

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GSM'DE HÜCRE, VERİCİ VE FREKANS  
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ**

1363/6

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Levent GÖKREM**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi  
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU**

1363/6

**MAYIS 2003**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GSM'DE HÜCRE, VERİCİ VE FREKANS  
PARAMETRELERİNİN İRDELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Levent GÖKREM

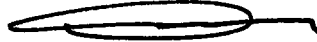
Enstitü Anabilim Dalı : Elektronik - Bilgisayar Eğitimi  
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU

Bu tez/9 1061/2003 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Öyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Jüri Başkanı

Doç. Dr.  
Abdullah Ferikoğlu



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Osman GEREZCI Yrd. Doç. Dr.



Jüri Üyesi

Ahmet Turan ÖZCEİT

## ÖNSÖZ

Günümüzde çeşitli servisleriyle hayatımızı kolaylaştıran GSM, daha 10 yıllık bir mazisi olmasına karşın 500 milyonu aşan kullanıcı sayısı itibariyle en yaygın haberleşme sistemidir. GSM temelde telefon hizmeti vermek, bunun yanında düşük hızlı veri iletimini de sağlamak amacıyla tasarlanmıştır.

Çağımız bilgi çağıdır. Bu çağda haberleşme sağlayan sistem ve cihazların önemi her geçen gün artmaktadır. Bunlardan en önemlisi olan GSM'in standartlarının; daha yüksek veri, daha iyi servis kalitesi, daha geniş kapasite ve akıllı servisler sağlayacak biçimde yenilenmesi ve geliştirilmesi sürmektedir.

Bu tez çalışmasında her türlü desteği esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Abdullah FERİKOĞLU'na, tez çalışmasında bana yardımcı olan arkadaşım Öğretim Görevlisi Mahmut HEKİM'e, Autocad çizimlerinde yardımcı olan arkadaşım Öğretim Görevlisi Şahin SÖZEN'e, evimde çalışma ortamı sağlayan ve her zaman yanımda olan değerli eşim Çevre Müh. Yasemin İspirli GÖKREM ve biricik kızım Nildem'e teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii

### BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

### BÖLÜM 2.

HÜCRESEL TELEFON SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ.....	5
2.1. GSM'in Üç Nesli.....	6
2.1.1. Birinci nesil hücresel sistem.....	6
2.1.2. İkinci nesil hücresel sistem.....	7
2.1.3. Üçüncü nesil hücresel sistem.....	9
2.2. Mobil Telefon 900-1800-1900 Protokolleri.....	11
2.2.1. GSM Mobil Telefon 900 Protokolü.....	11
2.2.2. GSM Mobil Telefon 1800 Protokolü.....	12
2.2.3. DCS Mobil Telefon 1900 Protokolü.....	13
2.3. Mobil Telefon Sistemleri.....	14
2.3.1. Mobil terminali.....	15
2.3.1.1. Abone kimlik modülü(SIM).....	16
2.3.1.2. Mobil cihaz.....	16
2.3.2. Baz istasyonları.....	17
2.3.2.1. Alıcı-verici donanımı.....	18

2.3.2.2. Baz istasyonunda işaret alışı.....	18
2.3.2.3. Baz istasyonunda işaret verışı.....	19
2.3.2.4. Kontrol ünitesi.....	19
2.3.3. Mobil telefon hizmet santrali.....	19

## BÖLÜM 3.

### HÜCRESEL SİSTEMLER

3.1. Hücresel Sistem.....	22
3.2. Hücre Tasarımı.....	25
3.3. Kanal Girişim Azaltma Faktörü(K).....	27
3.4. Frekans Yeniden Kullanım Modeli.....	31
3.5. Yeni Bir Hücre Tasarımı.....	32

## BÖLÜM 4.

### MOBİL TERMİNALİ VE BAZ İSTASYONU ANTENLERİ

4.1. Mobil Terminali Antenleri.....	35
4.1.1. Yarım dalga dipolü.....	36
4.1.2. Cep telefonu anteni.....	37
4.1.3. Araç telefonu anteni.....	37
4.2. Baz İstasyonu Antenleri.....	38
4.2.1. Diversite.....	39
4.2.1.1. Uzay diversitesi.....	40
4.2.1.2. Yer yüzüne göre polarizasyon.....	40
4.2.2. Yöneltilmesiz antenli baz istasyonları.....	41
4.2.3. Sektörlenmiş dipol antenli baz istasyonları.....	42
4.2.4. Yöneltilmeli elemanlar.....	43
4.2.4.1. Yöneltilmesiz model.....	43
4.2.4.2. Yöneltilmeli model.....	43
4.3. Adaptif, anahtarlama ışın demet ve akıllı antenler.....	44
4.3.1. Adaptif anten.....	45
4.3.2. Anahtarlama ışın demet sistemi.....	45
4.3.3. Akıllı antenler.....	47

## BÖLÜM 5.

### HÜCRE PLANLAMASI UYGULAMASI

5.1. Sistem Gereklere ve Giriş Verileri.....	53
5.2. Abone Tahminleri ve Profili.....	54
5.3. Hücre Planlama Aşamaları.....	55
5.4. Sistem Dengesi.....	57
5.5. İletim Hesapları.....	58
5.6. Propagasyon Hesapları.....	59
5.7. Kullanıma Uygun Frekans Sayısı.....	63
5.8. Karşılaşılan Trafik Miktarı.....	65
5.9. Kanalların Boyutlandırılması.....	65
5.10. Kapasite ile Sınırlandırılan Hücre Büyüklüğü.....	66
5.11. Radyo Şebekesinin Kurulması.....	67
5.12. Frekans Planlama.....	71
5.13. Şebeke İletim Ağı Planlaması.....	71

## BÖLÜM 6.

SONUÇLAR.....	72
---------------	----

## BÖLÜM 7.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	74
---------------------------	----

KAYNAKLAR.....	75
----------------	----

EK A.....	76
-----------	----

EK B.....	93
-----------	----

EK C.....	102
-----------	-----

EK D.....	108
-----------	-----

EK E.....	109
-----------	-----

EK F.....	112
-----------	-----

ÖZGEÇMİŞ.....	114
---------------	-----

## SİMGELER LİSTESİ

$q_s$	Paralel Kenar Girişim Azaltma Faktörü
$c$	Vücudun özgül ısı kapasitesi
$C/I$	Hücresel Sistemlerde Taşıyıcı Gücü-Girişim Gücü Oranı
$D$	Güvenlik Mesafesi
$\lambda$	Dalga Boyu
$E$	Elektrik Alanı
$G$	Anten Kazancı
$D_s$	İki Hücre Arası Minimum Uzaklık
$J$	Vücutta Radyasyon Neticesinde Oluşan Yüzeysel Akım Yoğunluğu
$K$	Hücresel Sistemlerde Hücre Sayısı
$m$	Radyo verimliliği
$n$	Frekans Gruplarının Sayısı
$P$	Anten Çıkış Gücü
$p$	Vücut Yoğunluğu(kg/m <sup>3</sup> )
$R$	Hücre Yarıçapı
$S/N$	Sabit Şebekelerde İşaret-Gürültü Oranı
$S_A$	Özgül Yutulma
$S_{AR}$	Özgül Yutulma Hızı
$\sigma$	Vücut İletkenliği

### Kısaltmalar

<b>A</b>	Angstrom
<b>ABD</b>	Amerika Birleşik Devletleri
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone System
<b>ANSI</b>	Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
<b>ARIB</b>	Japon Radyo Enstitüleri ve Ticaret

<b>BPSK</b>	<b>Binary Phase Shift Keying (İkili faz kaydırmalı anahtarlama) anlamındadır.</b>
<b>CDMA</b>	<b>Kod Paylaşmalı Çoklayıcı Erişim</b>
<b>CEPT</b>	<b>Conférence Européenne des Postes et Télécommunications</b>
<b>cm</b>	<b>Santimetre</b>
<b>CMMA</b>	<b>Kod Paylaşımıcı Çoklayıcı Erişim</b>
<b>dB</b>	<b>Desibel</b>
<b>DC</b>	<b>Doğru Akım</b>
<b>DCS</b>	<b>Digital Cellular System (Sayısal hücreli sistem)</b>
<b>DPSK</b>	<b>Differential Phase Shift Keying (Diferansiyel faz kaydırmalı anahtarlama)</b>
<b>ETACS</b>	<b>Extended Total Access Cellular System</b>
<b>ETSI</b>	<b>Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü</b>
<b>ETSI</b>	<b>European Telecommunication Standardization Institute</b>
<b>eV</b>	<b>Elektron Volt</b>
<b>FDMA</b>	<b>Frekans Paylaşmalı Çoklayıcı Erişim</b>
<b>FM</b>	<b>Frekans Modülasyonu</b>
<b>FPMLTS</b>	<b>Future Public Land Mobile Telecommunications System</b>
<b>GHz</b>	<b>Gigahertz</b>
<b>GMSK</b>	<b>Gaussian Minimum Shift Keying (Gaussian minimum kaydırmalı anahtarlama)</b>
<b>GSM</b>	<b>Global System for Mobil Communications</b>
<b>Hz</b>	<b>Hertz</b>
<b>ICNIRP</b>	<b>Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi</b>
<b>IEEE</b>	<b>Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü</b>
<b>ILO</b>	<b>Dünya Çalışma Örgütü</b>
<b>IMT</b>	<b>International Mobile Telecommunications</b>
<b>ISDN</b>	<b>Intagrated Services Digital Networks</b>
<b>j</b>	<b>Joule</b>
<b>kHz</b>	<b>Kilohertz</b>
<b>km</b>	<b>kilometre</b>
<b>m</b>	<b>metre</b>
<b>MAM</b>	<b>Mobil Anahtarlama Merkezleri</b>
<b>MHz</b>	<b>Megahertz</b>
<b><math>\mu</math></b>	<b>Mikron</b>
<b>mm</b>	<b>Milimetre</b>



<b>m<math>\mu</math></b>	<b>Milimikron</b>
<b>NMT</b>	<b>Nordic Mobile Telephone</b>
<b>NTT</b>	<b>Nippon Telefon Telgraf</b>
<b>QOPSK</b>	<b>Offset Quadrature Phase Shift Keying (Sıra dışı drtl faz kaydırmalı anahtarlama)</b>
<b>PCS</b>	<b>Personal Communication System</b>
<b>PSTN</b>	<b>Public Switched Telephone Networks</b>
<b>QPSK</b>	<b>Quadrature Phase Shift Keying (Drtl faz kaydırmalı anahtarlama )</b>
<b>RF</b>	<b>Radyo Frekans</b>
<b>SDMA</b>	<b>Uzay Bölmeli Çoklu Erişim</b>
<b>SIM</b>	<b>Abone Kimlik Modülü</b>
<b>TACS</b>	<b>Total Access Communications System</b>
<b>TDMA</b>	<b>Zaman Paylaşmalı Çoklayıcı Erişim</b>
<b>TTA</b>	<b>Güney Kore Telekom Teknolojileri Birliği</b>
<b>W</b>	<b>Watt</b>
<b>WCDMA</b>	<b>Geniş Bantlı Kod Paylaşmalı Çoklayıcı Erişim</b>
<b>WHO</b>	<b>Dünya Sağlık rgt</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Frekans tekrar kullanım faktörü örneği.....	2
Şekil 2.1 Frekans paylaşmalı çoklayıcı erişim.....	8
Şekil 2.2 Zaman paylaşmalı çoklayıcı erişim.....	8
Şekil 2.3 Zaman ve frekans paylaşmalı çoklayıcı erişim.....	9
Şekil 2.4 Kod paylaşmalı çoklayıcı erişim.....	9
Şekil 2.5 Baz istasyonu, mobil terminaller ve yukarı, aşağı linkler.....	11
Şekil 2.6 Mobil Telefon 900 protokolünde frekans bandı.....	12
Şekil 2.7 Mobil Telefon 1800 protokolünde frekans bandı.....	13
Şekil 2.8 Mobil Telefon 1900 protokolünde frekans bandı.....	13
Şekil 2.9 Mobil Telefon Sistemi.....	14
Şekil 2.10 Mobil telefon sistemi blok şeması.....	15
Şekil 2.11 Baz istasyonu.....	18
Şekil 2.12 Mobil telefon hizmet santralı blok şeması.....	20
Şekil 2.13 Telefon şebekesi, mobil telefon hizmet santralı blok şeması.....	21
Şekil 2.14 Mobil telefon hizmet santralı ile baz istasyonu ve mobil terminal.....	21
Şekil 3.1 Altıgen hücreler ve kapsama alanlarının gerçek biçimleri.....	22
Şekil 3.2 Hücresel Yapı.....	23
Şekil 3.3 1 ile 7 frekans grupları.....	23
Şekil 3.4 Trafik yoğunluğuna göre hücreler.....	24
Şekil 3.5 Mikro hücreler ve şemsiye hücre.....	25
Şekil 3.6 Taşıyıcı gücü-mesafe ve girişim gücü-mesafe grafikleri.....	27
Şekil 3.7 Paralel kenar girişim azaltma faktörü.....	28
Şekil 3.8 Değişik hücre yeniden kullanım modelleri.....	29
Şekil 3.9 4/12 hücre modeli.....	31
Şekil 3.10 4/12 hücre modeli için yeniden kullanım frekans grupları.....	31
Şekil 3.11 Mikro hücresel mobil telefon servis sistemi.....	33
Şekil 4.1 Monopol anten.....	36

Şekil 4.2 Yarım dalga dipolü ve devre eşdeğeri.....	36
Şekil 4.3 Zemin üzerine boyu $\lambda/4$ 'den küçük olan monopol ve devre eşdeğeri...	36
Şekil 4.4 Zemin üstünde rezonansa getirilmiş kısa monopol anten.....	37
Şekil 4.5 Helisel Anten.....	37
Şekil 4.6 Araç telefonu anteni.....	38
Şekil 4.7 Zemin üstünde rezonansa getirilmiş uzun monopol anten .....	38
Şekil 4.8 GSM baz istasyonlarında kullanılan tipik antenlerin ışıma diyagramları.....	39
Şekil 4.9 Direk yansıyan ve kırınım dalgalarının ışın yolları.....	40
Şekil 4.10 Yatay polarizasyon.....	41
Şekil 4.11 Dikey polarizasyon.....	41
Şekil 4.12 Yöneltilmesiz verici ve alıcı dipol dizileri.....	42
Şekil 4.13 Sektörlenmiş dipollerden oluşan alıcı ve verici anten sistemi.....	42
Şekil 4.14 İki yöneltilmeli dizili yatay yöneltilmeli model ve ışıma diyagramı.....	43
Şekil 4.15 Üç yöneltilmeli dizili yatay yöneltilmeli model ve ışıma diyagramı.....	44
Şekil 4.16 Adaptif anten.....	45
Şekil 4.17 Anahtarlama ışın demet anten sistemi.....	46
Şekil 4.18 Anahtarlama zaman paylaşmalı çoklu sistem.....	47
Şekil 4.19 Çoklu ışın yolları.....	47
Şekil 4.20 Adaptif ışın demet dizisinin blok şeması.....	49
Şekil 4.21 Üç anten elemandan oluşmuş dizinin blok şeması.....	49
Şekil 4.22 Akıllı antenin alıcı kısmı.....	50
Şekil 4.23 Akıllı anten verici kısmı.....	50
Şekil 5.1 Tek Hücreli Baz İstasyonlarında d.....	62
Şekil 5.2 İki Hücreli Baz İstasyonlarında d.....	62
Şekil 5.3 Üç Hücreli Baz İstasyonlarında d.....	63

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Farklı Hücresel Sistem Standartları.....	10
Tablo 2.2 GSM900 Frekansları.....	12
Tablo 3.1 4/12 Hücre Modelinde Kanallar.....	32
Tablo 5.1 GSM Mobil Telefon Sınıfları.....	53
Tablo 5.2 Maksimum Yol Kaybı.....	59
Tablo 5.3 Kent Alanı İçin Hücre Çapları.....	60
Tablo 5.4 Yarı Kent Alanı İçin Hücre Çapları.....	61
Tablo 5.5 Açık Alanlar İçin Hücre Çapları.....	62
Tablo 5.6 İşaretleşme ve Trafik Kanallarının Boyutlandırılması.....	66
Tablo 5.7 Km <sup>2</sup> Olarak Kapasite Hücre Büyüklüğü ve Km Olarak Yarıçapı.....	66
Tablo 5.8 Alan Tiplerine Bağlı Olarak Efektif Anten Yüksekliği ve Trafik Miktarları.....	68
Tablo A.1 Bazı Elektronik Cihazların Elektrik Alan Şiddeti Değerleri.....	79
Tablo A.2 Frekans ve Dalga Boyunda Noniyonize Elektromanyetik Spektrum.....	80
Tablo A.3 Frekans ve Dalga Boyunda İyonize Elektromanyetik Spektrum.....	81
Tablo A.4 Elektromanyetik Radyasyonun Mesleki Etkilemede Alan ve Güç Yoğunluğu Seviyeleri.....	86
Tablo A.5 Elektromanyetik Radyasyonun Halk Sağlığını Etkilemede Alan ve Güç Yoğunluğu Seviyeleri.....	86
Tablo A.6 Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerleri.....	88
Tablo A.7 Türkiye’de Kontrolsüz Etkilenme İçin Sınır Değerleri.....	89
Tablo A.8 Kontrollü Etkilenme İçin Sınır Değerleri.....	90
Tablo D.1 Erlang Tablosu.....	108
Tablo F.1 Hücrelerde Efektif Anten Yüksekliği, Karşılaşılan Trafik ve TRU Sayıları.....	112

## ÖZET

**Anahtar Kelimeler:** Baz İstasyonu, Hücre Planlama, Frekans Yeniden Kullanım Modeli

Haberleşmeyi sağlayan sistem ve cihazların kullanımı her geçen gün hızla artmaktadır. Bu sistemlerden günümüzde en yaygın kullanılanı GSM'dir (2003 yılı sonu tahmini 540 milyon kullanıcı).

GSM Mobil Telefon 450-900-1800-1900 protokolleriyle çalışan yüksek kapasiteye sahip bir sistemdir. Mobil telefon sistemlerinde haberleşmenin yapılacağı alan hücre adı verilen küçük alanlara bölünmüştür.

Her hücrenin merkezinde bir baz istasyonu bulunur. Sistem bal peteği gibi birbirine bitişik hücrelerden meydana gelir. Mobil telefon protokollerine göre tasarlanmış sistemi kullanan her ülke, coğrafi yapısına bağlı olarak çeşitli sayıda trafik hücrelerine ayrılmaktadır.

Hücre tasarımında coğrafi yapı, abone dağılımı ve gerekli kaliteye dikkat edilmelidir. Hücre tasarım verilerinin hazırlanmasında frekans planlama, hücre şekli, baz istasyonu çıkış gücü ve anten gibi faktörler önemlidir.

Çalışmanın ilk bölümünde GSM'in gelişimi ve Mobil Telefon Protokolleri incelenmiştir. İkinci bölümünde hücre yapısı ve hücre tasarımı anlatılmaktadır. Hücresel sistemlerin tasarlanmasında frekans yeniden kullanım modeli incelenmiştir. GSM'de sistem verimliliğinin artırılması için kullanılan yöntemler formüllerle açıklanmış, değişik hücre yeniden kullanım modelleri verilmiştir. Üçüncü bölümünde ise mobil terminali ve baz istasyonları antenleri incelenmiş, baz istasyonlarında genelde dar bir bölgeyi etkileyen yönlü antenler kullanıldığı tespit edilmiştir.

# **AN INVESTIGATION FOR THE PARAMETERS OF CELL, TRANSMITTER AND FREQUENCY IN GSM**

## **SUMMARY**

**Key Words:** Base Station, The Cell Planning, The Reusing Model of Frequencies

The use of communication systems and equipments are on the increase recently among those systems, GSM is the most widely used system (Approximately 540 million user will be using that system by the end of 2003).

GSM system has high capacity and works with Mobile Telephone 450-900-1800-1900 protocols. The communication areas are divided into small parts which is called cells.

Each of these cells has a base station in their central points. These cellular systems consist of adjacent cells like honey combs. Countries use these protocols divided into many traffic cells depending on their geographic situation.

In the cellular systems design, distribution of the users, the geographic situation and the required quality must be taken into account by GSM planners. In the arrangement of cell design, the factors like frequency planning, cell format, the output power of base station and antenna are the most important.

The first chapter of the thesis is related to the development of the GSM and protocols. In the second chapter, the cell structure and design are examined in detail. In the design of the cellular system, reusing model of frequency of system in the GSM is explained by formulas and given various reusing models of the cell. In the third chapter, mobile terminals and base station antennas are examined. Then, in the base station, multi-direction antennas are used which have a small coverage areas.

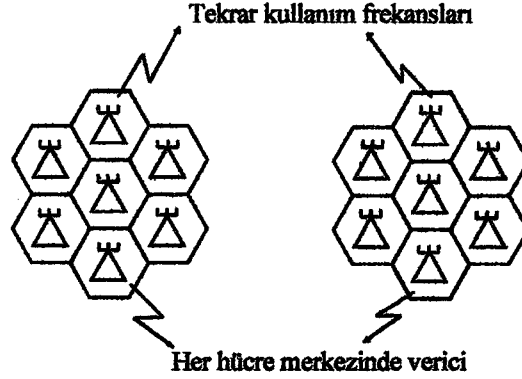
## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Haberleşme sağlayan telsiz sistemi teknolojisi ve cihazlarının kullanımı tüm dünyada her geçen gün hızla artmaktadır. Bu sistem ve cihazlar sırasıyla röle telsiz sistemi, ortak kullanımlı telsiz sistemi, trunk mobil telsiz sistemi, kablosuz telefon ve mobil telsiz telefon sistemi şeklinde sıralanabilir. Sırasıyla ilk üç telsiz sistemi, güç ve frekans kullanımında tamamen bağımsız sistemlerdir. Kablosuz telefon ve mobil telsiz telefonlara ait cihazlar telsiz vericisi-alıcısı olmalarına rağmen, telefon şebekesinin sabit sistemiyle irtibatlı oldukları için bu cihazların standartlara uygunluğu sağlanmalıdır. Mobil telefonlarla ilgili olarak dünyada birkaç imalat standardı geliştirilmiştir. Bu standartlardan Avrupa kıtasında yoğun olarak kullanılan Mobil Telefon Protokolleri, Mobil Telefon 450-900-1800 ve 1900 olmak üzere dörde ayrılmıştır. Elde taşınan cep tipi telefon cihazı, teknik özellikleri nedeniyle Mobil Telefon-900, 1800, 1900 protokolünde imal edilmektedir.

Hücresel mobil telefon sisteminde transmisyon zaman paylaşmalı çoklayıcı geçiş esasına dayanmaktadır. Her bir baz istasyonu frekans-zaman kanalları ile donatılmıştır.

Mobil Telefon protokollerine göre tasarlanmış sistemi kullanan her ülke, coğrafi yapısına bağlı olarak çeşitli sayıda trafik hücrelerine ayrılmıştır. Her hücre, mobil telefon sisteminden faydalanacak coğrafi bölgeyi kapsayacak şekilde düzenlenmiş en fazla 7 hücreli kümelerden oluşan grupların içine yerleştirilmiş olup, yarı çapı arazi durumuna bağlı olarak 8 ile 80 km arasında değişmektedir. Hücrelerin boyutları, belirlenmiş coğrafi bölgeler içerisindeki mobil telefon abone sayısına bağlıdır. Yoğunluğun fazla olduğu şehirlerde hücre boyutları daha küçük, daha az abonenin bulunduğu kırsal yerleşim bölgelerinde ise daha büyüktür.

Hücresel sistemlerde alan bir çok hücreye ayrıldığından bir hücredeki baz istasyonunun gücünün yüksek olması gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde frekans tekrar kullanım faktörü 7 olan bir sistem görülmektedir.



Şekil 1.1 Frekans tekrar kullanım faktörü örneği.

Frekans kanallarına abone taleplerinin sayısının beklenenden yoğun ve hızlı olması sebebiyle altıgen 7 alt hücreden meydana gelen ana hücre tamamlanarak, geometrik olarak dairesel bir durum gösterir ki, bu şekildeki hücre çevriminde işaret kaybı oldukça azalmaktadır. Şehirlerdeki yüksek binaların dağılımı ve coğrafi yapının durumu göz önüne alınarak yönlendirilmiş “mikro hücre” tekniği geliştirilmiştir[1].

GSM hücrelerinin planlanması yerleşim bölgelerinin özelliklerine göre yapılır. Hücre planlamasını hücrenin şehir içinde ya da şehir dışında olması ve kapsanacak bölgedeki GSM abone sayısı belirler. GSM hücresel sisteminde kapsama alanına göre üç tip hücre vardır: makro hücre, mikro hücre, piko hücre. Türkiye’de kullanılan GSM 900 sistemi için makro hücreler, yerleşimin seyrek olduğu bölgelerde 25 – 35 km yarıçapında bir alana hizmet verebilirler. Ancak bina, ağaç ve tepe gibi engellerin çok olduğu yerleşim yerlerinde oluşturulan makro hücrelerin yarıçapları daha küçük olur. Makro hücrelerde GSM 900 baz istasyonu antenlerinin çıkış güçleri 40 – 60 W olabilir. Mikro hücreler, genellikle yerleşimin yoğun olduğu ve makro hücresel kapsamayı geliştirici ve tamamlayıcı olarak kurulan sistemlerdir. Mikro hücreler havaalanı, büyük alışveriş merkezleri gibi yerlerde kurulur. Birkaç yüz metrelik yarıçapı olan alanları kapsar ve çıkış güçleri makro hücrelere göre düşüktür (GSM



900 için 5–10 W civarında). Piko hücreler ise daha çok bina içi haberleşmelerde kullanılır ve birkaç watt çıkış gücündedir[2].

Mobil telefon sisteminde çağrı kanalı ve trafik kanalı olmak üzere iki çeşit frekans kanalı mevcuttur. Çağrı kanalı, mobil istasyon ve mobil telefon arasında veri işaretleri göndermek için her baz istasyonuna tahsis edilmiş kanaldır. Çağrı kanalı işareti, mobile hangi ülke ve trafik bölgesinde bulunduğunu ve herhangi bir çağrı geldiğinde, mobilin hangi trafik kanalına anahtarlanması gerektiğine dair bilgilerden oluşmaktadır. Mobil kullanılmadığı zaman söz konusu bilgi taşıyan işaret çağrı kanalına kilitlenir. Baz istasyonlarının birden fazla kanala sahip olduğu yerleşim bölgelerinde çağrı kanalı olarak da kullanılabilir. Bir trafik kanalı, mobil ve diğer mobil telefon abonelerine veya sabit telefon şebeke aboneleri arasında iletişim kurmak için kullanılır.

Klasik telsiz şebekesinden görüşmeler kapalı bir sistem içinde olmaktadır. Normal olarak bir veya daha fazla telsiz istasyonu ile değişik sayıda telsiz cihazını içermektedir. Tüm telsiz görüşmeleri özel radyo frekansları ile havadan gönderilmektedir. Bu nedenle telsiz cihazları ile çok uzun mesafelerle görüşme yapmak pratik ve ekonomik olmaktadır. Mobil telefonlarda ise yapılan görüşmeler sadece içinde bulunan hücrenin baz istasyonuna kadar havadan daha sonra ise genel sabit telefon şebekesi üzerinden gönderilmektedir. Bu nedenle, konuşulan mesafenin çoğu, klasik telefon görüşmesi gibi normal hatlar üzerinden olmaktadır.

Baz istasyonlarında yönlü antenler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle enerjiyi karşılıklarında bulunan dar bir alana gönderecek biçimde tasarlanmışlardır. Bu nedenle antenden eşit uzaklıkta farklı noktalarda enerji dağılımı farklılık gösterir. Ayrıca, uzayda antenler tarafından uzaya yayılan elektromanyetik dalgaların güç yoğunlukları antenden uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle, elektrik alan şiddeti ise uzaklık ile ters orantılı olarak azalır. Tepe, ağaç ve bina gibi oluşumlar sinyal seviyelerinin daha hızlı düşmesine yol açarlar. Ayrıca binalardan yansiyarak gelen sinyallerin yarattığı farklı etkiler de bulunur.

Ülkemizde ve birçok ülkede GSM 900 ve DCS 1800 hücresel telefon sistemleri kullanılmaktadır. Artan talep doğrultusunda bu sistemlerin yaygın olarak kullanılması sonucu yaşam alanlarındaki baz istasyonu sayısı da hızla artmaktadır. Bununla birlikte insanların elektromanyetik alanlardan etkilenmeleri yönündeki çalışmalar, bu sistemlerin çalışma frekanslarında yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde mobil telefon protokolleri ve mobil telefon sistemleri, ikinci bölümünde GSM'de hücre büyüklükleri ve hücre tasarımları, üçüncü bölümünde baz istasyonları antenleri ve güçleri incelenecektir. Ayrıca ek kısmında da baz istasyonlarının insan sağlığına etkileri belirtilecektir.

Uygulama kısmında ise Tokat bölgesi için GSM 900 hücresel telefon sistemine göre hücre planlaması uygulaması yapılacaktır.



## **BÖLÜM 2. HÜCRESEL TELEFON SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ**

1980’li yılların başlarında Avrupa ülkeleri farklı mobil telefon sistemleri kullanmışlardır. Bununla birlikte haberleşme hizmetleri için gerekli ihtiyaçlar belirgin bir şekilde artmıştır. Bu yüzden, CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) Batı Avrupa’daki yaygın mobil sistemleri tanımlamak için bir grup kurmuştur. Bu grup “Groupe Spéciale Mobile” diye adlandırılmış ve sistemin adı da GSM olarak ortaya çıkmıştır. Bu kısaltma değişik şekillerde algılanmış, ama günümüzde en yaygın olanı “Global System for Mobil Communications” şeklindedir.

1990’lı yıllarda dünya çapında yaygın mobil sistemlerinin eksikliği sorun olmuştur. Bu yüzden GSM sistemi Doğu Avrupa ülkelerine, Afrika, Asya ve Avustralya’ya da yayılmıştır. ABD, Güney Amerika’nın çoğunluğu ve Japonya GSM’e uyumlu olmayan mobil sistemlerini kabul eden bir karar almışlar ama ABD’de, GSM teknolojisinin değişik çeşitlerini kullanan PCS (Personal Communication System) kabul edilmiştir.

Zamanla ulusal haberleşme tekellerinin dağılabileceği görülmüş, GSM sistemi tanımlanarak bazı düzenlemelerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu düzenlemeler aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

- 1- Her ülkede birkaç tane ağ olmalıdır. Bunun, fiyatta ve serviste rekabeti getireceği, kullanılan cihazların fiyatlarının ve kullanıcı görüşme ücretlerinin düşeceği, aynı zamanda GSM sisteminin daha hızlı gelişmesine katkı yapacağı düşünülmüştür.
- 2- GSM sistemi açık olmalı yani değişik sistemlerle arasında iyi organize edilmiş bir bağlantı olmalıdır. Bu durumun değişik cihaz üreticisi firmalar arasında uyumun sağlanabilmesi için gerekli olduğu düşünülmüştür.

3- GSM ağıları önceden varolan PSTN (Public Switched Telephone Networks)'de önemli değişikliklere sebep olmamalıdır.

Yukarıdaki ticari gerekliliklere ilave olarak bazı diğer önemli zorunluluklar şöyle tarif edilmiştir: sistem Avrupalı olmalı, kaliteli bir görüşme sağlamalı, radyo frekanslarını en etkili şekilde kullanmalı, yüksek kapasiteye sahip, ISDN (Integrated Services Digital Networks) ile ve diğer veri iletişim protokolleri ile uyumlu, hem aboneler hem de bilgi aktarımı açısından güvenli olmalıdır.

GSM sistemi için yapılan bazı gerekliliklerle bir çok avantaj sağlanmıştır. Bu avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- 1- GSM radyo frekanslarını etkili olarak kullanır. Dijital radyo dalgaları yardımıyla bir çok rahatsızlık ortadan kaldırılmıştır.
- 2- Analog sistemden çok daha kaliteli bir haberleşme yapılması sağlanmıştır.
- 3- Veri iletimi GSM sistemi aracılığı ile desteklenmiştir.
- 4- Konuşma şifrelenmiş, abone bilgi güvenliği garanti edilmiştir.
- 5- ISDN ile uygunluk sayesinde değişik uygulamalara açıktır.
- 6- GSM sistemi kullanılan bütün ülkeler arasında teknik olarak uluslararası dolaşım mümkün olabilmektedir.
- 7- Büyük pazar hem yatırım, hem de kullanım fiyatlarını düşürmekte, rekabeti arttırmaktadır[3].

## **2.1. GSM' in Üç Nesli**

### **2.1.1. Birinci nesil hücrel sistem**

1979'da Japonya'da Nippon Telefon Telgraf (NTT) ilk hücrel telefon sistemiydi. Bu sistemde 800 MHz bandı içinde 600 adet 25 kHz band genişlikli FM olan dubleks kanalı kullanılmaktaydı.

1981'de Avrupa'da Nordic Mobile Telephone (NMT 450) hücrel telefon sistemi kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem 450 MHz bandında 25 kHz'lik kanalları

kullanılmaktaydı. 1982’de İngiltere’de Total Access Communications System (TACS) ve 1985’de Extended Total Access Cellular System (ETACS) kullanılmaya başlanmıştı. Bu sıralarda Almanya’da C-450 ve Fransa’da Radicom 2000 kullanılıyordu.

ABD’de Advanced Mobile Phone System (AMPS) kullanılıyordu. Bu sistem 800 MHz bandında 30 kHz band genişlikli kanallara sahipti. Bu arada AMPS’ nin kanal band genişliği 40 MHz frekansına çıkarılmıştı. Birinci nesil hücresel telefon sisteminde frekans paylaşmalı çoklayıcı geçiş ile çoklama yapılarak, analog işaret teknolojisi kullanılmaktaydı[1].

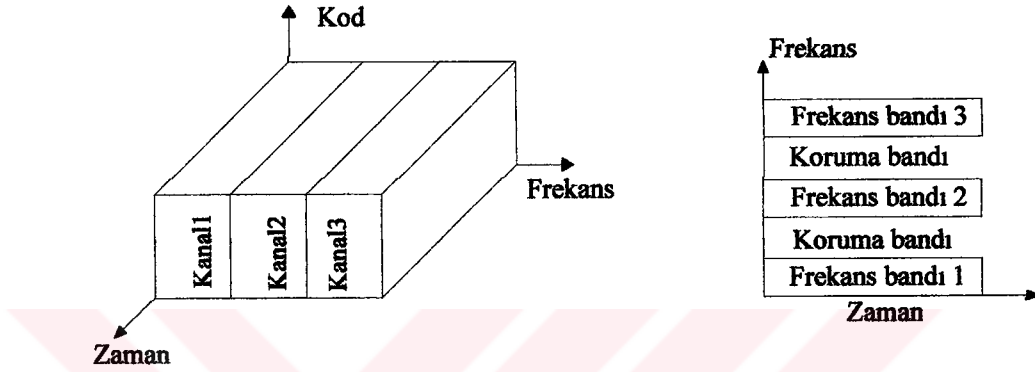
### **2.1.2. İkinci nesil hücresel sistem**

İkinci nesil hücresel sistemlerde sayısal teknoloji kullanılmaya başlanmıştır. İkinci nesil sistemler frekans paylaşmalı, zaman paylaşmalı ve kod paylaşmalı çoklayıcı erişim tekniklerine göre sınıflandırılmaktadır. Frekans, zaman ve kod paylaşmalı çoklayıcı erişimler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 2.1, 2.2, 2.3, 2.4).

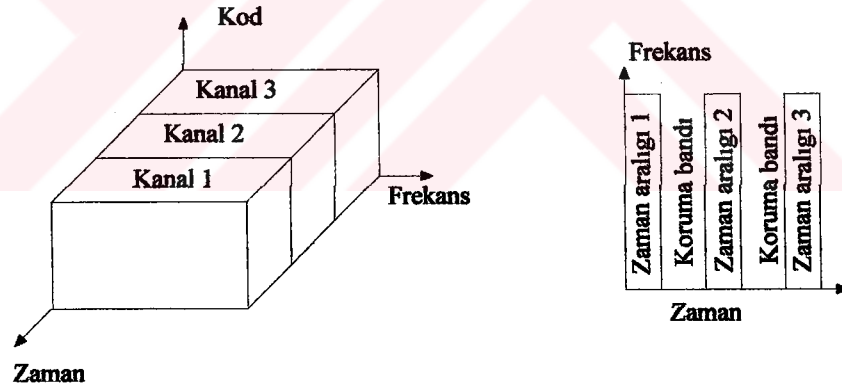
Frekans paylaşmalı çoklayıcı erişimde spektrum değişik frekans aralıklarına ayrılmakta ve her bir aralığa bir kullanıcı erişimi sağlamaktadır. Zaman paylaşmalı çoklayıcı erişiminde aynı frekans aralığında farklı zamanlarda erişim sağlanmaktadır.

Frekans paylaşmalı çoklayıcı erişimde her kullanıcıya aynı zamanda iletim için bir frekans ayrılmıştır (Şekil 2.1). Zaman paylaşmalı çoklayıcı erişimde birden çok kullanıcı aynı frekansta farklı zaman dilimlerinde iletim yapmaktadır (Şekil 2.2). Zaman ve frekans paylaşmalı çoklayıcı erişimde zaman dilimlerinde ve frekans aralıklarında erişim sağlanarak daha fazla sayıda mobil sisteme hizmet verebilir. Örneğin 64 zaman dilimine ve 8 frekans aralığına bölünebilir(Şekil 2.3). Kod paylaşmalı çoklayıcı erişimde her kullanıcı aynı frekans ve zamanı kullanmakta, ancak farklı ve yüksek band genişlikli dağılan işaret modülasyon için kullanılmaktadır. Bu işaretler düşük korelasyonludur.

Kod paylaşmalı çoklayıcı erişimde doğrudan dizili dağılık spektrum (Direct sequence spread spectrum) kullanılmaktadır. Bu çoklayıcı erişimde, işaretler yüksek band genişlikli dağılık dalga şekilleri ile modüle edilmektedir. Bu dalgalara kod dalgaları (imza dalgaları) adı verilmektedir. Kullanıcılar aynı frekans ve zamanda iletişimde olmasına rağmen, işaretler arasındaki ayırım kod dalgaları ile sağlanmaktadır. Bu dalgaların birbiriyle çapraz ilişkileri alt düzeydedir(Şekil 2.4).

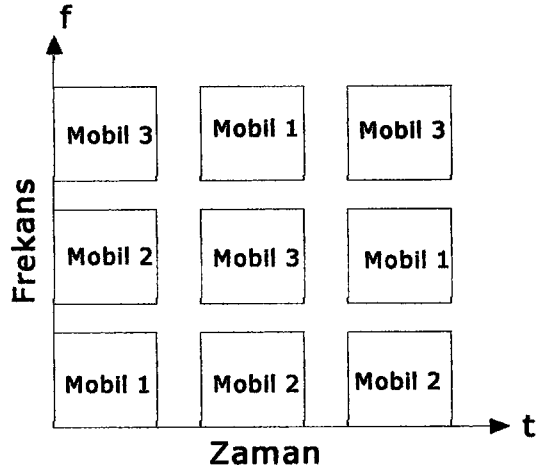


Şekil 2.1 Frekans paylaşmalı çoklayıcı erişim

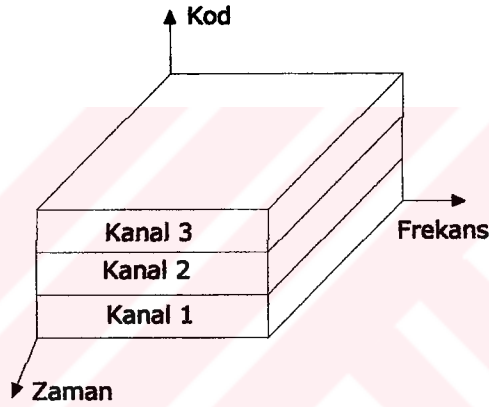


Şekil 2.2 Zaman paylaşmalı çoklayıcı erişim

1990 yılında sayısal hücreli sistemler ikinci nesli oluşturmuştur. Bu sistem Avrupa'da GSM olarak isimlendirilmiştir. GSM, 890-960 MHz aralığında zaman paylaşmalı çoklayıcı erişim tekniği kullanılmıştır. 1992 yılında da Amerika'da IS-54 Kuzey Amerikan zaman paylaşmalı erişim tekniği standardı ortaya çıkmıştır. Bu sistem AMPS'ye göre üç misli sistem karakterine sahiptir.



Şekil 2.3 Zaman ve frekans paylaşmalı çoklayıcı erişim



Şekil 2.4 Kod paylaşmalı çoklayıcı erişim

1996 yılında bazı ek özellikler ilavesiyle IS-54 sisteminin yan bir versiyonu olan IS-136 işleme girmiştir. 1993 yılında IS-95 CDMA (veya CDMAOne) kod paylaşmalı çoklayıcı erişim standardı çıkarılmıştır. Bu standartta CMMA (kod paylaşmalı çoklayıcı erişim) kullanıldığından sistem çok esnek olup , geniş bantlı iletme ve kapasite artışına olanak sağlamıştır. IS-95 ve IS-136 standartları AMPS ile aynı frekans modunda çalışmakta, ancak dual-mod'lu sistemlerdir.

### 2.1.3. Üçüncü nesil hücresel sistem

1999'dan itibaren dünya çapında birçok farklı hücresel mobil telefon sistemlerinin kullanılması birbirleriyle uyumsuzluk meydana getirmeye başlamıştır. Bütün dünyada hücresel mobil telefon sistemlerinde tek bir standarda geçmek için üçüncü nesil hücresel sistem geliştirilmesi mecburiyeti doğmuştur. İlk olarak Future Public

Land Mobile Telecommunications System (FPLMTS) olarak isimlendirilen bu sistem, 2000 yılından itibaren IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) şeklinde değiştirilmiştir(Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Farklı Hücrel Sistem Standartları[1]

Birinci Nesil Sistemleri		İkinci Nesil Sistemleri			Üçüncü Nesil Sistemleri	
Hücrel Sistem İsmi	AMPS	GSM / DCS 1900 GSM 900/ 1800	IS - 136 USDC	IS - 95 UTRA	WCDMA	CDMA 2000
Yıl	1983	1992 - 1994	1996	1993	2000 ...	2002
Kullanma Alanı	USA	Almanya USA	USA	USA Ortadoğu	Avrupa	USA
Yukarı Link Frekans Kanalı (MHz)	824 - 849	890 - 915 1850 - 1910	824 - 849 1850 - 1910	824 - 849 1850 - 1910	1920 - 1980	1850-1910
Aşağı Link Frekans Kanalı (MHz)	869 - 894	935 - 960 1930 - 1990	869 - 894 1930 - 1990	869 - 894 1930 - 1990	2110 - 2170	1930-1970
Radyo Teknolojisi ve Çoklu Erişim Tekniği	Analog FM FDMA	Sayısal TDMA	Sayısal CDMA	Sayısal CDMA	Sayısal CDMA	Sayısal
Modülasyon Türü	FM	GMSK	$\pi / 4$ - DPSK	QPSK ve OQPSK	QPSK ve BPSK	QPSK ve BPSK
Kanal Başına Band Genişliği (kHz)	30	200	30	1250	10000 20000	1250 3750 7500 11250 15000
Baz İstasyonu Çıkış Gücü (W)	20	320	20	640	—	640
Mobil Terminal Çıkış Gücü (W)	4	8	4	6.3	1	2
Servisler	Analog Mobil Telefon	Sayısal Mobil Telefon	Sayısal Mobil Telefon	Sayısal Mobil Telefon	Sayısal Yüksek Video	Mobil Telefon Yüksek Video

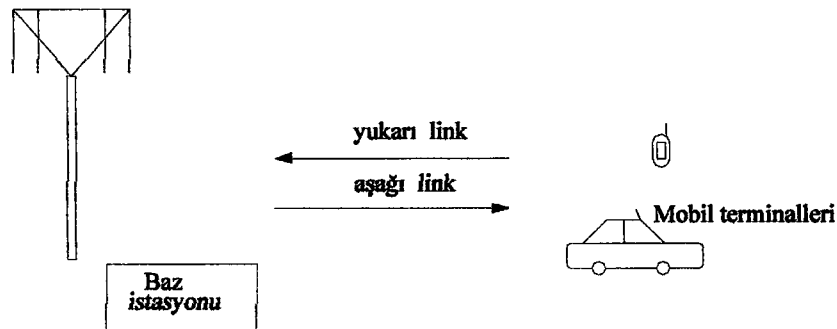


Bu sistem bütünüyle kullanılmaya başlandığında kablosuz ses, görüntü, e-posta, video konferans, multimedya vs. gibi uygulamaları bünyesinde birleştirebilecektir. Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (ETSI), Japon Radyo Enstitüleri ve Ticaret (ARIB) ve Güney Kore Telekom Teknolojileri Birliği (TTA) geniş bandlı CDMA (WCDMA) teknolojisini kullanan yeni standartlar geliştirmişlerdir. Ancak, Amerika'da değişik CDMA 2000 sistemi önerilmiştir. WCDMA ve CDMA 2000 birbirlerine benzemekle beraber WCDMA GSM ile, CDMA 2000 ise IS-95 ile uyumludur. Bu iki farklı sistemin birleştirilmesi yoluna gidilmektedir.

## 2.2. Mobil Telefon 900-1800-1900 Protokolleri

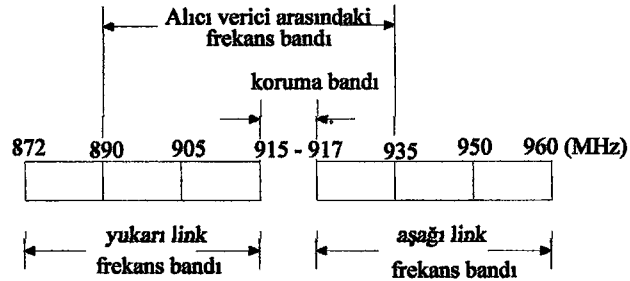
### 2.2.1. GSM Mobil Telefon 900 Protokolü

Mobil Telefon 900 protokolünde 890-915 MHz arasındaki frekanslar yukarı link adı verilen alış için, 935-960 MHz arasındaki frekanslar da aşağı link adı verilen veriş için kullanılmaktadır. Bu protokolde taşıyıcılar 200 kHz frekanslık bir yer aldıklarından 124 taşıyıcısını kullanmasına olanak vermektedir (Tablo 2.2). 917-935 MHz arasındaki frekanslar hücrese mobil telefon sistemi dışındaki hücrese sistemler tarafından kullanılmaktadır. 915-917 MHz arasındaki 2 MHz'lik kısım koruma bandı için bırakılmıştır. Bu 2 MHz'lik koruma bandı, alış-veriş frekansları arasındaki elektromanyetik dalgalar arasında oluşabilecek girişimi önlemek amacıyla taşımaktadır. Diğer taraftan alış-veriş frekansları arasındaki 45 MHz'lik farkta girişim ihtimalini azaltmaktadır.



Şekil 2.5 Baz istasyonu, mobil terminaller ve yukarı, aşağı linkler

Şekil 2.6’da Mobil Telefon 900 Protokolünde yukarı link-aşağı link, koruma, hücresel telefon dışında kullanılan frekans bandları ile alıcı-verici arasındaki frekans farkı gösterilmiştir. Alıcı-verici arasında 45 MHz’lik bir frekans farkı vardır.



Şekil 2.6 Mobil Telefon 900 protokolünde frekans bandı

Tablo 2.2 GSM 900 Frekansları[3]

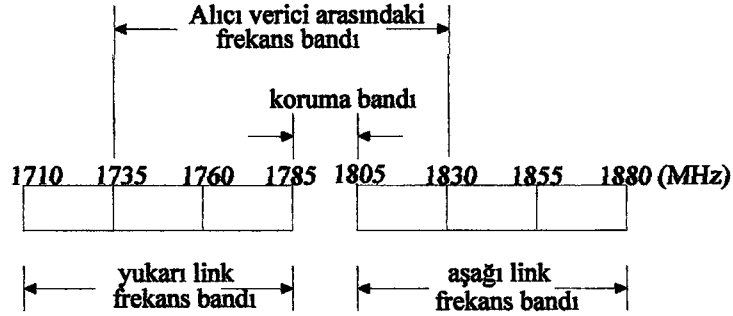
Kanal	Yukarı Link Sinyali ( MHz)	Aşağı Link Sinyali ( MHz)
1	890.1 – 890.3 ( 890.2 – Merkezi Frekansı )	935.1 – 935.3 (935.2 – Merkezi Frekansı)
2	890.4 ( Merkezi Frekansı )	935.4 ( Merkezi Frekansı )
3	890.6 ( Merkezi Frekansı )	935.6 ( Merkezi Frekansı )
4	890.8 ( Merkezi Frekansı )	935.8 ( Merkezi Frekansı )
....	.....	.....
124	914.8 ( Merkezi Frekansı )	959.8 ( Merkezi Frekansı )

### 2.2.2. GSM Mobil Telefon 1800 Protokolü

Mobil Telefon 1800 protokolünde 1710 MHz ile 1785 MHz arasındaki frekanslar alışı yukarı link, 1805 MHz ile 1880 MHz arasındaki frekanslar da verişi aşağı link için kullanılmaktadır. RF taşıyıcıları 200 kHz aralıklarla kullanılmakta ve bu protokolün de 374 taşıyıcısı bulunmaktadır.

Alışı ve verişi arasında 95 MHz’lik bir frekans farkı vardır. 1785 ile 1805 MHz frekansları arasındaki 20 MHz’lik koruma bandı girişimi önlemektedir.

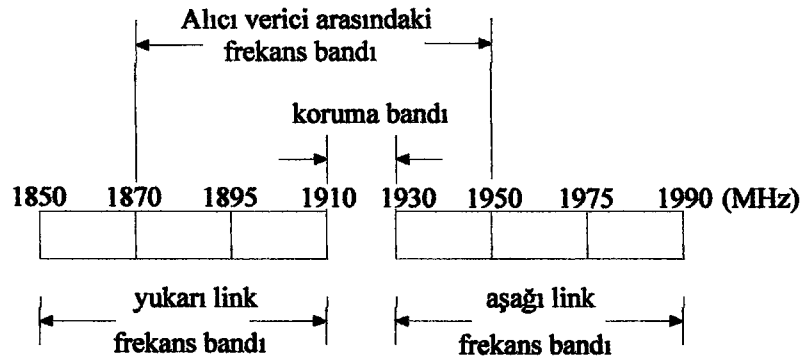
Şekil 2.7’de Mobil telefon 1800 protokolünde yukarı link, koruma frekans bandları ile alıcı-verici arasındaki frekans farkı gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Mobil Telefon 1800 protokolünde frekans bandı

### 2.2.3. DCS Mobil Telefon 1900 Protokolü

Mobil Telefon 1900 protokolünde 1850 MHz ile 1910 MHz arasındaki frekanslar alışı yukarı link ve 1930 MHz ile 1990 MHz arasındaki frekanslar verişi aşağı link için kullanılmaktadır. Bu protokoldeki taşıyıcılar 200 kHz aralıklarla kullanılmaktadır ve 299 taşıyıcıya imkan vermektedir. 1910 MHz ile 1930 MHz frekansları arasındaki 20 MHz’lik koruma bandı, alışı ve verişi frekans grupları arasındaki girişi önlemektedir.



Şekil 2.8 Mobil Telefon 1900 protokolünde frekans bandı

Şekil 2.8 Mobil Telefon 1900 protokolünde yukarı link-aşağı link, koruma frekans bandları ile alıcı-verici arasındaki frekans farkı gösterilmiştir.

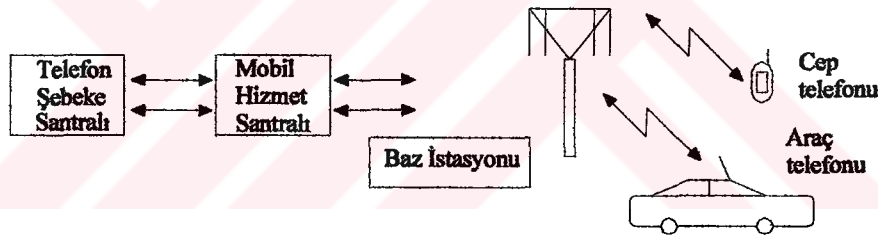
### 2.3. Mobil Telefon Sistemleri

Mobil Telefon protokolüne uygun olarak tasarlanmış bir hücreli telefon sistemi;

- Mobil Terminaller,
- Baz İstasyonları,
- Mobil Telefon Hizmet Santrali

şeklinde 3 kısımdan oluşmaktadır (Şekil 2.9).

Mobil telefon santrali, mobil telefon sisteminin merkezidir. Mobil telefon santrali mobil-mobil, mobil-baz istasyonları arasında işaretleşme, çağrı kontrolü ile anahtarlama ve ara birim fonksiyonlarını sağlamaktadır. Baz istasyonlar, mobil telefon santralleri ile mobil aboneler arasında yeterli ikili trafik-çağrı kanal linklerinin sayısını belirlemektedir. Mobil terminaller telefon cihazları olup, öncelikli mobil, portatif ve jetonlu mobil telefonlar aboneler tarafından kullanılmaktadır.

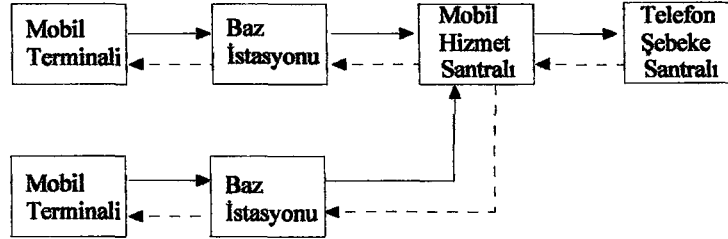


Şekil 2.9 Mobil Telefon Sistemi

Mobil telefon sisteminde normal bir telefon yerine mobil telefon kullanılmaktadır. Mobil telefona 'mobil terminali' adı verilmektedir. Mobil telefon sistemi; mobil terminalleri, baz istasyonları ve mobil hizmet santrallerinden oluşmaktadır. Böyle bir mobil telefon sisteminin blok şeması Şekil 2.10' da verilmiştir.

Mobil telefon sistemi genel olarak mobil terminali, baz istasyonu, şebeke ve bağlama alt sistemi, işletme ve bakım ünitesi bölümlerinden oluşmaktadır. Daha detaylı olarak; abone kimlik modülü (SIM) ve cihaz mobil terminali, baz alıcı-verici istasyonu ve baz istasyonu kontrolü baz istasyonu sistemini oluştururlar. Mobil

anahtarlama istasyonu, merkez adres kaydedici ve ziyaretçi adres kaydedici de şebeke ve alet bağlama sistemini oluşturmaktadır.



Şekil 2.10 Mobil telefon sistemi blok şeması

### 2.3.1. Mobil terminali

Mobil terminal bir saha içinde hareket edebilen çağrı gönderip, alabilen cihaz olup, cep telefonu veya araç telefonu olabilir. Mobil terminalin menzilini, çıkış gücü veya konumu belirler. Çıkış gücü cep telefonları için 2 W, araç telefonları içinde 8 W olabilir. Mobil terminalin baz istasyonuna uzaklığı arttıkça gücünde de bir artış olmaktadır.

Tüm fonksiyonlarının bir gereği olarak, ekran, tuş takımı gibi kullanıcıyı ilgilendiren yapıları, radyo ortamında yayını sağlayan birimleri, işaret işleme ünitelerini ve yabancı cihazlarla sistem arasında adaptasyonu sağlayan fonksiyonlar arasında bulundurmalıdır. Kısacası radyo frekansları üzerinde yapılacak bağlantıya ilişkin tüm yazılım ve donanım mobil terminalinde gerçekleştirilmektedir. Mobil terminaller çok değişik boyutlarda ve yeteneklerde olabilir. Abone kimlik modülü ve mobil cihaz birlikte abonenin şebekeyle bağlantısını sağlayan mobil terminali oluşturmaktadır.

Mobil Telefon 900 ihtiyacı karşılamadığı durumlarda yine Mobil Telefon 1900 uygulamaya konmaktadır. Kullanılan frekansların farklı olması sebebiyle, çift bandlı olanların dışında, farklı mobil telefon cihazları kullanmak zorunlu hale gelmektedir. Şebekeye uygun mobil telefon cihazı ve abone kimlik modülü yerleştirmek gerekmektedir.

### 2.3.1.1. Abone kimlik modülü (SIM)

Abone SIM kartıyla herhangi bir mobil cihazı kullanılabilir. Diğer taraftan, mobil cihazın teknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin başında, kaçınca kuşak cihaz olduğu, maksimum çıkış gücü, şifreleme özellikleri, yayın yapabildiği frekanslar ve kısa mesaj servisine uyumlu olup olmadığı gelmektedir. Bütün bu özellikleri, bağlantının ilk kurulduğu anda uygun bir şekilde şebekeye tanınan formlara cihazın göstergesi denilmektedir.

Kimlik ve güvenlik bilgilerini SIM kartında toplayarak, mobil terminalin SIM kartı ve mobil cihaz olarak iki kısma ayrılmaktadır. Aboneye şebeke tarafından verilen telefon numarası da dahil olmak üzere, aboneye ait bilgilerin hepsi SIM kartında bulunmaktadır. Abone kimlik modülleri bir kredi kartı boyutunda olabileceği gibi küçük boyutlu tek cep telefonları için küçük bir çip boyutunda da olabilir.

### 2.3.1.2. Mobil cihaz

Mobil terminalinin fonksiyonları:

- İşlevsel kontrol ünitesi,
  - Mantık ve kontrol ünitesi,
  - Alış ve veriş işlemlerinin yapıldığı alıcı-verici ünitesi
- olarak üç bölüme ayrılabilir.

İşlevsel kontrol ünitesi fonksiyonlarında bulunanlar, hoparlör, mikrofon, açma-kapama anahtarı, tuş takımı, seçilen numaraları gösteren ekran, servis göstergesi, alarm göstergesi, ülke seçimi şeklinde sıralanabilir.

Mantık ve kontrol ünitesi sisteminin beyin bölümünü oluşturan mikro işlemci sayesinde, kısaltılmış numara ile arama elektronik kilitleme v.s. yararlanarak almaktadır. Bu aradaki modem devreleri de baz istasyonları aracılığıyla boşluktan mobil telefon santrali ile haberleşme sağlamaktadır.

Mantık ve kontrol ünitesinin işlevleri;

- Mantık telefon santralinden gelen işaretlerin çözülmesi ve alınan bilgilerin uygulanması,
  - Çağrı ve trafik kanallarının tanınması,
  - Mobil istasyonuna çağrı,
  - Numara tespiti,
  - Kanal tahsis etme,
  - Çıkış gücü düzeyi,
  - Çağrı sonlandırma
- olarak sıralanabilir.

Mobil telefon santralından gelen işaretin yanıtlanması ve abonenin istediği operasyon ünitesi yardımı ile uygun fonksiyon ve işaretlere uygulanması mantık ve kontrol ünitesi ile gerçekleştirilmektedir. Veriş ve alış kesinlikle birbirine karışmaz ve normal sabit bir telefondan konuşuluyormuş gibi hem arayan, hem de aranan aynı anda konuşabilir.

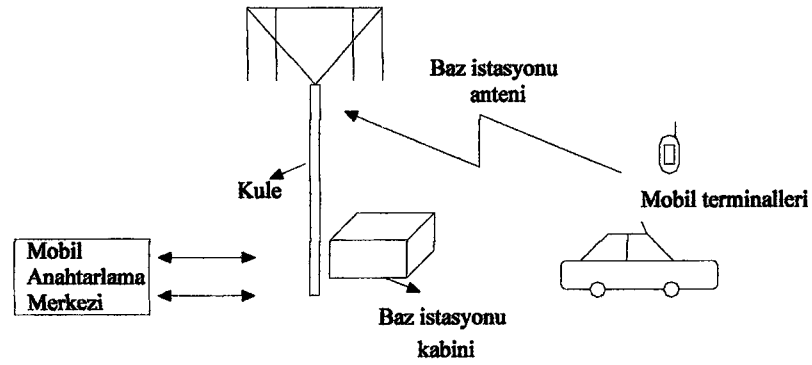
### **2.3.2. Baz istasyonları**

Mobil telefon sisteminde baz istasyonlarının yapısı; alt yapı ile alıcı-verici anten olarak iki kısma ayrılabilir. Net yapı; sistem odası, enerji dağıtım dolapları, DC güç kaynağı ve paratonerden oluşmaktadır(Şekil 2.11). Diğer taraftan baz istasyonlarının, antenlerden yayılan mobil terminal ile haberleşecek elektromanyetik dalga üreten donanımı ile bu sistemi kontrol eden sayısal donanımları olan kısımları mevcuttur.

Mobil terminal ile baz istasyonu arasındaki iletim elektromanyetik dalgalar ile gerçekleşmektedir. Çapları 1 ile 35 km arasında değişen her bir baz istasyonunun elektromanyetik dalgaları iletilme alanına hücre adı verilmektedir.

**Baz istasyonunun görevleri;**

- Mobil terminal ile mobil anahtarlama merkezi arasında aktarıcı görevi görmek,
- Konuşmalar esnasında ses kalitesini denetlemek,
- İşaret şiddetini kontrol etmek,
- İşaret / Gürültü oranını kontrol etmek



Şekil 2.11 Baz istasyonu şeklinde sıralanabilir.

### 2.3.2.1. Alıcı-verici donanımı

Alıcı-verici baz istasyonlarında bulunan üniteler;

- Biri yedek diğeri ana olmak üzere iki kontrol ünitesi,
- Kontrol ünitelerinin arasında yer alan güç dağıtım ünitesi,
- Kontrol ve güç dağıtım ünitelerinin üstünde bulunan alıcı-verici kontrol ünitesi,
- Alıcı-verici ünitelerini üstünde yer alan alarm kontrol kartı ünitesi,
- Baz istasyonu kabinin üstünde yer alan radyo-frekans donanımı ünitesi

şeklinde sıralanabilir.

### 2.3.2.2. Baz istasyonunda işaret alışı

Baz istasyonlarında işaret alışı için çift düşük gürültülü blok, baskı devreli anten dağıtım ünitesi ve kontrol ünitesi kartları kullanılmaktadır. Baz istasyonun alışta antenlere çift düşük gürültülü bloğa bağlanmaktadır. Bu çift düşük gürültülü bloğun iç yapısı iki band geçiren filtre ve iki düşük gürültülü kuvvetlendiriciden oluşmaktadır. Buradaki band geçiren filtre alış frekansındaki işaretleri geçirmektedir. Düşük gürültülü ön kuvvetlendirici filtreden gelen işareti kablolardan geçecek seviyeye kadar kuvvetlendirir. Çift düşük gürültülü bloktan gelen işaretleri anten dağıtım ünitesi kartı içinde bulunan kuvvetlendiriciler, bölücü ve anahtarlar yardımıyla verici-alıcı kontrol birimine iletilmesine kontrol etmektedir



Alıcı-verici kontrol ünitesi, baz istasyonunun bir kısmı olup, baz istasyonunun mobil terminale haberleşmesindeki alış ve veriş işaretlerini kontrol eder. Bu kontrol ünitesi işaretlerin kodlanmasını, kontrolünü ve ana kontrol ünitesine gönderilmesine sağlayan donanıma sahiptir. Çalışma süresince kendi frekansını değiştirebilir. Bir alıcı-verici kontrol ünitesi 8 konuşma kanalına sahiptir.

### **2.3.2.3. Baz istasyonunda işaret verişi**

Baz istasyonunda işaret verişi için band geçiren filtre, birleştirilmiş bloğu ve alıcı-verici kontrol ünitesi kartları kullanılmaktadır. Boşluk birleştirilmiş bloğu üç adet ayarlanabilen boşluk rezonatöründen oluşan verici bir eleman olup, sadece ayarlandığı frekans da çalışabilmektedir. Boşluk birleştirilmiş blokları üç ve daha fazla verici-alıcı kontrol biriminin tek antenden düşük kayıpla birleştirilmesini sağlamaktadır. Alıcı-verici baz istasyonlarında alış ve veriş de aynı anteni kullanabilmek için dublekser bulunmaktadır.

### **2.3.2.4. Kontrol ünitesi**

Kontrol ünitesi bütün istasyonun ana ünitesidir. İstasyonla ilgili fonksiyonlar, istasyonun işletim sistemi, bakım konuşma kontrolleri ve diğer kartların kontrolleri, senkronizasyon kontrol ünitesinde sağlanan işlemlerdir. Kontrol ünitesinin fonksiyonları; baz istasyonu kontrol, trafik ve kontrol bilgilerini anahtarlamak, 24 adet verici-alıcı kontrolü, zamanlama senkronizasyonu yapmak, alarm giriş ve çıkışlarının kontrolü, işletim sistemini çalıştırmak şeklinde sıralanabilir.

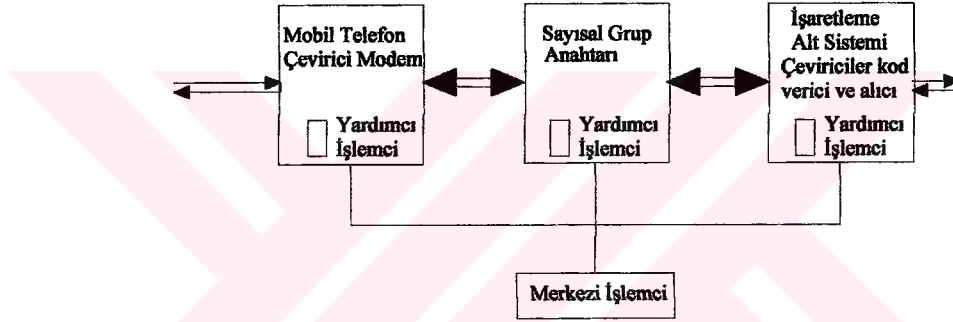
### **2.3.3. Mobil telefon hizmet santrali**

Mobil telefon hizmet santrali telefon şebekesi santrali ile baz istasyonu arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır(Şekil 2.12). Mobil telefon hizmet santrali açma kapama işlemini yerine getiren bir anahtar grubundan ibarettir. Bu santralin fonksiyonlarının tamamı bilgisayar kontrollüdür. Bir merkezi işlemci ve alt ünitenin kontrolünü sağlayan yardımcı işlemciden oluşmaktadır. Merkezi ve yardımcı işlemciler birer

takımı yedek olmak üzere ikişer adettir. Birisi devre dışı kalırsa diğeri devreye girmektedir. Mobil telefon hizmet santrali bir mobil anahtarlama merkezidir.

Mobil anahtarlama merkezi görevleri:

- Mobil terminalin yerini saplayıp çağrı göndermek,
  - Bir mobil terminalden başka bir mobil terminale görüşme için bağlantı sağlamak,
  - Mobil terminal bir hücreden diğerine hareket ederken bağlantının sürekliliğini sağlamak,
  - Konuşmanın sonlandırılmasını sağlamak,
- şeklinde sıralanabilir.

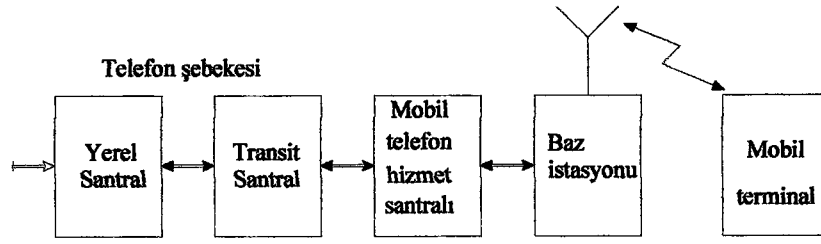


Şekil 2.12 Mobil telefon hizmet santrali blok şeması

Mobil terminal hareketli olabileceğinden hücre değişebilir. Baz istasyonu denetleyicileri mobil terminal konum değiştirdikçe, bu mobil terminalin en rahat biçimde işaretleşmesini sağlamak için mobil terminale en yakın bir istasyonu seçme işlemini yapmaktadır. Baz istasyonu denetleyicisi mobil terminalin ilk baz istasyonu ile ilişkisini kesip, ikinci bir baz istasyonuna bağlamaktadır. Bu işlem baz istasyonu denetleyicisinin kontrolünde zincirleme olarak devam etmektedir. Bu işleme aktarma adı verilmektedir(Şekil 2.13).

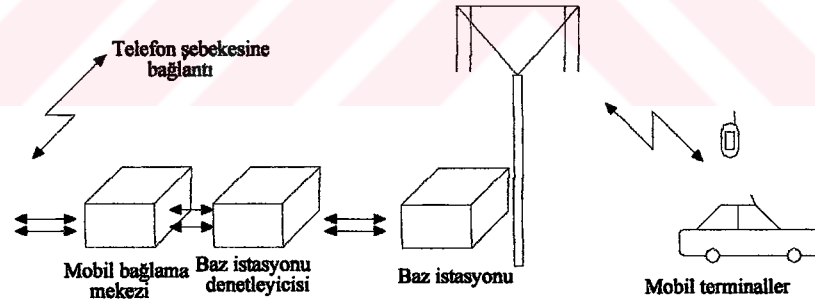
Mobil telefon hizmet santrali:

- Baz istasyonu denetleyicisi,
  - Mobil bağlama merkezi
- olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 2.13 Telefon şebekesi, mobil telefon hizmet santrali blok şeması

Baz istasyonu denetleyicisinin görevi baz alıcı-verici istasyonlarını kontrol etmek ve aktarma olayını gerçekleştirmektir. Mobil bağlama merkezi ise bağlantıların kurulmasını sağlamaktadır. Ayrıca ücretlendirme ve abone hizmetleri gibi görevleri de yerine getirmektedir. Kısaca mobil bağlama merkezi, mobil telefon ile normal telefon veya diğer bir mobil telefon bağlantısını sağlamaktadır. Mobil bağlama merkezi kontrol ve telefon bölümlerinden oluşmaktadır. Sonuç olarak abone servislerinin anahtarlanması başka bir ifadeyle abonelerin birbirlerine bağlanması mobil bağlama merkezinde olmaktadır. Bu merkez; sistemin bağlanmalarını sağlayan, kontrolü üstlenen bölümlerden meydana gelmektedir(Şekil 2.14).



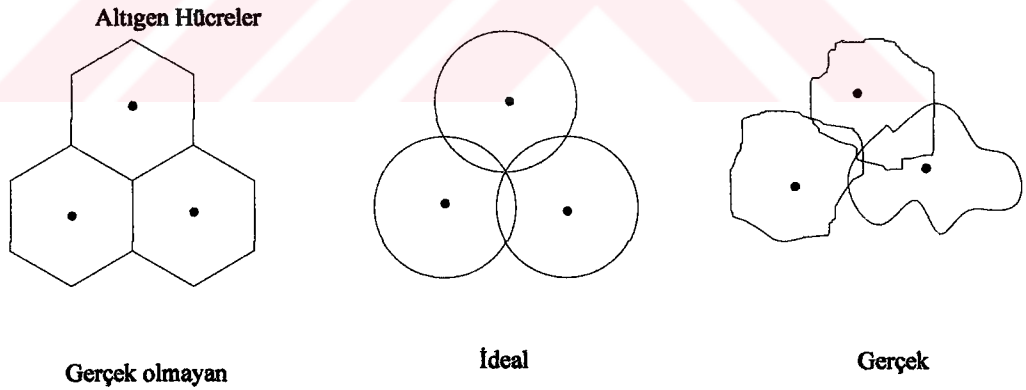
Şekil 2.14 Mobil telefon hizmet santrali ile baz istasyonu ve mobil terminal

## BÖLÜM 3. HÜCRESEL SİSTEMLER

### 3.1. Hücresel Sistem

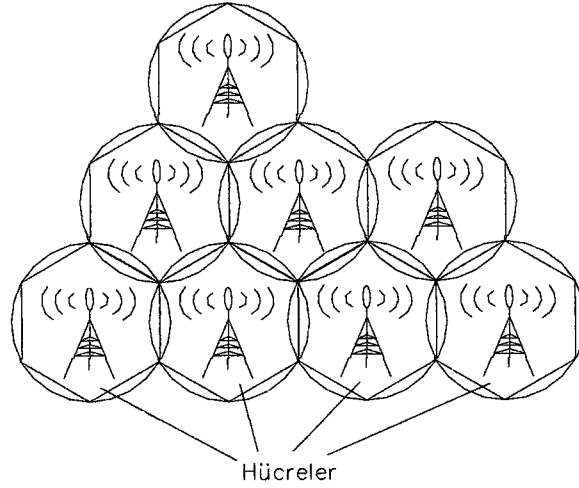
Mobil telefon sistemlerinde, haberleşmenin yapılacağı alan hücre adı verilen küçük alanlara bölünmüştür. Her hücrenin merkezinde bir baz istasyonu bulunur. Mobil telefonlar haberleşmelerini baz istasyonu üzerinden yaparlar. Baz istasyonları birbirlerine bir ağ yapısı şeklinde bağlıdır[2].

Hücrelerin tasarımı kolaylığı sağlamak için bal peteği şeklinde olduğu varsayılır. İdeal bir hücre ise daire şeklindedir. Ancak pratikte, yeryüzüne ilişkin doğal gölgeler yüzünden bu dairesel hücreler aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi daire biçiminden farklıdır (Şekil 3.1).



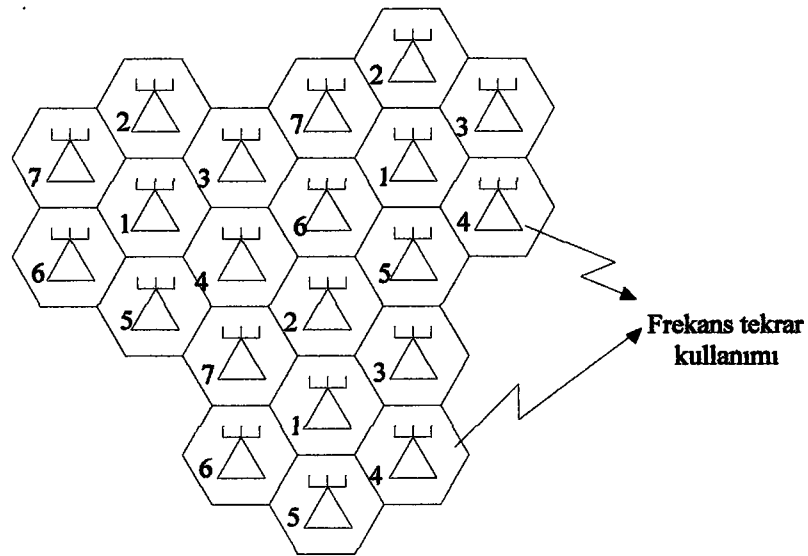
Şekil 3.1 Altıgen hücreler ve kapsama alanlarının gerçek biçimleri[4]

Herhangi bir mobil telefondan gelen çağrı isteğinin ilgili kullanıcıya ulaştırılması bu ağ yapısı tarafından gerçekleştirilir. Baz istasyonları ile Mobil Anahtarlama Merkezleri (MAM) ve Mobil Anahtarlama Merkezleri kendi aralarında birbirleri ile ya kablolar yada yönlü radyo-linkleri ile bağlıdır. Mobil telefonlarla baz istasyonları arasındaki iletişim, elektromanyetik dalgalar yoluyla gerçekleştirilmektedir. Hücresel yapı sayesinde aynı anda daha çok kullanıcı haberleşebilir (Şekil 3.2).



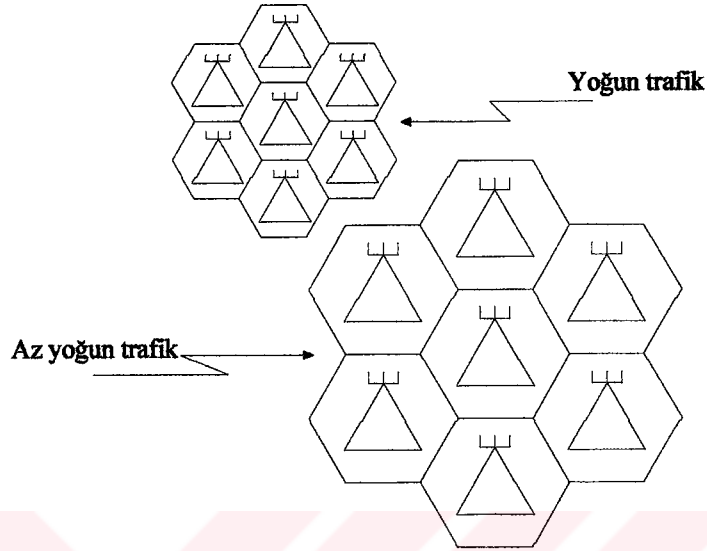
Şekil 3.2 Hücresel Yapı

Mobil telefon sistemleri için dar bir frekans bandı tahsis edilmiştir. Aynı andaki telefon görüşmeleri için telefon şebekesinin bazı kısımlarında aynı frekanslar tekrar tekrar kullanılmaktadır. Bu sebeple sistem, bal peteği gibi birbirine bitişik hücrelerden meydana gelmektedir. Her hücrede düşük çıkış gücüne sahip bir baz istasyonu vardır ve bu baz istasyonu radyo taşıyıcı frekansında verişi ve alışı yapar. Bu sayede aynı taşıyıcı frekanslar değişik hücrelerde tekrar tekrar kullanılabilir (Şekil 3.3). Ancak aynı taşıyıcı frekans çok sayıda telefon görüşmesi için kullanıldığından dolayı biri diğerini etkilemekte ve tekrar kullanım girişimi meydana gelmektedir.



Şekil 3.3 1 ile 7 frekans grupları

Diğer taraftan büyük yerleşim sahalarındaki aynı anda yoğun görüşme olan bölgelerde hücreler daha sık ve daha küçüktür (Şekil 3.4).

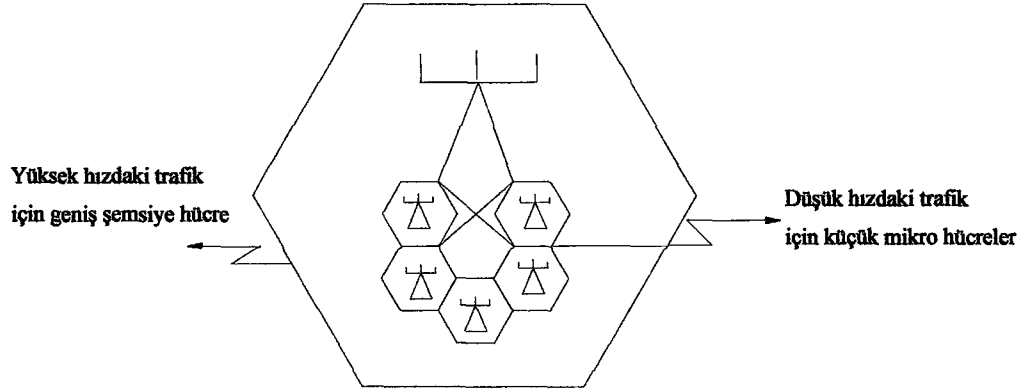


Şekil 3.4 Trafik yoğunluğuna göre hücreler

Küçük hücreler kullanılarak sistemin kapasitesini arttırmak mümkündür. Hücre sayısı artırılarak ve birbirine komşu hücrelerde farklı taşıyıcı frekanslar kullanılarak konuşma sırasında aynı verim sağlanabilmektedir. Yine daha küçük hücreler kullanılarak hücrelerin güç seviyeleri düşük tutulmakta, dolayısıyla mobil terminaller için gerekli besleme kaynağı azaltılmaktadır. Böylece mobil terminallerin boyutları küçültülmüş ve ağırlıkları azaltılmış olmaktadır[1].

Yayınlanan gücün belirli bir bölge içinde sınırlandırılması ve komşu hücrelerden gelen düşük güçlü elektromanyetik dalgaların bu belirli bölgelerin dışında alınmaması için hücreler değişik şekilde tasarlanmıştır. Bölgeler dilimlenmiş hücreler olup, kapsam alanı 120 dereceyle sınırlandırılmıştır. Baz istasyonları, dolayısıyla antenleri vadi kenarlarına ve gökdelenlerin aralarına yerleştirilmektedir. Burada anten tasarımı da önemlidir. Diğer taraftan, çok küçük hücreler içinde bir transit geçiş oluşmaktadır. Bu transit geçişi ortadan kaldırmak için şemsiye hücreler kullanılmaktadır (Şekil 3.5).

Bir şemsiye hücrede, mikro hücrelerde yayınlanan güçteki elektromanyetik dalgalardan güçlü elektromanyetik dalgalar yayınlanır. Şemsiye hücrede yayınlanan dalgaların taşıyıcı frekansı, mikro hücrelerde yayınlanan elektromanyetik dalgaların taşıyıcı frekansından farklıdır. Böylece, bir mobil terminali yüksek hızla giderken, sistem tarafından şemsiye hücreye atanarak şebekenin yükü azaltılabilir.



Şekil 3.5 Mikro hücreler ve şemsiye hücre

### 3.2. Hücre Tasarımı

Hücre tasarımında, mobil terminallerin trafik yoğunluğu ve bölgenin coğrafi etki alanı için gereken kalite göz önüne alınmalıdır. Bu nominal tasarımdır. Hücre tasarımları; hücrenin şekline, antene ve baz istasyonunun gücüne bağlıdır. Eğer, yönetmesiz antenler ile baz istasyonu tasarlanıyorsa, baz istasyonlarının etki alanlarında bulunan ve baz istasyonlarından yayınlanan elektromanyetik dalgalarının alan şiddeti aynı olduğu bölgelerde bir sınıra gerek duyulmaz. Aynı işlem bir baz istasyonu çevresindeki beş baz istasyonu ile tekrarlanırsa, hücre altıgen bir şekle sahip olacaktır. Ancak, tasarımda elektromanyetik dalgaların yayınında direkt dalgalar, yansıyan dalgalar ve kırınım dalgaları olabileceğinden büyük ölçüde arazi ve düzensiz yapılaşma göz önüne alınmalıdır[1].

Frekansın tekrar kullanım modeli, frekans tahsisinin ve mantıklı kanal tahsisinin sağlanması şeklinde tanımlanabilir. Bu aşamalardan sonra nominal hücre tasarımı yapılabilir. Hücresel tasarımda, başlangıçtaki ve gelecekteki trafik dağılımı ele alınmalıdır. Hücrenin etki alanı, bölgenin koordinatları, yüksekliği, anten gibi

faktörler göz önüne alınarak, zorunlu sınırlamalara göre tasarım yapılmalıdır. Bunlar için sayısal tasarımlar kullanılmaktadır.

Hücre şekli ve frekans planı, trafik hesaplamalarına dayanmakta ve başlangıçta değil, daha sonra gelişme sahaları içinde oluşturulmaktadır. Başlangıçtaki şebeke, trafiğin genişlemesine uygun şekilde planlanmalıdır. Trafiğin talebindeki gelişme önemli bir faktördür.

Sayısal sistemlerde, darbelerle gönderilen sembollerin, kanallarındaki bozulma sonucu zamanla kayıp, diğer sembollerin darbe şekillerine eklenmesi neticesinde, alıcıdaki örnekleyicinin sembolü '1' yerine '0' veya '0' yerine '1' olarak algılanabilmektedir. Buna sembol girişimi denir.

Hücresel sistemlerde bir girişim problemi vardır. Elektromanyetik dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça zayıflıyor olsalar bile, uzak mesafelere yayın yapabilmektedir. Bu yüzden, aynı taşıyıcı frekansı kullanan hücreler arasında girişimin olması kaçınılmazdır. Öyle ki, hücresel sistemler için girişim, gürültüden daha önemli bir problemdir. Kalite, sabit şebekelerde işaret-gürültü (S/N) oranı ile belirlenirken; hücresel sistemlerde taşıyıcı gücü-girişim gücü (C/I) oranı ile belirlenmektedir. Abone yoğunluğunun yüksek olduğu metropol bölgelerde verimi artırmak üzere hücre boyutları küçültülmektedir. Ancak, bu durumda komşu hücreler arasındaki mesafe azalacak, dolayısıyla güç seviyesinin düşürülmesi gerekecektir.

Hücresel sistemlerin bir diğer dezavantajı, abonenin sürekli hareket halinde olması durumunda bir hücreden diğerine aktarılması zorunluluğudur. Hücre boyutlarının küçük olması durumunda, bu aktarmaların sayısı artacağından sistem üzerindeki yük de artacaktır.

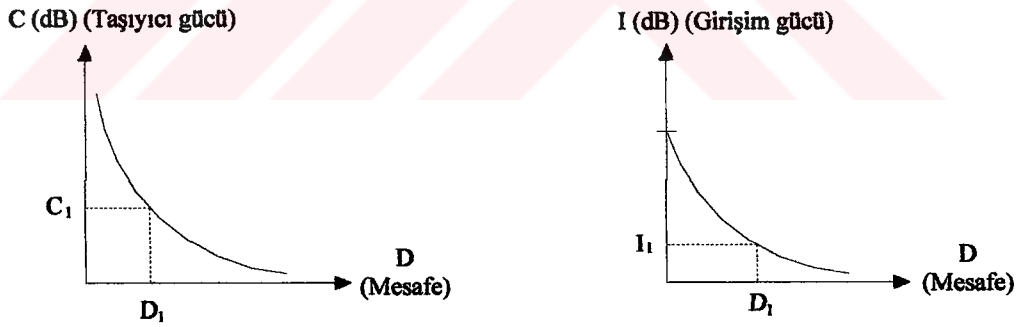
Hücresel sistemlerin tasarlanmasında, temel ilke frekansın yeniden kullanım şekilleridir. Frekansın yeniden kullanımı coğrafi olarak farklı alanları kapsayan aynı taşıyıcı frekans üzerinde radyo kanallarının kullanımı olarak tanımlanmaktadır. Binlerce abonenin tek bir şehir alanında bulunduğu düşünülürse, sistem kapasitesini



artırmak için frekansların yeniden kullanılması problemi ve bununla birlikte sistemin geliştirilmesinin önemi de artmaktadır.

Aynı frekansta yayın yapan iki sistemde, biri diğerini etkileyerek işaretini bozmaktadır. Bu, frekansın tekrar kullanım girişimidir. Örneğin aynı frekans kullanan iki hücrenin birindeki baz istasyonunun yayını diğer hücredeki iletişimi etkilemektedir. Bu yüzden, bir frekansın tekrar kullanım alanları diğerlerinden yeterli bir mesafe ile ayrılmalıdır.

Taşıyıcı gücünün girişim gücüne oranı ( $C/I$ ), alınması istenen işaret düzeyinin alınan istenmeyen işaret düzeyine oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu  $C/I$  oranı, mobilin anlık pozisyonuna bağlıdır; düzensiz bozucu etkilerden ve yerel dağıtıcıların miktarının, tiplerinin, şekillerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yerel girişim kaynaklarının miktarı, bölgesel yükseklikler ve durumlar, antenin tipi, yöneltiliği ve yüksekliği gibi diğer faktörler de, sistem içinde  $C/I$  oranının dağılımına etki etmektedir.



Şekil 3.6 Taşıyıcı gücü - mesafe ve girişim gücü - mesafe grafikleri

### 3.3. Kanal Girişim Azaltma Faktörü (K)

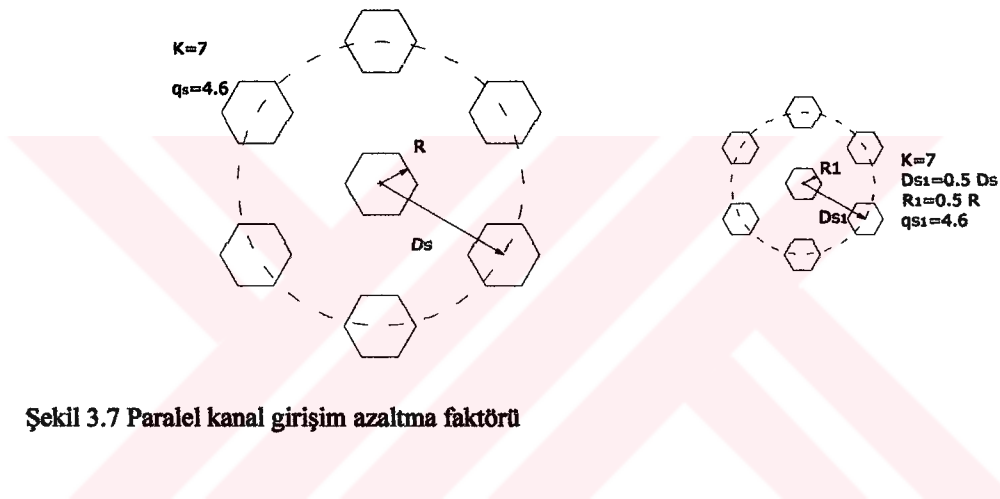
İki hücre arası minimum uzaklık ( $D_s$ ), paralel kanal hücre girişimine göre belirlenmektedir. Mobil telefon servis sisteminde ( $C/I$ ) oranı 18 dB için  $D_s = 4,6R$ ' dir. Burada R, hücrenin yarı çapıdır. Hücresel sistemlerde hücre sayısı (K),  $D_s$ ' nin

fonksiyonudur.  $D_s = 4,6R$  için,  $K=7$  bulunur. Yani, 7 hücreli bir grup aynı frekans spektrumunu paylaşabilir (Şekil 3.7). Hücelere ayrılan her iki bantta 395 ses kanalı vardır ve her hücre 57 kanallı olabilir.

Sistemin verimliliğini artırmak için paralel kanal girişim azaltma faktörü;

$$q_s = D_s / R = \sqrt{3K} \quad 3.1$$

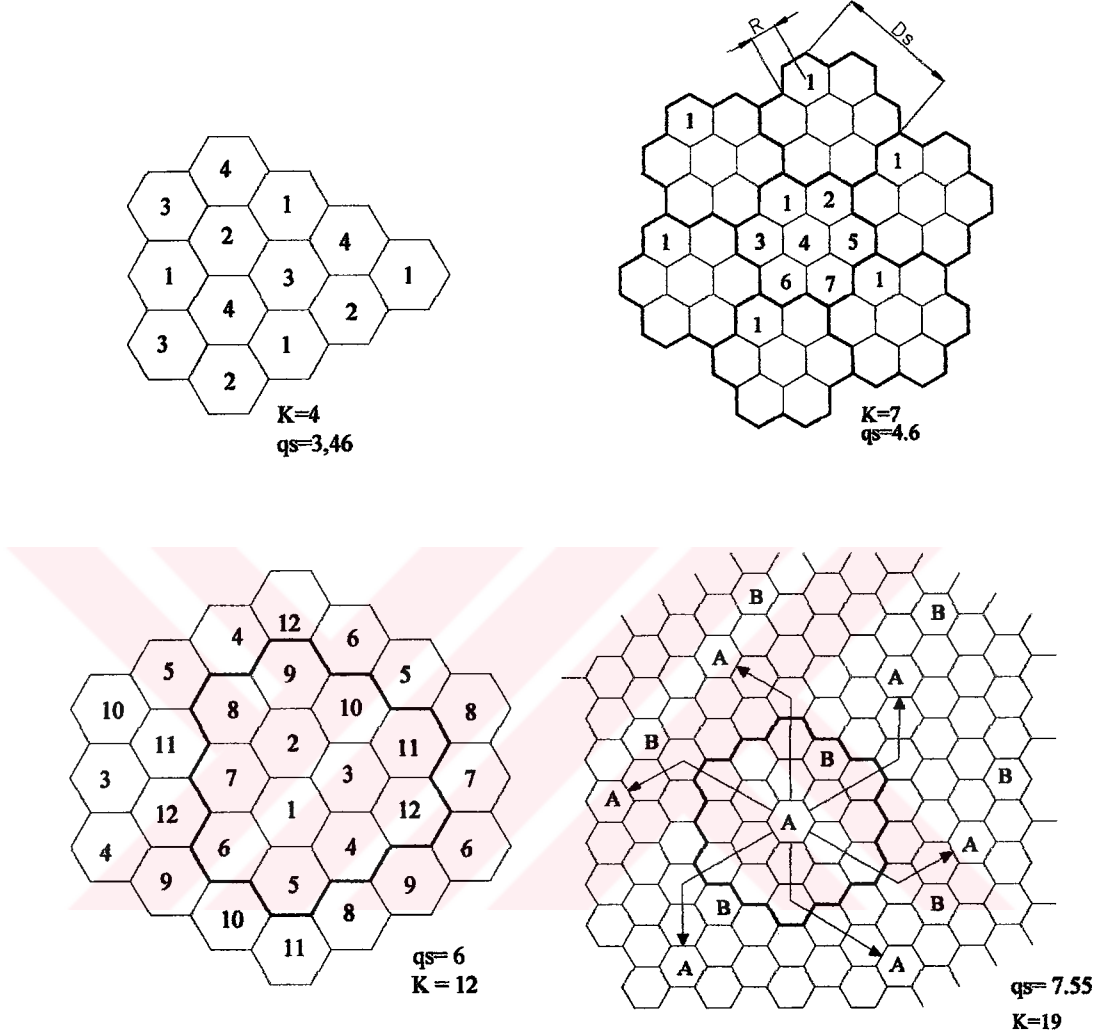
olarak tanımlanmaktadır. Burada  $D_s$ , hücreler arası minimum uzaklıktır.



Şekil 3.7 Paralel kanal girişim azaltma faktörü

Aynı zamanda  $D_s$ , taşıyıcı işaret gücü - girişim gücü oranına bağlıdır. R, hücre yarı çapı ve K, hücre tekrar kullanım modelinde olan hücre sayısıdır. K'ya tekrar kullanım faktörü de denilmektedir. Bir hücresel mobil haberleşme sisteminin verimliliğini artırmak için muhtelif yöntemler kullanılmaktadır. Birincisi, geleneksel yöntemdir. (3.1) denklemini altı köşeli hücre için yazılmıştır. Diğer yöntemde göre sistemin verimliliğini artırmak için  $q_s$  denkleminde hücrenin yarı çapını (R) küçültmek gerekmektedir. R, 1 km'den daha küçük alınırsa, bu tür hücelere mikro hücre adı verilmektedir. Birinci derece yaklaşık, R yarı çapı yarıya düşürülürse, sistemin verimliliği 4 kat artırılmış olmaktadır. Bu yöntemde göre verimlilik, kilometre-karede kanal sayısı ile ölçülmektedir. Bu yöntem analog veya sayısal sistemde kullanılabilir.

Şekil 3.8’de ise değişik hücre yeniden kullanım modelleri verilmiştir[4].  $D_s = 3,46R$  için  $K = 4$ ,  $D_s = 4,6R$  için  $K = 7$ ,  $D_s = 6R$  için  $K = 12$  ve  $D_s = 7,55R$  için  $K = 19$ ’dur.



Şekil 3.8 Değişik hücre yeniden kullanım modelleri

$D_s/R$  oranı düşürülerek hücre tekrar-kullanım faktörü küçültülmektedir. Bu yöntemle göre verimliliği artırmak için  $D_s$  azaltılmaktadır. Ancak,  $R$  değişmemektedir. Böylece,  $q_s = D_s/R = \sqrt{3K}$  oranı küçülecek ve hücre tekrar-kullanım faktörü azalacaktır. Ancak  $q_s$ , istenilen  $(C/I)_s$  oranının bir fonksiyonudur. Örneğin, 7 hücreli bir sistemin frekans tekrar-kullanım faktörü  $K=3$  yapılırsa, bu sistemin verimliliği  $K=7$  olan bir sistemin verimliliği ile karşılaştırılarak bulunur. Frekans tekrar-kullanım faktörü 7’den 3’e düşürüldüğü için, verimlilik  $7/3 = 2.33$  katı

artmaktadır. Bu yöntemle göre radyo verimliliği, hücre içindeki kanal sayısının tekrar kullanım faktörüne oranı;

$$m = \frac{\text{Toplam ses kanal sayısı}}{K} \quad 3.2$$

şeklinde ifade edilmektedir. (3.2)'den görüldüğü gibi, K azaltılarak, radyo verimliliği (m) arttırılabilir.

Hücre içindeki paralel kanalların girişimi arttığı için, 3 veya 6 bölgeli hücre şekilleri kullanılarak  $D_s$  uygun değere çekilebilir. Başka bir deyişle, verilen girişime göre çeşitli bölgeleşmeler kullanılarak  $D_s$  değerini küçültmek mümkündür.

3 bölgeli hücreli sistemde  $K=7$  ve toplam ses kanal sayısı 395 ise, bölge başına düşen kanal sayısı;

$$\frac{395}{7 \times 3} = 19 \text{ (kanal / bölge)}$$

$K=4$  için altı bölgeli hücreli sisteminde kanal sayısı;

$$\frac{395}{4 \times 6} = 16 \text{ (kanal / bölge)}$$

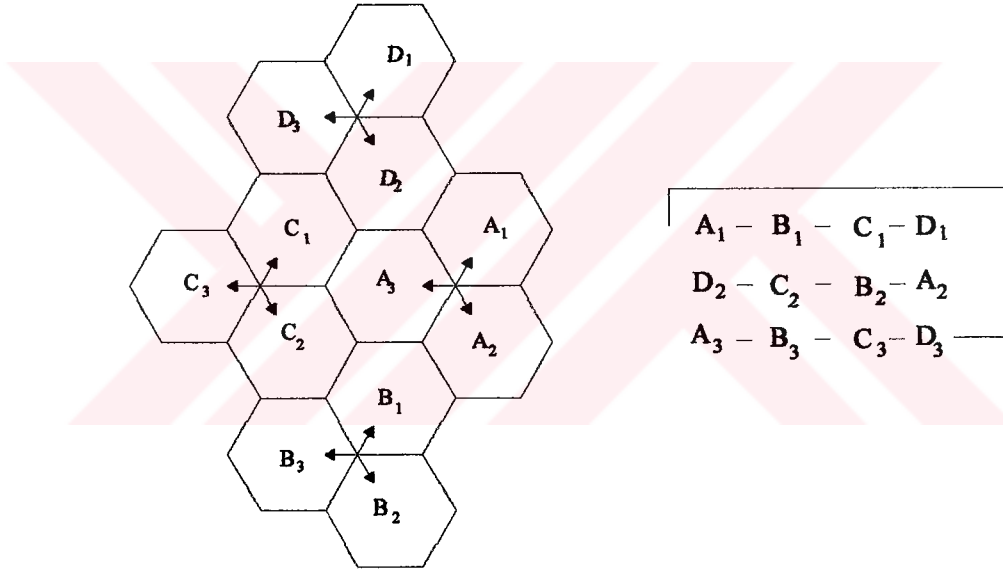
şeklinde elde edilebilir.

Yukarıdaki sonuçlara göre, iki hücreli sistemin radyo verimlilikleri arasında büyük fark bulunmayacaktır. Daha fazla verimlilik elde etmek için, hücrelerin alanları küçültülmektedir. Bölgeleşme, kanalların etkinliğini düşürmektedir. Bu şekildeki bir yöntem  $q_s$  değerini küçültmek için pek fazla kullanılmamaktadır.  $D_s/R$  oranını küçültmek için yeni mikro hücreler kullanılabilir.  $K=3$  olan sistemlerde bu yöntem kanalın verimliliğini etkilemez.

### 3.4. Frekans Yeniden Kullanım Modeli

Kullanılan bütün kanalların sayısı ( $m$ ) ve frekans gruplarının sayısı ( $n$ ) olmak üzere ( $m/n$ ) oranı her grup için kanal sayısını vermektedir. Toplam kanal sayısı ( $m$ ) sabit olduğundan daha az frekans grupları ( $n$ ) için her grubun daha fazla sayıda kanala sahip olmasını sağlamaktadır. Frekans gruplarını azaltmak, her bölgede daha fazla trafiğe imkan vermektedir. Frekans gruplarındaki artış ve ikinci kanalın yeniden kullanım mesafesindeki azalma sistem içindeki  $C/I$  oranını küçültmektedir.

Örneğin, 3 bölgede 12 frekans grubu kullanan yeniden kullanma modelinde yeniden kullanım uzaklığı  $D = 6K$  olup,  $C/I$  oranı uygun olarak kabul edilir.



Şekil 3.9 4/12 hücre modeli

Şekil 3.10 4/12 hücre modeli için yeniden kullanım frekans grupları

Şekil 3.9’da 4/12 hücre modeli verilmiştir. 4/12 hücre modelinde 48 kanal vardır (Tablo 3.1). Şekil 3.10’da 4/12 hücre modeli için yeniden kullanılan frekans grupları verilmiştir. 4/12 hücre modeli, 4 bölge içinde 12 frekans grubu kullanan bir yeniden kullanım modelidir.

Her bölgede 3 hücre bulunmaktadır. Antenin hücelere bakan yüzü dikey olarak birbirinden bağımsız 120’şer derecelik bölümlere ayrılabilir ve hücreler en yakın

bölgelerden birini alacak şekilde antenlerle düzenlenirler; bu sisteme 'yonca yaprağı biçimi hücre formu' adı verilmektedir.

Tablo 3.1 4/12 hücre modelinde kanallar

Frekans Grupları	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>3</sub>
Kanallar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Tüm hücreler 60 derece verici anten ve iki adet 60 derece anten ile oluşturulan aynı dikey yönde alıcı antene sahiptir. Tüm hücreler yaklaşık olarak altıgen şeklindedir. Trafik hücresel homojen bir şekilde dağıtıldığı varsayılmaktadır.

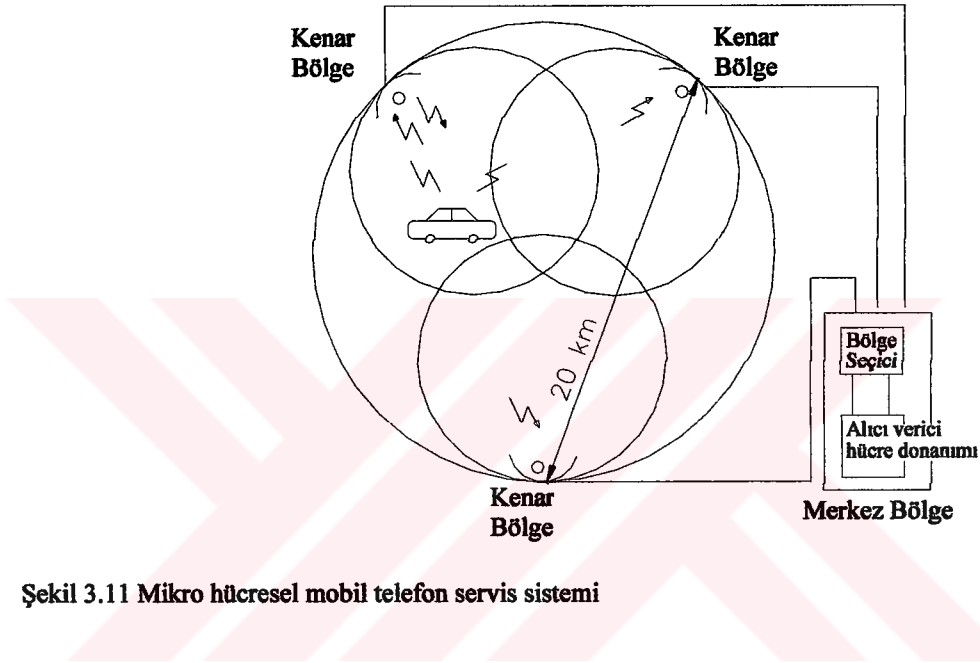
Hücre boyutu, genellikle komşu iki bölge arasındaki mesafe olarak verilmektedir. Hücre yarı çapı R (altıgenin bir kenarına eşittir), sektör hücreler kullanıldığında bölgeden bölgeye uzaklığın üçte biridir.

Altıgen hücreli sistemde yönlü antenler kullanılarak sistem üç sektöre ayrılır. Dolayısıyla bir sektöre ait anten, diğer sektörlerin gördüğü aynı frekansı kullanan ve tekrar kullanım kanalından gelen girişimi engellemektedir. Ancak, bu iyileştirmeye karşılık sistemin kaldıracağı abone sayısı kapasitesi azalmakta, yani ortalama bekleme süresi artmaktadır. Ortalama bekleme süresi, bir abone bir baz istasyonunu kullanmak istediğinde o sistemin meşgul olma olasılığıdır.

### 3.5. Yeni Bir Hücre Sistemi

Genelde bu yeni mikro-hücre sistemi 3 bölgeden oluşmaktadır. Bölgeler gerektiğinde 3'ten fazla olabilir. Yerleri belli olan bu 3 bölge bir alan içinde sınırlıdır.

Mikro-hücre servisini yapan tüm radyo alıcı ve vericiler, ana bölgede bulunmaktadır. Herhangi bir bölgede bulunan bir araca servis edebilmek için, önce 800 MHz frekanslı hücre işareti ana bölgede mikro dalga veya optik işarete dönüştürülmekte ve sonra aracın bulunduğu bölgede tekrar bu işaret 800 MHz frekanslı işarete düşürülmektedir. Böylece, bu bölgede bulunan mobile ana bölgedeymiş gibi servis verilmiş olmaktadır.



Şekil 3.11 Mikro hücreli mobil telefon servis sistemi

Alınan hücre işareti, düşük gürültülü kuvvetlendiriciden geçirilerek istenilen seviyeye getirilebilir. Bu kuvvetlendiriciler ana bölgenin kenar kısımlarında bulunmaktadır. Bu bölgelerde, frekans dönüştürücüler, güç kuvvetlendiricileri ve düşük-gürültülü ön kuvvetlendiriciler bulunmaktadır. Alınan işaret kuvvetlendirilip mikrodalga veya optik işaret frekansına dönüştürülür. Bu elektronik donanım hafif ve küçük olduğundan montajları kolaydır.

Mikro-hücre içinde hareket eden mobile bir işaret gönderildiğinde her kenar bölgesi bu işareti alır, frekansını mikrodalga veya optik olarak yükselterek ana bölgeye iletir. Ana bölgede işaretin frekansı düşürülmektedir ve burada 'bölge seçicisi' vasıtasıyla işaretin en kuvvetli olduğu bölge seçilmektedir (Şekil 3.11). Bu seçilen bölge mobilin haberleşmesini sağlamaktadır. Sonra ana bölge hücre işareti, seçilen bölgeye gönderilmektedir.

Seçilen uygun bölge, merkezden gelen hücre işaretini alır ve bu işaretin frekansı düşürülüp, kuvvetlendirilerek mobile gönderilir. Üç bölgenin alıcıları, aktif durumda olmasına rağmen, yalnız bir bölgenin vericisi kullanılmakta ve mobil birimi ile haberleşmeyi sağlamaktadır. Mobil, bir bölgeden başka bir bölgeye geçtiğinde, kanal frekansları değişmektedir. Mobil biriminin konumuna göre merkezde bulunan bölge seçicisi, gönderilen işareti bir bölgeden diğer bölgeye kaydırmaktadır. Hücre içinde bulunan mobile bir anda tek bir bölge vericisi servis vermekte ve mobilin bölgeden bölgeye geçişi herhangi bir sorun yaratmamaktadır.





## **BÖLÜM 4. MOBİL TERMİNALİ VE BAZ İSTASYONU ANTENLERİ**

Baz istasyonunun antenleri yönlensiz ve yönlmeli anten veya anten dizileri olabilir. Yönlensiz anten dizisinin yatayda, yer yüzeyi düzleminde polar ışım diyagramı bir daire veya daireye yakın ise, yani anten dizisi her doğrultuda yaklaşık aynı şiddette alan meydana getiriyorsa, bu anten dizisine yönlensiz anten dizisi denir. Yönlmeli anten veya anten dizisi yer düzleminde belirli bir demet genişliğinde ışım yapan, bunun dışında ışım yapmayan anten veya anten dizisine denir. Bu anten veya anten dizilerinde yansıtıcı yarı dalg dipolleri kullanılmaktadır[1].

Baz istasyonu antenleri genel olarak düşey polarizasyonda yayını yaparlar ve 5-6 derecelik eğim açısına sahiptir. Bu da ortalama 10 m yüksekte bir kule istasyonda elektromanyetik dalgaların yatayda 50 m ileride yere inmelerini sağlamaktadır[1].

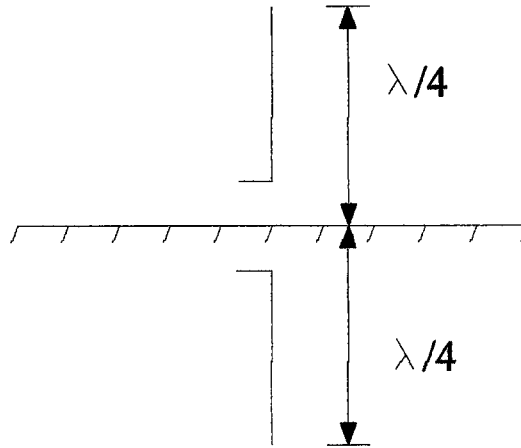
Trafığın yoğun olduğu bölgelerde hücreler sık olduğundan dört yöne bakan dört yönlmeli anten kullanıldığında kanal sayısı daha fazla olmaktadır. Yönlensiz antenler trafığın az olduğu yerlerde kullanılmakta ve yüksek tepelere kurulmaktadır[1].

Hücreli sistemlerde, referans anten olarak dipol anten yaygın olarak kullanılır. Dipol varolan antenlerin en basit tipidir.[5]

### **4.1. Mobil Terminali Antenleri**

Mobil terminallerin anteni kısa bir monopol anten olabilir. Monopol antenin Şekil 4.1'de görüldüğü gibi altına iletken levha konarak görüntüsü elde edilebilir ve

görüntüsü ile birlikte dipol antene eşdeğer olmaktadır. Monopol zemine dik yerleştirildiğinde yatayda her yönde alan aynı olup, düşey polarizasyonludur.



Şekil 4.1 Monopol anten

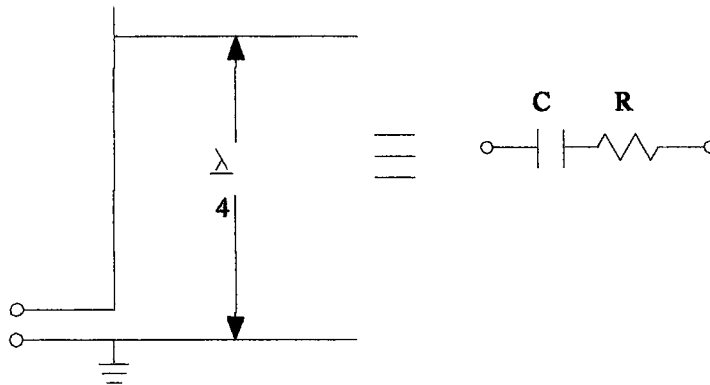
#### 4.1.1. Yarım dalga dipolü

Yarım dalga dipolünün besleme uçlarında, akım maksimum ve gerilim minimumdur. Yarım dalga dipolünün besleme uçlarından görülen empedans Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2 Yarım dalga dipolü ve devre eşdeğeri

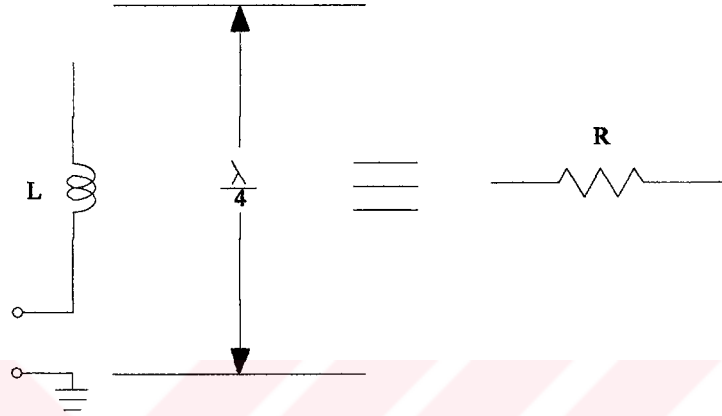
Zemin üzerine dikine yerleştirilmiş monopolün boyu  $\lambda/4$ 'den küçük olması halinde devre eşdeğeri seri bağlı bir direnç ile bir kondansatörden ibarettir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Zemin üzerine boyu  $\lambda/4$ 'den küçük olan monopol ve devre eşdeğeri

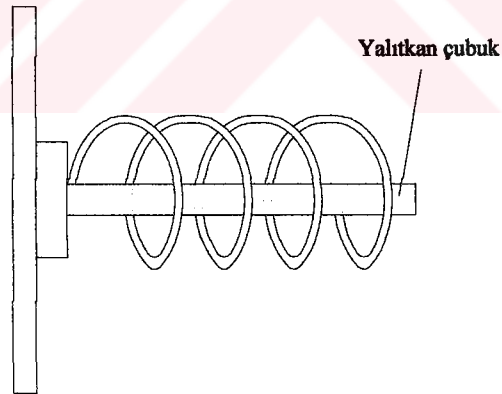
#### 4.1.2. Cep telefonu anteni

Zemin üzerine dikine yerleştirilmiş monopolün boyu  $\lambda/4$ 'den küçük olması halinde besleme ucundan gözükten empedansın direnç göstermesi için aşağıdaki şekil 4.4'deki gibi bu monopole seri bir bobin bağlanmalıdır.



Şekil 4.4 Zemin üstünde rezonansa getirilmiş kısa monopol anten

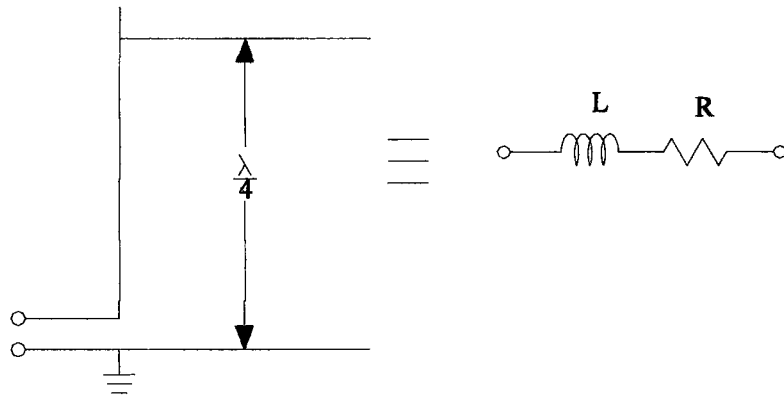
Cep telefonu anteni helisel anten de olabilir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Helisel Anten

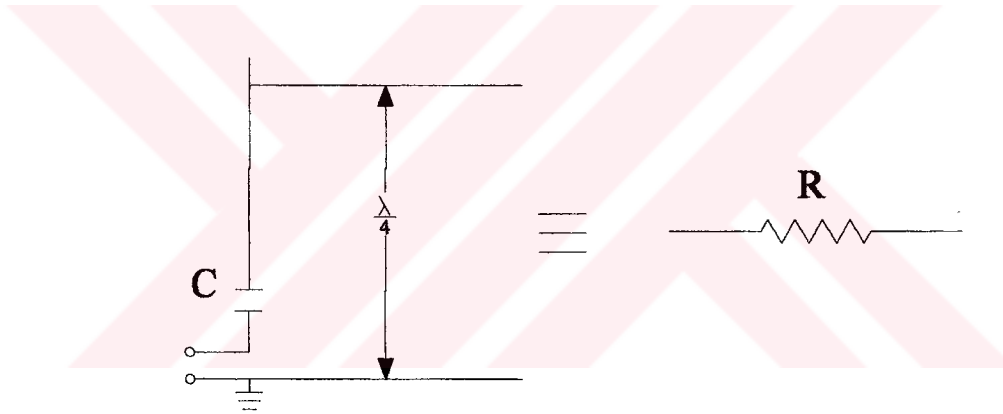
#### 4.1.3. Araç telefonu anteni

Araç telefonu antenlerinde zemin üstünde boyu  $\lambda/4$ 'den büyük olan monopol antenler kullanılmaktadır. Şekil 4.6'da araç telefonu anteni ve devre eşdeğeri görülmektedir.



Şekil 4.6 Araç Telefonu Anteni

Zemin üzerine dikine yerleştirilmiş boyu  $\lambda/4$ 'den büyük olması halinde besleme ucundan göztüken empedansın direnç göstermesi için aşağıdaki şekildeki gibi bu monopole seri bir kondansatör bağlanabilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Zemin üstünde rezonansa getirilmiş uzun monopol anten

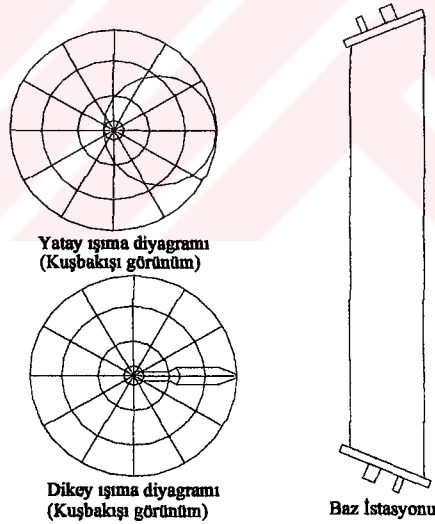
## 4.2. Baz İstasyonu Antenleri

Kullanım mobil terminal yayını için tek kule veya direk prensibine uygun olarak tesis edilen verici anten sistemlerini kapsamaktadır. Bu teknik geniş limitler içinde yatay veya düşey polarizasyonlu yayılım modeline izin vermektedir. Bu antenlerin diğer avantajları herhangi bir bölgede çelik kafes direk üzerine monte edilebilmelidir.

Anten sistemlerinin ışınma diyagramları yatayda dairesel veya daireye yakındır. Dipolden dipole uzaklık frekansa bağlıdır. Çok yüksek frekanslı verici antenleri için gerekli yönlü diziler veya yönlü elemanlar kullanılmaktadır.

Verici anten sistemlerinde yüksek güç kazancı düşey ve yatay düzlemlerde yüksek yönlü enerji yayılımında verici gücünün optimum olarak kullanımına izin vermektedir. Yönlü elemanların veya dizilerin uygun düzenlenmesi ve özel RF besleme yöntemiyle (faz döndürmeli besleme) elde edilen anten sistemleri herhangi bir yayılım modeli için gerçekleştirilebilir.

Baz istasyonlarında genellikle yönlü antenler kullanılmaktadır. Bunlar enerjiyi karşılıklarında bulunan dar bir alana gönderecek biçimde tasarlanmıştır (Şekil 4.8). Bundan dolayı, antenden eşit uzaklıktaki farklı noktalarda, enerji dağılımı farklılık gösterir. Ayrıca, uzayda antenler tarafından uzaya yayılan elektromanyetik dalgaların güç yoğunlukları antenden uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle, elektrik alan şiddeti ise uzaklık ile ters orantılı olarak azalır. Tepe, ağaç ve bina gibi oluşumlar sinyal seviyelerinin daha hızlı düşmesine yol açarlar. Ayrıca binalardan yansıtılarak gelen sinyallerin yarattığı farklı etkiler de bulunur[2].



Şekil 4.8 GSM baz istasyonlarında kullanılan tipik antenlerin ışıma diyagramları

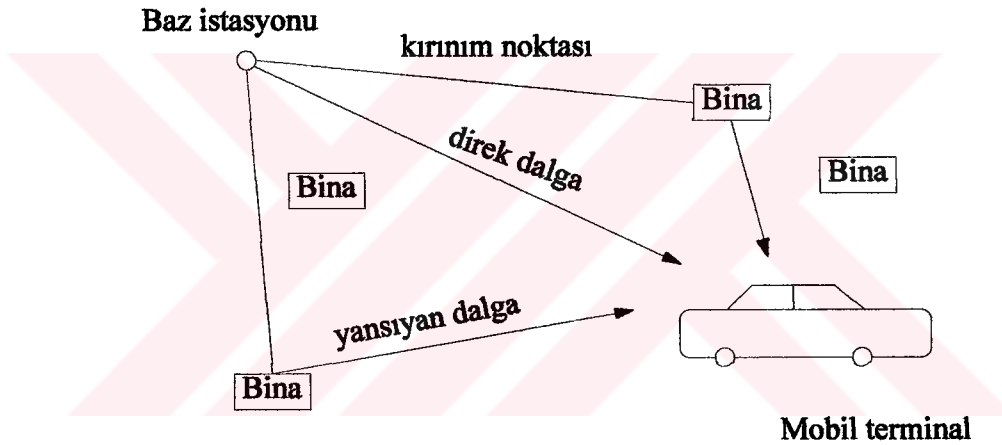
#### 4.2.1. Diversite

Diversite, mobilden baz istasyonuna gelen yani yukarı link işaret seviyesini artırmak için kullanılmaktadır. Diversitenin anlamı ayrıcalıktır. Bu iletişim yolunda meydana gelen problem, mobil terminalin düşük güç ve kısa dipol antenle çalışmasından kaynaklanmaktadır. Gönderilen işaret mobil terminale direkt, yansıma ve kırınım

ışın biçiminde ulaşmaktadır (Şekil 4.9). Yansıyan ve kırınım dalgalarının fazları ve polarizasyonları farklıdır.

#### 4.2.1.1. Uzay diversitesi

Bu sistem baz istasyonunda birbirinden ayrı yerleştirilen iki alıcı antenden oluşmaktadır. Birbirinden birkaç metre uzaklıkta bulunan bu antenlerin kapsama sahalarındaki elektromagnetik alanların ışın diyagramlarının maksimum ve minimumları birbirinden farklıdır. İdeal olarak, birisinin maksimumu, diğerinin minimumuyla dengelenmektedir.

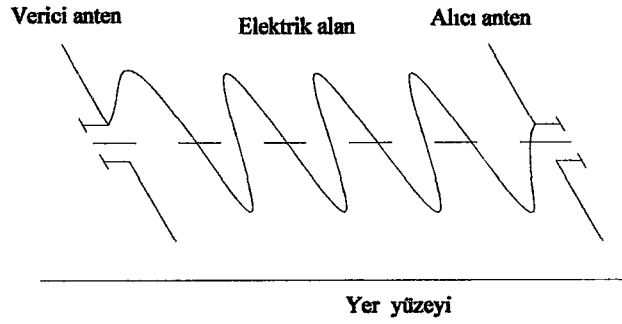


Şekil 4.9 Direkt yansıyan ve kırınım dalgalarının ışın yolları

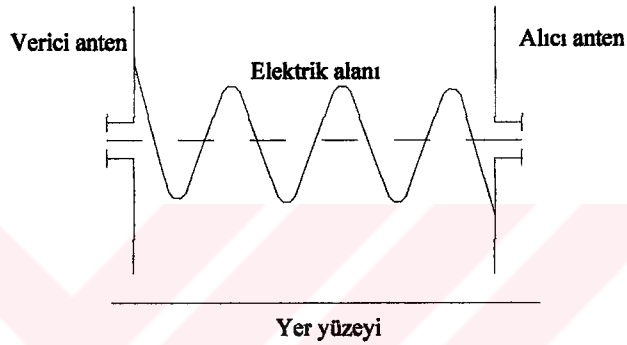
Bu yöntemle elde edilen ortalama işaret seviyesindeki artışa, diversite kazancı adı verilmektedir. İki farklı yönden elektromagnetik dalgayı alan antenlerden maksimum enerjili işareti baz istasyonu seçmektedir. Yatay düzlemde ayırma tercih edilmektedir. Düşey diversite etkileri daha düşüktür.

#### 4.2.1.2. Yer yüzeyine göre polarizasyon

Yer yüzeyine paralel elektrik alanının sadece yatay bileşeni varsa, bu elektromagnetik dalgalar yatay polarizasyonlu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Yatay polarizasyon

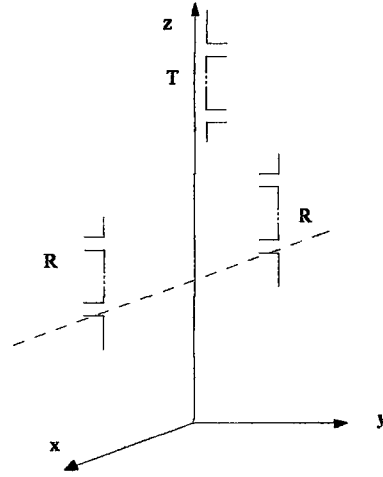


Şekil 4.11 Düşey polarizasyon

Yine böyle bir yüzeye  $\hat{E}$  elektrik alanının dik bileşeni varsa (yatay bileşeni de olabilir), bu elektromagnetik dalgalar bu yüzeye göre düşey polarizasyonlu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.11).

#### 4.2.2. Yöneltilmesiz antenli baz istasyonları

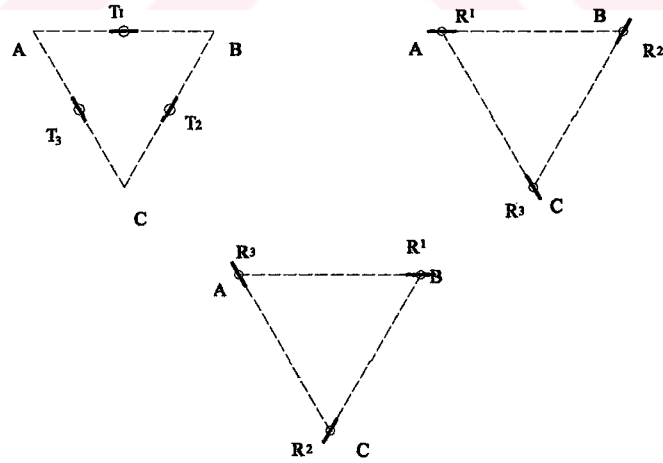
Baz istasyonlarında yöneltilmesiz dipol dizili anten sistemi kullanılabilir. GSM'de, yöneltilmesiz dipol dizili baz istasyonunun anten sistemi 3 düşey dizisinden oluşmaktadır. Burada, bir verici dipol dizisi (T) ve iki alıcı dipol dizisi (R) bulunmaktadır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12 Yöneltilmesiz verici ve alıcı dipol dizileri

### 4.2.3. Sektörlenmiş dipol antenli baz istasyonları

Yöneltilmesiz dipol dizili baz istasyonları, az trafikli mobil terminali olan bölgelerde kullanılmaktadır. Kapasite yüzünden, yoğun trafikli mobil terminali olan bölgelerde  $120^\circ$  'lik üç sektör kullanılmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Sektörlenmiş dipollerden oluşan alıcı ve verici anten sistemi



#### 4.2.4. Yönelmeli elemanlar

Yönelmeli elemanların konstrüksiyonları düşey veya yatay polarizasyon için verici ve anten sistemi olarak kullanılmaya uygundur. Yansıtıcı ve dipol, ortak montaj tabanına kaynaklıdır. Anten sistemi planı tesisat durumuna, ışımaya alanına, gerekli enerjiye ve sonuçta ışımaya modeline bağlıdır. Herhangi bir ışımaya modeline göre yönelmeli diziler veya yönelmeli elemanlar düzenlenmektedir.

Direğe monte edilen yönelmeli dizilerde ışımaya alanı, yeterli enerji ile sağlanmaktadır. Direğin etrafına aynı seviyede monte edilen dizilerin uygun bir biçimde yerleştirilmesi sonucu istenen yatay ışımaya modeli elde edilebilir[1].

Hücreşel şebekelerde mobil telefonun çıkış gücü baz istasyonu çıkış gücü ile karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bunun anlamı gönderme iletimi alma iletimine göre göreceli olarak daha kötüdür. Bu durumu dengelemek için baz istasyonunda bir çözüm üretilmelidir.

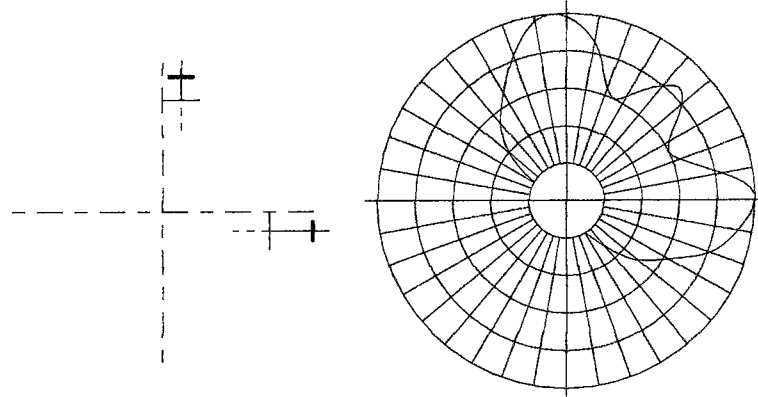
Radyo sinyalinin çok yönlü propagasyonuna bağlı olarak özellikle şehir alanlarında karşılaşılan bu etkiyi iyileştirmek amacıyla kullanılan anten yönelmesi oldukça iyi sonuçlar vermektedir[6].

##### 4.2.4.1. Yönelmesiz model

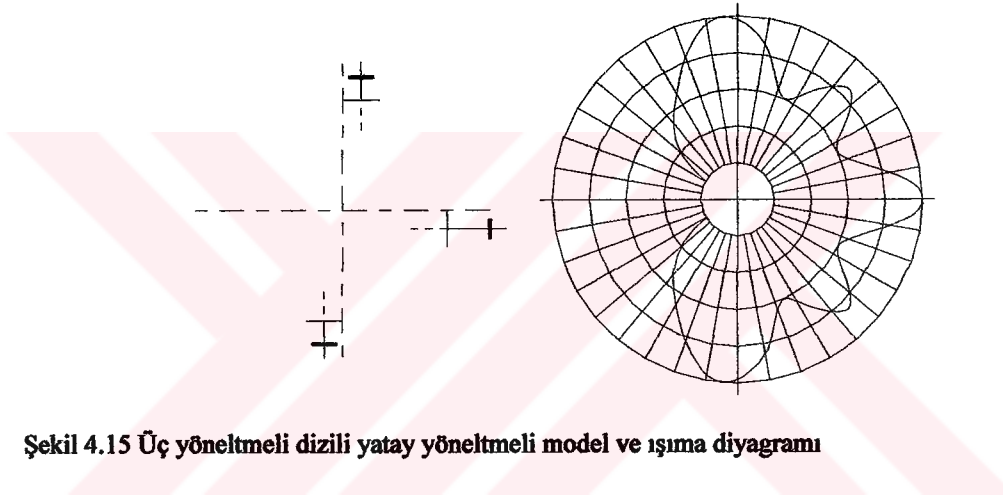
4 adet yönelmeli dizinin aynı seviyede ve 0, 90, 180, 270 derecelik açılarla monte edilerek yönelmesiz model meydana getirilmektedir. İrtibat kutularına giren enerji düzgün olarak dizilere dağılmaktadır.

##### 4.2.4.2. Yönelmeli model

Bir, iki veya üç adet dizi yada eleman, aynı seviyede yerleştirilerek yönelmeli model elde edilmektedir. Şekil 4.14 ve 4.15'te iki ve üç yönelmeli model ışımaya diyagramları verilmiştir.



Şekil 4.14 İki yönlü dizili yatay yönlü model ve ışın diyagramı



Şekil 4.15 Üç yönlü dizili yatay yönlü model ve ışın diyagramı

### 4.3. Adaptif, Anahtarlamalı Işın Demet ve Akıllı Antenler

Klasik baz istasyonu antenlerinin sektörel ve çok yönlü olmaları, hem güç kaybına, hem de diğer mobil kullanıcılarında girişime sebep olmaktadır. Akıllı antenler sabit değildir ve halihazırdaki radyo durumlarına adaptasyona müsaittir. Bu durumda, haberleşilen mobile özel bir ışının yönlendirilmiş olduğu düşünülebilir. Akıllı antenler girişim olayını azaltmakta, güç ve spektrumun daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

Akıllı antenlerde SDMA (uzay bölmeli çoklu erişim ) tekniği kullanılmaktadır. Buna göre, aynı hücrede bulunan mobiller aynı fiziksel haberleşme kanalını kullanabilmektedir. Fiziksel haberleşme kanalı, taşıyıcı frekansı, zaman bölmesi ve kod yayılımının bileşimidir. İstenilen yönde anten kazancı artırılarak ve girişimler

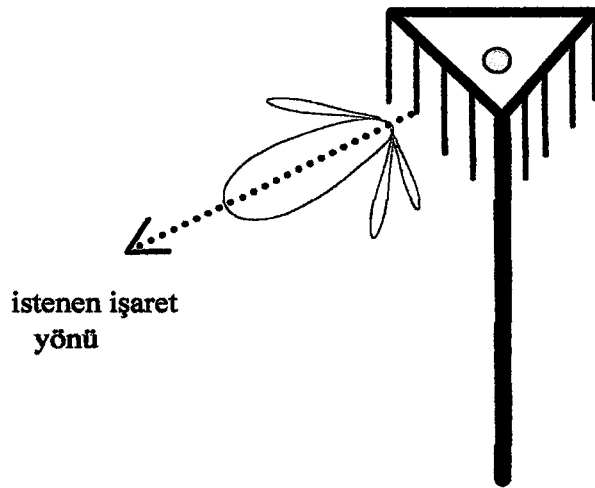
yönündeki ışıma diyagramını minimize edilerek, haberleşme hattının kalitesi iyileştirilebilir.

Akıllı antenlerin gelişmesi üç faza ayrılmıştır. İlk fazda “yukarı link” yönünde akıllı antenler kullanılmıştır. Baz istasyonunda kazancın artırılması ile duyarlılık ve mesafe de arttırılmıştır. İkinci fazda akıllı antenler bir önceki faza ek olarak “aşağı link” yönünde kullanılmıştır. Üçüncü faz, uzay paylaşmalı çoklayıcı erişim olarak adlandırılabilir. Buna göre, aynı hücredeki birden fazla alıcıya aynı fiziksel haberleşme kanalı tahsis edilir. Böylece, hücre kapasitesi arttırılmış olur.

Tekrar kullanım mesafesi, bir hücre tarafından kullanılan belli bir frekansın, bu hücreye en yakın hangi hücrede tekrar kullanılabilceğinin ölçüsüdür. Akıllı antenler ile bu mesafe küçültülmektedir.

#### 4.3.1. Adaptif anten

Adaptif anten bir anten dizisidir; gürültü, girişim ve uzay kayıplarının ayarlamalarına göre anten ışıma diyagramını dinamik olarak değiştirir. Adaptif anten ışıma diyagramını mobil kullanıcıya göre ayarlayabilir. Adaptif antenler, alınan işareti iyileştirmede ve transmisyon için ise demet oluşturmada kullanılabilir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 Adaptif anten

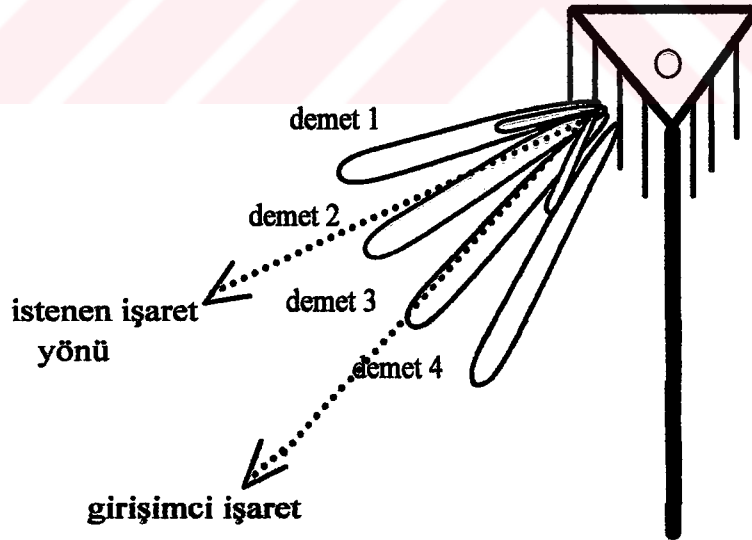
Adaptif antenlerde anten ışıma diyagramı; sadece gürültü, girişim ve uzay kayıplarını azaltmak için değiştirilir.

Anahtarlama ışın demet sistemlerinde, ışıma diyagramı aynı olan birkaç anten kullanılır; fakat uzay kayıplarının azaltılması için ışıma diyagramından biri seçilir. Akıllı antenler ise yukarıdaki iki yöntemin birleştirilmesiyle tasarlanmaktadır.

#### 4.3.2. Anahtarlama ışın demet sistemi

Bu sistem birden fazla sabit demet kullanır. Alıcı, en iyi işareti alacak ve girişimi azaltacak demeti seçer. Bunlar adaptif antenler kadar iyi performans sağlamasalar bile, daha az kompleks ve kablosuz teknolojilere kolayca uyarlanabilir. Veri paketlerinin iletilmesi için yukarı-link ve aşağı-link demetleri seçilmektedir. Demetleri üretmek için, tek bir demeti farklı bölgelere kaydırmak veya çok sayılı bir demet dizisinden belirli anlarda sırasıyla farklı demetler seçmek gerekmektedir.

Böyle bir sistemin ışın demeti şekil 4.17’de verilmektedir.

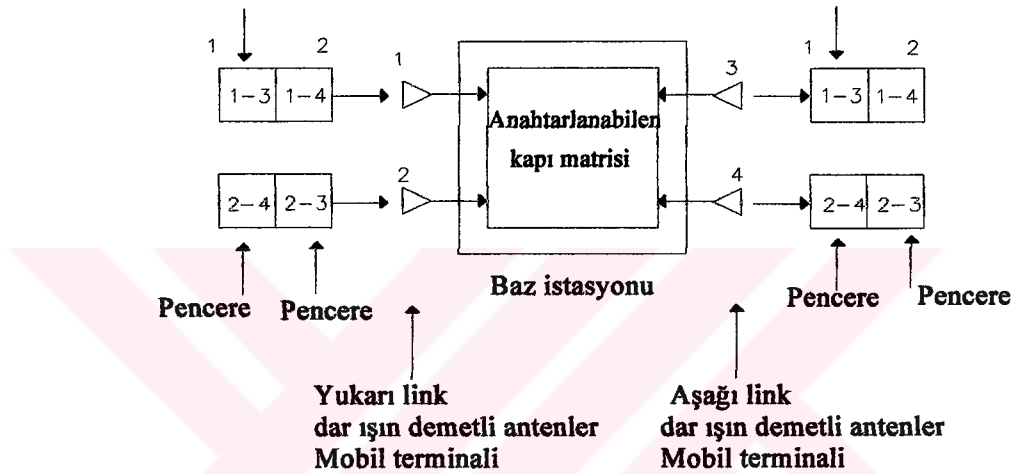


Şekil 4.17 Anahtarlama ışın demet anten sistemi

Tek bir demet kullanıldığında, bu demet içinde olmayan baz istasyonları mobil veri paketine ulaşamaz. Bu sorunu gidermek için demet anahtarlama yöntemi

kullanılmaktadır. Bu yöntem, sistemin bütünlüğünü korumaktadır. Mikrodalga anahtarları, sıralı bir şekilde belirli yukarı-link demetini belirli aşağı-link demetine bağlamaktadır. Bu mikrodalga anahtarları baz istasyonunda bulunmaktadır.

Belirli yukarı-link ve aşağı-link bağlantılarını diyot anahtar matrisi saptamaktadır. Çerçevenin birinci anahtarlama “penceresinde” 1 nolu yukarı-link demeti 3 nolu aşağı-link demetine aktarılmakta, 2 nolu yukarı-link demeti 4 nolu aşağı-link demetine aktarılmaktadır (Şekil 4.18).

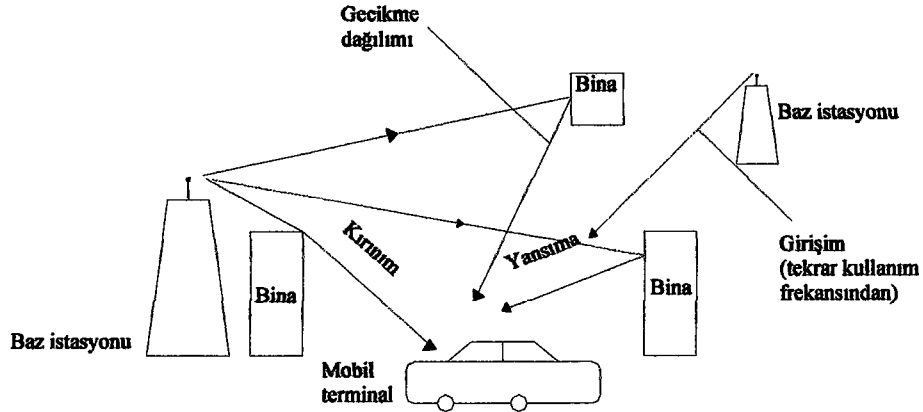


Şekil 4.18 Anahtarlama zaman paylaşmalı çoklu sistem

### 4.3.3. Akıllı antenler

Akıllı antenler, hem adaptif anten, hem de anahtarlama ışın demet sistemini kapsayabilir. Özet olarak, anahtarlama ışın demet sisteminde bir çok ışın diyagramı değişmemektedir; ancak, en büyük S/N (işaret gücü/gürültü gücü) hangisinin ışın demeti yönünde sağlanıyorsa, bu ışın demetinin anteni seçilebilmektedir. Adaptif antende ise tek bir ışın demeti en büyük S/N olacak şekilde ayarlanabilmektedir.

Diğer taraftan, kablosuz iletişim 3 ana faktörden etkilenmektedir. Birincisi, çoklu ışın yol kaymasıdır. Bu durum, işaretin alıcıya birden fazla ışın yolu üzerinden ulaşmasından dolayı kaynaklanmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19 Çoklu ışın yolları

Bu ışın yollarından gelen işaretler, alıcıda farklı fazlarla alınmaktadır ve alıcıdaki işaretle antenin yerine, yönüne ve polarizasyonuna bağlı olarak farklı fazların ve genliklerin birleşmesine neden olmaktadır. Ortamdaki mobil hareketinde de aynı etkiler ortaya çıkmaktadır. Kayma sonucu, alıcıda belli bir bit-hata oranını tutturmak için işaret gücünü artırmak gerekmektedir.

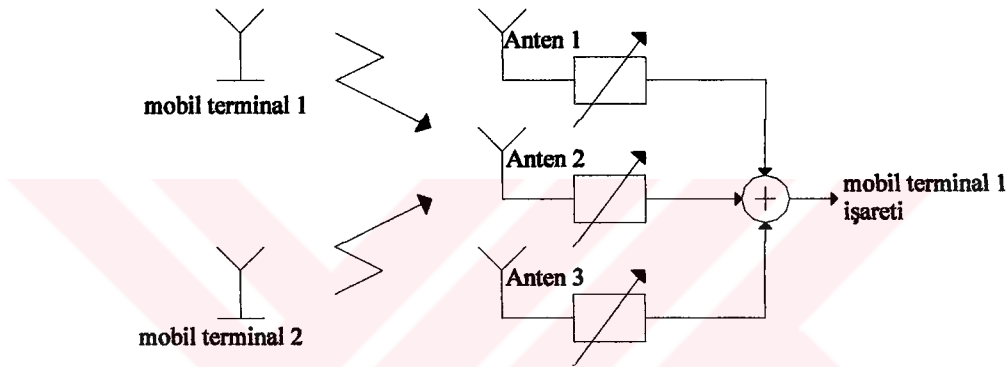
İkincisi, gecikme dağılımıdır ve bu, çoklu ışın yollarındaki farklı yayılım gecikmeleri arasındaki farktır. Bu gecikme, sembol süresinin %10'unun aşılması halinde iç sembol girişimi oluşturmakta ve bu durum maksimum veri iletişim oranını sınırlamaktadır.

Üçüncüsü, aynı frekansı kullanan kanallar arasındaki girişimdir. Hücresel sistemlerde mevcut frekanslardaki kanallar hücrelere bölünmektedir. Genellikle zaman paylaşmalı çoklayıcı geçiş kullanan sistemlerde tekrar kullanım faktörü 7'dir. Her hücredeki kapasite arttıkça, kanal kümelerinin sayısı azalmaktadır. Bu durumda, aynı frekansı kullanan kanallar arttıkça girişim artmaktadır. Bu belli bir tekrar kullanımdan kaynaklanan girişim için, hücre boyu küçültülerek bölgenin kapasitesi artırılabilir. Bu durum da ek baz istasyonlarını gerektirir.

Diversite kazancı (düşük korelasyon) sağlamanın üç temel yolu bulunmaktadır. Bunlar uzay, polarizasyon ve açı diversiteleridir. Uzay diversitesi için antenler düşük korelasyonu sağlayacak mesafelerle yerleştirilir. Polarizasyon diversitesinde, düşük

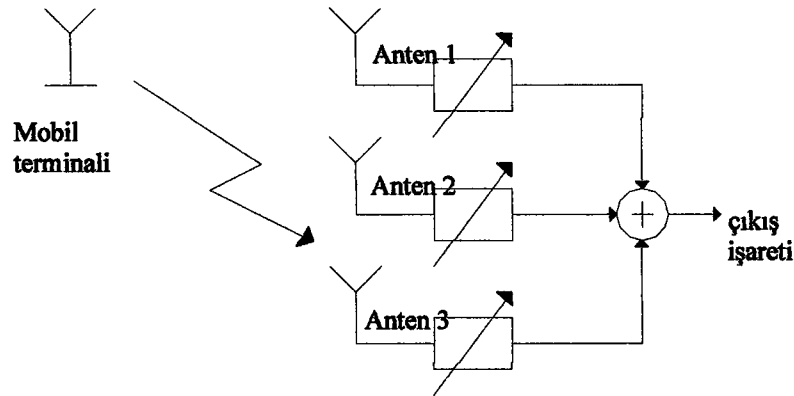
korelasyon için çapraz polarizasyon ve açı diversitesinde, komşu dar ışın demetleri kullanılır. Gerçekte, komşu ışın demetlerinin korelasyonu azdır. Küçük bir açısal dağılımlı komşu ışın demetleri, en güçlü işaretten 10 dB daha küçük seviyede işaret alır, bu da düşük bir diversite kazancı sağlar. Yani, korelasyon açısal dağılım sonucu artar.

Şekil 4.20’de iki mobil terminali bulunmaktadır. Birinci mobil terminalin işaretinin alınması, ikincisinin alınmaması istenir. Bunun sebebi ikinci mobil terminalinin girişim yapmasıdır. Yani tekrar kullanım girişimi ikinci mobil terminali yapmış olur.



Şekil 4.20 Adaptif ışın demet dizisinin blok şeması

Her baz istasyonunun daha fazla kapsama alanını ve kapasitesini artırmak için Şekil 4.21’de verilen anten sistemi için dipollerden oluşmuş sistem kullanılmaktadır.



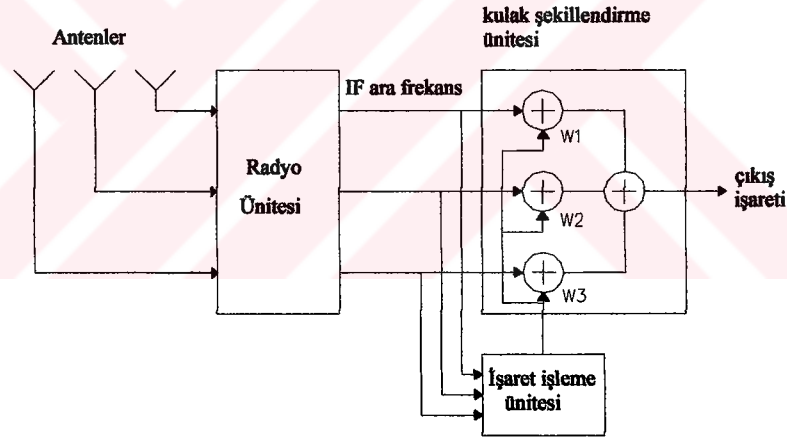
Şekil 4.21 Üç anten elemandan oluşmuş dizinin blok şeması

Bu sistemde, çoklu anten elemanlarından alınan işaretler; antenden gelen işaretlerin uygulama alanına göre istenilen şekilde kuvvetlendirilir veya zayıflatılır. Örneğin, üç

anten, üçlü bir anten kazanç artırımı sağlamaktadır. Antenler arasındaki çoklu ışın yollarından kaynaklanan kayma, korelasyona karşı diversite kazancı sağlamaktadır. Diversite kazancı, belli bir bit-hata oranı için istenilen ortama çıkış işaret gücü/gürültü gücü oranını ayarlamaktadır.

Anten kazancı, verilen bir çıkış işaretinin belli bir ortalama işaret gücü/gürültü gücü oranı için, alınan işaret gücünde yapılabilecek güç tasarrufudur. Bu amaçla, adaptif yöntemlerle anten dizisinin ışın diyagramının ana kulağı birinci mobil terminaline, sıfırlar ise ikinci mobil terminali yönüne çevrilmiştir. Burada çoklu ışın yolu bulunmamaktadır.

Şekil 4.22’de akıllı antenin alıcı kısmı için blok şema verilmektedir. Anten dizisi 3 elemandan oluşmaktadır. 3 antene gelen işaretler birleştirilerek alıcının çıkışından tekrar kodlama kanalına verilmektedir.

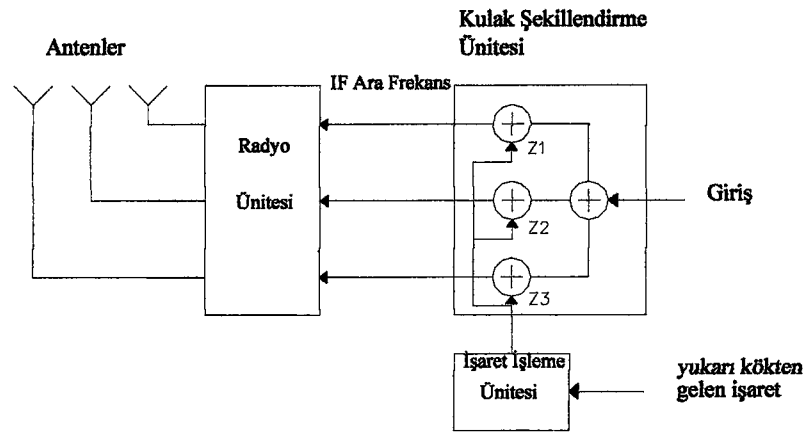


Şekil 4.22 Akıllı antenin alıcı kısmı

Alıcı kısmı 4 ana üniteden oluşmaktadır. Antene ilaveten radyo ünitesi, ağırlıklandırma (kuvvetlendirme veya zayıflatma) ünitesi ve işaret işleme ünitesi bulunmaktadır.

Şekil 4.23’de akıllı antenin verici kısmına ait blok şema verilmiştir. Bu verici kısım da alıcı kısmına benzemektedir. İşaret 3 kısma ayrılır. Daha sonra bu işaretler kulak oluşturma ünitesinin  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  kompleks biriminde ağırlıklandırılır.





Şekil 4.23 Akıllı anten verici kısmı

Ağırlıklandırılan işaretler işaret işleme ünitesi tarafından aşağı-link'e belirtilen yönde (aşağı-link yönünde) ışın diyagramı yönlendirilmektedir. Radyo ünitesi de, D/A çevirici ve frekans yükselticiden oluşmaktadır.

## **BÖLÜM 5. HÜCRE PLANLAMA UYGULAMASI**

GSM 900 hücresel telefon sisteminde planlama yapabilmek için iki farklı yol düşünülebilir. Bunlardan ilki şebeke kurulması düşünülen coğrafyada öngörülen abone sayısı ve profili için kapsamanın öngörülen standartlarda sağlanmasını amaçlayan şebekeyi inşa etmek ve zaman içerisinde artan abone sayısına göre şebekenin gelişimine uyarlamaktır. Planlamada bu yol seçilirse kapsamanın sağlanması en önemli problemdir. İkinci yol ise, abone sayısına bağlı olarak kapasite ihtiyacının baştan belirlenmesi ve hücre tarafından kapsanan alanda karşılaşılan trafik ile sınırlandırılmış hücre büyüklüklerini belirleyerek şebekeyi bu yönde inşa etmektir. Bu yolda birinci hedef kapasite ihtiyaçlarını karşılamaktır. İkinci yol gözönüne alındığında, yüksek kapasite için düzenlenmiş küçük boyutlu hücre ile düşük seviyede C/I gerekleri dengelenmelidir.

Her iki yol incelendiğinde mobil iletişim sisteminin temel fikri olan abonenin gezginliğinin ikinci yolun başlangıç aşamalarında yanılma olasılığının fazla olduğunu göstermektedir. Eğer şebeke yapısı kapasite sınırları üzerine kurulacaksa bu kapasitenin sunulacağı abone profilinin çok iyi çıkarılması gerekmektedir. Abone profilinden kasıt; yüklü saatte konuşma sayısından ortalama konuşma süresine kadar bir takım veriyi içermektedir. Bu değerler de milletlerin kültür özelliklerinden, o coğrafyayı oluşturan insanların gelir durumlarına kadar bir dizi modellemede hata riski çok olan kavrama dayanmaktadır. Bunun yerine belli bir zaman dilimi için abone profilini çıkararak birinci yolla şebekenin kurulması ve zaman içerisinde şebekenin ve abonenin karakteristiklerini elde ettikten sonra ihtiyaç duyulacak kapasitenin ikinci yol ile giderilmesi daha sağlıklı bir yol olacaktır. Burada belirtilen zaman dilimi ise sağlıklı bir şebeke ve abone karakteristiklerinin elde edilebileceği ve şebeke donanımının montaj sürelerini de dikkate alan şebekenin gelişim planında gerekli esnekliği sağlayacak bir süredir.

GSM 900 sisteminde inşa edilecek bir şebekenin planlamasının yapılacağı bu uygulama bölümünde, daha önce açıklanan hücre planlama unsurları doğrultusunda ileride tanımlanacak bölge üzerinde nominal hücre planı uygulanacaktır. Bilgisayar tabanlı propagasyon cihazları kullanılmadan bazı sadeleştirmeler yapılarak, servis sahası, açık, kentsel ve yarı kentsel alanlar olmak üzere üç farklı arazi yapısından oluşacaktır. Bu amaçla Tokat ili sayısal arazi modeli verileri kullanılmıştır[7]. Kentin topografik yapısı dikkate alınarak şebeke planlaması yapılmıştır. Ek C’de coğrafi yapısı gösterilen ve şebeke kapsama alanı oluşturulacak şehrin yüzölçümü 1000 km<sup>2</sup> dir. Şehir nüfusu 828.000 dir.

### 5.1. Sistem Gereklere ve Giriş Verileri

GSM 900 şebekesinde hücre planlama uygulamasına başlamadan önce kurulacak sistem ile ilgili bazı kabuller ve veriler aşağıdaki gibidir.

- 1) Sistem sınıf 2 (class 2) için tasarlanacaktır. Sınıf 2’nin maksimum çıkış gücü 8W’tır. Sistem sınıfları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo5.1 GSM Mobil Telefon Sınıfları

Sistem	Mobil Telefon güç sınıfı	Çıkış gücü
GSM 900	2	39 dBm (8W)
GSM 900	3	37 dBm (5W)
GSM 900	4	33 dBm (2W)
GSM 900	5	29 dBm (0.8W)
GSM 1800/1900	1	30 dBm (1W)
GSM 1800	2	24 dBm (0.25W)

- 2) Servis sahası araç içinde kapsama sağlayacak şekilde planlanacaktır. Yani öngörülen sinyal seviyesi -87dBm’den büyük olacaktır.
- 3) Mobil telefonda anten kazancı ve kablo kaybı yoktur.
- 4) Mobil telefonun anten yüksekliği yaklaşık olarak 1.5 m’dir. Bu değer için ortalama insan boyu dikkate alınmıştır.
- 5) Baz istasyonu antenlerinin monte edileceği efektif anten yüksekliği 25m’den 50m’ye kadar 5m’lik basamaklar ile seçilecektir.
- 6) Baz istasyonu ile anten arasındaki bağlantıyı sağlayan baz istasyonu kablo kayıpları 25m’den 35m’ye kadar 3.5dB, 40m’den 50m’ye kadar 4dB’dir.

- 7) Baz istasyonu karıştırıcı/birleştirici kaybı 3dB'dir.
- 8) Antenlerin montajında kullanılacak olan uzay yöneltmesi kazancı 4dB'dir.
- 9) Servis kalitesi (GoS) %2'dir.
- 10) Frekans toplama tekniği başlangıçta kullanılmayacaktır.
- 11) Kullanılabilir bant genişliği 12MHz'dir. Bu da 200 kHz bant genişliğinde 60 taşıyıcı frekansa karşılık gelmektedir.

## 5.2. Abone Tahminleri ve Profili

Planlamanın yapılacağı şehir açık alanlar, yarı-kent alanları ve kent alanları olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Bununla birlikte aynı tip alanlarda homojen bir trafik dağılımı olduğu varsayımından hareket edilecek ve alan tipi  $\text{km}^2$  bazında değişecektir. Toplam yüzölçüm  $1000 \text{ km}^2$ 'dir ve bu alan üzerinde 828.000 kişi yaşamaktadır. Uluslararası dolaşım ortaklığı yoktur, dolayısı ile yukarıda belirtilen nüfus haricinde abone olmaksızın şebekeye ek bir trafik yükü gelmeyecektir. Ek C'de kent, yarı-kent ve açık alanlar için profili aşağıda tanımlanan abonelerin dağılımı görülmektedir. Bu şekilde sarı renk kent alanlarını, yeşil renk yarı-kent alanlarını ve kahverengide açık alanları ifade etmektedir.

### Açık Alan

Nüfus yoğunluğu ( $\text{km}^2/\text{kişi}$ )	: 180
Abone olma oranı (% nüfus)	: 5
Ortalama konuşma süresi (Saniye)	: 90
Yüklü saat boyunca abone başına ortalama çağırma sayısı	: 1

### Yarı Kent Alanı

Nüfus yoğunluğu ( $\text{km}^2/\text{kişi}$ )	: 800
Abone olma oranı (% nüfus)	: 4
Ortalama konuşma süresi (Saniye)	: 90
Yüklü saat boyunca abone başına ortalama çağırma sayısı	: 1.1

### **Kent Alanı**

Nüfus yoğunluğu (km <sup>2</sup> /kişi)	: 3000
Abone olma oranı (% nüfus)	: 3
Ortalama konuşma süresi (Saniye)	: 90
Yüklü saat boyunca abone başına ortalama çağırma sayısı	: 1.3

### **5.3. Hücre Planlama Aşamaları**

Teorik olarak nominal hücre planına ulaşmadan önce, her bir hücre tipi için değişik değerler alabilen aşağıdaki unsurlarda birer hücre planlama kriteri olarak gözönüne alınmalıdır.

- Baz istasyonunun pozisyonu/yeri.
- Hücre konfigürasyonu ve büyüklüğü.
- Tahmini trafik.
- EIRP
- Baz istasyonu çıkış gücü.
- Frekansların tahsisi.
- Anten.
- Anten Yönü.
- Toplam istasyon ve TRU sayısı.

Burada TRU kavramını da açıklamakta yarar vardır. TRU; Transmisyon Ünitesi (Transmission Unit) anlamına gelen ve fiziksel olarak baz istasyonunda kullanılan

bir elektronik devre kartıdır. TRU'nun işlevi ise 200 kHz bant genişliğindeki radyo frekansını TDMA teknolojisi ile 8 zaman aralığına (time slot) bölmek ve bu kanalların trafik veya işaretleşme amacıyla kullanılmasına imkan sağlamaktır.

Bu açıklamalardan sonra hücre planlama aşamaları aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- 1) **Sistem Dengesi:** Alma ve gönderme (downlink and uplink) doğrultularında sistem dengesini sağlamak amacıyla mobil telefondan çıkan gücün limitlerine bağlı olarak, baz istasyonunun maksimum çıkış gücü hesaplanır.
- 2) **Kapsama Tahmini:** Propagasyona bağlı olarak mobil telefon ile baz istasyonu arasındaki maksimum mesafe hesaplanır.
- 3) **Trafik Hesabı:** Karşılaşılan trafiği taşıyabilmek için her bir hücrede kaç tane TRU'ya (frekansa) ihtiyaç vardır? Başka bir deyişle eldeki TRU sayısı belli ise karşılaşılan trafiği taşıyabilmek için hücre büyüklüğü ne olmalıdır?
- 4) **Donanıma Karar Verme:** Her bir baz istasyonu için kullanılacak donanıma karar verilir.
- 5) **Frekansın Tekrar Kullanım Desenine Karar Verme:** Her bir hücrede kaç tane frekans kullanılabilir, bu frekanslar hangi sıklıkta kullanılmalıdır sorularından yola çıkarak, aynı-kanal ve bitişik kanal girişimini de gözönünde bulundurarak kullanılacak frekans tekrar kullanım desenine karar verilir. Bu sorular aynı zamanda uzun vadede kapasitenin gelişimini tahmin etmek için zorlayıcı bir faktördür. Bununla birlikte unutulmamalıdır ki hücre deseni şebekenin büyümesiyle birlikte değiştirilebilir ve daha sık frekans kullanan bir desenin seçimiyle kapasite artırımını sağlanabilir.
- 6) **Değişik Alanlar İçin Hücre Büyüklüğüne Karar Verme:** Değişik alanlar ve alan tipleri için değişik hücre büyüklükleri tasarlanmaktadır. Burada önemli olan doğru sayıda TRU için hücre büyüklüğünün seçimidir.

- 7) **İstenilen Coğrafyanın Kapsanması:** İstasyon yeri ve anten tipinin belirlenmesi ile belirlenen coğrafya kapsanır.
- 8) **Frekans Planlama:** İhtiyaç duyulan TRU sayısına göre her bir hücreye gerekli sayıda frekans tahsisi yapılır.
- 9) **Baz istasyonu Çıkış Gücünün Yeniden Hesaplanması:** Gerekli hallerde hücre büyüklüğüne bağlı olarak baz istasyonunun yeni çıkış gücü hesapları yapılır. Burada geriye doğru bir hesapla istenen hücre büyüklüğü için gereken baz istasyonu çıkış gücü bulunur.

#### 5.4. Sistem Dengesi

Kurulacak sistemin denge bağlantılarının bulunması için 5.1. de verilen kabuller kullanılacak olursa;

$P_{out MS} = 8W$	MS çıkış gücü.
$G_{dBTS} = 4dB$	Yönelme kazancı
$L_{CBTS} = 3 dB$	Karıştırıcı/Birleştirici kaybı.
$P_{in MS} = -102dBm$	MS duyarlılığı.
$P_{in BTS} = -104dBm$	BTS duyarlılığı.

Haberleşme denge formülünden;

$$P_{out BTS} = P_{out MS} + G_{dBTS} + L_{CBTS} + P_{in MS} - P_{in BTS}$$

dBm olarak MS çıkış gücü;

$$P_{out MS} = 10 \log ( 8W / 0.001 W) \quad P_{out MS} = 39dBm \quad (5.1.)$$

BTS çıkış gücü;

$$P_{out BTS} = 39 + 4 + 3 + (-102) - (-104) \quad P_{out BTS} = 48dBm \quad (5.2.)$$

### 5.5. İletim Hesapları

Mobil istasyonda (MS) anten kazancı ve besleme kablosu kaybı yoktur.

$L_{f\text{ BTS}} = 3.5\text{ dB}$  25m - 35m arasında besleme kablosu için.

$L_{f\text{ BTS}} = 4\text{ dB}$  40m - 50m arasında besleme kablosu için.

$G_{a\text{ BTS}} = 16\text{ dBi}$  Yönelmeli anten kazancı.

$G_{a\text{ BTS}} = 11\text{ dBi}$  Yönelmesiz anten kazancı.

$MS_{RX}\text{ tasarım} = -87\text{ dBm}$ ,  $P_{in\text{ MS}} = -87\text{ dBm}$  Tasarım için MS alışı gücü.

Burada dikkat edilirse iki farklı anten kazancı vardır, bunun sebebi kuruluş aşamasında şebekenin kuruluş maliyetlerini düşürmek ve daha hızlı montaj yapabilmek amacıyla mümkün olduğunca standart konfigürasyonlar uygulanmasıdır. Kurulacak şebekede bu amaçla daha önce bölüm 4'de de ayrıntılı olarak açıklandığı üzere yönsüz ve yönlü antenler kullanılacaktır. Bu antenlerin fiziksel özelliklerinin getirdiği kısıtlamayla da kazançları farklı olmaktadır.

$P_{in\text{ MS}}$  değeri normalde -102 dBm olmasına karşın tasarım için -87 dBm alınmıştır, bunun sebebi de -102 dBm'in sınır değeri olmasıdır. Başka bir deyişle MS herhangi bir sebeple, yatay durmasından kaynaklanan polarizasyon farkı, ilave kayıplara sebep olabilecek duvar, araba içinde olmak, vs, oluşacak kayıplara karşı güvenlik için bırakılmış tampon kayıp değeri olarak 15 dB'in uygun görülmesidir. 15 dB'lik bu değer planlama yapılan alandaki bina yapısı vb gibi zayıflatma faktörleri dikkate alınarak bulunması gereken bir değerdir. Bu bölümde yapılacak uygulama için 15 dB oluşabilecek maksimum zayıflatma olacaktır.

Her bir durum için maksimum yol kaybını hesaplayacak olursak, Tablo 5. 2'deki değerlere ulaşabiliriz.

$$L_p = P_{out\text{ BTS}} - L_{c\text{ BTS}} - L_{f\text{ BTS}} + G_{a\text{ BTS}} - P_{in\text{ MS}}$$



Tablo 5.2. Maksimum yol kaybı.

	$G_a \text{ BTS} = 16 \text{ dBi}$	$G_a \text{ BTS} = 11 \text{ dBi}$
$L_f \text{ BTS} = 3.5 \text{ dB}$	144.5 dB	139.5 dB
$L_f \text{ BTS} = 4 \text{ dB}$	144 dB	139 dB

### 5.6. Propagasyon Tahminleri

BTS anten yüksekliği : 25,30,35,40,45 ve 50 m

MS anten yüksekliği : 1.5 m ( $h_2$ )

Frekans bandı : 900 MHz ( $f$ )

Maksimum yol kaybı : 144.5, 144, 139.5 ve 139 dB ( $L_p$ )

Okumura-Hata modeli kullanılarak her bir durum için kent, yarı-kent ve açık alandaki hücre çapları kolaylıkla bulunabilir. Elde edilen sonuçlar km cinsinden olacaktır.

$$a = [1.1 \log(f) - 0.7]h_2 - [1.56 \log(f) - 0.8]$$

$$a = [1.1 \log(900) - 0.7]1.5 - [1.56 \log(900) - 0.8]$$

$$a = 0.01588 = 0.016$$

Kent alanı için aşağıdaki bağıttan hareketle,

$$L_{\text{kent}} = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_1) + [49.9 - 6.55 \log(h_1)] \log(d) - a$$

$$\log(d) = \frac{L_{\text{kent}} + a - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 \log h_1}{49.9 - 6.55 \log h_1} \quad (5.3)$$

$$d = 10 \frac{L_{kent} - 146.849 + 13.82 \log h_1}{49.9 - 6.55 \log h_1} \quad (5.4)$$

bulunur. 5.4 bağıntısı kullanılarak  $L_p$  ve  $h_1$ 'in her bir durumu için Tablo 5.3'de verilen  $d$  değerlerine ulaşılır.

Tablo 5.3 Kent alanı için hücre çapları.

		Yönlü anten		Yönsüz anten	
		$L_{kent} = 144.5 \text{ dB}$	$L_{kent} = 144 \text{ dB}$	$L_{kent} = 139.5 \text{ dB}$	$L_{kent} = 139 \text{ dB}$
$L_f \text{ BTS} = 3.5 \text{ dB}$	$h_1 = 25 \text{ m}$	2.61	-	1.96	-
	$h_1 = 30 \text{ m}$	2.81	-	2.11	-
	$h_1 = 35 \text{ m}$	3	-	2.24	-
$L_f \text{ BTS} = 4 \text{ dB}$	$h_1 = 40 \text{ m}$	-	3.08	-	2.3
	$h_1 = 45 \text{ m}$	-	3.25	-	2.42
	$h_1 = 50 \text{ m}$	-	3.40	-	2.53

Benzer şekilde yarı-kent alanlar için aşağıdaki bağıntıdan hareketle,

$$L_{yarikent} = L_{kent} - [2 (\log(f/28))^2 + 5.4]$$

$$= 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_1) + [49.9 - 6.55 \log(h_1)] \log(d) - a - [2 (\log(f/28))^2 + 5.4]$$

$$\log(d) = \frac{L_{yarikent} + a - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 h_1 + (2(\log(f/28))^2 + 5.4)}{49.9 - 6.55 \log h_1} \quad (5.5)$$

$$d = 10 \frac{L_{yarikent} - 136.874 + 13.82 \log h_1}{49.9 - 6.55 \log h_1} \quad (5.6)$$

bulunur. 5.6 bağıntısı kullanılarak  $L_p$  ve  $h_1$ 'in her bir durumu için Tablo 5.4'de verilen  $d$  değerlerine ulaşılır.

Tablo 5.4 Yarı-kent alanı için hücre çapları.

		Yönlü anten		Yönsüz anten	
		$L_{ykent}=144.5\text{dB}$	$L_{ykent}= 144 \text{ dB}$	$L_{ykent}=139.5 \text{ dB}$	$L_{ykent}= 139 \text{ dB}$
$L_f\text{BTS} = 3.5 \text{ dB}$	$h_r=25\text{m}$	4.58	-	3.45	-
	$h_r=30\text{m}$	4.97	-	3.73	-
	$h_r=35\text{m}$	5.34	-	4	-
$L_f\text{BTS} = 4 \text{ dB}$	$h_r=40\text{m}$	-	5.53	-	4.12
	$h_r=45\text{m}$	-	5.85	-	4.35
	$h_r=50\text{m}$	-	6.15	-	4.57

Son olarak açık alanlar için aşağıdaki bağıntıdan hareketle,

$$L_{a,a} = L_{kent} - [4.78(\log(f))^2 - 18.33 \log f + 40.94]$$

$$= 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_1) + [49.9 - 6.55 \log(h_1)] \log(d) - a - [4.78 (\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94]$$

$$\log(d) = \frac{L_{a,a} + a - 69.55 - 26.16 \log f + 13.82 h_1 + (4.78(\log f)^2 - 18.33 \log f + 40.94)}{49.9 - 6.55 \log h_1} \quad (5.7)$$

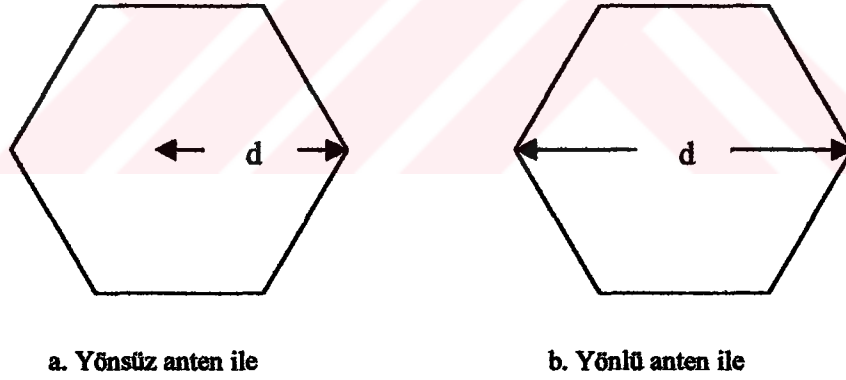
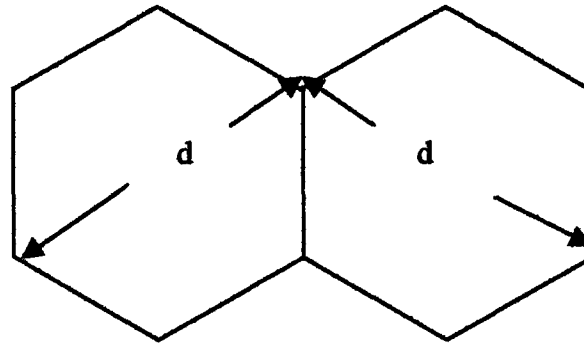
$$d = 10^{\frac{L_{a,a} - 118.307 + 13.82 \log h_1}{49.9 - 6.55 \log h_1}} \quad (5.8)$$

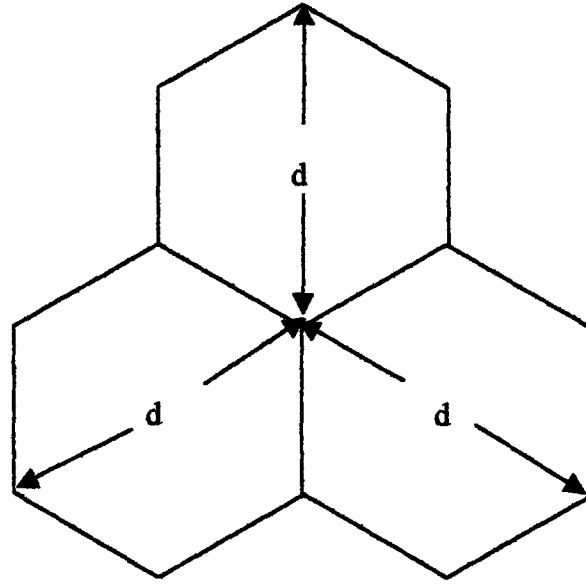
Yukarıda olduğu gibi açık alanlar içinde 5.8 bağıntısını kullanarak  $L_p$  ve  $h_1$ 'in her bir durumu için Tablo 5.5'de verilen  $d$  değerlerine ulaşılır.

Tablo 5.5 Açık alanlar için hücre çapları.

		Yönlü anten		Yönsüz anten	
		$L_{a,a}=144.5\text{dB}$	$L_{a,a}=144\text{ dB}$	$L_{a,a}=139.5\text{ dB}$	$L_{a,a}=139\text{ dB}$
$L_f\text{BTS} = 3.5\text{ dB}$	$h_f=25\text{m}$	13.09	-	9.87	-
	$h_f=30\text{m}$	14.4	-	10.82	-
	$h_f=35\text{m}$	15.57	-	11.73	-
$L_f\text{BTS} = 4\text{ dB}$	$h_f=40\text{m}$	-	16.37	-	12.22
	$h_f=45\text{m}$	-	17.47	-	13.02
	$h_f=50\text{m}$	-	18.55	-	13.79

Tüm bu hesaplamalardan sonra coğrafyayı kapsamadan önce bir nokta daha belirtilmelidir ki; Tablo 5.3, 5.4 ve 5.5'de yönsüz antenli tek sektörlü veya yönlü antenli, bir, iki ve üç hücreli baz istasyonları için  $d$  (çap) şekil 5.1, 5.2, 5.3 de gösterildiği gibidir.

Şekil 5.1 Tek hücreli baz istasyonlarında  $d$ Şekil 5.2 İki hücreli baz istasyonlarında  $d$



Şekil 5.3. Üç hücreli baz istasyonlarında d

### 5.7. Kullanıma Uygun Frekans Sayısı

Uygun band genişliğinin 12 MHz olduğu gözönüne alındığında frekans planlama için kullanabilecek radyo frekansı sayısının 200 kHz kanal band genişliğinden dolayı 60 olduğu kolaylıkla bulunabilir.

Frekans planlamada kullanılacak 60 frekans aynı zamanda hücre deseninin de seçilmesi için zorlayıcı bir faktördür. Daha önce tanıtılan her üç alternatif için;

- 3/9 hücre desenim kullanacak olursak,  $60/9 = 6.667$

- 4/12 hücre desenim kullanacak olursak,  $60/12 = 5$

- 7/21 hücre desenim kullanacak olursak,  $60/21 = 2.857$

Hücre basma sırasıyla 6.67, 5 ve 2.287 kullanılabilir frekans olacaktır. GSM şebekelerine altyapı sağlayan firmalar gözönüne alındığında her bir hücre için kullanılan BTS'nin 4 veya 6 TRU için tasarlandığı görülür. Mikro hücre veya bina içi kapsamalar için 2 TRU'lu modellerde vardır ancak bunlar şebekenin kuruluş

aşamasında getirdikleri yüksek maliyete rağmen sundukları sınırlı kapasite sebebiyle pek tercih edilmezler. Bu sebeple şebekenin büyüme şekline göre daha sonra değiştirilebilecek bir plan yapılması gerekmektedir.

3/9 deseni dikkate alındığında hücre başına kullanılacak 6.667 frekansın mevcut olduğu görülür oysa kullanacak donanım maksimum 6 TRU kullanmaktadır yani 6 frekansa ihtiyaç duyacaktır. Buradan hareketle 54 frekans uygulanacak frekans planlaması için yeterli olacak 6 frekans ise atılacaktır. Diğer taraftan 4/12 deseni kullanılacak olursa iki farklı yaklaşım oluşacaktır.

- Şebekenin kurulmasına 4 TRU'lu BTS'lerle başlanıp  $4 * 12 = 48$  frekans ile 4/12 hücre deseni uygulanır kalan 12 frekans ile de 2 TRU'lu mikro BTS veya 4 TRU'lu BTS'leri kullanmak suretiyle kapasite ihtiyacının arttığı yerlerde ikinci bir seviye oluşturulur.
- Şebekenin kurulmasına 6 TRU'lu BTS'ler ile başlanıp 4/12 deseni 5 TRU/hücre oranına ulaşana kadar uygulanır, bu orana erişilip eldeki frekans bandının tamamını kullandığında kapasite ihtiyacı devam ederse yeni bir frekans planlaması ile 3/9 hücre desenine geçilir ve 6. TRU larda kullanılır. Buna ilaveten kalan 6 frekans ile de mikro hücre planlaması veya bina içi çözümler uygulanır.

Hücre başına kullanılan TRU sayısının artması o hücreden aboneye sunulacak kanal sayısını da artıracak, kanal sayısı ile taşınan trafik exponansiyel bir artış göstereceği için de yapılan yatırımların verimliliği de artacaktır. Buradan hareketle planlara bakıldığında ikinci yaklaşımın daha esnek ve uzun vadeli çözümler sunduğu görülmektedir. Yalnız her iki koşulda da belirgin olan şey hücre deseninin başlangıç aşamasında 4/12 olması gereğidir.

Her ne kadar şebekenin kuruluşu aşamasında bir hücre deseni oluşturulmaya çalışılsa da pratikte değişik alanların (kent, yarı kent ve açık alanlar) bir arada olabileceği veya aynı istasyonda farklı yönlerde bakan hücrelerin yüksekliklerinde farklı olabilmesi, hem şebekenin üniform bir yapıda olmasını hem de büyümenin bölgelere

bağlı olarak lineer olamayacağını gösterir. Sonuçta pratikte hücre deseni uygulamak çok daha zordur. Ancak yinede bu uygulamada, bir zorunluluk değil uygulama yöntemi olan hücre desenine, sadık kalmaya çalışılacaktır.

### 5.8. Karşılaşılan Trafik Miktarı

Bölüm 5.2 deki abone profili verisinden hareketle yüklü saatte abone başına karşılaşılan trafikler aşağıdaki şekilde bulunabilir.

$$A_{\text{kent}} = 90 * 1.3 / 3600 = 0.0325 \text{ Erlang} = 32.5 \text{ mErlang} \quad (5.9.)$$

$$A_{\text{yanıkent}} = 90 * 1.1 / 3600 = 0.0275 \text{ Erlang} = 27.5 \text{ mErlang} \quad (5.10.)$$

$$A_{\text{a.alan}} = 90 * 1 / 3600 - 0.025 \text{ Erlang} = 25 \text{ mErlang} \quad (5.11.)$$

Buradan hareketle yüklü saatte birim alanda ( $\text{Km}^2$ ) alan tiplerine göre karşılaşılan trafik;

$$A_{\text{kent}} = 3000 * 0.03 * 0.0325 = 2.925 \text{ Erlang} / \text{Km}^2 \quad (5.12.)$$

$$A_{\text{yanıkent}} = 800 * 0.04 * 0.0275 = 0.88 \text{ Erlang} / \text{Km}^2 \quad (5.13)$$

$$A_{\text{a.alan}} = 180 * 0.05 * 0.0250 = 0.225 \text{ Erlang} / \text{Km}^2 \quad (5.14)$$

### 5.9. Kanalların Boyutlandırılması

Aksine bir durum oluşmadıkça, yani hücrelerin MSC servis sahası sınırında oluşu, kapsama alanının sınırında bulunması veya baz istasyonunun yollara servis vermesi gibi işaretleşme kanallarına ortalamanın üzerinde ihtiyaç duyulmaması durumunda aşağıda verilen kanal yapısı kullanılacaktır. Bahsi geçen ihtiyaç duyulma durumu ise tamamen santrallerden alınan gerçek veri üzerinden boyutlandırılabilceği için başlangıç aşamasında Tablo 5.6'da verilen ortalama değerleri kullanmakta yarar vardır.

Tablo 5.6 İşaretleşme ve trafik kanallarının boyutlandırılması

TRU Sayısı	Toplam Kanal Sayısı	BCCH + SDCCH İşaretleşme Kanalları	TCH Trafik Kanalları	Karşılaşılan Trafik (%2 GoS)
1	8	1+1	6	2.28
2	16	1+1	14	8.20
3	24	1+2	21	14.04
4	32	1+2	29	21.03
5	40	1+3	36	27.34
6	48	1+3	44	34.68

### 5.10. Kapasite ile Sınırlandırılan Hücre Büyüklüğü

Daha önce belirtildiği üzere propagasyona bağlı olarak hücre şekilleri altıgen yapıdadır. Bu yapıda alan ile yarıçap arasındaki ilişkide,

$$S_a = 2.589 r^2 \quad (5.15.)$$

şeklinde dir. Buradan hareketle karşılaşılan trafiği (%2 GoS)  $km^2$  de karşılaşılabileceğimiz trafiğe bölerek hücrenin servis vermesi gereken alan Tablo 5.7'deki gibi bulunur.

Tablo 5.7  $Km^2$  olarak kapasite sınırlı hücre büyüklüğü (alanı) ve km olarak yarıçapı

TRU	Kent		Yarı Kent		Açık Alan	
	Alan	Yarıçap	Alan	Yarıçap	Alan	Yarıçap
1	0.77	0.54	2.59	1	10.13	1.97
2	2.80	1.03	9.31	1.9	36.44	3.75
3	4.8	1.36	15.95	2.48	62.40	4.90
4	7.19	1.66	23.89	3.03	93.47	6.00
5	9.34	1.9	31.06	3.46	121.51	6.84
6	11.85	2.14	39.4	3.9	154.13	7.70



Yönsüz antenli hücreler için yarıçap büyüklüğü  $d$ 'ye eşitken yönlü antenlerin kullanıldığı sektörel hücrelerde hücre büyüklüğü  $d=2r$ 'dir. Buna ilave olarak Okumura-Hata modelini hücre büyüklüğü 1 km'den küçük olan hücreler için geçerli değildir. Bunun sonucu olarak da kent alanı içerisinde şebekenin büyümesi aşamasında 1 km'den küçük hücre büyüklüğü kullanamayacağımız ortaya çıkmaktadır. Eğer kapasite ihtiyaçları bu noktaya gelecek olursa yeni çözüm veya modeller üretilmelidir.

Tablo 5.7'ye bakılacak olursa kent alanı için 1 TRU'lu çözümde hücre yarıçapının 0.54 km buna bağlı olarakta hücre alanının 0.77 km<sup>2</sup> olduğu görülür. Bu durumda yukarıdaki paragrafta açıklanan nedenden dolayı bu ilk durum yönsüz antenler için uygulanamaz bir durumdur.

### 5.11. Radyo Şebekesinin Kurulması

Daha önceki kısımlardaki hesaplamalardan sonra hücre planlamanın coğrafya üzerindeki uygulaması olan radyo şebekesinin kurulması kabaca baz istasyonlarının yerleri ve konfigürasyonlarının belirlenmesi ile sağlanır. Coğrafi yapısı Şekil C1'de verilen alan üzerinde ve bu bölümde çizilen yapılanma süreci içerisinde baz istasyonlarının yerleri seçilmiş, yapılan hesaplamalara da dayandırılarak oluşturulan yapı Şekil E1'de verilmiştir.

Baz istasyonlarının yerleri ve konfigürasyonlarının gösterildiği Şekil E1'de mümkün olduğunca üniform bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Baz istasyonunun kullanılan anten tipine ve yüksekliğe bağlı olarak kapsama alanı çapı, alanı ve bu alanda karşılaşacağı trafik miktarı daha önceki hesaplardan derlenerek Tablo 5.8'de verilmiştir. Uygulama alanı olarak kullanılan ve Şekil C1'de verilen coğrafyanın tamamı 1000 km<sup>2</sup> ve bu alanın 670 km<sup>2</sup> si kent alanı, 180 km<sup>2</sup> si yarı kent alanı ve 150 km<sup>2</sup> si de açık alandır. Yüzölçümün % 67 sini oluşturan kent alanlarında efektif anten yüksekliği kapsamının gerekleri haricinde 40 m seçilmiştir. Tablo 5.8'e bakıldığında kent alanı için efektif anten yüksekliği ne seçilirse seçilsin Erlang B tablosuna göre en az 3 TRU'lu konfigürasyonlar oluşturulmalıdır. 3 TRU'nun % 2 GoS ile karşılayabileceği maksimum trafik 14.04 Erlang'dır. Baz istasyonunun bu

trafikle açılması veya kısa bir süre içerisinde bu trafiğe ulaşması kapasite artırımına yönelik satın alma ve montaj süreleri dikkate alındığında istenmeyen bir durumdur. Benzer şekilde yarı kent alanı içinde kapsama gerekleri haricinde 45 m seçilmiştir ve kent alanı ile benzer bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Açık alanda efektif anten yüksekliği seçiminde ise seçim kent ve yarı kent alanlarının öncelikle kapsanmasıyla oluşan kapsamanın tamamlanmasına yönelik kapsama gerekleri etkindir.

Tablo 5.8 Alan tiplerine bağlı olarak efektif anten yüksekliği ve trafik miktarları

		Yönlü Anten			Yönsüz Anten		
		d	S <sub>a</sub>	A <sub>tm</sub>	d	S <sub>a</sub>	A <sub>tm</sub>
Kent Alanı	25m	2.61	3.37	9.85	1.96	9.94	29.07
	30m	2.81	5.11	14.94	2.11	11.52	33.69
	35m	3	5.82	17.02	2.24	12.99	37.99
	40m	3.08	6.14	17.95	2.30	13.69	40.04
	45m	3.25	6.83	19.97	2.42	15.16	44.34
	50m	3.4	7.48	21.87	2.53	16.57	48.46
Yarı Kent Alanı	25m	4.58	13.57	11.94	3.45	30.81	27.11
	30m	4.97	15.98	14.06	3.73	36.02	31.69
	35m	5.34	18.45	16.23	4	41.42	36.44
	40m	5.53	19.79	17.41	4.12	43.94	38.66
	45m	5.85	22.15	19.49	4.35	48.99	43.11
	50m	6.15	24.48	21.54	4.57	54.07	47.58
Açık Alan	25m	13.09	110.9	24.95	9.87	252.21	56.74
	30m	14.4	134.21	30.19	10.82	303.1	68.19
	35m	15.57	156.9	35.3	11.73	356.22	80.14
	40m	16.37	173.44	39.02	12.22	386.61	86.98
	45m	17.47	197.541	44.44	13.02	438.88	98.74
	50m	18.55	222.72	50.11	13.79	492.33	110.77

Uygulama sonucu Şekil E1'de ulaşılan radyo şebekesini oluşturan baz istasyonlarının efektif anten yüksekliklerini, kapsama alanı tiplerini, her bir hücrenin

karşılaşabileceği trafiği, buna bağlı olarak TRU sayıları ve taşıyabileceği maksimum trafik Tablo F1’de verilmiştir.

Radyo şebekesi 74 baz istasyonundan oluşacaktır. Tablo F.1’de A birinci sektörü, B ikinci sektörü, C harfi ise üçüncü sektörü ifade etmektedir. Detayları verilen hücrelerin karşılaştıkları trafikler, bölüm 5.8’de verilen  $\text{km}^2$ ’deki alan tipine bağlı olan trafik miktarları ve tablo 5.8’de verilen efektif anten yükseklikleri ile karşılaşılan trafiği ilişkilendiren verilerden yararlanılarak bulunmuştur. Hücrelerin kapsama alanlarının örtüştükleri bölgelerde eğer hücre tipleri aynı ise yeni bir geometrik sınır oluşturulmuş, hücre tipleri farklı ise sırasıyla kent, yarı kent ve açık alan hücrelerinin trafiği taşıyacağı ve bu yapının santral yazılımları ile sağlanacağı varsayılmıştır. TRU sayıları da tablo 5.5’de verilen trafik kanalları boyutlandırılmasından yararlanılarak bulunmuştur.

Oluşturulan radyo şebekesi ile karşılaşılan trafik ve bu trafiğin hücrelere dağılımı ile başlangıçta verilen abone profilinden elde edilecek trafik miktarları karşılaştırılacak olursa sonuç verilerine geçmeden önce bir ara kontrol noktası oluşturulur. Bu amaçla, 5.12, 5.13 ve 5.14’de verilen  $\text{km}^2$ ’de her bir alan tipi için karşılaşılan trafiği  $670 \text{ km}^2$  kent alanı,  $180 \text{ km}^2$  yarı kent alanı ve  $150 \text{ km}^2$  açık alandan oluşan alan tipleri ile çarpacak olursak;

$$(2.925*670) + (0.88*180) + (0.225*150) = 2151.9\text{Erlang} \quad (5.16)$$

lık bir trafik potansiyeli olduğu görülmüştür. Tablo F1’de verilen hücrelerin karşılaştığı toplam trafik miktarı ise 2150.2 Erlang’tır. Bu da uygulama esnasında yapılan hatanın %0.1’den küçük olduğunu gösterir.

Sonuç olarak  $1000 \text{ km}^2$ ’lik bir şehirde en düşük sinyal  $-87 \text{ dBm}$ ’den büyük olacak ve sınıf 2 yani 8 W maksimum çıkış gücü olan mobil telefonların kullanacağı bir şebekede % 2 GoS ile hizmet verecek radyo şebekesinin bölüm 5.1’deki kabuller çerçevesinde tasarlanması sonucu aşağıdaki radyo donanımına ait sayılar ve radyo şebekesi verimliliğini değerlendirmeye yarayacak olan istatistiklere ulaşılmıştır.

a) Radyo şebekesini oluşturmak için kullanılan toplam baz istasyonu sayısı:74

b) Radyo şebekesini oluşturmak için kullanılan toplam hücre sayısı:175

Burada bahsi geçen hücrelerin 2 tanesi yönsüz antenli hücre, 173 tanesi sektörel antenli hücredir. Sistemdeki her hücrede alıcı antenler için yöneltme kullanıldığı dikkate alınarak ( her sektör için 3 anten kullanıldığı anlamına gelir), 6 adet yönsüz anten, 519 adet yönlü anten kullanılmıştır.

c) Radyo şebekesini oluşturmak için kullanılan TRU sayısı: 527

d) Mevcut konfigürasyon ile karşılaşılan trafik: 2150.2

e) Mevcut konfigürasyon ile karşılanabilecek maksimum trafik: 2491 Erlang

f) Radyo şebekesini oluşturmak için kurulan hücrelerin efektif anten yüksekliklerine göre dağılımı: 7 adet 25 m efektif anten yüksekliğine sahip hücre, 2 adet 30 m efektif anten yüksekliğine sahip hücre, 152 adet 40 m efektif anten yüksekliğine sahip hücre, 14 adet 45 m efektif anten yüksekliğine sahip hücre.

g) Radyo şebekesini oluşturmak için kurulan hücrelerin TRU sayılarına göre dağılımı: 18 adet 2 TRU'lu hücre, 138 adet 3 TRU'lu hücre, 18 adet 4 TRU'lu hücre, 1 adet 5 TRU'lu hücre.

h) Baz istasyonu başına hücre sayısı : 2.36

i) Hücre başına TRU sayısı: 3.01

j) TRU başına karşılaşılan trafik: 4.08 Erlang

k) Hücre başına karşılaşılan trafik: 12.28 Erlang

l) baz istasyonu başına karşılaşılan trafik : 29.05 Erlang

Baz istasyonu, hücre ve TRU sayıları her ne kadar şebekenin gerektirdiği kapsama ve abone sayısı gerekleri tarafından kısıtlamalar getirirse de baz istasyonu yeri ve konfigürasyonunun seçimiyle ulaşılan yukarıdaki istatistikler şu şekilde yorumlanabilir.

Toplamda maksimum 2491 Erlang trafiği karşılayabilecek bir radyo şebekesi olmasına karşın karşılaşılan trafik 2150.2 Erlang'dır. Bu şekilde sunulan kapasitenin % 86 sı kullanılıyor anlamına gelir ki, radyo şebekesi ilave bir yatırım yapmaksızın karşılaşılan trafik miktarında oluşabilecek artmaları taşıyabilecek yapıdadır.

Kurulan radyo şebekesinin % 79'u 3 TRU'lu hücrelere sahiptir. Hücre başına TRU ortalaması 3.01 dir. Bölüm 5.7 de çizilen plan gereği 6 TRU kapasiteli baz istasyonları kullanılacaktır. Frekans tekrar kullanımında ise hücre desenini değiştirerek hücre başına 6 TRU limitine frekans planının elverdiği ölçüde yaklaşılmaya çalışılacaktır. TRU sayısının artmasıyla birlikte karşılanabilecek trafiğin zamanla artabileceği düşünülürse kurulan radyo şebekesi uzun süre yeni baz istasyonu açmaksızın servis verebilecektir.

### 5.12. Frekans Planlama

Bölüm 5.7'de belirtilen girişim planı çerçevesinde ve kullanıma uygun 60 frekans ile bölüm 3'de belirtildiği gibi 4/12 hücre desenindeki frekans grupları kullanılacaktır. Yalnız bölüm 3'deki 4/12 hücre deseninde bant genişliği 9.6 MHz iken tasarladığımız radyo şebekesindeki kullanılabilir bant genişliği 12 MHz'dir.

### 5.13. Şebeke İletim Ağı Planlaması

Baz istasyonları ile baz istasyonu kontrolörü arasındaki iletim 2Mbit/sn'lik sayısal yer devresi ve sayısal mikro dalga mini linkler kullanılacaktır. Her bir TRU için 2\*64 Mbit/sn trafik ve 1\*64 Kbit/sn işaretleşme kanalına ihtiyaç vardır. Yani her bir TRU için 2Mbit/sn'lik hattın 32 adet olan kanalından 3 tanesine ihtiyaç vardır. Kullanılan her bir 2Mbit/sn'lik hat için 1\*64 Kbit/sn'lik işaretleşme kanalına yani 1 kanala ihtiyaç vardır.

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR**

Başlangıçta telefon hizmeti vermek ve düşük hızlı veri iletimi sağlamak amacı ile tasarlanan GSM, yüksek hızlı veri ve mobil telekomünikasyon servislerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla büyük bir taleple karşılaşmıştır.

Ülkemizde GSM 900 ve GSM 1800 standartları kullanılmaktadır. GSM 1800 büyük oranda GSM 900 standartlarını kullanmaktadır. Bu iki standart arasındaki temel farklılık frekans bandının yerleşimindedir. Frekansın yüksekliğine bağlı olarak frekans bandı, alıcı-verici karakteristiği, alıcı-verici performansı gibi radyo alışı veriş spesifikasyonlarında GSM 1800 için gerekli bir takım değişiklikler yapılmıştır.

Mobil telefon sistemlerinde haberleşmenin yapılacağı alan hücre adı verilen küçük alanlara bölünmüştür. Her hücrenin merkezinde bir baz istasyonu bulunur. Sistem bal peteği gibi birbirine bitişik hücrelerden meydana gelir. Mobil telefon protokollerine göre tasarlanmış sistemi kullanan her ülke, coğrafi yapısına bağlı olarak çeşitli sayıda trafik hücrelerine ayrılmaktadır.

Hücre tasarımında, mobil terminalerin trafik yoğunluğu ve bölgenin coğrafi etki alanı ile gerekli kalite göz önüne alınmalıdır. Özellikle başlangıçtaki şebeke, trafiğin genişlemesine uygun şekilde planlanmalıdır.

Hücresel mobil haberleşme sisteminin verimliliğini artırmak için değişik yöntemler kullanılır. R (hücre yarıçapı), yarıya düşürüldüğünde sistemin verimliliğinin 4 kat arttığı belirlenmiştir. R sabitken,  $D_s$  (hücreler arası uzaklık) azaltıldığında, sistem verimliliğinde büyük bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir.

Frekansın yeniden kullanım modeli, hücresel sistemlerin tasarımında temel ilkedir. 4/12 hücre modeli için frekansın yeniden kullanımı gösterilmiş ve bu yöntemle bölge başına kanal sayısının arttırıldığı belirlenmiştir.

Baz istasyonunun antenlerinin yönlensiz ve yönlmeli anten veya anten dizileri olup, bu antenlerinin genel olarak düşey polarizasyonda yayını yaptığı ve 5-6 derecelik eğim açısına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Trafiğin yoğun olduğu bölgelerde hücreler sık olduğundan dört yöne bakan dört yönlmeli anten kullanıldığında kanal sayısının arttığı, yönlensiz antenlerin ise trafiğin az olduğu yerlerde kullanılıp, yüksek tepelere kurulduğu belirlenmiştir.



## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada daha çok hücre yapısı üzerinde durulmuş, 4/12 hücre modeli için frekans yeniden kullanımı incelenmiştir. 3/9 ve 7/21 hücre modelleri içinde frekans yeniden kullanımı incelenebilir.

Ayrıca bu çalışmada GSM standartlarından 900-1800-1900 standartları incelenmiştir. GSM standartlarının daha yüksek veri, daha iyi servis kalitesi, daha geniş kapasite ve akıllı servisler sağlayacak şekilde yenilenmesi ve geliştirilmesi sürmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde mobil telefon kullanıcılarının artan yüksek hız ve küresel dolaşım talepleri doğrultusunda geliştirilmekte olan 3. nesil mobil sistemler, yer ve uydu birimlerini kullanarak, 2 GHz bandında, dünyanın her yerinden erişim olanağı bulunan mobil multimedya servisleri sağlayacaktır. Bundan sonraki çalışmalarda 3. nesil mobil sistemler incelenebilir. Ayrıca AMR (Adaptive Multi Rate) denilen, konuşma kodlama yönteminin, radyo iletim koşulları ve lokal trafik durumuna göre gerçek zamanlı olarak seçilebileceği, konuşma kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen GSM standardı veya EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) denilen, yeni kodlama ve modülasyon teknikleri kullanarak GSM veri hızını 384 kbps'ye çıkarmayı hedefleyen standart çalışması incelenebilir.

GSM sisteminin bir çok avantajının yanında tabii ki dezavantajları da vardır. Bunlardan en önemlisi dağınık yerleşim bölgelerine hizmet verebilme olayıdır. Her ne kadar GSM, nüfusun dağınık olduğu İskandinav ülkelerinde ilk olarak kullanılmaya başlansa da, nüfusun az, yerleşimin dağınık olduğu bölgelere GSM sistemi kurmak ekonomik değildir. Diğer önemli dezavantajı da kapasite sorunudur. Çünkü GSM'de kapasite yani konuşma kanalı sınırlıdır. Bu sorunların aşılması için çalışmalar sürdürülmektedir.



## **KAYNAKLAR**

- [1] BAYRAKÇI, H.E.,: “Uydu ve HücreseI Mobil Haberleşme Sistemleri”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
- [2] TÜBİTAK, Bilgi Teknolojileri ve Elektronik Araştırma Enstitüsü (BİLTEN).,: “Elektromanyetik Dalgalar ve İnsan Sağlığı Sıkça Sorulan Sorular ve Yanıtları”, TÜBİTAK Matbaası, Ankara, 2001.
- [3] NOKIA.,: “GSM System Training”, Nokia Networks, 2000.
- [4] LEE, W.C.Y.,: “Mobile Cellular Telecommunications Systems”, McGraw-Hill, 1989.
- [5] ERICSSON, Radio System A.B.,: “CME 20 Cell Planning Training Document”, Ericsson Documentation, Sweden, 1994.
- [6] KATHREIN.,: “Kathrein Antenna Electronic Catalogue”, Germany, 1997.
- [7] SUSAM, T.,: “Uydu Verileri ve Sayısal Arazi Modeli ile Tokat Kenti Karar Destek Sisteminin Kurulması”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Anabilimdalı, İstanbul, 2001.

## **EK A. ELEKTROMANYETİK DALGALAR VE İNSAN SAĞLIĞI**

Elektromanyetik dalgalar, birçok doğal ve insan yapımı kaynaklar tarafından yayılmakta ve hayatımızda önemli bir rol oynamaktadır. RF bölgesinde yer alan elektromanyetik dalgalar iletişimde, radyo ve televizyon yayınlarında kullanılmaktadır. Teknolojideki gelişmelerin bir sonucu olarak da elektromanyetik dalgaların kullanımı her geçen gün artmakta ve bundan dolayı günlük yaşantıda doğada bulunanın çok üstündeki seviyelerde elektromanyetik dalgalara mârüz kalınmaktadır.

Cep telefonlarının ve baz istasyonlarının yaydığı elektromanyetik radyasyonun sağlık üzerine etkileri konusunda henüz tam olarak bilinmeyen birçok nokta bulunmaktadır. Bugüne kadar yapılan laboratuvar deneyleri, deney hayvanları ile yapılan çalışmalar ve epidemiolojik araştırmalar bu radyasyonun kanserle bir ilişkisini ortaya koymamıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda cep telefonlarından yayılan elektromanyetik dalgaların beyin fonksiyonlarını kısa süreli etkilediği gösterilmekle birlikte bu değişimlerin baş ağrısı, uykusuzluk veya psikolojik bozukluklarla ilişkisini gösteren bilimsel bir kanıt elde edilmemiştir. Cep telefonu veya araç telefonu kullanımının bugün için kanıtlanmış tek etkisi araç sürerken kaza riskini arttırmasıdır. Bugüne kadar yapılan çalışmalar sonucunda bilimsel olarak zararları belirlenememiş olmakla birlikte, konu üzerindeki çalışmaların devam ettiği unutulmamalıdır. Konunun sağlık açısından önemi göz önüne alındığında, tüketiciler ve özellikle çocuklar bu araçları kullanırken aşırıya kaçmamalı, baz istasyonu ve cep telefonları standartlara uygun olarak imal edilmeli, baz istasyonları anten yerleşimleri yaşam alanları göz önüne alınarak planlanmalı, periyodik kontrolleri yapılmalıdır.

Elektromanyetik radyasyonu yaşamımızdan tümüyle çıkarmamız olası değildir. Dolayısıyla, her yeni teknolojiye olduğu gibi kullanımında dikkatli davranmak, olası zararlarını gözlemek, bilim ve teknolojiyi kullanarak bu zararları en aza indirmek için çalışmak en akılcı yol olarak görünmektedir.

### **Radyasyonun Biyolojik Etkileri**

Nükleer radyasyon iyonize etkisi ile biyolojik maddelerde moleküllerin parçalanmasına ve iyonizasyon gücünden dolayı hücre içinde kimyasal reaksiyonlara sebep olmaktadır. Yüksek nükleer radyasyona maruz kalanlarda rahatsızlıklar:

- Kan ve kan yapan organlarda tahribat,
  - Kısırlık,
  - Gözde katarak,
  - Kanser gibi kötü huylu tümörler,
  - Ölüm
- şeklinde sıralanabilir.

İyonlaşma, bir atomun dış yörüngesinde bulunan elektronun, fotonun çarpması neticesinde kopartılarak atomdan ayrılması ve serbest hale gelmesidir. Örneğin hidrojen atomunda iyonlaşma enerjisi  $13,6 \text{ (eV)} = 21,8 \times 10^{-19} \text{ (joule)}$ 'dür. İyonlaşma molekül yapıda değişime neden olmaktadır. Bu değişime biyolojik dokuda, DNA'nın yapısında, genetik yapıda bozulmalara neden olmaktadır.  $10 \text{ (eV)} = 16 \times 10^{-19} \text{ (joule)}$ 'lük enerjiden daha büyük enerjiye sahip parçacık, biyolojik molekülü iyonlaştırdığından biyolojik bozulmalara neden olabilmektedir.

Diğer taraftan elektromanyetik radyasyon x ve  $\gamma$  ışınları hariç iyonize etkisi olmayan radyasyondur. Elektromanyetik radyasyon etkisinde kalan biyolojik maddeler (canlılar) elektromanyetik enerjiyi absorbe etmektedir. Absorbe edilen elektromanyetik enerji insan vücudunda, ısınmaya sebep olmaktadır. Elektromanyetik radyasyon dokulardaki hücrelerin kimyasal yapılarını bozabilmektedir. Elektromanyetik dalgaların içinde olan insan vücudu baş ve gövde

kısımları bakımından önem taşımaktadır. Bir canlının vücuduna elektromanyetik dalgaların etkisi, dalga boyuna ve vücudun geometrik boyutlarına bağlıdır.

Radyo dalgalarının ve mikrodalgaların etkisi altında kalan bir biyolojik ortamda enerji birikmesi sonucu oluşan ısı artışı, biyolojik maddenin polar moleküllerinde dielektrik gevşemeler oluşturmaktadır. Bu hem biyolojik, hem de biyolojik olmayan maddeler için geçerlidir. Organlar ve organ sistemleri elektromanyetik dalgalardan etkilenmektedir. Bu etkilenme, organlarda bozulma ve yapılarında değişim olarak belli devrelerde ortaya çıkmaktadır.

Elektromanyetik radyasyonun sebep olduğu rahatsızlıklar:

- Hücrelerdeki büyük moleküllerin bozulması,
  - Hücre zarlarının birbirine yapışması,
  - Hücre iyon değerlerinin bozulması,
  - Sinir sisteminin bozulması,
  - Beynin elektriksel işaretinin değişmesi,
  - Uykusuzluk,
  - Baş ağrısı ve baş dönmesi
- olarak özetlenebilir.

Elektromanyetik enerjinin absorbe edilmesinin göze, üreme organlarına, sinir ve dolaşım sistemlerine zararlı etkileri olmaktadır.

Hüresel mobil telefon sisteminde baz istasyonu anteni ve cep telefonu anteni elektromanyetik radyasyon kaynağıdır. Baz istasyonları uygun yerlerde kurulduğunda insan sağlığına önemli bir etkisi olmamaktadır. Ancak 2W çıkış gücüne sahip ve 900 MHz frekansında çalışan benzeri cep telefonlarının insan sağlığına ne şekilde zarar verebileceğinin çok yönlü araştırılması gerekmektedir.

Radyasyon üreten çeşitli kaynaklar vardır. Elektronik cihazlar bunlardan biridir. Elektronik radyasyon kaynaklarının herkesçe bilinen bir örneği tıbbi ve endüstriyel röntgen cihazlarıdır. Bunlar yalnızca x ışını üretirler. Quantum parçacık hızlandırıcıları çeşitli büyüklük ve modelleriyle, her türlü radyasyon üretebilen

elektronik sistemlerdir. Bilgisayar ve televizyon, içinde hızlandırılan elektronların görüntü oluşturmak için ekrana çarptırıldıkları, bu arada zayıf da olsa x ışınlarının üretildiği elektronik radyasyon kaynaklarının bir diğer örneğidir. Bilgisayarın ve televizyonun arkası x ışını bakımından en tehlikeli bölge olduğundan arkası bina dışına doğru veya kullanılmayan alana doğru yönlendirilmelidir. Diğer taraftan televizyon izleme mesafesi, ekranına en az 2 metre uzakta olmalıdır.

Almanya'da 1999 yılında Radyasyon Güvenlik Federal Bürosu tarafından bazı elektrikli cihazlar için 30 cm mesafeden elektrik alan şiddetleri ölçülmüş, alınan değerler Tablo A.1' de verilmiştir.

Tablo A.1 Bazı Elektronik Cihazların Elektrik Alan Şiddeti Değerleri

CİHAZ	ELEKTRİK ALAN ŞİDDETİ DEĞERİ (V/m)
MÜZİK SETİ	180
ÜTÜ	120
BUZDOLABI	120
MİKSER	100
TOST MAKİNASI	80
SAÇ KURUTMA MAKİNASI	80
TV	60
KAHVE MAKİNASI	60
ELEKTRİK SÜPÜRGESİ	50
BAZ İSTASYONU	10
ELEKTRİK FIRINI	8
AMPUL	5

## Elektromanyetik Radyasyon

### Elektromanyetik Işıma

Einstein'in foton teorisine göre ışık bir foton hareketidir. Elektromanyetik dalga ışınları da bir foton hareketidir. Ancak bu ışınlar x ve  $\gamma$  ışınları hariç düşük enerjili olduklarından atom veya moleküllere çarptıklarında bunların elektronlarını ayıramazlar ve böylece atomları iyonize edemediklerinden bunlara iyonize olmayan radyasyon denir. Boşlukta elektromanyetik dalgalar ışık hızı ile yayılmaktadır.

Elektromanyetik alan ışımasına aynı zamanda iyonize yapmayan radyasyon da denilmektedir. Maddeleri iyonize edecek kadar enerjisi olmayan bütün elektromanyetik radyasyonlara iyonize yapmayan radyasyon adı verilmektedir.

### Frekans Spektrumu

Elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesi denince genel olarak 1 GHz–300 GHz arasındaki frekans bandı anlaşılmaktadır. Bu bölge 0.3mm – 30cm dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgalar bölgesidir.

Elektromanyetik spektrumu Tablo A.2'deki gibi değişik tekniklerin uygulanabildiği bölgelere ayırmak mümkündür.

Tablo A.2 Frekans ve dalga boyunda noniyonize elektromanyetik spektrum

FREKANS (Hz)	DALGA BOYU (m)	Noniyonize Radyasyonlar
$1 - 10^2$	$3 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^6$	Elektrik dalgaları
$10^2 - 10^4$	$3 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^4$	Radyo frekansları
$10^4 - 10^8$	$3 \cdot 10^2 - 30$	Kısa dalga radyo frekansları
$10^9 - 10^{12}$	$0,3 - 3 \cdot 10^{-4}$	Mikrodalga
$10^{12} - 10^{14}$	$3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-6}$	İnfaruj
$10^{14} - 10^{16}$	$3 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-8}$	Görünen ışık
$10^{16} - 10^{20}$	$3 \cdot 10^{-8} - 3 \cdot 10^{-12}$	Ultraviole

Tabloda noniyonize radyasyonlarının elektromanyetik spektrumdaki yerleri görülmektedir. Frekansın birimi Hertz (Hz) ve dalga boyunun birimi metre (m)'dir. Optik frekanslarda, dalga boyu mikron ( $\mu$ ), milimikron ( $m\mu$ ) ve Angstrom (A) sıkça kullanılmaktadır. Burada;

$$1(\mu) = 10^{-6} \text{ m}, 1(m\mu) = 10^{-9} \text{ m}, 1(\text{A}) = 10^{-10} \text{ m}'\text{dir.}$$

Günümüzde mikrodalgaların çok yönlü uygulama alanları vardır. Özellikle haberleşme tekniğinde, örneğin uzay haberleşmesinde geniş ölçüde mikrodalga sistemleri kullanılmaktadır. Çok değişik tiplerde olan mikrodalga radarları, füze izleme, füze yönetme, hava trafik, hava tahmini, hava trafik kontrol, liman trafiği kontrolü gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Radar ve haberleşmenin yanında, mikrodalga gücünden endüstri alanlarında da geniş ölçüde faydalanılmaktadır. Isıtma, kurutma, pişirme, fizik tedavi uygulamalarında güçlü, kontrollü mikrodalga enerjisi kullanılmaktadır.

İşte böyle geniş bir uygulama alanında karşımıza çıkan mikrodalgaların, canlılar özellikle insanlar üzerinde biyolojik etkileri yaratabileceği göz önüne alınmalıdır. Mikrodalgalar iyonize olmayan radyasyon etkileri göstermektedir. İyonize olmayan radyasyonlar canlılar üzerinde biyolojik etkiler oluştururlar. Bunlara örnek olarak, gözlerde katarakt oluşmasını, davranış bozukluklarını ve hormonal değişiklikleri verebiliriz.

Tablo A.3 Frekans ve dalga boyunda iyonize elektromanyetik spektrum

FREKANS (Hz)	DALGA BOYU (m)	İyonize Radyasyonlar
$10^{20} - 10^{22}$	$3 \cdot 10^{-12} - 3 \cdot 10^{-14}$	x ışınları
$10^{22} - 10^{24}$	$3 \cdot 10^{-14} - 3 \cdot 10^{-16}$	$\gamma$ ışınları

### Elektromanyetik Dalgaların Biyolojik Etkileri

Elektromanyetik dalgaların içinde olan insan vücudu baş ve gövde kısımları bakımından önem taşımaktadır. Bir canlının vücuduna elektromanyetik dalgaların etkisi, dalga boyuna ve vücudun geometrik boyutlarına bağlıdır. Büyük dalga boylarında yansımalar oluşur ve elektromanyetik dalgaların etkisi azalır. Fakat dalga boyu, rezonansın oluşabileceği bir değere düşürüldüğünde önemli miktarda enerji yutulması meydana gelmektedir. Daha yüksek frekanslarda ise bu etki, elektromanyetik dalgaların yansımaları ve yutulması şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Elektromanyetik dalgaların biyolojik etkileri için, radyo dalgaları ve mikrodalgalarla ilgili araştırmaların alt sınırı 10 MHz olarak seçilmiştir. Böylece endüstride, tıpta ve özel hayatta çok kullanılan 27 MHz bandı da araştırma sınırları içine alınmış olmaktadır.

Normal bir insan vücudu 1,7 m boyunda bir cisim olarak düşünöldüğünde, çeyrek dalga rezonansı 35 MHz civarında meydana gelmektedir. Aynı cisim topraklanmamış olarak düşünöldüğünde az önceki frekansın iki katında yarım dalga rezonansı oluşmaktadır.

İnsan başı da bir cisim olarak ele alınırsa, boyutlarına göre, rezonans yaklaşık olarak 3 GHz'de meydana gelmektedir. Ayrıca beynin iletkenliği, kasların iletkenliğinin yanında daha küçük olduğu göz önüne alınırsa, elektromanyetik dalgaların beyin ve beyinciğe etkisinin olabileceği düşünölebilir.

Frekans yükseldikçe, elektromanyetik dalgaların biyolojik dokulara nüfuzu azalır ve 10 GHz'in üstündeki frekanslarda bütün etkiler vücut yüzeyinin ancak birkaç milimetre derinliğine kadar olan bölge içinde oluşabilir. Canlı bir organizmanın içerdii dokuların dielektrik özellikleri, vücudun dıştan gelen elektromanyetik dalgalarla etkileşiminin saptanmasında kullanılabilir parametrelerdendir.

Elektromanyetik dalgaların içindeki biyolojik bir ortamda enerji birikmesine ve bunun sonucu oluşan ısı artışına polar moleküllerin dielektrik gevşemelerinin neden olduğu bilinmektedir. Bu hem biyolojik, hem de biyolojik olmayan maddeler için geçerlidir. Bir biyolojik zarın kalınlığı  $10^{-8}$  m mertebesindedir ve üstünde  $10^6 - 10^7$  V/m'lik bir elektrik alanı vardır. Normal durumda bu zarın üstünde 10-100 mV'luk bir  $\Delta V_m$  potansiyel farkı bulunmaktadır. Örneğin, havadaki şiddeti 200 V/m olan 10 mW/cm<sup>2</sup> güç yoğunluğundaki bir elektrik alanı, mikrodalga frekanslarında zarın üstünde  $10^{-7}$  V'luk bir potansiyel farkı oluşturur. Bu  $\Delta V_m$  ile kıyaslandığında ihmal edilebilir bir gerilimdir. Batı ülkelerinde 10 mW/cm<sup>2</sup> değeri ısı etki nedeniyle oluşabilecek rahatsızlıklar açısından maruz kalınabilecek maksimum değer olarak kabul edilmiştir.



Dokularda ısı artışı kan akımında hızlanmaya yol açmaktadır. Isı artışının en belirgin etkilerinden biri de kaslarda gevşemeye yol açması, bunun yanı sıra kas hareketlerinin daha güçlü yapılabilmesini sağlamasıdır. Genel dolaşımında meydana gelen hızlanma solunum sayısı ve hacminde artışı da beraberinde getirmektedir. İç salgı bezlerine uygulanırsa ilgili bezde salgı artabilir. Özellikle hipofiz, böbrek-üstü bezleri ve pankreası etkilemektedir.

Noniyonize radyasyonların temel etkilerinin yanı sıra nontermal etkilerinin de olabileceği araştırılmalıdır. Bazı ülkelerde yerleşim alanlarında elektromanyetik radyasyon miktarı saptamaları yapılmıştır. 10 mW/cm<sup>2</sup> ye ortak literatürde “düşük doz radyasyon” denilmektedir.

Yapılan çalışmalar neticesinde insanlardaki elektromanyetik radyasyonun etkileri:

- Genlerde zamanla oluşan değişimler, bozulmaya uğramalar,
  - Gözlerde katarakt oluşması,
  - Annelerin hamilelik döneminde ilaç, alkol ve bunun gibi toksik maddelerin ve radyasyon aktiviteye maruz kalması gibi olaylar sonucunda bebeğin anne karnında gelişmesi esnasında organ ve uzuv bozuklukları,
  - Davranış bozuklukları: Herhangi bir organdaki ve fonksiyonel patoloji sonucu kişinin toplumdaki sapma gösteren normal dışı davranışlar,
  - Gerek çocuğun normal gelişme esnasında ya da böbrek-üstü hipofiz bezlerinin diğer hormon salgılayan bezlerin hastalığı sonucu, bunların salgılarındaki hormonal değişiklikler,
  - Kan hücrelerindeki beyaz küre, alyuvarlar ve trombositlerde çok çeşitli nedenlerden dolayı azalma ya da artma; parçalanmasına hemopoetik değişiklikler denilmektedir. Bunlar dalak, karaciğer veya lenf sistemlerinde büyümelere etkisi olabilmektedir.
  - Beyin ve vücut gelişme geriliği,
  - Kan-beyin bariyerlerinde düşme,
  - Demir eksikliğinden anemi,
  - Lökositlerin (akyuvarların) artması,
- şeklinde sıralanabilir.

Birçok faktör elektromanyetik radyasyonun organdaki doz oranını etkilemektedir; örneğin, frekans ve dalga boyu, alan yoğunluğu, ısının yönü, vücudun şekli, vücudun oryantasyonu gibi. Frekansa göre tüm organizmanın enerji depolama oranı değişir ve bu oran “rezonans yutma frekansı”nda maksimum değerdedir. Belli bir örnek için rezonans frekansı objenin büyüklüğü ve yoğunluğu ile ilgilidir.

### **Elektromanyetik Dalgaların Yutulma Limitleri**

Elektromanyetik radyasyonun artması ile insan sağlığı üzerinde zararlı etkileri çoğalmaktadır. Elektromanyetik radyasyonun insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri azaltmak için elektromanyetik radyasyonun belirli değerleri aşmaması için standartlar geliştirilmiştir. Elektromanyetik dalgalar canlıya ulaştığında canlı tarafından yutulmaktadır. Elektromanyetik enerji yutulması ile ilgili tanım ve büyüklükler ortaya atılmıştır.

### **Özgül Yutulma**

Özgül yutulma biyolojik dokunun birim kütlesi tarafından yutulan elektromanyetik enerji miktarıdır. Çok küçük  $dm$  kütlesi tarafından yutulan enerji  $dW$  ise özgül yutulan kütle  $dm = \rho dv$  olmak özgül yutulma

$$S_A = \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dv}$$

olarak tanımlanmaktadır. Özgül yutulma birimi joule/kg olup,  $\rho$  ise  $\text{kg/m}^3$  biriminde vücut yoğunluğudur.

### **Özgül Yutulma Hızı**

Vücut dokuları tarafından yutulan elektromanyetik enerjinin yutulma hızı

$$S_{AR} = \frac{d(S_A)}{dt}$$

şeklinde tanımlanabilir. Özgül yutulma hızının birimi W/kg'dır. Burada özgül yutulma

$$S_A = \int S_A dt$$

olarak,  $S_{AR}$  özgül yutulma hızının zamana göre belirsiz integrali şeklinde ifade edilebilir. Yukarıdaki bağıntılardan

- Vücuttaki elektrik alanı;  $E$  (V/m),
  - Vücut iletkenliği;  $\sigma$  (mho/m),
  - Vücudun özgül ısı kapasitesi;  $c$  (joule/kg-k),
  - Vücut sıcaklığını zamana göre değişim hızı;  $\frac{dT}{dt}$  (K°/sn),
  - Vücutta radyasyon neticesinde oluşan yüzeysel akım yoğunluğu;  $J$  (A/m<sup>2</sup>)
- olmak üzere, özgül yutulma hızı

$$S_{AR} = \sigma \frac{E^2}{\rho} = c \frac{dT}{dt} = \frac{(J)^2}{\rho \sigma}$$

şeklinde bulunabilir.

4 W/kg'lık radyasyon içinde bulunan bir kişinin vücut sıcaklığı 1[°C]'ye yakın yükselmektedir. Elektromanyetik radyasyonun insan sağlığı üzerinde etkisinin başladığı  $S_{AR}$  değeri 4 W/kg olarak kabul edilmektedir. Elektromanyetik radyasyonun mesleki etkileme sınırı ,sınır değerinin onda biri olan 0,4 W/kg değeri alınmıştır. Yine halk sağlığı için  $S_{AR}$  değeri ise 0,08 W/kg olarak seçilmiştir.

### Elektromanyetik Radyasyonda Ölçümler

Elektromanyetik ışımada alan şiddeti veya güç yoğunluğu ölçülebilmektedir. Alan şiddeti veya güç yoğunluğu ölçen cihazlar,

- Dipol veya çerçeve anten,
- Bağlantı kabloları,
- Ölçme ve değerlendirme

birimlerinden oluşmaktadır. Dipol antenler elektrik alan ve çerçeve antenler de manyetik alan ölçmektedir. Antenlerden alınan işaretler, bağlantı kabloları ile ölçme ve değerlendirme birimine iletilmektedir.

Baz istasyonları ve cep telefonlarının alanları ölçümleri spektrum analizörü cihazı ile yapılabilir. altındaki elektrik alanı veya manyetik alanın etkin değeri ölçülmektedir. 1 MHz frekansının üstündeki elektromanyetik dalgaların elektrik alanının karesi, manyetik alanının karesi veya güç yoğunluğunun ortalama değeri ölçülmektedir. Burada elektrik alan birimi (V/m), manyetik alan birimi (A/m) ve güç yoğunluğunun birimi ( $W/m^2$ ) veya ( $mW/m^2$ )'dir. Yakın alanda güç yoğunluğunun ölçülmesi zor olduğundan elektrik alanın ve manyetik alanın etkin değeri ölçülebilmektedir.

Tablo A.4'de elektromanyetik radyasyonun mesleki etkileme sınırları olarak elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunlukları verilmiştir.

Tablo A.4 Elektromanyetik radyasyon mesleki etkilemede alan ve güç yoğunluğu seviyeleri

(MHz)	Rms Elektrik Alan Frekans Bölgesi (V/m)	Rms Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Yöresel Düzlemsel Dalga Güç Yoğunluğu Şiddeti ( $mW/cm^2$ )
10 – 400	61	0,16	1
400 - 2000	$3\sqrt{f}$	$0,008\sqrt{f}$	$f/400$
2000- $300 \cdot 10^3$	1,37	0,36	50

Tablo A.5'de elektromanyetik radyasyonun halk sağlığı için etkileme sınırları olarak elektrik alan, manyetik alan ve güç yoğunlukları verilmiştir.

Tablo A.5 Elektromanyetik radyasyonun halk sağlığını etkilemede alan ve güç yoğunluğu seviyeleri

(MHz)	Rms Elektrik Alan Frekans Bölgesi (V/m)	Rms Manyetik Alan Şiddeti (A/m)	Yöresel Düzlemsel Dalga Güç Yoğunluğu Şiddeti ( $mW/cm^2$ )
10 – 400	27,5	0,073	0,2
400 - 2000	$1,375\sqrt{f}$	$0,0037\sqrt{f}$	$f/200$
2000- $300 \cdot 10^3$	61	0,16	1

## **GSM Baz İstasyonları İçin Standart ve Sınır Değerler**

Avrupa ülkelerinde GSM baz istasyonlarının kuruluşlarına yönelik standartlar, ETSI (European Telecommunication Standardization Institute), Amerika Birleşik Devletleri'nde FCC (Federal Communication Commission) tarafından belirlenmektedir.

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda birçok ülkede oluşturulan standart ve sınır değerlerin yanı sıra uluslararası standartlar ve sınır değerlerde vardır.

Uluslararası alanda ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – Uluslararası İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyondan Korunma Komitesi) tarafından belirlenen sınır değerler birçok Avrupa ülkesinde ve dünyanın farklı ülkelerinde en yaygın kabul gören değerler arasındadır. ICNIRP, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Dünya Çalışma Örgütü (ILO) tarafından resmen tanınan bağımsız bir araştırma kuruluşudur. ICNIRP Kılavuzu'nda (ICNIRP Guidelines) yer alan çalışmalar üniversiteler ve araştırma kuruluşları ile işbirliği yapılarak, çok sayıda mühendis, biyolog, fizikçi, epidemiyolojist ve ilgili başka bilim adamlarından oluşan disiplinler arası bir ekip tarafından yürütülmüştür.

Amerika Birleşik Devletleri'nde bu sınır değerler FCC (Federal Communications Commission – Federal Komünikasyon Komisyonu) tarafından belirlenmekte ve bu sınır değerlerin belirlenmesinde IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) ve ANSI (American National Standards Institute – Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü) tarafından oluşturulan standart değerler temel olarak alınmaktadır. IEEE/ANSI standartları da sınır değerlerin belirlenmesinde yaygın olarak kabul gören ve temel alınan değerlerdir.

Elektromanyetik alanların insan sağlığına etkileri konusunda oluşturulmuş sınır değerler frekansa göre değişiklik gösterir. Örneğin baz istasyonlarının çalışma frekanslarını içine alan 400-2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için

ICNIRP Kılavuzunda yer alan sınır değerler elektrik alan şiddeti için  $1,375\sqrt{f}$  V/m ( $f$  = frekans (MHz)); manyetik alan şiddeti için  $0,0037\sqrt{f}$  A/m ve elektromanyetik güç yoğunluğu için  $f/200$  W/m<sup>2</sup> ifadeleriyle verilmiştir. Bu ifadelerde verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bunun yanında IEEE ve FCC standartlarında yer alan güç yoğunluğu üst sınırı 300-1500 MHz frekans aralığında  $f/150$  W/m<sup>2</sup>, 1500 – 100000 MHz frekans aralığında 10,0 W/m<sup>2</sup> olarak verilmiş olup, bu ifadelerle verilen sınır değerler otuz dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir.

Buna göre genel yaşam alanlarında, GSM900 ve GSM1800 sistemleri için kontrolsüz etkilenme için sınır değerler Tablo A.6'da verilmiştir.

Tablo A.6 Kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

900 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	41,25 V/m	--
Manyetik Alan Şiddeti	0,111 A/m	--
Güç Yoğunluğu	4,5 W/m <sup>2</sup>	6,0 W/m <sup>2</sup>

1800 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik Alan Şiddeti	58,33 V/m	--
Manyetik Alan Şiddeti	0,157 A/m	--
Güç Yoğunluğu	9,0 W/m <sup>2</sup>	10,0 W/m <sup>2</sup>

Yukarıda verilen sınır değerlerin dışında;

İngiltere'de sınır değerler:

900 MHz'te 5,7 W/m<sup>2</sup> (46,4 V/m) ve 1800 MHz'te 10,0 4,5 W/m<sup>2</sup> (61,4 V/m)'dir.

İsviçre, genel olarak ICNIRP standardını etmekte birlikte tek bir baz istasyonu anteni için sınır değeri 900 MHz'te 0,042 W/m<sup>2</sup> (4,0 V/m) ve 1800 MHz'te 0,095 W/m<sup>2</sup> (6,0 V/m) olarak belirlenmiştir.

İtalya, günde 4 saatin altında maruz kalınan durumlar için sınır değerler olarak  $1,0\text{W/m}^2$  (19,4 V/m), 4 saatin üstü için  $0,1\text{ W/m}^2$  (6,1 V/m) olarak belirlemiştir. Ayrıca İtalya’da yerel yönetimlere bu sınır değerleri düşürme yetkisi de verilmiştir.

Rusya’da sınır değerler:

900 MHz’te  $4,5\text{ W/m}^2$  (3,0 V/m)dir.

Çin’de sınır değerler:

900 MHz’te  $4,5\text{ W/m}^2$  (5,0 V/m)dir.

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.07.2001 tarihli resmi gazetede yayınlanan “10 KHz – 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm Yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik” ile Türkiye’de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzunda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir. Buna göre tek bir cihaz için 400 – 2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Kurumu’nun yönetmeliğinde yer alan sınır değerler, elektrik alan şiddeti için  $0,341\sqrt{f}$  V/m ( $f$  = frekans (MHz)), manyetik alan şiddeti için  $0,0009\sqrt{f}$  A/m ve güç yoğunluğu için  $f/3200\text{ W/m}^2$  ifadeleriyle verilmiştir. Verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bu ifadeler kullanılarak Türkiye’de 900 MHz ve 1800 MHz’de kontrolsüz etkilenme için uyulması gereken sınır değerler Tablo A.7’de verilmiştir.

Tablo A.7 Türkiye’de kontrolsüz etkilenme için sınır değerler

Frekans	900 MHz		1800 MHz	
	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri	Tek bir cihaz için sınır değer	Ortamın toplam sınır değeri
Elektrik Alan Şiddeti	10,23 V/m	41,25 V/m	14,47 V/m	58,34 V/m
Manyetik Alan Şiddeti	0,027 A/m	0,111 A/m	0,038 A/m	0,157 A/m
Güç Yoğunluğu	$0,28\text{ W/m}^2$	$4,5\text{ W/m}^2$	$0,56\text{ W/m}^2$	$9,0\text{ W/m}^2$

Bilimsel çalışmalar sonucunda insan vücut sıcaklığını  $1^\circ\text{C}$  arttırabilecek alt değerler belirlenmiş, mesleği gereği bu tür radyasyonun etkisinde kalanlar için bu değerlerin

güç yoğunluğu cinsinden  $1/10^7$ unun, genel insan yaşam alanları için ise 5 kat daha ek koruma faktörü eklenerek  $1/50^7$ sinin sınır değerler olarak alınması kabul edilmiştir. Kontrollü ve kontrolsüz etkilenme için sınır değerler belirlenirken mesleği gereği elektromanyetik enerjinin etkisinde kalanların konu ile ilgili olarak bilgilendirilmiş ve gerekli önlemleri almış olabilecekleri varsayımı yapılmış ve genel yaşam alanlarında insanların kendi bilgi ve kontrolleri dışındaki etkilenmeleri düşünülerek kontrolsüz alanlar için sınır değerlere ek olarak 5 kat koruma faktörü eklenmiştir.

GSM 900 ve GSM 1800 sistemleri için kontrollü etkilenme için sınır değerler Tablo A.8’de verilmiştir.

Tablo A.8 Kontrollü etkilenme için sınır değerler

900 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik alan şiddeti	90,0 V/m	--
Manyetik alan şiddeti	0,24 A/m	--
Güç yoğunluğu	22,5 W/m <sup>2</sup> .	30,0 W/m <sup>2</sup> .

1800 MHz için sınır değerler	ICNIRP	IEEE/FCC
Elektrik alan şiddeti	127,28 V/m	--
Manyetik alan şiddeti	0,34 A/m	--
Güç yoğunluğu	45,0 W/m <sup>2</sup> .	50,0 W/m <sup>2</sup> .

Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1996’da TS ENV 501666-2 Sayı ve “İnsanların Elektromanyetik Alanlara Maruz Kalması – Yüksek frekanslar (10 kHz – 300 GHz)” başlıklı bir standart yayımlamıştır. Ayrıca TC Çevre Bakanlığı’nın 11 Mayıs 2000 tarihli genelgesi bulunmaktadır.

Son olarak, Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.7.2001 tarihli resmi gazetede yayımlanan “10 KHz – 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik” ile Türkiye’de geçerli olan sınır değerleri belirlenmiştir. Bu yönetmelikte yer alan sınır



değerlerin belirlenmesinde ICNIRP Kılavuzu'nda yer alan sınır değerler esas olarak alınmış olup, buna ek olarak her baz istasyonu için ayrıca sınırlama getirilmiştir. Buna göre tek bir cihaz için 400 – 2000 MHz frekans bandında genel yaşam alanları için Telekomünikasyon Kurumu'nun yönetmeliğinde yer alan sınır değerler, elektrik alan şiddeti için  $0,341\sqrt{f}$  V/m ( $f = \text{frekans(MHz)}$ ), manyetik alan şiddeti için  $0,0009\sqrt{f}$  A/m ve güç yoğunluğu için  $f/800$  W/m<sup>2</sup> ifadeleriyle verilmiştir. Verilen sınır değerler altı dakikalık ölçüm sonucunda elde edilecek ortalama değerler içindir. Bu ifadeler kullanılarak Türkiye'de 900 MHz ve 1800 MHz'de uyulması gereken sınır değerler Tablo 5.7'de verilmiştir.

### **Baz İstasyonlarında Güvenlik Mesafesi**

Baz istasyonlarındaki antenler dar bir bölgeyi etkileyen yönlü antenlerdir. Bu antenler arkalarında ya da diplerinde ısımanın çok az olacağı biçimde tasarlanmışlardır. Bu nedenle buldukları binada yaşayanları yüksek risk grubu haline getirmezler. Ancak antenin konumu, antenin ışıma örüntüsünün kurulduğu binayı içine almayacak şekilde belirlenmelidir. Ayrıca, anten için yer seçimi ve antenin kurumu sırasında yakın alandaki binaların risk altına alınmamasına dikkat edilmelidir. Anten yeri, çalışma frekansı ve çıkış gücüne göre hesaplanacak güvenlik mesafesi içinde insanların istem dışı ve sürekli maruz kalmayacağı şekilde seçilmelidir.

Telekomünikasyon Kurumu tarafından 12.7.2001 tarihli resmi gazetede yayımlanan "10 KHz – 60 GHz Frekans Bandında Çalışan Sabit Telekomünikasyon Cihazlarından Kaynaklanan Elektromanyetik Alan Şiddeti Limit Değerlerinin Belirlenmesi, Ölçüm yöntemleri ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" 6.maddesi gereği;

$$d = \frac{\sqrt{30 \times P \times 10^{G/10}}}{0,341 \times \sqrt{f}}$$

dir. Burada;

d = Güvenlik Mesafesi (m)

P = Anten Çıkış Gücü (W)

**G = Anten Kazancı (dBi)**

**f = Frekans (MHz)**

**Örnek: 1800 MHz'de çalışan üç sektörlü bir baz istasyonunun anten kazançları 17,5 dBi, anten çıkış güçleri 10,4 W olduğuna göre güvenlik mesafesi kaç m'dir?**

$$d = \frac{\sqrt{30 \times P \times 10^{G/10}}}{0,341 \times \sqrt{f}} = \frac{\sqrt{30 \times 10,4 \times 10^{17,5/10}}}{0,341 \times \sqrt{1800}} = 9,16 \text{ m}$$



## **EK B. MOBİL TELEKOMÜNİKASYON ŞEBEKELERİNE AİT BAZ İSTASYONLARININ KURULUŞ YERİ , ÖLÇÜMLERİ , İŞLETİLMESİ VE DENETLENMESİ HAKKINDA YÖNETMELİK**

### **BİRİNCİ BÖLÜM**

#### **Amaç , Kapsam ve Tanımlar**

##### **Amaç**

**Madde 1-** Bu yönetmeliğin amacı :

- a) Mobil telekomünikasyon şebekelerine ait baz istasyonlarıyla ilgili elektrik ve manyetik alan şiddetleri ile elektromanyetik alan güç yoğunluğu ölçüm esaslarını;
- b) Ölçüm sonucu elde edilen değerlerin karşılaştırılmasına esas olan ve uluslararası uygulamada kabul görmüş ICNIRP ( International Commission on Nonionizing Radiation Protection ) kuruluşunca önerilen limit değerlerini ;
- c) Mobil telekomünikasyon şebekelerine ait baz istasyonlarının kuruluş yeri , işletilmesi ve denetlenmesi esaslarını; belirlemektir.

##### **Kapsam**

**Madde 2-** Bu yönetmelik; Ülkemizde mevcut 450, 900 ve 1800 MHz frekans bandında çalışan mobil telekomünikasyon şebekeleri ile, ileride bu alanda hizmete konulacak yeni nesil şebekelerin baz istasyonlarının kurulma ve çalıştırılmaları sürecinde bu yönetmelikle belirlenmiş olan limit değerlerin işletmecilerce korunup korunmadığının belirlenmesi için yapılacak olan ölçüm yöntemleri ile; kuruluş yeri, işletilmesi ve denetlenmesi ile ilgili esasları kapsar.

##### **Yasal Dayanak**

**Madde 3-** Bu yönetmelik; 9.4.1987 tarih ve 3348 sayılı Ulaştırma Bakanlığının Teşkilat ve Görevleri Hakkındaki kanunun 2 , 13 ve 35 inci ; 5.4.1983 tarih ve 2813 sayılı Telsiz Kanununun 4 ve 29 uncu ve 4.2.1924 tarih ve 406 sayılı Telgraf ve Telefon Kanununun 2 , 3 ve Ek 18 inci maddelerine dayanılarak düzenlenmiştir.

##### **Tanımlar**

**Madde 4-** Bu yönetmelikte geçen ;

- a) Bakanlık: T.C. Ulaştırma Bakanlığı'm ,
- b) Elektrik Alan Şiddeti (E) (Volt / metre): Elektrik alanındaki bir elektrik yüküne etki eden vektörel kuvvet miktarını ;
- c) Manyetik Alan Şiddeti (H) (Amper/metre) : Manyetik akı yoğunluğunun, ortamın geçirgenliğine oranını ;
- d) Elektromanyetik Alan (EMF) : Elektrik ve manyetik alan bileşenleri olan dalgaların oluşturduğu alanı ;
- e) İstasyon : Mobil telekomünikasyon şebekelerine ait radyo alıcı/verici istasyonunu ;
- f) Güç Yoğunluğu (S) (Watt / (metre)<sup>2</sup> ) : Birim alana düşen ve elektromanyetik dalganın hareket doğrultusuna dik olan, yüzeydeki güç yoğunluğunu ;
- g) Radyofrekans (RF) : Radyo iletişimde kullanılan ve 10 KHz ile 300 GHz arası olan radyo dalgalarını ;
- h) Baz istasyonu kontrolörü (BSC) : Radyo baz istasyonlarını ve radyo kaynaklarını kontrol eden ve yöneten üniteyi ;
- i) Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC) : Mobil abonelerin yapmak istediği haberleşmeyi gerçekleştiren, yönlendirme işlemlerini yapan ve haberleşmenin sonuçlandırılmasını sağlayan anahtarlama görevini üstlenmiş üniteyi ;
- j) Anten : Elektromanyetik dalgaların havaya yayılmasını sağlayan üniteyi ;
- k) ICNIRP (International Commission on Nonionizing Radiation Protection) : Uluslar arası İyonlaştırılmayan Radyasyondan Korunma Komisyonu Kuruluşunu ;
- l) ETSI (European Telecommunication Standardization Institute ) :Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü'nü ;
- m) TSE : Türk Standartları Enstitüsü'nü ;ifade eder.

## İKİNCİ BÖLÜM

### Ölçüm Esasları

#### Ölçümü Yapacak Yetkili Kuruluşlar

Madde 5- Bu yönetmelikte belirtilen ölçümler;

- a) Bakanlık ve/veya görevlendireceği kurum ve/veya kuruluşlar,
- b) TÜBİTAK'a ait ölçüm merkezleri,

- c) Bakanlık'ca tesbit edilecek Üniversitelere ait ölçüm merkezleri,
- d) Uluslararası akreditasyon belgesi olan gerçek veya tüzel kişiliğe sahip bağımsız elektromanyetik alan ölçüm laboratuvarları,
- e) Akredite laboratuvarlar tarafından ölçüm cihazları kalibre edilmiş olan ve Bakanlık'ca onaylanan ölçüm kurum veya kuruluşları,
- f) Bakanlık denetiminde yapılmak kaydıyla; mobil telekomünikasyon şebekesi işletmecileri tarafından yapılır.

### **Ölçümde Kullanılacak Cihazlar ve Teknik Özellikleri**

Madde 6- Ölçüm yapacak kurum ve kuruluşlarda bulunması gerekli asgari cihazlar ve bu cihazlara ait teknik özellikler aşağıda sıralanmıştır:

- a) Cihazlar İstasyonların çalışma frekanslarında (450, 900 ve 1800 MHz) ölçüm yapabilecek uygun Elektrik Alan Şiddeti ve/veya Manyetik Alan Şiddeti algılayıcılarına (Problarına) sahip olacaktır.
- b) Ölçümlerde kullanılacak cihazlar uluslararası ETSI Standartlarında belirtilen teknik özelliklere sahip olacaklardır.
- c) Cihazlar ortamdaki toplam Elektromanyetik Alan Şiddeti veya belirli bir frekanstaki şiddeti ölçebilecek özelliklere sahip olacaklardır.
- d) Cihazlar Elektrik Alan Şiddeti , Manyetik Alan Şiddeti ve Güç Yoğunluğu cinsinden ölçüm yapacak niteliğe sahip olacaktır.
- e) Cihazlar zamana göre ortalama alabilme yeteneğine sahip olacaktır.
- f) Cihazlar algılayıcıların (probların) konumuna göre ortalama hesaplayabilme yeteneğine sahip olacaktır.
- g) Cihazlar yaptıkları ölçümleri kaydetme ve bilgisayara aktarma gibi özelliklere sahip olacaktır.
- h) Ölçümlerde kullanılacak tüm cihazlar en geç altı ayda bir kalibrasyon işlemine tabi tutulacaktır.

### **Ölçüm Personeli**

Madde 7- Ölçümler, telekomünikasyon alanında tecrübesini belgeleyen mühendisler ve/veya bunların kontrolü altında elektromanyetik uyumluluk konusunda özel eğitim almış teknik personel tarafından yapılacaktır.

### **Ölçüm Öncesi Yapılacak İşlemler**

Madde 8- Ölçüm öncesi yapılacak işlemler aşağıda belirtilmiştir.

- a) Ölçüm yapacak kuruluşlar, bir başvuru formu ile ölçüm yapacakları istasyonun adresini bildirerek; istasyonun tipi, anten tipleri, verici sayısı, kaç sektörlü bir istasyon olduğu bilgilerini ölçümden önce Bakanlık'tan temin edeceklerdir.
- b) Ölçümü yapılacak istasyon, transmision ve radyo kaynakları açısından normal ve çalışır bir durumda ve bağlı bulunduğu Baz İstasyonu Kontrolörü (BSC) ve Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC) ile normal bir şekilde haberleşir vaziyette olacaktır.
- c) Ölçüm personeli ölçüm esnasında üzerinde ölçüm sonuçlarını etkileyebilecek herhangi bir elektromanyetik alan kaynağı üreten cihaz ( mobil telefon, çağrı cihazı, telsiz cihazı vb.) taşımayacaklar veya kapalı durumda tutacaklardır.
- d) Ölçüme başlamadan önce ölçüm yapılacak alana yakın diğer vericilerin (elektromanyetik alan oluşturacak diğer istasyonlar, yüksek gerilim hatları, FM ve TV vericileri, jeneratör binaları vb.) ölçüm noktalarını etkileyip etkilemediği, istasyonu kapatılarak yapılacak bir ölçümle tespit edilir.

### **Ölçüm sırasında yapılacak işlemler**

Madde 9- Ölçüm sırasında yapılacak işlemler aşağıda belirtilmiştir.

- a) Ölçüm öncesi temin edilen bilgilerden, antenlerden hangilerinin verici veya verici/alıcı oldukları belirlenecek ve sadece bu baz istasyonu antenleri için ölçüm yapılacaktır.
- b) Ölçümler, insanların istasyonlara serbestçe yaklaşabilecekleri yerlerde yapılacaktır.
- c) Yönlendirilmemiş antenlerde ölçüm, antenin tüm çevresinde ve aynı zamanda uzaktan yakına doğru yaklaşılarak yapılacaktır.
- d) Yönlendirilmiş antenlerde ölçümler antenin yüzeyine tam karşıdan, uzaktan yakına doğru yaklaşılarak yapılacaktır. Yönlendirilmiş antenlerin tam karşısına geçilemiyorsa, karşısına en yakın açıya gelinmek suretiyle ölçüm yapılacaktır.
- e) Uzaktan yakına doğru yaklaşılarak yapılacak her bir ölçüm için ; her bir noktada ayrı ayrı sabit durup, 6 dakikalık bir süre ile kayıt yapıp, bu kaydın ortalaması alınacaktır. Ölçümler, ölçümü yapılacak hücrelerin konuşma yükünün en yoğun olduğu saatlerde yapılacaktır.

f) Kullanılacak ölçüm aletinin algılayıcısı (prob) yerden 1.6 metre yükseklikte tutulacaktır. Konumsal ortalama alınması durumunda ise yerden başlayarak istenilen yüksekliğe kadar değişik noktalarda örnekler alınarak ölçüm yapılacaktır.

g) Ölçüm sırasında çevrede başka bir anten, verici gibi güçlü bir elektromanyetik alan kaynağı tespit edilmiş ve ölçüm aletleri frekansa göre seçici ölçüm yapamıyor ise ölçümler aşağıda belirtildiği gibi kademeli olarak yapılacaktır.

I. Ölçülen baz istasyonunun yayını durdurulacak ve ölçüm yapılacaktır. Böylece ortamda diğer kaynakların ne kadar etkili olduğu bulunacaktır.

II. Bu işlemi müteakip istasyon tekrar çalıştırılacak ve ölçümler tekrarlanacaktır. Ölçümler arasındaki fark, ölçülen istasyondan gelen etki olarak kayıt edilecektir.

h) Birden fazla frekansta çalışan baz istasyonlarında yapılacak ölçümlerde güç yoğunlukları

(W/m<sup>2</sup>) olarak ayrı ayrı ölçülüp, sonradan toplanarak istasyondan kaynaklanan toplam güç yoğunluğu bulunacaktır.

i) Ölçüm esnasında, ölçülen değerler devamlı olarak takip edilecek, ölçümlerin birbiri ile tutarlılığı izlenecek , gerekirse ölçümler tekrarlanacaktır.

### **Ölçüm Kayıtlarının Alınması**

Madde 10- Ölçümle ilgili bilgiler ve ölçüm sonucu çıkan veriler, Ek 1' de belirtilen düzende kaydedilecektir. Ölçüm değerlerini gösteren tablo, hücre sayısı kadar tekrarlanacaktır.

### **Ölçüm Tarifesi**

Madde 11- Ölçüm yapan kuruluşlarca, ölçüm işlemleri karşılığı olarak tahsil edilecek ücretlere ilişkin tarifeler Bakanlığın onayı ile yürürlüğe girer.

### **Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Madde 12- Ölçümü yapan kurum ve kuruluş tarafından ölçülen ve ekli tablolara işlenen ölçüm değerleri, kurum veya kuruluşun yetkili mühendisi tarafından onaylanıp, kaşe ve imza altına alınarak Bakanlığa gönderilir. Bakanlık, gelen tablolar üzerinde gerekli değerlendirmeyi yapar. Değerlendirme sonucunda yönetmeliğin 13. maddesinde belirlenen limit değerlerin üzerinde olduğu tespit edilen baz istasyonlarının, yönetmelikte belirtilen değerlere uygun hale getirilmesi için

İşletmeciye 7 günlük bir süre verilir. Bu süre içerisinde uygun hale getirilmeyen baz istasyonu Bakanlık'ca veya Bakanlığın bildirimine üzerine mülki amirlikce kapatılır ve/veya söktürülür. Ölçüm sonuçlarının limit değerlerinin altında kaldığının belirlenmesi halinde bu istasyonun standartlara uygun olduğuna dair bir belge, Bakanlık tarafından ölçüm yapan kuruluşa ve işletmeciye verilir.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### DİKKATE ALINACAK LİMİT DEĞERLER

İstasyonların Elektromanyetik Alan Ölçümlerine ait Referans Değerleri

Madde 13- Ölçüm esaslarına ilişkin ikinci bölümde belirtildiği üzere ; ölçüm yapılan mobil telekomünikasyon sistemi için ; aşağıda belirlenen işletme frekans bandlarına bağlı olarak ölçülen en yüksek değer kesinlikle belirtilen limit değerlerin üzerine çıkmayacaktır.

NMT 450 MHz frekans bandında baz istasyonlarında müsaade edilen limit değerler :

Elektrik Alan Şiddeti (E): 29.1 V / m  
 Manyetik Alan Şiddeti (H): 0.0772 A / m  
 Ortalama Güç Yoğunluğu (S): 2.25 W / m<sup>2</sup>

GSM 900 MHz frekans bandında baz istasyonlarında müsaade edilen limit değerler :

Elektrik Alan Şiddeti (E): 41.1 V / m  
 Manyetik Alan Şiddeti (H): 0.1092 A / m  
 Ortalama Güç Yoğunluğu (S): 4.5 W / m<sup>2</sup>

GSM 1800 MHz frekans bandında baz İstasyonlarında müsaade edilen limit değerler :

Elektrik Alan Şiddeti (E): 58.1 V / m  
 Manyetik Alan Şiddeti (H): 0.1544 A / m  
 Ortalama Güç Yoğunluğu (S): 9 W / m<sup>2</sup>

Yukarıda belirtilen bu değerler, ICNIRP tarafından belirlenen ve elektromanyetik alan etkisi altındaki kişiler için emniyet ve güvenle sürekli bulunabilecekleri



yerlerdeki halen geçerli olan limit değerleridir. Bu değerlerin ICNIRP tarafından daha da azaltılması halinde yeni tespit edilen değerlere aynen uyulacaktır.

## **DÖRDÜNCÜ BÖLÜM**

### **BAZ İSTASYONLARI KURULUŞ YERİ VE İŞLETME ESASLARI**

#### **Baz İstasyonlarında Kullanılacak Ekipman Standartları**

Madde 14- 2813 sayılı Telsiz Kanunu gereğince üretimine ve ithalatına izin verilmeden baz istasyonları ve ekipmanları kurulmayacak ve işletilmeyecektir.

#### **Baz İstasyonları Kurulma Yerleri ve İzinleri**

Madde 15- Baz istasyonlarının kuruluş yerleri , İşletmecinin, Bakanlık'ca onaylı yatırım plan ve programına uygun olarak belirlenecek ve düzenlenecektir.

#### **Ek İzin Alınması Gereken Alanlar**

Madde 16- Baz istasyonları, sağlık kurumları ile okul öncesi eğitim, temel eğitim ve orta eğitim kurumlarına ait alanlara, kurumun yetkilisi ve istasyonun kurulacağı il veya ilçenin mülki amirinden izin alınmak suretiyle kurulacaktır.

#### **İstasyon Yeri ile İlgili Bildirim**

Madde 17- İşletmeci, yeni bir istasyon yeri belirlendiğinde, istasyon kuruluşu ve işletmeye alınışı ile birlikte aşağıdaki belgeleri düzenleyerek aylık raporlar halinde Bakanlığa teslim edecektir.

- a) İstasyon adresi ve krokisi,
- b) Teknik özellikler,(güç,marka,model v.b.) ,
- c) Anten tipi ,
- d) İkinci bölümde belirlenen ölçüm esaslarına göre İşletmecinin kendisi tarafından yapılacak ölçümlere ait rapor,
- e) İstasyon mahalli ile ilgili mülkiyet sahibi, yönetici, amir v.b'den alınacak izin, kira kontratı gibi onaylı döküman,
- f) Madde 16'da belirlenen kuruluşlar için ilgili mülki amirden alınan onay.

#### **İstasyon Faaliyetinin Durdurulması**

Madde 18- Bakanlık; aylık raporlar içerisinde bildirimde bulunulmayan, eksik bilgi ve belge ile bildirimde bulunulan istasyonun faaliyetini belge ve bilgiler tamamlanıncaya kadar durdurma hakkına sahiptir.

### **İstasyon Kurulamayacak Mahaller**

Madde 19- Müsaade edilen limit değerlerin aşıldığı mesafeler içinde meskun mahal bulunuyor ise bu yerlere baz istasyonu kurulmayacaktır. İşletmeci kuracağı baz istasyonlarına ait antenlere serbestçe erişimi engellemek için gerekli tedbirleri almakla yada aldırarakla yükümlüdür.

### **İstasyonlardaki Değişiklikler**

Madde 20- Şebekenin işletilmesi sırasında, planlamalar nedeniyle baz istasyonlarında yapılacak değişikliklerde ve yenilemelerde ölçüm işlemleri işletmeci tarafından tekrarlanacak ve sonuçlar Bakanlığa verilen aylık raporlara eklenecektir.

### **Şikayetler**

Madde 21- Sistemin işletilmesiyle ilgili şikayetler, bir kamu hizmeti niteliğindeki mobil telekomünikasyon hizmetlerinin verimli ve kesintisiz verdirilmesi ile görevlendirilen Bakanlığa yapılır. Yargı kararları haricinde, baz istasyonlarına Bakanlığın izni dışında müdahalede bulunulamaz.

### **Üçüncü Şahısların Talebi Halinde Yapılacak Ölçümler**

Madde 22- Herhangi bir mahalde kurulu bulunan baz istasyonlarının ölçümlerinin; kişi, kurum ve kuruluşlar tarafından yaptırılmasının talep edilmesi halinde; yönetmeliğin 5. maddesinin b), c), d) ve e) bendlerinde belirtilen kurum ve kuruluşlardan birine, ölçüm bedelini yatırmak suretiyle müracaat edilecektir. Ölçüm yapacak kuruluş, ikinci bölümdeki ölçüm esasları çerçevesinde yapacağı ölçümün sonuçlarını, değerlendirmenin yapılması için Bakanlığa gönderecektir. Ölçüm değerlerinin limitler dahilinde kaldığının belirlenmesi halinde sonuç raporu, talep sahibine iletilmesi için ölçümü yapan laboratuara gönderilir. Ölçüm sonuçları yönetmelik de belirtilen limit değerlerin üzerinde ise ; ölçüm giderleri işletmeci tarafından ölçümü yaptıran kişi veya kuruluşlara ödenir ; ayrıca Bakanlık uygun olmayan bu baz istasyonu için Madde 12 de belirtilen şekilde uygulama yapar.

## **BEŞİNCİ BÖLÜM**

### **GEÇİCİ VE SON HÜKÜMLER**

Geçici Madde 1- Madde 16'da belirtilen alanlara kurulu mevcut istasyonların ölçümleri işletmeciler tarafından, yönetmeliğin 5. maddesinin b), c), d) ve e) bendlerinde belirtilen kurum ve kuruluşlardan birine yaptırılır. Bu ölçümler

yönetmeliğin yayımını müteakip iki ay içerisinde tamamlanır ve ölçüm raporları Bakanlığa sunulur. Bakanlık'ca yapılan değerlendirme sonucunda limit değerleri dahilinde olduğu belirlenen baz istasyonlarına ait uygunluk belgesi ilgili mülki amirliğe Bakanlık tarafından gönderilir. Ölçüm sonunda uygun olmayan istasyonların belirlenmesi halinde ise Bakanlık uygun olmayan bu baz istasyonları için Madde 12 de belirtilen şekilde uygulama yapar.

#### **Yürürlük**

**Madde 23-** Bu yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

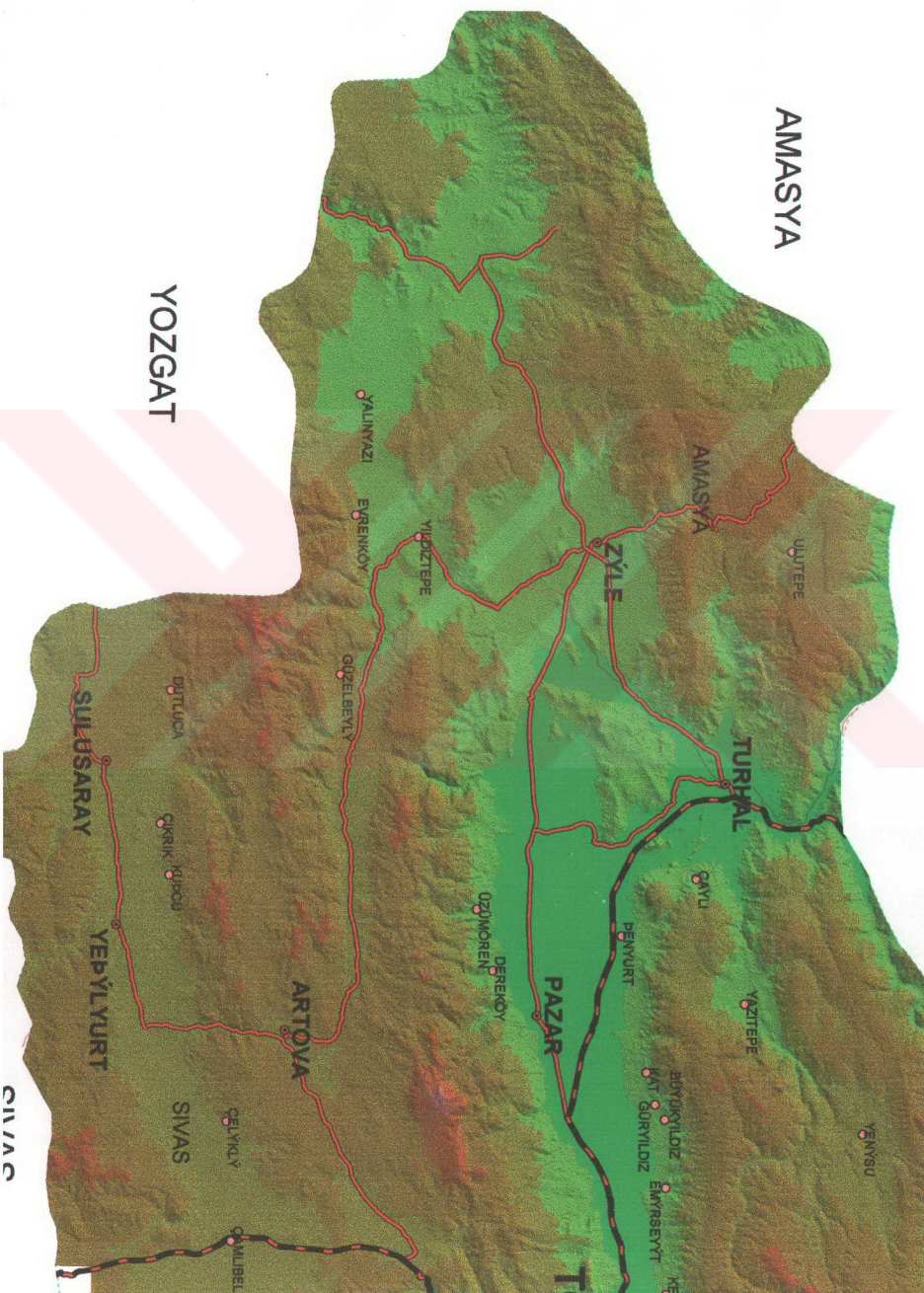
#### **Yürütme**

**Madde 24-** Bu yönetmelik hükümlerini Ulaştırma Bakanı yürütür.



AMASYA

YOZGAT



ÜRTEPE

AMASYA

ZİLE

TURHAL

ÇIVIL

YAZITEPE

YENİSU

PENYURT

PAZAR

UZUMÖREN  
DEREKÖY

ARTOVA

SIVAS

ÇELİKLY

ÇAMLIBEL

GÖZELBEVLY

EĞRENKÖY

YILDIZTEPE

YALINVAZI

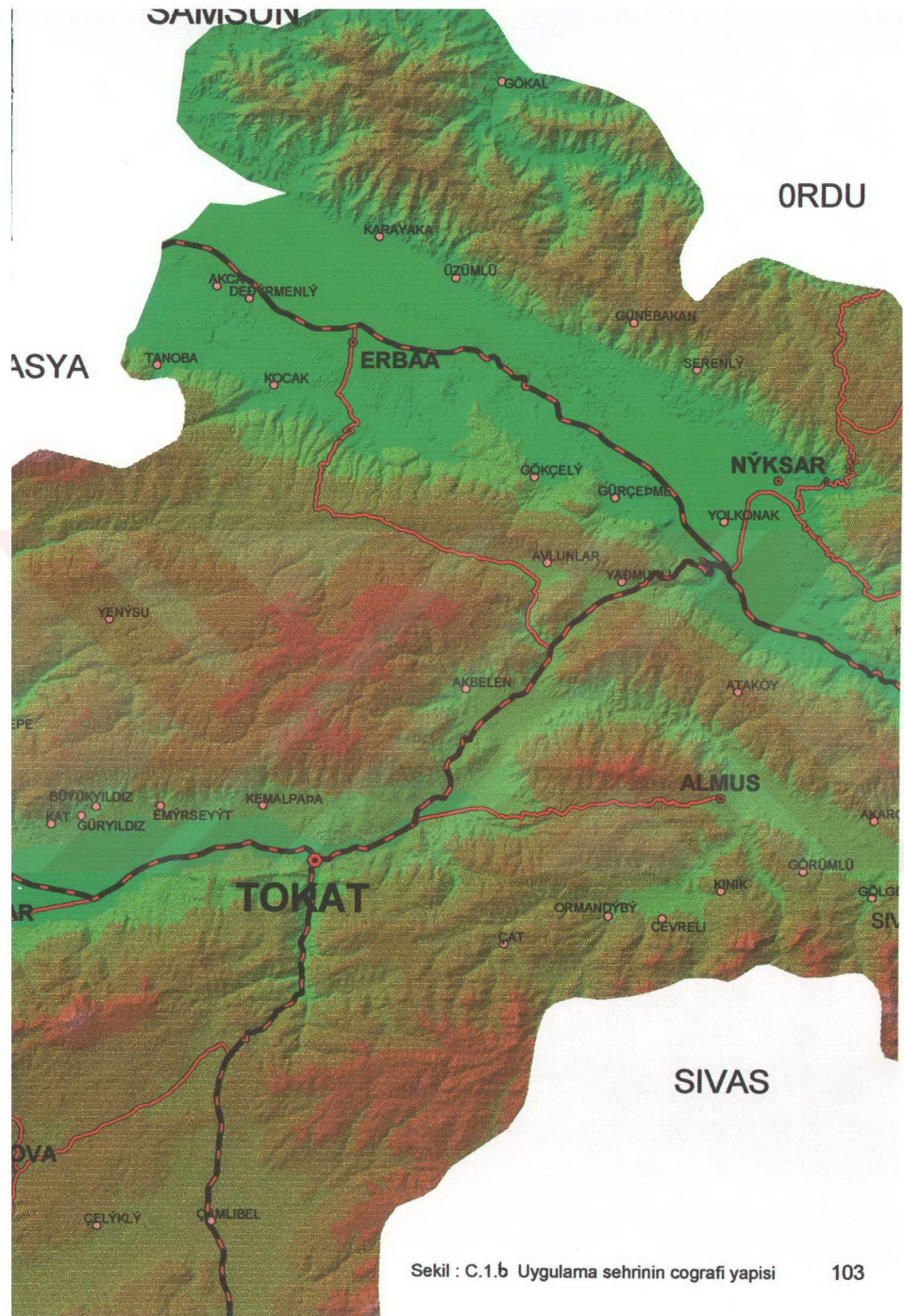
DUTLUCA

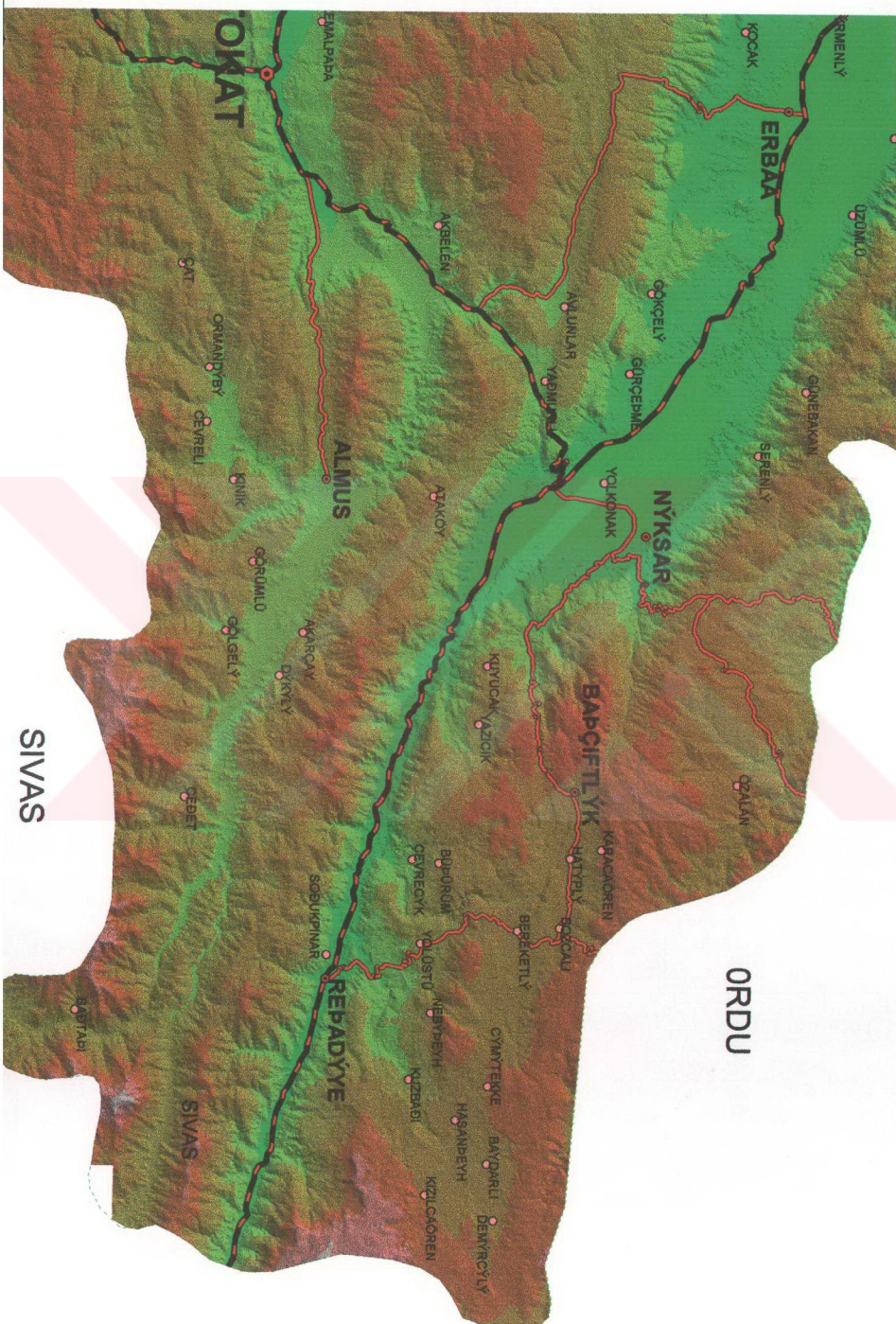
ÇIKRIK  
KİRCİD

SULUSARAY

YEPİL YURT

ÇIVILCI





SIVAS

TOGMAT

KOCACAK

KRİMENLİ

ERBAA

ÖDÜMLÜ

ÇAM

ORMANCIYI

ÇEVRELI

KINIK

ÖĞRÜMLÜ

ÇOLGELI

ÇEŞET

ALMUS

AĞSÖLEN

YAPILAR

YÖLKÖKNAK

NYKSAR

KIYUÇAK

ÇÖZÜK

BAPÇIFTLİK

ÇALAN

SODUKOPINAR

BOĞURDAN

ÇEVREÇEK

YOLUŞTU

NEVREBH

KUZBABI

MAGACIÖREN

MANTIRLI

BOĞCALI

BESİKTELYİ

ÇYMYTERKE

HASANBEYH

BAYDARLI

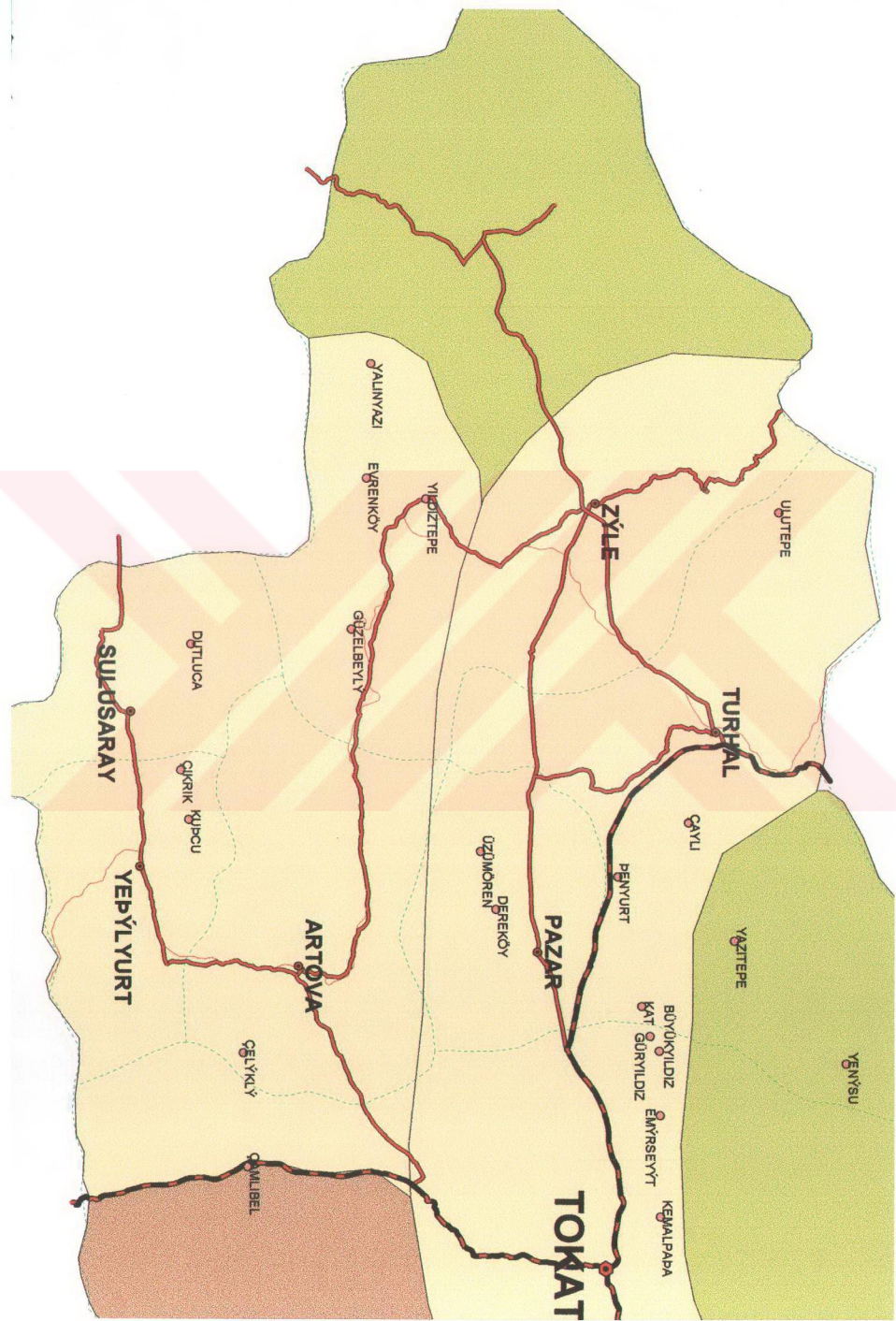
DEMİRCİLY

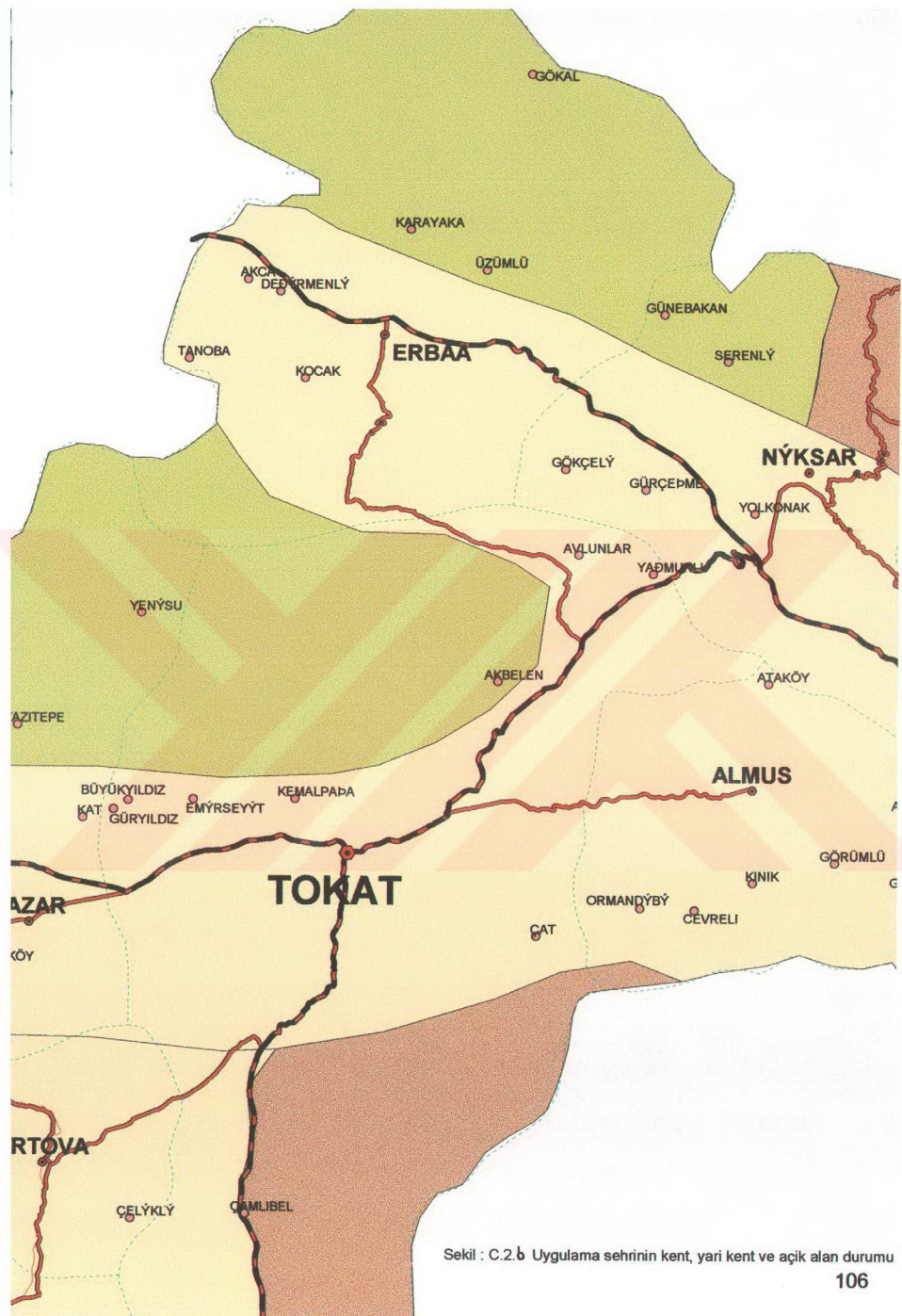
ORDU

SIVAS

BAYTARLI

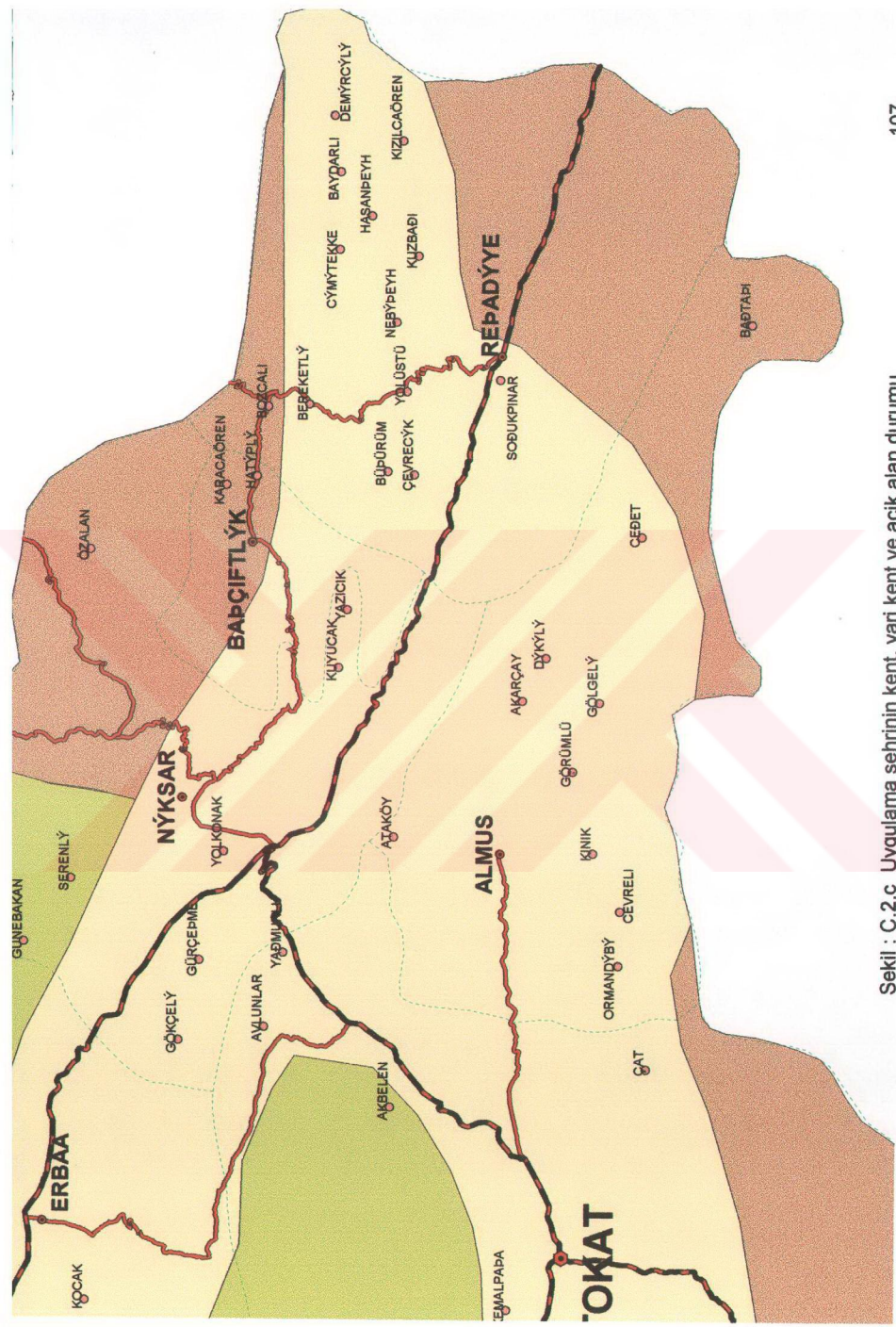
KIZILÇAÖREN





Sekil : C.2.b Uygulama şehrinin kent, yarı kent ve açık alan durumu





Sekil : C.2.c Uvulama şehrinin kent, vani kent ve acik alan durumu

EK D

Tabelo D.1 Erlang B Tablosu

Servis Kalitesi (GoS)								
Kanal	1%	2%	3%	5%	10%	20%	40%	Kanal
1	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.15259	.022347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32
33	22.909	24.626	25.844	27.721	31.301	37.524	52.718	33
34	23.772	25.529	26.776	28.698	32.367	38.754	54.379	34
35	24.638	26.435	27.711	29.677	33.434	39.985	56.041	35
36	25.507	27.343	28.647	30.657	34.503	41.216	57.703	36
37	26.378	28.254	29.585	31.640	35.572	42.448	59.365	37
38	27.252	29.166	30.526	32.624	36.643	43.680	61.028	38
39	28.129	30.081	31.468	33.609	37.715	44.913	62.690	39
40	29.007	30.997	32.412	34.596	38.787	46.147	64.353	40
41	29.888	31.918	33.357	35.584	39.861	47.381	66.016	41
42	30.771	32.836	34.305	36.574	40.936	48.616	67.679	42
43	31.656	33.758	35.253	37.565	41.011	49.851	69.342	43
44	32.543	34.682	36.203	38.557	43.088	51.086	71.006	44
45	33.432	35.607	37.155	39.550	44.165	52.322	72.669	45
46	34.322	36.534	38.108	40.545	45.243	53.559	74.333	46
47	35.215	37.462	39.062	41.540	46.322	54.796	75.997	47
48	36.109	38.392	40.018	42.537	47.401	56.033	77.660	48
49	37.004	39.323	40.975	43.534	48.481	57.270	79.324	49
50	37.901	40.225	41.933	44.533	49.562	58.508	80.988	50

AMASYA

TURHAL

ZYLE

PAZAR

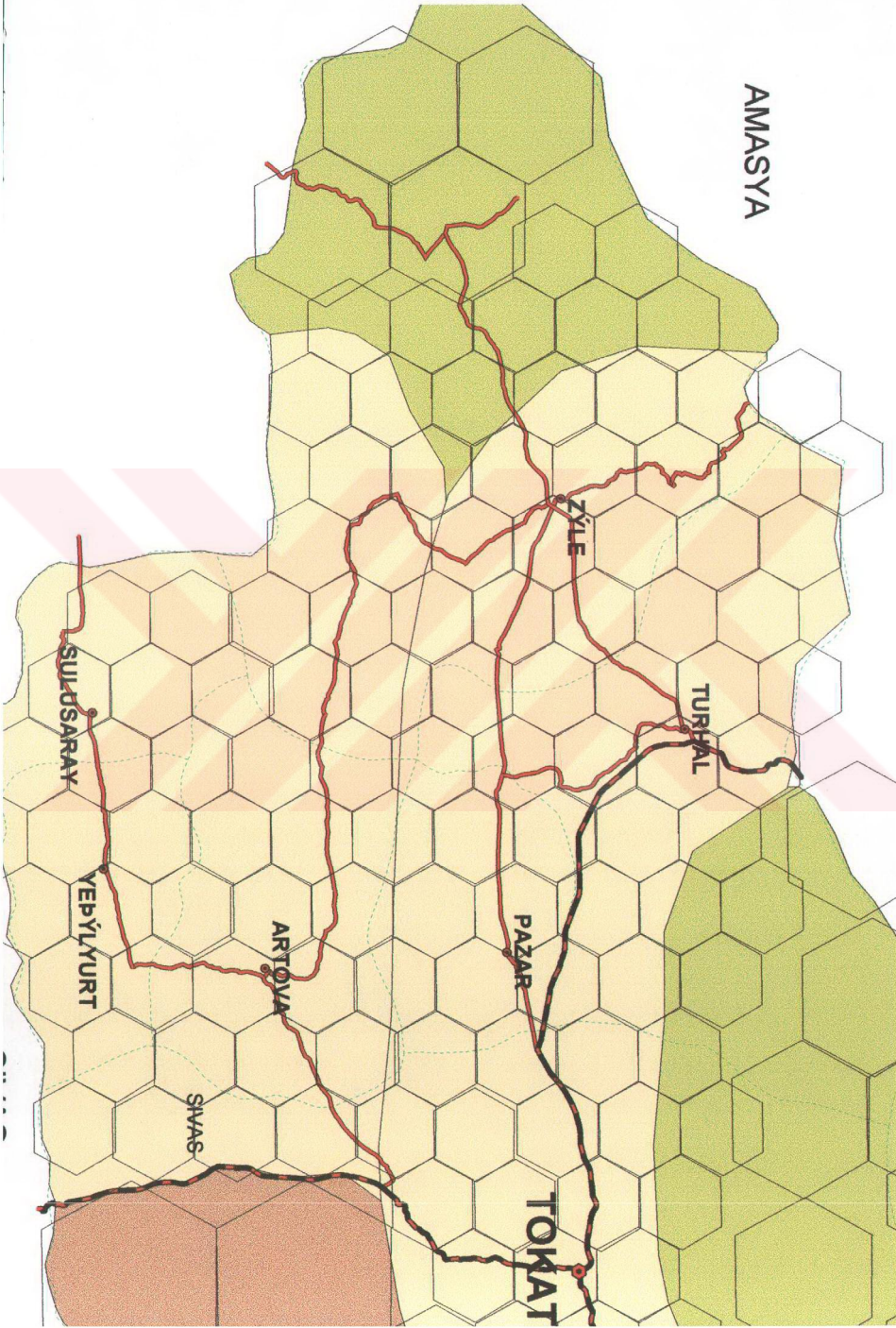
ARTOVA

SIVAS

TOKAT

SULDSARAY

YEPYLYURT



SAMSUN

ORDU

ERBAA

NÝKSAR

ALMUS

TOKAT

SIVAS

SIVAS

Sekil : E.1.b Uygulama sehirinde baz istasyonlari

ASYA

ZAR

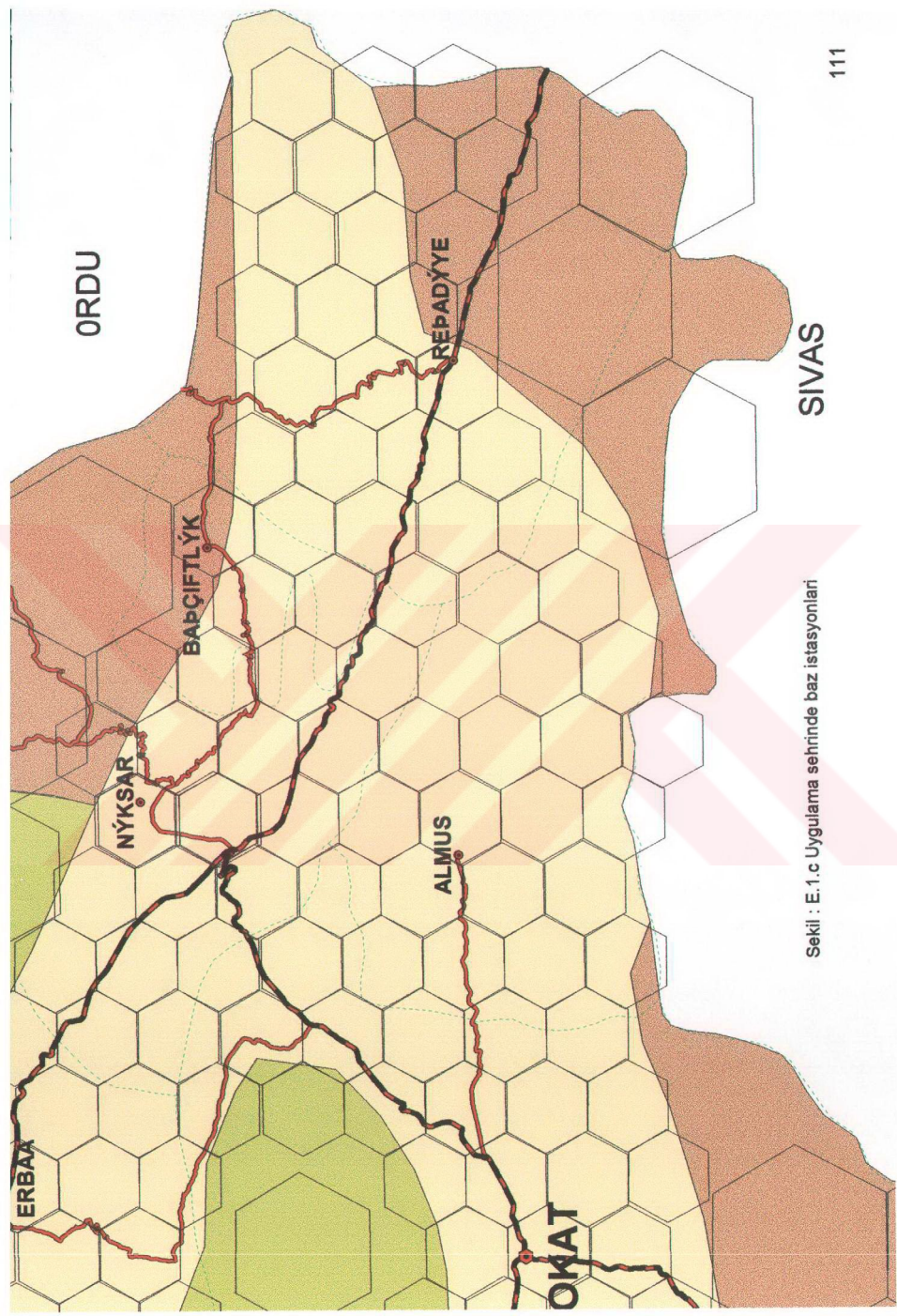
RTOVA

RTOVA

RTOVA

RTOVA

RTOVA



Sekil : E.1.c Uygulama sehrinde baz istasyonlari

## EK F.

Tablo F.1 Hücrelerde efektif anten yüksekliği, karşılaşılan trafik ve TRU sayıları

Sıra no	Hücre adı	Alan tipi	Anten yük.(m)	Trafik Erlang	TRU sayısı	Max. trafik	Sıra no	Hücre adı	Alan tipi	Anten yük. (m)	Trafik Erlang	TRU sayısı	Max. trafik
1	1A	K	40	4	2	8.2	61	26A	K	40	12	3	14.04
2	1B	K	40	10.6	3	14.04	62	26B	K	40	12	3	14.04
3	1C	K	40	4	2	8.2	63	26C	K	40	12	3	14.04
4	2A	Y	45	4	2	8.2	64	27A	K	40	12	3	14.04
5	2B	Y	45	15	4	21.03	65	27B	K	40	12	3	14.04
6	2C	Y	45	6	2	8.2	66	27C	K	40	12	3	14.04
7	3A	Y	45	6	2	8.2	67	28A	K	40	12	3	14.04
8	3B	Y	45	16	4	21.03	68	28B	K	40	12	3	14.04
9	3C	Y	45	16	4	21.03	69	28C	K	40	12	3	14.04
10	4A	K	40	14	3	14.04	70	29A	K	40	12	3	14.04
11	4B	K	40	4	2	8.2	71	29B	K	40	12	3	14.04
12	5A	K	40	14	3	14.04	72	29C	K	40	12	3	14.04
13	5B	K	40	14	3	14.04	73	30A	K	40	12	3	14.04
14	6A	K	40	14	3	14.04	74	30B	K	40	12	3	14.04
15	6B	K	40	12	3	14.04	75	30C	K	40	12	3	14.04
16	7A	K	40	12	3	14.04	76	31A	K	40	12	3	14.04
17	7B	K	40	12	3	14.04	77	31B	K	40	12	3	14.04
18	7C	K	40	12	3	14.04	78	31C	K	40	12	3	14.04
19	8A	K	40	12	3	14.04	79	32A	K	40	12	3	14.04
20	8B	K	40	12	3	14.04	80	32B	K	40	12	3	14.04
21	8C	K	40	12	3	14.04	81	32C	K	40	12	3	14.04
22	9A	Y	30	8	2	8.2	82	33A	K	40	12	3	14.04
23	10A	K	40	12	3	14.04	83	33B	K	40	12	3	14.04
24	10B	K	40	14	3	14.04	84	33C	K	40	12	3	14.04
25	10C	K	40	12	3	14.04	85	34A	K	40	10	3	14.04
26	11A	Y	45	10	3	14.04	86	34B	K	40	12	3	14.04
27	11B	K	40	10	3	14.04	87	35A	A	25	18	4	21.03
28	11C	Y	45	10	3	14.04	88	36A	K	40	12	3	14.04
29	12A	K	40	12	3	14.04	89	37A	K	40	12	3	14.04
30	12B	K	40	12	3	14.04	90	37B	K	40	12	3	14.04
31	12C	K	40	12	3	14.04	91	37C	A	25	14	3	14.04
32	13A	K	40	6	2	8.2	92	38A	K	40	6	2	8.2
33	14A	K	40	12	3	14.04	93	38B	K	40	14	3	14.04
34	14B	K	40	14	3	14.04	94	38C	K	40	14	3	14.04
35	14C	K	40	6	2	8.2	95	39A	K	40	14	3	14.04
36	15A	K	40	12	3	14.04	96	39B	K	40	12	3	14.04
37	15B	K	40	12	3	14.04	97	39C	K	40	12	3	14.04
38	16A	K	40	8	2	8.2	98	40A	K	40	12	3	14.04
39	16B	K	40	12	3	14.04	99	40B	K	40	12	3	14.04
40	16C	K	40	12	3	14.04	100	40C	K	40	14	3	14.04
41	17A	K	40	18	4	21.03	101	41A	K	40	14	3	14.04
42	17B	K	40	16	4	21.03	102	41B	K	40	12	3	14.04
43	18A	K	40	14	3	14.04	103	41C	K	40	12	3	14.04
44	19A	Y	45	14	3	14.04	104	42A	K	40	14	3	14.04
45	19B	Y	45	18	4	21.03	105	42B	K	40	12	3	14.04
46	19C	Y	45	16	4	21.03	106	42C	K	40	12	3	14.04
47	20A	K	25	14	3	14.04	107	43A	K	40	14	3	14.04
48	21A	K	40	12	3	14.04	108	43B	K	40	12	3	14.04
49	21B	K	40	12	3	14.04	109	43C	K	40	14	3	14.04
50	21C	K	25	18	4	21.03	110	44A	K	40	12	3	14.04
51	22A	K	40	12	3	14.04	111	44B	K	40	12	3	14.04
52	22B	K	40	12	3	14.04	112	45A	K	40	12	3	14.04
53	22C	K	40	12	3	14.04	113	45B	K	40	14	3	14.04
54	23A	K	40	12	3	14.04	114	46A	K	40	14	3	14.04
55	23B	K	40	12	3	14.04	115	47A	K	40	14	3	14.04
56	24A	K	40	12	3	14.04	116	47B	K	40	12	3	14.04
57	24B	K	40	12	3	14.04	117	48A	K	40	12	3	14.04
58	25A	K	40	12	3	14.04	118	48B	K	40	12	3	14.04
59	25B	K	40	12	3	14.04	119	49A	K	40	12	3	14.04
60	25C	K	40	12	3	14.04	120	50A	K	40	12	3	14.04

Sıra no	Hücre adı	Alan tipi	Anten yük.(m)	Trafik Erlang	TRU sayısı	Max. trafik	Sıra no	Hücre adı	Alan tipi	Anten yük.(m)	Trafik Erlang	TRU sayısı	Max. trafik
121	50B	K	40	12	3	14.04	150	63B	K	40	14	3	14.04
122	50C	K	40	12	3	14.04	151	63C	K	40	12	3	14.04
123	51A	K	40	12	3	14.04	152	64A	K	40	12	3	14.04
124	52A	K	40	14	3	14.04	153	64B	K	40	12	3	14.04
125	52B	K	40	14	3	14.04	154	65A	K	40	12	3	14.04
126	52C	K	40	12	3	14.04	155	65B	K	40	12	3	14.04
127	53A	* A	25	10	3	14.04	156	65C	K	40	12	3	14.04
128	53B	K	40	12	3	14.04	157	66A	K	40	12	3	14.04
129	54A	K	40	10	3	14.04	158	67A	K	40	12	3	14.04
130	55A	K	40	12	3	14.04	159	67B	K	40	12	3	14.04
131	55B	K	40	12	3	14.04	160	67C	K	40	12	3	14.04
132	55C	* A	25	16	4	21.03	161	68A	K	40	18	4	21.03
133	56A	K	40	18	4	21.03	162	69A	Y	45	8	2	8.2
134	57A	K	40	16	4	21.03	163	69B	K	40	8	2	8.2
135	57B	K	40	16	4	21.03	164	70A	K	40	8	2	8.2
136	58A	K	40	16	4	21.03	165	70B	K	40	18	4	21.03
137	58B	Y	45	22	5	27.34	166	71A	K	40	14	3	14.04
138	58C	K	40	12	3	14.04	167	71B	K	40	6.6	2	8.2
139	59A	K	40	12	3	14.04	168	72A	K	40	6	2	8.2
140	59B	K	40	12	3	14.04	169	72B	Y	45	6	2	8.2
141	59C	K	40	12	3	14.04	170	72C	K	40	8	2	8.2
142	60A	Y	30	14	3	14.04	171	73A	K	40	18	4	21.03
143	61A	K	40	14	3	14.04	172	73B	K	40	16	4	21.03
144	61B	K	40	14	3	14.04	173	73C	* A	25	14	3	14.04
145	61C	K	40	12	3	14.04	174	74A	K	40	14	3	14.04
146	62A	K	40	14	3	14.04	175	74B	K	40	14	3	14.04
147	62B	K	40	14	3	14.04							
148	62C	K	40	14	3	14.04							
149	63A	K	40	14	3	14.04							

Baz istasyonu sayısı : 74

Hücre sayısı : 175

Toplam TRU sayısı: 527

Karşılaşılan toplam trafik: 2150.2

Maksimum karşılanabilecek trafik : 2491

## **ÖZGEÇMİŞ**

1970 yılında Tokat'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Tokat'ta tamamladı. 1981'de Tokat Gaziosmanpaşa İlköğretim okulundan mezun oldu. 1984'de Tokat Atatürk Ortaokulu'ndan mezun oldu. 1987'de Tokat Endüstri Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 1992 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı.

1992-1993 yılları arasında Tokat Telefon Müdürlüğünde teknik eleman olarak görev yaptı. 1993-1995 yılları arasında Konya Fatih Anadolu Meslek Lisesinde Teknik Öğretmen olarak görev yaptı.

1995-1997 yılları arasında askerlik görevini Balıkesir Teknik Astsubay Hazırlama Okulunda Asteğmen olarak tamamladı. 1997-1998 yılları arasında Tokat Endüstri Meslek Lisesinde Teknik Öğretmen olarak görev yaptı.

Halen Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat Meslek Yüksekokulunda Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu sahibidir.