaplamak İçin Kullanılabilecek Basit Yol

Bir çokyollu çevresindeki mobil antenlerin MEG'i, anten diyagramının birleşik katkısı ve çevreden gelen rastsal dalgaların karakteristikleriyle belirlenir. Fakat başka bir yol için mobil antene gelen bağlı dalgaların yatay düzlemde yoğunlaştığı ve bağlı dalgaların açısız yoğunluk fonksiyonlarının dağılım fonksiyonu olduğu varsayılır.

P_θ ve P_ϕ gelen düzlemsel dalganın açısal yoğunluk fonksiyonunun θ ve ϕ bileşenleri ise;

$$P_\theta = P_\phi = \frac{\delta(\theta - \pi/2)}{2\pi} \quad (6.19)$$

Bu durumda MEG;

$$(6.20)$$

XPR Çapraz polarizasyon oranı, G_θ ve G_ϕ anten diyagramının θ ve ϕ bileşenleridir. Deneylerde $XPR \cong 9$ dB alınıyor. Burada ϕ bileşeni, etkisi azalarak sonucu etkiliyor. İlgilenilen antenin MEG'i, referans antene bağlı olarak

$$G_p = \frac{G_e(\text{ilgilenilen} \cdot \text{mobil} \cdot \text{anten})}{G_e(\text{referans} \cdot \text{mobil} \cdot \text{anten})} \quad (6.21)$$

Referans anten, 55° eğimli yarım dalga boylu dipol antendir ve MEG-3dB'dir. Fakat kazanç performansını kolayca bulmak için, gelen düzlemsel dalgaların yatayda yoğunlaştığı varsayılarak, normal olarak referans MEG'i, dikey konumlu yarım dalga dipol antenin (2.15 dBi) MEG'i olarak kullanılır.

(6.21) eşitliğine ortalama diyagram kazancı(PAG) da denir. PAG;

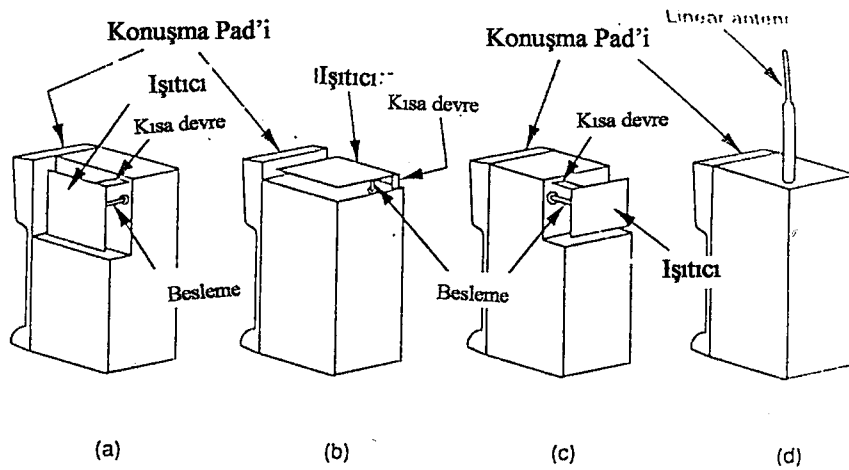
- ◆ İlgilenilen antenin performansı bir radyo anechoic chamber'da diyagram ölçümüyle bulunabilir.
- ◆ Işıma diyagramının insanla çalışma veya iletken kaplamanın etkisiyle değişip değişmediğine bakmaksızın, ışımaya diyagram-

mının değişimine bağlı kazancın azalması, kolayca hesaplanabilir.

- ◆ İnsan vücutuna yakınlık yada vücutça ışıma gücünün soğurulmasından kaynaklanan giriş empedansı değişimine bağlı ışıma verimliliğinin azalması benzer şekilde hesaplanabilir.
- ◆ Efektif kazancın frekansa bağlılığı çalışma frekansı değiştirilerek hesaplanabilir.

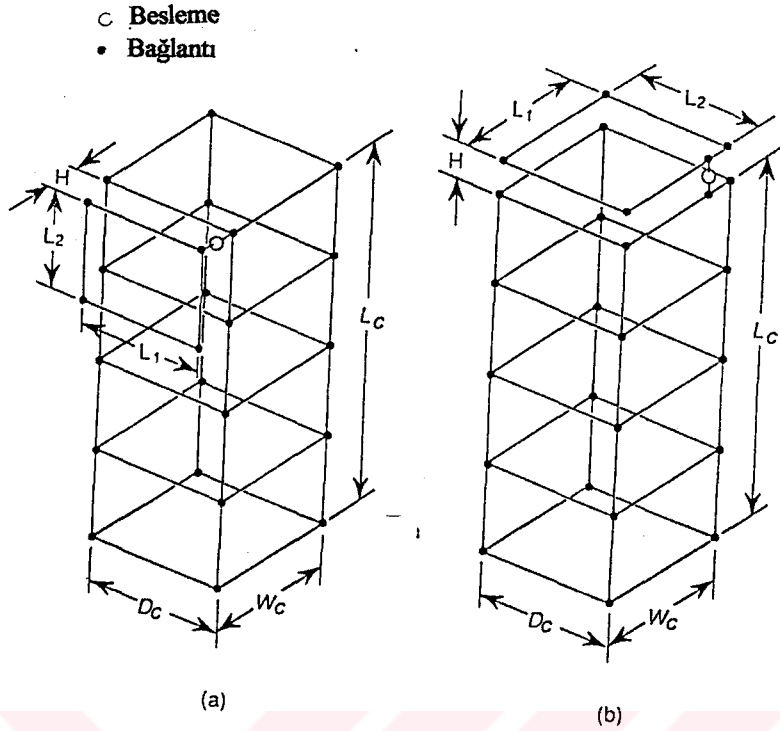
6.6.2 Cep Telefonlarının İletken Kutusunun ve Eğilmesinin Etkisi

Bu etkiyi incelemek için PIFA incelenecektir.



şekil 6-22 Portatif telefonların anten konfigürasyonları

a) A tipi b) B tipi, c)C tipi, d)D tipi



Şekil 6-23 PIFA elemanlı bir cep telefonu ünitesinin tel-ızgara modelleri

a)A tipi, b)B tipi

Yukarıdaki şekiller (Şekil 6.22) bir cep telefonunun iletken kutusuna monte edilmiş PIFA'ları gösteriyor. Aşağıdaki şekilde ise PIFA ve cihaz sisteminin tel ızgara modeli görülüyor. Sistemleri birbirinden ayırmak için;

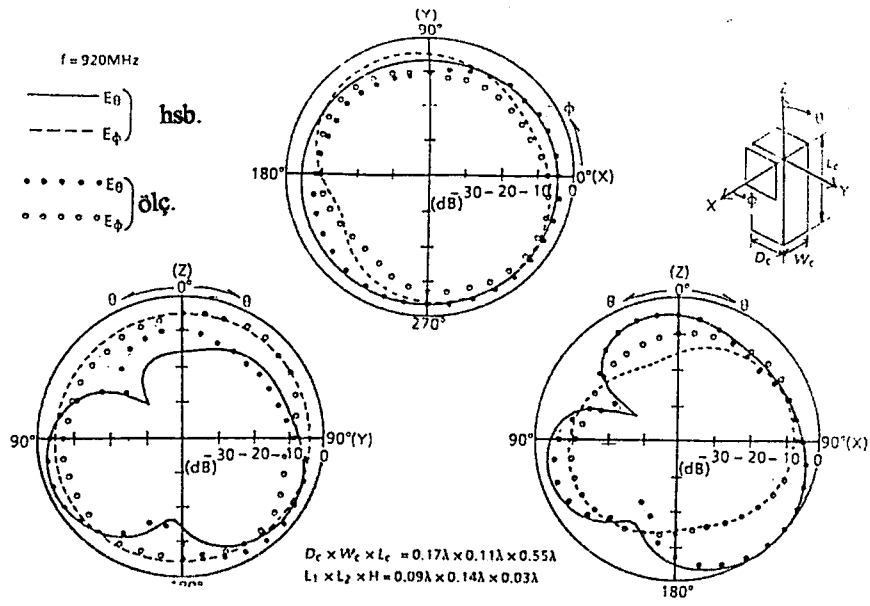
A tipi; PIFA cihazın yan tarafında

B tipi; PIFA cihazın üzerinde

C tipi; PIFA cihazın arka tarafında. (ön; konuşma yönüdür)

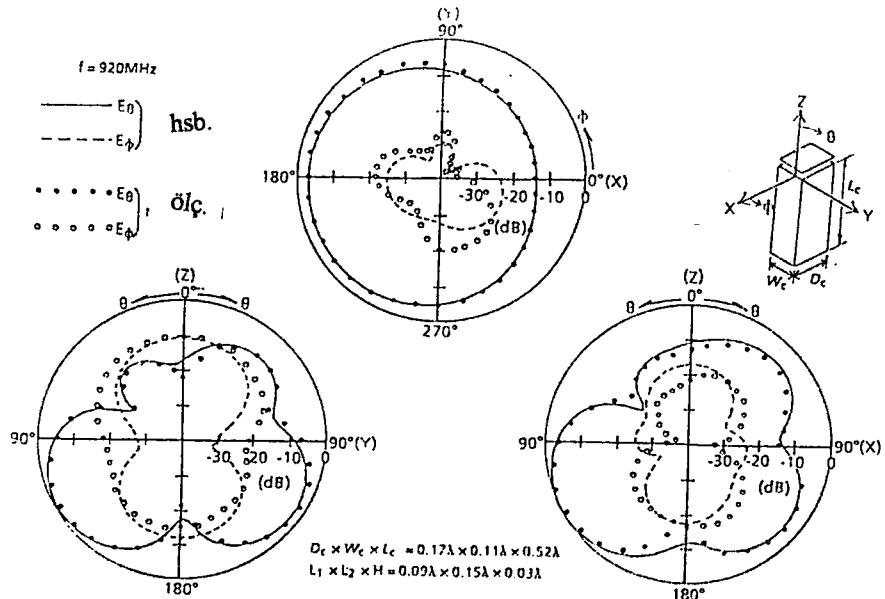
Etkileri incelenirken kullandığımız ışımaya diyagramı ve hesaplar, teorik analizler moment analiziyle yapılmıştır, $f=920$ Mhz[3]

Şekil 6.24 ve 6.25'de A ve B tipi montajların teorik analizi görülmüyor.

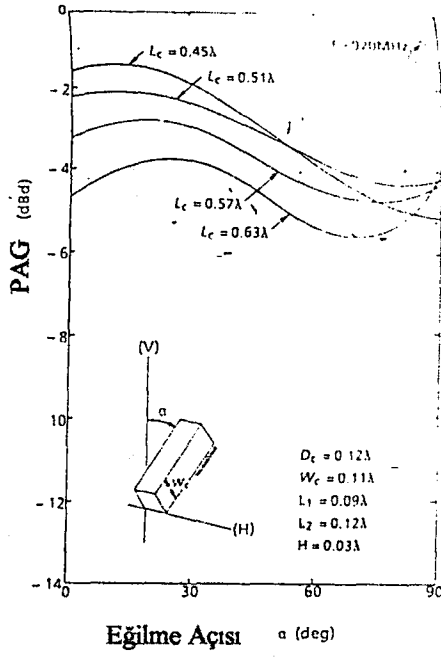
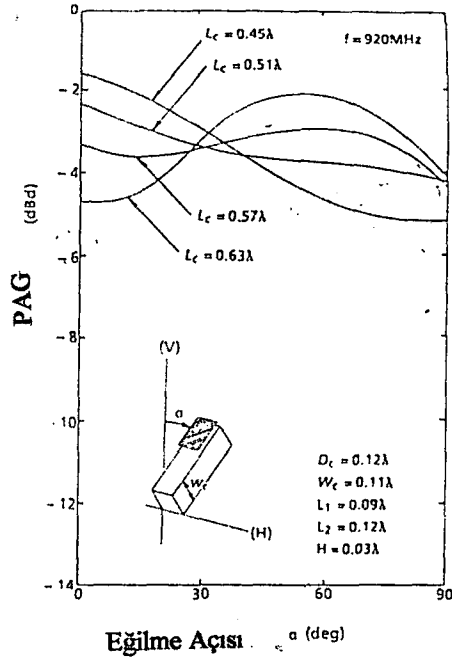


Şekil 6-24 A tipi montaj bir PIFA'nın ışıma diyagramı

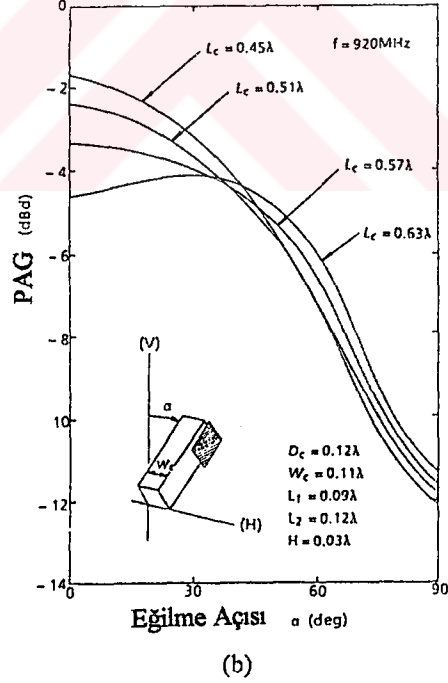
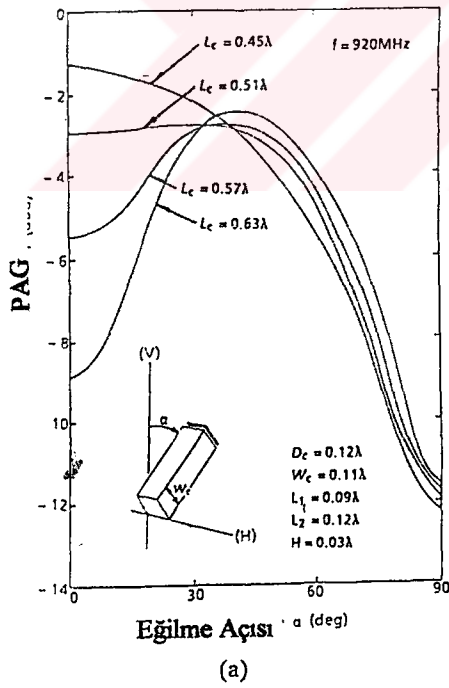
Eğilme setinin bir fonksiyonu olarak PAG kutu z-ekseninden α açısıyla eğik olduğu durum için hesaplanan yatay düzlem ışıma diyagramı, eşitliğe girilerek hesaplanabilir. Aşağıdaki şekillerde A, B ve C tiplerinin tel-ızgara modelinden hesaplanan PAG karakteristikleri görülmüyor. Şekillerden efektif kazanç karakteristiğinin boyutlara bağlı olduğu görülmüyor.



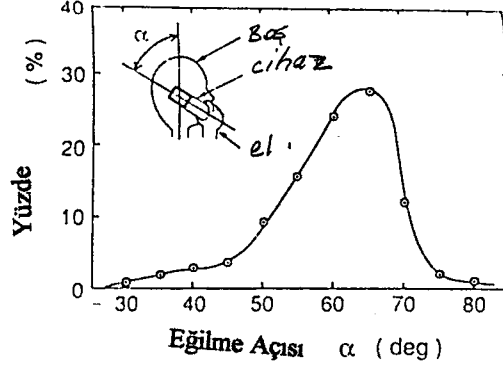
Şekil 6-25 B tipi montaj bir PIFA'nın ışıma diyagramı



Şekil 6-26 A tipi montaj PIFA'nın kazanç karakteristiği

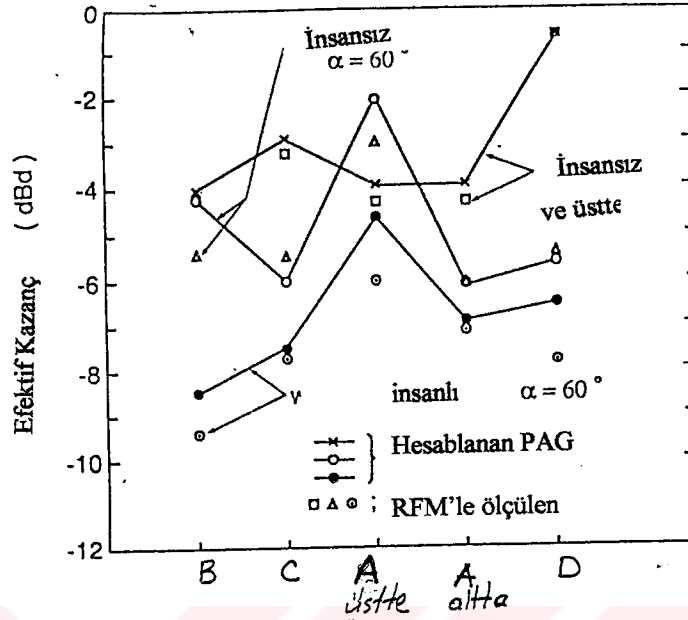


Şekil 6-27 Eğilmiş kutu üzerindeki PIFA'nın kazanç karakteristiği a)B tipi b)C tipi



Şekil 6-28 Cep telefonu ünitesinin eğilme açısı olasılık dağılımı

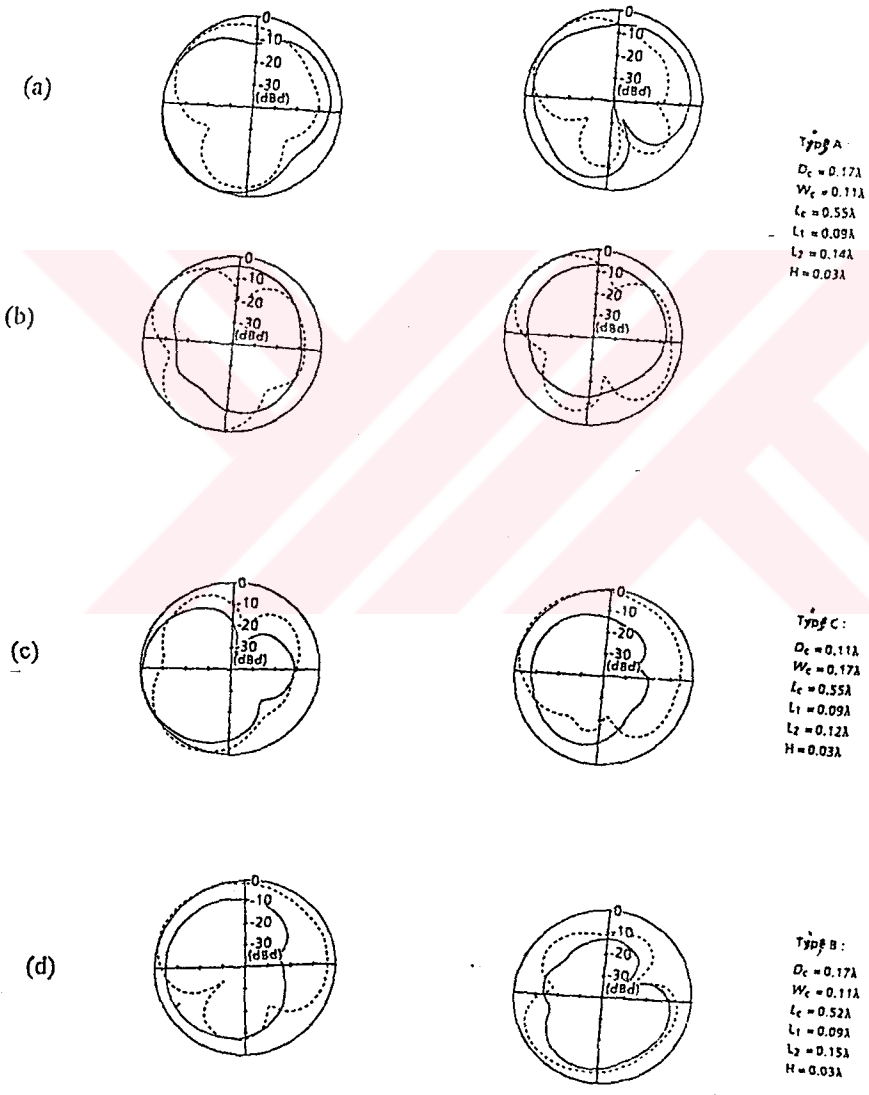
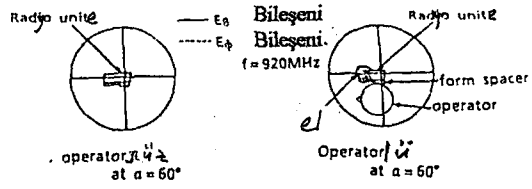
Yukarıdaki Şekil 6.28'de konuşma süresince cihazın eğilme açısının olasılık dağılımı görülmüştür. Şekilden de görüleceği üzere tipik eğilme açısı 60° civarındadır. Aşağıdaki şekilde ise Rastasal alan ölçüm (RFM) metoduyla kenar mahallelerde ölçülen MEG ve deneysel değerler, A ve D tipi antenlerin PAG değerleriyle karşılaştırılıyor. Görülüyor ki yana monte edilen PIFA'lar denenen en yüksek kazançlı konfigürasyondur ve Efektif kazançta (iskeletin) eğilme açısına göre en küçük değişime sahiptir.



Şekil 6-29 A ve D tipi konfigürasyonlarının PAG değeri ve ölçülen ortalama efektif kazançlarının karşılaştırılması (Eğilme açısı $\alpha=60^\circ$ ve $f=920$ MHz.)

6.7 Tasarımda Operatöre Yakınlığa Bağlı Kazancın Azalması ve Etkisinin Değerlendirilmesi

Cep telefonu anteni efektif kazancı, operatöre yakınlıktan etkilenen antenin ışıma performansına bağlıdır. Anten diyagramında, portatif cihazı tutan operatörün etkisi PAG kestirim metodu kullanılarak deneysel araştırılabilir. Portatif cihaza monte edilen antenin yatay ve dikey polarizasyonlu bileşenlerinin ikisi içinde yatay düzlemdeki ışıma diyagramları insan vücudunun etkisi olmaksızın 60° eğilme açısıyla Radyo Anechoic Chamber'la ölçülür. Daha sonra benzer şekilde, aynı Radyo Anechoic Chamber'la cihaz bir operatörün elindeyken ölçüm tekrarlanır. Aşağıdaki şekillerde (şekil 6.32) A, B ve C tipi montajlar için ölçüm sonuçları görülüyor. Şekilde 0 dBd noktası yarım dalga boylu dipol antenin ışıma gücüdür. Bu deneyde operatörün kafası telefondan 0.06λ uzaklıktadır. Sonuçları incelediğimizde, A ve C tipi montajlar B tipinden daha az operatör kaynaklı kazanç azalmasına sahiptir.



Şekil 6-30 Operatöre yakınlığa bağlı ışıma diyagramı azalması

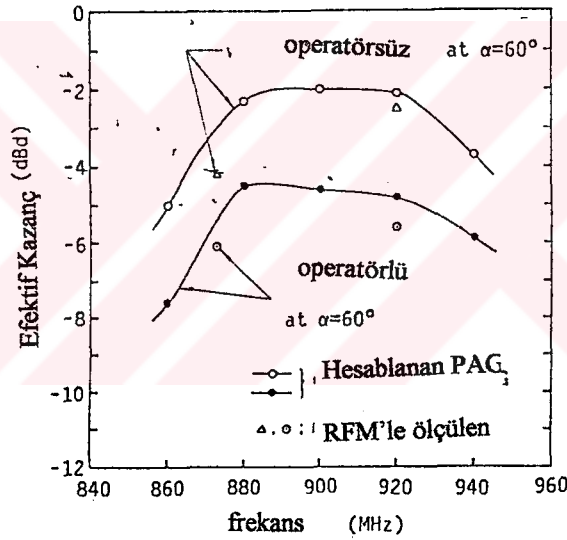
a)üste montaj A tipi b)alta montaj A tipi d)B tipi c)C tipi

Şekil6.33'de A tipi montajlı bir PIFA'nın efektif kazancının frekansa bağlı değişimi gösteriliyor. Ölçüm çevresinde gelen dalgaların dağılımı dikey olarak yayıldığı için, deneysel sonuçlar PAG'dan daha küçüktür. Fakat yinede genelde bir uyumluluk var, bu da PAG kestiriminin etkili olduğunu gösterir. Şekildeki kazanç azalması; operatör, kazancın yaklaşık 2.5 dB azalmasına ve aşağıdaki üç faktörün oluşmasına sebep oluyor.

√ VSWR azalıyor.

√ Diyagram değişiyor.

√ İnsan vücudu ışılan radyo dalgalarını saçıyor yada soğuruyor. [3]



Şekil 6-31 A tipi montaj PIFA'nın ortalama efektif kazanç karakteristiği

7.BAZI BİLEŞKE ANTENLER

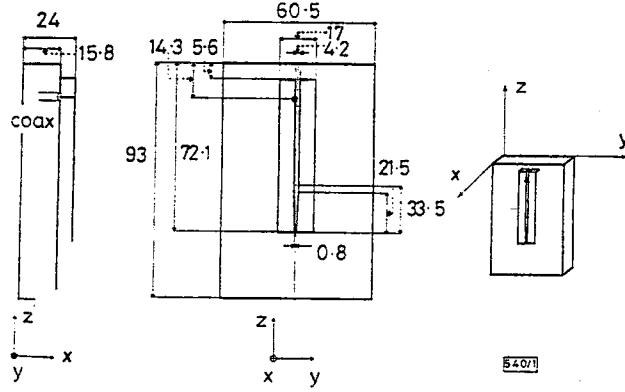
7.1 Işıma Kuplajlı çift L-anten; (RCDLA)

Cep telefonlarının anteni mobil haberleşme için en ilgi çeken konulardan biridir. Anteni içeri almanın yolları aranmaktadır. Çünkü; harici bir antenin kırılabilir bir yapıda olması, kullanıcıyı elektromagnetik enerjiyle etkilemesi, GSM'in tüm bandgenişliğini kapsayamaması önemli bir problemdir. Dahili anten olarak önerilen yapılardan biri de FS-PIFA (Full-Short Planar Inverted F-Antenna; Tamamen Kısa Devreli F-Çevrimli Düzlemsel Anten)dir.

FS-PIFA Cihaz muhafazasının arka tarafına sabitlenir. Bu yöntem Antenin hacmini de küçültmektedir. Yapılan deneylerde, mevcut güvenlik standartlarından 10 faktör daha iyi olduğu ve Belirlenmiş Soğurma Oranı (SAR)'ın uzaysal tepesini gösterdiği tespit edilmiştir. Antenin cihazın arkasına montajı SAR'ın küçültülmesi için en iyi yöntemdir.

Diğer bir yöntem ise RCDLA(Radiation Coupled Double L-Antenna; Işıma kuplajlı çift L-anten)dir. Bu antenin ışımaya performansı FS-PIFA ile aynıdır. RCDLA'da her iki anten kullanıcının kafasından (ve elinden) mümkün oldukça uzağa monte edilir. Yani Cihazın arka tarafına monte edilir ve antenle cihaz arasına bir kalkan vazifesi yapacak metal kaplama yapılır. Anten Kullanıcının doğal olarak tutamayacağı bir pozisyona monte edilmelidir; Kulaklığın (hoporlerin) arkasına en uygun yerdir. Cep telefonu vb. Telefonların dıştaki plastik muhafazası kullanıcının anteni tutması problemlerine en iyi çözümdür ve ergonomik tasarımı dikkatli yapılmalıdır.

İncelenmiş bir RCDLA'nın Verileri: Anten 890-960 MHz bandında ve merkez frekansı $f_c=925$ Mhz olarak tasarlanmıştır. [14]



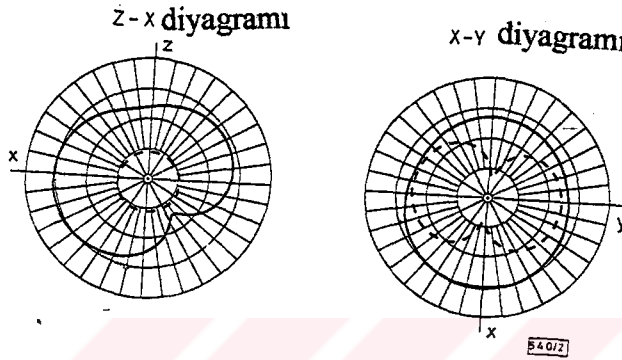
Şekil 7.1 İncelenen RCDLA'nın boyutları (mm)

Şekil 7.1'de görüldüğü gibi RCDLA L-şekilli iki dar metal levhadan oluşur. Bu iki parça, aralarında dar bir boşluk olacak şekilde paralel yerleştirilirler. Biri 33.5x5.4 mm boyutlu bir dikdörtgenle yüksekliği 33 mm taban ve tavanı 5.4-8.1 olan bir yamuktan müteşekkil bir blok levha, diğeri 45x5.4 mm boyutlu bir dikdörtgenle yüksekliği 21.5 mm taban ve tavanı 5.4-8.1 olan bir yamuktan müteşekkil bir blok levha olmak üzere oluşan levhalar 60.5x93x15.8 mm hacimli cihazın üstünden 5.6 mm aşağıya monte edilmiştir. Bu levhalar la cihaz arası mesafe 8.2 mm dir ve levhalar kısa devre ayağından 8.7 mm uzaklıktan beslenmektedir. Burada $\lambda/4$ boyutlu 3 rezonans parçası vardır; 2 L-şekilli metal levha ve 1boşluk. Bu 3 parçanın farklı rezonans frekansı bu yapının band genişliğini meydana getirir.

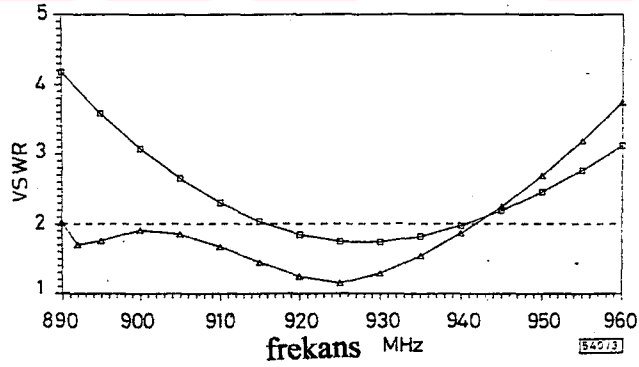
Şekilden de görüleceği gibi RCDLA'nın katmanlı boyutu, yaklaşık olarak aynı performansı veren S-PIFA'nın yarısı kadardır.

7.1.1 Simülasyon:

AndCAD ile bu iki yapının performans analizi yapıldı ve NEC ve AutoCADle simülasyon araçları birleştirilmiştir.[14] ,



Şekil 7.2 RCDLA'nın ışınım diyagramı



Şekil 7.3 RCDLA ve FS-PIFA'nın VSWR'ı

Yapının maksimum kazancı 0.8 dBdir. RCDLA'nın X-Y diyagramında hafif bir asimetri görülmektedir. Bunun sebebi RCDLA'nın beslemesinin cep telefonun geometrik merkezinden yapılmamasıdır. Bu da antenin ışınım

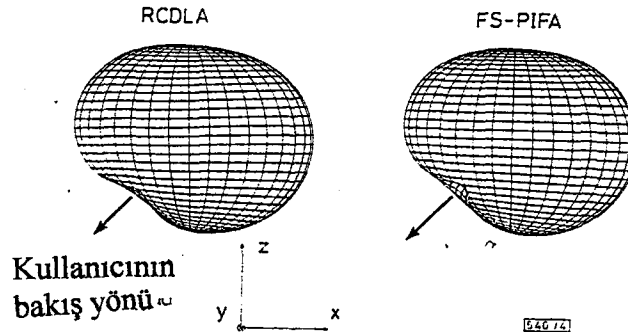
karakteristiği için besleme noktasının cihaz üzerindeki konumunun önemini gösteriyor. Simetrik bir ışımaya diyagramı elde etmek için besleme noktası mümkün olduğunca geometrik merkeze yakın olmalıdır.

Kullanıcının kafası antene göre cihazın diğer tarafında, metalik kaplamaya (Y-Z düzlemine) paraleldir. Bu yöndeki kazanç ana-ışın bölgesinden yaklaşık 15 dB daha azdır. Bu kayıp insan kafası ile anten arasına kalkan olarak konulmuş cihazın metalik kaplamasından kaynaklanır.

Yukarıdaki karşılaştırmalı şekil eşit boyutlu RCDLA ve S-PIFA'nın VSWR (Duran Dalga Oranı)'nın kıyası görülüyor. RCDLA'nın band-genişliğindeki açıklık aşikârdır. RCDLA'nın GSM bandının yaklaşık tamamı üzerinde duran dalga oranı 2'den küçüktür. Halbuki aynı boyutlardaki S-PIFA'nın sadece dar bir aralıkta duran dalga oranı 2'den küçüktür.

Sadece kayıplı bir anten parçası olmayan ek uyumlulaştırma yapılarının kullanımıyla değil aynı zamanda tüm GSM bandı üzerinde FS-PIFA (ve RCDLA)'nın duran dalga oranı 1.5'ten küçük yapılabilir.

$$E^2 = E_{\phi}^2 + E_{\theta}^2 \quad (7.1)$$



Şekil 7.4 RCDLA ve FS-PIFA'nın ışımaya diyagramlarının karşılaştırılması

Bu formülde insana etkisi için bağıl eşdeğeri kullanıldı. Işıma diyagramında insan kafası yönünde bir çentik görülüyor. Bu mobil haberleşmeler için şiddetli bir şekilde arzu edilen bir diyagramdır. Bu kaplamanın kalkan gücü ($\lambda/5 \times \lambda/3$) çok büyüktür. Sadece RCDLA ve FS-PİFA ışıma diyagramları arasında çok küçük bir fark var

Cihazın Plastik kasası giriş empedansı ve rezonans frekansını etkiler. Bu nedenle plastik kasa dikkate alınarak antenin rezonans frekansı %5 daha yüksek tasarlanmalıdır. Yani $f_c = +925 * \%5 = 970$ Mhz olmalı. [14]



7.2 Kısa-devre Ayağı Küçültülen Dairesel Yama Antenler

•Kısa devre ayağı besleme ayağına yakın yerleştirilir.

•Beslemesi kaydırılarak küçültülen dairesel yama antenler (CPA) TM_{01} , TM_{11} modlu koaksiyel bir hibridle uyarılır. Böylece antenler bir kaç yatay düzlemde monopol modla elde edilen antenlerle gerçekleştirilemeyen düşük kazançlı bir diyagram yönlendiriciliğine sahiptir.

Hücreli telefon ve kapalı alan telsiz yerel ağları (LAN) gibi mobil haberleşmede mobil istasyonlar için yüksek performanslı ve minyatür bir anten gereklidir.

Yaygın olarak kullanılan tel antenler basit bir konfigürasyona sahiptir. Buna rağmen, devre tümleştikçe ve küçüldükçe, bu tip bir antenin dışa çıkması kullanıcıyı rahatsız eder ve estetik olarak dezavantajlıdır. Böylece elektriksel ve fiziksel ince düzlemsel antenler kendi doğalarına uygun tasarlanıp kullanılabilir. Yani anten mümkün olduğu kadar küçültülmelidir.

Bir düzlemsel anteni elektriksel olarak küçültmek için anten, teflon gibi bir dielektrik tabakaya fabrikasyonla monte edilir. Buna rağmen dielektrik kayıplara bağlı ışınım verimliliği kaybı probleminden dolayı, kayıplı bir ortamdan bağımsız bir anteni küçültmeye ihtiyaç vardır.

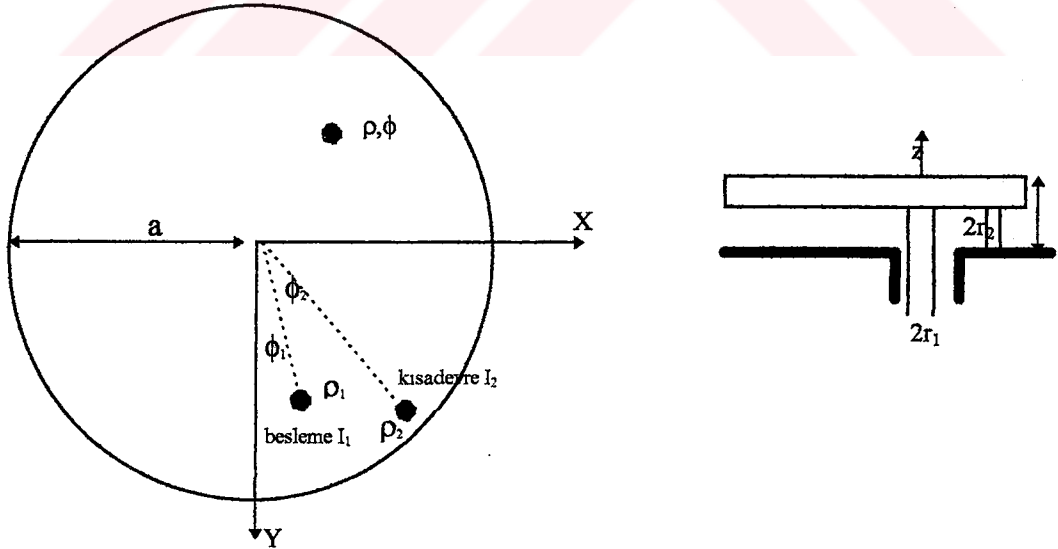
Bir mobil cihaz anteni için yatay düzlemdeki ışınım diyagramının üniform olması gerektiği için, dikey monopol ışınım diyagramı bir anten kullanılır. Bir çok yönlü çevrenin anten kutuplama karakteristiklerinin yapay değişiklikleri vardır. Bu nedenle birkaç kutuplama düzleminde yönlendiriciliği olan bir anten daha etkilidir. Yatay düzlemde üniform ışınım diyagramı olması durumunda, bu antenin bir mobil çevrede alınan gücün çok değiştiği tespit edilmiştir. Destekli dairesel yama anten (PCPA)'de koaksiyel TM_{11} modundan daha düşük eigen değerli TM_{01} moduyla uyarılır ve dominant mode olur. Koaksiyel TM_{01} modunun uyarılması birkaç kısa devre ayağın yüklenmesiyle ve patch'in merkezindeki beslemeyle gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda koaksiyel TM_{01} modunun rezonans frekansı anteni yükleyen kısa

devre ayaklarının sayısına bağlıdır. Besleme ayaklarının yakınındaki kısa devre ayaklarını yükleyerek minimum sayıdaki eigen değerini koaksiyel TM_{01} modunun efektif uyarılması önemlidir.

Keza besleme sistemini yama'in köşelerine doğru kaydırarak, antenin küçültülmesi için yapılan düzenlemeyi sağlayacak kadar eigen değerleri küçültülecektir. Koaksiyel TM_{01} modunda bir kısa devre destekli dairesel yama anten analizi diakopstik metoduyla yapılabilir.

7.2.1 Destekli Dairesel Yama Anten (PCPA)

PCPA'nın konfigürasyonu Şekil 7.5'de görülüyor. a yarıçaplı dairesel iletken d eleman yer düzlemine paralel ve aralarında d mesafe kalacak şekilde yerleştirilir. ve (ρ_1, ϕ_1) noktasından bir koaksiyel hatla uyarılır. Keza r_2 yarıçaplı iletken bir silindire (ρ_2, ϕ_2) noktasından anten yer düzlemine kısa devre edilir.



Şekil 7.5 PCPA'nın konfigürasyonu
a) Üsten görünüş b) Yandan görünüş

Genellikle antenler dominant modlarında tek bir modda kullanılır. Buna rağmen istene bir ışına diyagramı sentezleyecek şekilde eş zamanlı olarak birkaç modda uyarmak mümkündür. Bunun yerine yatay düzlemde bir kardiyoid tipi diyagram sentezleyecek bir dirençle yüklenmiş dairesel bir yama antende TM_{01} ve TM_{11} modları dejenere edilir ve uyarılır.

Her bir modun uyarma genliği oranı, besleme sisteminin kayma oranıyla kontrol edilir. Uyumlulaştırma, kısa devre ayağının konumu ayarlanarak gerçekleştirilir. Besleme sisteminin kaydırılarak antenin rezonans frekansının kontrolü mümkündür

6. Analiz Metodu

Bugün, 0. dereceden mod içeren PCPA analizinde boşluk modelini kullanan green fonksiyonu modeli kullanılır. Bu methodda, anten elektrik duvarların ve bir kompleks empedans sınırıyla çevrelenmiş bir boşluk rezonatörü gibi düşünülebilir. Elektromagnetik alan kip genişlemesiyle belirlenir. Böylece besleme ayağının ve kısa devre ayağının fiziki boyutu hesaplarının analizini yapmak mümkün olabilir. Rezonans her bir modda anlaşılabilir. Burada açıklanan boşluk rezonatör modeliyle analiz metodundan sonra besleme ayağına yakın kısa devreli PCPA koaksiyel TM_{01} modu uygulaması gösterilecek.

Anten, boşluktaki elektrik alanın sadece z bileşeni olacak şekilde dalga boyundan daha inceyse, boşluk içindeki E_z elektrik alanı Tokumarru Et Al'in analiz metodu referans alınarak şu şekilde verilebilir[15];

$$E_z = J30\pi k \sum_{i=1}^2 I_i \sum_{n=0}^{\infty} e_n \cos \pi(\phi - \phi_i) \frac{J_n(k\rho_<) \{J_n(k\rho_> + A_n N_n(k\rho_>)\}}{A_n} \quad (7.2)$$

Yukarıdaki denklemde

$$\rho_{<,\rho>} = \begin{cases} (\rho_i, \rho) : \rho_i \leq \rho \\ (\rho, \rho_i) : \rho \geq \rho_i \end{cases}$$

$$e_n = \begin{cases} 1 & (n=0) \\ 2 & (n \geq 1) \end{cases}$$

olup J_n, N_n n. dereceden Bessel ve Nevman fonksiyonları, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ dalga sayısı,

I_i ayaktaki uyarılan akım, A_n sınır koşullarıyla belirlenen belirsiz sabittir. A_n ;

$$A_n = \frac{Y_n Y_o^{-1} J_n(ka) - j \sqrt{\epsilon_r} J_n'(ka)}{Y_n Y_o^{-1} N_n(ka) - j \sqrt{\epsilon_r} N_n'(ka)} \quad (7.3)$$

Y_n sınır admitansı olup anten içindeki saklı enerji P_i ve yamanın köşelerinde varsayılan magnetik akımdan P_m ışıma gücüne bağlı olarak;

$$Y_n = \frac{1}{\frac{1}{2} \oint_{S_o} |E_a|^2 dS} \{P_m + jP_i\} \quad (7.8)$$

E_a . yama'in köşelerindeki elektrik alan, S_a , antenin açıklık düzlemi, I_i ve I_j akımlarının *mutual* empedansı ve besleme noktasındaki giriş empedansı;

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} - \frac{Z_{12} \cdot Z_{21}}{Z_{22}} \quad (7.9)$$

$$Z_{ij} = -j30kd \sum_{n=0}^{\infty} \int_0^{2\pi} e_n \cos n(\phi_i, \phi_j) \left\{ \frac{J_n(k\rho_<)J_n(k\rho_>)}{A_n} - J_n(k\rho_<)N_n(k\rho_>) \right\} d\alpha \quad (7.10)$$

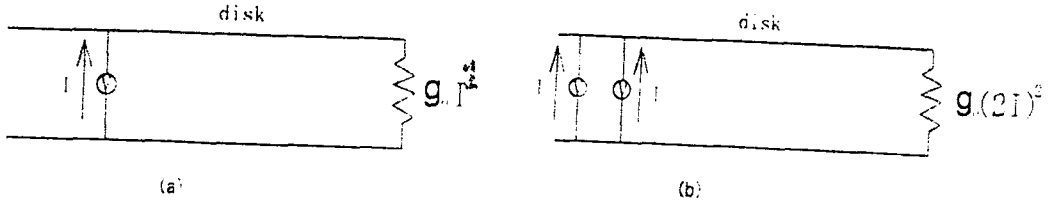
α ayakdaki dairesel koordinatı ifade eder.

Kısa devre ayağı ve besleme ayağı birbirine oldukça uzaksa, her bir akımdan ışıyan güç yukarıdaki prosedürler uygulanarak bağımsız bir şekilde türetilir. Buna rağmen besleme noktası kısa devre ayağına çok yakınsa, antenden ışıyan gücü, kotlanmış bir antende her bir pinden ışıyan güçlerin süperpozisyonuyla mümkün değildir. Kısa devre ayağı, besleme noktasına yakın yerleştirilmiş bir PCPA'nın giriş empedansı türetildiği zaman bu problemi hesaba katmak gereklidir.

Frekans, rezonans yakın olduğu varsayılarak reaktans ihmal edilirse koaksiyel TM_{01} modu içinde normalize sınır admitansı Y_0 ;

$$Y_0 = g_0 = \frac{Z_0}{\frac{1}{2} \int_{S_a} |E_a|^2 dS} P_{r_0}(I_1, I_2) \quad (7.11)$$

P_{r_0} TM_{01} modunda antenden ışıyan toplam güçtür ve birkaç ayak akımının fonksiyonu olarak verilir. Buna rağmen ayak akımları arasındaki korelasyon fiziksel olarak incelenirse bu büyüklük tek bir akımın fonksiyonu olarak formüleleştirilebilir.



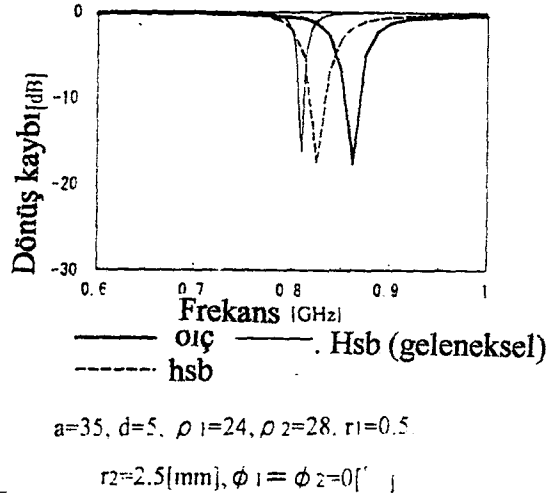
Şekil 7.6 PCPA'nın eş devresi a) Yüksek dereceli mod b) Koaksiyel TM_{01} modu

PCPA kısa devre ayağı, besleme ayağına oldukça yakın olması durumunda PIFA'ya oldukça çok benzer. Düzlem elemanı faz çevirici olarak çalışacak şekilde eleman tipine bağlı olarak, disk elemanındaki akımın yol boyu, uyarma noktasından itibaren yaklaşık $\lambda/2$ 'dir. PCPA' da düzlem elemanı iki ayağın fazı aynı olacak şekilde bir faz çeviriciye dönüşür. Yani anten köşesinin ışıma iletkenliği; g_0 olan iki akım kaynağıyla ve yapılan anten eşdeğer devresiyle şekillendirilebilir. (Bkz. Şekil 7.6) g_0 yük direncinin uçlarındaki gerilim akım kaynağı sayısına bağlı olmadığı için, yaklaşık olarak ışıma gücü

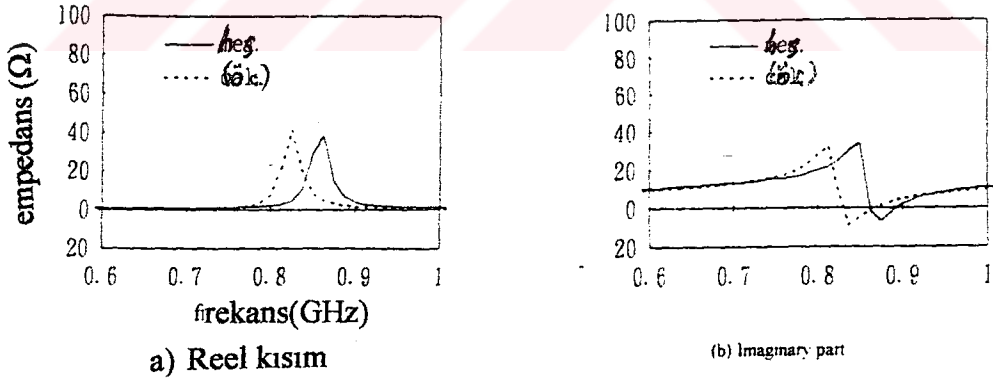
$$P_{ro}(I_1, I_2) = g_0(I_1 + I_2)^2 = 4g_0I_1^2 = 4P_{ro}(I_1) \quad (7.4)$$

7.2.2 Anten Karakteristikleri

PCPA'nın dönüş kaybı Şekil 7.7'de, empedans karakteristiği Şekil 7.8'de görülüyor. Şekil 7.8'de referans olarak nümerik sonuçlar ince çizgiyle gösterilmiştir. Deney 150 mm çaplı alüminyum levha ile yapılmıştır[15]. Düzlem elemanı olarak 35 mm çaplı ve 0,2 mm kalınlıklı dairesel bakır bir levha kullanılmıştır. d anten



Şekil 7.7 Frekansa göre dönüş kaybı karakteristiği



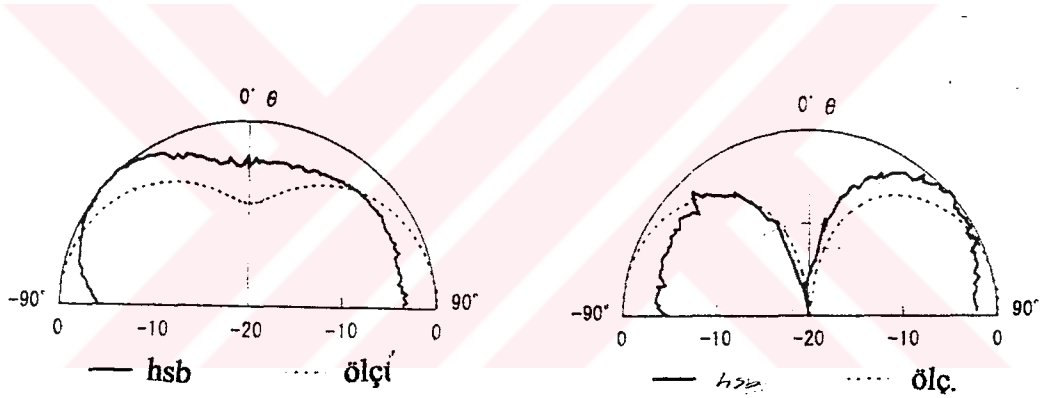
Şekil 7.8 Giriş Fonksiyonu

yüksekliği 5 mm. Anten elemanı 2,5 mm çaplı bir metal boşluk elemanı ile kısa devre edilmiştir. Dönüş kaybı ve empedans ölçümleri HP 8719A analizörü ayağı ile yapılmıştır. [15]

Antenin 825 MHz rezonans frekansına göre, (niyetlenilenle) amaçlananla pratik arasında üretimden kaynaklına %5'lik bir hata vermiştir. Deneyle nümerik değerler örtüşüyor. Dönüş kaybının bağıl band genişliği (-10dB'de) % 1,8.

Antenin Işıma Diyagramı;

Şekil 7.12 antenin dikey düzlemdeki ışımaya diyagramını gösteriyor. Besleme noktasına bağlı olarak z-ekseni yönündeki ışımaların ana kutuplama düzlemi olan zy-



Şekil 7.9 Dikey düzlemde ışımaya diyagramı

a) Ana kutuplama düzlemi (zx) b) Ortogonal kutuplama (yz)

düzleminde büyüklüğünün ve boşluğunun azaldığı görülmüştür. Keza zx düzlemindeki E_{ϕ} bileşeni E_{θ} bileşeninden çok daha küçüktür. yz-düzleminde ışımaya, TM_{11} modu karakteristikleri gibi yukarı yöne doğru çok güçlü.

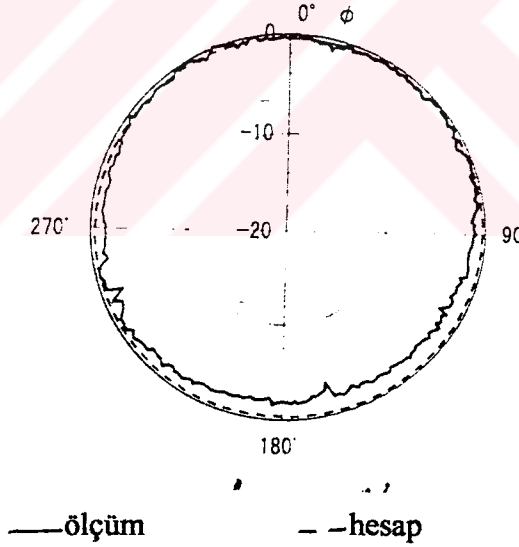
Genellikle, kapalı kentsel alanlarda çoklu-yol koşulları altında, kutuplama düzleminin korunması her iki yatay ve dikey kutuplamalar alınabilecek şekilde zayıflar. Eğer orta genel kutuplama düzlemlerinin birinin bir yönlendiriciliği varsa, alış duyarlılığının aşırı derecede azalması, mobil antenler olarak kullanılmalarını

önleyebilir. Sonlu büyüklükteki yer düzleminden kaynaklanan ölçümler ve hesap sonuçlarının arasında maksimum 3 dB'lik fark vardır. Yatay düzlemdeki ışın diyagramı Şekil 7.9'da görüldüğü gibi her yönde üniformdur. Buna rağmen hibrid modda yaklaşık ± 6 dB'lik bağıl asimetri vardır. Ölçülen ışın diyagramında görülen asimetrisinin, antenin dönüş ekseninin ve besleme faz merkezinin kayıklığından kaynaklandığı düşünülebilir.

7.2.3 Antenin Rezonans Durumu

Magnetik akım genlik sabiti araştırıldı.

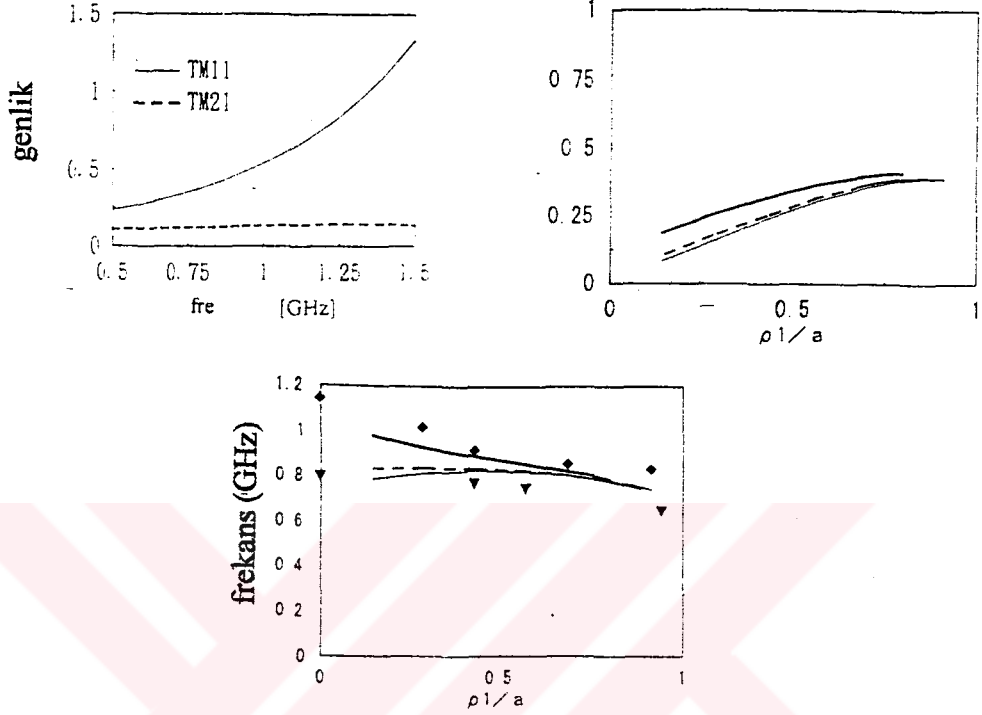
Bağıl genlik sabitinin bağıl değerleri önemli olduğu için sabit TM_{01} modunu genlik sabitleriyle normalize edilir.



Şekil 7.10 Yatay düzlemdeki ışın diyagramı

Şekil 7.11'de TM_{11} modu ve TM_{21} modunun frekans karakteristiği görülüyor. Şekle göre, TM_{11} moduyla uyarılan genlik rezonans frekansında arttığı ve TM_{11} modunun eigen frekansı yakınında maksimum değer aldığı açıktır.

Diğer taraftan TM_{11} modu küçük bir genliğe sahiptir ve PCPA rezonansına çok az yaklaşır. Testlerde TM_{01} modlu ve TM_{11} moduyla 5:2 oranında uyarılan



Şekil 7.11 a) TM_{11} ve TM_{21} modu frekans karakteristiği b) Besleme noktası-kısadevre ayağı arası ile genlik ilişkisi c) Besleme noktası-kısadevre ayağı arası ile frekans ilişkisi

r_2 : ————— 0.5 ————— 1 ————— 2.5

PCPA'nın hibrid modları birbirine yakındır. Şekil 7.9'da görülen zx -düzlem diyagramında zirve yönündeki ışın TM_{11} mod varsayımından kaynaklanır. Işın seviyesi bu modun uyarılma genliğiyle kontrol edilir. Böylece zx düzlemindeki ışın diyagramını üniform yapmak için yük ayaklarının sayısı antenin rezonans frekansı artacak şekilde artırılabilir.

Koaksiyel TM_{01} modu, asimetriktir ve elemanın merkezindeki beslemeyle çok güçlü uyarılmalıdır. Diğer taraftan anten bir asimetrik yapıya sahipse TM_{11} modu uyarılmak için çok uygundur. Şekil 7.5'de besleme noktası ile farklı çaplardaki bir kısa devre ayağı için uyarılan mod arasındaki ilişkiler görülüyor. Her bir veri noktası için kısa devre ayağının konumu anten uyumluluğunu sağlamak için ayarlanabilir. Besleme yapısı elemanın merkezinden kaymışsa, bir kısa devre ayaklı maksimum anten yükünde TM_{11} modu 0,45'in üzerinde uyarılabilir. Birkaç ayaklı yükleme antenin yapısal asimetrisi arttığı için TM_{11} modunun uyarılma genliği daha da artar.

Şekil 7.6'da değişik çaplardaki kısa devre ayakları için besleme noktasıyla rezonans frekansı arasındaki ilişki görülüyor.

Şekilde $r_2 = 3,0$ mm'lik kısa devre ayağıyla kısa devre edilen bakır anten inceleniyor. Beslemenin ρ_1/a kayma miktarı arttıkça rezonans frekansı azalıyor, kısa devre ayağı çapı arttıkça rezonans frekansı artıyor.

A. Yukarıdaki methoda bir bir besleme noktasıyla modun genlik kontrolü mümkün olmakta. Küçültme bir kayıplı bitirici olmaksızın gerçekleşmekte.[14]



8. MOBİL ANTENLERİN ANALİZİ

Antenlerin performans ve ışınma diyagramı analizleri için birçok yöntem geliştirilmiştir. metodların önemli problemi mobil anten, cihaz vs.'yi modellemektir. Sistem modellendiğinde problem çözülmüşsayılır. Bunlardan biri de FDTD metodudur.

8.1 FDTD Metodu

Antenlerin elektromagnetik ışınması, deneysel analitik ya da hesapsal teknikler kullanılarak önceden öğrenilebilir. Bu amaçla geliştirilen yollardan biri de FDTD (Sonlu farklı Zaman Domeni) yöntemidir.

FDTD'nin başlama noktası Maxwell'in zaman domainindeki iki eğrisel eşitliğidir. Sadece yakın komşu etkileşimleri dikdörtgen şekilli uzaysal hücreler üzerinde ayırık zamanlı adımlardan geçici olarak ileri olduğu varsayılır.

8.2 FDTD Teorisi

8.2.1 Maxwell'in Eğrisel Denklemleri

FDTD formülasyonunun hareket noktası Maxwell'in zaman denklemindeki eğrisel denklemlerdir. Uzayın bir bölgesinin boş kaynak olduğuna ve elektrik parametrelerinin zamandan bağımsız olduğunu düşünülürse, lineer izotropik ve frekanstan bağımsız ortamda Maxwell'in zaman-domeni diferansiyel denklemleri;

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{E} - \frac{\rho}{\mu} \vec{H} \quad (8.1)$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = +\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{H} - \frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E} \quad (8.2)$$

Burada E elektrik alanı, H manyetik alan, ϵ dielektrik sabiti, σ elektrik iletkenlik, μ manyetik geçirgenlik ve ρ manyetik direnç.

Bir dikkörtgensel koordinat sisteminde yukarıdaki (8.1) ve (8.2) denklemleri, aşağıdaki skalar denklemlerine denktir.

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \rho H_x \right] \quad (8.3)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \rho H_y \right] \quad (8.4)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \rho H_z \right] \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z} - \sigma E_x \right] \quad (8.6)$$

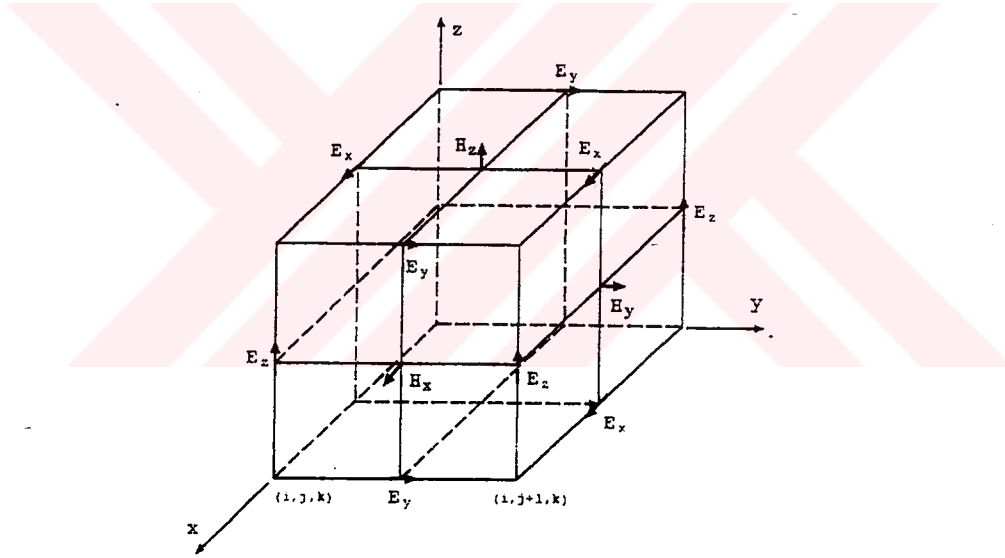
$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x} - \sigma E_y \right] \quad (8.7)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left[\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y} - \sigma E_z \right] \quad (8.8)$$

8.2.2 Yee Hücre Formülasyonu

Yukarıdaki (8.3)-(8.8) formundaki kısmi diferansiyel denklem sistemi, 3-boyutlu nesnelere elektromagnetik ışınımını, girişimi ve etkileşimi için FDTD algoritmasının temelidir.

Yee FDTD algoritması Şekil 8.1'deki gibi bir ızgaraya uygulanır. Bir ızgarada elektrik alan bileşenleri ve her bir kartezyen yönde ilkinden yarım hücre uzaya kaydırılmış olan ikinci ızgarada manyetik alanın kartezyen bileşenleri bilinmez. Bir dikdörtgen katmanda bir uzay noktası:



Şekil 8-1 Yee hücre geometrisi

$$(i,j,k)=(i\Delta X, j\Delta Y, k\Delta Z) \quad (8.9)$$

şeklinde gösterilir ve dörtgen ızgarada uzayın ve zamanın fonksiyonu

$$F^n(i,j,k) = F(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t) \quad (8.10)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ sırasıyla x,y,z koordinat yönlerindeki birim uzay artışı ve n tamsayıdır

Uzay türevleri;

$$\frac{\partial F^n(i,j,k)}{\partial x} = \frac{F^n(i+1/2,j,k) - F^n(i-1/2,j,k)}{\Delta x} - O(\Delta x^2) \quad (8.11)$$

$$\frac{\partial F^n}{\partial t} = \frac{F^{n+1/2}(i,j,k) - F^{n-1/2}(i,j,k)}{\Delta t} - O(\Delta t^2) \quad (8.12)$$

şeklinde açılabilir.(8.12)'nin doğruluğunu sağlamak için iki ızgaradaki elektrik alan ve magnetik alan değerleri değişik yarım zaman akımlarında yuvarlanır. Denklemleri bir sistemde bu açıklamaları (8.3)-(8.8) eşitliklerinde yerine koymak, magnetik alan ve elektrik alan bileşenleri için 6 farklı eşitlikle sonuçlanır. Aşağıda örnek FDTD ifadeleri var;

$$H_x^{n+1/2}\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right) = \frac{1 - \frac{\rho\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)\Delta t}{2\mu\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)}}{1 + \frac{\rho\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)}{2\mu\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)}} H_x^{n-1/2}\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right) + \frac{\Delta t}{\mu\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)} \frac{1}{1 + \frac{\rho\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)}{2\mu\left(i,j+\frac{1}{2},k+\frac{1}{2}\right)}} \times \left[\frac{E_y^n\left(i,j+\frac{1}{2},k+1\right) - E_y^n\left(i,j+\frac{1}{2},k\right)}{\Delta z} + \frac{E_z^n\left(i,j,k+1\right) - E_z^n\left(i,j+1,k+\frac{1}{2}\right)}{\Delta y} \right] \quad (8.13)$$

$$E_z^{n+1}\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right) = \frac{1 - \frac{\sigma\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)\Delta t}{2\varepsilon\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)}}{1 + \frac{\sigma\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)\Delta t}{2\varepsilon\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)}} E_x^{n-1}\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right) \quad (8.14)$$

$$\left[\frac{\frac{\Delta x}{2} \varepsilon\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right) \left(\frac{1}{1 + \frac{\sigma\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)\Delta t}{2\varepsilon\left(i, j, k + \frac{1}{2}\right)}} \right)}{\left[\frac{H_y^{n+\frac{1}{2}}\left(i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}\right) - H_y^{n-\frac{1}{2}}\left(i - \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2}\right)}{\Delta x} + \frac{H_x^{n+\frac{1}{2}}\left(i, j - \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}\right) - H_x^{n-\frac{1}{2}}\left(i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}\right)}{\Delta y} \right]} \right]$$

Elektrik ve magnetik alanın diğer dört bileşeni de aynı şekilde belirlenebilir.

8.2.3 FDTD Temel İlkeleri

Zamansal adımlı bir algoritmanın kararlılığını garantilemek için, uzay hücre boyutu ve zamansal akışın seçimi dikkatlice düşünülmelidir. İlgilenilen en yüksek frekansta doğru sonuçlara imkan sağlamak için yeterince küçük ve yönetilebilir, hesabi ihtiyaçları sağlamak için yeterince büyük olmalıdır. Hücre boyu doğrudan mevcut malzemeden etkilenir. Daha büyük dielektrik sabiti veya iletkenlik için, verilen frekansta daha kısa dalga boyu, daha küçük hücre boyu gereklidir. Bu hesaplarda karşılaşılan temel bir zaruriyet; hücre boyu arzu edilen doğru sonuç için en küçük dalga boyundan daha küçük olmalıdır.

Çok sık karşılaşılan zaruriyet, bir dalga boyunun 10 hücreyle örneklenmesidir. Bazı durumlar için, radar kesitinin veya bu antenin giriş empedansının çok doğru bir şekilde saptanması için, $\lambda/20$ veya daha küçük boyulu hücreler gereklidir.

Önce hücre boyu, hemen sonra maksimum zaman adımı Δt miktarı belirlenir. Zaman- adımlama algoritmasından kararlılığından emin olmak için Courant eşitsizliğini sağlanarak Δt seçilir. Courant eşitsizliği;

$$\Delta t \leq \frac{1}{C_{\max} \left[\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta z^2} \right]^{1/2}} \quad (8.15)$$

$$C_{\max} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (8.16)$$

8.16 eşitsizliğiyle verilen C_{\max} ortamdaki maksimum elektromagnetik fazi hızıdır.

Birçok uygulamada, boş uzayda modellenen yapı seçici veya ısıtıcı anten gibi yerleştirilir. Bazı durumlarda, seçici ısıtıcı alan sınırsız uzaya yayılır. FDTD hesaplama uzayı gereksinimlerle sınırlanır. Genel ölçümler, en dıştaki sınıra ulaştığı zaman saçınan veya ışılan alanları soğurmak için bir dış ışımaya sınır koşulunu (ORBC) uygulamayı kapsar.

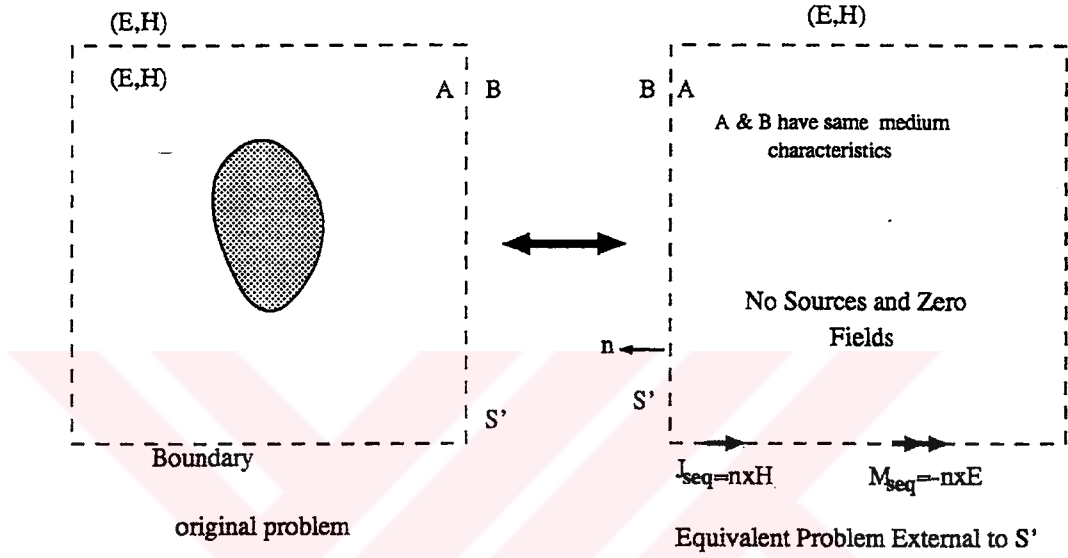
8.2.4 Yakın Alandan Uzak Alana Dönüşüm

FDTD hesaplamaları sadece FDTD hesaplama uzayında içeriler böyle alanlar gibi aynı veya ayırık saçılma veya ışımaya nesnelere, elektromagnetik alanların bilgisini içerir.

FDTD uzayının dış yüzeyinde yatan saçılan ya da ışılan alanlara uzak bölgelere uygulanabilir. Hedeften veya saçılma veya antenden ışımaya analizlerinde uygulanabilir.

Böyle dönüşümler için gereken yakın alan bilgisi FDTD hesaplarının doğal bir ürünüdür. Şekil 8.2'deki gibi nesneyi içeren dahili bölge A ve harici sonlu

bölge B'yi ayıran bir keyfi kapalı S sınır yüzeyi varsayalım. S' kapalı yüzeyi FDTD katmanının farklı düzlemleriyle uyumlu şekilde dörtgen seçilir.



Şekil 8-2 Yakın alandan uzak alana dönüşüm yüzeyi

Eğer \hat{n} S' yüzeyindeki dış birim vektör ise, (8.15) denklemine göre S' 'e göre bir dış problem S' 'deki teğet elektrik akımı J_{seq} ve magnetik akım M_{seq} belirlenerek kurulur.

$$J_{seq} = \hat{n} \times \vec{H}(\vec{r}) \quad (8.17)$$

$$M_{seq} = -\hat{n} \times \vec{E}(\vec{r}) \quad (8.18)$$

Boş uzay Green fonksiyonu kullanılarak (8.17) ve (8.18)'deki denklemlerin eş kaynaklarını B-bölgesinin ortam karakteristikleri ϵ_0 , μ_0 , σ_0 ile dönüştürme uzak alana götürür.

Frekans domeninde, θ ve ϕ parametreleri için uzak alan ifadeleri;

$$E_\theta = (-jk_0\eta) \left[A_\theta + \frac{F_\phi}{\eta_0} \right] \quad (8.19)$$

$$E_\phi = (-jk_0\eta) \left[A_\phi - \frac{F_\theta}{\eta_0} \right] \quad (8.20)$$

Burada;

$$A_\theta = A_x \cos\theta \cos\phi + A_y \cos\theta \sin\phi - A_z \sin\theta \quad (8.21)$$

$$F_\theta = F_x \cos\theta \cos\phi + F_y \cos\theta \sin\phi - A_z \sin\theta \quad (8.22)$$

$$A_\phi = A_x \sin\phi + A_y \cos\phi \quad (8.23)$$

$$F_\phi = F_x \sin\phi + F_y \cos\phi \quad (8.24)$$

Yukarda η B bölgesinin asıl empedansı k_0 dalga sayısı A ve F uzak alan bölgesinde magnetik ve vektör potansiyeli.

$$\begin{bmatrix} A \\ F \end{bmatrix} = \left(\frac{e^{(-jk_0r)}}{4\pi r} \right) \iint_{S'} \begin{bmatrix} J_{Seq} \\ M_{Seq} \end{bmatrix} e^{jk_0r' \cos\xi} dS' \quad (8.25)$$

$$r' \cos \xi = (x' \cos \phi + y' \sin \phi) \sin \theta + z' \cos \theta \quad (8.26)$$

Burada (x', y', z') kartezyen koordinatlarda eş kaynağın konumudur.

Yukarıdaki proses frekans domeninde uzak bölge dönüşümü olarak adlandırılır.

İlk yaklaşım FDTD uzayının bir sürekli sinüzoidal dalgayla aydınlatıldığını varsayar. Metod ilgilenilen her frekansta bireysel çalışan bir FDTD gerektirir. Frekans domeni verileri, dalga formu sürekli hale ulaştığında belirlenebilir. Bu, bir bütün dalga formu periyodu üzerindeki alanların pozitif ve negatif tepelere gidişinden gözlenir. Alternatif bir yaklaşım ise zamanla sınırlı darbeyle uyarım (darbeli FDTD) kullanılmaktadır. Bu prosedür çoklu frekanslarda uzak alan sonuçlarını saptamak için kullanılır. İlgilenilen her bir frekans için FDTD geometrisinin kapalı dış yüzeyinde zaman domeninde teğet alanlar (yüzey akımları)nın ayrık fourier dönüşümünü (DFT) uygulamak her bir adımda tekrarlanır. Bu herhangi bir frekans için kompleks frekans domeni akımları elde edilir.

Teğet alanları ve yüzey akımlarını belirleme işlemlerini göstermek için, S' yüzeyine yerleştirilmiş tek bir FDTD hücre yüzeyinden katkıyı düşün. Tüm uzak bölge saçılmış/ışınmış alan, S' yüzeyinin integrasyonunda zaten her bir hücrenin merkezinde bileşenlerin hepsinden benzer katkıları toplayarak belirlenir. Yee birim hücresi kullanıldığı için hücrenin alan büyüklükleri hücrenin herhangi bir belirli yüzeyinde belirlenemez. S' 'de hücre yüzeylerinin merkezine teğet alan değerlerini belirlemek için, farklı hücrelerdeki alan değerlerinin uzaysal olarak ortalaması alınır.

Örnek olarak bir (i,j,k) Yee hücre yüzeyinin merkezinde S' yüzeyi dönüşümüne teğet elektrik alan bileşeni E_x^n 'i göz önüne alalım. E_x^n , (i,j,k) Yee hücrelerinden ve komşu hücrelerden gelen E_x^n değerlerinin uygun uzay ortalaması alınarak bulunur. Göz önüne alınan şartlar altında, integrasyon yüzeyinin parçasının dış yönlü bir birim normal vektöre ($\hat{n} = \hat{y}$) sahip olduğunu varsayılırsa, hücre yüzeyinin merkezinde $E_x^n = \frac{(E_x^n(i,j-1,k) + E_x^n(i,j+1,k+1))}{2}$ olur. Bu noktada

magnetik alan bileşeni dört terimin ortalamasının alınmasını gerektirecektir. Bu teğet elektrik alan bileşeni bir magnetik yüzey akımı üretir.

$$M_s = -\bar{y} \times E_x^n \bar{x} = E_x^n \bar{z} \quad (8.27)$$

Böylece E_x^n bu yüzeyde sadece F_z 'ye katkı sağlar. İntegralin yüzey alanı $\Delta x \cdot \Delta z$ 'dir. E_x^n değerine bu yüzey üzerinde bir sabit gibi yaklaşıklık yapılır. İntegral yüzeyinde her bir hücre yüzeyi için bağıl zaman gecikmesini izini sürmek için hücre merkezi ()' ye bir yüzey referansı yerleştirilir. Hesap uzayının merkezine yakın bir hücre uygun bir referans noktası sağlayacaktır. İntegral yüzeyinde referans hücreden Yee hücre yüzeyinin merkezine giden vektör:

$$\bar{r} = \left((i - i_c) \Delta x \bar{x} + \left(j + \frac{1}{2} \right) - j_c \right) \Delta y \bar{y} + (k - k_c) \Delta z \bar{z} \text{ olur.} \quad (8.28)$$

Göz önüne alınan durum (i,j,h) hücre yüzeyinin integrasyon yüzeyi y yönünde hücre merkezinden yarım hücre uzak olduğu için, y yönünde 1/2 değeri eklendi. Benzer $\pm 1/2$ hücre düzeltmesi integrasyon yüzeyinde tüm hücre yüzeyleri için yapılmalıdır. [16,17]

9. OLASILIK TEORİSİ

9.1 Dağılım Fonksiyonu

x bir rastsal değişken olsun. $P(\cdot)$, (\cdot) ifadesinin gerçekleşme olasılığı ve x 'in dağılım fonksiyonu $F_x(X)=P(x \leq X)$, $x \leq X$ olma olasılığına eşittir. Burada $-\infty < x < \infty$. $P(x \leq X)$, x 'in X 'ten küçük olma olasılığıdır. Bu fonksiyonun özellikleri;

1. $F(-\infty)=0$ ve $F(\infty)=1$
2. $x_1 \leq x_2$ ise $F(x_1) \leq F(x_2)$ 'dir. Yani $F(x)$ x 'in artan bir fonksiyonudur.
3. $F(x^+) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} F(x+\varepsilon)$, $\varepsilon > 0$ ise $F(x^+) = F(x)$, yani $F(x)$ sağdan süreklidir.

9.2 Yoğunluk Fonksiyonu

x rastsal değişkeninin yoğunluk fonksiyonu (olasılık yoğunluk fonksiyonu, PDF[☞]) dağılım fonksiyonunun türevi alınarak bulunur. $f(x) = \left| \frac{dF(x)}{dx} \right|$ şeklinde tanımlanır.

Özellikleri;

1. $f(x)$ pozitiftir.
2. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = F(\infty) - F(-\infty) = 1$
3. $P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx$

☞ PDF: Probability Density Function

Beklenen Değer

x rastsal değişkeninin ortalaması;

$$E[x] = \langle x \rangle = \mu_x = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (9.1)$$

integraliyle belirlenir.

E[.] beklenen değer,

μ , m, $\langle \cdot \rangle$ ortalama değer

x rastsal değişken

f(x) bir PDF

Ortalama f(x)'in daha yoğun bölgelere daha yakındır. x ayrıkça, P_n olasılıklı x_n değerleri alınarak;

$$E[x] = \sum_n x_n P(x=x_n) = \sum_n x_n P_n \quad (9.2)$$

olur. $z=x+jy$ şeklinde karmaşık bir değişkenin beklenen değeri

$$E[z]=E[x]+iE[y]'dir. \quad (9.3)$$

Özellikler;

1. f(x) çift fonsiyonsa ($f(-x)=f(x)$), $E[x]=0$
2. f(x) $x=a$ 'ya göre simetrikse ($f(x-a)=f(x+a)$), $E[x]=a$
3. x'in bir fonksiyonunun ortalaması;

$$E[g(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x)dx \quad (9.4)$$

Ayrık durum için

$$E[g(x)] = \sum_n g(x_n)P(x=x_n) = \sum_n g(x_n)P_n \quad (9.5)$$

4. Toplamsallık özelliği;

$$E[g_1(x) + g_2(x) + g_3(x) + \dots + g_n(x)] = E[g_1(x)] + E[g_2(x)] + E[g_3(x)] + \dots + E[g_n(x)] \quad (9.6)$$

9.3 Varyans

μ ortalamalı, σ standart sapmalı rastsal bir x değişkenin varyansı $\sigma_x^2 = \sigma^2$

$$\sigma^2 = E[(x-\mu)^2] = \langle (x-\mu)^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 f(x)dx \quad (9.7)$$

Bu olasılık kümesinin atalet momentine eşittir ve merkezi eğilimin ölçümüdür.

x ayrıkça

$$\sigma^2 = \sum_n (x_n - \mu)^2 P(x=x_n) = \sum_n (x_n - \mu)^2 P_n \quad (9.8)$$

$z=x+iy$ şeklinde ayrıksa

$$\sigma^2 = \langle z z^* \rangle - \langle z \rangle \langle z^* \rangle \quad (9.9)$$

olur. Burada $()^*$ karmaşık eşleniktir.

$$\sigma^2 = E[(x-\mu)^2] = E[x^2] - E[x]^2 = E[x^2] - \mu^2 \quad (9.10)$$

şeklinde yazmakta mümkündür.

x 'in k . momenti, m_k ;

$$m_k = E[x^k] = \int_{-\infty}^{\infty} x^k f(x) dx \quad (9.11)$$

x 'in k . dereceden merkezi momenti

$$\mu_k = E[(x-\mu)^k] = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^k f(x) dx \quad (9.12)$$

ile verilir.

İki farklı değişken için durum incelenirse, x ve y iki rastsal değişken olsun. x ve y rastsal değişkenlerinin k . ve r . dereceden momentleri;

$$E[x^k y^r] = m_{kr} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^k y^r f(x,y) dx dy \quad (9.13)$$

Bu eşitlikte moment $k+r$. derecededir ve $k=r=1$ özel durumuna çapraz korelasyon denir.

$$R_{xy} = m_{11} = E[xy] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} xy f(x,y) dx dy \quad (9.14)$$

x ve y 'nin k ve r . dereceden merkezi momentleri;

$$\mu_{kr} = E[(x-\mu_x)^k (y-\mu_y)^r] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu_x)^k (y-\mu_y)^r f(x,y) dx dy \quad (9.15)$$

olur. $\mu_{20} = \sigma_x^2$ ve $\mu_{02} = \sigma_y^2$ olduğuna göre kovaryans μ_{11} ;

$$\mu_{11} = E[(x-\mu_x)(y-\mu_y)] = E[xy] - \mu_x \mu_y \quad (9.16)$$

olur. Korelasyon katsayısı ρ ;

$$\rho = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (9.17)$$

olur. İki değişken işaret korelasyonsuz ise

$$E[xy]=E[x]E[y] \quad (9.18)$$

değişkenler ortagonalsa

$$E[xy]=0 \quad (9.19)$$

olur. Bunun yanında iki işaret birbirinden bağımsızsa

$$f(x,y)=f(x)f(y) \quad (9.20)$$

Bağımsız iki işaret korelasyonsuzdur.

9.4 Rastsal Vektörler

N boyutlu rastsal bir vektör ele alalım.

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_N \end{bmatrix} \quad (9.21)$$

Burada x_i ($i=1,2,\dots,N$) rastsal değişkenlerdir. Bu vektörün olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$p(\underline{x})=p(x_1,x_2,\dots,x_N)$ şeklinde verilir. \underline{x} rastsal vektörünün ortalaması

$$\underline{m}=E[\underline{x}] \quad (9.22)$$

Kovaryansı

$$\underline{\Sigma} = E[(\underline{x} - \underline{m})(\underline{x} - \underline{m})^T] \quad (9.23)$$

Ve korelasyon matrisi

$$\underline{R} = E[\underline{x} \underline{x}^T] \quad (9.24)$$

şeklinde verilir. $()^T$ matrisin evriğini belirtir.

$$\underline{m} = E[\underline{x}] = \int \underline{x} f(\underline{x}) d^N \underline{x} = \int \int \int \dots \int x_1 x_2 \dots x_N f(x_1 x_2 \dots x_N) dx_1 dx_2 \dots dx_N \quad (9.25)$$

Yukarıdaki korelasyon matrisinin ij . Elemanı x_i ile x_j arasındaki korelasyondur.

$$R_{ij} = E[x_i x_j^*] \quad (9.26)$$

Bu denklemler arasında

$$\underline{\Sigma} = \underline{R} - \underline{m} \underline{M}^t \quad (9.27)$$

şeklindeki bir ilişki kolayca görülebilir.

9.5 Gauss Dağılım Fonksiyonu

Normal Yoğunluk fonksiyonu da denir. Bu fonksiyon;

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (9.28)$$

σ^2 varyans, μ ortalama sembolüdür.

Gauss dağılımlı rastsal x değişkeni, μ ortalama ve σ standart sapmasına bağlı olarak $x \sim N(\mu, \sigma)$ ifadesiyle gösterilir.

Tanımlı bir PDF için;

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx = 1 \text{ olur.} \quad (9.29)$$

Değişken dönüşümüyle, $y = \frac{x-\mu}{\sigma}$ alınarak

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \sqrt{2\pi} \quad (9.30)$$

elde edilir.

9.6 Rayleigh Dağılım Fonksiyonu

Dağılım fonksiyonu

$$f(r) = \frac{2r}{\alpha} e^{-r^2/\alpha} \quad (9.31)$$

Olup $\alpha/2$ ortalama işaret gücüne sahiptir. [2, 18]

SONUÇ

Hücre sel haberleşmenin giderek yaygınlaştığı günümüzde, görülmektedir ki pratik teorinin önünü açmaktadır. Özellikle hücre sel haberleşmede arzu edilen sistem geliştirmelerinde görülen budur. Bilimsel sonuçlar ölçümlere benzediği oranda başarısını ispatlamaktadır. Yinede pratiğin teorisi yakalanmaya başlamıştır.

Mobil haberleşmenin temel problemi olan temiz, güvenli bir haberleşme için gereken iyileştirmeler yapılmaktadır. Daha az maliyete, daha az enerji gerektiren ve daha küçük tasarımlar artık mümkün olmaya başlamıştır.

Ancak bilimsel çalışmalar artık yön değiştirmeye başlamıştır. '90'lı yıllara kadar basit yapıların analiz ve sentezi yapılırken artık gerek anten teknolojisinde gerek enformasyon alanında hibrit yapılar incelenmektedir. Mesela monopolle PIFA'nın konfigürasyonu veya PIFA'nın düzlemsel parçasıyla cihaz arasına biraz daha küçük levha konarak elde edilen kapasitif yüklü PIFA'lar yada istenen bir işareti almak için farklı antenlerden bu işarete ait verileri alıp bir ağırlık vektörüyle alınan işaretleri çarparak ve uygun işlemlerden geçirilerek bu işareti elde etmeye yönelik çabalar dikkati çekmektedir.

Mobil Haberleşme konusunda 1996 yılı sonlarından itibaren literatürde artık çoğalmaya başlamıştır. Başlangıçta deneme&yanılma yöntemiyle başlayan araştırmalar artık üzerine oturacağı bilimsel temellere kavuşmuştur.

Hücre sel haberleşme konusu bundan sonraki yıllar için belki de bilim adamları adına en cazip konu olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Lee, W.C.Y ve Diğ.**, Mobile Telecommunication System, Artech House Publishers, Boston(1993)
- [2] **Hess**, Land Mobile Communication System, Artech House Publishers, Boston,(1993)
- [3] **Fujimoto, K. ve James, J.R.**, Mobile Antenna System Handbook, Artech House Publishers, Boston, (1994)
- [4] **Mahrotra** , Cellular Radio, Artech House Publishers, Boston(1994)
- [5] **Lee, W.C.Y.** , Cellular Radio System Engineering, , Boston(199)
- [6] **Redl, S.M. ve Diğ.** ,An Introduction to GSM, Artech House Publishers, Boston(1995)
- [7] **Akkaya, İ.**, Anten ve Propogasyon, Sistem yayınları, İstanbul(1997)
- [8] **Challerjee**, Advanced Microwave Engineering, Ellis Harword Ltd, (1988)
- [9] **Linnertz**, Narrow Band Mobile Radio Networks, Artech House Publishers, Boston(1993)
- [10] "What are GSM and DCS1800", (Electrical Engineering, 2nd Quarter 1994)
- [11] **Tomasi, W.** Advanced electronics Communication Systems, Printice Hall, New Jersey(1994)
- [12] Katherin Antenna -base station- Handbook
- [13] **Jensen ve Samii**, Performance Analyzes of Antennas, IEEE Tr. On Ant.&Prop., V40 N12

[14] **Fuhl ve Diğ.** , Improved Internal Antenna..., Electronics Letters, V30 N22

[15] **Kuga ve Ara**, Circular Patch Antenna..., Electronics Communications in Japan, Part I, V79 N6

[16] **Hussein, Sebak**, Application of FDTD... IEEE Trn. On Vehicular Tech., V45 N3

[17] **Mebmers ve Diğ.**, FDTD Calculations..., IEEE Tr. On Ant.&Prop., V40 N12

[18] **Kayran, A.H.**, Rastgele İşaretler ve İşaret Uygulamadaki Yeri, Dersnotu, İstanbul(1992),



Ek-A İngilizce Türkçe Sözlük

Kısaltma	Anlamı
ADM	Administration Center Yönetim Merkezi
AGCH	Access G Channel Erişim Onay Kanalı
ARQ	Automatic Repeat Request Otomatik tekrarlama İsteği
AuC	Authentication Center Doğrulama Merkezi
BCCH	Broadband Control Channel Yayın Kontrol Kanalları
BS	Base Station Baz İstasyon
BSC	Base Station Controller Baz İstasyon Denetleyicisi
BSS	Base Station System Baz İstasyon Sistemi
BTS	Base Transceiver System Baz Alıcı-Verici İstasyonu
C	Carrier Taşıyıcı
CCIR	
CCITT	Consultative Comitee of International Telgraf and Telephone Uluslararası Telefon ve Telgraf Tavsiye Komitesi
CD	Coded Data Kodlanmış Veri

CEPT	Comitee of Europan Post and Telephone Avrupa Posta Telefon Komitesi
CIR	Carier To İnterference Ratio Taşıyıcı Girişim Oranı
D	Directivity Yönlendiricilik
d	Distance Uzaklık
EIR	Equipment Identity Register Donanım Kimlik Kaydedicisi
ERP	Effective Radiated Power Işıyan Efektif Güç
f	Frequency Frekans
FACCH	Fast Associated Control Channel Özel Hızlı Kontrol Kanalı
FCCH	Frequency Control Channel Frekans Düzeltme Kanalı
FSN	Fixed Support Network Sabit Destek Şebekesi
G	Gain Kazanç
GSM	Global System for Mobile Communication Mobil Haberleşmede Evrensel Sistem
h	Height Yülseklik
HLR	Home Location Register Dahili Yerleşim Kaydedicisi
HP	Horizontal Polarization Yatay Kutuplama
I	Current Akım

I	Interference Girişim
IMSI	International Mobile Subscriber Identity Uluslararası Mobil Abone Kimliği
ISDN	Integrated Services Digital Network Birleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi
L	Loss Kayıp
LAC	Local Area Code Bölgesel Alan Kodu
LE	Local Exchange Yerel Santral
LTP	Long Term Predictor Uzun Terimli Kestirimci
MEG	Mean Effective Gain Ortalama Efectif (Etkin) Kazanç
MIN	Mobile Identity Number Mobil Kimlik Numarası
MS	Mobile Station Mobil İstasyon
MSA	Microstrip Antenna Mikro Şerit Anten
MSC	Mobile Switching Center Mobil Anahtarlama (Bağlaşma) Merkezi
MTSO	Mobile Telephone Switching Office Mobil Telefon Anahtarlama (Bağlaşma) Ofisi
NMC	Network Management Center Şebeke Yönetim Merkezi
OMC	Operation & Maintenance Center İşletim ve Bakım Merkezi
PCH	Paging Channel Çağrı Kanalı

PIFA	Planar Inverted-F Antenna F-Şekilli Düzlemsel Anten
PIN	Personel Identification Number Abone Kimlik Numarası
PLMN	Public Land Mobile Network Kamu Kara Mobil Şebekesi
PTSN	Public Telephone Switching Network Kamu Telefon Anahtarlama (Bağlaşma) Şebeke
RACH	Random Access Channel Rastsal Erişim Kanalları
RACH	Random Access Channel Rastsal Giriş Kanalı
REL P	Residual Excited Linear Predictor Rezidüel Uyarılmış Lineer Kestirimci
RF	Radio Frequency Radyo Frekansı
SC	Signalling Channels işaretleşme Kanalları
SCH	Synchronization Channel Senkronizasyon Kanalı
SDCCH	Duran Dignity Control Channel Duran Adanmış Kontrol Kanalları
SIM	Subscriber Identity Module Abone Kimlik Modülü
T	Tail Kuyruk
TCH	Traffic Channels Trafik Kanalları
TCZO	Telephone Company Zone Office Telefon Şirketinin Bölgesel Merkezi
TDMA	Time Division Multiple Access Zaman Bölmeli Çoklu Erişim

TS	Time Slot Zaman Dilimi
TSC	Task Switching Center Geniş Anahtarlama (Bağlaşma) Merkezi
VLR	Visitor Location Register Ziyaretçi Yerleşim Kaydedicisi
GMSK	Gauss En Az Kaymalı Anahtarlama



EK B- Trafik Yükü Belirleme Tablosu (A,earling)

Devices	Blocking 0.0001	Blocking 0.001	Blocking 0.002	Blocking 0.005	Blocking 0.01	Blocking 0.05	Devices	Blocking 0.0001	Blocking 0.001	Blocking 0.002	Blocking 0.005	Blocking 0.01	Blocking 0.05
101	74.10	78.12	78.36	81.83	85.00	88.26	192	149.07	158.27	161.70	167.08	172.00	180.20
102	70.84	77.00	79.28	82.78	86.96	91.29	193	149.96	159.19	162.64	168.00	172.97	181.24
103	71.79	77.86	80.16	83.67	87.86	92.31	194	150.84	160.10	163.57	168.96	173.93	182.28
104	72.83	78.77	81.05	84.56	88.73	93.34	195	151.73	161.02	164.50	169.90	174.90	183.32
105	73.47	79.65	81.95	85.51	89.77	100.36	196	152.82	162.14	165.63	171.05	176.07	184.55
106	74.31	80.53	82.85	86.43	90.72	101.39	197	153.51	162.85	166.35	171.79	176.84	185.30
107	75.18	81.42	83.75	87.35	90.66	102.42	198	154.40	163.78	167.29	172.74	177.80	186.43
108	76.00	82.30	84.65	88.28	91.60	103.44	199	155.29	164.70	168.22	173.69	178.77	187.47
109	76.86	83.19	85.56	89.20	92.55	104.47	200	156.18	165.62	169.15	174.64	179.74	188.51
110	77.70	84.07	86.45	90.12	93.49	105.49	201	157.07	166.54	170.09	175.60	180.71	189.55
111	78.54	84.96	87.35	91.05	94.44	106.52	202	157.98	167.47	171.02	176.55	181.67	190.58
112	79.39	85.85	88.25	91.97	95.38	107.55	203	158.85	168.39	171.95	177.50	182.64	191.62
113	80.24	86.73	89.15	92.89	96.33	108.57	204	159.74	169.31	172.88	178.45	183.61	202.66
114	81.08	87.62	90.06	93.82	97.28	109.60	205	160.63	170.23	173.82	179.40	184.58	203.70
115	81.94	88.51	90.98	94.75	98.22	110.63	206	161.53	171.15	174.75	180.35	185.55	204.74
116	82.79	89.40	91.89	95.67	99.17	111.66	207	162.42	172.07	175.68	181.30	186.52	205.78
117	83.64	90.29	92.77	96.60	100.12	112.69	208	163.31	173.00	176.62	182.25	187.48	206.82
118	84.50	91.18	93.67	97.53	101.07	113.71	209	164.20	173.92	177.55	183.21	188.45	207.85
119	85.35	92.07	94.58	98.45	102.01	114.74	210	165.10	174.84	178.49	184.16	189.42	208.89
120	86.23	92.96	95.48	99.38	102.96	115.77	211	165.99	175.77	179.42	185.11	190.39	209.93
121	87.08	93.85	96.39	100.31	103.91	116.80	212	166.88	176.69	180.36	186.06	191.36	210.97
122	87.91	94.75	97.30	101.24	104.86	117.83	213	167.78	177.61	181.29	187.01	192.33	212.01
123	88.77	95.64	98.20	102.17	105.81	118.86	214	168.67	178.54	182.22	187.97	193.30	213.05
124	89.63	96.54	99.11	103.10	106.76	119.89	215	169.57	179.46	183.16	188.92	194.27	214.09
125	90.48	97.43	100.02	104.03	107.71	120.92	216	170.46	180.38	184.10	189.87	195.24	215.13
126	91.34	98.33	100.93	104.96	108.66	121.95	217	171.36	181.31	185.03	190.83	196.21	216.17
127	92.20	99.22	101.84	105.89	109.61	122.98	218	172.25	182.23	185.97	191.78	197.18	217.21
128	93.06	100.12	102.75	106.82	110.57	124.01	219	173.15	183.16	186.90	192.73	198.15	218.25
129	93.92	101.01	103.66	107.75	111.52	125.04	220	174.04	184.08	187.84	193.69	199.12	219.29
130	94.78	101.91	104.57	108.68	112.47	126.07	221	174.94	185.01	188.77	194.64	200.09	220.33
131	95.64	102.81	105.48	109.62	113.42	127.10	222	175.84	185.93	189.71	195.59	201.06	221.37
132	96.50	103.71	106.39	110.55	114.38	128.13	223	176.73	186.86	190.66	196.55	202.04	222.41
133	97.36	104.60	107.30	111.48	115.33	129.16	224	177.63	187.78	191.58	197.50	203.01	223.45
134	98.23	105.50	108.22	112.42	116.28	130.19	225	178.53	188.71	192.52	198.46	203.98	224.48
135	99.09	106.40	109.13	113.35	117.24	131.22	226	179.42	189.64	193.46	199.41	204.95	225.52
136	99.95	107.30	110.04	114.28	118.19	132.25	227	180.32	190.56	194.40	200.37	205.92	226.56
137	100.82	108.20	110.95	115.22	119.14	133.28	228	181.22	191.49	195.33	201.32	206.89	227.60
138	101.68	109.10	111.87	116.15	120.10	134.32	229	182.12	192.42	196.27	202.28	207.86	228.65
139	102.55	110.00	112.78	117.09	121.05	135.35	230	183.02	193.34	197.21	203.23	208.84	229.69
140	103.41	110.90	113.70	118.02	122.01	136.38	231	183.91	194.27	198.15	204.19	209.81	230.73
141	104.28	111.81	114.61	118.96	122.96	137.41	232	184.81	195.20	199.09	205.14	210.78	231.77
142	105.15	112.71	115.53	119.90	123.92	138.44	233	185.71	196.13	200.02	206.10	211.75	232.81
143	106.02	113.61	116.44	120.83	124.88	139.48	234	186.61	197.05	200.96	207.05	212.72	233.85
144	106.88	114.51	117.36	121.77	125.83	140.51	235	187.51	197.98	201.90	208.01	213.70	234.89
145	107.75	115.42	118.28	122.71	126.79	141.54	236	188.41	198.91	202.84	208.97	214.67	235.93
146	108.62	116.32	119.19	123.64	127.75	142.57	237	189.31	199.84	203.78	209.92	215.64	236.97
147	109.49	117.23	120.11	124.58	128.70	143.61	238	190.21	200.77	204.72	210.88	216.61	238.01
148	110.36	118.13	121.03	125.52	129.66	144.64	239	191.11	201.69	205.66	211.83	217.59	239.05
149	111.23	119.04	121.95	126.46	130.62	145.67	240	192.01	202.62	206.60	212.79	218.58	240.09
150	112.10	119.94	122.86	127.40	131.58	146.71	241	192.91	203.55	207.54	213.75	219.53	241.13
151	112.97	120.85	123.78	128.33	132.53	147.74	242	193.82	204.48	208.48	214.70	220.51	242.17
152	113.85	121.75	124.70	129.27	133.49	148.77	243	194.72	205.41	209.42	215.66	221.48	243.21
153	114.72	122.66	125.62	130.21	134.45	149.81	244	195.62	206.34	210.36	216.62	222.45	244.25
154	115.59	123.57	126.54	131.15	135.41	150.84	245	196.52	207.27	211.30	217.58	223.43	245.29
155	116.46	124.47	127.46	132.08	136.37	151.87	246	197.42	208.20	212.24	218.53	224.40	246.34
156	117.34	125.38	128.38	133.03	137.33	152.91	247	198.33	209.13	213.18	219.49	225.37	247.38
157	118.21	126.29	129.30	133.97	138.29	153.94	248	199.23	210.06	214.12	220.45	226.36	248.42
158	119.09	127.20	130.22	134.91	139.25	154.98	249	200.13	210.99	215.06	221.41	227.32	249.46
159	119.96	128.11	131.14	135.86	140.21	156.01	250	201.03	211.92	216.00	222.36	228.30	250.50
160	120.84	129.01	132.07	136.80	141.17	157.05	251	201.94	212.85	216.94	223.32	229.27	251.54
161	121.71	129.92	132.99	137.74	142.13	158.08	252	202.84	213.78	217.88	224.28	230.25	252.58
162	122.59	130.83	133.91	138.68	143.09	159.12	253	203.74	214.72	218.83	225.24	231.22	253.62
163	123.47	131.74	134.83	139.62	144.05	160.15	254	204.65	215.65	219.77	226.20	232.19	254.67
164	124.35	132.65	135.75	140.57	145.01	161.19	255	205.55	216.58	220.71	227.16	233.17	255.71
165	125.22	133.56	136.68	141.51	145.97	162.22	256	206.46	217.51	221.65	228.11	234.14	256.75
166	126.10	134.46	137.60	142.45	146.93	163.26	257	207.36	218.44	222.59	229.07	235.12	257.79
167	126.98	135.36	138.52	143.39	147.89	164.29	258	208.27	219.37	223.54	230.03	236.09	258.83
168	127.86	136.30	139.45	144.34	148.86	165.33	259	209.17	220.31	224.48	230.99	237.07	259.87
169	128.74	137.21	140.37	145.28	149.82	166.36	260	210.08	221.24	225.42	231.95	238.04	260.91
170	129.62	138.12	141.30	146.23	150.78	167.40	261	210.98	222.17	226.36	232.91	239.02	261.95
171	130.50	139.04	142.22	147.17	151.74	168.43	262	211.89	223.10	227.31	233.87	239.99	263.00
172	131.38	139.95	143.15	148.11	152.71	169.47	263	212.79	224.04	228.25	234.83	240.97	264.04
173	132.26	140.86	144.07	149.06	153.67	170.50	264	213.70	224.97	229.19	235.79	241.95	265.08
174	133.14	141.77	145.00	150.00	154.63	171.54	265	214.61	225.90	230.14	236.75	242.92	266.12
175	134.02	142.69	145.92	150.95	155.60	172.58	266	215.51	226.83	231.08	237.71	243.90	267.17
176	134.90	143.60	146.85	151.89	156.56	173.61	267	216.42	227.77	232.02	238.67	244.87	268.21
177	135.79	144.52	147.78	152.84	157.52	174.65	268	217.32	228.70	232.97	239.63	245.85	269.25
178	136.67	145.43	148.70	153.79	158.49	175.69	269	218.23	229.64	233.91	240.59	246.82	270.29
179	137.55	146.35	149.63	154.73	159.45	176.72	270	219.14	230.57	234.86	241.55	247.80	271.33
180	138.44	147.28	150.56	155.68	160.42	177.76	271	220.05	231.50	235.80	24		

Özgeçmiş

1972'de Konya ili, Karapınar ilçesi, Kuzukuyusu Köyü'nde doğdu.

1983'te Konya ili, Karapınar ilçesi, Kuzukuyusu Köyü İlkokulu'ndan,

1986'da Konya ili, Ereğli ilçesi, Atatürk Ortaokulu'ndan,

1989'da Konya ili, Ereğli ilçesi Cumhuriyet Lisesi'nden,

1994'da İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi,

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Devreler ve Sistemleri Anabilim Dalı'ndan mezun oldu.

