

**GSM SİSTEMİNDE HÜCRE PLANLAMASININ  
BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ**

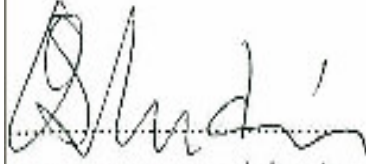
**Ali Hakan IŞIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kasım 2005  
ANKARA**

Ali Hakan IŞIK tarafından hazırlanan GSM SISTEMİNDE HUCRE PLANLAMASININ BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. Veysel SILINDİR



Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

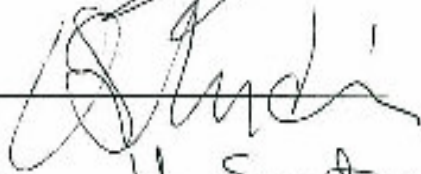
Başkan : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU



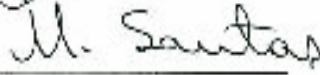
Üye : Prof. Dr. Erdem YAZGAN



Üye : Prof. Dr. Veysel SILINDİR



Üye : Prof. Dr. Müzeyyen SARITAŐ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



# **GSM SİSTEMİNDE HÜCRE PLANLAMASININ BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Ali Hakan IŞIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Kasım 2005**

## **ÖZET**

Bir GSM (Global System for Mobile Communications) sisteminde, planlama aşamasında kapsanacak bölgeler hücrelere bölünmekte olup, bu bölme yöntemi ve bölme işleminin parametreleri büyük önem taşımaktadır. Bu tezde GSM sistemi ve hücre planlama süreci açıklanmış, bulanık mantık algoritmasının özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Bulanık mantık, tasarımcı tarafından ilk değer atanması gerektiği, değişkenlerin tam olarak belirlenemediği ve zaman içinde değiştiği, tasarımda uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinin büyük önem taşıdığı problemleri diğer denetim algoritmalarına göre daha iyi denetler. Hücre planlaması da bu tipte bir problem olarak ele alınabilir. Hücre planlamasının önemli parametreleri olan hücre yarıçapı, baz istasyonu sayısı ve gücü, TRU (alıcı-verici ünite) sayısı, N (her kümede bulunan hücre sayısı), maliyet, CIR (kanal girişim oranı),  $D_s$  (aynı frekansı eşzamanlı kullanan iki hücre arasındaki mesafe) parametreleri kentsel, yarı kentsel ve kırsal alanlar için çok yönlü veya üç sektörlü anten kullanılarak bulunmuştur. GSM sisteminde hücre planlamasının bulanık mantık algoritması ile simülasyonu yapılmış; farklı alanlar için

baz istasyonu sayısını, dolayısıyla toplam sistem maliyetini minimuma indirmeye, ve bununla beraber maksimum trafik talebini karşılamaya çalışan bir sistemde ne gibi konfigürasyon değişikliklerinin yapılması gerektiğini ortaya koyan bir program C dilinde yazılmıştır. Ayrıca, giriş ve çıkış verileri C++ Builder dilinde yazılan ara yüz üzerinden belirlenebilmektedir.

**Bilim Kodu** : 0605, 0613  
**Anahtar Kelime** : baz istasyonu sayısı, baz istasyonu gücü, kapasite, bulanık mantık, maliyet  
**Sayfa Adedi** : 113  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Veysel SİLİNDİR,  
Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN

**CONTROL OF CELL PLANNING WITH FUZZY LOGIC IN GSM SYSTEM**  
**(M.Sc. Thesis)**

**Ali Hakan IŞIK**

**GAZI UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**November 2005**

**ABSTRACT**

In a GSM system, where coverage areas are divided into cells in planning phase, the division method and its parameters have a great importance. In the thesis, GSM system and cell planning process are explained, and information about the features of fuzzy logic algorithms is given. Fuzzy logic solves problems better than the other control algorithms in which initial parameters are needed to be assigned by the designer, which have variables that aren't defined well and change with time and where system expert's knowledge and experience in design process have great importance. Cell planning can be regarded as a kind of this problem. The important parameters of cell planning which are the cell radius, base station number and power, TRU (transceiver unit) number, N (number of cells per cluster), cost, CIR (channel interference ratio), Ds (distance between two cells which use same frequency in the same time) are found for urban, suburban and rural areas by using omni or three sector antennas. GSM cell planning is simulated by using fuzzy logic algorithm, a computer program in C programming language is written to determine what kind of configuration changes have to be made so as to minimize the number of base station, and hence the total

system cost, and also to maintain the requirements of the maximum traffic demand. In addition, input and output data can be defined through the interface which is created in C++ Builder programming language.

**Science Code : 0605, 0613**  
**Key Words : base station number, base station power, capacity, fuzzy logic, cost**  
**Page Number : 113**  
**Adviser : Prof. Dr. Veysel SİLİNDİR,  
Asist. Prof. Dr. Erkan AFACAN**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli akademisyenler Prof. Dr. Veysel SİLİNDİR'e ve Yrd. Doç. Dr. Erkan AFACAN'a, GSM konusundaki yayını ve tecrübelerinden faydalandığım TTG Uluslararası firmasının sahibi Mehmet BEYAZ'a, yüksek lisans eğitimim süresince zaman konusunda bana anlayış gösteren Mira Mühendislik Ltd. Şirketi ve Türk Telekom A.Ş.'nin değerli yöneticilerine, manevi desteği ile beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ERİŞİM TEKNİKLERİ.....	3
2.1. Tdma ve Fdma.....	3
2.2. Cdma.....	5
3. MOBİL HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ.....	6
3.1. GSM Tarihçesi.....	9
3.1.1. GSM sistemi mimarisi.....	12
3.1.2. İletim yapısı.....	18
4. HÜCRE PLANLAMASI.....	34
4.1. Hücresel Sistem.....	34
4.2. Hücre Kümesi.....	34
4.3. Hücresel Sistemlerin Tasarımı.....	36
4.4. Hücre Planlama Süreci.....	37
4.4.1. Trafik ve kapsama analizi.....	37
4.4.2. Taslak hücre planı.....	37
4.5. Hücresel Kavramı.....	38



	<b>Sayfa</b>
4.5.1. Hücrelerin bölünmesi.....	39
4.5.2. Frekans yeniden kullanımı.....	39
4.6. Baz İstasyonlarının Yerleşimi .....	42
4.7. Girişim.....	45
4.8. Komşu Kanal Girişimi.....	45
4.9. Kanal Girişim (CIR) Oranının Hesaplanması .....	46
4.10. En Kötü Durumda Çok Yönlü (Omni) Anten Sistemi Tasarımı.....	48
4.11. Yönlü Anten Sisteminin Tasarımı.....	50
4.12. N=7 Hücre Örüntüsü İçin Sektörel Antenlerin İncelenmesi.....	51
4.13. Mikro Hücresel Şebekeler İçin Radyo Şebeke Mühendisliği.....	52
4.13.1. İşlem.....	52
4.14. Kapasite.....	57
4.15. Hücresel Sistemlerde Kapasite Artışının Karşılanması.....	58
4.16. Erlang.....	59
5. BULANIK MANTIK.....	60
5.1. Bulanık Sistemlerin Gelişimi.....	63
5.2. Bulanık Küme Kuramı ve Bulanık Mantık.....	65
5.3. Bulanık Çıkarım.....	69
5.4. Bulanık Mantık Denetleyicinin Üstünlük ve Sakıncaları.....	70
5.5. Bulanık Mantık Denetleyiciler.....	71
5.6. Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı.....	71
5.7. Bulanık Denetim Kurallarını Oluşturulması.....	72
5.8. Basit Bulanık Mantık Denetleyiciler.....	73

	<b>Sayfa</b>
5.9. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler.....	75
5.9.1. Bulandırma birimi.....	76
5.9.2. Bilgi tabanı.....	76
6. BAZ İSTASYONU GÜCÜNÜN HESAPLANMASI.....	83
7. BİLGİSAYAR PROGRAMININ ÇALIŞMASI VE NÜMERİK SONUÇLAR..	86
7.1. Programın adımları.....	86
7.2. Nümerik sonuçlar.....	90
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	113

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Çeşitli GSM standartlarının frekans bandındaki dağılımları.....	11
Çizelge 3.2. TCH (Trafik Kanal) tipleri.....	25
Çizelge 4.1. Hücre kümeleri.....	43
Çizelge 7.1. Çok yönlü anten ve kırsal alan için kural tablosu.....	97
Çizelge 7.2. Programın başlangıç değerleri.....	100
Çizelge 7.3. Taslak hücre planlaması sonuçları.....	101
Çizelge 7.4. Gerçek zamanlı hücre planlaması sonuçları.....	102

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Program ara yüzü.....	2
Şekil 2.1. Zaman bölmeli çoklama ve frekans bölmeli çoklama.....	4
Şekil 2.2. Zaman bölmeli çoklama ve frekans bölmeli çoklama teknığının beraber kullanımı(GSM) .....	4
Şekil 2.3. Kod bölmeli çoklama.....	5
Şekil 3.1. GSM 900 spektrumu .....	10
Şekil 3.2. GSM genel yapısı.....	12
Şekil 3.3. GSM ağının yapısı.....	13
Şekil 3.4. GSM çerçeve yapısı .....	20
Şekil 3.5. GSM ara yüzleri ve protokolleri .....	22
Şekil 3.6. GSM mantıksal kanalları.....	24
Şekil 4.1. 3/9 yeniden kullanım modeli.....	35
Şekil 4.2. 4/12 yeniden kullanım modeli.....	35
Şekil 4.3. 7/21 yeniden kullanım modeli.....	36
Şekil 4.4. Çok yönlü anten kullanım modeli.....	36
Şekil 4.5. Düzgün altıgen hücre geometrisi.....	42
Şekil 4.6. N=7 değerinin bulunması.....	44
Şekil 4.7. N=4 değerinin bulunması.....	44
Şekil 4.8. Çok yönlü anten için CIR değeri.....	49
Şekil 4.9. Kavşaklar ve caddelerde yayılma.....	54
Şekil 4.10. Makro-Mikro frekans yeniden kullanımı.....	56
Şekil 5.1. Sıcaklık için keskin küme örneği.....	66

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.2. Sıcaklık için bulanık küme örneği.....	67
Şekil 5.3. Sıcaklık için bulanık kümelerde örtüşüm.....	67
Şekil 5.4. Üçgen üyelik işlevinin değişkenleri .....	68
Şekil 5.5. Yedi ayrı etiketli üyelik işlevleri ve ölçeklendirme faktörü.....	69
Şekil 5.6. Bulanık mantık denetleyici.....	74
Şekil 5.7. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.....	75
Şekil 5.8. Max-Dot karar verme yöntemi.....	78
Şekil 5.9. Min-Max karar verme yöntemi.....	79
Şekil 5.10. Tsukamoto karar verme yöntemi.....	80
Şekil 5.11. Takagi-Sugeno karar verme yöntemi.....	81
Şekil 7.1. Programın çalışması.....	86
Şekil 7.2. Üç Farklı alan için kapsanacak alanlar.....	87
Şekil 7.3. Üyelik derecesinin bulunması .....	89
Şekil 7.4. Grafikselsel ara yüze sahip program.....	91
Şekil 7.5. Hata için üyelik işlevi.....	96
Şekil 7.6. Hata değişimi için üyelik işlevi.....	96
Şekil 7.7. Çıkış değişkeni için üyelik işlevi.....	97
Şekil 7.8. Farklı alanlar için hücre yarıçapı.....	103
Şekil 7.9. Kanal girişim oranı .....	103
Şekil 7.10. Baz istasyonu sayısı değişimi.....	104
Şekil 7.11. Hücre kümesi değişimi.....	105
Şekil 7.12. Farklı alanlarda BTS gücü değişimi.....	105
Şekil 7.13. Farklı alanlarda Ds uzaklığı değişimi.....	106

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 7.14. Farklı alanlarda Ds uzaklığı değişimi.....	107

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$D_s$	Eşzamanlı frekans kullanılan iki hücre arası mesafe
$\mu$	Üyelik derecesi
$N$	Her kümede bulunan hücre sayısı
$u$	Üyelik işlevi değişkeni
$\gamma$	Yayıma yol kayıp eğimi
$q$	Ortak kanal girişimi azalım faktörü
$R$	Hücre yarıçapı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>AGCH</b>	Erişim Verme Kanalı (Access Grant Channel)
<b>AUC</b>	Kimlik Denetim Merkezi (Authentication Center)
<b>BCCH</b>	Yayın Kontrol Kanalı (Broadcast Control Channel)
<b>BCH</b>	Yayın Kanalı (Broadcast Channel)
<b>BER</b>	Bit Hata Oranı (Bit Error Rate)
<b>BSC</b>	Baz İstasyonu Kontrolörü (Base Station Controller)
<b>BSS</b>	Baz İstasyonu Alt Sistemi (Base Station Subsystem)
<b>BTS</b>	Baz Alıcı ve Verici İstasyonu (Base Transceiver Station)
<b>C</b>	Taşıyıcı (Carrier)
<b>CCCH</b>	Ortak Kontrol Kanalı (Common Control Channel)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CDMA</b>	Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access)
<b>CDMA WLL</b>	CDMA Kablosuz Yerel Döngü (CDMA wireless Local Loop)
<b>CIR</b>	Kanal Girişim Oranı (Channel Interference Ratio)
<b>DCCH</b>	Tahsis Edilen Kontrol Kanalı (Dedicated Control Channel)
<b>DCS</b>	Sayısal Hücresel Sistem (Digital Cellular System)
<b>DL</b>	Downlink (Verme Bağlantısı)
<b>DRX</b>	Süreksiz Alma (Discontinuous Reception)
<b>DTX</b>	Kesikli İletim (Discontinuous Transmission)
<b>E</b>	Erlang (Trafik Birimi)
<b>EDGE</b>	Evrensel Gelişim için Gelişmiş Veri Hızları (Enhanced Data Rates For Global Evolution)
<b>EIR</b>	Cihaz Kimlik Kütüğü (Equipment Identity Register)
<b>EV-DO</b>	Sadece Evrim Verileri (Evolution Data Only)
<b>FACCH</b>	Hızlı Bağlantılı Kontrol Kanalı (Fast Associated Control Channel)
<b>FCCH</b>	Frekans Düzeltme Kanalı (Frequency Correction Channel)
<b>FDMA</b>	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access)
<b>GMSC</b>	Geçit MSC (Gateway MSC)
<b>GMSK</b>	Gaussian Minimum Şifre Kaydırma Modülasyon tekniği (Gaussian Minimum Shift Keying)
<b>GoS</b>	Servis Derecesi (Grade of Service)
<b>GPRS</b>	Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)



<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>GSM</b>	Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
<b>HLR</b>	Kalıcı Konum Kütüğü (Home Location Register)
<b>HO</b>	Handover (Devir Teslim)
<b>HR</b>	Half rate (Yarım Hızlı)
<b>I</b>	Girişim (Interference)
<b>ID</b>	Kimlik (Identification)
<b>IMEI</b>	Uluslararası Mobil Cihaz Kimliği (International Mobile Equipment Identity)
<b>IMSI</b>	Uluslararası Mobil Abone Kimliği (International Mobile Subscriber Identity)
<b>INAP</b>	Akıllı Şebeke Uygulama Kısım (Intelligent Network Application Protocol)
<b>ISDN</b>	Sayısal Şebeke Tümüleşik Servisler (Integrated Services Digital Network)
<b>ISM</b>	Tümüleşik Servis Modeli (Integrated Service Model)
<b>ISUP</b>	ISDN Kullanıcı Kısım (ISDN User Part)
<b>LAC</b>	Yerel Alan Kodu (Location Area Code)
<b>LAI</b>	Yerel Alan Kimliği (Location Area Identification)
<b>LAPD</b>	D kanalında Link Erişim Prosedürü (Link Access Procedure on the D-channel)
<b>MAP</b>	Mobil Uygulama Kısım (Mobile Application Part)
<b>MS</b>	Mobil İstasyon (Mobile Station)
<b>MSC</b>	Mobil Anahtarlama Merkezi (Mobile Switching Centre)
<b>MSS</b>	Mobil Anahtarlama Sistemi (Mobile Switching System)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>MSISDN</b>	Mobil İstasyon ISDN Numarası (Mobil Subscriber ISDN Number)
<b>NSS</b>	Şebeke Alt Sistemleri (Network Subsystems)
<b>OMC</b>	İşletme ve Bakım Merkezi (Operation and Maintenance Centre)
<b>PAGCH</b>	Paket Erişim Verme Kanalı (Packet Access Grant Channel)
<b>PCH</b>	Arama Kanalı (Paging Channel)
<b>PCM</b>	Darbe Kod Modülasyonu (Pulse Code Modulation)
<b>PCS</b>	Kişisel İletişim Sistemi (Personel Communications System)
<b>PLMN</b>	Kamuya ait Mobil Şebeke (Public Land Mobile Network)
<b>PRBS</b>	Yanılıcı Rasgele Bit Sıralaması (Pseudo Random Bit Sequence)
<b>PSTN</b>	Sabit Telefon Şebekesi (Public Switched Telephone Network)
<b>QoS</b>	Hizmet Kalitesi (Quality of Service)
<b>RACH</b>	Rasgele Erişim Kanalı (Random Access Channel)
<b>SACCH</b>	Yavaş İlgili Kontrol Kanalı (Slow Associated Control Channel)
<b>SCH</b>	Senkronizasyon Kanalı (Synchronization Channel)
<b>SDCCH</b>	Bağımsız Atanmış Kontrol Kanalı (Stand-Alone Dedicated Control Channel)
<b>SIM</b>	Abone Kimlik Modülü (Subscriber Identification Module)
<b>SMS</b>	Kısa Mesaj Servisi (Short Message Service)

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>TCAP</b>	İşlem Yetenekleri Uygulama Kısmı (Transaction Capabilities Application Part)
<b>TCH</b>	Trafik Kanalı (Traffic Channel)
<b>TCH/F</b>	Tam Hızlı TCH (Full Rate TCH)
<b>TCH/H</b>	Yarım Hızlı TCH (Half Rate TCH)
<b>TDMA</b>	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
<b>TMSI</b>	Geçici Mobil Abone Kimliği (Temporary Mobile Subscriber Identification)
<b>TRAU</b>	Transfer Kodlama ve Hız Ayarlama Ünitesi (Transcoder and Rate Adaption Unit)
<b>TRU</b>	Alıcı-Verici Ünite (Transceiver Unit)
<b>TS</b>	Zaman Dilimi (Time Slot)
<b>TUP</b>	Telefon Kullanıcı Kısmı (Telephone User Part)
<b>UHF</b>	Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
<b>UL</b>	Uplink (Alma Bağlantısı)
<b>UMTS</b>	Evrensel Mobil İletişim Sistemi (Universal Mobile Telecommunications System)
<b>VHF</b>	Çok Yüksek Frekans (Very High Frequency)
<b>VLR</b>	Ziyaretçi Konum Kütüğü (Visitor Location Register)
<b>WCDMA</b>	Genişband Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Wideband Code Division Multiple Access)

## 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, üç farklı alan türünde (Kentsel, yarı kentsel, kırsal), iki farklı anten tipi (Üç sektörlü ve çok yönlü) kullanılarak baz istasyonlarından oluşan bir hücresel sistemin, maliyetinin, çıkış gücünün, konfigürasyonunun optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla sistemde bulunan baz istasyonu sayısı ve çıkış gücü, TRU (Alıcı-verici ünite) sayısı, N (Her kümede bulunan hücre sayısı) değeri, CIR (kanal girişim oranı) değeri, hücre yarıçapı ve  $D_s$  (Aynı frekansı eşzamanlı kullanan iki hücre arasındaki mesafe) değeri ve toplam maliyet değeri gibi parametreler dikkate alınmıştır. Bu değerlerin bulunduğu hücre planlama problemi bulanık mantık algoritması ile çözülmüştür. Söz konusu problem için C dilinde bilgisayar programı geliştirilmiş olup, veriler C++ Builder dilinde yazılan grafiksel ara yüz üzerinden belirlenebilmektedir.

Hücresel sistemlerde, abonelerin konuşma süreleri, hareketleri, çevre şartları önceden kesin olarak belirlenemeyen ve zamanla değişen birçok parametreye bağlıdır. Bulanık mantık algoritması da kesin olarak belirlenemeyen, zamanla değişen çok değişkenli sistemleri etkili denetleyebildiğinden, söz konusu problemi çözmede tercih edilmiştir.

Hata-Okumura yayılma modeli ile üç farklı alan türü (Kentsel, yarı kentsel, kırsal) için baz istasyonu çıkış gücü bulunmuştur.

Çalışma içerisinde mobil iletişim teknolojileri ve özelliklerine değinilmiştir. GSM sisteminin temel yapısı ve birimlerinden bahsedilmiş, çalışma prensibine değinilmiş ve hücre planlaması sürecinin adımları detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Programın verileri, özel bir firmanın saha çalışmalarından alınmış olup, söz konusu problemin çözümü bu veriler için gerçekleştirilmiştir. Taslak hücre planlama sürecinde, problemin başlangıç çözümü oluşturulmuş, daha sonra, bu çözümde elde edilen sistem parametreleri, gerçek zamanlı hücre

planlama sürecinde, bulanık mantık algoritması esasına dayanılarak geliştirilen program ile optimize edilmeye çalışılmıştır.

The screenshot shows a software application window titled "GSM SİSTEMİNDE HÜCRE PLANLAMASININ BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ". The interface is organized into several sections:

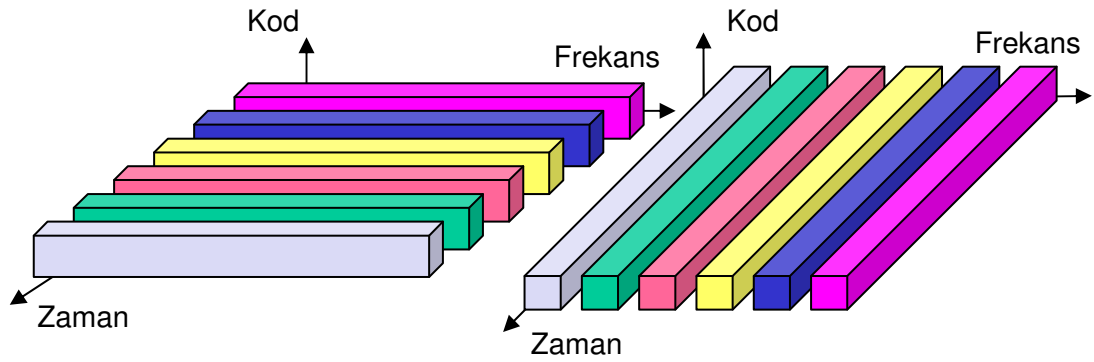
- Input Fields:** On the left, there are five input fields: "ALAN TÜRÜ" (Area Type) with a dropdown menu showing "Alan Türü", "ANTEN TİPİ" (Antenna Type) with a dropdown menu showing "Anten Tipi", "N DEĞERİ" (N Value), "KAPSAMA ALANI" (Coverage Area), and "KULLANICI SAYISI" (Number of Users).
- Parameter Fields:** In the middle, there are four input fields: "GoS DEĞERİ" (GoS Value), "TRAFİK DEĞERİ" (Traffic Value), "Hb DEĞERİ" (Hb Value), and "Hm DEĞERİ" (Hm Value).
- Calculation Buttons:** There are two main buttons: "TASLAK PLANLAMA" (Draft Planning) and "TASLAK HESAPLA" (Draft Calculate). Below them, there is a section for "GERÇEK ZAMANLI PLANLAMA" (Real-time Planning) with an "ERLANG" input field and a "GERÇEK ZAMANLI HESAPLA" (Real-time Calculate) button.
- Output Sections:** On the right side, there are two sections for results:
  - TASLAK PLANLAMA SONUÇLARI (Draft Planning Results):** Displays "TASLAK BTS SAYISI: ADET", "TASLAK TRU SAYISI: ADET", "TASLAK MALİYET: BİRİM", "KULLANICI BAŞINA TRAFİK: ERLANG", and "CIR DEĞERİ: dB".
  - GERÇEK ZAMANLI PLANLAMA SONUÇLARI (Real-time Planning Results):** Displays "HÜCRE YARIÇAPI: KM", "GERÇEK ZAMANLI BTS SAYISI: ADET", "YENİ TRU SAYISI: ADET", "YENİ N DEĞERİ:", "GERÇEK ZAMANLI MALİYET: BİRİM", "BTS GÜCÜ: dB", "Ds DEĞERİ: KM", and "CIR DEĞERİ: dB".

Şekil 1.1. Program ara yüzü

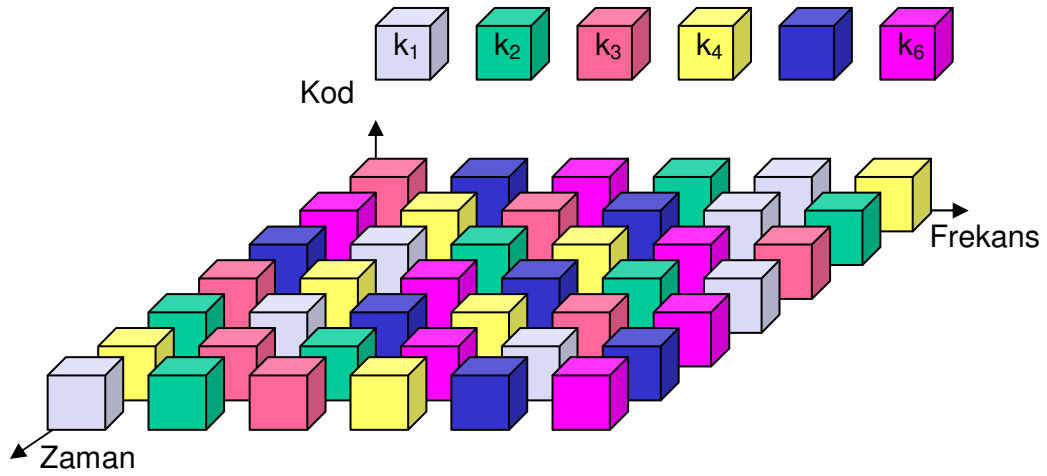
## 2. ERİŞİM TEKNİKLERİ

### 2.1. Tdma ve Fdma

Günümüzde artan trafik talebini karşılamak için mevcut frekans spektrumunun verimli bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Kapasite artırımı amacıyla yapılan çalışmaların önemli bir bölümünü çoklu kanal kullanım teknikleri oluşturmaktadır. En yaygın kullanılanları, zaman bölmeli çoklu kullanım (TDMA) ve frekans bölmeli çoklu kullanım (FDMA)'dır. Zaman bölmeli çoklu kullanımda kullanıcılar servis sağlayan istasyon ile farklı zaman dilimlerinde haberleşmekte, böylece kanal daha fazla kişinin kullanımına imkân vermektedir. Doğal olarak bu zaman dilimleri ses iletimini etkilemeyecek aralıklarda olmak durumundadır. Bu nedenle zaman bölmeli sistemler kanal kapasitesini belli ölçüde artırabilmektedirler. GSM sistemi frekans ve zaman bölmeli çoklu erişim tekniklerini kullanmaktadır. Bir kanal belirli zamanda belirli frekansa sahiptir. Mevcut bant genişliği 200 kHz bant genişliğine sahip taşıyıcı frekanslara bölünmüştür. Zaman ise, her biri sekiz TS (Zaman dilimi)'ye bölünmüş çerçevelerle ifade edilmektedir. Bir TS (Zaman dilimi) bir abonenin yaptığı arama için kullanılır. TDMA bant genişliğini daha etkili kullanır, çünkü bu durumda kanallar arasında frekans koruma bandı bulunmamaktadır. TDMA sisteminin dezavantajları da vardır. TDMA sistemi gönderim modunda yüksek tepe gücü ister. Bu da bataryanın ömrünü kısaltır. Şekil 2.1.'de frekans, zaman, kod düzleminde TDMA'in zaman düzlemini ve FDMA'in ise frekans düzlemini dilimlere ayırması görülmektedir.



Şekil 2.1. Zaman bölmeli çoklama ve frekans bölmeli çoklama



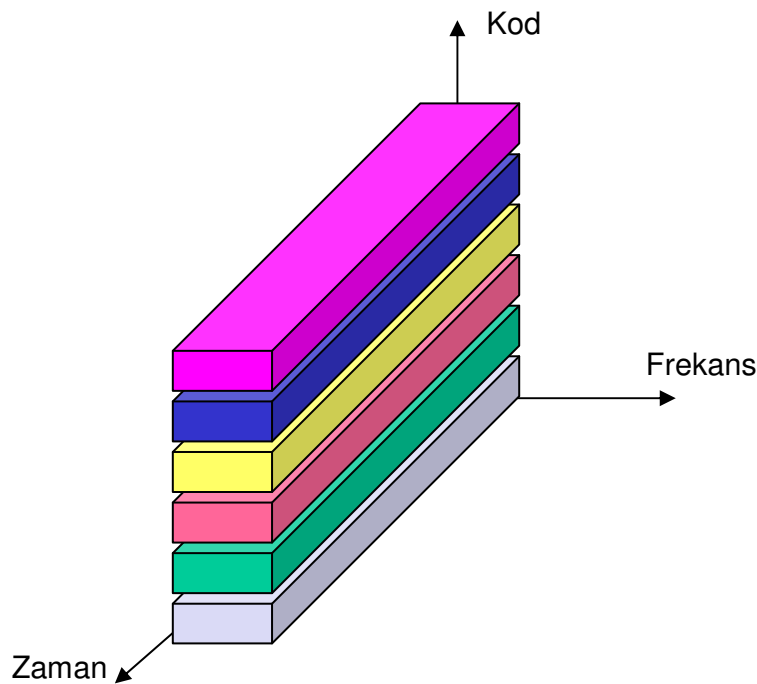
Şekil 2.2. Zaman bölmeli çoklama ve frekans bölmeli çoklama tekniğinin beraber kullanımı (GSM)

Frekans bölmeli sistemlerde ise kullanılan kanalın frekansı, birçok kullanıcı arasında bölüştürülmektedir. Burada sınırlayıcı etken ise ses (ya da veri) iletimi için gereksinim duyulan en az bant genişliği olmaktadır. Taşınabilir iletişim sistemlerinde kullanılan frekans bandının sınırlı olduğu düşünülürse, frekans bölmeli çoklama da kanal kapasitesini sınırlı ölçüde artırmaktadır (1).

## 2.2. Cdma

Son yıllarda gelişen başka bir yaklaşım ise kod bölmeli çoklama tekniğidir. Bu teknikte vericiden gönderilen işaret özel bir kod ile çarpılmakta alıcıda ise alınan işaret vericideki kodu çözecek başka bir kod ile çarpılarak işaret ilk haline dönüştürülmektedir. Ayrıca bütün kanalların kendine özel kodu vardır ve aynı anda aynı frekans spektrumunu kullanabilir. Böylece bant genişliğinin efektif kullanımı ve girişime karşı yeterli koruma sağlanır.

Kod bölmeli sistemlerde kanalın etkin kullanımını sağlayan, her kullanıcı için kullanılan kodların birbirlerine göre ortogonal olmasıdır. Böylece alıcı aynı frekansta gelen tüm işaretleri aynı anda almasına rağmen diğer işaretler çarpılan kodla ortogonal oldukları için sıfırlanmakta ve alıcı kısmında sadece elde edilmek istenen işaret kalmaktadır. Bu tip sistemler, frekans ya da zaman alanında çalışmadığından, söz konusu alanların sınırlamalarından etkilenmez.



Şekil 2.3. Kod bölmeli çoklama



### 3. MOBİL HABERLEŞME TEKNOLOJİLERİ

#### *Bluetooth (Mavi Diş) Teknolojisi:*

1994 yılında Ericsson, cep telefonları ve cep telefonu aksesuarları arasında kablosuz iletişim kurabilecek düşük güç tüketimli, düşük maliyetli bir radyo arabirimi üzerinde araştırma yapmaya karar verdi. Bu karar mavi diş teknolojisinin kapılarını açan adımdı. Mavi diş uygulamaları; mevcut veri ağlarına uzanan evrensel bir köprü, çevre birimleri için bir arabirim ve küçük çaplı cihaz ağları oluşturmak için bir araç olarak da kullanılabilirdi. Yapılan çalışmaların neticesinde 1999 Temmuz ayında katmanlı protokol yapısına sahip mavi diş spesifikasyonu çıkarıldı.

Mavi diş diğer sistemlere alternatif olarak geliştirilen kısa mesafede yüksek hızda veri aktarımı sağlayan güvenli bir kablosuz iletişim sistemidir.

Mavi diş ile diğer çözümler arasındaki en belirgin fark, mavi diş ile birden çok cihazın birbirleri ile aynı anda iletişim kurabilmesidir. Mavi diş sisteminde radyo bağlantısı ile birçok aracın bağlanması mümkün olmaktadır. Üstelik cihazlar arasında görsel teması ihtiyaç duyulmamaktadır. Diğer standartlarda olduğu gibi mavi diş de 2,45 GHz ISM bandını kullanır. Parazitleri büyük ölçüde önleyebilmek için frekans atlama yöntemine başvurulmaktadır. Yöntemde 2,402 GHz ile 2,480 GHz frekans aralığı 1 MHz'lik aralıklarla 79 kanala bölünür. Bölünme sonucu, saniyede 1,600 frekans atlama gerçekleşebilir. Bu sayede de Mavi diş bağlantıları diğerlerine oranla çok daha kararlı olur. Mavi diş ağı içerisindeki cihazlar 10 metre alan içerisinde 720 kbps hızında bilgiyi paylaşabilir.

### *GPRS (General Packet Radio Service):*

GPRS, verilerin mevcut GSM şebekeleri üzerinden saniyede 28,8 ile 115 kbps hızlarda iletilebilmesine imkân veren, cep telefonu ve mobil cihaz kullanıcılarına kesintisiz internet bağlantısı sunan paket tabanlı bir mobil iletişim servsidir. GPRS, mobil iletişim teknolojisinde halen kullanılan devre anahtarlama (circuit-switched) yani kullanıcıya tahsis edilen bir tek hat üzerinden sürekli bağlantı yerine paket anahtarlama (packet switched), aynı hattı birden çok kullanıcının paylaştığı bir teknolojidir. GPRS platformu aynı zamanda WAP tabanlı servisler için de ideal bir taşıyıcıdır.

GPRS teknolojisini kullanabilmek için mobil şebeke ve servis sağlayıcı altyapısına GPRS donanım ve yazılımları entegre etmek ve GPRS uyumlu mobil telefon gereklidir.

### *EDGE (Enhanced Data Rates For Global Evolution):*

EDGE, GPRS altyapısı üzerinden teorik olarak 384 kbps'ye, pratikte 236,8 kbps'ye kadar veri haberleşmesi sağlayan, multimedya servisleri ve uygulamalarını destekleyen bir teknolojidir.

### *Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA):*

CDMA teknolojisinde öncelikle iletilmesi istenen sinyal sadece o aboneye tahsis edilen bir kod ile işleme tabi tutularak geniş bir bant üzerine yayılır. Daha sonra işlenmiş bilgi sinyali (1,25MHz Spread spectrum – yaygın spektrum) diğer abonelere ait sinyallerin üzerine bindirilerek gönderilir. Alıcı tarafında bütün sinyaller yine aynı kod ile çarpılarak alınması istenen sinyal ayırt edilir. Böylece yüksek bant genişliğine sahip bilgi sinyali elde edilmiş olur. Günümüzde CDMA teknolojisinin farklı frekanslarda yayın yapan birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan biri 100 milyonun üzerinde abonesi olan CDMA 2000 1x (Ses ve veri iletişimini sağlayan 3G teknolojisi) teknolojisidir.

Söz konusu teknoloji ses iletimine ek olarak abone başına 153,6 kbps kablosuz mobil veri iletişimi sunarken, sistemde yapılacak birkaç kart eklemesi ve yazılım güncellemesi ile CDMA EV-DO (Evolution Data Only-CDMA 1x 'in özelliklerine ilaveten görüntü iletimi de sağlanır) teknolojisi olarak çalışabilmekte ve abone başına 2,4Mbps hızına ulaşabilmektedir.

*CDMA WLL (Wireless Local Loop- Kablosuz Yerel Döngü) :*

CDMA WLL teknolojisi, başta ABD olmak üzere Latin Amerika ve Asya Pasifik ülkelerinde 50'den fazla sabit şebeke operatörü tarafından kurulmuş ve kullanılmaktadır. Mobil CDMA şebekesi iki ana bölüme ayrılır; BSS (Base Station Subsystem – Baz İstasyonu Alt Sistemi) ve MSS (Mobile Switching System – Mobil Anahtarlama Sistemi). En basit tanımı ile BSS santralden sonra aboneye kadar olan şebeke, MSS ise abone bilgilerinin işlendiği santral kısmıdır. CDMA WLL kurulum itibariyle santral ile abone arasındaki kablo altyapısını ortadan kaldırarak kurulum ve bakım onarım maliyetlerini en aza indirmeyi hedeflemiştir. MSS yerine mevcut PSTN (Public Land Mobile Network) santralleri ve altyapısı kullanılmaktadır. Baz istasyonları (BTS – Base Transciever Station) toplama merkezlerine (BSC – Base Station Controller) bağlanmakta, BSC'ler de standart V5,2 ara yüzü ile PSTN santrallerine bağlanmaktadır.

Aradaki kablo altyapısı ortadan kaldırılırken aradaki mevcut iletim kapasitesi de büyük ölçüde yükselmektedir. Örneğin BTS ve BSC arasındaki iletimde kullanılan 2Mbit/s PCM30 bağlantısında 32 kanal üzerinden 30 abone trafiği yerine 160 (teorik olarak 192'ye kadar çıkabilmekte) ses kanalı iletebilmektedir.

### *Genişband Kod Bölme Çoklu Erişim (WCDMA):*

Her türlü veriyi 2 Mbps'ye kadar ulaşan veri alma/gönderme hızı ile daha verimli radyo frekans aralığı kullanıma sunan geniş bantlı radyo tekniğidir. Giriş sinyalleri sayısallaştırılır ve kodlanır. WCDMA'nın sunduğu daha geniş bant aralığı, üçüncü neslin (3G) tüm gücünün ortaya çıkmasını sağlayacaktır. WCDMA ses, görüntü ve multimedya servislerine aynı anda ulaşımı sağlar.

### *Evrensel Mobil İletişim Sistemi (UMTS):*

UMTS erişim tekniği olarak WCDMA kullanan, geniş bantlı 3G teknolojisi olarak kullanılması planlanan ve üçüncü nesil mobil haberleşme sistemine verilen genel isimdir. UMTS, teorik olarak 2 Mbps hızında internete bağlanma imkânına sahiptir. UMTS paket anahtarlamalı olarak çalıştığından kullanılan süreye göre değil, transfer edilen (gönderilen ve alınan) veriye göre ücretlendirme yapmaktadır.

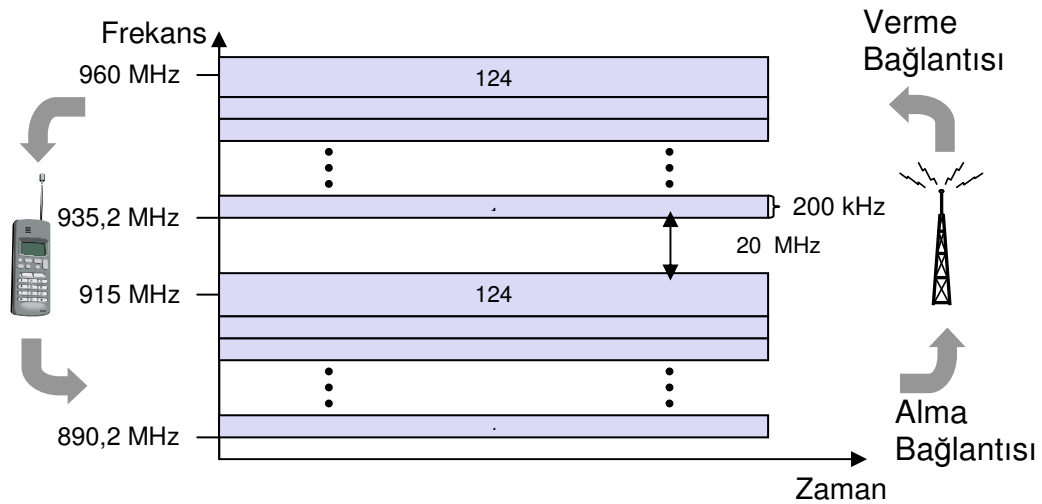
## **3.1. GSM Tarihçesi**

Teknoloji alanındaki hızlı gelişmeler özellikle iletişim alanında büyük değişimlere sebep olmuştur. Kablosuz haberleşmenin temeli Marconi tarafından 1897 yılında atılmıştır (1). 1972 yılında Bell laboratuvarlarında mobil iletişim için hücreli haberleşme kavramı ortaya konulmuştur. Bu temelde, farklı analog mobil iletişim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemlerde sadece ses taşımak mümkündü.

Bu sistemlerin bağımsız olmaları ve birbirleri ile uyumlu olmamaları gibi kesin kısıtlamaları vardı. Bir sistemdeki mobil telefon cihazı başka bir sistemde kullanılamıyordu. 1982 yılında, CEPT (Conference of European Post and Telecommunications Administration) toplantısında 2. kuşak (Faz 2) sistemi oluşturmak amacıyla GSM (Group Special Mobile) çalışma grubu kurulmuştur. Bu sistem Avrupa ülkeleri arasında dolaşıma izin verecekti (Roaming).

Geliştirilen sistem, Global System for Mobile Communications (GSM) adını almıştı. Sistem ismi ile komite isminin karışıklık oluşturmaması için Group Special Mobile komitesinin ismi, Special Mobile Group (SMG) olarak değiştirildi.

1991 yılı sonunda Avrupa'da kullanılmak üzere geliştirilmiş olan ilk GSM 900 Sistemi, sayısal iletişim teknolojisiyle çalışan, uluslararası sayısal, hücrel mobil haberleşme sistemidir. Bu sistemle mobil haberleşme standardının ilk aşaması tamamlandı (2).



Şekil 3.1. GSM 900 spektrumu

GSM üç seçenikle geldi:

**GSM 900:** Bu sistem 900 MHz frekans bandını kullanmaktadır. Temel olarak kırsal alan için tasarlanmıştır ve maksimum hücre yarıçapı 33 km'dir.

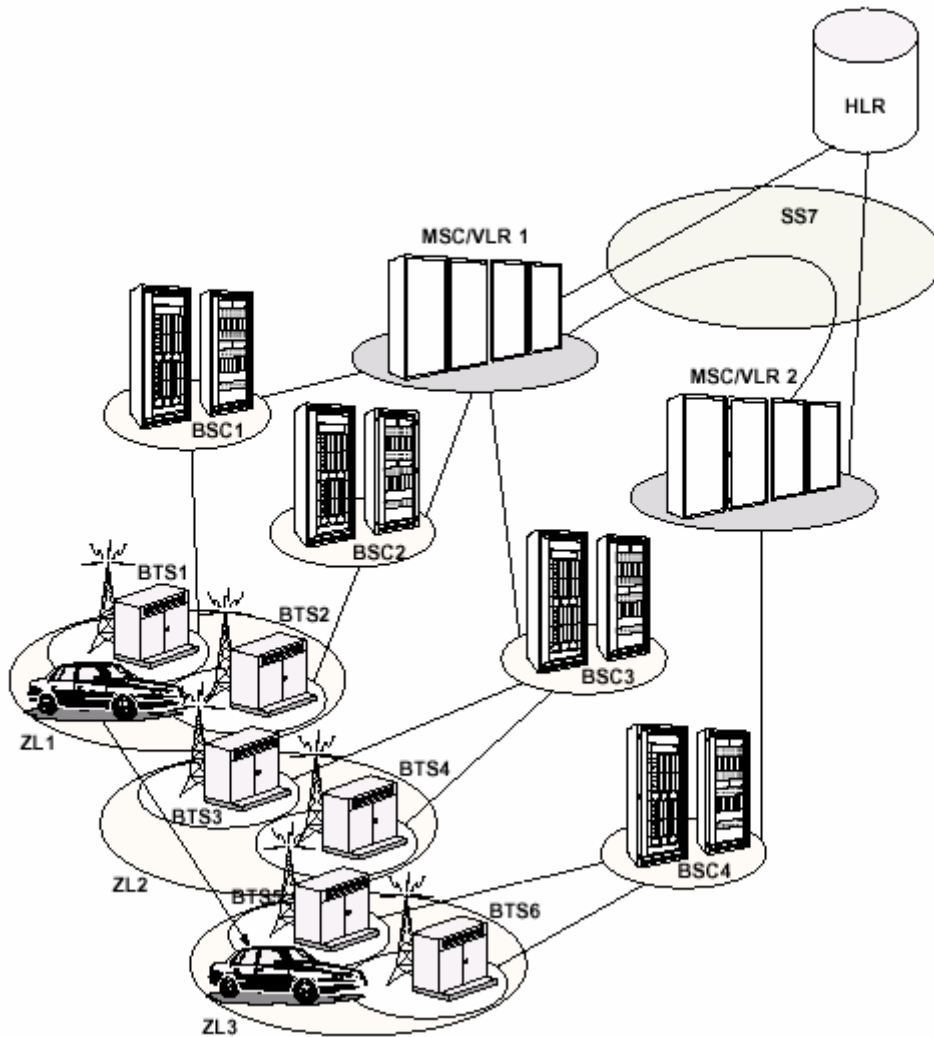
**DCS 1800:** Bu sistem 1800 MHz frekans bandını kullanmaktadır. Temel olarak abone yoğunluğunun fazla olduğu şehirsal alanlar için tasarlanmıştır ve maksimum hücre yarıçapı 7-8 km.'dir.

PCS 1900: Bu sistem 1900 MHz frekans bandını kullanmaktadır. Temel olarak abone yoğunluğunun fazla olduğu şehirsel alanlar için tasarlanmıştır ve maksimum hücre yarıçapı 6-7 km.'dir.

Çizelge 3.1. Çeşitli GSM standartlarının frekans bandındaki dağılımları

Sistem	P-GSM 900	E-GSM 900	GSM 1800	GSM 1900
Frekanslar				
Alma Bağlantısı	890–915	880–915	1710–1785	1850–1910
Verme Bağlantısı	935–960	925–960	1805–1880	1930–1990
(MHz)				
Dalga boyu	33 cm	33 cm	17 cm	16 cm
Bant genişliği	25 MHz	35 MHz	75 MHz	60 MHz
Taşıyıcı bant	200 kHz	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Radyo kanalları	125	175	375	300
İletim hızı	270 kbits/s	270 kbits/s	270 kbits/s	270 kbits/s

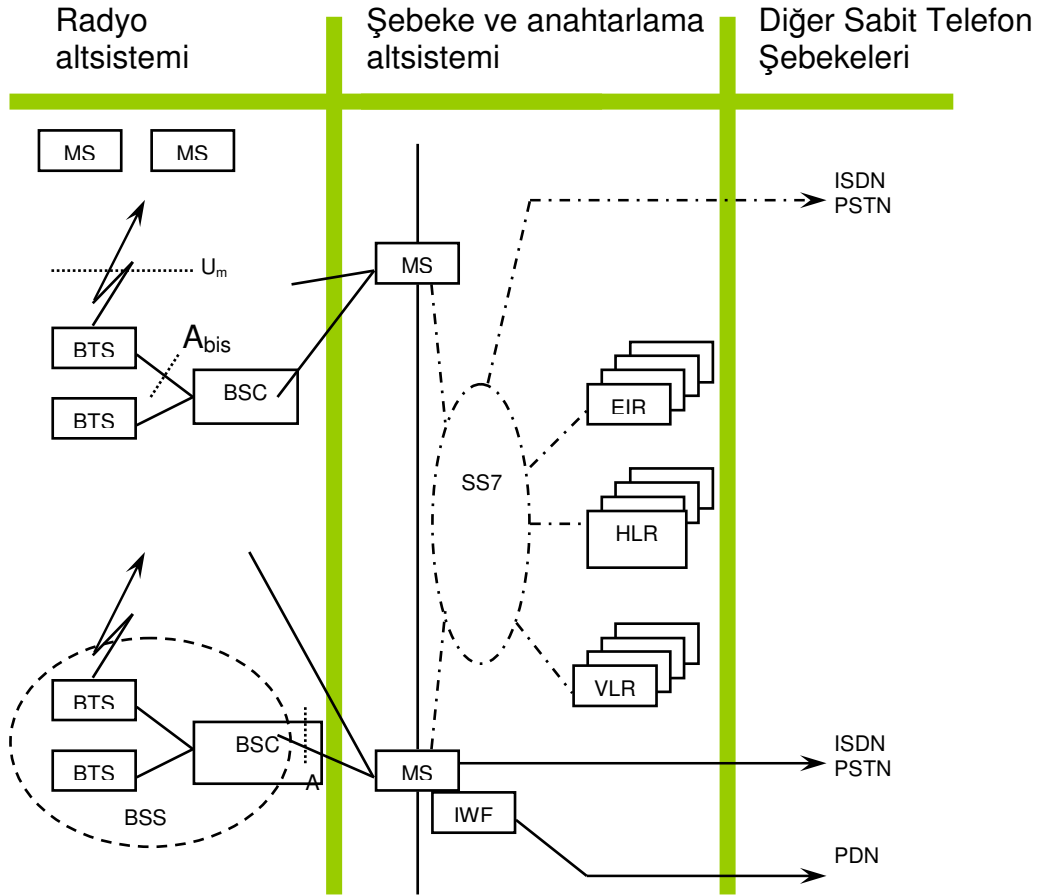
GSM 1800 (DCS 1800 olarak da bilinir) ve GSM 1900 (PCS 1900 olarak da bilinmektedir) GSM 900 ile karşılaştırıldığında, söz konusu spektrumda esas olarak hava ara yüzü farklıdır. Bir diğer frekans bandı kullanmalarının yanı sıra mikro hücresel yapıyı kullanırlar (yani, her bir radyo hücresi için daha küçük kapsama bölgesi). Bu durum, frekansların daha yakın mesafede yeniden kullanılmasını ve abone yoğunluğunun artırılmasını sağlar. Şekil 3.2.'de GSM sisteminin hiyerarşik genel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.2. GSM genel yapısı

### 3.1.1. GSM sistemi mimarisi

Yönetilebilir iletişim sistemleri oluşturmanın en iyi yolu, sistemi standartlaştırılmış ara yüzler kullanarak birbirlerine bağlanmış olan alt gruplara bölmektir. Bunlar; Mobil istasyon (MS) Türkiye'deki adı ile cep telefonu, baz istasyonu alt sistemi (BSS) ve şebeke alt sistemleri (NSS)'dir.



Şekil 3.3. GSM ağının yapısı

### Mobil İstasyon (MS)

Mobil İstasyon, abonenin şebekeye bağlanmasını sağlar. Bu istasyon SIM kartı ve mobil telefon cihazından meydana gelmektedir.

### SIM Kart veya Abone Kimlik Modülü:

SIM kart abone bilgilerini taşıyan akıllı kart olup, mobil cihaz içine takılmaktadır. SIM kart içerisindeki numara, şebekede aboneyi tanımlayan özel bir numaradır. Abone şebekede tek numarayla birden fazla servisi kullanabilir. Bu numara yalnızca şebekeye ilk girişte kullanılır. Temel olarak şu bilgileri içerir:



### *Geçici Mobil Abone Kimliği (TMSI):*

Geçici mobil abone kimliği, IMSI (Uluslararası Mobil Abone Kimliği) yerine kullanılan bir numara olup, periyodik olarak değiştirilmektedir. Böylece abone bilgileri ve konuşma güvenliği için dinlemeye karşı ilave bir koruma sağlamaktadır.

### *Yerel Alan Kimliği (LAI):*

Abonenin şebekede (Kendi şebekesi veya tanımlı herhangi bir GSM şebekesi) bulunduğu yeri tanımlar. Bu kod sayesinde aboneye gelen çağrılar için bağlantı kurulmaktadır.

### *Ki Kodu:*

Abone bilgisi ve konuşma güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılan bir şifreleme ve sorgulama anahtarıdır. Bu kod her abone için ayrı olup, SIM kartında ve AUC'ta kayıtlıdır. Ki kullanılarak MS ile BTS arasında iletilen tüm bilgiler (Sinyalleşme ve konuşma) şifreli olarak gönderilir. Şifreleme ve deşifre işlemini sağlayan anahtar kod Ki'dir.

### *Baz İstasyonu Alt Sistemleri (BSS)*

Baz istasyonu alt sistemleri (BSS) baz istasyonu kontrolörü (BSC) ve baz alıcı ve verici istasyonundan (BTS) oluşmaktadır.

### *Baz Alıcı Verici İstasyonu (BTS)*

GSM, cep telefonlarını hücreli şebekeye bağlamak için BTS adı da verilen bir dizi radyo ileticiyi kullanır. Bunların görevleri arasında kanal kodlaması ve kodlama/kod çözme bulunmaktadır. BTS, radyo ileticiler ve alıcılar, antenler, iletim (PCM) tesisine ara yüz vs. den oluşur. BTS, gerekli çağrı işlem kapasitesini sağlamak için bir veya daha fazla alıcı-vericilerden oluşabilir. Bir

BTS çok yönlü anten ile her yöne ya da üç sektörlü (sektörel) anten ile aralarında  $120^\circ$  fark olan üç sektöre yayın yapılabilir.

**Çok Yönlü Anten (Omni) :** Bu anten tipinde baz istasyonu tek hücreden oluşmaktadır ve baz istasyonu merkez etrafında eşit olarak ışımaktadır. Bu baz alıcı ve verici istasyonu için antenler bu ışımaya uygun özelliktedir ve çok yönlü anten olarak isimlendirilir.

**Üç Sektörlü Anten (Sektörel) :** Sektörel baz istasyonları bir veya birden fazla hücreden oluşmaktadır. GSM'de kullanılan genel yapı üç hücreden oluşan sektörel yapıdır. Her bir hücre aynı zamanda sektör olarak isimlendirilir. Sektörler yönlü antenler kullanılarak oluşturulur. Bu tip antenler ön yüzey doğrultusunda belirli bir açıyla ışıma yaparlar.

Sektör yapıda hücre sınırlarını bir bölgeye odaklama ve daha kesin olarak belirlemek daha kolaydır. Yine antenler belirli bir eğimle monte edilebilirler. Böylece radyo sinyallerinin gidebileceği alanları bilmek ve sınırları planlamak daha kesindir. Dolayısıyla şebekenin sinyal kalitesi daha iyi olacaktır. Hücreleri daha küçük dilimlere (sektör) ayırmakla abonelere daha kaliteli hizmet sunma ve kapasitenin daha etkin kullanımı mümkün kılınmaktadır.

Düşük abone kapasitesinin olduğu ve olabildiğince geniş alanların kapsanmak isteneceği kırsal bölgeler için çok yönlü (Omni-cell) anten tipi, yüksek abone kapasitesi ve yoğun hücre yerleşiminin gerçekleştirileceği şehirseller alanlar için üç sektörlü (Sektör-cell) anten tipi tercih edilir.

### *Baz İstasyonu Kontrolörü (BSC)*

Bir grup baz alıcı ve verici istasyonu (BTS) belirli bir baz istasyonu kontrolöre (BSC) bağlanır ve BSC'de radyo kaynaklarını onlar için yönetir. Mobil istasyonlar alınan sinyal gücü konusundaki bir raporu her 480 ms.'de bir

gönderirler. BSC, bu bilgilerle diğer hücrelere yapılan devir teslimi (Hand over) başlatabilir, BTS iletici gücünü değiştirebilir.

#### *İletim Kodlayıcı (Transcoder)*

Transcoder, GSM'de kullanılan iletim formatı ile genel iletişim sistemlerindeki iletim formatı arasında dönüşümü sağlar. GSM sisteminde hava ara yüzünde (Air interface) iletimin zorluğu nedeniyle ve daha verimli kullanım için kabul edilmiş iletim değeri 16 Kbit/s'dir. Normal iletişim sistemlerinde ise 64 Kbit/s iletim kullanılmaktadır. Transcoder 16Kbit/s den 64 Kbit/s'e ve tersi yönde dönüşümü gerçekleştirmektedir. Ekipman olarak santrallerin (MSC) yanına yerleştirilmiştir.

#### *Şebeke Alt Sistemleri (NSS)*

Mobil Anahtarlama Merkezi (MSC) : MSC bir mobil abonenin ihtiyacı olan tüm fonksiyonelliği sağlar. Ana görevleri arasında kayıt, onaylama, yer güncellemesi, ücretlendirme, devir teslimler ve bir dolaşım abonesine çağrı yönlendirmesi bulunmaktadır. Şebeke alt sistemindeki fonksiyonel varlıklar arasındaki sinyalizasyon (kayıtlar) için No.7 sinyalleşme sistemini kullanır. MSC, diğer şebekelerle (PLMN, PSTN) iletişim kurmayı sağlıyorsa, köprü MSC (GMSC) olarak adlandırılır.

#### *Kalıcı Konum Kütüğü (HLR)*

Mobil abonelerin yönetimi için kullanılan bir veritabanıdır. Uluslararası Mobil Abone Kimliğini (IMSI), mobil istasyon ISDN numarasını (MSISDN) ve geçerli ziyaretçi konum kütüğü (VLR) adresini saklar. Burada saklanan ana bilgiler, her bir HLR tarafından yönetilen mobil abonelere çağrılarını yönlendirmek için her mobil istasyonun yeri ile ilgilidir. HLR yine, her bir MS ile ilgili servisleri de sağlar. Bir HLR birçok MSC'ye servis verebilir.

### *Ziyaretçi Konum Kütüğü (VLR)*

MS'nin mevcut yerini, çağrı kontrolü ve abone olunan hizmetlerin temin edilmesi için gerekli olan ve HLR'den alınan bilgileri, VLR tarafından kontrol edilen her bir cep telefonu için seçilen abonelik hizmetlerinin teminini içerir. Bir VLR, bir MSC'ye bağlıdır ve normalde MSC'nin donanımına bütünleşmiştir.

### *Kimlik Denetim Merkezi (AUC)*

Her abonenin SIM kartında saklanan gizli bir tuşun bir kopyasını bulunduran korunumlu bir veri tabanıdır. Radyo kanalı üzerinden onaylama ve kodlama amacıyla kullanılır. AUC, sahteciliğe karşı ek güvenlik temin eder. Normalde bir GSM şebekesi içerisinde HLR'a yakın bir yerdedir.

### *Cihaz Kimlik Kütüğü (EIR)*

EIR şebeke içerisinde yer alan geçerli mobil istasyonu cihazlarının listesini içeren bir veri tabanıdır. Burada her bir mobil istasyonu uluslararası mobil cihaz kimliği (IMEI) ile tanımlanır.

### *İşletme ve Bakım Merkezi*

İşletme ve Bakım Merkezi (OMC), GSM fonksiyonel bloklarını denetleyen bir yönetim sistemidir. OMC, GSM şebekesinin uygun çalışmasını sağlamak üzere şebeke işletmecisine yardımcı olur. Donanım fazlalığı ve akıllı hata belirleme mekanizmaları, şebekenin çalışmadığı sürenin önlenmesinde yardımcı olur. OMC, MSC, BSC ve BTS'nin kontrolü ve bakımından sorumludur. Tüm kamuya ait mobil şebekeden (PLMN) veya PLMN'nin sadece belirli kısımlarından sorumlu olabilir.

### 3.1.2. İletim yapısı

GSM şebekesinde iki temel bağlantı yapısı kullanılmaktadır:

**Karasal bağlantı:** Baz alıcı verici istasyonundan santral birimine kadar kullanılan bağlantıdır.

**Radyo frekans bağlantısı:** Mobil telefonla baz istasyonunun bağlantısını sağlayan yapıdır. İletişim sistemlerinde kullanılan karasal bağlantılar için Avrupa ve Amerika ayrı standartlarla tanımlamalar yapmışlardır. İletim değerleri açısından aynı yapıda olan bu bağlantılar, yapılandırma olarak farklıdır.

#### *E1 Bağlantısı*

Avrupa standartlarında tanımlanmıştır. Bu standartları kabul eden ülkelerin şebekelerinde kullanılmaktadır. Türkiye'de kullanılan hat yapısı da E1 formatındadır. E1 bağlantısı 2,048 Mb/s veri hızına ve 64Kb/s'lık 32 adet zaman dilimine (TS-Time Slot veya zaman dilimi olarak isimlendirilir) sahiptir. Sıfırıncı zaman dilimi her zaman hattın senkronizasyonu için ayrılmıştır. Geriye kalan 31. zaman dilimi ise PCM verisini taşımak için kullanılabilir. Bu zaman dilimlerinden herhangi biri sistemi kontrol amacıyla, 16. zaman dilimi, sinyalleşme kanalı olarak ayrılır.

#### *T1 Bağlantısı*

T1 bağlantısı genel olarak Amerika ve Japonya'da kullanılır. 1,544 Mb/s'lık bir veri hızına sahiptir. 24 adet 64Kb/s'lık zaman diliminden oluşur ve hepsi PCM veri iletimi için kullanılabilir. Senkronizasyon, ek olarak kullanılan 1 bit sayesinde sağlanır. Dolayısı ile bir veri çerçevesi 193 bit'tir (24x8 bit, ilave olarak bir senkronizasyon biti). Sinyalleşme bilgisi PCM verisi içinde çoğullanarak veya ayrı bir sinyalleşme zaman dilimi ile taşınabilir. Hücresel

mobil şebekesinin fonksiyonlarından biri radyo bağlantısı üzerinden ses veya veri iletim kalitesini sağlamaktır.

### *Frekans Bandı*

Hücrel mobil iletişim sisteminde telefonlarla sistem arasındaki haberleşme radyo frekansları ile sağlanmaktadır. Konuşma ve haberleşme bilgisi bu radyo frekansları ile taşınmaktadır. Baz istasyonlarından yapılan radyo yayımları hücre kapsama alanını oluşturmaktadır.

Frekans bandı iki kısma ayrılmıştır:

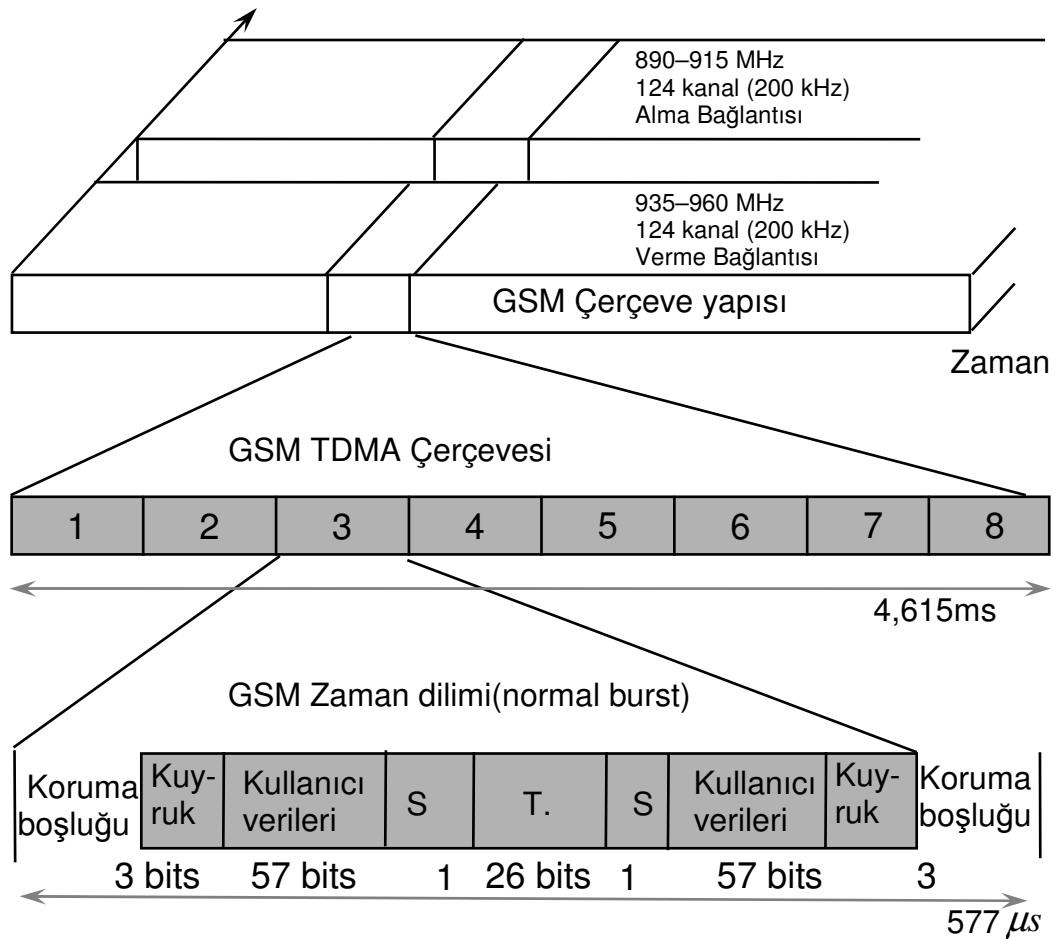
Yukarı Yönde (Verme yönünde) : Baz istasyonu açısından baktığımızda, baz istasyonundan mobil telefona doğru gerçekleşen iletim yolu verme yönünde diyebiliriz.

Aşağı Yönde (Alma yönünde) : Baz istasyonu açısından baktığımızda, mobil telefondan baz istasyonuna doğru gerçekleşen iletim yolu olarak isimlendirilmektedir. Alma ve verme için iki farklı frekans aralığı kullanılmaktadır. GSM 900 sistemi için abonelere ait konuşma bilgisinin en iyi şekilde taşınabileceği bant genişliği 25 MHz olarak hesaplanmıştır.

GSM 900'e ait frekans bandı; 25 MHz verme yönünde, 25 MHz alma yönünde olmak üzere 125 adet 200 KHz'lik taşıyıcı frekansa ayrılmıştır. 20MHz'de iki bant arasında koruma bandı ve ileride gerçekleşecek uygulamalar için rezerve olarak bırakılmıştır. Bu frekans dilimlerinin her biri "frekans bandı veya frekans kanalı" olarak isimlendirilmektedir. Her bir frekans diliminde zaman çoklaması (TDMA) yapılarak 8 kişiye ait bilgi (konuşma veya diğer veriler) taşınmaktadır. Frekans dilimlerinde kullanılan radyo dalgalarının özelliği gereği oluşan harmoniklerin bant dışına taşıyor olması nedeniyle ayrılan frekans aralığının başında ve sonunda 100 KHz'lik

kısımlar diğer frekansların etkilenmemesi için kullanılmaktadır. Bu nedenle toplam 125 frekans kanalının 124 adedi etkin olarak kullanılmaktadır.

GSM 900 sisteminde bir abonenin konuşmasını çift yönlü taşımak için 1 adet verme yönünde ve 1 adet te alma yönünde frekans kullanmak gerekmektedir. Abone için alma ve vermede (Alma yönünde ve Verme yönünde) aynı kanal numaralı frekans kanalı kullanılmaktadır. Örneğin; abonenin konuşmaları 3 nolu verme yönünde frekans kanalı üzerinden baz istasyonu aracılığı ile diğer telefon abonesine iletilirken, karşı taraftan gelen ses bilgisi abonemize yine 3 nolu alma yönünde frekans kanalı üzerinden gelmektedir (2).



Şekil 3.4. GSM çerçeve yapısı

GSM sistemi, her çerçevenin 8 zaman dilimi içerdiği çerçeve yapısını kullanır. Bilgiler kanallarda 270,833 kbps hızında iletilmektedir.

Bir bitlik zaman dilimi:

$$T_b = \frac{1}{270,833 * 10^3} = 3,692 \mu s$$

Bir zaman diliminin süresi:

$$T_{slot} = \text{Zaman diliminde bulunan bit sayısı} * T_b = 156,25 * 3,692 \mu s$$

$$T_{slot} = 577 \mu s$$

Bir çerçeve için gerekli süre:

$$T_{çerçeve} = 8 * T_{slot} = 4,615 \text{ ms.}$$

Kullanıcıya ait bilgiler her 4,615 saniyede bir iletilir (1).

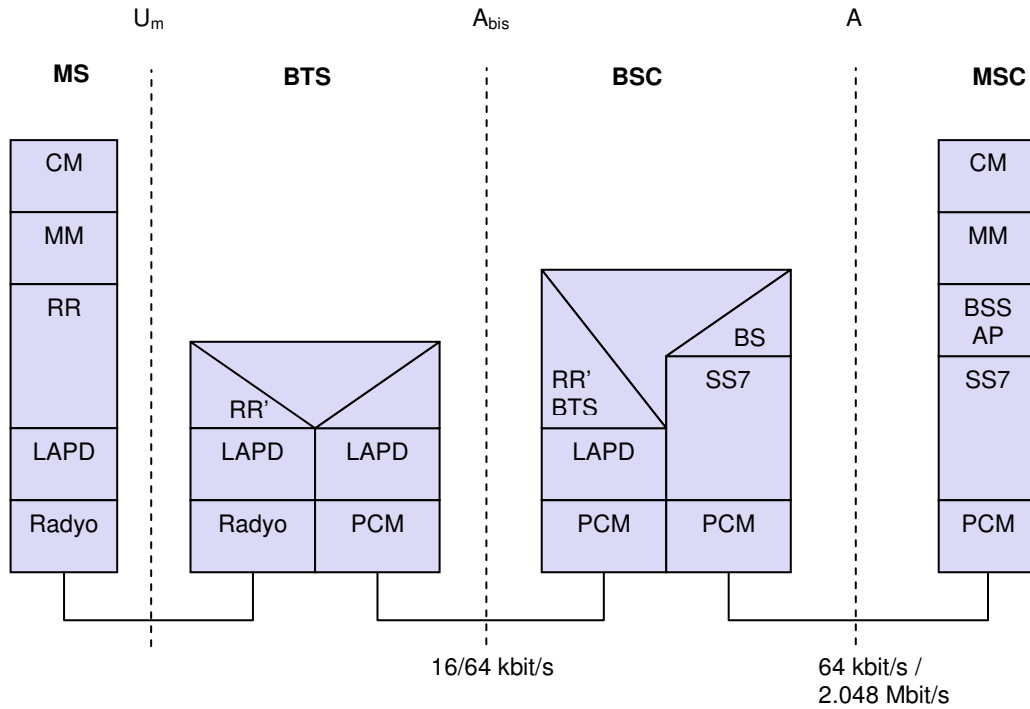
### *Modülasyon Tekniği*

GSM sisteminde sayısal sinyal iletimi için GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) modülasyon tekniği kullanılmaktadır. GMSK modülasyonunda, faz değişiklikleri anlık olmayıp, belirli bir periyot süresince yapılmaktadır. Böylece yüksek frekans bileşenlerinin oluşumu engellenmektedir. Bu da kullanılacak spektrum bant genişliğinin diğer tekniklere göre daha az olmasını sağlamaktadır. GMSK'de ilk önce sayısal sinyal Gaus filtresinden geçirilerek, sinyalin şekli köşeleri yuvarlamak suretiyle değiştirilir. Filtre edilen sinyal, faz kaydırması için taşıyıcı sinyale uygulanır.



### Ara yüzler ve Protokoller

Bir protokol, iki cihaz arasındaki haberleşmeyi sağlayan son derece iyi geliştirilmiş kurallar ve yöntemler grubudur. Radyo bağlantısı üzerinden ses veya veri iletim kalitesini sağlamak, hücresel mobil şebekesinin fonksiyonlarının sadece bir kısmıdır. Bir mobil istasyonu, ulusal ve uluslararası olarak sürekli dolaşabilir. GSM şebekelerinde standartlaştırılmış çağrı yönlendirme ve yer güncelleme fonksiyonlarını gerektirir. Bir kamu iletişim sistemi, üçüncü şahıslar tarafından kötü amaçlı kullanımlara karşı katmanlı güvenlik mekanizmalarını gerektirir. Onaylama, şifreleme ve geçici mobil abone kimliklerinin (TMSI'lar) kullanılması gibi güvenlik fonksiyonları mutlak bir gerekliliktir.



Şekil 3.5. GSM ara yüzleri ve protokolleri

### Hava Ara yüzündeki Trafik Kanalları

Trafik kanalı (TCH), konuşma ve veri trafiğinin taşınması için kullanılır. Trafik kanalları 26 çerçeveli çoklu çerçeve (Multiframe) veya 26 TDMA çerçevesi

kullanılarak tanımlanır. Bu çoklu çerçeve 120 ms. sürer. Her bir çerçevede 8 adet kullanıcıya ait veri (Burst) taşınmaktadır. Çoklu çerçeve süresinin  $26 * 8$ 'e bölünmesi ile bir burst periyodu için geçen süre bulunur. 26 çerçeveden, 24'ü trafik için, 1'i yavaş bağlantılı kontrol kanalı (SACCH) için kullanılır. Biri ise kullanılmamaktadır. Verme yönünde ve alma yönünde olan TCH'ler zaman içerisinde 3 burst periyodu şeklinde ayrılır. Bu şekilde mobil istasyonun eş zamanlı olarak alma ve verme zorunluluğu yoktur. Bu özellik elektronik devreleri basitleştirmektedir. Bu yöntem, karmaşık çift yönlü (Duplex) filtrelerinin kullanımını gerektirmez ve böylece enerji tüketimini azaltır.

Bu tam hızlı (Full rate) TCH'lere ek olarak (TCH/F, 22,8 kbit/s), yarım hızlı (yarım hızlı) TCH'ler (TCH/H, 11,4 kbit/s) de tanımlanmıştır. Yarım hızlı TCH'ler, tek bir kanaldan iki çağrının iletilmesine imkân vererek sistemin kapasitesini iki katına çıkarırlar. Veri iletimi için bir TCH/F'nin kullanılması halinde, kullanılabilir veri hızı geliştirilmiş güvenlik algoritmaları sebebiyle 9,6 kbit/s değerine düşer (TCH/H'de: maksimum 4,8 kbit/s). GSM tavsiyelerinde, bunlar tek başına çalışan tahsis edilmiş kontrol kanalları (SDCCH) olarak adlandırılır.

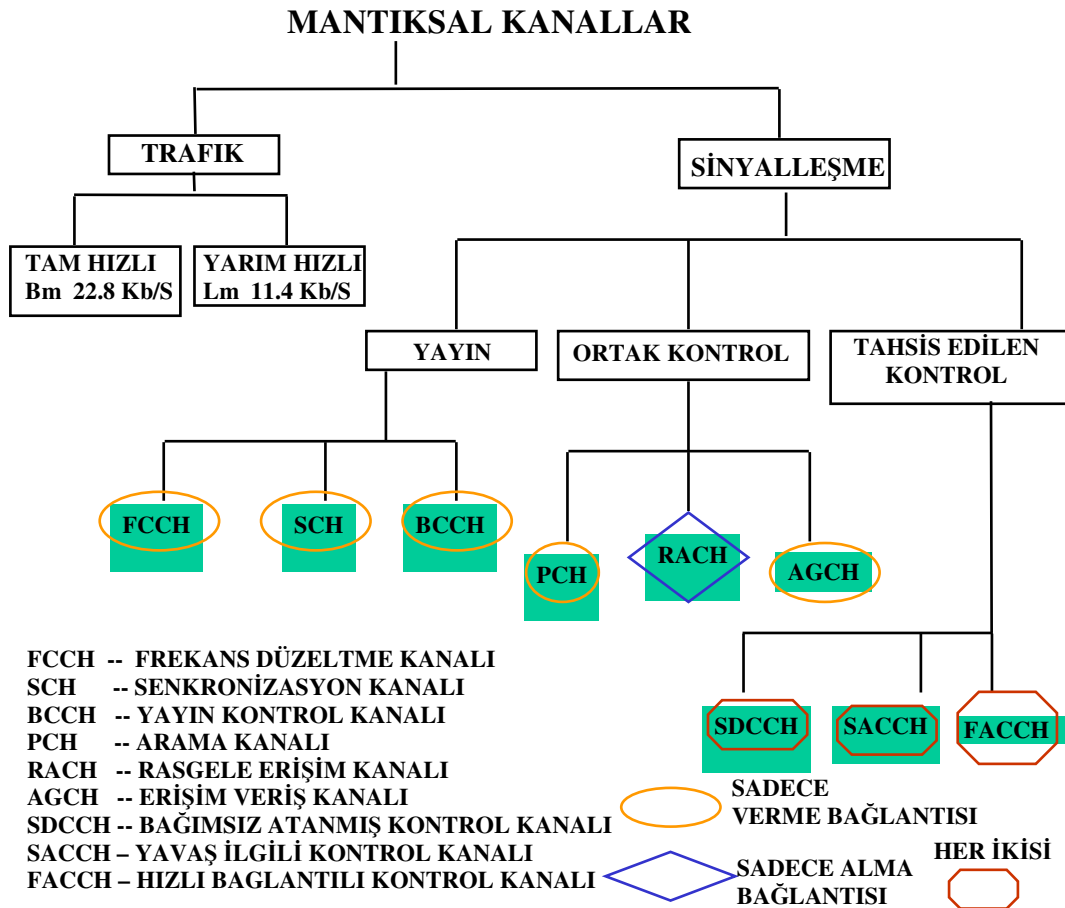
#### *Hava Ara Yüzündeki Sinyal Kanalları*

Fiziksel kanallara birkaç mantıksal kanal eşlenir. Mantıksal kanalların organizasyonu, uygulamaya ve bilgi akımının yönüne bağlıdır (Verme yönünde, alma yönünde veya iki yönlü). Bir mantıksal kanal, kullanıcı verilerini taşıyan bir trafik kanalı (TCH) veya sinyal kanalı olabilir. Bir GSM radyo frekans taşıyıcısı, 8 MS abonesinin aynı anda görüşme yapmasını destekler. Taşıyıcı üzerindeki her bir kanal (8 kanaldan biri) sürenin 1/8'idir. Bu tekniğe zaman bölmeli çoklu erişim (Time Division Multiple Access (TDMA)) denir. Süre zaman dilimi denilen eşit dilimlere ayrılmıştır. Zaman dilimleri sıra ile ve 0–7 arasında numara verilerek düzenlenmiştir. Tekrarlanan her bir 8 zaman dilimlik periyoda TDMA çerçevesi denir. Her bir

telefon görüşmesi bir zaman diliminde taşınır. Zaman dilimi içinde taşınan bilgi "burst" olarak isimlendirilir. MS ile BTS arasındaki bu bağlantı, bilgi taşımak için kullanılan fiziksel kanallardır. Bu kanallarda farklı zaman ve durumlarda farklı bilgiler taşınmaktadır. Aynı fiziksel kanalın farklı amaçlar için kullanılabilmesi amacıyla mantıksal kanal olarak tanımlanmıştır.

### GSM Mantıksal Kanalları:

Mantıksal kanallar için iki ana grup vardır. Bunlar trafik kanalları ve kontrol kanallarıdır.



Şekil 3.6. GSM mantıksal kanalları

Trafik Kanalları: Trafik kanalı konuşma ve veri taşır. TCH'lerin farklı tipleri aşağıda verilmiştir:

Çizelge 3.2. TCH tipleri

Trafik Kanalı	Konuşma	Veri
TAM HIZLI	13kb/s normal	9,6kb/s
YARIM HIZLI	6,5kb/s	4,8kb/s

Hava ara yüzündeki sinyal kanalları çağrı oluşturulması, arama, çağrı bakımı, senkronizasyon vs. amacıyla kullanılır. 3 grup sinyal kanalı bulunmaktadır.

#### *Yayın Kanalı (BCH)*

Sadece alma yönünde bilgilerini taşırlar. Esas olarak senkronizasyon ve frekans düzeltmesinden sorumludurlar. Bu nokta-çoklu nokta iletişimini sağlayan tek kanal tipidir. Burada kısa mesajlar birçok cep telefonuna eş zamanlı olarak iletilir.

BCH aşağıdaki kanalları içerir:

- Yayın Kontrol Kanalı (BCCH) : Genel bilgiler, hücreye özel, yerel alan kodu (LAC), şebeke operatörü, erişim parametreleri, komşu hücrelerin listesi vs. verilerini içerir. MS, BCCH'den gelen sinyalleri, aynı şebeke içerisinde bulunan birçok BTS'lerden ve/veya farklı şebekelerden alır.
- Frekans Düzeltme Kanalı (FCCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. MS frekanslarının düzeltilmesi, frekans standardının cep telefonuna iletilmesi, aynı zamanda zaman aralıkları arasındaki sınırları ve bir TDMA çerçevesinin ilk zaman aralığının konumunu temin ederek alma senkronizasyonu amacıyla da kullanılır.
- Senkronizasyon Kanalı (SCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Çerçeve senkronizasyonu (TDMA çerçeve numarası) ve baz istasyonun tanımlanması bilgilerini içerir. SCH burst'un geçerli bir şekilde alınması, cep telefonunun bir BTS ile senkronize olması için gerekli tüm bilgileri temin edecektir.

### *Ortak Kontrol Kanalları (CCCH)*

Cep telefonu ve baz alıcı ve verici istasyonu (BTS) arasındaki bir grup yukarı yönde (Verme yönünde) ve aşağı yönde (Alma yönünde) kanallardır. Bu kanallar, şebekeden cep telefonlarına doğru bilgi iletilmesi için kullanılır ve şebekeye erişim sağlar. CCCH'ler, aşağıdaki kanalları içerirler;

- Arama Kanalı (PCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Cep telefonu, baz alıcı ve verici istasyonu (BTS) tarafından gelen çağrılar konusunda PCH üzerinden bilgilendirilir.
- Erişim Verme Kanalı (AGCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. BTS, cep telefonuna bir TCH veya SDCCH tayin eder ve böylece şebekeye cep telefonunun erişimini sağlar.
- Rasgele Erişim Kanalı (RACH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Cep telefonunun bir aramaya cevap olarak veya bir arama sebebiyle bir SDCCH isteğine izin verir. Cep telefonları bu kanal üzerinden gönderme yapmak için rasgele bir zaman aralığı seçer. Bu, diğer cep telefonlarından gelen sinyallerle çarpışmaya neden olabilir.

PCH ve AGCH, arama (paging) adı verilen bir kanala ve paket erişim verme kanalına iletilir (PAGCH).

### *Tahsis Edilen Kontrol Kanalları (DCCH)*

DCCH dolaşım, devir teslimler (Hand overs), şifreleme vs. işlemlerden sorumludur.

DCCH'ler aşağıdaki kanalları içerir:

- Bağımsız Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı (SDCCH) : Cep telefonları ve baz alıcı ve verici istasyonları (BTS) arasındaki iletişim kanalıdır. Cep

telefonuna trafik kanalı tahsis edilmeden önce, bir diğer deyişle çağrı kurma aşamasında, sinyalleşme yapmak için kullanılır.

- Yavaş İlgili Kontrol Kanalı (SACCH) : Sürekli olarak ölçüm raporlarını (mesela, baz istasyonu alan güçlerini) bir TCH'nin veya SACCH'nin çalışmasına paralel olarak iletir. Devir teslim kararları için gereklidir. Genellikle TCH veya SDCCH'ye tahsis edilir. Acil olmayan işlemler, radyo ölçüm verileri, güç kontrolü (sadece Alma yönünde) için gereklidir.
- Hızlı Bağlantılı Kontrol Kanalı (FACCH) : SDCCH'ye benzerdir ancak TCH'nin çalışmasına paralel olarak kullanılır. FACCH'nin veri hızının yetersiz olması durumunda "ödünç alma modu" kullanılır. TCH'den ek bant genişliği ödünç alınır. Bu abonenin çağrı belirleme onayı, teslim kararları v.s. gibi mesajlar için geçerlidir.

#### *TRAU (Transfer Kodlama ve Hız Ayarlama Ünitesi) Çerçevesi*

TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit- Transfer Kodlama ve Hız Ayarlama Ünitesi) çerçevesi Abis ara yüzünde 16 kbit/s trafik kanalının iletim birimidir. Kullanıcı verileri için 13,6 kbit/s ve 2,4 kbit/s bant içi sinyalizasyon için kullanılmaktadır. Burada, sinyalizasyon ve veri bitlerinin meydana geldiği konumlar belirlenir.

Abis ara yüzünde kullanılan protokol LAPD'dir. Bu protokol ISDN'den adapte edilmiştir. LAPD, üç gruba ayrılabilen aşağıdaki çerçeve tiplerini temin etmektedir:

- Numaralandırılmamış çerçeveler
- Bilgi transfer çerçevesi
- Denetleme çerçeveleri

Radyo sinyal işlemlerine ek olarak Abis (BSS'de kullanılan protokol) ara yüzü yine, BTS'ler için işletme ve bakım işlemlerine bir iletim yolu ve doğrudan

ISDN standartlarından alınan 2. kademe yönetim işlemlerine bir iletim mekanizması oluşturur.

### *MSC Protokolleri*

MAP (Mobil Uygulama Kısmı) : Mobil radyo şebekesindeki farklı veri tabanlarındaki aramaları kontrol etmek için kullanılır (HLR, VLR ve EIR). MAP sorumlulukları arasında erişim ve yer yönetimi (kullanıcının konumunun belirlenmesi), MSC-MSC devir teslimi, güvenlik fonksiyonları, işletme ve bakım, SMS ve tamamlayıcı servislerinin gerçekleşmesi bulunmaktadır.

TCAP (İşlem Yetenekleri Uygulama Kısmı) : Dağıtılmış uygulama süreçlerine olan talepleri değerlendirmek için gerekli evrensel çağrılar ve fonksiyonları sağlar.

ISUP (ISDN Kullanıcı Kısmı) : PLMN'ler ve diğer şebekeler arasında birlikte çalışmayı kontrol eder (mesela çağrı düzeni / indirme) ve TUP ile aynı temel görevleri yerine getirir.

INAP (Akıllı Şebeke Uygulama Kısmı) : Var olan şebeke üzerinden akıllı servislerin çalışmasını sağlar (Örneğin, ücretsiz arama, zamana bağlı yönlendirme fonksiyonları) .

TUP (Telefon Kullanıcı Kısmı) : PLMN'ler ve diğer şebekeler arasındaki birlikte çalışmayı sağlar. TUP normalde uluslararası bağlantıları sağlamak için kullanılmaktadır ve yavaş yavaş yerini ISUP'a bırakmaktadır.

### *Çağrı Gerçekleştirme Senaryosu*

Aşağıdaki örnekte GSM şebekesinde, sabit şebeke abonesinden cep telefonu abonesine yapılan bir çağrı adım adım anlatılmaktadır.

- Sabit şebekeden gelen çağrı geçit MSC'sine (GMSC) iletilir.
- Daha sonra, aranan tarafın MSISDN numarasına dayalı olarak, HLR belirlenir.
- HLR, aranan numaranın mevcudiyetini kontrol eder. Daha sonra ilgili VLR'den bir mobil istasyonu dolaşım numarası temin etmesi istenir.
- Bu, GMSC'ye geri iletilir.
- Daha sonra bağlantı, sorumlu MSC üzerinden aktarılır.
- Bu durumda VLR mobil abonenin konum aralığı ve erişilebilirlik statüsü konusunda araştırma yapar.
- MS'nin erişilebilir olarak işaretlenmesi durumunda bir radyo çağrısı devreye alınır.
- Söz konusu radyo çağrısı VLR'ye atanan tüm radyo bölgelerinde yürütülür.
- Mobil abonenin telefonu, mevcut radyo hücresinde arama talebine cevap verdiğinde, gerekli tüm güvenlik işlemleri yürütülür.
- Bunun başarılı olması durumunda VLR, MSC'ye şebekenin tamamlanabileceğini bildirir.
- Böylece konuşma başlar.

### *GSM' deki Test ve Ölçümler*

Önceki bölümlerden de görüldüğü gibi, GSM teknolojisi çok karmaşıktır. Doğal olarak bu tür bir teknolojinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi ve optimize edilmesi büyük bir iştir. Kaynakların kısıtlı olması sebebiyle (yüksek maliyetlerine ek olarak) şebeke optimizasyonu gittikçe kritik hale gelen bir ekonomik faktör olmaktadır. Şebeke performansı, şebeke kullanımı, abone davranışı ve hizmet kalitesi (QoS) konusuna hakim olabilmek için aşağıdaki test yöntemleri faydalıdır.

Trafik Analizi: Burada, E1 veya T1 PCM çerçevesi içerisindeki sinyal kanalları Abis içerisinde ve GSM ağının A ara yüzlerinde analiz edilir ve izlenir. Farklı



zaman aralıklarının ilettiği trafik tipinin ne olduğu önemli değildir (konuşma, veri veya sinyal) .

Bit Hata Oranı (BER) Testi: BER Testi, PCM düzeyinde hata ölçümüdür. PCM bit hata oranı (BER) sabit şebeke operatörlerinden kiralık hatların kalitesini onaylamaları gereken GSM operatörleri için önemlidir.

GSM düzeyinde, TRAU'daki kontrol bitlerinin değerlendirilmesiyle, gerçek iletişim (serviste) esnasında bir bit hatası olasılığı (Verme yönünde) belirlenebilir.

Şebeke Kalitesi Testi: Şebeke kalitesinin ölçülmesini sağlayan ve potansiyel gelişim alanlarını ortaya çıkaran bir dizi farklı ölçümleri içerir. Bu kapsamda:

- Ada problemleri
- Kapsama deliklerinin belirlenmesi
- Sinyal ve trafikle ilgili şebeke yükü
- Devir teslim hatları
- Alma düzeyi izleme
- BTS'nin bit hata oranı
- Çok yönlü girişim ve yayılma gecikmeleri
- Frekans girişimi (frekansın yeniden kullanılması sebebiyle)
- Çağrı tamamlama / kesme hızı
- Sistemin aşırı yüklenmesi bulunur.

Bir GSM şebekesinin en uygun açıdan derecelendirilmesi şebeke parametrelerinin, istatistiklerinin, sinyalleşme protokollerinin ve alarmların kapsamlı analizini gerektirir.

### *Sistem Özellikleri*

Bu bölümde GSM şebekesinin özelliklerinin kısa bir tanımı verilmektedir.

#### *Dolaşım*

Dolaşım özelliği kullanıcının herhangi bir GSM şebekesinde çağrı gerçekleştirmesini, almasını ve aynı kullanıcıya ait özellikleri tüm dünyada kullanmasını sağlar. Böylece dünya çapında dolaşım ile kullanıcıya her yerde aynı telefon numarasından ulaşılabilir.

#### *Devir Teslim (Hand Over)*

Hücreşel şebekede, radyo ve sabit ses bağlantıları, bir çağrı boyunca sürekli olarak tahsis edilmezler. Devir teslim, devam eden bir çağrıyı farklı bir kanala veya hücreye iletmek anlamına gelir.

GSM' de bağlantının aktarılmasını sağlayan dört farklı tipte devir teslim bulunmaktadır. Bunlar:

- Aynı hücre içerisindeki kanallar
- Aynı BSC tarafından kontrol edilen hücreler (BTS'ler arası devir teslim)
- Farklı BSC'lerin kontrolü altında ancak aynı MSC'ye ait olan hücreler (BSC'ler arası devir teslim)
- Farklı MSC'lerin kontrolü altındaki hücreler (MSC'ler arası devir teslim)

İlk iki tipteki devir teslim sadece bir baz istasyonu kontrolörü (BSC) içermektedir. Sinyal bant genişliğini korumak için, bunlar MSC'yi katmadan, BSC tarafından yönetilirler. Son iki tipteki devir teslim ilgili orijinal MSC tarafından uygulanır.

Devir teslimler, BSC veya MSC tarafından (trafik yükünün dengelenmesi amacıyla) başlatılabilir. Konuşma sırasındaki zaman aralıklarında komşu hücredeki yayın kontrolü taranır ve muhtemel devir teslim konusunda en iyi altı adayın listesi oluşturulur. Bu bilgi BSC'ye ve MSC'ye en az saniyede bir iletilir ve devir teslim algoritması için kullanılır. Bir devir teslimin ne zaman başlatılacağı konusundaki karar aşağıdaki parametrelerin bir fonksiyonudur.

### *Çok Yollu Eşleme*

Eşleme, sinyalin istenmeyen yansılardan ayırt edilmesi için kullanılır. Öncelikle iletilmiş sinyalin çok yollu zayıflama ile nasıl değiştiği belirlenir. Sinyalin girişim kısmını çıkarmak için çeşitli yöntemler uygulanır.

### *Frekans Sekmesi (Frequency Hopping)*

Mobil istasyonun frekans hızlılığı bulunmaktadır. Bunun anlamı verileri iletmek ve almak için farklı frekanslar arasında dolaşılabilmesidir. Normal bir cihaz bir saniyede 217 defa frekans değişimi yapabilir. Bu yöntemle BTS her bir TDMA çerçevesi farklı bir taşıyıcı frekansta iletilir. Frekans sekme algoritması, yayın kontrol kanalı üzerinde iletilir. Çok yollu zayıflamanın, taşıyıcı frekansına bağlı olması sebebiyle yavaş frekanslı sekme, problemin azaltılmasına yardımcı olur. Buna ek olarak, ortak kanallı girişim rasgele etki halindedir. Yayın ve ortak kontrol kanalları frekans sekmesine tabi değildir ve genellikle aynı frekans üzerindedirler.

### *Kesikli İletim (DTX)*

Cep telefonunun pil tüketimini azaltmak ve hava ara yüzündeki girişimi minimuma indirmek için kullanıcı sinyali iletimi, konuşmalardaki durmalar esnasında kesilir. MS tarafından yapay olarak, konuşmadaki ani kesintiler sebebiyle kesilmeleri önlemek için çeşitli yöntemler uygulanır.

### *Süresiz Alma (DRX)*

Mobil istasyondaki pilin enerjisini korumak için kullanılan bir diğer yöntem de süresiz almadır. Baz istasyonu tarafından gelen çağrı sinyalini yayınlamak için kullanılan arama kanalı alt kanallara yapılandırılmıştır. Her bir mobil istasyonun, kendi alt kanalını dinlemesi gerekir. Birbirini takip eden arama alt kanalları arasındaki sürede, mobil uyuma moduna geçebilir, burada hemen hemen hiç enerji sarfiyatı olmaz (2).

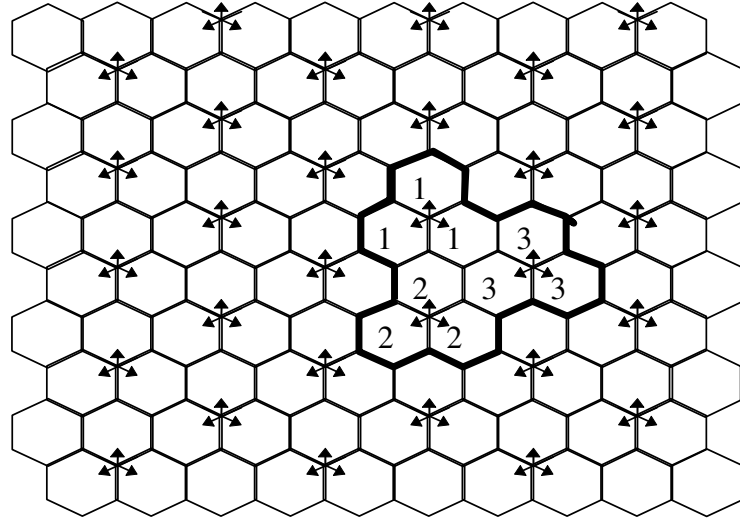
## 4. HÜCRE PLANLAMASI

### 4.1. Hücresel Sistem

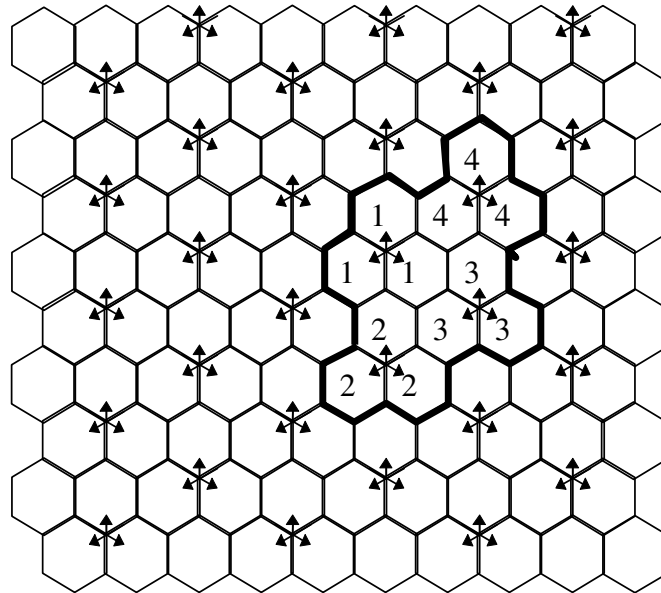
Hücresel sistemin temel birimi hücredir. “Hücresel” terimi, kaplama alanının bölündüğü bölgelerin “bal peteği” şeklinde hücrelere bölünmesinden gelmektedir. Hücre boyutu, koşullara bağlı olarak değişir. Çeşitli nesnelere ve doğal arazi nedeniyle oluşan bozucu etkiler sebebiyle hücreler tam bir altıgen şeklinde değildir. Hücresel sistem kırsal ve kentsel vb. alanlar için ayrı ayrı değerlendirilir. Bu değerlendirme kapsama ve maliyet parametrelerinin uygun dengeye sahip olması için yapılır. Söz konusu denge hücresel şebeke mühendisliğinin en önemli görevleri arasında yer almaktadır.

### 4.2. Hücre Kümesi

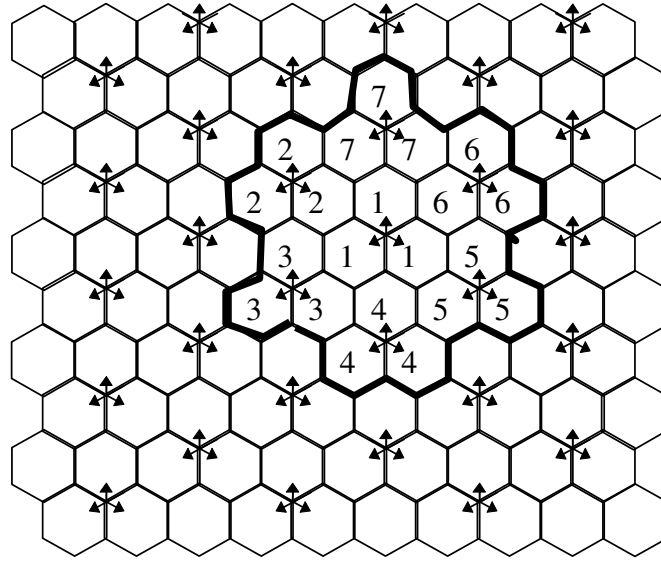
Hücre kümesi hücreler grubundan oluşur. Hücre kümesinde, operatöre tahsis edilen spektrumun tamamından yararlanır. Küme içerisinde bulunan hücre sayısına bağlı olarak her hücrede bulunan kanal sayısı değişir. Frekans yeniden kullanım faktörü kümede bulunan hücre sayısına bağlı olduğundan, operatöre tahsis edilen frekans spektrumu bu sayıya bağlı olarak yeniden kullanılır. Böylece artan trafik ihtiyacı karşılanmaya çalışılır. Kanallar küme içerisinde yeniden kullanılmaz. GSM sisteminde artan trafik ihtiyacını karşılamak için azalan hücre boyutları sistem kapasitesini artırır fakat yönlendirme ve devir teslimi (Hand over) güçleştirir. GSM sisteminde üç sektörlü antenlerin kullanıldığı durumlarda çoğunlukla 3/9, 4/12, 7/21 olmak üzere üç çeşit hücre kümesi kullanılmaktadır. 3/9 hücre kümesinde, her biri üç sektörden oluşan üç adet baz istasyonu, toplamda 9 adet hücre mevcuttur.



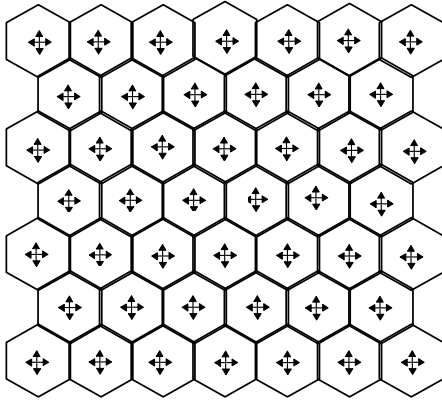
Şekil 4.1. 3/9 yeniden kullanım modeli



Şekil 4.2. 4/12 yeniden kullanım modeli



Şekil 4.3. 7/21 yeniden kullanım modeli



Şekil 4.4. Çok yönlü anten kullanım modeli

### 4.3. Hücresel Sistemlerin Tasarımı

Hareketli ünitelerin coğrafi olarak dağılımı, abonelerin trafik davranışları ile gerekli kalite ve servisin coğrafi etki alanı, hücre tasarımının hareket noktasıdır. Bütün hücre tasarımları esas olarak nominal plan üzerine kurulur. Örneğin düşünülen baz istasyonu şebeke yapısı ve frekans tahsisinin

geometrik planı esasına dayanan teorik model, tasarımın ikinci adımıdır. Böyle nominal tasarımlardaki hücrelerin şekli, anten çeşidine ve temel baz istasyonunda kullanılan çıkış gücüne bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan iki anten çeşidi vardır. Bunlar her yönde ışına yapan çok yönlü (omni) anten ve yayılan gücü sektörlerin üzerine toplayan üç sektörlü (sektörel) antendir (3).

#### **4.4. Hücre Planlama Süreci**

Hücre planlaması, hangi radyo teçhizatlarının kullanılacağı, bu radyo teçhizatlarının hangi alanlarda yayın yapacağı ve bu teçhizatların nasıl konfigüre edileceği gibi aktivitelerin bütünüdür.

##### **4.4.1. Trafik ve kapsama analizi**

Hücre planlaması, trafik ve kapsama analizi ile başlar. Bu analiz sonucunda coğrafi alan ve beklenen kapasite ihtiyacı konularında bilgi elde edilir.

##### **4.4.2. Taslak hücre planı**

Trafik ve kapsama analizinden elde edilen verilerin derlenmesi ile bir taslak hücre planı oluşturulur. Taslak hücre planları ilk hücre planıdır ve daha sonraki planlar için bir temel oluşturur.

Kapsama ve girişim tahminleri genellikle bu aşamada başlatılır. Bu tür planlamalar radyo yayılımı çalışmalarını için bilgisayarlı analiz programları gerektirir.

##### *İncelemeler*

Taslak hücre planı oluşturulmuş bulunmaktadır. Bir sonraki aşamada, kapsama ve girişim tahminlerini doğrulamak için radyo ölçümleri gerçekleştirilir. Radyo teçhizatlarının konulacağı alanlar ziyaret edilir. Bu çok



kritik bir aşamadır çünkü hücresele bir şebekeyi planlarken çevrenin durumunu incelemek ve yerleşim için uygun olup olmadığına karar vermek gerekmektedir.

#### *Gerçek Zamanlı Hücre Planı ve Sistem Tasarımı*

Analiz programları ile gerçekleştirilen tahminlere güvenilerek BTS, BSC ve MSC teçhizatlarının boyutlandırılmaları yapılır. Bundan sonra gerçek zamanlı hücre planı oluşturulur. Bu plan daha sonra sistem kurulumlarında kullanılır.

#### *Uygulama*

Gerçek zamanlı hücre planlaması ve sistem tasarımını takiben sistem kurulumu, hizmete verilmesi ve test işlemleri gerçekleştirilir.

#### *Sistem Uyumu*

Sistem kurulumu gerçekleştirildikten sonra, sistemin, talepleri ne ölçüde karşıladığı sürekli değerlendirilir. Bunun için müşteri şikâyetleri, şebeke performansı parametrelerine bakılır (4,8).

### **4.5. Hücresel Kavramı**

Hücresele kavramının iki ana unsuru, frekansın yeniden kullanılması ve hücre bölünmesidir. Frekans yeniden kullanılması, birbirinden uygun bir mesafe ile ayrılmış iki hücrenin aynı frekans kanalını eşzamanlı kullanmasıdır.

Hücre bölünmesi ise artan trafik ihtiyacının karşılanması amacıyla geniş alanların kapsadığı büyük hücrenin küçük hücrelere bölünmesidir.

#### **4.5.1. Hücrelerin bölünmesi**

Hücre bölünmesi hücreysel hareketli haberleşmede büyük önem taşımaktadır. Trafik yoğunluğu büyümeye başladığında, her bir hücredeki frekans kanalları yeterli sayıda hareketli abonenin aramasına cevap veremez. Bu durumda orijinal hücre, küçük hücrelere bölünebilir. Genellikle yeni hücre yarıçapı, orijinal çapın yarısıdır. Frekansın yeniden kullanılması ve hücre bölünmesi sayesinde tek bir alanda çok fazla aboneye hizmet verilebilir.

#### **4.5.2. Frekans yeniden kullanımı**

Mobil sistemler için kısıtlı radyo frekans kanalı bulunduğundan, artan trafik ihtiyacını karşılamak için radyo kanallarını yeniden kullanacak yollar aranmaktadır. Bulunan yol, frekans planlaması veya frekans yeniden kullanımındır.

Frekans yeniden kullanım kavramı, küçük coğrafik alan içerisinde her hücreye bir grup radyo kanalının tahsis edilmesi üzerine temellenmiştir. Söz konusu radyo kanal grubu komşu hücrelere tahsis edilen radyo kanallarından tümüyle farklıdır.

Bu sistemde, farklı coğrafi konumlarda bulunan kullanıcılar aynı frekans kanalını eş zamanlı olarak kullanabilirler. Frekans yeniden kullanım sistemleri, spektrum etkinliğini çok büyük oranda arttırmaktadır (19).

Eğer sistem uygun olarak düzenlenmemişse ciddi boyutlarda girişimler meydana gelir. Aynı kanalın ortak kullanılması sonucu meydana gelen bu girişime, “ Ortak Kanal Girişimi ” (Co-channel interference) denir ve frekansın yeniden kullanılmasında karşılaşılan en büyük sorundur (3).

Frekans yeniden kullanımı, ortak kanal girişiminin kabul edilebilir seviyede olduğu, birbirinden yeterli derecede uzaklıklara ayrılmış farklı hücrelerde, aynı taşıyıcı frekansın eşzamanlı yeniden kullanılmasıdır.

Örneğin sistemde mevcut olan toplam kanal sayısının  $S$  olduğunu düşünelim. Söz konusu sistemde bir kümede bulunan hücreler  $S$  adet kanalı paylaşmaktadır. Sistem  $M$  adet kümeye sahiptir. Her hücrenin  $k$  adet kanalı vardır. Böylece sistemin kapasitesi  $C=M.k.N$  olur. Bu durumda frekans yeniden kullanım faktörü  $1/N$ 'dir. Yeniden kullanımın olmadığı durumda sistem kapasitesi  $S= M.k$  olur.

GSM 900'de kullanılacak toplam frekans kanal sayısı 124 adettir. Bu frekanslar her ülkede bir veya birden fazla şebekenin kapsamasını sağlamak için kullanılacak toplam kapasitedir. Dolayısıyla planlanan bütün şebekeler için bu frekanslar paylaşılacak durumundadır.

Örneğin ülkemizde, GSM 900 şebekesi işletmecisi olarak Turkcell ve Telsim şebekeleri kurulmuştur. Her iki şebekede 124 adet frekans paylaşmışlardır. Telsim'e tahsis edilen 50 adet frekans 21–30 ve 40–79 aralığında bulunmaktadır. Aynı şekilde Turkcell'e tahsis edilen 50 adet frekans 10–19 ve 81–120 aralığında bulunmaktadır. Geri kalan frekanslar frekans tahsisinden sorumlu makamın (Telsiz İşleri Genel Md.) kontrolünde olup, yeni şebekeler için veya mevcut şebekelere ilave tahsis şeklinde kullanılabilir.

Bir operatörün sınırlı sayıdaki frekanslarla bütün ülkeyi kapsamaları oldukça zordur. Türkiye gibi bir ülkeyi düşünecek olursak Turkcell 50 frekansla bütün ülkeye yayın gerçekleştiremez. Bu duruma çözüm sağlamak üzere, operatörler frekansları yeniden kullanmak için modeller geliştirmişlerdir. Bir şebekede frekansların hangi sıklıkla ve ne kadar kullanılacağını hesaplanması gerekmektedir.

Radyo dalgaları, baz istasyonu ve mobil telefonlardan belirli bir güçte yayınlanırlar. Planlamaya göre değişmekle birlikte standart seviye baz istasyonu için 20 Watt ve mobil telefonlar içinse 2W gücündedir. Radyo dalgaları çevre şartları ile orantılı olarak zayıflarlar. Bu zayıflama, ilave bir etki olmaksızın, havada zayıflama mesafenin karesi ile ters orantılıdır.

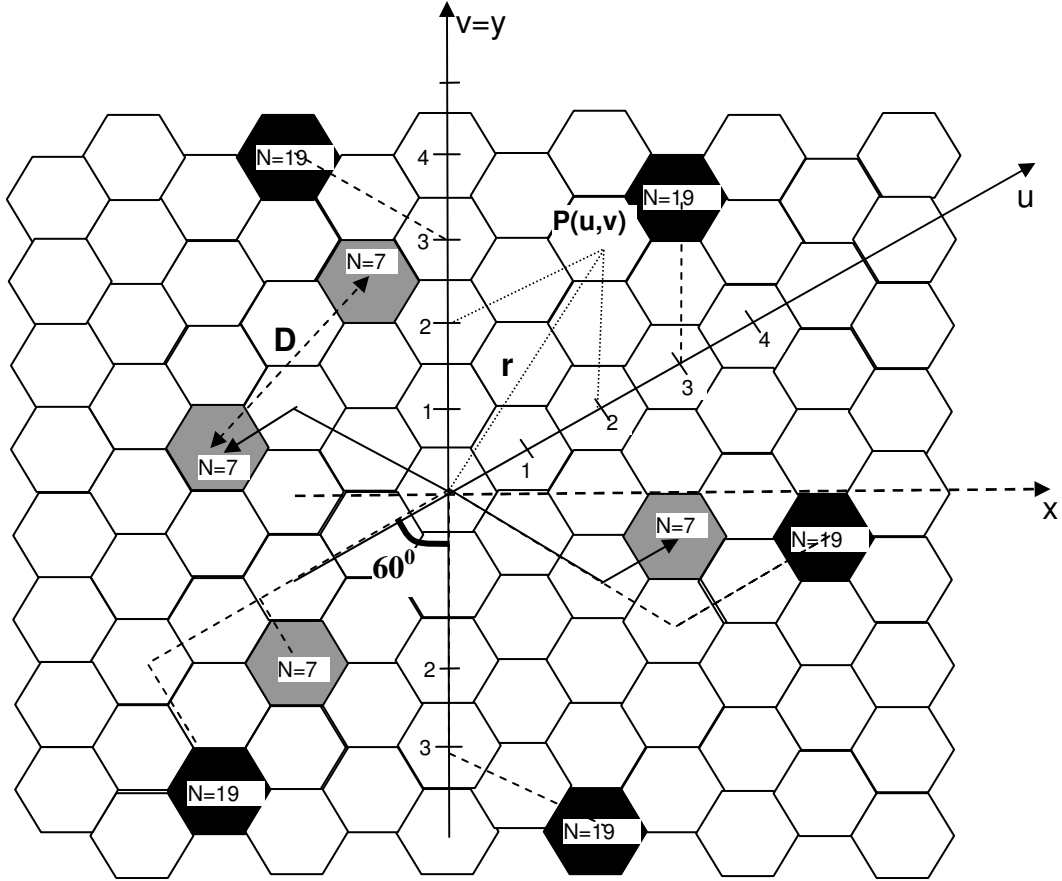
Mobil telefon ve baz istasyonunun sinyalleri arasındaki minimum alışı seviyesi -104 dBm'dir (8). Bu seviyeden daha düşük güçte gelen sinyaller işlenememektedir. Fakat bu sınırların dışında sinyal zayıflayarak ta olsa yayılmasını devam ettirmekte ve sonsuzda sıfır seviyesine yaklaşmaktadır. Bu zayıf sinyaller aynı frekansta bir sinyalle (veya yakın frekansla, 1 ve 3 nolu frekanslar 2 nolu frekansın bitişik frekanslarıdır) karşılaşıncaya bu sinyali zayıflatıcı ya da diğer bir tabirle bozucu bir etki göstermektedir. Bu olay "girişim" olarak isimlendirilir. Girişim seviyesi konuşma kalitesini doğrudan etkilemektedir. Hücreler planlanırken coğrafi konum ve sinyal güçlerinin ne seviyede olacağı ve girişim etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Kabul edilir ortak kanal girişiminin meydana geldiği aynı frekansın kullanılmasına izin veren minimum uzaklık aşağıdaki formül ile bulunur.

$$D = R\sqrt{3N} \quad [4.1]$$

Formülde kümede bulunan hücre sayısını belirten N değeri her kümede bulunan hücre sayısıdır. D'nin artması, olabilecek ortak kanal girişim ihtimalini azaltır. Girişimin azaltılması için yüksek bir N değeri ve artan trafik ihtiyacının karşılanması için düşük N değeri arzu edilir. Aşağıda N ve D değerlerinin nasıl bulunduğu şekillerde açıklanmaktadır (3).

#### 4.6. Baz İstasyonlarının Yerleşimi



Şekil 4.5. Düzgün altıgen hücre geometrisi

- $u, v$  eksenleri  $60^\circ$  açıyla ayrılır.
- Hücre merkezleri arası uzaklık bir birim ölçüt olarak alınır.
- Hücre yarıçapı  $R$  olarak alınır.
- Frekansların eşzamanlı kullanımına hücre merkezleri arası uzaklık  $D$  olarak alınır.
- Bu değerlerden yola çıkarak  $2R\cos30^\circ = 1$ 'dir.

$$R = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ bulunur.} \quad [4.2]$$

- $x - y$  den  $u - v$  koordinatlarındaki  $P(u, v)$  noktasına uzaklık
- $r^2 = x^2 + y^2$

$$[4.3]$$

$$x = u \cdot \cos 30^\circ \quad [4.4]$$

$$y = v + u \cdot \sin 30^\circ \quad [4.5]$$

$$r = (v^2 + u \cdot v + u^2)^{1/2} \text{ denklemleriyle bulunur.} \quad [4.6]$$

Yukarıdaki eşitliği kullanarak ortak kanal hücrelerini bulmak için referans hücreden başlarız. U eksenini boyunca  $i$  miktarınca ve  $v$  eksenini boyunca  $j$  miktarınca hareket ederiz. Sonuç olarak ortak kanal hücreleri arasındaki mesafe aşağıdaki şekilde bulunur:

$$D = (i^2 + ij + j^2)^{1/2} \quad [4.7]$$

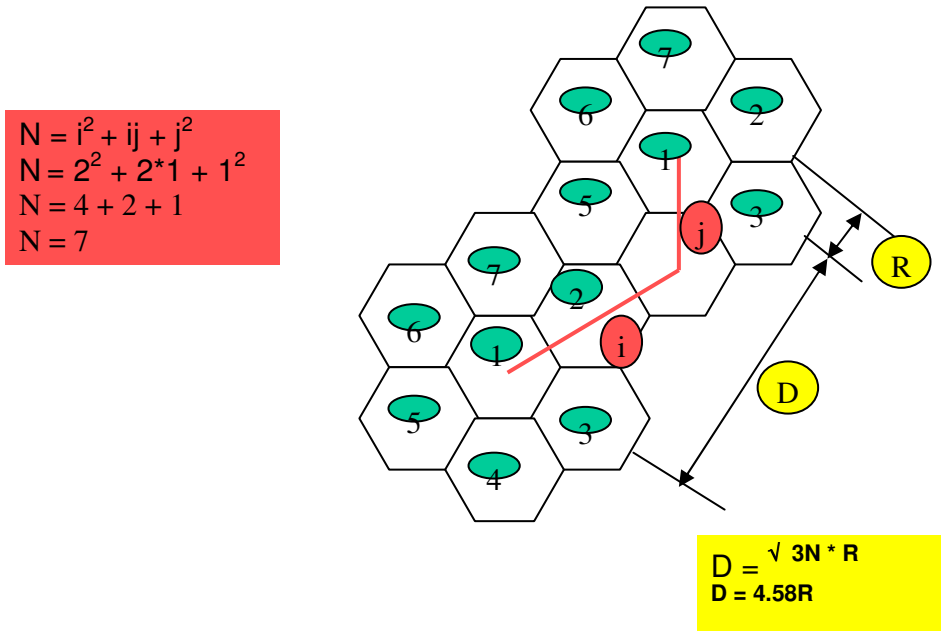
- $D$ , komşu kümeler arasındaki ortak kanal hücreleri arasındaki mesafedir.
- $D = R\sqrt{3N}$  denklemi ve  $R = \frac{1}{\sqrt{3}}$   $N = D^2$  olarak bulur.

Buradan:

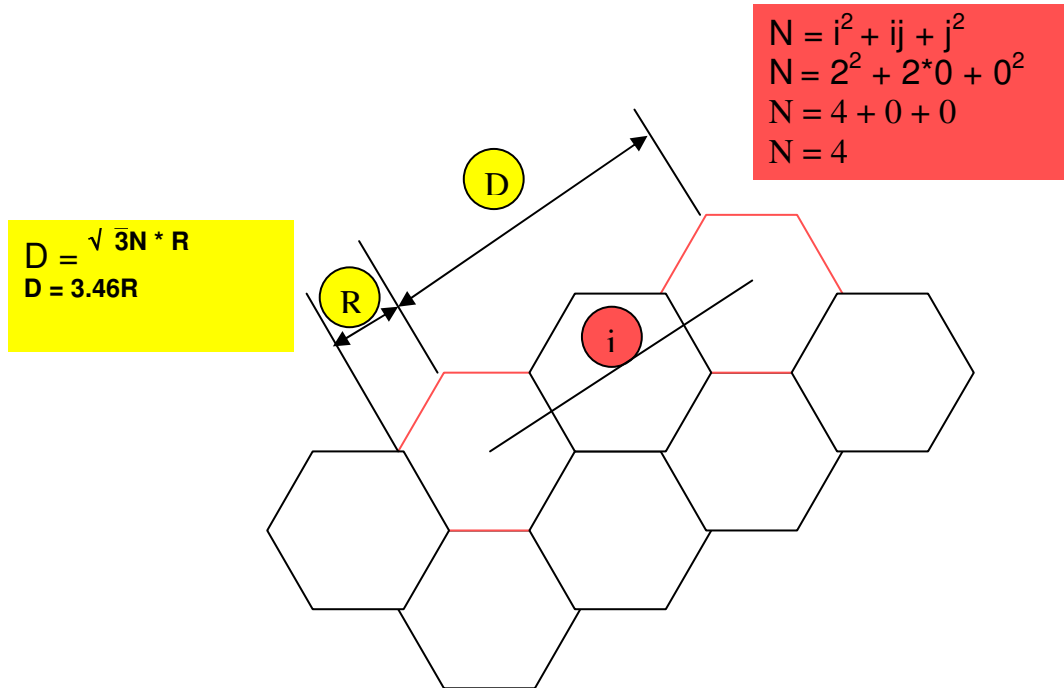
$$N = i^2 + ij + j^2 \text{ olarak bulunur.} \quad [4.8]$$

Çizelge 4.1. Hücre kümeleri

Yeniden kullanım koordinatları		Yeniden Kullanım Örüntüsünde Hücre sayısı
$i$	$j$	$N$
1	0	1
1	1	3
1	2	7
2	2	12
1	3	13
2	3	19
1	4	21



Şekil 4.6. N=7 değerinin bulunması



Şekil 4.7. N=4 değerinin bulunması

Yukarıdaki şekillerden ve formüllerle baz istasyonu yerleşiminin nasıl bulunduğunu daha ayrıntılı anlamış oluruz (19).

#### 4.7. Girişim

Kablolu haberleşmede iletimin sınırlandırıcı parametresi sinyal gücü iken, hücresel sistemlerde söz konusu parametre girişimdir. GSM sisteminde olumsuz etki eden girişimlerin en yaygın türü ortak kanal girişimidir. Ortak kanal girişimi, bir hücredeki taşıyıcılarla diğer hücrelerdeki taşıyıcıların aynı frekansa sahip olmaları durumudur. İlgilenilen taşıyıcı ve diğer herhangi bir taşıyıcı için aynı frekans kullanıldığında, diğer taşıyıcıdan alınan sinyalin gücü çok büyük olursa kalite problemleri ortaya çıkar. GSM sisteminde konuşma şifrelenerek iletilir ve girişim anında kullanıcılar birbirlerinin taşıyıcı frekanslarını sese çeviremediğinden diğer kullanıcının konuşmasını duyamaz.

Kapsama alanındaki büyük nesnelere taşıyıcı frekansları yansıtılması sonucu “çok yollu sönümlenme” (multipath fading) oluşur. Kullanılan yüksek frekans nedeniyle kolayca faz farkına sahip olabilen yansıyan sinyal ile gerçek sinyalin gücünün yakın olduğu durumlarda konuşmanın gerçekleşmesi zorlaşır.

Frekans sıçraması tekniği, çağrı boyunca konuşma sinyallerini TS (Zaman dilimi)'lar arasında aktararak ortak kanal girişimi ve çok yollu sönümlenme problemlerine çözüm sağlamaktadır.

#### 4.8. Komşu Kanal Girişimi

İki kanal birbirine çok yakın olduğunda, birbirlerinden zarar görürler. Buna “komşu-kanal girişimi” adı verilir. Bu, bant geçiren süzgeçlerin geliştirilmesiyle, güç kontrolüyle ve modülasyonun değiştirilmesiyle azaltılabilir.



Komşu taşıyıcı frekansları taşıyıcı frekans ile karşılaştırıldıklarında, çok güçlü sinyal şiddetine sahip olmalarına izin verilmez. Farklı frekanslarda olmalarına rağmen, bu güçlü sinyalin bir kısmı mevcut taşıyıcı ile karışabilir ve kalite problemlerinin doğmasına neden olabilir. Hücre planlaması süresince amaç 3 dB'den büyük C/A değeri elde etmek olmalıdır.

$$C/A > 3 \text{ dB} \quad [4.9]$$

Aynı hücre içerisinde ve hatta tercihen komşu hücreler arasında komşu frekanslardan kaçınılmalıdır. Taşıyıcı frekansların, iyi kanıtlanmış yeniden kullanım modellerine göre, yeniden kullanılması ile hem ortak kanal girişimi hem de komşu kanal girişimi problemleri en aza indirgenecektir (4).

#### 4.9. Kanal Girişim (CIR) Oranının Hesaplanması

Farklı hücrelerde mevcut frekansı yeniden kullanma işlemi, hücreler arasındaki ortak kanal girişimi ile sınırlanmıştır. Ortak kanal girişimi, büyük bir problem olabilir. Hücre boyutu, her hücredeki işaret kuvvetinin kaplama alanı ile saptanır. Kümede bulunan hücre sayısı sabit olduğu sürece, ortak kanal girişimi hücrenin gönderdiği güçten bağımsız olacaktır. Ortak kanal girişimi,  $q$  parametresinin bir fonksiyonu olacaktır.

$$K=q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N} \quad [4.10]$$

Buradaki  $q$  parametresi, ortak kanal girişimi azalım faktörüdür.  $q$  oranı arttıkça, ortak kanal girişimi azalır.  $D$ , frekansın yeniden kullanım uzaklığıdır.  $R$ , hücre yarıçapını belirtmektedir (3).

$K_1$ , çok yönlü antenin kullanıldığı 1. sıradaki ortak kanal girişim hücrelerinin sayısıdır.  $C/I$  ise aşağıdaki bağıntıyla verilir.

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_I} I_k} \quad [4.11]$$

C, taşıyıcıyı simgeler. Altıgen şeklinde hücreli sistemde 1. sırada daima 6 tane ortak kanal girişim hücresi vardır. Bu yüzden  $K_I=6$ 'dır. Lokal gürültünün girişim seviyesinden oldukça küçük olduğunu varsayarsak ve bunu ihmal edersek C/I aşağıdaki formu alır.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_I} D_k^{-\gamma}} \quad [4.12]$$

$\gamma$ , gerçek arazi çevresi ile saptanan yayılma yol kayıp eğimidir. Bu değer gerçek arazi şartlarıyla bulunur. Değeri iki ile beş arasında değişebilir ve mobil radyo ortamında bu değer 4 olarak kabul edilir (26). 2. sıradaki girişim hücrelerinin ortak kanal girişimi ihmal edilirse:

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} \left( \frac{D_k}{R} \right)^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} (q_k)^{-\gamma}} \quad [4.13]$$

$q_k$ , k. ortak kanal girişim hücresindeki ortak kanal girişim azalım faktörüdür.

Tüm  $D_k$ 'ların aynı olduğunu varsayalım. Bu durumda  $D = D_k$  ve  $q = q_k$  olur. C/I ise aşağıdaki hali alır.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{6D^{-\gamma}} = \frac{q^\gamma}{6} \quad [4.14]$$

Pratikte C/I'nın değerinin 18 dB ya da bundan daha büyük bir değer olması beklenir. Yukarıdaki ifadeye göre q aşağıdaki formu alır.

$$q = \left( 6 \frac{C}{I} \right)^{1/\gamma} \quad [4.15]$$

$\frac{C}{I} = 18$  dB sayısal değer olarak 63,1'e eşittir. Buna göre:

$$q = (6 \times 63,1)^{1/4} = 4.41 \quad \text{bulunur.}$$

Bu değer q'nun alabileceği en kk değerdir. Bize gerekli olan N' i bulalım.

$$q = \sqrt{3N} \quad [4.16]$$

q = 4.41 için N = 7 bulunur. Bu da gösterir ki 18 dB'lik C/I için " yedi hücreli yeniden kullanım örüntüsü " gerekmektedir. C/I arttıkça q artar. Bu da iyi bir durumdur çünkü girişim azalmıŐ olur.

#### 4.10. En Kötü Durumda ok Yönlü (Omni) Anten Sistemi Tasarımı

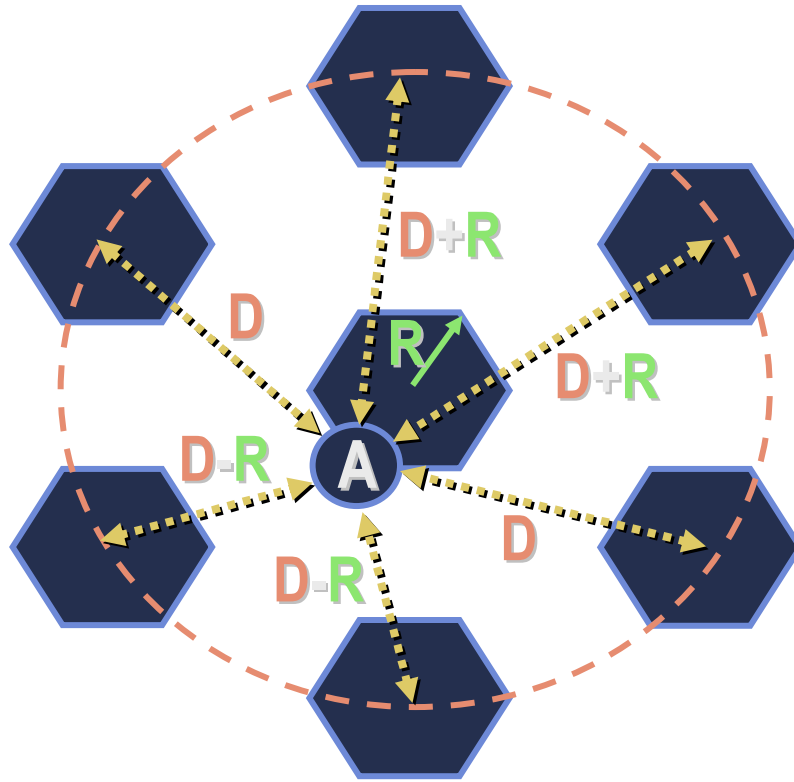
En kötü durum, mobil birimin kendi hücre sitesinden en zayıf iŐareti aldığı ve tüm girişim hücrelerinden kuvvetli girişimler aldığı durumdur. AŞağıdaki Şekilde bu durum gösterilmiŐtir. 6 ortak kanal girişim uzaklıkları da bu Şekilde gösterilmiŐtir. Bu uzaklık 2 tane D-R, 2 tane D ve 2 tane D+R uzaklığıdır (3).

Buna göre taşıyıcı-girişim oranı aşağıdaki ifadeye dönüşür:

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{2(D-R)^{-4} + 2(D)^{-4} + 2(D+R)^{-4}} \quad [4.17]$$

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2(q-1)^{-4} + 2(q)^{-4} + 2(q+1)^{-4}} \quad [4.18]$$

Kabul edilir girişim uzaklığının  $D$  olduğu,  $R$  yarıçapına sahip baz istasyonlarının bulunduğu sistemde meydana gelen girişimin şekli aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.8. Çok yönlü anten için CIR değeri

$N=7$  için  $q = \sqrt{3N} = \sqrt{3 \times 7} = \sqrt{21} = 4,6$  bulunur. Bu değer için  $C/I$  yukarıdaki ifadeden 54 ya da 17 dB değerini alır. Bu değer de istenen 18 dB değerinden düşük bir değerdir. Şimdi de en kötü durum olarak tüm girişimler için  $D-R$  uzaklığını alalım. Bu durumda  $C/I$  ifadesi aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{6(D-R)^{-4}} = \frac{1}{6(q-1)^{-4}} \quad [4.19]$$

Bu durumda  $q = 4,6$  için C/I ifadesi 28 değerini yani 14,47 dB değerini alır. Bu da istenen bir durum değildir. Buradan da anlaşılıyor ki  $q = 4,6$  değeri yani  $N = 7$  değeri yeterli değildir. Tam doğrusal hücre sistemi için  $N = 9$  ve  $N = 12$  seçimleri uygun bir seçim olacaktır.

$$\begin{aligned} q &= 4,6, N=7 \text{ için} \\ &= 5,2, N=9 \text{ için} \\ &= 6, N=12 \text{ için} \end{aligned}$$

Bu değerleri yukarıdaki denklemde yerine yazarsak  $N=9$  için  $C/I=84,5$  (19,25 dB),  $N=12$  için  $C/I=179,33$  (22,54 dB) değerlerini alır.

#### 4.11. Üç Sektörlü Anten Sisteminin Tasarımı

Konuşma trafiği artmaya başladığı zaman, frekans spektrumunu etkili bir şekilde kullanmamız gerekir ve ayrıca N'i arttırmaktan kaçınmamız gerekecektir. N arttığı zaman, bir hücre için ayrılan frekans kanallarının sayısı küçülecektir ve frekans yeniden kullanım taslağının uygulanma yeterliliği azalacaktır.

N' i arttırmak yerine üç sektörlü anten düzeneği kullanmak yeterli olacaktır. Ortak kanal girişimi doğrusal anten kullanılarak azaltılabilir. Bu da her hücrenin 3 ya da 6 sektöre bölünmesi ve bir baz istasyonunda 3 ya da 6 doğrusal anten kullanılması anlamına gelir. Her sektör bir frekans kümesine ayrılır. İki ortak kanal hücre arasındaki girişim azalır.

#### 4.12. N=7 Hücre Örüntüsü İçin Sektörel Antenlerin İncelenmesi

3 sektör durumu: Doğrusal antenlerde en kötü durumdaki ortak kanal girişimi hesaplanabilir. Doğrusal antenlerin kullanımı nedeniyle temel olarak girişime neden olan hücrelerin sayısı 6'dan 2'ye inmiştir.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D+0.7R)^{-4} + D^{-4}} \quad [4.20]$$

$$= \frac{1}{(q+0.7)^{-4} + q^{-4}} \quad [4.21]$$

N=7 için yani q=4,6 için C/I = 285 yani 24,5 dB bulunur. Bu değer de 18 dB' den büyük olduğu için yeterlidir.

6 sektör durumu : Bir hücreyi aynı zamanda 6 tane doğrusal anten kullanarak 6 sektöre de bölebiliriz. Bu durumda sadece bir girişim örneği her sektörde meydana gelecektir. Taşıyıcı girişim oranının ifadesi de aşağıdaki şekilde olacaktır.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-4}}{(D+0.7R)^{-4}} = (q+0.7)^4 \quad [4.22]$$

q=4,6 için yani N=7 için C/I=794 yani 29 dB bulunur. Bu değer 18 dB' den büyük ve bu bizim için yeterli bir değer olacaktır (3).

### 4.13. Mikro Hücresel Şebekeler İçin Radyo Şebeke Mühendisliği

Kapsama, şebeke yerleşiminin ilk aşamasında operatör için en önemli konudur. Daha sonraki aşamalarda trafik kapasitesi değerlendirilir. Bina içerisindeki kapsama, mobil abonelerin en önemli ihtiyaçlarından biridir. Bu ihtiyacı karşılayacak birçok yöntem vardır. En önemli çözümlerden biri mikro hücresel şebekeler olarak adlandırılan hiyerarşik şebeke yapısıdır. Bir mikro hücresel katman, tüm hücrelerin kapsandığı şemsiye hücre katmanının altına kurulur (5).

Böylece mikro hücreleri kapsayan makro hücreler kullanılarak devir teslim sıklığı azaltılmaya çalışılır ve olası konuşma kesilmelerinin önüne geçilir.

Şemsiye hücreler, hiyerarşik hücre yapısının üst katmanında bulunan makro hücrelerdir. Makro hücrelerden en önemli farkı, farklı devir teslim algoritmalarının kullanılmasıdır. Makro hücreler genellikle büyük hücre alanlarını kaplar. Birçoğu çok yönlü veya üç sektörlüdür.

#### 4.13.1. İşlem

Radyo şebeke mühendisliği işlemi birçok basamağa bölünmüştür:

- Birinci basamak: Şebeke durumunun değerlendirilmesi ve değişim stratejisi
- İkinci basamak: Olası hücre yarıçapını değerlendirmek için bağlantı bütçesinin kurulumu
- Üçüncü basamak: Yerleştirme Stratejisinin tanımlanması
- Dördüncü basamak: Bilgisayar tabanlı radyo şebeke mühendisliği
- Beşinci basamak: Frekans Planlaması
- Altıncı basamak: Şebeke Elemanlarının devreye alınması ve kurulması

- Yedinci basamak: Radyo şebeke optimizasyonu

*Şebeke durumunun değerlendirilmesi ve değişim stratejisi:*

İlk basamakta şebeke durumunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Şebekedeki her tekil hücrenin meşgul saatteki yükü ayrı ayrı belirlenmelidir.

Her hücre için:

$$\text{Her hücredeki Yük} = \frac{\text{Her hücredeki ölçülen trafik}}{\text{Her hücredeki kurulu kapasite}}$$

Mikro hücreler için potansiyel kapsama alanını belirlemek için trafik artışı dikkate alınmalıdır. Bundan dolayı şebekedeki kullanıcı artışını belirlememiz gerekmektedir.

$$\text{Abone artışı} = \frac{\text{Beklenen Abone Sayısı}}{\text{Varolan Kullanıcı Sayısı}}$$

Bu varsayım her hücrede uygulanıp trafik tahmini yapılmalıdır. Her hücre için ayrı ayrı çalışma yapılırken;

- Eğer hücre yoğunluğu oldukça düşük ve kapsama boşlukları var ise hâlihazırdaki hücrelerin arasına makro hücre eklemek düşünülebilir.
- Eğer kapasite artırımı için talep oldukça düşük ise frekans yeniden kullanımı yeterli olabilir.
- Uzun zaman diliminde kapasite artışı tahmin ediliyor ise, yeni frekans spektrumu lisansı alınması düşünülebilir.
- Eğer kapasite ihtiyacı var olan kullanıcı tabanından fazla ise mikro hücreli hiyerarşik şebeke yapısı tek çözüm yöntemidir.
- Eğer belirli binaların iç bölgelerinde talep varsa mikro hücre en iyi çözümü sunar.

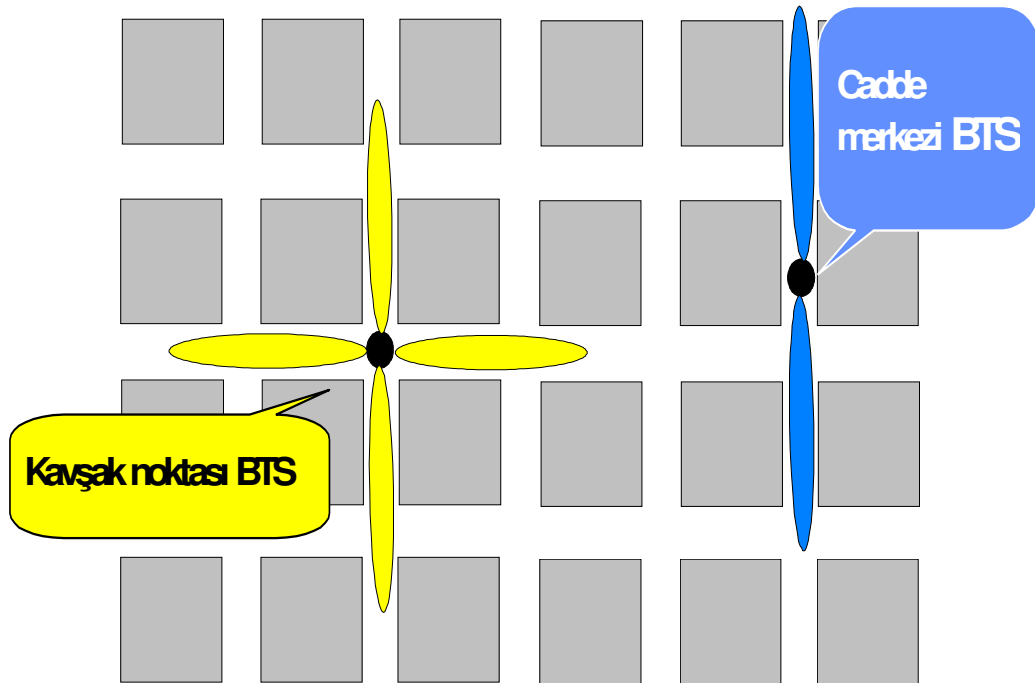
*Olası hücre yarıçapını değerlendirmek için bağlantı bütçesinin kurulumu:*



Bu basamakta yol kaybına bağı olarak hücre yarıçapı tahmini yapılır.

*Yerleştirme Stratejisinin tanımlanması:*

Saha için iki farklı strateji izlenir. Baz istasyonları, caddelerin köşeleri ya da caddelerin ortalarına yerleştirilir.



Şekil 4.9. Kavşaklar ve caddelerde yayılma

Kavşaklarda bulunan BTS'ler her siteye büyük kapsama alanı sunar ama bu durum  $\text{km}^2$ 'de düşük trafik kapasitesine neden olur. Caddelerin ortasında bulunan BTS'ler komşu mikro hücrelerden iyi izole olur ve çoğu kez frekans yeniden kullanımı sağlar.

*Bilgisayar tabanlı radyo şebeke mühendisliği:*

Hücre yarıçapının tahmin edilmesi ve yerleşim stratejisinin seçilmesinden sonra radyo şebeke planlamasına başlanılabilir. Kapsanacak alanda bulunan binalara ait doğru bilgilere ulaşmak zor fakat zorunlu bir basamaktır.

Söz konusu bilgilere ulaşıldıktan sonra hücre planlama takımı her hücrenin kapsama alanını optimize etmek için tek tek hücre kapsama tahminini gerçekleştirir. Daha sonra hücre planlamacılar kapsamanın hedefi yakalayıp yakalamadığını kontrol ederler. Müşterinin kapsama gereksinimi karşılandıktan sonra, hücre planlama takımı BTS'lerin yerleştirildiği saha dokümanını sağlar.

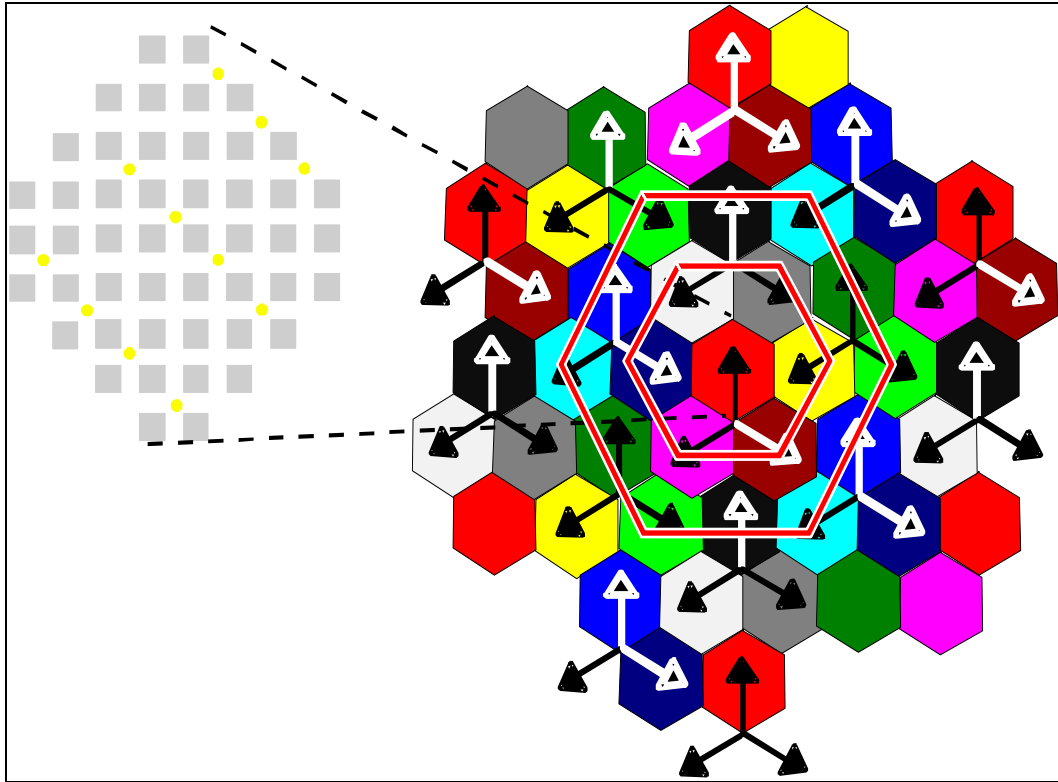
#### *Frekans Planlaması:*

Hücresel şebekenin kalitesi frekans planlamasının kalitesi ile direkt ilişkilidir. İki katmanlı şebekedeki frekans planlaması klasik tek katmanlı şebekeden çok farklıdır. Mikro hücresel katmandaki kritik yerler cadde köşeleridir. Bu alanlara daha çok dikkat etmek gerekir çünkü devir teslim (Hand over) olaylarının birçoğu buralarda gerçekleşir.

#### *Makro hücre frekanslarının mikro hücrelerde yeniden kullanılması:*

Önemli bir konu makro hücre katmanı tarafından kullanılan frekansların mikro hücreler için kullanılıp kullanılmayacağıdır. Şemsiye hücre altındaki bitişik mikro hücresel katmanı düşünelim. Basitleştirilmiş modelde her şemsiye hücre komşu hücrenin iki çerçevesine sahiptir. Altı makro hücreyi içeren ilk çerçevenin şemsiye hücre ile genel sınırı vardır. On iki makro hücreyi içeren ikinci çerçeve ilk altılı makro hücre ile genel sınırı vardır.

Bu basitleştirilmiş model aşağıda gösterilmektedir:



Şekil 4.10. Makro-Mikro frekans yeniden kullanımı

Şebekeden elde edilen aşağıdaki sonuçlar geliştirilebilir:

- Cadde seviyesinde ikinci çerçeve şemsiye hücrelerinin aynı frekansları, mikro hücreler tarafından yeniden kullanılabilir.
- Cadde seviyesinde ilk çerçeve şemsiye hücresinin komşu kanal frekansları, mikro hücreler tarafından yeniden kullanılabilir.
- Mikro hücreler için senkronize frekans sıçraması kullanılmalıdır.
- Bu sonuç operatörlere makro hücrelerin altında girişim olmadan mikro hücre kullanılmasına izin verdiğinden çok önemlidir.
- Yukarıda belirtilen bu sonuçlar cadde seviyesinde geçerlidir fakat yüksek binalar bulunması durumunda yeterli sonuçlar vermez.

### *Şebeke Yerleşimi:*

Saha bilgileri toplanır toplanmaz antenler yerleştirilir. Anten yerleşimi çok önemlidir. Çok yönlü antenler arasındaki ve duvar ile anten arasındaki mesafe en az 20 cm olmalıdır. Çok yönlü antende dalgaların yayılması duvar ve benzeri nesnelere bağlı olarak değişmektedir.

### *Radyo Şebeke Optimizasyonu:*

Burada amaç, mikro hücresel sistemde devir teslim parametrenin değerini optimize etmektir. Bu:

- Mikro hücresel katmanda mümkün olan en fazla mobil istasyonu muhafaza etmek,
- Aramayı mikro hücrelerde olabildiğince uzun süre muhafaza etmek,

için yapılır.

Mobil istasyonun mikro hücreler arasında sık geçişinde konuşmanın kesilmesini engellemek için makro hücreye devir teslim yapılır. Optimizasyon mikro hücreleri teker teker ayarlamalıdır. Amaç optimum trafik kapasitesinde gerekli servis kalitesi ve kapsama elde etmektir (5).

### **4.14. Kapasite**

Kapasite, alıcı-verici ünitelerin (TRU=transceiver unit) sayısı ve GoS (Servis derecesi) değerleri ile doğru orantılı, kümede bulunan hücre sayısı ile ters orantılıdır. Frekans yeniden kullanım değeri ortak kanal girişimi sınırlaması altında değerlendirilmektedir. GoS değeri artan trafik ihtiyacını karşılamak için son çare olarak ele alınmaktadır. Kapasite ihtiyacında en çok kullanılan TRU parametresidir. Bir TRU içerisinde sekiz adet kanal bulunmaktadır. Sistemin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak bu kanalların bir kısmı trafik,

bir kısmı ise sinyalleşme için kullanılmaktadır. Baz istasyonunun kapasitesi içerdiği TRU sayısına göre belirlenmektedir. Bir baz istasyonunda, maksimum on iki adet TRU bulunmaktadır. Yüksek maliyetten kaçınmak için TRU artışının iyi hesaplanması gerekmektedir.

#### **4.15. Hücresel Sistemlerde Kapasite Artışının Karşılanması**

Mobil telefon sistemleri için sınırlayıcı faktör, kullanılacak olan radyo frekans aralığıdır ve mobil iletişim için oldukça dar bir bant tahsis edilmiştir. Şehirlerde aynı anda yapılan birçok görüşme için yeterli kapasiteyi sağlamanın tek yolu, şebekenin bazı bölümlerinde aynı radyo frekanslarını yeniden kullanmaktır.

Bu amaçla sistem, bal peteği gibi birbirine bitişik olarak çalışan hücrelerden oluşmakta ve her hücre düşük çıkış gücü ve kısa mesafeli radyo sinyalleri sağlayan ana alıcı ve verici istasyonu (BTS) ile çalışmaktadır. Böylece aynı frekanslar değişik hücrelerde yeniden kullanılmakta ve aynı frekans daha fazla sayıdaki telefon görüşmeleri için kullanılabilir. Büyük şehirlerde ve aynı anda birçok görüşme yoğunluğu taşıyan bölgelerde hücre daha küçük ve daha sık yapıdadır.

Eğer bir sistemdeki abone sayısı artmaya devam ediyorsa, bir noktadan sonra sistemin kapasitesini artırmak zorunlu hale gelir. Bunu yapmanın birçok yolu vardır:

- Her kümede bulunan hücre sayısının azaltılması
- GoS değerinin artırılması
- TRU sayısının artırılması
- Frekans bandını büyütmek (örneğin bir GSM 900 operatörü GSM 1800 lisansı alabilir)
- Yarım hızlı iletim kullanmak

- Frekans yeniden kullanım alanını daraltmak (örneğin 4/12 modeli kullanan bir sistemin frekans sıçraması kullanarak 3/9 modeline dönmesi)
- Hücreleri çok daha küçük hale getirmek

Yarım hızlı iletim, teoride şebekenin kapasitesini ikiye katlıyor gibi görünse de gerçekte böyle değildir. Yarım hızlı iletimin sağlanması için düşürülen sistem kalitesi, hücre planlaması sürecinde girişme ihtimalini artırır, dolayısı ile frekans yeniden kullanım işleminin uygulanmasını zorlaştırır. Yarım hızlı iletişim tekniği, trafiğin tepe değere ulaştığı geçici durumlarda son çare olarak kullanılabilir.

Son çözüm, hiyerarşik hücre yapısı altında mikro-hücrelerin kullanımınıdır (4).

#### 4.16. Erlang

Erlang trafik yoğunluğunun temel birimidir. Başka bir deyişle bir saatte devrenin kullanılma miktarıdır. Örneğin bir saatte 300 dakika konuşma  $300/60=5$  Erlang ya da söz konusu saatteki trafik demektir. Erlang B tablosunda, kanal sayısı ve GoS değerine bağlı olarak trafik (Erlang) değeri elde edilmektedir.

*GoS (Servis Derecesi):*

Servis derecesi arama yapıldığı zaman konuşma kanallarının meşgul olma olasılığıdır. Örneğin %2 GoS, trafiğin yüzde ikisinin meşgul tonu alması, konuşmanın gerçekleşmemesi anlamına gelmektedir.

## 5. BULANIK MANTIK

Endüstriyel bir süreç denetiminin, sistemin güvenliği ve kararlılığını sağlaması, kolay, anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması, sistemin performansını istenen seviyeye çıkarması, yatırım ve işletme açısından ucuz olması istenir. Bununla beraber sistemin değişkenleri matematiksel modelleme yapılabilecek kadar kesin olarak bilinmeyebilir veya bu değişkenler zaman içinde değişiklik gösterebilir (6,11).

Bazı sistemlerde modelleme doğru şekilde yapılsa bile elde edilen modelin denetleyici tasarımında kullanımı karmaşık problemlere ve oldukça yüksek maliyetlere neden olabilir. Bu nedenle, bazı denetim algoritmalarının değişkenleri iyi tanımlanmamış, zamanla değişen ve karmaşık sistemlere uygulanması mümkün olmayabilir. Bu durumda ya hiç çözüm üretilememekte ya da elde edilen denetleyicinin performansı yeterince iyi olmamaktadır. Bu gibi durumlarda genellikle bir uzman kişinin bilgi ve deneyimlerinden yararlanma yoluna gidilir. Uzman kişi az, çok, pek az, pek çok, biraz az, biraz çok gibi günlük hayatta sıkça kullanılan dilsel niteleyiciler doğrultusunda bir denetim gerçekleştirir. Bu dilsel ifadeler doğru bir şekilde bilgisayara aktarılırsa hem uzman kişiye ihtiyaç kalmamakta hem de uzman kişiler arasındaki denetim farkı ortadan kalkmaktadır. Böylece denetim mekanizması esnek bir yapıya kavuşmaktadır.

Sistemin temeli, insanın herhangi bir sistemi denetlemedeki düşünce ve sezgilerine bağlı davranışının benzetimine dayanmaktadır. Dolayısıyla insan bir sistemin bulunduğu gerçek durumdan, istenilen duruma götürmek için sezgilerine ve deneyimlerine bağlı olarak bir denetim stratejisi uygulamaktadır.

Bulanık denetim bu tür mantık ilişkileri üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uygulanması denilebilir. Çünkü gerçek dünyada her an değişen durumlarda değişik sonuçlar çıkabilir.

Bulanık mantık yaklaşımı, makinelere insanların özel verilerini işleyebilme ve onların deneyimlerinden ve önsezilerinden yararlanarak çalışabilme yeteneği verir. Bu yeteneği kazandırırken sayısal ifadeler yerine sembolik ifadeler kullanılır. İşte bu sembolik ifadelerin makinelere aktarılması matematiksel bir temele dayanır. Bu matematiksel temel bulanık mantık kümeler kuramı ve buna dayanan bulanık mantıktır.

Bulanık mantık denetleyicinin temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur. Bulanık mantık bilinen klasik mantık gibi  $(0, 1)$  olmak üzere iki seviyeli değil,  $[0, 1]$  aralığında çok seviyeli işlemleri ifade etmektedir.

Örneğin odadaki klimanın motorunun otomatik olarak değil de, bir insan tarafından denetlendiği varsayalım; Eğer oda sıcaklığı biraz arttıysa işletmen motorun hızını biraz arttıracaktır, eğer oda sıcaklığı çok düşüyse motor hızını çok azaltacaktır. Burada kullanılan "biraz", "çok" terimleri dilsel terimler olup "bulanık değişkenler" olarak isimlendirilirler. Bulanık mantık denetimi, dilsel olarak tanımlanmış denetim stratejisini, uzman tabanlı otomatik denetim algoritmasına çevirir. Deneyimler, bulanık mantık denetimi ile elde edilen çıkış performansının klasik yöntemlerle elde edilene göre daha iyi olduğunu göstermiştir. Özellikle sistemin karmaşık olduğu ve analizinin klasik yöntemlerle yapılamadığı ve bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin olmadığı durumlarda bulanık mantık denetim yöntemi çok uygun olmaktadır.

Bu yaklaşım ilk defa Amerika Birleşik Devletlerinde düzenlenen bir konferansta 1956 yılında duyurulmuştur. Ancak bu konudaki ilk ciddi adım 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlanan bir makalede bulanık mantık veya bulanık küme kuramı adı altında ortaya konulmuştur. Zadeh bu



çalışmasında insan düşüncesinin büyük çoğunluğunun bulanık olduğunu, kesin olmadığını belirtmiştir. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen boolean mantık bu düşünce işlemini yeterli bir şekilde ifade edememektedir. İnsan mantığı, açık, kapalı, sıcak, soğuk, 0 ve 1 gibi değişkenlerden oluşan kesin ifadelerin yanı sıra, az açık, az kapalı, serin, ılık gibi ara değerleri de göz önüne almaktadır. Bulanık mantık klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Ayrıca Zadeh insanların denetim alanında, mevcut makinelerden daha iyi olduğunu ve kesin olmayan dilsel bilgilere bağlı olarak etkili kararlar alabildiklerini savunmuştur. Klasik denetim uygulamalarında karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bulanık mantık denetimi alternatif yöntem olarak çok hızlı gelişmiş ve modern denetim alanında geniş uygulama alanı bulmuştur.

Bulanık mantığın genel özellikleri Zadeh tarafından şu şekilde ifade edilmiştir;

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey  $[0,1]$  aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi büyük, küçük, çok az gibi dilsel ifadeler şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- Her mantıksal sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık, matematiksel modeli çok zor elde edilen sistemler için daha uygundur.
- Bulanık mantık tam olarak bilinmeyen veya eksik girilen bilgilere göre işlem yapma yeteneğine sahiptir.

### 5.1. Bulanık Sistemlerin Gelişimi

Bulanık mantığın ilk uygulaması, Mamdani tarafından 1974 yılında bir buhar makinesinin bulanık denetiminin gerçekleştirilmesi olmuştur. 1980 yılında bir Hollanda şirketi çimento fırınlarının denetiminde bulanık mantık yöntemini uygulamıştır. 3 yıl sonra Fuji elektrik şirketi, su arıtma alanı için kimyasal püskürtme aleti üzerine çalışmalar yapmıştır. 1987'de ikinci IFSA kongresinde ilk bulanık mantık denetleyicileri sergilenmiştir. Aynı yılda Hitachi'nin tasarladığı Japon Sendai metro denetleyicisi çalışmaya başlamıştır. Bu bulanık mantık denetim metroda daha rahat bir seyahat, düzgün bir yavaşlama ve hızlanma sağlamıştır. 1989 yılında Omron şirketi Japonya'nın Harumi şehrinde bulunan çalışma merkezinde yapmış olduğu cihazla depolama, tekrar etme ve bulanık sonuçlar elde etmek için kullanılan bilgisayara dayalı olan çalışmalarını tanıtmıştır (6,11).

Bulanık kuram uygulamalarının ürünleri Japonya'da 1990 yılında tüketicilere sunulmuştur. Örneğin, bulanık denetimli çamaşır makinesi, çamaşırın cinsine, miktarına, kirliliğine göre en etkili çamaşır yıkama ve su kullanım programını seçebilmektedir. Türkiye'deki Vestel ve Arçelik firmaları da bulanık denetimli çamaşır makinesi üretmektedir.

Bulanık sistemlerde denetim kurallarının tanıtımı genellikle daha kolay ve basittir. Genel olarak bulanık mantık denetleyiciler daha az kural gerektirmekte ve daha yüksek performans sağlamaktadır.

Bulanık mantık işlemleri problemin analiz edilmesi ve tanımlanması, kümelerin ve mantıksal ilişkilerin oluşturulması, mevcut bilgilerin bulanık kümelere dönüştürülmesi ve modelin yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır. Birçok önkoşul kullanarak bulanık mantığın, problemi çözüme götürüp götürmeyeceğine karar verilir. Bu önkoşullara sonucun tutarlılık oranı ve verilerin belirlilik ölçüleri de dahildir.

Öncelikle çözülecek problem için bulanık mantık yaklaşımının doğru bir seçenek olup olmadığına karar verilir. Eğer uygulanacak sistemin davranışı kurallarla ifade ediliyorsa ve karmaşık bir matematiksel işlem gerektiriyorsa, bulanık mantık yaklaşımı uygulanır. Aksi takdirde bulanık mantık ile elde edilen sonuçlar büyük olasılıkla istenilen değerleri vermeyecektir.

Sistemin her bir çıkış ve giriş değişkenleri için üyelik işlevi (Bulanık Küme) tanımlanmalıdır. Üyelik işlevinin sayısı sistemin davranışına bağlı olmakla birlikte, aynı zamanda tasarımcı seçimine de bağlıdır. Kaç tane üyelik işlevi gerektiğine tasarımcı karar verir.

Bulanık mantık çok değişkenli mantıktır. Yani bu mantıkta küme üyeleri derecelendirilebilir. Bu basit bir örnek ile açıklanacak olursa; bilgisayar dünyasında büyük önemi olan ikili sayılarda, sayı 0 ya da 1 olabilir, bilgisayar mantığına uygulanırsa ya doğru ya da yanlış olabilir.

Bulanık mantık kuramının en büyük özelliği 'klasik' bilgide olduğu gibi sayılardan çok sembollerin kullanılmasıdır. Bu bilgi kavramları, nesnelere düşünürken bir insanın göz önünde bulundurduğu olguların aynılarını temsil eder. Bu sayısal işlem yöntemlerinin kullanılmasını dışlamaz, ancak sonuçların incelenmesi genellikle sembole dayalı olarak yapılır. Bulanık mantıkta bulunan ikinci bir kavram da klasik algoritma yöntemlerinin tersine "tecrübeye dayalı bilgi" yöntemini kullanmasıdır.

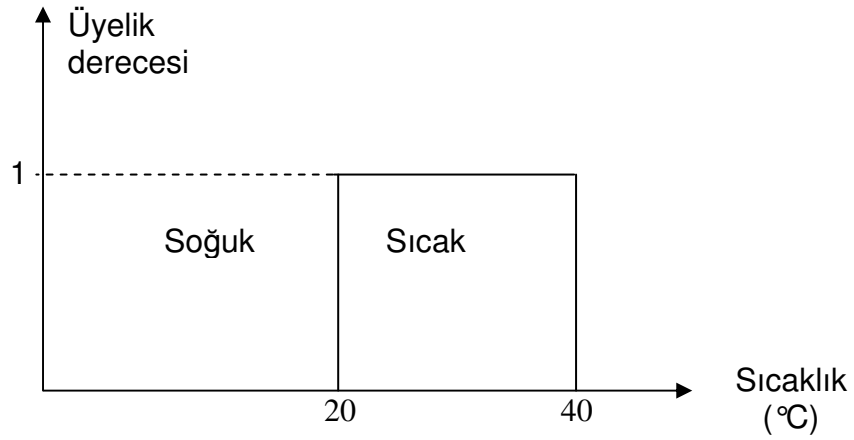
Bulanık mantığın bir başka özelliği de işlenen verilerin ve bilgilerin belirsiz, eksik, yanlış ve hatta çelişkili olduğu durumlarla yetinmesidir. Bulanık mantık çok karmaşık bir problemi tamamen çözmese de etkili yöntemler geliştirir.

Bulanık mantık ile tasarlanan ürünlerin kullanımı, tasarlanması, denenmesi daha kolay ve standart sistemlere göre daha iyi bir denetim sağlamaktadır. Ayrıca bulanık mantığın uygulamaya geçirilişi kolay, hızlı ve ekonomiktir.

## 5.2. Bulanık Küme Kuramı ve Bulanık Mantık

Klasik küme kuramında bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Hiç bir zaman kısmi üyelik olmaz. Nesnenin üyelik değeri 1 ise kümenin tam elemanı, 0 ise elemanı değildir. Başka bir deyişle klasik veya yeni ürün kümelerinde elemanların üyelikleri  $\{0,1\}$  değerlerini alır. Bulanık mantık, insanın günlük yaşantısında nesnelere verdiği üyelik değerlerini, dolayısıyla insan davranışlarını taklit eder. Örneğin elini suya sokan bir kişi hiçbir zaman tam olarak ısını bilemez, onun yerine sıcak, az sıcak, soğuk, çok soğuk gibi dilsel niteleyiciler kullanır.

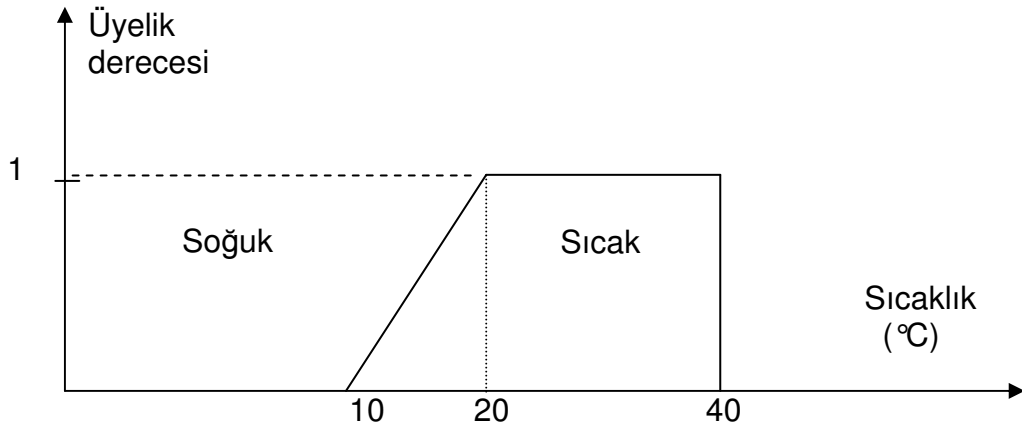
Klasik kümeler örnek Şekil 5.1.'de verilmiştir. Eğer sıcaklık 20 derecenin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık kuramına göre 19,5 derecede sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiç bir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir. Endüstriyel denetleyici için bu durum ele alınır, denetleyicideki fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler birbirlerinden böyle keskin sınırlarla ayrılmışlarsa denetim çıktısının ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır. Bir de üyelik durumunun belirsizliği söz konusudur. Çok sık olarak, gerçek fiziki kelimelerle karşı karşıya gelen nesnelere kümeleri, üyeliklerin koşulları tam olarak tanımlanamaz. Örneğin, hayvanlar kümesi açıkça köpekleri, atları, kuşları vb. ve onların üyeliklerini kapsar. Fakat bakteriler vb. hayvanlar kümesiyle ilişkileri belirsiz yapılara sahiptirler.



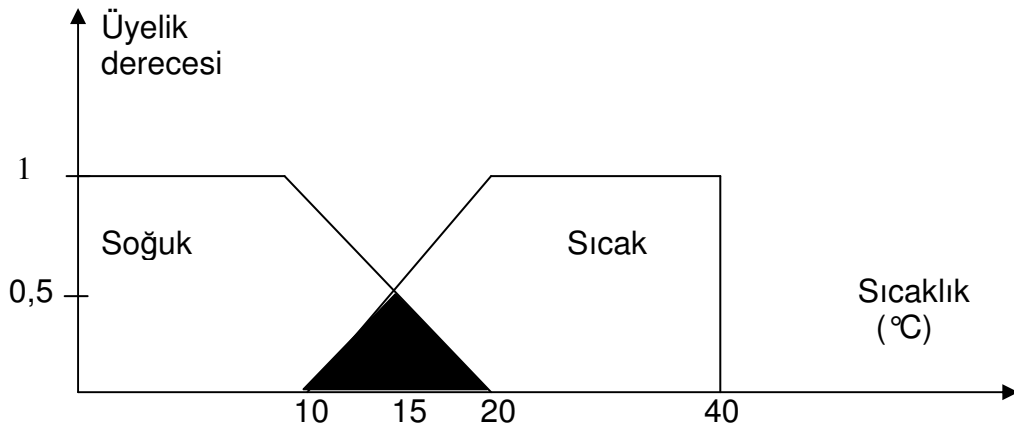
Şekil 5.1. Sıcaklık için keskin küme örneği

Klasik kümelerin aksine bulanık kümelerde elemanların üyelik dereceleri  $[0, 1]$  aralığında sonsuz sayıda değişebilir. Bunlar üyeliğin derecelerinin devamlı ve aralıksız bütünüyle bir kümedir. Keskin kümelerdeki soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, aydınlık-karanlık gibi ikili değişkenler, bulanık mantıkta biraz soğuk, biraz sıcak, biraz karanlık gibi esnek niteleyicilerle yumuşatılarak gerçek dünyaya benzetilir.

Bulanık kümeler için Şekil 5.2.'de bir örnek verilmiştir. Burada 10-40 °C arasındaki değerler sıcak kümesine üyedirler. 20-40 °C arasındaki değerlerin üyelik dereceleri 1'dir, 10-20 °C derece arasındaki sıcaklıkları ise üyelik dereceleri 0 ile 1 değerleri arasında değişecektir. Başka bir deyişle örneğin 11 °C az sıcak, 15 °C biraz sıcak olarak değerlendirilecektir. 20 °C 'yi oda sıcaklığı kabul ederek, sıcaklık bulanık kümesi oluşturulduğunda Şekil 5.3. elde edilir.



Şekil 5.2. Sıcaklık için bulanık küme örneği



Şekil 5.3. Sıcaklık için bulanık kümelerde örtüşüm

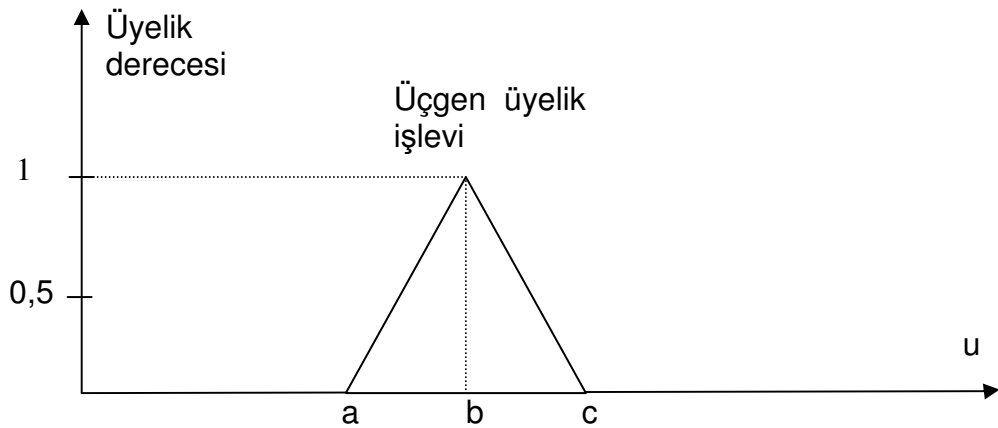
Şekil 5.3.'te görüldüğü gibi, 15 °C 0,5 üyelik derecesi ile hem sıcaklık hem bulanık kümesine, hem de soğuk bulanık kümesine üyedir. 10 ile 20 derece arasındaki değerler hem sıcak hem de soğuk kümesine aittirler. Şekilde taralı olarak gösterilen bu bölge bulanık kümelerin kesişim kümesidir ve bulanık kümelerin örtüşümü olarak adlandırılır.

Bulanık Mantık denetleyici herhangi bir  $x \in X$ 'e  $[0, 1]$  kapalı aralığında bir üyelik derecesi atar. Bulanık mantık kesin olmayan ya da matematiksel olarak tam modellenemeyen bilgilerle ilgilenmesine rağmen, sözel nitelikli matematiksel kurama dayanmaktadır.

Geleneksel kümeler olarak bilinen keskin kümeler ait olduğu evrensel kümenin her bir elemanına 1 veya 0 değerini atayarak, o elemanın kendisiyle ilişkisini belirtirler. Bir nesne 1 değerini alırsa kümenin elemanı, 0 değerini alırsa kümenin elemanı değildir.

Bulanık mantık sisteminin temeli, üyelik işlevlerinden ortaya çıkarılan dilsel değişkenlerin oluşturduğu girişleri karar verme sürecinde kullanmaktır. Bu değişkenler, dilsel EGER-O HALDE kuralları ile birbirleriyle eşleşirler. Her bir kuralın sonucu, girişlerin üyelik dereceleri, durulaştırma ile sayısal bir değer elde edilmesiyle belirlenir. Bulanık mantık sisteminin kural listesi ve üyelik işlevi tasarımı için genellikle uzman işletmenden sağlanan bilgiler kullanılmaktadır. Üyelik işlevi olarak üçgen, yamuk, çan eğrisi kullanılmaktadır. Sistemin özelliğine göre bunların dışında uygun bir işlevde kullanılabilir.

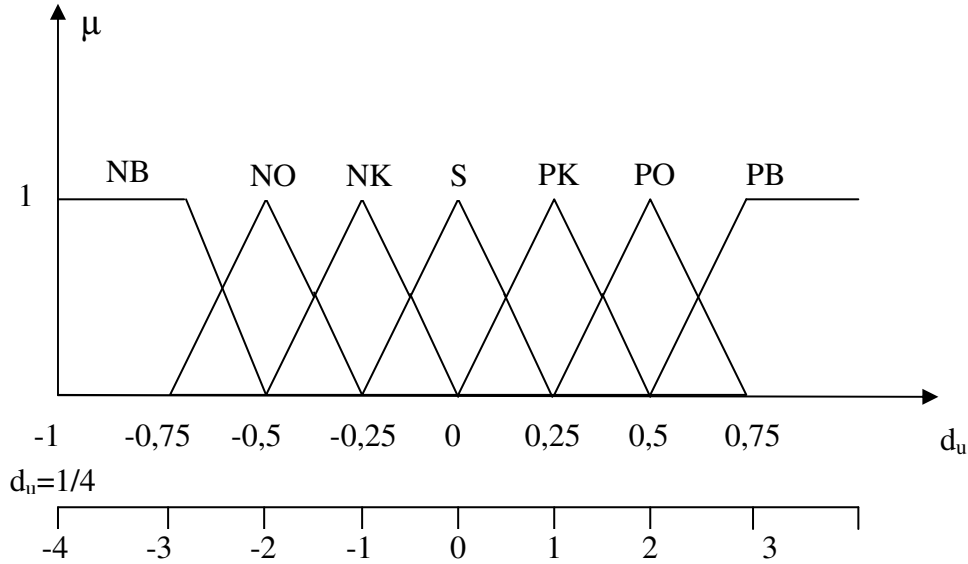
Üyelik işlevlerinde genel olarak gerçek sayılar kullanılır. Bu işlevler  $[0,1]$  aralığında bir üyelik derecesine sahiptirler. Örnek olarak, üçgen üyelik işlevi Şekil 5.4'de gösterildiği gibi  $a$ ,  $b$ ,  $c$  değişkenlerinin seçimi ile tanımlanır.



Şekil 5.4. Üçgen üyelik işlevinin değişkenleri

Üyelik işlevleri genellikle küçük, orta, büyük olarak 3, küçük, orta küçük, orta, orta büyük, büyük olarak 5 veya çok küçük, küçük, az küçük, sıfır, az büyük,

büyük, çok büyük olarak 7 etiketle vb. tek sayı olarak tanımlanmıştır. Örnek olarak 7 etiketle oluşturulmuş üçgen üyelik işlevi Şekil 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Yedi ayrı etiketli üyelik işlevleri ve ölçeklendirme faktörü

Çıkış üyelik işlevinde bulunan NB, NO, NK, S, PK, PO, PB harfleri; “negatif büyük”, “negatif orta”, “negatif küçük”, sıfır, “pozitif küçük”, “pozitif orta”, “pozitif büyük” bulanık kümelerini temsil etmektedir.

Sonuç olarak bir bulanık küme, o kümenin elemanları ve elemanların üyelik dereceleri ile oluşturulabilir.

### 5.3. Bulanık Çıkarım

Klasik mantıkta, verilen önermelerden bir sonuca varmaya çıkarım denir. Klasik mantıkta önermeler kesin ve açıktır. Çıkarım ise önermeler birbiri ile tam olarak uyduğu zaman yapılabilir. Örneğin;

Önerme: GSM trafiği yoğun.

Önerme: Küçük hücrelerin trafik kapasitesi fazla, büyük hücrelerin düşük.

Çıkarım: Küçük hücre kullan.



Bulanık sistemlerde girişler orta, soğuk, yüksek gibi dilsel değişkenlerden oluştuğundan dolayı; bu girişler hakkında sonuca varma ve karar verme ancak EGER - O HALDE (IF - THEN) türünden kuralların kullanılması ile mümkündür.

#### **5.4. Bulanık Mantık Denetleyicinin Üstünlük ve Sakıncaları**

Bulanık mantık yaklaşımının klasik yaklaşımlara göre bir takım üstünlük ve sakıncaları bulunmaktadır.

Bulanık mantık kuramının insan düşünüş tarzına çok yakın olması en büyük üstünlüğünü oluşturmaktadır. Bilindiği gibi denetim işlemlerinin birçoğu dilsel niteleyicilerle yapılmaktadır.

Bulanık mantık yaklaşımı matematiksel modele ihtiyaç duymadığından, matematiksel modeli iyi tanımlanamamış, zamanla değişen ve doğrusal olmayan sistemler en başarılı uygulama alanlarıdır.

Bulanık mantık yaklaşımında işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulması ve geniş bir alana yayılmış değerlerin az sayıda üyelik işlevlerine indirgenmeleri, uygulamaların daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmasını sağlar.

Bulanık mantık uygulamalarında kuralların mutlaka uzman deneyimlerine dayanarak tanımlanması gerekir. Üyelik işlevlerini ve bulanık mantık kurallarını tanımlamak her zaman kolay değildir.

Üyelik işlevlerinin değişkenlerinin belirlenmesinde kesin sonuç veren belirli bir yöntem ve öğrenme yeteneği yoktur. En uygun yöntem deneme yanılma yöntemidir, bu da çok uzun zaman alabilir. Uzun testler yapmadan gerçekten ne kadar üyelik işlevi gerektiğini önceden kestirmek çok güçtür.

Sistemlerin kararlılık, gözlemlenebilirlik ve denetlenebilirlik analizlerinin yapılmasında ispatlanmış kesin bir yöntemin olmayışı bulanık mantığın temel eksikliğidir. Günümüzde bu sadece pahalı deneyimlerle mümkün olmaktadır. Bulanık mantık yaklaşımında üyelik işlevlerinin değişkenleri sisteme özeldir, başka sistemlere uyarlanması çok zordur.

### **5.5. Bulanık Mantık Denetleyiciler**

Bir denetleyici, fiziksel sistemin tepkisini denetleyen, düzelten, fiziksel elemanlardan oluşmaktadır. Denetim sistemleri genel olarak açık döngü ve kapalı döngü (geri beslemeli) olarak iki tiptir. Açık döngü denetim sistemlerinde denetim hareketi sistem çıkışından bağımsızdır, kapalı döngü sistemlerde ise denetim hareketi sistem çıkışına bağlı olarak değişebilmektedir. Açık döngü denetim sistemlerine örnek olarak tost makinesi ve otomatik çamaşır makinesi verilebilir. Tost makinesinde ısı miktarı kullanıcı tarafından ayarlanır, otomatik çamaşır makinesinde ise suyun ısı veya makinenin devir sayısı kullanıcı tarafından seçilir. Her iki örnekte de denetim işlemi çıkış değerine bağlı olarak değişmemektedir. Geri beslemeli veya kapalı döngü denetim sistemlerine örnek olarak bir odanın ısını ayarlayan termostat denetimi ve otomatik pilot denetimi verilebilir. Termostat denetiminde ısıtma ve soğutma ünitesinin çalışması, oda ısısının istenen değer altında veya üstünde olmasına bağlıdır. Bu tezde yapılan çalışma, kapalı döngü sistem olup ilk döngüde elde edilen hücre yarıçapı, hata ve hata değişimin yeni değerlerinin bulunmasını sağlamaktadır. Döngü bu şekilde dört defa tekrar eder ve sonuçta gerçek hücre yarıçapına ulaşılır.

### **5.6. Bulanık Mantık Denetleyici Tasarımı**

Bir bulanık mantık denetleyici tasarlarken gerekli temel aşamalar aşağıdaki gibi sıralanabilir. Bunlar genel olarak bütün sistemler için geçerlidir.

- Öncelikle problemin çözümü için bulanık mantığın uygun olup olmadığı tespit edilir. Eğer sistemin davranışı hakkındaki bilgi klasik kuralların tanımlanması için yeterliyse bulanık mantık uygulanabilir.
- Her bir giriş ve çıkış parametresi için üyelik işlevleri tanımlanır. Üyelik işlevlerinin sayısı tasarımcının seçimi ve sistem davranışlarına bağlıdır.
- Hangi kuralların uygulanacağı belirlenir.
- Bir kural tabanı tertip edilir. Kural tabanında tasarımcı, kuralların ne kadar önemli olduğunu tanımlar.
- Oluşturulan kural tabanı ile bazı örnek girişler için sistemin çıkışlarına bakılır. Elde edilen çıkışların, doğruluğu ve verilen girişler kümesi için kural tabanına uygunluğu tespit edilir.
- Uygulanan kurala göre sonuç tespit edilir.
- Denetim işleminde, en uygun bir tane çözüm değil, yeterli derecede iyi bir çözüm elde edilmelidir.

Daha sonra ise denetleyicinin dinamiklerini teşkil eden bulanık EGER-O HALDE kurallarına dayalı yaklaşımlardan kurallar tanımlanır.

Bir bulanık denetleyici dört aşamalı bir yapıyı içermektedir. Bunlar:

- Uzman karar vericinin dilsel stratejilerinden oluşan kurallar kümesi
- Giriş bilgilerinin kümesi
- İstenen hareketi (çıkışı) elde etmek için verilen verilere kuralların uygulanması
- Hedeflenen en iyi değer elde edilmesi

### **5.7. Bulanık Denetim Kurallarının Oluşturulması**

Uzman bilgileri genellikle "Eğer sistem şu durumda ise o halde şöyle bir denetim uygula" şeklindedir. Kısaca:

EGER durum = x ise O HALDE denetim =y şeklindedir

Veya (IF durum=x THEN denetim=y) şeklindedir.

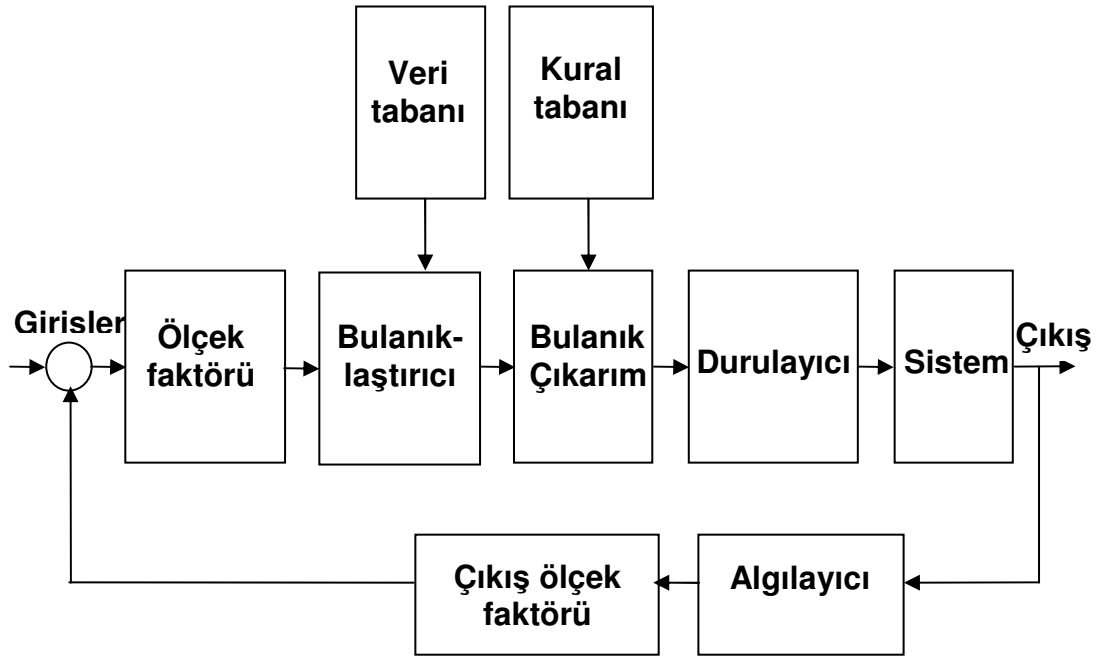
Bulanık denetim kuralı bir neden ve bir sonuçtan oluşur. Denetim kurallarındaki nedenler ve sonuçlar birden fazla olabilir.

Bulanık mantık denetim kuralları sayısal değerlerden çok dilsel terimler olarak daha iyi formülize edilebilir. Bu değişkenlerin seçiminde deneyimlerin ve mühendislik bilgisinin önemli bir rolü vardır. Özellikle dilsel değişkenlerin seçiminin, bulanık mantık denetimin dilsel yapısı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Tipik olarak bulanık mantık denetimindeki dilsel değişkenler genellikle, giriş değişkenleri, giriş değişkenlerinin hatalarının türevi veya bir önceki adıma göre değişiminden elde edilmektedir.

### **5.8. Basit Bulanık Mantık Denetleyiciler**

Bulanık mantık denetleyici için öncelikle giriş ve çıkış değişkenleri tanımlanır. Bulanık alt kümelerin her bir değişkeni için belirli bir aralık tanımlanır ve her birine dilsel etiket atanır. Daha sonra her bulanık alt küme için üyelik işlevi belirlenir. Giriş ve durum değişkenlerine ait bulanık alt kümeler ile giriş değişkenine ait alt kümeler arasında bulanık ilişkiler kurulur. Denetleyici tarafından girişler bulanıklaştırılır. Bulanık kurallar kullanılarak bulanık çıkarım yapılır. Her kural tarafından işaret edilen bulanık çıkışlardan tek bir bulanık değer elde edilir. Durulama yapılır ve keskin giriş değeri elde edilir. Bu şekilde hazırlanan bir bulanık mantık denetleyici şu özelliklere sahiptir;

- Giriş ve çıkış ölçek faktörleri sabittir.
- Kural tabanı değişmez ve kurallar arası etkileşim yoktur. Bütün kurallar aynı derecede kesin ve sabittir.
- Üyelik işlevleri sabittir.
- Kurallarının sayısı giriş değişkenlerinin sayısı ile belirlenir.
- Çıkışı durulama ve kuralların sonuçların hesaplama yöntemi sabittir.



Şekil 5.6. Bulanık mantık denetleyici

Genel olarak bir bulanık mantık denetleyicinin yapısını gösteren blok şema Şekil 5.6.'da görülmektedir. Veri tabanı bütün bulanık giriş ve çıkış bölümlerine ait değerleri içerir. Bulanık kural tabanı, sistemin giriş değişkenlerini, üyelik işlevini oluşturan kümeleri ve denetlenen sistemin çıkış değişkenleri veya denetim hareketlerini içermektedir.

Basit bir bulanık mantık denetleyici tasarımı için aşağıdaki işlemler yapılır.

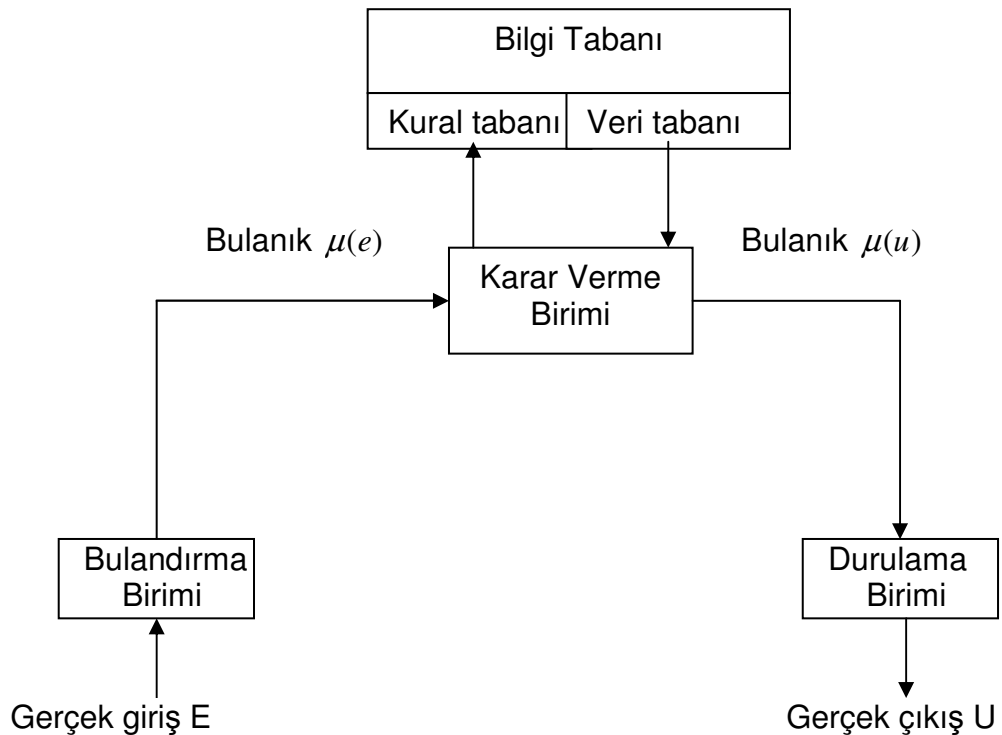
- Sistemin giriş, çıkış değişkenleri tanımlanır.
- Bulanık alt kümelerinin her bir değişkeni için belirli bir aralık tanımlanır ve her birine dilsel etiket atanır.
- Alt kümeler evrensel kümenin bütün elemanlarını kapsamalıdır. Her bulanık alt küme için üyelik işlevi belirlenir.
- Giriş ve durum değişkenlerine ait bulanık alt kümeleri ile çıkış değişkenine ait altkümeleri arasında bulanık ilişkiler kurulur. Başka bir deyişle kural tabanı oluşturulur.

- Denetleyici tarafından girişler bulanıklaştırılır.
- Bulanık kurallar kullanılarak bulanık çıkarım yapılır.
- Her kural tarafından işaret edilen bulanık çıkışlardan tek bir bulanık değer elde edilir.
- Durulama yapılır ve keskin çıkış değeri elde edilir.

Basit bir bulanık mantık denetleyici ifade edilen yukarıdaki kısımlardan meydana gelmektedir.

### 5.9. Genel Bulanık Mantık Denetleyiciler

Bulanık mantık denetleyiciler, bulandırma, bilgi tabanı, karar verme ve durulama birimleri olmak üzere dört temel birimden oluşmuştur. Şekil 5.7.'de bir bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı görülmektedir.



Şekil 5.7. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı

Sistem değişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen E giriş değişkenleri (hata ve hata değişkeni) ve sistemi denetim için bulanık mantık denetleyici tarafından kullanılan U çıkış değişkeni olmak üzere iki çeşittir. Bulandırma birimi en son ölçülen verinin uygun dilsel değerlere dönüştürülmesini sağlar. Bulanık bilgi tabanı bilginin iki ana tipini kapsar: veri tabanı, her bir sistem değişkeninin değerleri gibi kullanılan bulanık kümelerin üyelik işlevlerini tanımlar, kural tabanı ise giriş bulanık değerlerin, çıkış bulanık değerlerine tam olarak eşlenmesini temsil eder. Karar verme birimi bulanık mantık denetleyicinin özüdür ve arzu edilen denetim stratejisine erişmek için, yaklaşık çıkarım sağlaması ile insan gibi karar verme yeteneğine sahiptir. Durulama birimi ise karar verme biriminden gelen bulanık bilgileri, gerçek değerlere dönüştürerek, sistemin tanımlayabileceği denetim hareketi haline gelmesini sağlar.

### **5.9.1. Bulandırma birimi**

Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere küçük, en küçük gibi dilsel değişken değerler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla farklı sayıda ve özellikte bulanık küme oluşturulabilir.

### **5.9.2. Bilgi tabanı**

Bilgi tabanı, karar verme biriminin kural tabanının da kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı (Data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı (Rule base) olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Genel olarak da uygulama dönemindeki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve bulanık

mantık denetimindeki bulanık bilgi işleme süresince yararlanılır. Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler.

Denetimi yapılan sistemle ilgili bulandırma, bulanık çıkarım, durulama işlemleri sırasında gerek duyulan üyelik işlevi ve kural tablosu bilgileri veri tabanından kullanıma sunulmaktadır.

### *Karar Verme Birimi*

Karar verme birimi, çıkarım motoru (Fuzzy Engine) olarak da adlandırılır. Bulanık mantık denetiminin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi sağlar. Burada birçok bulanık gerçekleştirme yapılır. Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılmaktadır.

Bulanık mantık denetleyici içindeki bu benzetim bulanık içerme, bileşke kural çıkarımları ve cümle bağlayıcıları ile ilgilidir. Genel olarak bir bulanık denetim kuralı bir bulanık ilişkidir ve bulanık içerme ile açıklanır. Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu vardır ve bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir.

Birçok farklı bulanık içerme işlevi bulunmaktadır. Bir bulanık denetim kuralı "EGER  $x=A$  O HALDE  $y=B$ " bulanık içerme işlevi ile gösterilen A ve B sırasıyla U, V uzaylarında tanımlanmış bulanık kümelerdir.

Bulandırma işlemiyle sayısal değerlerden, sembolik ilgili kümeye aitlik değerleri çıkarılmıştı. Bulanık çıkarımda ise denetimi yapılan sistemi kullanan uzman operatörün kullandığı dilsel niteleyiciler ve kurallar kullanılarak sembolik sonuç elde edilir. Bulanık mantık denetiminin beyni bulanık çıkarımdır. Burada veri tabanı ve karar verme mantığı kullanılmaktadır. Veri tabanı, bulanık kümelerin giriş çıkış değişkenleri ile üyelik işlevini, kural tabanı ise bulanık kural cümlelerini içerir.

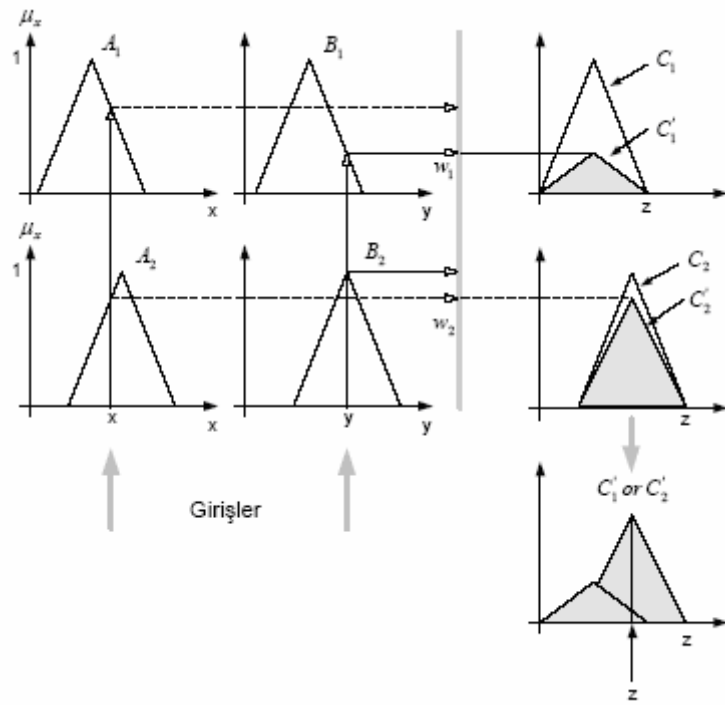


### Max-Dot Yöntemi

Her bir giriş değeri, ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümeyi yeniden ölçeklendirir. Çıkış değeri yeniden ölçeklendirilmiş bulanık kümeler içerisindeki maksimum değer alınarak bulunur.

#### Max- Dot Yöntemi

- Kuralın çıkışındaki bulanık küme yeniden ölçeklendirilir.
- Çıkış sayısal değeri en yüksek olan bulanık kümenin sayısal değeri alınarak bulunur.



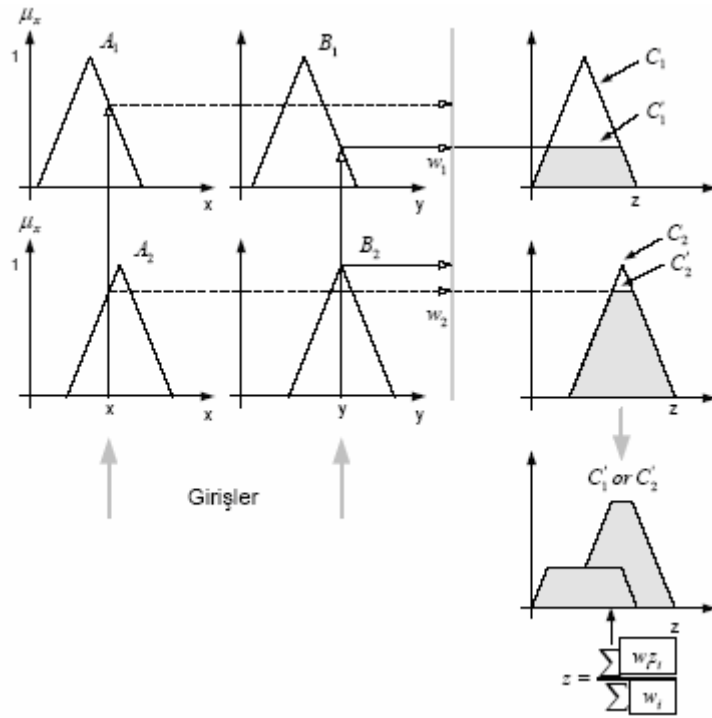
Şekil 5.8. Max-Dot karar verme yöntemi

### Min-Max Yöntemi

En yaygın kullanılan yöntemdir. Her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısmı kesilir. Çıkış değeri, elde edilen bulanık kümelere ağırlık ortalaması yönteminin uygulanmasıyla bulunur. Min-Max çıkarım Şekil 5.9.'da görülmektedir.

### Min- Max Yöntemi

- Kuralın çıkışındaki bulanık küme yeniden ölçeklendirilir.
- Çıkış sayısal değeri ağırlık ortalaması yöntemiyle bulunur.



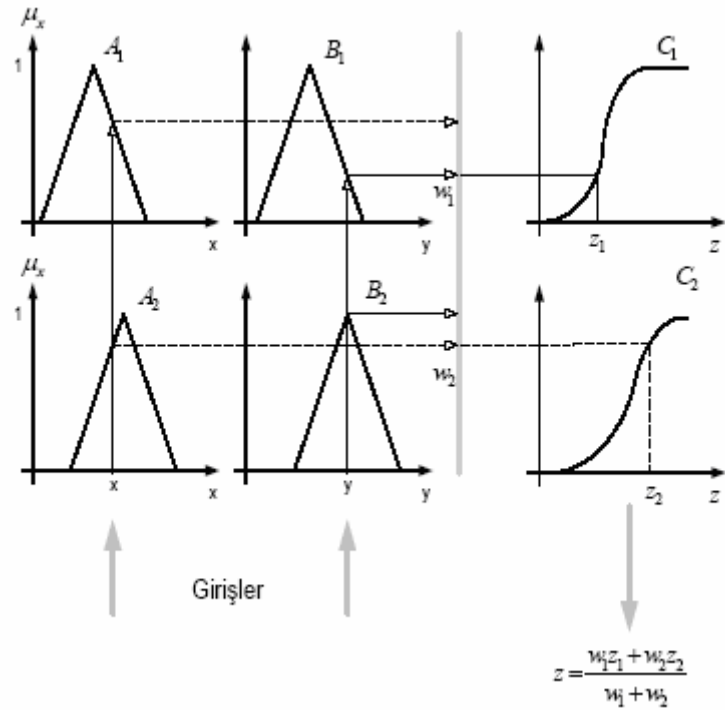
Şekil 5.9. Min-Max karar verme yöntemi

### Tsukamoto Yöntemi

Bu yapıda çıkış üyelik işlevi tek yönlü artan bir işlev olarak seçilir. Çıkış değeri ise her bir kuralın keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunur.

## Tsukamoto Yöntemi

- Çıktılar, tek yönlü artan fonksiyon olarak alınır.
- Çıkış sayısal değeri, her bir kuralın keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunur.



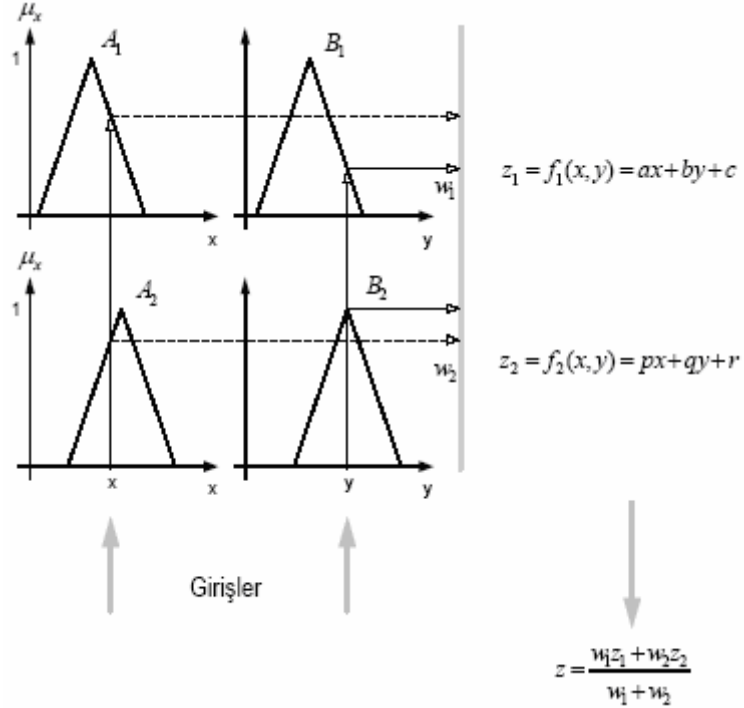
Şekil 5.10. Tsukamoto karar verme yöntemi

*Takagi-Sugeno Yöntemi*

Her bir kuralın çıkışı giriş değerlerinin doğrusal birleşimiyle bulunur. Keskin çıkış değeri ise ağırlık ortalaması alınarak bulunur.

### Sugeno Yöntemi

- Her bir kuralın çıkışı, girişlerin doğrusal birleşimi şeklinde alınır.
- Çıkış sayısal değeri, her bir çıkış fonksiyonunun keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunur.



Şekil 5.11. Takagi-Sugeno karar verme yöntemi

### Durulama Birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması için sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi, karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar.

Durulama işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemler şunlardır;

- Maksimum üyelik yöntemi
- Ağırlık merkezi yöntemi
- Ağırlık ortalaması yöntemi
- Mean-Max üyelik yöntemi

### *Maksimum Üyelik Yöntemi*

Yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Durulanmış değer, bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşittir.

$$\mu_c(z^x) \geq \mu_c(z) \quad [5.1]$$

### *Ağırlık Merkezi Yöntemi*

Ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da bilinen bu yöntem en yaygın kullanılan durulama yöntemidir.

$$z^x = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \cdot dz}{\int \mu_c(z) \cdot dz} \quad [5.2]$$

Bu denklemde  $\mu_c(z)$  üyelik derecesini,  $z$  üyelik derecesinin bulunduğu hücrenin merkezini ifade etmektedir.

### *Ağırlık Ortalaması Yöntemi*

Bu yöntemde girişlerden elde edilen bütün bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulama yapılmaktadır.

$$z^x = \frac{\sum \mu_c(z) \cdot z}{\sum \mu_c(z)} \quad [5.3]$$

### *Mean-Max Üyelik Yöntemi*

Maksimum üyelik işlevi yöntemiyle ilişkilidir. Bu işlev maksimum üyelik derecesi tek bir nokta olmayıp, düz olabilen sistemler içinde kullanılabilir. Şu şekilde ifade edilir (6,11).

$$z^x = \frac{a+b}{2} \quad [5.4]$$

## 6. BAZ İSTASYONU GÜCÜNÜN HESAPLANMASI

Hücreli iletişim sistemlerinde önemli çalışmalardan biri de kapsama alanındaki yayılma modelinin belirlenmesidir. Yayılma modeli, baz istasyonu ile mobil ünite (cep telefonu) arasındaki kayıpları belirler. Yayılma modeli, çevre şartlarına göre değiştiğinden tek bir modelle tüm ortamlardaki kayıpları belirlemek imkânsızdır. Bunun için birçok deneysel ve teorik model ortaya atılmıştır. Bu modeller içerisinde en önemlilerinden biri de Hata-Okumura modelidir. 150MHz ile 1500MHz frekans aralığında geçerli olan model, kentsel, yarı kentsel ve kırsal alanlara uygulanabilir. Söz konusu model ile bu alanlardaki baz istasyonunu çıkış gücü elde edilir.

Bu model ilk defa Yoshisa Okumura tarafından “VHF ve UHF Mobil radyo servislerindeki değişkenlik ve alan gerilimi” adlı çalışmasında tanımlanmıştır. Daha sonra Masaharu Hata, “Alanlardaki yayılma kayıpları için deneysel formül “ adlı çalışmasında söz konusu modeli basitleştirmiştir.

Hata-Okumura modeli için çalışma frekansı, alıcı anten yüksekliği, verici anten yüksekliği, yayılma yarıçapı yeterli olduğundan hesaplama zamanı çok kısadır. Bu modelde verici tepede bulunmakta ve yayılma için hiçbir dezavantajı bulunmamaktadır.

Hata-Okumura modelindeki farklı alanlar için yol kayıp denklemleri aşağıdaki şekilde bulunmaktadır.

Kentsel alan için :

$$L_u = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R \quad [6.1]$$

Yarı-kentsel alan için :

$$L_{su} = L_u - 2 \left[ \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad [6.2]$$

Kırsal alan için :

$$L_r = L_u - 4,78 (\log f_c)^2 + 18,33 \log f_c - 40,94 \quad [6.3]$$

Buradaki yol kayıplarını belirten L'ler dB cinsindedir. Burada  $f_c$ , taşıyıcı frekans ( $150 \leq f_c \leq 1500$  MHz);  $h_b$ , baz istasyonu anten yüksekliği ( $30 \leq h_b \leq 200$  m);  $a(h_m)$ , düzeltme faktörü; R, baz istasyonundan olan uzaklıktır. Farklı alanlar için  $a(h_m)$  aşağıdaki şekilde hesaplanır (19,23).

Küçük ve orta boyutlu şehir için :

$$a(h_m) = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - 1,56 \log f_c + 0,8 \text{ dB} \quad [6.4]$$

Büyük şehir için :

$$a(h_m) = 3,2 (\log 11,75 h_m)^2 - 4,97 \text{ dB} \quad [6.5]$$

Buradaki  $h_m$ , mobil istasyon anten yüksekliği ( $1 \leq h_m \leq 10$  m)' dir.

Her bölge için ( kentsel, yarı kentsel, kırsal ) verilen nüfus ve alan bilgileri ile hücre yarıçapları hesaplanabilir. Bu yarıçaplardan yararlanarak da daha önce verilen Hata-Okumura modelindeki yol kayıp denklemleri ( $L_u, L_{su}, L_r$ ) kullanılarak baz istasyonu verici güçleri bulunabilir.

Kentsel alan için:

$$P_{tu} = P_{r \min} + L_0 + L_u - G_t - G_r \quad [6.6]$$

Yarı kentsel alan için:

$$P_{tsu} = P_{r \min} + L_0 + L_{su} - G_t - G_r \quad [6.7]$$

Kırsal alan için:

$$P_{tr} = P_{r \min} + L_0 + L_r - G_t - G_r \quad [6.8]$$

$P_{r \min}$ , minimum alıcı hassasiyetidir ve değeri  $-104$  dBm'dir (8).  $L_0$  (dB), ilave kayıpları gösterir.  $G_t$ , verici anten kazancı (dB);  $G_r$ , alıcı anten kazancıdır. Burada hesaplanan baz istasyonu verici güçleri de dB cinsindedir.

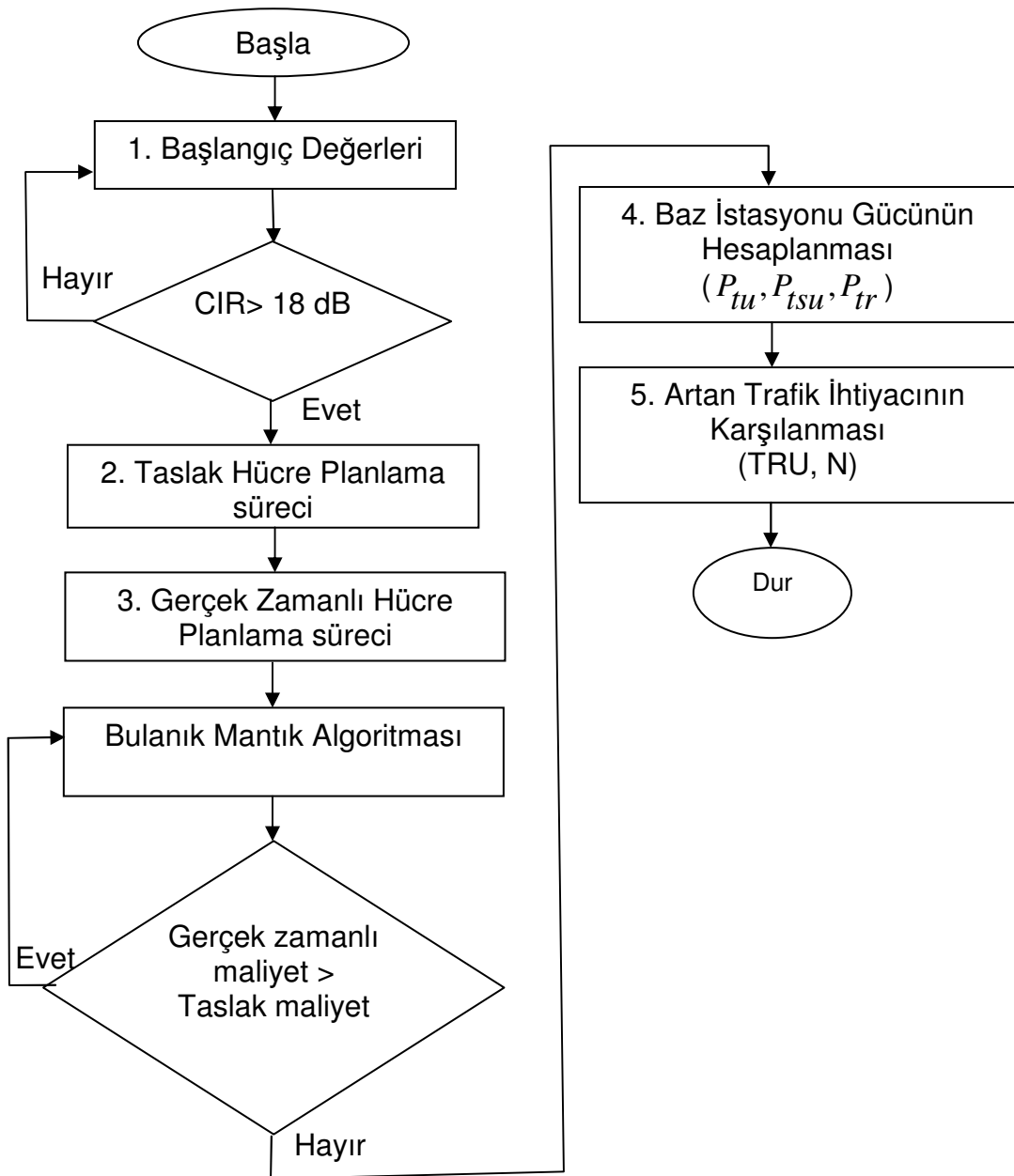
Böylelikle tüm bu denklemler kullanılarak farklı coğrafik alanlar için baz istasyonu verici gücü kestirilebilmektedir (9,19,24).



## 7. BİLGİSAYAR PROGRAMININ ÇALIŞMASI VE NÜMERİK SONUÇLAR

### 7.1. Programın Adımları

Tez çalışmasında yazılan programın çalışma adımları aşağıdaki gösterilmektedir.

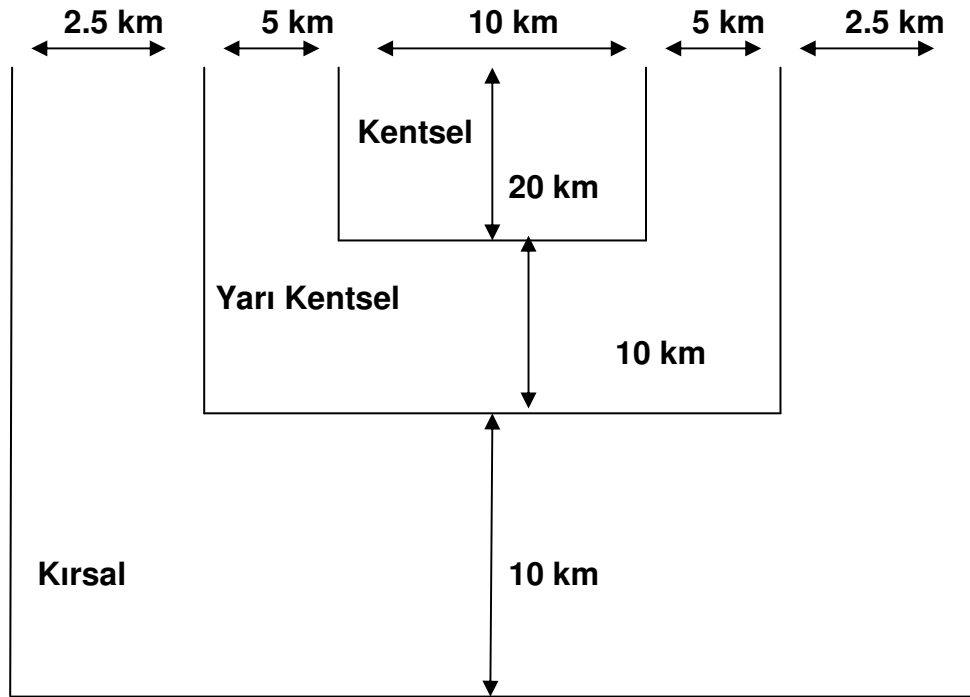


Şekil 7.1. Programın çalışması

### Adım 1: Başlangıç değerleri

Birinci adımda programın çalışması için gerekli değişkenler sisteme girilir. Bunlar;

Kapsanacak alan	200, 600, 1000 (km <sup>2</sup> )
Kapsanacak alan çeşitleri	Kentsel, Yarı Kentsel, Kırsal alan
Anten tipleri	Üç sektörlü, Çok yönlü anten
N (Her kümede bulunan hücre sayısı)	21
Kullanıcı sayısı	20 000, 18 000, 10 000 (adet)
GoS (Servis derecesi)	0.02
Toplam trafik	140 ~ 500 Erlang
Baz istasyonunun yerden yüksekliği ( $h_b$ )	30 metre
Kullanıcının yerden yüksekliği ( $h_m$ )	1,5 metre
Kullanılan frekans	900 Mhz



Şekil 7.2. Üç farklı alan için kapsanacak alanlar

Buradan da görüldüğü üzere kentsel alanın yüzölçümü  $200 \text{ km}^2$ , yarı kentsel alanın yüzölçümü  $600 \text{ km}^2$  ve kırsal alanın yüzölçümü  $1000 \text{ km}^2$ 'dir.

Şimdi de optimizasyon için gerekli olan nüfus bilgilerine bakalım. Kentsel alanın nüfusu 20 000, yarı kentsel alanın nüfusu 18 000, kırsal alanın nüfusu da 10 000 olarak alınır. Diğer parametreler de yukarıda belirtildiği şekildedir.

### Adım 2: Taslak Hücre Planlama Süreci

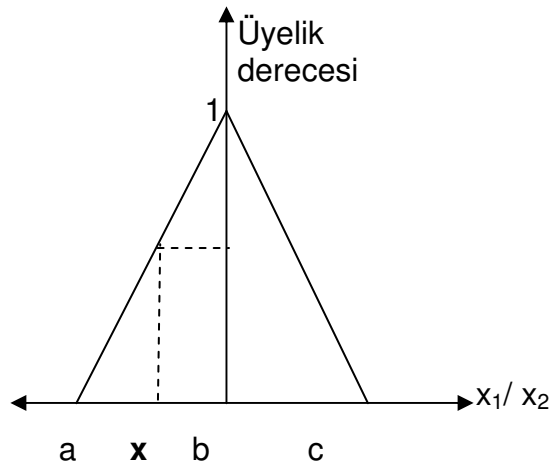
Bu adımdan önce, kullanılacak anten tipine (Üç sektörlü ve Çok yönlü) bağlı olarak CIR değeri kontrol edilir. Bulunan değer 18 dB'den büyük ise program devam eder, 18 dB'den daha küçük ise N değerinin yeniden belirlenmesi istenir.

Bu adımda, programın başında belirlenen başlangıç değerlerine bağlı olarak taslak baz istasyonu sayısı, TRU sayısı ve kullanıcı başına düşen trafik değeri ve maliyet hesaplanır.

### Adım 3: Gerçek Zamanlı Hücre Planlama Süreci

Bu adımda, öncelikle bulanık mantık algoritmasının giriş değişkeni olan trafik hatası bulunur. Bu değer, taslak hücre planlamasında bulunan referans trafik değerinden gerçek zamanlı hücre planlamasında belirlenen anlık trafik değerinin çıkarılması ile elde edilir. Bulunan değer ölçeklendirme faktörü ile çarpılır. Üyelik işlevlerinde bulunan üçgenlerin a, b, c değerleri "fuzzy\_baslangic" fonksiyonu ile bulunur. Ölçeklendirilmiş giriş değişkenleri, bulanıklaştırmanın gerçekleştirildiği "fuzzyify" fonksiyonuna aktarılır. Söz konusu fonksiyon içerisinde bulunan "set\_dom" fonksiyonunda üyelik derecesi,

Üçgen Üyelik derecesi =  $\max \left( \min \left( \frac{x - a}{b - a}, \frac{c - x}{c - b} \right), 0 \right)$  fonksiyonu ile bulunur.



Şekil 7.3. Üyelik derecesinin bulunması

Bulunan üyelik dereceleri “inf\_defuzz” fonksiyonuna gelir. Bu fonksiyonda, Max-Min yöntemi ile bulanık çıkarım ve ağırlık ortalaması yöntemiyle durulaştırma işlemi gerçekleştirilir. Çıkış değişkeninde elde edilen değer taslak hücre planlamasına göre maliyetin azalmasını sağlamıyor ise bulanık mantık algoritması dört defa daha çalışır, sağlıyor ise söz konusu değer çıkışa aktarılır.

#### 4. Baz İstasyonu Gücünün Hesaplanması

Bu adımda, Hata-Okumura yayılma modeli yardımıyla çalışma frekansı, hücre yarıçapı, baz istasyonun yerden yüksekliği ve kullanıcının yerden yüksekliğine bağlı olarak üç farklı alan için (Kentsel, yarı kentsel, kırsal) baz istasyonu gücü bulunur.

#### 5. Artan Trafik İhtiyacının Karşılanması

Bu adımda, taslak hücre planlamasına göre artan trafik ihtiyacının karşılanması için ilave TRU sayısı ve değişen  $N$  (Kümeye bulunan hücre sayısı) parametreleri bulunur.

## 7.2. Nümerik Sonuçlar

Bu alışmada, GSM sisteminde hücre planlamasının bulanık mantık ile denetimi probleminin C programlama dili ile benzetimi yapılmıştır. Ayrıca giriş ve çıkış verileri C++ Builder dilinde yazılan ara yüz üzerinden belirlenebilmektedir.

Program, taslak hücre planlaması ve gerçek zamanlı hücre planlaması olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir. Gerçek zamanlı hücre planlamasında, taslak hücre planlamasında bulunan baz istasyonu sayısı dolayısıyla maliyet optimize edilmeye çalışılmakta, bulanık mantık algoritmasından elde edilen yarıçap, baz istasyonun yerden yüksekliği, kullanıcının yerden yüksekliği ve frekans değişkenlerinin Hata-Okumura modelinde değerlendirilmesiyle baz istasyonu çıkış gücü bulunmakta, artan trafik ihtiyacında ilave edilmesi gereken TRU sayısı ve değişen N (Her kümede bulunan hücre sayısı) değeri elde edilmektedir. Bütün sonuçlar GSM 900 frekansını kullanan ve 50 adet taşıyıcı frekansın tahsis edildiği Turkcell veya Telsim için gerçekleştirilmektedir.

GSM bölümünde belirtildiği gibi, düşük abone kapasitesinin olduğu ve olabildiğince geniş alanların kapsanmak isteneceği kırsal bölgeler için çok yönlü (Omni-cell) anten tipi, yüksek abone kapasitesi ve yoğun hücre yerleşiminin gerçekleştirileceği şehirsel alanlar için üç sektörlü (Sektör-cell) anten tipi tercih edilmektedir. C dilinde yazılan program da kentsel alanlarda  sektörlü, kırsal alanlarda çok yönlü, yarı kentsel alanlarda ise her iki anten tipi kullanılmıştır.

Kullanıcı tarafından programın taslak hücre planlama kısmında, kapsanacak alan, kapsanacak alan eşidi (Kentsel, Yarı-Kentsel, Kırsal), anten tipi, kullanıcı sayısı, N (Her kümede bulunan hücre sayısı), servis derecesi (GoS), sistemin trafik ihtiyacı (Erlang), kullanıcının yerden yüksekliği, baz istasyonun yerden yüksekliği tasarımcı tarafından belirlenir.

**GSM SİSTEMİNDE HÜCRE PLANLAMASININ BULANIK MANTIK İLE DENETİMİ**

ALAN TÜRÜ :	Kırsal	GoS DEĞERİ :	0,02	TASLAK PLANLAMA SONUÇLARI
ANTEN TİPİ :	Cok Yonlu	TRAFİK DEĞERİ :	140	TASLAK BTS SAYISI : 8 ADET
N DEĞERİ :	21	Hb DEĞERİ :	30	TASLAK TRU SAYISI : 8 ADET
KAPSAMA ALANI :	1000	Hm DEĞERİ :	1,5	TASLAK MALİYET : 880 BİRİM
KULLANICI SAYISI :	10000			KULLANICI BAŞINA TRAFİK : 0,014 ERLANG
				CIR DEĞERİ : 27,700 dB
		TASLAK PLANLAMA		
		TASLAK HESAPLA		
				GERÇEK ZAMANLI PLANLAMA SONUÇLARI
		GERÇEK ZAMANLI PLANLAMA		HÜCRE YARIÇAPI : 8,000 KM
	ERLANG 280			GERÇEK ZAMANLI BTS SAYISI : 6 ADET
		GERÇEK ZAMANLI HESAPLA		YENİ TRU SAYISI : 12 ADET
				YENİ N DEĞERİ : 12
				GERÇEK ZAMANLI MALİYET : 720 BİRİM
				BTS GÜCÜ : 20,200 dB
				Ds DEĞERİ : 48,000 KM
				CIR DEĞERİ : 22,500 dB

Şekil 7.4. Grafikselsel ara yüze sahip program

Bu değerler belirlendikten sonra program çalıştırılır. Programda öncelikle N (Her kümede bulunan hücre sayısı) değeri ile bulunan CIR (Kanal girişim oranı) değerinin 18 dB'den küçük olup olmadığı while döngüsü ile kontrol edilir. Bulunan CIR değeri 18 dB'den daha küçük ise N değerinin yeniden belirlenmesi istenir. Erlang B tablosunu sağlayan "kanalbul" fonksiyonu ile trafik ve GoS (Servis derecesi) değerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan toplam kanal sayısı bulunur. Taslak baz istasyonu sayısı, toplam kanal sayısının,

“bts\_kanal\_sayisi”, fonksiyonundan elde edilen, bir baz istasyonunda bulunan kanal sayısına bölünmesi ile bulunur. Bulunan baz istasyonu sayısı birim maliyet ile çarpılıp TRU maliyeti de ilave edilerek taslak maliyet bulunur. Bir baz istasyonunda maksimum 12 adet TRU bulunabileceği sınırlaması altında “tru\_bul” fonksiyonu ile bir baz istasyonundaki TRU sayısı elde edilir. Bu sayı baz istasyonu sayısı ile çarpılarak sistemin ihtiyacı olan toplam TRU (alıcı-verici ünite) sayısı bulunur. Sistemin toplam trafik değerinin (Erlang) kullanıcı sayısına bölünmesi ile kullanıcı başına trafik değeri elde edilir. Böylece taslak baz istasyonu sayısı, maliyet, TRU (alıcı-verici) sayısı ve kullanıcı başına düşen trafik miktarının hesaplanması ile taslak hücre planlama süreci tamamlanmış olur.

Kullanıcı tarafından gerçek zamanlı hücre planlama sürecinde öncelikle kullanıcı başına trafik değeri belirlenir. Pratikte kentsel alanlar için ortalama 1,5 dakikaya karşılık gelen 25 mE, yarı kentsel alanlar için 1,2 dakikaya karşılık gelen 20 mE, kırsal alanlar için 0,9 dakikaya karşılık gelen 15 mE trafik değerleri gözlenmiştir.

Gerçek zamanlı ve taslak kullanıcı başına düşen trafik değerleri arasındaki farktan hata değeri ve bu değer zamanla değişiminden hata değişim değeri elde edilir. Bu değerler bulanık mantık algoritmasının giriş değişkeni olarak alınır. Giriş değişkenleri ve çıkış değişkeninin değerlendirildiği üyelik işlevlerinde bulunan üçgenlerin sayısı, genişliği ve merkezi “fuzzy\_baslangic” fonksiyonu ile bulunur. Hata ve hata değişim değeri ölçeklendirme faktörleri ile çarpılır. Ölçeklendirme faktörü ile çarpılmış giriş değişkenleri “fuzzyify” fonksiyonuna aktarılır. Bulanıklaştırma işlemi yapan bu fonksiyon gelen verinin hatadan mı, hata değişiminden mi geldiğini, üyelik fonksiyonlarından hangisi ya da hangilerinden üyelik derecesi elde edildiğini bulur. Söz konusu fonksiyonun içindeki “set\_dom” fonksiyonu ile üyelik dereceleri bulunur. Bulunan üyelik dereceleri “inf\_defuzz” fonksiyonuna gelir. Bulanık çıkarım ve durulaştırma işlemi bu fonksiyonda gerçekleştirilir. Mamdani’nin Min-Max yöntemi ile yapılan bulanık çıkarımda, hata ve hata değişim değerinden

minimum değer alınır (9). Kapsanacak alan çeşidi ve anten tipine göre belirlenen altı adet kural tablosunda, hata ve hata değişiminin bulunduğu üçgenlere bağlı olarak, çıkış üyelik fonksiyonunda hangi çıkış üçgenin merkezinin alınacağı EĞER O HALDE şeklinde kurallarla bulunur. Çalışmada, durulaştırma yöntemlerinden ağırlık ortalaması yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde bulanık çıkarımdan elde edilen minimum değerler ile kural tablosundan elde edilen çıkış üyelik işlevinde bulunan ilgili üçgenin merkezleri çarpılır. Söz konusu çarpım değerlerinin toplamı, minimum değerlerin toplamına bölünerek durulaştırma işlemi tamamlanmış olur. Böylece bulanık mantık algoritması ile hücre yarıçapı elde edilmiş olur. Söz konusu yarıçaptan bulunan baz istasyonu sayısı taslak hücre planlamasına göre maliyetin azalmasını sağlıyor ise sonuç çıkışa gönderilir. Eğer maliyetin azalmasını sağlamıyorsa bulanık mantık algoritması dört defa daha çalıştıktan sonra nihai hücre yarıçapı ve baz istasyonu sayısı elde edilir.

Hücre yarıçapı, baz istasyonun yerden yüksekliği, kullanıcının yerden yüksekliği ve frekans parametrelerinin Hata-Okumura modelinde değerlendirilmesi ile baz istasyonu gücü bulunur.

Buna ilaveten taslak planlamaya göre artan trafik varsa ihtiyaç duyulan yeni TRU sayısı ve yeni N değeri de programda bulunur.

Bu tez çalışmasında bulunan sonuçlardan biri olan, üç farklı alan türünden (Kentsel, yarı kentsel, kırsal) kırsal alanın ve iki farklı anten tipinden çok yönlü antenin kullanıldığı örneğin ayrıntılı gösterimi aşağıdadır.

Başlangıç evre taslak hücre planlama kısmında aşağıdaki başlangıç verileri alalım.

- Kapsanacak alan = 1000 km<sup>2</sup>
- Kapsanacak alan türü = Kırsal alan



- Anten tipi = Çok yönlü anten
- N (Her kümede bulunan hücre sayısı) =21
- Kullanıcı sayısı = 10 000
- GoS (Servis derecesi) = 0,02
- Toplam trafik = 140 Erlang
- Baz istasyonunun yerden yüksekliği ( $h_b$ ) = 30 metre
- Kullanıcının yerden yüksekliği ( $h_m$ ) = 1,5 metre
- Kullanılan frekans= 900 MHZ (Tüm uygulamalarda aynı frekans kullanılır.)

CIR (Kanal girişim oranı) farklı anten tipleri için aşağıdaki formüllerle elde edilen sonucun on tabanında logaritmasının alınması ile bulunur. Bu örnekte CIR değeri çok yönlü anten için bulunmaktadır.

Üç sektörlü anten için:

$$CIR = \frac{1}{(\sqrt{3N} + 0.7)^{-4} + (\sqrt{3N})^{-4}} \quad [7.1]$$

Çok yönlü anten için:

$$CIR = \frac{1}{2(\sqrt{3N} - 1)^{-4} + 2(\sqrt{3N})^{-4} - 2(\sqrt{3N} + 1)^{-4}} \quad [7.2]$$

Taslak hücre planlama sonuçları:

- CIR (Kanal girişim oranı) = 27,7 dB
- Taslak BTS sayısı = 8 adet
- Taslak TRU (alıcı-verici ünite) = 8 adet
- Taslak maliyet = BTS sayısı \* birim maliyet + TRU sayısı \* birim maliyet  
= 8\*100 + 8\*10 = 880 br.

- Taslak kullanıcı başına trafik değeri = 14 mE

Gerçek zamanlı kullanıcı başına trafik değerini 28 mE (Toplam trafik 280 Erlang), hatayı  $x_1$ , hata değişimini  $x_2$ , bulanık mantığın sonucunu  $u(k)$  olarak ele alalım.

Bulanık mantıkta hata, hata değişimi ve sonucun birbirleri ile ilişkisini belirleyen denklem aşağıda verilmektedir.

$$x_1(k+1) = x_1(k) + x_2(k) \quad [7.3]$$

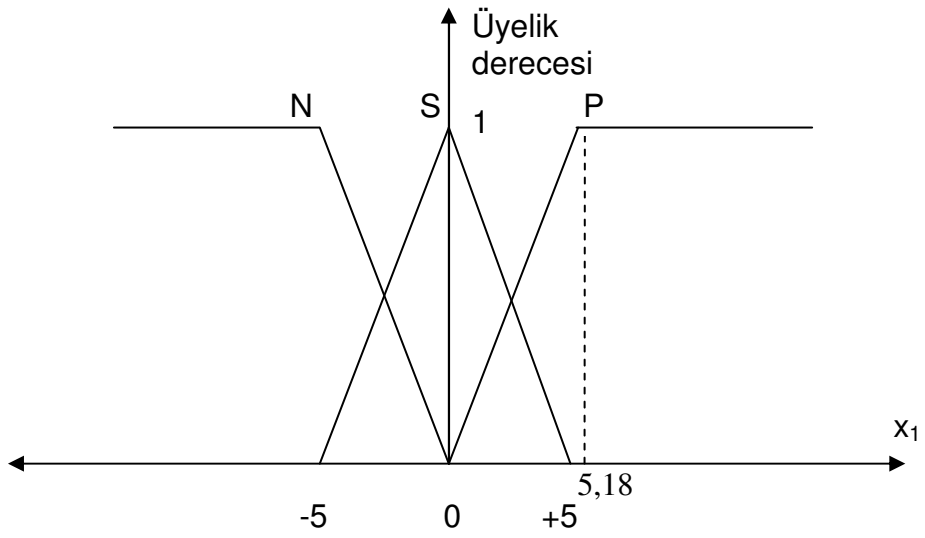
$$x_2(k+1) = x_2(k) + x_2(k) - u(k) \quad [7.4]$$

Problemde yer alan  $x_1$ ,  $x_2$  ve  $u(k)$ 'nin değişim aralıkları sırasıyla  $-5 \leq x_1 \leq +5$ ,  $10 \leq x_2 \leq +10$  ve  $-12 \leq x_2 \leq +12$  olarak alınmıştır.

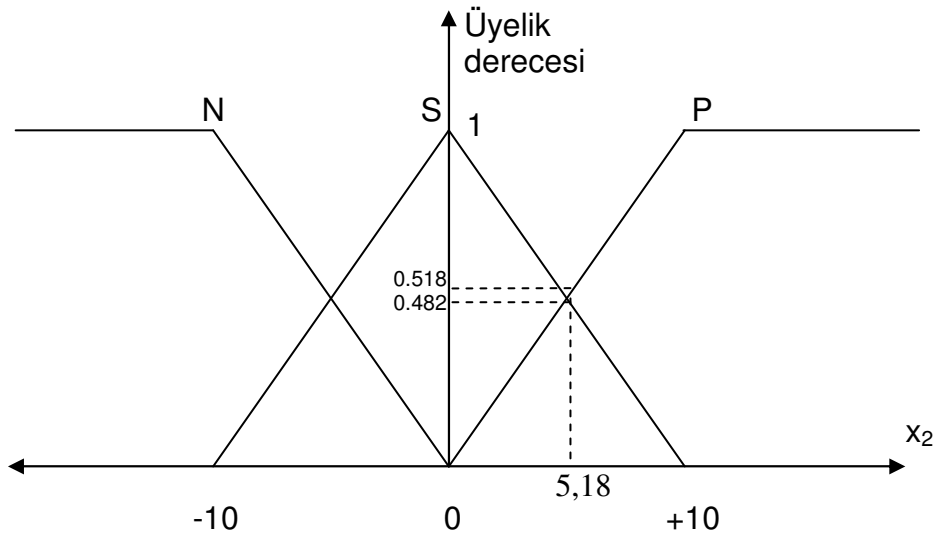
Programın başlangıcında hata ve hata değişim değerleri birbirlerine eşit alınmaktadır.

$$x_1(k) = x_2(k) = x_{taslak} - x_{gercek zamanli} = (0,014 - 0,028)^* \text{ölçeklendirme faktörü} \\ = 5,18 \text{ bulunur.}$$

İlk döngüde hata ve hata değişimi için aynı değer alınır.



Şekil 7.5. Hata için üyelik işlevi



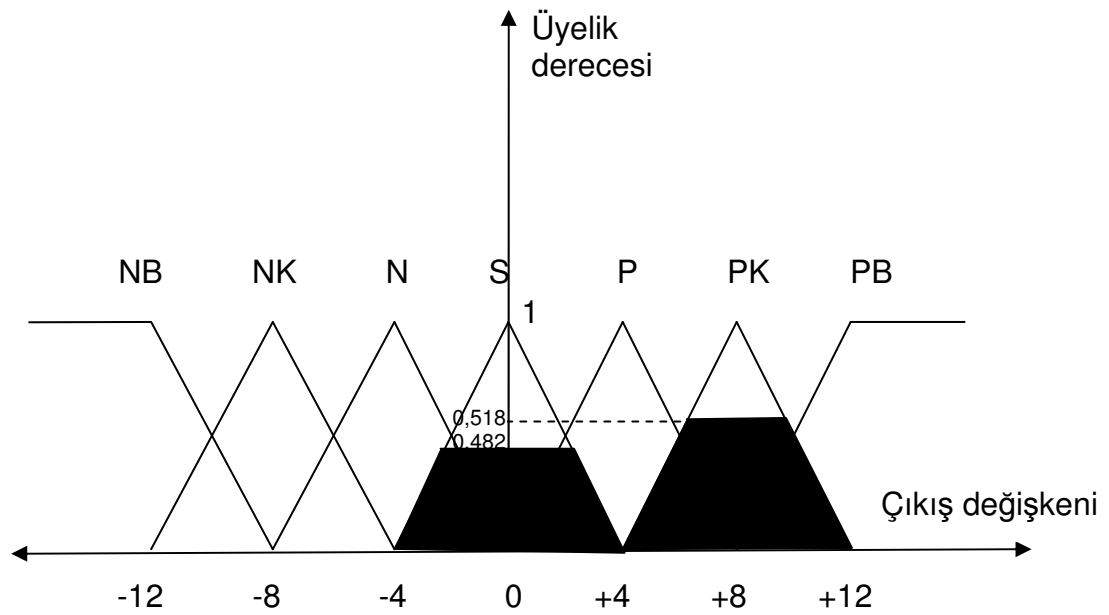
Şekil 7.6. Hata değişimi için üyelik işlevi

Çizelge 7.1. Çok yönlü anten ve kırsal alan için kural tablosu

$x_1 \setminus x_2$	P	S	N
P	PK	S	PB
S	PK	PB	PB
N	N	PK	S

EĞER ( $x_1 = P$ ) ve ( $x_2 = S$ ) O HALDE ( $u = S$ )  $\min(1, 0,482) = 0,482 * (S)$

EĞER ( $x_1 = P$ ) ve ( $x_2 = P$ ) O HALDE ( $u = PK$ )  $\min(1, 0,518) = 0,518 * (PK)$



Şekil 7.7. Çıkış değişkeni için üyelik işlevi

Bu değerler durulaştırma işlemine tabii tutulur ve  $u = 4,144$  elde edilir. Bu değer baz istasyonu sayısını optimize etmek için yeterli olmadığından algoritma Eş. 7.3, 7.4 denklemlerinden bulunan yeni hata ve hata değişim değerleri ile devam eder.

Bulanık mantık algoritmasının sonucunda hücre yarıçapı ( $u$  çıkış değişkeni) 8 km olarak bulunur.

Gerçek Zamanlı hücre planlama sonuçları:

- BTS sayısı =  $1000 \setminus (2,6 \cdot 8^2) = 6$  adet bulunur.
- TRU sayısı = 12 adet bulunur.
- Gerçek zamanlı maliyet = BTS sayısı \* birim maliyet + TRU sayısı \* birim maliyet  

$$= 6 * 100 + 12 * 10$$
- Gerçek zamanlı maliyet = 720 br.
- Yeni N (Kümede bulunan hücre sayısı) = 12 bulunur.

Baz istasyonu gücü aşağıdaki şekilde bulunur. Formüller:

$h_m$ , mobil istasyonu anten yüksekliği = 1,5 metre ( $1 \leq h_m \leq 10$  metre)

$h_b$ , baz istasyonu anten yüksekliği = 30 metre ( $30 \leq h_b \leq 200$  metre)

$f_c$ , frekans = 900 Mhz ( $150 \leq f_c \leq 1500$  Mhz)

$P_{r \min}$ , minimum alıcı hassasiyetidir ve değeri -104 dBm'dir.

$G_t$  (verici anten kazancı (dB))=10 dB

$G_r$  (alıcı anten kazancı (dB)) =1,5 dB

$L_0$  =6 dB

R, kullanıcı ile baz istasyonu arasındaki mesafe

Hata-Okumura Yayılma modeli:

$$P_{tu,tsu,tr} = P_{r \min} + L_0 + L_{u,su,r} - G_t - G_r \quad [7.5]$$

Kentsel alan için :

$$L_u = 69,55 + 26,16 \log f_c - 13,82 \log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log R \quad [7.6]$$

$$a(h_m) = (1,1 \log f_c - 0,7) h_m - 1,56 \log f_c + 0,8 \text{ ( dB )} \quad [7.7]$$

$$P_{tu} = P_{r \min} + L_0 + L_u - G_t - G_r \quad [7.8]$$

Yarı-kentsel alan için:

$$L_{su} = L_u - 2 \left[ \log \left( \frac{f_c}{28} \right) \right]^2 - 5,4 \quad [7.9]$$

$$P_{tsu} = P_{r \min} + L_0 + L_{su} - G_t - G_r \quad [7.10]$$

Kırsal alan için:

$$L_r = L_u - 4,78 (\log f_c)^2 + 18,33 \log f_c - 40,94 \quad [7.11]$$

$$P_{tr} = P_{r \min} + L_0 + L_r - G_t - G_r \quad [7.12]$$

formülleri ile bulunmaktadır. Bu çözümde kırsal alan yayılma modeli kullanılmaktadır.

Baz istasyonu gücü "bts\_guc\_bul" fonksiyonu ile bulunur. Yarıçapın 8 km. olduğu problemde kırsal alan için  $L_u = 158,214$ ,  $L_r = 129,708$  ve baz istasyonu çıkış gücü  $P_{tr} = 20,2$  dB bulunur.



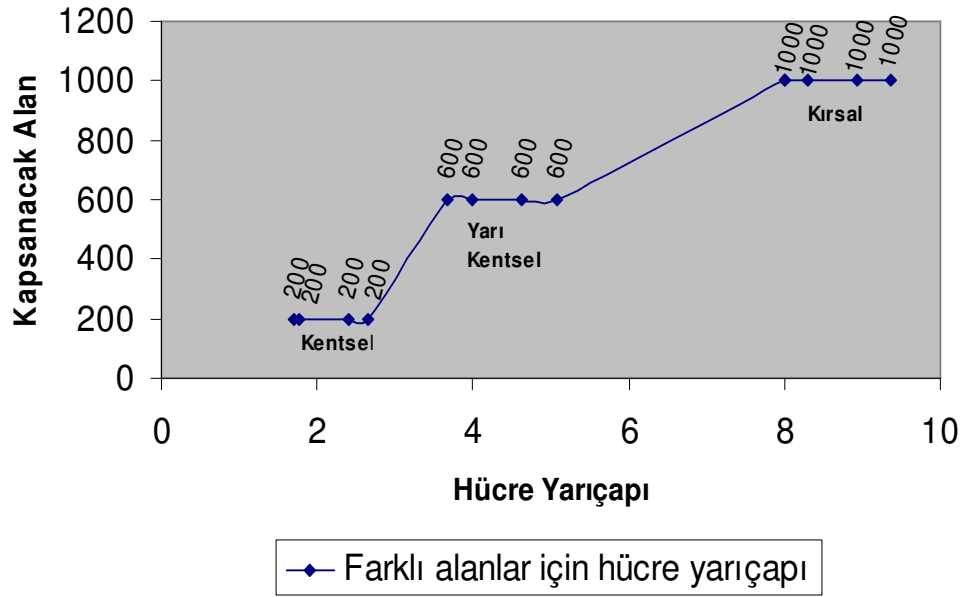




Çizelge 7.4. Gerçek zamanlı hücre planlaması sonuçları

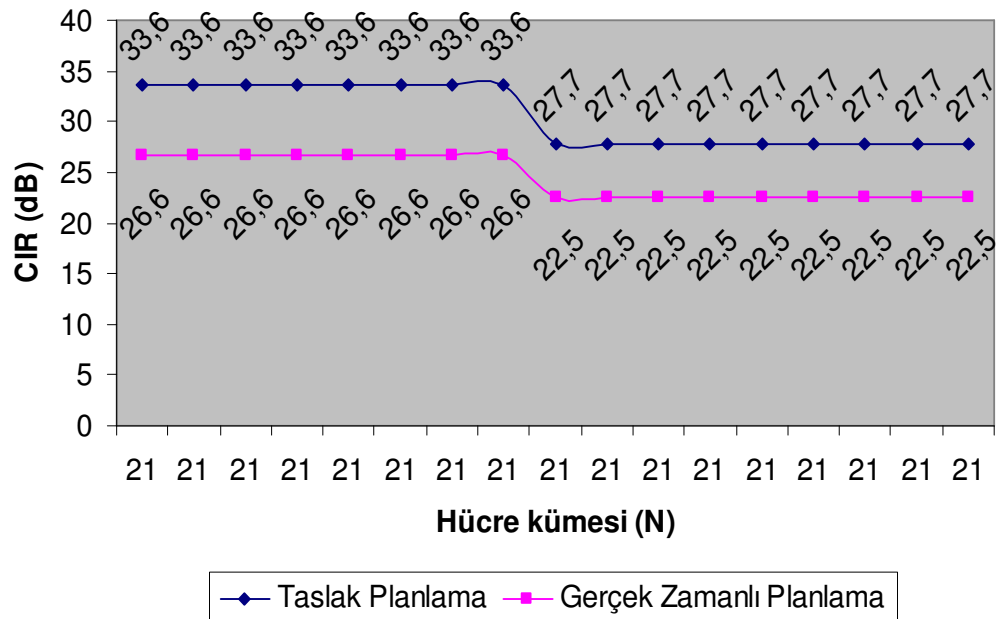
Trafik (Erlang)	Maliyet (birim)	BTS Sayısı (adet)	TRU Sayısı (adet)	N Değeri	Hücre Yarıçapı (km.)	BTS Gücü (dB)	Ds (km)	CIR (dB)
900	1170	9	27	9	1,7	16,9	8,82	26,6
800	1040	8	24	9	1,78	16,9	9,26	26,6
680	520	4	12	9	2,41	27,5	12,5	26,6
600	420	3	12	9	2,65	27,5	13,8	26,6
720	650	5	15	9	3,68	23,8	19,1	26,6
612	520	4	12	9	4	28,2	20,8	26,6
540	420	3	12	9	4,63	28,2	24,1	26,6
522	320	2	12	9	5,09	31,6	27	26,6
720	1870	17	17	12	3,68	23,8	22,1	22,5
612	1540	14	14	12	4	28,2	24	22,5
540	1320	11	22	12	4,58	28,2	27,5	22,5
522	960	8	16	12	5,12	31,6	30,7	22,5
330	720	6	12	12	8	20,2	48	22,5
280	720	6	12	12	8	20,2	48	22,5
230	600	5	10	12	8,3	20,2	49,8	22,5
210	480	4	8	12	8,94	20,2	53,6	22,5
180	480	4	8	12	9,37	20,2	56,2	22,5

Tez çalışmasında elde edilen sayısal sonuçlar kullanılarak aşağıda bulunan şekiller çizdirilmiştir. Ayrıca bu şekiller hakkında kısa açıklamalarda bulunulmuştur.



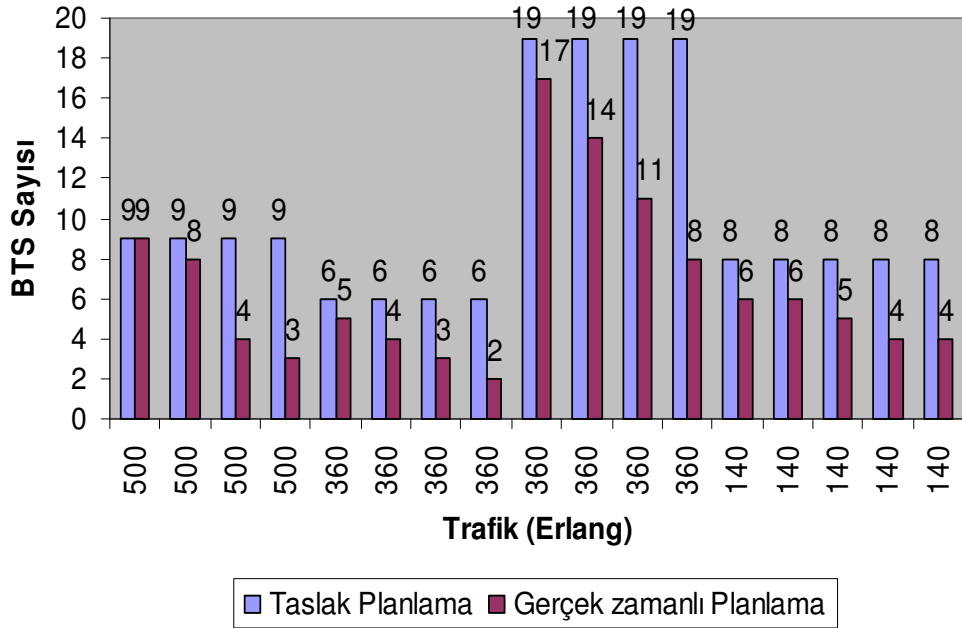
Şekil 7.8. Farklı alanlar için hücre yarıçapı

Şekil 7.8.'de görüldüğü gibi kapasite ihtiyacı yüksek ve mevcut frekansların daha sık kullanıldığı kentsel alanda hücre yarıçapı ve kapsama alanı küçük, kırsal alanda ise bu değerler daha büyüktür.



Şekil 7.9. Kanal girişim oranı

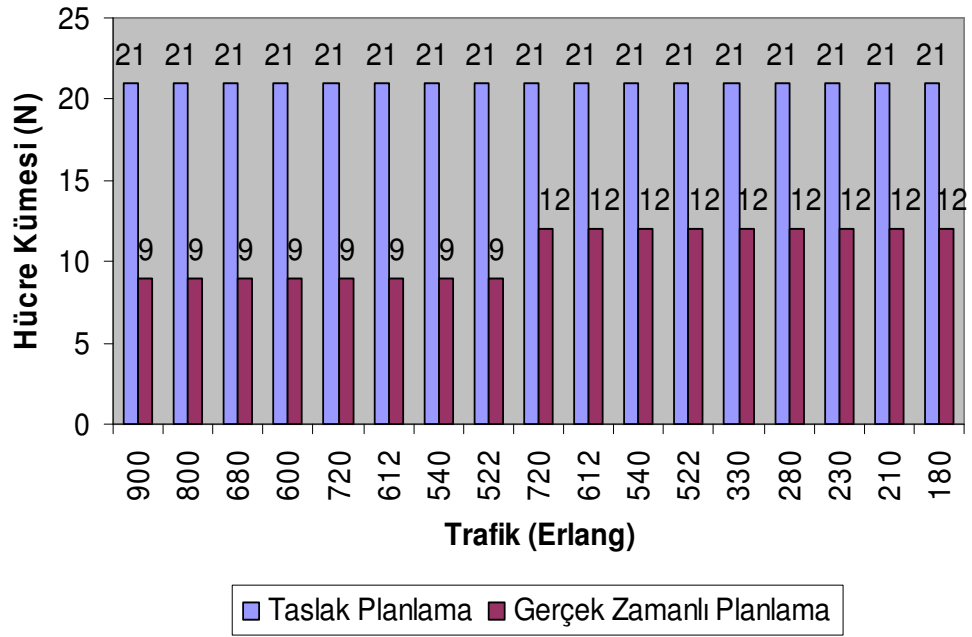
Şekil 7.9.'da görüldüğü gibi gerçek zamanlı planlamada, taslak planlamaya göre mevcut frekanslar daha sık kullanıldığından kanal girişim oranı düşmüştür.



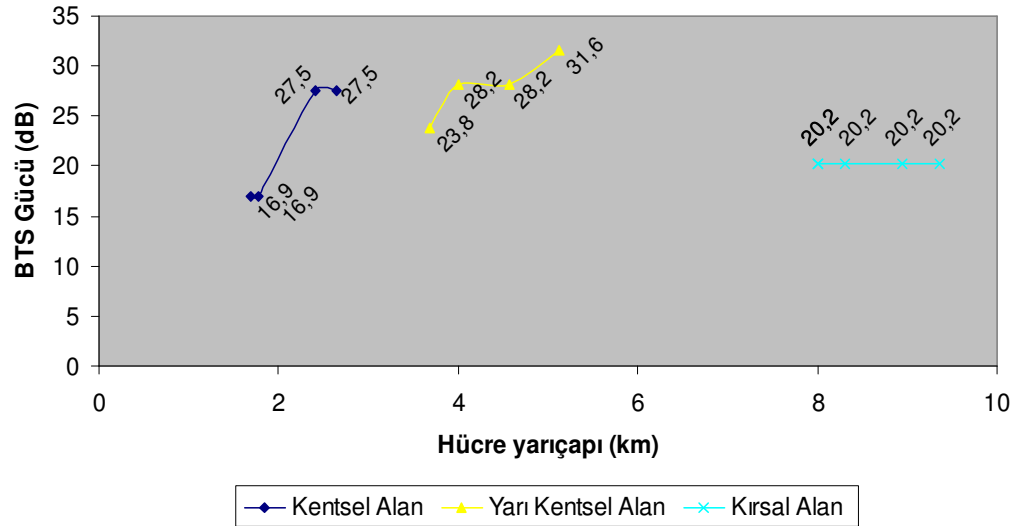
Şekil 7.10. Baz istasyonu sayısı değişimi

Şekil 7.10.'da görüldüğü gibi gerçek zamanlı planlamada bulanık mantık algoritması kullanılarak, taslak planlamaya göre baz istasyonu sayısı düşürülmüştür.

Aşağıda bulunan Şekil 7.11.'de görüldüğü gibi gerçek zamanlı planlamada, taslak planlamaya göre mevcut frekanslar daha sık kullanılmıştır.

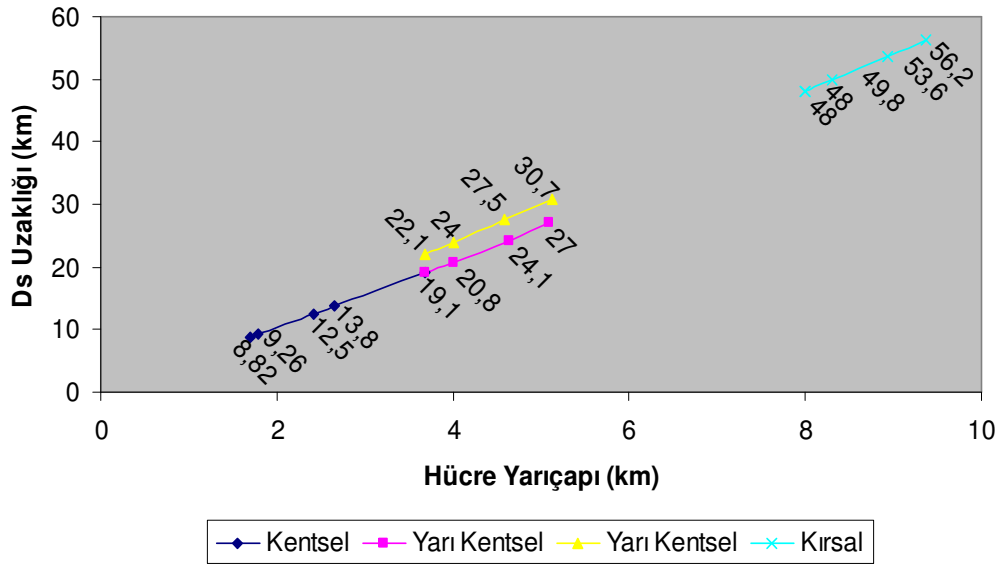


Şekil 7.11. Hücre kümesi değişimi



Şekil 7.12. Farklı alanlarda BTS gücü değişimi

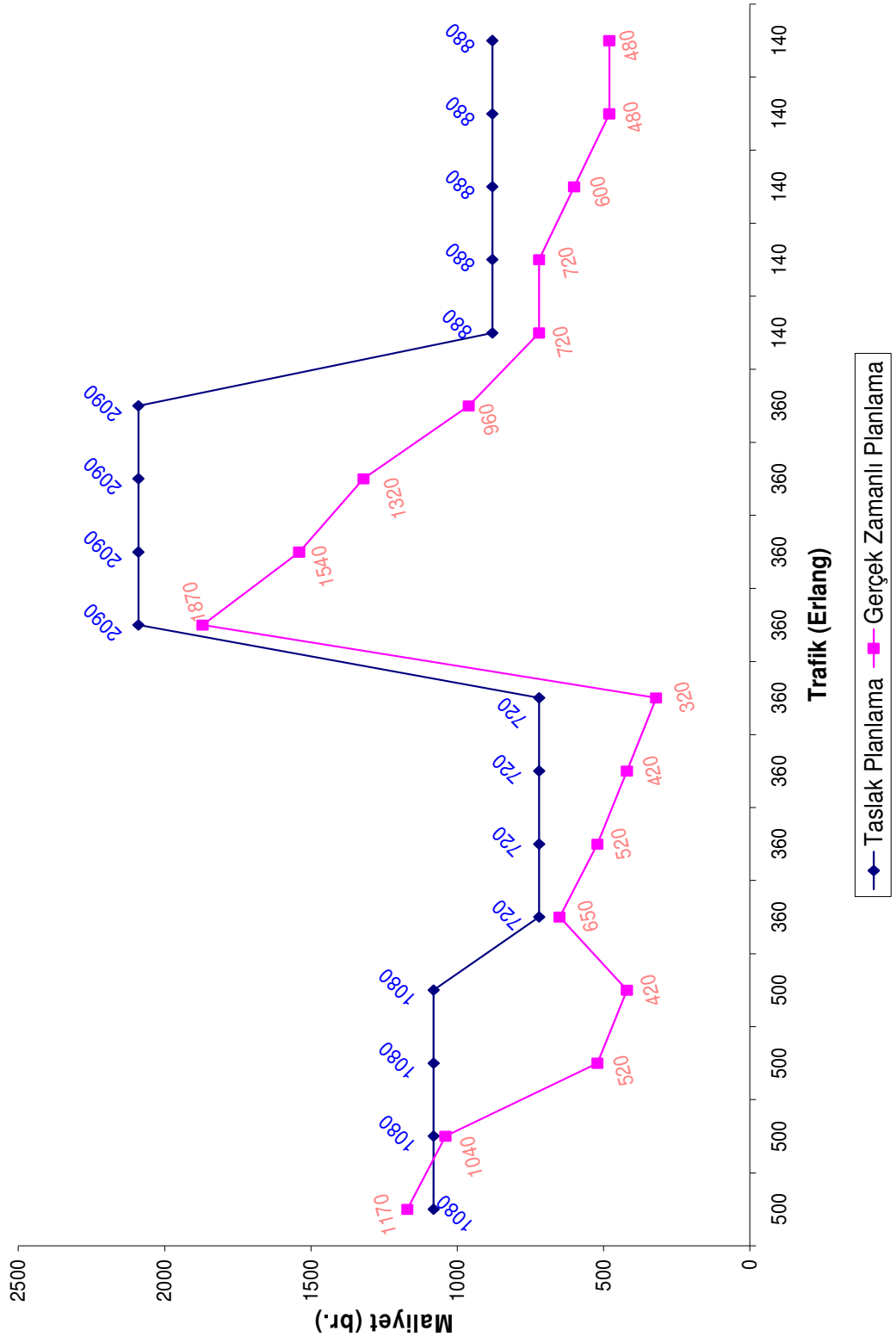
Şekil 7.12.'de görüldüğü gibi kentsel alanda hücre yarıçapı küçük ve baz istasyonu gücü yüksek, kırsal alanda ise hücre yarıçapı büyük ve baz istasyonu gücü düşüktür.



Şekil 7.13. Farklı alanlarda  $D_s$  uzaklığı değişimi

Şekil 7.13.'de görüldüğü gibi kapasite ihtiyacı fazla olan kentsel alanda, aynı frekansın eşzamanlı kullanıldığı hücre merkezleri arası uzaklık küçük, kırsal alanda ise büyüktür.

Şekil 7.14.'de görüldüğü gibi gerçek zamanlı planlamada bulanık mantık algoritması kullanılarak, taslak planlamaya göre toplam maliyet düşürülmüştür.



Şekil 7.14. Farklı alanlarda  $D_s$  uzaklığı değişimi

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, GSM sisteminde hücre planlamasının bulanık mantık algoritması ile denetimi incelenmiştir. Problem, baz istasyonu sayısını dolayısıyla maliyeti, artan trafik talebini karşılayacak sistem konfigürasyonunu, baz istasyonu gücünü optimize etmektir.

Bulanık mantık, değişkenlerin tam olarak belirlenemediği ve zaman içinde değiştiği problemleri diğer denetim algoritmalarına göre daha iyi denetler. Hücre planlamasında da toplam trafik kesin belirlenemez ve zaman içinde değişebilir. Çalışmada, iki sistem arasındaki söz konusu benzer yön çözümlenmede önemli kolaylık sağlamıştır.

Bulanık mantıkta, uzman kişinin bilgi ve deneyimleri büyük önem taşır ve problemin ilk değeri tasarımcı tarafından atanır. Bu değerler doğruluk derecesine bağlı olarak istenilen denetim sağlanır. Hücre planlamasında da trafik, N, kullanıcı sayısı vb. değerler kullanıcı tarafından atanmıştır. Söz konusu değerlerin doğruluk derecesi ile en iyi çözüm elde edilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada bulanık mantık ve hücre planlamasının benzer özellikleri programın istenilen sonuçları vermesinde etkili olmuştur. Pratikte görülen trafik değerleri ve diğer değişkenlere bağlı olarak baz istasyonu sayısı dolayısıyla maliyet optimize edilmeye, artan trafik ihtiyacı karşılanmaya, baz istasyonunun çıkış gücü elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, sistemin trafik ihtiyacını karşılayan ve minimum maliyetli sisteme ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bulanık mantığın parametreleri, deneme yanılma yöntemi haricinde bulunamadığından, söz konusu problem için uygun çözüm bulmak uzun zaman almaktadır. Bu özellik problem çözüm süresini uzatmaktadır.

İstenildiği takdirde farklı girişler için bulanık mantığın ölçeklendirme faktörü, üyelik işlevleri ve kural tablosu değiştirilerek daha etkili sonuçlar elde edilebilir. Bulanık mantığın bu özelliği, diğer denetim algoritmalarına göre daha esnek olmasını ve istenilen sonuçlar vermesini sağlamaktadır.



## KAYNAKLAR

1. Kumar, B.P., "Wireless Communication Systems Lecture Notes (1-9) " **California State University, Sacramento**, 1-9 (2005).
2. Beyaz, M., "GSM El Kitabı", **Livane yayıncılık**, İstanbul, 27-86 (2004).
3. Akçay, O., "Hücre planlamasında Hücre Yarıçaplarının ve Baz İstasyonu Güç Seviyelerinin Optimizasyonu", Yüksek Lisans, **K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 1-5 (2000).
4. Kamsız, K., "GSM Sisteminde Kapasite Artışı durumunda Tabu arama Algoritması ile Hücre Planlaması", Yüksek Lisans, **G.Ü. Fen bilimleri Enstitüsü**, 1-12 (2004).
5. Alcatel, "Radio Network Engineering for Microcellular Networks", **Alcatel Training Document, France**, 1–12 (1997).
6. Elmas, Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", **Seçkin yayıncılık**, Ankara, 86-99, 25-40 (2003).
7. Groves, Prof. Dr. I., "Fundamentals of Communications Cellular Radio Principles Lecture notes", **King's College University of London, London**, 3-20 (2003).
8. Ericsson, "GSM Cell Planning Principles", **Ericsson Radio Systems, Sweden**, 75–76 (1997).
9. Hata, M., "Emprical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", **IEEE Trans. on Vehicular Technology**, 80 (19): 317–325 (1986).
10. Hansen, F., Meno F. I., "Mobile Fading-Rayleigh and Lognormal Superimposed", **IEEE Trans. Vehicular Technology**, 77 (26): 332–337 (1992).
11. Babuska, R., "Fuzzy Modelling for Control", **Kluwer Academic Publishers**, Boston, 10–36 (1998).
12. Mamdani, E., "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Variables", **IEEE Trans. on Computers.**, 26 (1): 1182-1191 (1977).
13. Takagi, T., Sugeno, M., "Fuzzy Identification of Systems and its Applications to Modeling and Control", **IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet**, 116–132 (1985).

14. Elmas, Ö. F., "Fuzzy Logic Modelling of Induction Variation of the Switched Reluctance Motor", ***Journal of Polytechnic***, 10 (3): 1-6 (1999).
15. Zander, J., "Optimum Power Control in Cellular Radio Systems", ***Royal Instit. of Technol., Stockholm***, 1-5 (1991).
16. Lee, C. Y., Kang, H. G., "Cell Planning with Capacity Expansion in Mobile Communications: A Tabu Search Approach", ***IEEE Transactions On Vehicular Technology***, 49 (5): 1678–1691 (2000).
17. Ericsson, "GSM Cell Planning Overview", ***Ericsson Radio Systems, Sweden***, 1-6, 21-72 (2000).
18. Neskovic, A., Neskovic, N., Paunovic, G., "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment", ***IEEE Communications Surveys***, 2-12 (2000).
19. Korpeoglu, İ., "Mobile and Wireless Networking Lecture Notes", ***Computer Engineering Department Bilkent University, Ankara***, 1-8 (2005).
20. Zander, J., "Performance of Optimum Transmitter Power Control in Cellular Radio Systems", ***IEEE Trans. Veh. Technol.***, 41 (1): 57–62 (1992).
21. Zander, J., "Distributed Co-channel Interference Control in Cellular Radio Systems", ***IEEE Trans. Veh. Technol.***, 41 (1): 305–311 (1992).
22. Whitaker, R. M., Hurley, S., "Evolution of Planning for Wireless Communication Systems", ***IEEE computer society Department of Computer Science, Cardi. University, USA***, 1–10 (2002).
23. Wang, X., Long, T., Lee, H. Y., "Automated Cell Planning Based on Propagation Loss", ***Pacific Rim Conference on Multimedia***, Singapore, 2-5 (2003).
24. Kaufmann, A., Gupta, M. M., "Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications", ***Van Nostrand Reinhold***, New York, 8-16 (1991).
25. Korpeoglu, İ., "Mobile and Wireless Networking Lecture Notes", ***Computer Engineering Department Bilkent University, Ankara***, 1-8 (2005).
26. Aghvami, Prof. Dr. H., "Mobile and Personal Communications Systems", ***King's College London Department of Electronic and Electrical Engineering, London***, 3–16 (2002).

27. Kandukuri, S., Boyd, S., “Optimal Power Control in Interference-Limited Fading Wireless Channels With Outage-Probability Specifications”, ***IEEE Transactions on Wireless Communications***, 1 (1): 1–4 (2002).
28. Walfisch, J., Bertoni, H.L. “A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments”, ***IEEE Trans. On Antennas and Propagation***, 88 (36): 1788–1796 (1992).
29. Lee, W., “Mobile Communication Design Fundamentals,” ***John Wiley***, New York, 8–20 (1993).

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Burdur'da doğdu. İlkokul öğrenimini Gazi İlkokulu'nda, ortaokul öğrenimini Burdur Anadolu Lisesi'nde, lise öğreniminin ilk iki yılını Isparta Süleyman Demirel Fen Lisesi'nde, son seneyi Burdur Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladı.

2002 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 2002 yılının Eylül ayında yüksek lisans eğitimine başladı. 2003 yılında Mira Mühendislik Limited Şirketinde otomatik kontrol ve SCADA sistemleri üzerine çalıştı. 2003 yılının Kasım ayında Türk Telekom A.Ş.'de Uzman Yardımcısı olarak çalışmaya başladı. Halen aynı firmada, bahsedilen pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.