

**GSM SİSTEMİNDE KAPASİTE ARTIŞI DURUMUNDA
TABU ARAMA ALGORİTMASI İLE
HÜCRE PLANLAMASI**

Bilge Kaan KAMSIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mayıs 2004
ANKARA**

Bilge Kaan KAMSIZ tarafından hazırlanan GSM SİSTEMİNDE KAPASİTE ARTIŞI DURUMUNDA TABU ARAMA ALGORİTMASI İLE HÜCRE PLANLAMASI adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


.....
Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN

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

Başkan : Prof.Dr. Erdem YAZGAN 
Üye : Yrd. Doç. Dr. Erkan Afacan 
Üye : Y. Doç. Dr. Cem Nakiboğlu 
Üye : _____
Üye : _____

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



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	v
EKLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. GSM SİSTEMİ	3
2.1 Mobil İletişim ve Tarihçesi	3
2.2 GSM Sistemi ve Çalışma İlkeleri.....	8
2.2.1 SS	9
2.2.2 BSS.....	12
2.2.3 OSS.....	15
2.3 Bir GSM Sisteminin Çalışma Yöntemi	15
3. HÜCRE PLANLAMASI.....	19
3.1 Hücre Planlaması Süreci.....	19
3.1.1 Trafik ve kapsama analizi.....	19
3.1.2 Taslak hücre planı.....	23
3.1.3 İncelemeler ve radyo hesaplamaları	24
3.1.4 Nihai hücre planı ve sistem tasarımı	24
3.1.5 Uygulama	24

3.1.6 Sistem uyumu	24
3.2. Trafik.....	25
3.2.1. Trafik ve kanal boyutlandırması.....	25
3.2.2. Kanal Kullanımı.....	27
3.3. Taslak Hücre Planı.....	29
3.3.1. Dalgalar.....	30
3.3.2. Kanal Yükleme Planı.....	32
3.3.3. Karışma.....	34
3.4. İncelemeler.....	39
3.4.1. Radyo şebeke incelemesi.....	39
3.5. Sistem Uyumu.....	43
3.5.1. Hücre parametresi ayarlaması.....	43
3.5.2. Sistemin büyümesi.....	46
4. TABU ARAMA (TA) ALGORİTMASI.....	51
4.1. TA'nın Geçmişi.....	51
4.2. TA'nın Kaynağı ve Özellikleri.....	51
4.3. TA Algoritması.....	52
4.4. TA Algoritmasının Elemanları.....	54
4.5. Bellek Yapıları.....	56
4.6. Tabu Listesi Uzunluğu.....	56
5. MOBİL HABERLEŞMEDE KAPASİTE ARTIŞI DURUMUNDA HÜCRE PLANLAMASI.....	58
5.1. Giriş.....	58
5.2. Kapasite Artışı ve Hücre Planlaması.....	59

5.2.1. Bir baz istasyonunun kapasitesi.....	59
5.2.2. Bir baz istasyonunun potansiyel servis alanı.....	60
5.2.3. Problemin formülasyonu.....	61
5.3. Hücre Planlaması Problemi İçin TA Algoritması.....	64
5.3.1. Başlangıç baz istasyonları ve kapsama.....	65
5.3.2. Kısa-dönem bellek fonksiyonu ile yoğunlaşma stratejisi.....	66
5.3.3. TDA'ların yeniden tahsis edilmesi.....	67
5.3.4. Uzun-dönem bellek fonksiyonu ile çeşitlilik stratejisi.....	68
5.4. Programın Adımları.....	69
6. BİLGİSAYAR PROGRAMI SİMÜLASYONU VE NÜMERİK SONUÇLAR.....	78
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112

**GSM SİSTEMİNDE KAPASİTE ARTIŞI DURUMUNDA
TABU ARAMA ALGORİTMASI İLE HÜCRE PLANLAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Bilge Kaan KAMSIZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2004**

ÖZET

Bu çalışmada kablosuz haberleşmede trafik kapasitesi artışı durumunda hücre planlaması problemi incelenmiştir. Problem, artan trafik talebini karşılayacak her yeni baz istasyonunun yerleşiminin ve kapasitesinin tespit edilmesidir. Amaç, yeni baz istasyonlarının maliyetini minimize etmektir. Hücre planlaması, bir tamsayı doğrusal programlama problemi olarak formüle edilmiş ve tabu arama algoritması ile çözülmüştür. Artan trafik talebini karşılamak için minimum maliyete sahip baz istasyonlarının seçilmesini amaç edinen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. GSM sistemine genel bir bakış yapılmış ve bu sistemi oluşturan birimler kısaca açıklanmıştır. Hücre planlama işlemi tüm adımları ile incelenmiş, yeterli kapsamanın sağlanması ve karışmadan kaçınılması için her hücresel şebekenin gereksinimi olan aktivitelere ilişkin teorik bilgilere yer verilmiştir.

Bilim Kodu : 0607
Anahtar Kelimeler : kapasite, maliyet, tabu arama, baz istasyonu
Sayfa Adedi : 104
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN

**CELL PLANNING WITH CAPACITY EXPANSION IN MOBILE
COMMUNICATIONS BY USING TABU SEARCH APPROACH**

(M.Sc. Thesis)

Bilge Kaan KAMSIZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

May 2004

ABSTRACT

Cell planning problem with capacity expansion is examined in wireless communications. The problem is to decide the location and capacity of each new base station to cover increased traffic demand. The objective is to minimize the cost of new base stations. The cell planning is formulated as an integer linear programming problem and solved by a tabu search algorithm. A computer program that aims at choosing the base stations to cover increased traffic demand with minimum cost is developed. An overview of the GSM system is given and the units that constitute the GSM system is explained briefly. Cell planning process is examined in all steps, theoretical expressions related to the activities that every network needs in order to ensure enough coverage and to avoid interference are presented.

Science Code : 0607
Key Words : capacity, cost, tabu search, base station
Page Number : 104
Adviser : Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd.Doç.Dr. Erkan AFACAN'a, programlama konusundaki derin bilgisini benimle paylaşan Elektrik-Elektronik Mühendisi Tolga ÇİT'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Elektrik-Elektronik Mühendisi Murat YILMAZ'a ve Elektrik-Elektronik Mühendisi Bülent KARAKUŞ'a, tez sunumunun hazırlanması aşamasında çok emeği olan Doktor Deniz YÜCE'ye, yüksek lisans eğitimim süresince zaman konusunda bana anlayış gösteren değerli yöneticilerim Işıl ÖZTÜRK YALÇIN ve Oğuz PARDÜN'e, manevi desteği ile beni hiç bir zaman yalnız bırakmayan emekli Öğretmen, annem Mediha KAMSIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

İyi ki varsınız. Desteğinizi, yardımlarınızı ve hoşgörünüzü ömür boyu unutmayacağım.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Farklı GSM şebekeleri için frekans bantları.....	8
Çizelge 3.1. 43 kanal için önerilen trafiği GoS'un fonksiyonu olarak veren B-tablosu dilimi.....	27
Çizelge 3.2. Trafiği GoS (sütun) ve trafik kanalı sayısı (satır) cinsinden veren Erlang'ın B-tablosu.....	28
Çizelge 3.3. Belirli miktardaki trafiğin birçok hücre üzerinden dağıtılması....	29
Çizelge 3.4. Frekans spektrum bantları.....	32



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. GSM Sistem Modeli.....	9
Şekil 2.2. Anahtarlama Sistemi.....	9
Şekil 2.3. MSC.....	10
Şekil 2.4. BSS.....	13
Şekil 2.5. BTS.....	14
Şekil 2.6. MS.....	15
Şekil 3.1. Hücre planlaması adımları.....	19
Şekil 3.2. Taslak hücre planı.....	30
Şekil 3.3. Bir elektromanyetik dalga.....	31
Şekil 3.4. 24 taşıyıcılı bir hücre tarafından hizmet verilen alan.....	33
Şekil 3.5. Her biri 24 taşıyıcı kullanan 4 hücre kümesine ayrılmış alan.....	33
Şekil 3.6. Ortak kanal karışması	36
Şekil 3.7. Komşu kanal karışması.....	37
Şekil 3.8. 4/12 yeniden kullanım modeli.....	38
Şekil 3.9. 3/9 yeniden kullanım modeli.....	38
Şekil 3.10. Hücre bölme faz 0.....	48
Şekil 3.11. Hücre bölme faz 1.....	48
Şekil 3.12. Hücre bölme 1:3 (faz 2).....	49
Şekil 3.13. Hücre bölme 1:4 (faz 2).....	49
Şekil 5.1. Hücre planlaması için önerilen tabu arama algoritması.....	69

EKLERİN LİSTESİ

Ek	Sayfa
Ek -1. Kablosuz Haberleşme Standartları.....	109
Ek -2. dB ve dBm.....	111
Ek -3. "Mobil İletişim" http://proje.bitek-o.org/biteko2002/GB1EA7NVVL/mobililetisim.doc .CD	
Ek -4. "Teknolojiler" http://www.ericsson.com.tr/technology/CD	
Ek -5. "The Impact of Radio Propagation Predictions on Urban UMTS Planning" http://www.wavecall.com/papers/UMTS_propagation_impact_v41.pdfCD	
Ek -6. "Radio Resource Management in Cellular Networks" http://www.s3.kth.se/radio/COURSES/KB_4D1114_2002/kbf.pdfCD	
Ek -7. "Gsm Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Işınım Ölçümü" http://ehsam.kou.edu.tr/ol_yontem.htmCD	
Ek -8. "GSM Sistemi ve Çalışma Prensipleri 1" http://www.antrak.org.tr/gazete/072000/ayzen.htmCD	
Ek -9. "Wireless Technology Evaluation: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)" http://www.dis.anl.gov/is/wireless_ofdm.htmCD	
Ek -10. "Amatör Telsizcilik Sınav Soruları" http://www.ta7v.com/sinavsoru.aspCD	
Ek -11. "Frequency Hopping on GSM Networks" http://www.arcx.com/sites/FrequencyHopping.htmCD	
Ek -12. "GSM to UMTS Voice Capacity" http://www.3gamericas.org/PDFs/Webcast/PeterRysavy.pdfCD	
Ek -13. "Comparison of Propagation Models for Small Urban Cells in GSM 900 and 1800" http://www.co.it.pt/conftele2001/proc/pap112.pdfCD	
Ek -14. "Resource Planning in Current and Future Mobile Communications" http://www.sis.pitt.edu/~prashant/inf3965/pres_09_26_1.pdfCD	

- Ek -15. "Cellular Mobile Systems"
<http://www.ctr.kcl.ac.uk/lectures/fatin/Mobile/part1.pdf>CD
- Ek -16. "Tabu Search"
<http://www.cs.sandia.gov/opt/survey/ts.html>CD
- Ek -17. "Tabu Search"
<http://www.idsia.ch/~monaldo/tabusearch.html>CD
- Ek -18. "What is Tabu Search"
[http://www.tabusearch.net/Tabu_Search/What is Tabu search.ASP](http://www.tabusearch.net/Tabu_Search/What_is_Tabu_search.ASP)
CD
- Ek -19. "Rapid-Extension Communications System, Configuration Two:
 Satellite Link with Community Extensions"
<http://www.cgnet.com/about/casestudies/rssatlink2.htm>CD
- Ek -20. "3G Mobil Telekomünikasyon Sistemleri ve Türkiye'de UMTS
 Lisanslarının Yeri"
<http://dergi.emo.org.tr/altindex.php?sayi=416&yazi=68>CD
- Ek -21. "802.11™ Working Group for Wireless Local Area Networks"
<http://standards.ieee.org/wireless/overview.html#802.11>CD
- Ek -22. "Recommendations, Switching and Signalling"
<http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=products&lang=e&parent=T-REC-Q>CD
- Ek -23. "Desibel, dBm, Watt, Volt İlişkileri"
<http://www.antrak.org.tr/gazete/111999/ertugrul.htm>CD

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

λ

Dalgaboyu (metre/devir)

f

Frekans (devir/saniye) (hertz)

c

Işık hızı ($3 \cdot 10^8$ metre/saniye)

Kısaltmalar

Açıklama

AG

Alçak Gerilim

AMPS

Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti (Advanced Mobile Phone Service)

ANSI

Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü (American National Standards Institute)

ARFCN

Mutlak Radyo Frekans Kanal Numarası (Absolute Radio Freq. Channel Number)

ARIB

Telsiz Endüstrisi ve Ticaret Birliği (Association of Radio Industries and Business)

AUC

Gerçek Tanımlama Merkezi (Authentication Center)

BCCH

Radyo Yayını Kontrol Kanalı (Broadcast Control Channel)

BSC

Baz İstasyonu Kontrol Ünitesi (Base Station Controller)

BSS

Ana İstasyon Sistemi (Base Station System)

BTS

Baz İstasyonu (Base Transceiver Station)

C	Taşıyıcı (Carrier)
CCSA	Çin Haberleşme Standartları Kurumu (China Communications Standards Association)
CDMA	Kod Bölümü Çoklu Erişim (Common Division Multiple Access)
DCS	Dijital Hücresel Sistem (Digital Cellular System)
DL	Aşağı Yönde Bağlantı (Down-Link)
DTI	Veri İletim Arayüzü (Data Transmission Interface)
DTX	Süreksiz İletişim (Discontinuous Transmission)
E	Erlang
EDGE	GSM Gelişimi İçin Geliştirilmiş Veri Hızı (Enhanced Data rates for Global Evolution)
EIR	Cihaz Kimlik Kaydedicisi (Equipment Identity Register)
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü (European Telecommunications Standards Institute)
FA	Frekans Tahsisi (Frequency Assign)
FDMA	Frekans Paylaşımlı Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access)
GMSC	Bağlantı Geçiş Merkezi (Gateway MSC)
GoS	Servisin Derecesi (Grade of Services)
GSM	Mobil Haberleşme Evrensel Sistemi (Global System for Mobile Communication)
GPRS	Genel Paket Radyo Servisi (General Packet Radio Service)
HDSL	Yüksek Bit Oranlı Dijital Abone Hattı (High Bit Digital Subscriber Line)

HLR	Dahili Yerleşim Kaydedicisi (Home Location Register)
HO	Bölgeler Arası Kesintisiz Geçiş (Handover)
HR	Yarı-oran (Half-rate)
I	Karışan (Interferer)
ID	Tanım (Identity)
IEEE	Elektrik-Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ILR	Şebekeler Arası Yerleşim Kaydedicisi (Interworking Location Register)
IN	Akıllı Şebeke (Intelligent Network)
IP	İnternet Protokolü (Internet Protocol)
ISDN	Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi (Integrated Services Digital Network)
ITU	Uluslararası Telekomünikasyon Örgütü (International Telecommunications Union)
KBPS	Kbit/s (Kilo Bit Per Second)
LA	Yerleşim Alanı (Location Area)
LOS	Direkt Görüş Hattı (Line Of Sight)
MBPS	Mbit/s (Mega Bit Per Second)
ML	Geniş Bant Erişim Sistemi (Mini Link)
MS	Mobil İstasyon (Mobile Station)
MSC	Mobil Anahtarlama Merkezi (Mobile Switching System)
OG	Orta Gerilim
OSS	Operasyon ve Destek Sistemi (Operation and Support System)
PAGCH	Çağrı ve Erişim Onay Kanalı (Paging And Access Grant Channel)
PC	Kişisel Bilgisayar (Personal Computer)

PLMN	Genel Yer Mobil Şebekesi (Public Land Mobile Network)
PSTN	Devre Anahtarlama Telefon Şebekesi (Public Switch Telephone Network)
RACH	Rastgele Erişimli Kanal (Random Access Channel)
RNI	Radyo Şebeke Araştırması (Radio Network Investigation)
SDCCH	Tek Başına Çalışan Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı (Stand-alone Dedicated Control Channel)
SMS-GMSC	Kısa Mesaj Servisi - Bağlantı Geçiş Merkezi (Short Message Service - Gateway MSC)
SMS-IWMSC	Kısa Mesaj Servisi – Şebeke İçi Geçiş Merkezi (Short Message Service - Interworking MSC)
SNR	Sinyal Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio)
SS	Anahtarlama Sistemi (Switching System)
TA	Tabu Arama
TCH	Konuşma Kanalı (Traffic Channel)
TDA	Servis Alanı (Traffic Demand Area)
TDMA	Zaman Paylaşımli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access)
TRT	Türkiye Radyo ve Televizyon Kurumu
TRU	Alıcı-Verici Ünitesi (Transceiver Unit)
TS	Zaman Dilimi (Time Slot)
UHF	Ultra Yüksek Frekans (Ultra High Frequency)
UL	Yukarı Yönde Bağlantı (Up-Link)

UMTS	Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi (Universal Mobile Telecommunications System)
VLR	Ziyaretçi Yerleşim Kaydedicisi (Visitor Location Register)
WAP	Kablosuz Uygulama Protokolü (Wireless Application Protocol)
WCDMA	Geniş Bant Kod Bölümü Çoklu Erişim (Wideband Code Division Multiple Access)



1. GİRİŞ

Bu çalışma, GSM sisteminde meydana gelebilecek abone ve dolayısı ile trafik talebi artışı durumunda artan trafik talebini karşılayacak her yeni baz istasyonunun yerleşimini ve kapasitesini tespit etmeyi amaç edinmektedir. Esasında çalışmanın amacı, yeni baz istasyonlarının maliyetini minimize etmektir. Hücre planlaması, bir tamsayı doğrusal programlama problemi olarak formüle edilmiş ve bir TA algoritması ile çözülmüştür. Söz konusu algoritma için bir bilgisayar programı geliştirilerek, programda, artan trafik talebini karşılamak üzere mümkün olan en düşük maliyete sahip baz istasyonlarının seçilerek sisteme dahil edilmesi amaç edinilmiştir (1).

Klasik optimizasyon yöntemleri, gerçek dünyada çok sayıda bulunan zor problemlerin çözümü ile karşılaştıklarında büyük zorluklar yaşarlar. TA, klasik tasarımlardan farklı bir yöntemle problem çözme kabiliyetini değiştirmekte ve pratik olarak da önemli bir konuma gelmektedir. TA algoritması, geçmişte kullanılan ve işlemlerini bir örnek üzerine gerçekleştiren belleksiz yöntemlerden (benzetimli tavlama ve genetik algoritma gibi) farklı olarak belleğe dayalı çalışma prensibine sahiptir. Burada bahsedilen, TA algoritmasının bellek özelliği, çözüm uzayını ekonomik ve efektif bir şekilde araştırabilecek işlemlerin gerçekleştirilmesine imkan tanır.

Çalışma içerisinde mobil iletişimin tanımı yapılmış ve kısaca tarihçesine değinilmiştir. GSM sisteminin temel yapısı ve birimlerinden bahsedilmiş, çalışma prensibine değinilmiş ve hücre planlaması algoritmasının adımları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Verilen teorik bilgilerin yanısıra özellikle pratik bilgiler verilmesine de dikkat edilmiş, hücre planlaması işlemi aşamalarının günlük hayattaki uygulamalarına da değinilmiştir.

TA algoritması ayrıntılı olarak incelenmiş, bu algoritmanın diğer, klasik optimizasyon yöntemlerine üstünlüğünden bahsedilmiş ve söz konusu TA algoritması kullanılarak problemin çözümü sağlanmıştır.

Program, Osmaniye iline ait verilerle çalıştırılmış, söz konusu problemin çözümü bu il için gerçekleştirilmiştir. İl için öncelikle başlangıç çözümü oluşturulmuş, daha sonra, bu çözümde elde edilen sistem maliyetinin, TA algoritması esasına dayanarak geliştirilen programın kullanılması ile, azaltılması üzerinde durulmuştur.



2. GSM SİSTEMİ

2.1. Mobil İletişim ve Tarihçesi

Mobil iletişim, mekana bağlı kalmadan, kablosuz, radyo frekansları üzerinden iletişim sağlayan bir haberleşme biçimidir.

GSM sistemi, dünya genelinde ilk olarak Finlandiya'da kullanılmaya başlanmıştır. Finlandiya, gerek coğrafi yapısı, gerekse hava şartları ve yerleşimin oldukça dağınık olması sebebiyle, insanları kablolu iletişime alternatif bir sistem olan mobil sistem üzerinde çalışmalar yapmaya teşvik etmiş ve ilk olarak 1982 yılında sistem üzerinde deneyler yapılmaya başlanmıştır.

Mobil iletişim sistemi standardının ilk aşaması 1991 yılında tamamlanmış ve bu yılın sonunda ilk mobil haberleşme sistemi Cenevre'de kurulmuştur (2).

Başlangıçtaki amaç telefon hizmeti vermek ve bunun yanında düşük hızlı veri iletimi sağlamaktır. Mobil haberleşme sistemi Avrupa ülkeleri tarafından başlangıçta sadece Avrupa'da kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak daha sonra tüm dünyada oldukça büyük kabul görmüş ve başlangıçtaki hedefi aşarak Amerika, Asya, Avustralya'ya uzanan yaygın bir kullanım alanı bulmuştur.

Özellikle gelişmiş ülkelerde mobil telefona olan talep her geçen gün arttığından mobil haberleşme standartlarının daha iyi servis kalitesi, daha geniş kapasite ve akıllı servisler sağlayacak biçimde yenilenmesi ve geliştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır.

1991 yılı sonunda Avrupa'da kullanılmak üzere geliştirilmiş olan ilk GSM 900 sistemi, dijital iletişim teknolojisiyle çalışan, uluslararası sayısal, hücrel mobil haberleşme sistemidir. Mobil haberleşme sistemlerinden birisi olan

GSM 900, kullanıcılarına daha güvenli ve kaliteli bir iletişim hizmeti sunmakla kalmamakta, GSM kapsama alanı içerisinde bulunan herkese dünyanın herhangi bir yerinden mobil ya da sabit olan bir telefonu arayabilme ya da aranabilme olanağı sağlamaktadır.

Çok kısa bir zaman dilimi içerisinde mobil telefonlara olan talep her geçen gün daha da arttığından GSM 900 sisteminin ihtiyaca cevap vermede yetersiz kalması sebebiyle 1993 yılında ilk DCS 1800 sistemi işletilmeye başlamıştır. Bu iki sistemin kullanıldığı teknoloji birbirine benzediğinden dolayı 1997 yılından itibaren DCS 1800 sistemi GSM 1800 olarak adlandırılmaktadır.

Mobil haberleşmeye ilişkin son şebeke teknolojileri ve söz konusu şebekelerde verilen servislere ilişkin bazı kavramlar ise şunlardır (3):

Mavidiş:

Mavidiş, insan-makine ve makine-makine bilgi alışverişinde, kablo iletişimini ortadan kaldırarak basitleştirmeyi hedefleyen bir iletişim standardıdır. Mavidiş, kablo yerine kısa dalga radyo sinyallerini kullanarak birbirinden ayrı olarak çalışan cihazlar arasında bilgi senkronizasyonunu sağlar. Mavidiş teknolojisi sayesinde etrafımızda gördüğümüz bütün iletişim cihazları arasında kablosuz olarak iletişim gerçekleşir. Mavidiş sayesinde günümüzde kullandığımız ve birbirinden ayrı olarak çalışan masaüstü veya taşınabilir PC, avuçiçi bilgisayar (PDA), cep telefonu, fotoğraf makinesi ve video kamera gibi çeşitli cihazlar, belirli bir frekans üzerinden (2,45 GHz) birbiriyle kablosuz haberleştirilerek belli bir kapsama alanı dahilinde senkronize olarak çalışırlar.

WAP:

WAP, kullanıcılarının cep telefonları ve diğer mobil haberleşme cihazları ile internete erişebilmelerini sağlayan bir standarttır. Kullanıcıların, ayrı bir diz

üstü bilgisayar kullanmalarına gerek kalmadan, sadece mobil cihazları kullanarak, mobil internet ve başka veri servislerine kolaylıkla ulaşmalarını sağlar. WAP, bunu içine yerleştirilmiş olan WAP mikro-tarayıcı aracılığı ile gerçekleştirir. WAP mikro-tarayıcının özellikleri internete bağlanabilen herhangi bir PC'de bulunan web tarayıcısının özelliklerinden farksızdır; bilgiye ulaşımı doğrudan telefon aracılığı ile gerçekleştirir. Tıpkı web tarayıcılarının bilgisayarın web'e ulaşmasını sağladığı gibi, bilgiye doğrudan telefon ile ulaşımı, WAP mikro-tarayıcı gerçekleştirir.

GPRS:

GPRS, verilerin mevcut GSM şebekeleri üzerinden saniyede 28,8 ilâ 115 kbps hızlarda iletilebilmesine imkân veren, cep telefonu ve mobil cihaz kullanıcılarına kesintisiz internet bağlantısı sunan paket tabanlı bir mobil iletişim servsidir. GSM ağlarının normal şartlar altında sunduğu 9,6 kbps'lik iletim hızıyla karşılaştırıldığında bu değerler 3 ilâ 12 kat arasında değişen bir performans artışını ifade etmektedir. GPRS platformu aynı zamanda WAP tabanlı servisler için de ideal bir taşıyıcıdır.

GPRS ve EDGE, ikinci nesil (2G) şebekelere sahip operatörlerin mevcut şebeke frekansı aralığı ve şebeke altyapıları üzerinden, üçüncü nesil (3G) hizmetlere geçiş yapabilmelerini sağlayan teknolojilerdir. Bu da operatörlerin, örneğin UMTS'de olduğu gibi daha yüksek frekans bantlarına ihtiyaçları olmayacağı anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, oldukça kolay donanım ve yazılım yatırımlarıyla mevcut sistemler üzerinden çalışabilirler. Mevcut 900, 1800 ve 1900 frekans aralıklarında hizmet veren bir operatörün ilk atacağı adım GPRS'i uygulamak olacaktır. GPRS, şebeke üzerinde paket bazlı IP haberleşmesini kullanıma sunar. GPRS hızlı bir şekilde kullanıcı bant genişliğini arttırarak, paket bazlı yapısı sayesinde kullanıcıların sürekli olarak internete bağlı bulunmalarını sağlar. Kullanıcıların, internete bağlı durumdayken veri alıp göndermedikleri sürece herhangi bir ücret ödemeleri de gerekmemektedir. Bir sonraki adım, şebekenin radyo kısmını

güçlendirecek olan 384 kbps'ye kadar üçüncü nesil servisleri destekleyen EDGE'yi uygulamaya sokmaktır.

EDGE:

EDGE sunmuş olduğu yeni modülasyon tekniği ve radyo protokollerindeki gelişmelerle birlikte operatörlerin sahip oldukları olan 900, 1800 ve 1900 frekans aralığını daha etkili kullanmalarını sağlayan bir teknolojidir. EDGE, 384 kbps'ye ve daha fazlasına kadar veri haberleşmesi, multimedya servisleri ve uygulamalarını desteklemektedir.

WCDMA:

Günümüzde var olan radyo tekniklerinden çok daha hızlı, 2 Mbps'ye kadar ulaşan veri alım/gönderim hızı ile daha verimli radyo frekans aralığı kullanımı sunan geniş bantlı radyo tekniğidir. WCDMA'nin sunduğu daha geniş bant aralığı, üçüncü neslin (3G) tüm gücünün ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Örneğin; WCDMA, birden fazla ses, görüntü ve veri servislerine aynı anda ulaşımı sağlar.

UMTS:

UMTS, Avrupa'da 3G teknolojisi olarak kullanılması planlanan ve temel telsiz erişim tekniği olarak WCDMA kullanan üçüncü nesil mobil haberleşme sistemine verilen genel isimdir. UMTS, günümüz ikinci nesil sistemleri izleyecek ve sadece Avrupa içinde değil, dünya çapında dolaşım serbestisi sağlayacak bir sistem olarak tanımlanmaktadır (4). UMTS, diğer bir deyişle, her yerden teorik olarak 2 Mbps hızında internete bağlanma imkanına sahip olunmasıdır. Sistem 2 Mbps hıza çıkabilecek olduğundan, WAP veya GPRS ile kıyaslandığında getirisinin çok fazla olduğu görülmektedir.

UMTS 3 farklı kullanıcı hızı alanına bölünmüştür: pikozone (2 Mbps), mikrozone (384 kbps) ve makrozone (144 kbps). Burada sözü edilen kullanıcı hızı gerçekten kullanıcının o anki hızıdır. 2 Mbps hıza ulaşmak isteyenler saatte 10 km'den daha hızlı hareket etmemelidir. Eğer kullanıcı 500 km hızla gidiyorsa alan otomatik olarak makrozone'a düşmekte ve iletişim hızı da böylece 144 kbps'ye inmektedir. Böyle olduğunda, GPRS karşısında bu kadar yüksek yatırımlar yapmış olmanın hiç bir anlamı kalmamaktadır.

UMTS de aynen GPRS gibi bağlı kalınan süreyi değil, transfer edilen (gönderilen ve alınan) veriyi ücretlendirmektedir.

Mobil iletişim altyapısı olarak GSM sistemini kullanan ülke ve operatörlerin 3G hizmetlerini sunmak için geçiş yapacakları teknoloji WCDMA'dır. WCDMA standardı aynı zamanda UMTS'nin bir parçasıdır ve neredeyse UMTS ile eş anlamlı hale gelmiştir.

3G (Üçüncü Nesil Mobil Telefon Sistemleri):

Mobil teknoloji insan yaşamını bir çok farklı yönden etkilemekte ve hayatın vazgeçilmez bir parçası olmaktadır. Multi-medya alımı ve gönderiminden makineler arası haberleşmeye kadar bir çok mobil hizmetten yararlanabilmek için 3G bir katalizör görevi görmektedir. Ayrıca, bir çok gelişmiş hizmete istenilen noktadan ve istenilen zamanda ulaşılmasına fırsat verecektir. Böylelikle, kablolarla sınırlanmış bir dünyadan, sabit bağlantı noktalarından ve düşük bağlantı hızlarından kurtulma imkanı doğacaktır. 3G, yüksek hızlı radyo erişimi ve IP-bazlı servisleri bir araya getirmektedir. IP teknolojisi için bu alanda büyük bir adım atılmıştır, çünkü IP paket bazlıdır ve böylelikle kullanıcılar sürekli olarak internete bağlı kalabilmektedirler. Kullanıcıların, veri alıp göndermedikleri sürece herhangi bir ücret ödemeleri de gerekmemektedir. Ayrıca, IP'nin çevirmeli ağ bağlantısına ihtiyaç duymaması, internete erişimi çok daha hızlı ve kolay bir hale getirmektedir; bu sayede birkaç saniye içerisinde internetten dosya indirmek ve bir çalışanın

tek bir tıkla şirketinin bilgisayar ağına bağlanması mümkün olmaktadır. 3G, 2 Mbps'ye kadar ulaşabilen erişim hızlarıyla çalışan geniş bantlı radyo haberleşmesi sunmaktadır. Günümüzün mobil şebekeleriyle karşılaştırıldığında, 3G, şebeke kapasitesinde büyük bir artış sağlamaktadır. Böylelikle operatörler, daha fazla sayıda aboneye çok daha gelişmiş servisler sunabileceklerdir.

2.2. GSM Sistemi ve Çalışma İlkeleri

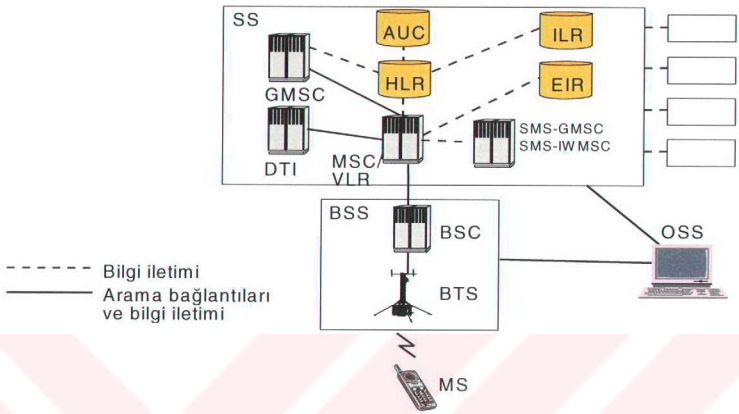
GSM 900, GSM 1800 ve GSM 1900 sistemleri için farklı frekans bantları kullanılmaktadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Farklı GSM şebekeleri için frekans bantları

Şebeke türü	Frekans Bandı (UL / DL)
GSM 900	880(890)-915 / (925)935-960 MHz
GSM 1800	1710-1785 / 1805-1880 MHz
GSM 1900	1850-1910 / 1930-1990 MHz

GSM sistemi üç ana başlık altında incelenebilir (Şekil 2.1).

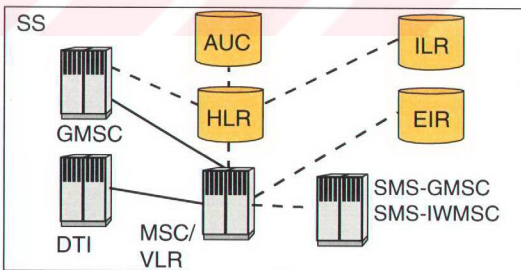
- Anahtarlama Sistemi (SS)
- Ana İstasyon Sistemi (BSS)
- Operasyon ve Destek Sistemi (OSS)



Şekil 2.1. GSM Sistem Modeli

2.2.1. SS

Anahtarlama sistemi aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır:



Şekil 2.2. Anahtarlama Sistemi

2.2.1.1. MSC

MSC, GSM sisteminde anahtarlama fonksiyonlarını yerine getirir. Bunun yanı sıra, GSM sisteminden diğer telefon ve data sistemlerine, bu sistemlerden GSM sistemine doğru yapılan aramaları kontrol eder. MSC ayrıca GSM sisteminin operasyon ve yönetiminden de sorumludur.

MSC, sistemdeki bağlantının, konuşma ve data haberleşmesinin yapıldığı birimdir. Genel olarak bir adet MSC bir veya daha fazla sayıda BSC'yi yönetmektedir. MSC, aramaları yönlendirmekte ve diğer haberleşme sistemleri ile bağlanma görevlerini denetlemektedir.



Şekil 2.3. MSC

2.2.1.2. GMSC

GMSC, iki şebekeyi birbirine bağlayan birimdir (örneğin PLMN ve PSTN'yi).

2.2.1.3. HLR

GSM sisteminde, her operatör PLMN'ye ait tüm aboneler hakkındaki bilgileri tutan bir veri tabanına sahiptir. Bu veri tabanı bir veya daha fazla HLR üzerinde gerçekleştirilebilir. Veri tabanında saklanan bilgilere iki örnek, abonelerin yeri (MSC/VLR servis alanı) ve talep edilen servislerdir.

HLR, kısaca, abonelerin servis profili, yerleşim bilgisi ve aktivite durumları gibi bilgileri içeren bir veri tabanıdır.

2.2.1.4. VLR

VLR, ziyaretçi abonelere servis sağlamak için söz konusu abonelere ait MSC'nin ihtiyaç duyduğu geçici bilgileri, örneğin MS'nin o an içerisinde bulunduğu LA bilgisini, tutan bir veri tabanıdır. VLR, genellikle, MSC ile bütünsel bir yapıya sahiptir. VLR, her MSC için bir adet olup sadece içinde bulunduğu MSC bölgesi sınırları içerisinde bulunan abonelerin bilgilerini geçici olarak içerir. Bir MS, yeni bir MSC servis alanına girdiğinde, bu MSC'ye bağlı VLR, HLR'den MS ile ilgili bilgileri talep edecektir.

2.2.1.5. AUC

AUC, kullanıcının kimliğini doğrulayan şifreleme ve doğrulama parametrelerini sağlar ve konuşmanın güvenilirliğini temin eder.

AUC, frekans atlatma ve abone şifreleme yöntemlerine ilişkin ana bilgileri içermektedir. Bu sayede abonenin konuşması güvenlik altına alınmış olur. Bu yetenek aynı zamanda sistemi dolandırıcılardan koruma işinde de kullanılır.

2.2.1.6. EIR

EIR, mobil ekipmana ait kimlik bilgilerini (türünü ve seri numarasını kontrol etmek için gereken bilgileri) içeren bir veri tabanıdır. Onaylanmamış, sorun yaratan ve çalıntı cihazlar bu bölümün bilgileri sayesinde ayrıştırılmaktadır.

Bu bölümden gelecek olan onay koduna göre cihazın kullanılmasına izin vermek ya da cihazı kullanım dışı bırakmak mümkündür.

2.2.1.7. DTI

DTI devre anahtarlamalı data iletişimi için çeşitli şebekelere arayüz oluşturur.

2.2.1.8. ILR

GSM sisteminde dünyada dolaşım yapılabilmesi için mobil haberleşme dünyasının bazı talepleri vardır. ILR, farklı işletim standartları kullanarak hücresel şebekeler arasında dolaşım bilgisinin iletilmesini sağlayan birimdir. Bu birim şu anda sadece GSM 1900 şebekesinde bulunmaktadır.

2.2.1.9. SMS-GMSC

SMS-GMSC, izlenecek yol bilgisini HLR'den alarak, bir MS'ye gönderilen kısa mesajı ilgili alıcı MS'nin bağlı olduğu MSC'ye iletir. Bu fonksiyon genellikle MSC/VLR biriminin içerisinde yer alır, bu birimle bütünleşik bir yapıya sahiptir.

2.2.1.10. SMS-IWMSC

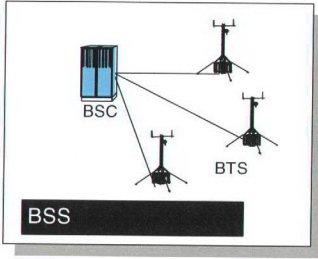
SMS-IWMSC, SMS-GMSC biriminin MSC'ye ilettiği kısa mesajı alıcı MS'ye iletir. Bu fonksiyon da genellikle MSC/VLR biriminin içerisinde yer alır, bu birimle bütünleşik bir yapıya sahiptir.

2.2.2. BSS

GSM sistemi hücresel mantıkta çalışır. Etki alanı hücrelere bölünmüştür ve teoride her hücrede bir BTS bulunmaktadır (5). BSS; BSC ve BTS'den oluşur.

BTS ile BSC kapasiteleri, kuruldukları yerdeki abone sayılarına bağlı olarak değişmektedir (6).

BSS aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır:



Şekil 2.4. BSS

2.2.2.1. BSC

BSC, MSC ve BTS arasındaki tüm kontrol fonksiyonlarını ve fiziksel bağlantıları sağlar. Yüksek kapasiteli bir anahtar olup; HO, hücre konfigürasyonu bilgisi ve BTS'lerdeki radyo frekansı güç seviyelerinin kontrolü gibi fonksiyonları yönetir. Belirli sayıda BSC'ye bir MSC tarafından servis verilir.

BSC, BSS'nin merkez noktasıdır. BTS'lerin radyolink olanaklarını denetler, ilgili hücrelerdeki MS'yi BTS'ye bağlar, hareketli abonelerin yer değiştirmesini izleyerek onu kendi BTS'leri arasında ya da başka bir BSC'nin denetlediği BTS'ye aktarır (HO olayı). Abonenin bulunduğu mesafeyi ve konuşmalar arasındaki boşlukları kontrol ederek MS'nin ve BTS'nin harcadığı gücü en aza indirger.

BSC, kısacası, radyo dalgaları ile ilgili tüm fonksiyonlara kumanda eder. BSC'ler bağlı bulundukları MSC'ler tarafından kontrol edilirler.

2.2.2.2. BTS

BTS, MS'ye arayüz oluşturur. BTS, şebekedeki her bir hücreye servis verilebilmesi için ihtiyaç duyulan radyo ekipmanıdır (alıcı-vericiler ve antenler) (7). MS ile devamlı haberleşen birimdir. Özetle, MS ve BSC arası bağlantıyı kuran birim olarak adlandırılabilir. Bir BTS'nin hizmet verebileceği maksimum kullanıcı sayısı, o hücre için ayrılan taşıyıcı frekans sayısı ile doğru orantılıdır. BTS'nin kullanıcı kapasitesini doldurması, şebekenin meşgul olması anlamına gelmektedir.

BTS ekipmanları, alıcı-verici ünite ve antenden oluşmaktadır ve teoride her bir hücreye servis vermektedir. BTS'ler BSC'ler tarafından kontrol edilirler.

BTS havadan alınan telsiz sinyallerini direkt yere indirip santrale iletir. Maximum 20-30 kilometre yarıçaplı bir etki alanına sahip olan BTS'ler her hücrede farklı frekansta çalışır. Bu nedenle bir hücre diğeri ile örtüşmez. Aksi takdirde komşu hücrelerden bu hücreye sarkma olur, diğeri bir deyişle bir VLR etki alanı ile bir diğeri karışabilir.



Şekil 2.5. BTS



Şekil 2.6. MS

2.2.3. OSS

OSS, şebeke operatörünün sistemi gözlediği ve kontrol ettiği fonksiyonel birimdir. OSS; MSC, BSC, BTS, VLR, HLR, EIR, AUC ve IN gibi şebeke elemanlarına destek verecek bir yönetim sistemi sağlamak için tasarlanmıştır.

2.3. Bir GSM Sisteminin Çalışma Yöntemi

GSM sistemi hücresel bir sistemdir. Hücre, GSM sisteminin en temel ünitesidir, bir BTS tarafından kapsama alanı içine alınan ve servis verilen en küçük kara parçasına verilen addır. Bir hücre, ortalama 200m-30km arasında değişen çapta bir bölgeye servis alanı olarak tahsis edilebilir. Alanın büyüklüğü bölgedeki popülasyona ve trafiğe göre değişiklik göstermektedir.

Mikro, makro ve piko hücre olmak üzere 3 farklı hücre tipi vardır (8). Mikro hücre; açık hava mekanlarını (örneğin; binalar arası yavaş bir trafikte hareket eden insanlar gibi), makro hücre; geniş alanları (örneğin; okul kampüsleri, şehirlerarası otobanlar gibi), piko hücre ise daha özel alanları (konferans salonu, lobiler gibi) kapsamak üzere tasarlanmıştır.

Birden fazla hücreden meydana gelen alana bir LA bölgesi denir. Her LA içerisindeki hücelere tahsis edilen frekanslar birbirinden farklıdır. Komşu hücreler arası karışmayı olabildiğince azaltabilmek için frekans ayarlaması yapılır. Bir BTS birden fazla hücreye servis verebilir. BTS'lerin bağlı oldukları birimlere BSC denir. BSC'ler konuşma için tahsis edilen kanallardan iki tanesini kullanarak BTS'lerin kontrollerini yapar. BSC'ler MSC'lere bağlıdır ve BTS'ler için yapmış oldukları kontrol bilgilerini aktarır. Böylelikle MSC'ler hizmet verdikleri bölgelerinde hangi BTS'nin aktif olup olmadığını, kullanılan kanalları kontrol eder. Açık ve kapsama alanı içerisinde bulunan MS, çağrı geldiğini hücrenin PAGCH kanalı üzerinden yollanan uyarı/bilgilendirme mesajıyla anlar. Bu uyarı/bilgilendirme mesajlarının yollanması konusunda iki uç nokta vardır. Bunlardan birincisi: mobil telefona yapılacak her yeni çağrıda sisteme dahil olan her hücrenin uyarılması/bilgilendirilmesidir - ki bu durumda mevcut bant genişliği boş boşuna harcanmış olmaktadır-. Diğer bir uç nokta ise abonenin yer değiştirmesi durumunda yer değişikliği bilgilerinin hücre düzeyinde sisteme iletilmesidir. Böyle bir yaklaşımın sonucunda çok fazla sayıda yer değişikliği mesajının sisteme iletileceği açıktır. Anlatılan bu iki uç noktanın çözümü hücreleri gruplayarak bölgeler (LA'lar) yaratmaktan geçer. Böyle bir çözümde yer güncelleme bilgisinin üretilmesi sadece bölge değiştirildiğinde gerekli olduğundan, dolayısıyla yukarıda sakıncaları anlatılan iki uç duruma çözüm getirilmiş olur. Böylelikle LA kavramı ortaya çıkar. LA, hücre gruplarının oluşturduğu gruba verilen addır. Bir LA bölgesinde bir MSC ve bir de VLR bulunmaktadır. LA içerisinde bulunan abonelerin bilgileri VLR veri tabanında geçici olarak tutulmaktadır. Abone servis alacağı LA içerisine girdiğinde bilgileri VLR'ye, o bölgeye servis veren HLR tarafından bir kopyası alınarak aktarılır. Abone LA dışına çıktıktan bir süre sonra VLR'deki bilgileri silinir.

Lokasyon yönetimi ile ilgili "HO" ve "Yer Güncelleme" kavramları ise şu şekilde açıklanabilir. GSM sistemi her hücre için ayrı frekansların tahsis edilmesi mantığı üzerine kurulmuştur. Dolayısıyla konuşma esnasında yer değişimi söz konusu olduğunda radyo kanallarının sabit link olarak tahsis

edilmesi mümkün değildir. Bu durum, HO kavramını ortaya çıkarır. HO, süregelen bir konuşmanın farklı kanallarda ya da hücrelerde bağlantısının kopmadan sürdürebilmesi olayıdır. Ya da kısaca, bir hücreden diğerine devir olma durumudur. İki farklı HO olayı bulunmaktadır;

- aynı LA içerisinde HO,
- farklı LA'lar arasında gerçekleştirilen HO

Aynı LA içerisinde HO, BSC tarafından, farklı LA'lar arasında HO, MSC tarafından gerçekleştirilir. HO yapılabilmesi için, gidilen hücrede boş frekans tahsisinin yapılması gerekir. MSC önce gidilecek hücrede boş frekans olup olmadığına bakıp ondan sonra devreder. Söz konusu hücrede boş frekans yoksa arama kesilir.

Yer güncelleme; MS, BCCH kanalını devamlı olarak dinler. BCCH kanalı, BTS kimlik bilgilerini, tahsis edilmiş ya da boşta olan frekans bilgilerini tutan bir kanaldır. Sim kart içinde bulunan LA kimliği ile BCCH kanalından gelen ID tanımları birbirini tutmadığı zaman MS harekete geçer ve MSC ile bağlantı kurarak yer güncelleme talebi yapar ve kendini tanıtır. Yeni lokasyon bilgileri VLR ve HLR'ye gönderilir. HLR ve ardından VLR bu bilgileri günceller. GSM, TDMA teknolojisini kullanarak, her konuşma kanalını 8 adet TS'ye ayırarak, bu TS'ler üzerinden data taşır. 8 TS, aynı anda 8 kişi için görüşmeye olanak sağlar. Fakat bu TS'lerden genellikle bir tanesi kontrol amaçlı kullanılır.

Öncelikle abone (MS) konuşmaya başlamadan önce, mantıksal kanallardan biri olan RACH ile sinyalleşme kanalı sorar. Eğer boş bir sinyalleşme kanalı varsa BSC bu abone için bir yer ayırır. Bu aşamadan sonra MS servis aldığı MSC/VLR'ye konuşma kurulumu için talepte bulunur. MSC bu talebe karşılık BSC'ye giderek boş TCH olup olmadığını kontrol eder.

Bu bilgiler BTS ve MS'ye TCH'nin aktif edilmesi için gönderilir. Bundan sonra arama senaryosu başlar. Aranan numaranın cevap vermesi ile konuşma kurulur (9).

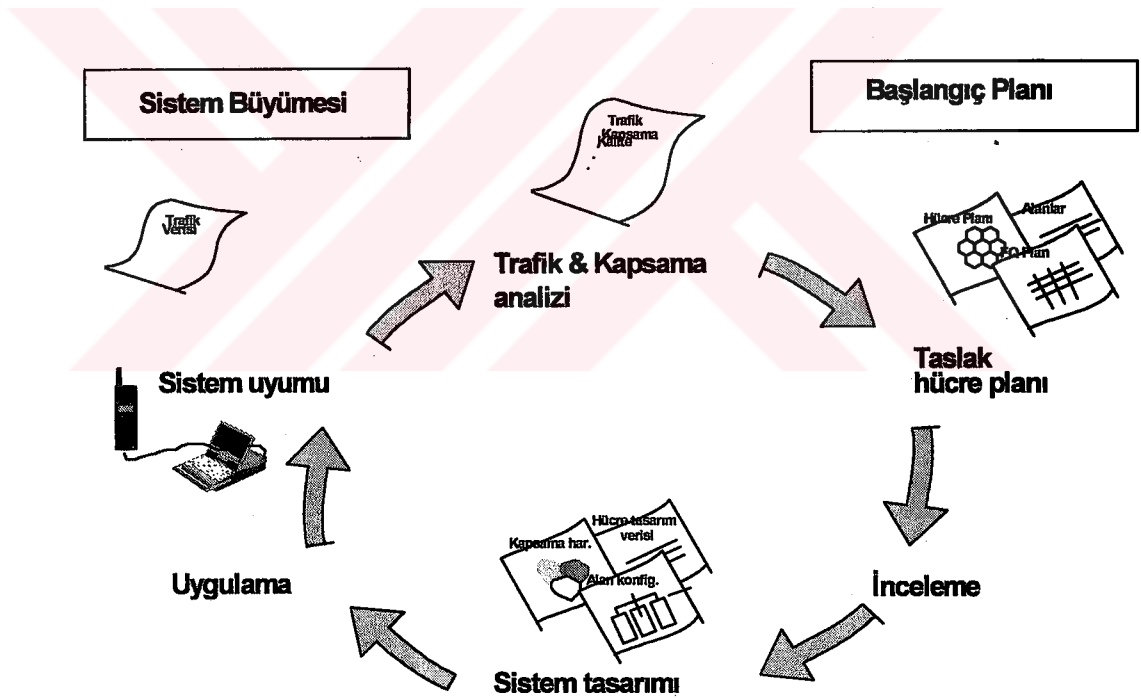


3. HÜCRE PLANLAMASI

3.1. Hücre Planlaması Süreci

Hücre planlaması, hangi radyo teçhizatlarının kullanılacağı, bu radyo teçhizatları için hangi alanların kullanılacağı ve bu teçhizatların nasıl konfigüre edileceği gibi aktivitelerin bütünüdür (10).

Kapsamayı sağlamak ve karışmayı önlemek için her hücresel şebeke planlanmaya gereksinim duyar. Hücre planlaması sürecindeki ana aktiviteler Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Hücre planlaması adımları

3.1.1. Trafik ve kapsama analizi

Hücre planlaması trafik ve kapsama analizi ile başlar. Bu analiz sonucunda coğrafi alan ve umulan kapasite ihtiyacı konularında bilgi elde edilir. Toplanan veri tipleri şunlardır:

- Maliyet
- Kapasite
- Kapsama
- GoS (servisin derecesi)
- Kullanılabilir frekanslar
- Sistem büyüme becerisi

Trafik talebi (sisteme kaç abonenin katılacağı ve ne kadar trafik üretileceği) hücresel şebeke mühendisliğinin temelini oluşturur. Trafik talebinin coğrafi dağılımı nüfusbilimi bilgileri kullanılarak tahmin edilebilir. Bunlar:

- Popülasyon dağılımı
- Araba kullanımı dağılımı
- Gelir seviyesi dağılımı
- Telefon kullanım istatistikleri
- Abone ücretlendirmesi, arama ücretlendirmesi ve mobil istasyon fiyatları gibi faktörlerdir.

Baz istasyonu maliyeti aşağıda verilen kriterlerin belirli ölçülerde etkilediği bir kavramdır:

- Kiralanacak alan

BTS bir binanın tepesine kurulacak ise bina için binanın yerine göre değişen tutarlarda yıllık bir ücret ödenmesi gerekmektedir.

BTS boş bir alana kurulacak ise, söz konusu arazi için arazinin yerine göre değişen tutarlarda yıllık bir ücret ödenmesi gerekmektedir. Bu durumda kira maliyetine, BTS'nin yeterli yüksekliğe kurulabilmesi için kullanılacak kulelerin satın alma ve inşa etme maliyetleri de eklenecektir.

- Yeterli yüksekliğin sağlanması

(i) BTS'nin bina üzerine kurulması durumunda, bina için semtine göre değişen tutarlarda yıllık bir ücret ödenmesi gerekmektedir.

(ii) BTS'nin bir tepeye kurulması durumunda, tepede işgal edilen alan için kamuya, tepenin yerine göre değişiklik göstermeyen, sabit tutarlarda yıllık bir ücret ödenmesi gerekmektedir.

(iii) BTS'nin bir kule üzerine kurulması durumunda, yüksekliğin sağlanması için boş bir alanın kiralınması ve bu alana kule inşa edilmesi gerekmektedir. Maliyet (i) ve (ii) maddelerinde olduğu gibi sadece alan kirası ile sınırlı değildir.

(iv) BTS'nin bir cami, TRT kulesi, su deposu gibi kamuya ait taşınmazlar üzerine kurulması durumunda, yükseklik mevcut yapılarla sağlanacağından kule üzerine kurulumda olduğu gibi ek bir maliyet söz konusu değildir. Kamuya, kiralanan alan için m^2 başına sabit bir ücret ödenir. Burada sabitlik söylemi ile kastedilen kavram şu şekilde açıklanabilir; örneğin BTS bir cami üzerine kurulacak ise, kamuya ödenecek ücret caminin yerleşiminden tamamen bağımsızdır, cami ister bir köyde, isterse yoğun nüfusun olduğu bir semtte olsun, ödenecek kira ücreti değişmemektedir.

- Kapasite

Kapasite, alıcı-verici ünitelerin (TRU) sayısı ile doğru orantılıdır (11). Bir TRU içerisinde sekiz adet kanal bulunmaktadır, bu kanalların bir kısmı trafik, bir kısmı ise sinyalleşme için kullanılmaktadır. Bir baz istasyonunun kapasitesi içerdiği TRU sayısına göre belirlenmektedir, TRU sayısı arttıkça BTS'nin kapasitesi de artmaktadır. TRU sayısının artması aynı zamanda BTS'nin maliyetini de artıracığından, düşük trafik yoğunluğuna sahip bölgelerde yüksek sayıda TRU içeren BTS kullanımından kaçınmak gerekmektedir, aksi

durumda kullanılmayacak, atıl olarak kalacak kapasite için yüksek maliyetli BTS kurulumu gerçekleştirilmiş olur.

- İletim

GSM sisteminde BTS'ler, BSC'ler ve MS'ler ile iletişim halindedir. BSC'ler ile olan bağlantı iki şekilde sağlanır:

HDSL: Sene başına sabit bir ücret ödenir, servis sağlayıcı (Türkiye'de Türk Telekom) ve BTS kısmına birer modem konulur ve iki telefon hattı alınır.

ML: Malzeme ve dolayısı ile kurulum maliyeti yüksek, bakım maliyeti azdır. Sadece devlete frekans parası ödenir. Uzun vadede kendisini amorti eder. BTS'nin kurulduğu alan için uzun vadeli (örneğin 10 yıllık) bir kira sözleşmesi yapılmış ise bu yöntemi kullanmak daha karlıdır.

- Akü yedeği

Elektrik kesintisi durumunda kaç saat süre ile besleme isteniyor ise akü kapasitesi buna göre belirlenmelidir. Akü kapasitesinin artması, BTS'nin maliyetinin artması anlamına gelmektedir. Bu aşamada BTS'nin nereye kurulduğu önem kazanmaktadır. Örneğin, BTS bir otelin tepesine kuruluyor ise ve otelin bir jeneratöre sahip olduğu düşünülürse ihtiyaç duyulan akünün kapasitesi oldukça düşük olacaktır. Akü, elektrik kesintisi durumunda sadece, jeneratör devreye girene kadar (çok az bir süre boyunca) çalışacaktır. Ama BTS, bir tepeye ya da jeneratörü bulunmayan herhangi bir bina ya da yapı üzerine kuruluyor ise ihtiyaç duyulan akü daha yüksek kapasiteli olacaktır. Burada akü, elektrik kesintisi durumunda devreye girecek ve elektrik yeniden sağlanana kadar çalışacaktır.

- **Klima**

Bina içi ve bina dışı kullanıma sahip BTS'lerin bazılarının çalışması için klimaya ihtiyaç duyulmakta, bazılarında ise bu ihtiyaç söz konusu olmamaktadır. Klima gerektiren BTS kullanımında, klima maliyeti BTS maliyetine ek bir yük getirmektedir.

- **Enerji temini**

BTS'nin ihtiyaç duyduğu enerjinin (220 V) temin yöntemi BTS'nin bulunduğu yere göre farklılık göstermektedir. BTS, kırsal bir alanda kurulu ise ve çevresinden AG hattı geçmiyor, OG (6,3-15-34,5 kV) hattı geçiyor ise orta gerilim bir trafo yardımı ile alçak gerilime dönüştürülerek BTS'nin kullanımına sunulmak durumundadır. Bu durum, trafo maliyetini gündeme getirmektedir. BTS'nin, daha merkezi bir yerde kurulu olması durumunda, BTS'nin ihtiyaç duyduğu 220 V gerilim çevresinden geçen AG hattından sağlanmakta, trafo maliyeti söz konusu olmamaktadır. AG, BTS'ye kadar, herbirinin arası yirmi metre (20 m) olan direklerle taşınmalıdır. Dolayısı ile, mesafe arttıkça direk maliyeti de ek bir yük getirmektedir.

3.1.2. Taslak hücre planı

Trafik ve kapsama analizinden elde edilen verilerin derlenmesi ile bir taslak hücre planı oluşturulur. Taslak hücre planı şebekenin grafiksel bir betimlemesidir ve basitçe harita üzerindeki bir hücre modeline benzer.

Taslak hücre planları ilk hücre planlarıdır ve daha sonraki planlar için bir temel oluşturur.

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

3.1.3. İncelemeler ve radyo hesaplamaları

Taslak hücre planı oluşturulmuş bulunmaktadır. Bir sonraki aşamada, kapsama ve karışma tahminlerini doğrulamak için radyo ölçümleri gerçekleştirilir. Radyo teçhizatlarının konulacağı alanlar ziyaret edilir. Bu çok kritik bir aşamadır çünkü hücresel bir şebekeyi planlarken çevrenin durumunu incelemek ve yerleşim için uygun olup olmadığına karar vermek gerekmektedir.

3.1.4. Nihai hücre planı ve sistem tasarımı

Analiz programları ile gerçekleştirilen tahminlere güvenerek BTS, BSC ve MSC teçhizatlarının boyutlandırmaları yapılır. Bundan sonra nihai hücre planı oluşturulur. İsminden de anlaşılacağı üzere, bu plan daha sonra sistem kurulumlarında kullanılır.

Ek olarak, her hücre için tüm hücre parametrelerini içeren ve “hücre tasarım verisi” olarak isimlendirilen doküman doldurulur.

3.1.5. Uygulama

Nihai hücre planlaması ve sistem tasarımını takiben sistem kurulumu, hizmete sokulması ve test işlemleri gerçekleştirilir.

3.1.6. Sistem uyumu

Sistem kurulumu gerçekleştirildikten sonra, sistemin, talepleri ne ölçüde karşıladığı sürekli değerlendirilir. Bu, sistem uyumu olarak isimlendirilir. Aşağıdaki maddeleri içerir;

- Nihai hücre planı kurulumunun başarı ile gerçekleştirildiğinin kontrol edilmesi

- Müşteri şikayetlerinin değerlendirilmesi
- Şebeke performansının kabul edilebilirliğinin kontrol edilmesi
- Parametrelerin değiştirilmesi ve eğer gerekirse diğer ölçümlerin gerçekleştirilmesi

Sistem, sürekli olarak, yeniden uyumun sağlanmasına ihtiyaç duymaktadır, çünkü trafik ve abone sayısı sürekli artmaktadır. Sonuç olarak, sistem artan yük ve yeni trafiğin yönetilebilmesi için genişletilmesi gereken bir noktaya ulaşır. Bu noktada, bir trafik ve kapsama analizi yapılır ve hücre planlaması yeniden başlar.

3.2. Trafik

3.2.1. Trafik ve kanal boyutlandırması

Hücrel sistem kapasitesi birtakım farklı faktörlere dayanır (12). Bunlar;

- Ses ve/veya data için yeterli kanal sayısı
- Abonelerin sistemde elde ettikleri servisin derecesi (GoS)

Trafik teorisi, bir hücrede ihtiyaç duyulan kanal sayısı gibi yararlı tahminleri elde etmeyi ilke edinir. Bu tahminler seçilen sisteme ve abonelerin varsayılan veya gerçek davranışlarına dayanır.

Trafik, kanalların kullanımına karşılık gelir ve genellikle saat başına arama süresi olarak düşünülür. Trafik, Erlang (E) cinsinden ölçülür. Örneğin, bir abone tüm zamanını telefonda geçirirse, saat başına o saatin tamamı kadar konuşma meydana geleceğinden ölçülen trafik 1 Erlang'dır.

Bir hücrenin taşıyabileceği trafik, kullanılabilir trafik kanalı sayısına ve sistemi tıkanma aşamasına getiren kabul edilebilir olasılığa, diğer adı ile servisin derecesine (GoS) bağlıdır.

Erlang'ın B-tablosu; trafik kanalları sayısını, servisin derecesini (GoS) ve önerilen trafiği kapsamaktadır. Bir hücrenin iki taşıyıcısı olduğu varsayılırsa, 14 trafik kanalı ve %2'lik GoS kabul edilebilir, önerilen trafik ise $A=8,20$ E olur (Çizelge 3.2).

Abone başına ortalama trafik ile ilgili bir tahmin yapılırsa ilginç bir rakam ile karşılaşılır. Çalışmalar, yoğun saat denilen zaman diliminde abone başına ortalama trafiğin 15-20 mE olduğunu göstermektedir, bu da saat başına 54-72 saniye arasında bir aramaya karşılık gelmektedir. Bir hücrenin karşılayabileceği trafiğin $A_{hücre}=8,20$ E olduğu durumda, abone başına trafik $A_{abone}=0,025$ E seçilirse, bir hücrenin hizmet verebileceği abone sayısı $8,20/0,025=328$ abone/saat olarak hesaplanabilir.

Problem, hava alanı gibi çok sayıda abonenin bulunduğu belirli bir alanda, sadece bir hücre bulunması durumunda trafiğin karşılanması için kaç taşıyıcıya gereksinim olduğu şeklinde düşünülebilir. Hücre boyutunu sabit tutarak tüm şebekeyi boyutlandırmak, her hücredeki taşıyıcı sayısını tahmin etmek anlamına gelmektedir. Trafik sabit değildir, gün ve gece arasında, farklı günlerde ve bir çok diğer faktörle değişiklik gösterir. Hareketli telefonculuk hareketlilik anlamına gelmektedir ve aboneler gün boyunca bir alandan diğerine hareket halinde olabilirler.

Şebekenin farklı bölümlerinde sistemin tahmin edilen davranışını dikkate alarak sinyalleşme kanallarının (SDCCH) sayılarının boyutlandırılması önemlidir. Örneğin, farklı yerleşim alanlarına (LA) sınırı olan hücreler çok sayıda yerleşim güncelleme ve bir çok HO işlemi yapabilirler.

3.2.2. Kanal kullanımı

Abonelere 33 Erlang'lık bir trafik sağlanması için bir hücrenin ihtiyaç duyacağı trafik kanalı sayısının bulunmasını problem olarak kabul edelim. Yoğun saat süresince GoS'un %2'yi aşmayacağı da göz önüne alındığında, B-tablosundan yararlanarak kanal sayısı 43 olarak bulunur.

Çizelge 3.1. 43 kanal için önerilen trafiği GoS'un fonksiyonu olarak veren B tablosu dilimi

n	0,007	0,008	0,009	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,2	0,4	n
43	30,734	31,069	31,374	31,656	33,758	35,253	37,565	42,011	49,851	69,342	43

Tek bir hücre yerine aynı alanın beş küçük hücre ile kaplanacak şekilde tasarlandığını varsayalım. Söz konusu beş hücre, tek bir hücrenin kaldırdığı trafiği (33 E) aynı ölçüde kaldırmalıdır. Kabul edilebilir GoS değeri yine %2 olsun. Öncelikle toplam trafik tüm hücrelere dağıtılır (Çizelge 3.3). Bir çok hücre üzerinden trafiğin dağıtılması, tek bir hücreye oranla daha fazla trafik kanalına ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Bu da daha bölünmüş küçük hücreler yerine büyük bir hücrede kanal kullanımının daha verimli olduğunu göstermektedir.

43 kanal için kanal kullanımı $33/43=77\%$ olarak hesaplanır, her kanal yaklaşık olarak zamanın %77'sinde kullanılmaktadır. Söz konusu hücre küçük hücrelere bölündüğünde ise daha fazla trafik kanalına ihtiyaç duyulmakta ve kanal kullanımı azalmaktadır.

Çizelge 3.2. Trafiği GoS (sütun) ve trafik kanalı sayısı (satır) cinsinden veren Erlang'ın B-tablosu

n	.007	.008	.009	.01	.02	.03	.05	.1	.2	.4	n
1	.00705	.00806	.00908	.01010	.02041	.03093	.05263	.11111	.25000	.66667	1
2	.12600	.13532	.14416	.15259	.22347	.28155	.38132	.59543	1.0000	2.0000	2
3	.39664	.41757	.43711	.45549	.60221	.71513	.89940	1.2708	1.9299	3.4798	3
4	.77729	.81029	.84085	.86942	1.0923	1.2589	1.5246	2.0454	2.9452	5.0210	4
5	1.2362	1.2810	1.3223	1.3608	1.6571	1.8752	2.2185	2.8811	4.0104	6.5955	5
6	1.7531	1.8093	1.8610	1.9090	2.2759	2.5431	2.9603	3.7584	5.1086	8.1907	6
7	2.3149	2.3820	2.4437	2.5009	2.9354	3.2497	3.7378	4.6662	6.2302	9.7998	7
8	2.9125	2.9902	3.0615	3.1276	3.6271	3.9865	4.5430	5.5971	7.3692	11.419	8
9	3.5395	3.6274	3.7080	3.7825	4.3447	4.7479	5.3702	6.5464	8.5217	13.045	9
10	4.1911	4.2889	4.3784	4.4612	5.0840	5.5294	6.2157	7.5106	9.6850	14.677	10
11	4.8637	4.9709	5.0691	5.1599	5.8415	6.3280	7.0764	8.4871	10.857	16.314	11
12	5.5543	5.6708	5.7774	5.8760	6.6147	7.1410	7.9501	9.4740	12.036	17.954	12
13	6.2607	6.3863	6.5011	6.6072	7.4015	7.9667	8.8349	10.470	13.222	19.598	13
14	6.9811	7.1154	7.2382	7.3517	8.2003	8.8035	9.7295	11.473	14.413	21.243	14
15	7.7139	7.8568	7.9874	8.1080	9.0096	9.6500	10.633	12.484	15.608	22.891	15
16	8.4579	8.6092	8.7474	8.8750	9.8284	10.505	11.544	13.500	16.807	24.541	16
17	9.2119	9.3714	9.6171	9.6516	10.656	11.368	12.461	14.522	18.010	26.192	17
18	9.9751	10.143	10.296	10.437	11.491	12.238	13.385	15.548	19.216	27.844	18
19	10.747	10.922	11.082	11.230	12.333	13.115	14.315	16.579	20.424	29.498	19
20	11.526	11.709	11.876	12.031	13.182	13.997	15.249	17.613	21.635	31.152	20
21	12.312	12.503	12.677	12.838	14.036	14.885	16.189	18.651	22.848	32.808	21
22	13.105	13.303	13.484	13.651	14.896	15.778	17.132	19.692	24.064	34.464	22
23	13.904	14.110	14.297	14.470	15.761	16.675	18.080	20.737	25.281	36.121	23
24	14.709	14.922	15.116	15.295	16.631	17.577	19.031	21.784	26.499	37.779	24
25	15.519	15.739	15.939	16.125	17.505	18.483	19.985	22.833	27.720	39.437	25
26	16.334	16.561	16.768	16.959	18.383	19.392	20.943	23.885	28.941	41.096	26
27	17.153	17.387	17.601	17.797	19.265	20.305	21.904	24.939	30.164	42.755	27
28	17.977	18.218	18.438	18.640	20.150	21.221	22.867	25.995	31.388	44.414	28
29	18.805	19.053	19.279	19.487	21.039	22.140	23.833	27.053	32.614	46.074	29
30	19.637	19.891	20.123	20.337	21.932	23.062	24.802	28.113	33.840	47.735	30
31	20.473	20.734	20.972	21.191	22.827	23.987	25.773	29.174	35.067	49.395	31
32	21.312	21.580	21.823	22.048	23.725	24.914	26.746	30.237	36.295	51.056	32

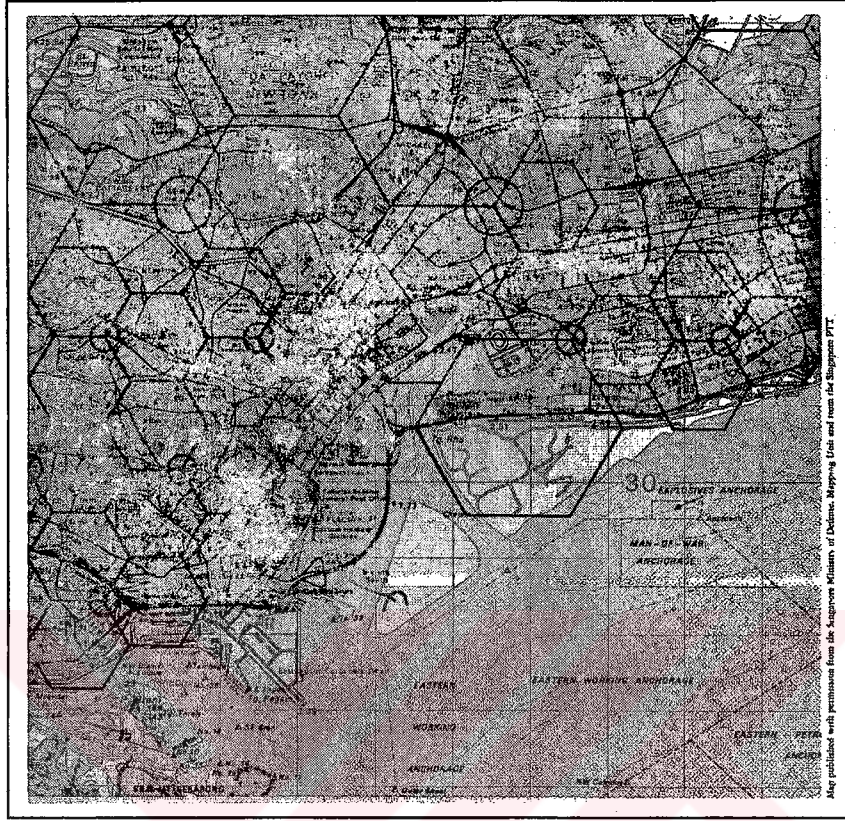
Çizelge 3.3. Belirli miktardaki trafiğin bir çok hücre üzerinden dağıtılması

Hücre	Trafik (%)	Trafik (E)	Kanal Sayısı	Kanal Kullanımı
A	40	13,20	21	62
B	25	8,25	15	54
C	15	4,95	10	49
D	10	3,30	8	40
E	10	3,30	8	40
Σ	100	33,00	62	

Kapasite ve karışma problemleri her zaman en verimli şekilde kanal kullanımı planları yapılmasını engellemektedir ve dolayısıyla gerçek şebekelerde çözümler verimlilik (örneğin maliyet) ve kalite arasındaki uzlaşa ile bulunmaktadır.

3.3. Taslak Hücre Planı

Hücresel şebeke mühendisliği bir hücresel (radyo baz istasyonu) şebekenin tasarlanması için gereken tüm işlemleri kapsar. Sistem tasarımının ilk evresi boyunca, sistemin ihtiyaçları toplanır ve analiz edilir. Bu ihtiyaçlar; maliyet, kapasite, kapsama, GoS, konuşma kalitesi ve sistem büyüme kapasitesini içerir. Sistem ihtiyaçları evresi tamamlandığında, sıra taslak bir hücre planı hazırlamaya gelmiştir. Bu plan radyo baz istasyonlarının dağıtımını (yerleşimini) ve konfigürasyonunu kapsar ve sistem ihtiyaçlarını esas alır (Şekil 3.2). Taslak hücre planı daha sonra, mümkün olduğunca yanlışsız olması için doğrulanmalıdır. Sistem tasarımı gerçekleştirildikten sonra hücre planlaması mevcut şebekenin verilerini kullanarak devam eder.



Şekil 3.2. Taslak hücre planı

3.3.1. Dalgalar

Elektromanyetik dalgaların bir çok farklı çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; radyo dalgaları, kızıl ötesi ışınlar, ışık, x ışınları, gamma ışınları olarak tanımlanabilir. Radyo dalgaları elektromanyetik ışımanın bir türüdür. Genellikle bir verici anten üzerinde osilasyon yapan yüklerce üretilirler. Elektromanyetik ışımanın diğer türleri güçlü ısı, atomik reaksiyonlar ve uyarılmış emisyon (laser) ile elde edilirler. Bir elektromanyetik dalga, kaynağı ne olursa olsun, osilasyon yapan elektrik ve manyetik alanlardan oluşur. Düzlem dalgada, elektrik ve manyetik alanlar birbirlerine ve yayılım yönüne diktirler. Dalgalar basit sinüzoidal fonksiyonlar olarak tanımlanabilirler ve dalgaboyları, λ (osilasyonun bir devrinin uzunluğu) ya da frekansları, f , ile nitelendirilirler. Bu iki kavram yayılım hızı ile aşağıdaki gibi ilişkilidir;

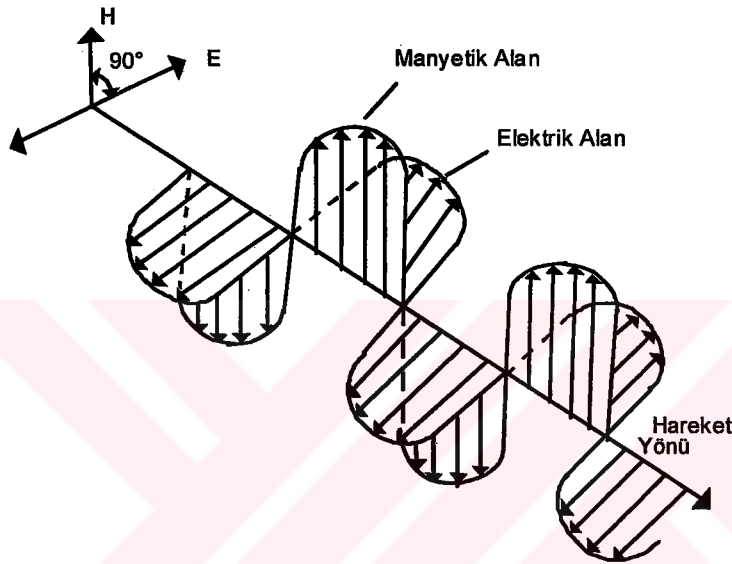
$$\lambda \cdot f = c$$

[3.1]

λ = dalgaboyu (metre/devir)

f = frekans (devir/saniye) (hertz)

c = ışık hızı (tüm elektromanyetik dalgalar için sabit, $3 \cdot 10^8$ metre/saniye)



Şekil 3.3. Bir elektromanyetik dalga

Yayılım özellikleri frekans spektrumu boyunca farklılık gösterir. Frekans spektrumunda radyo dalgaları 3 Hz ve 3000 GHz arasında yer alır. Spektrum bu hali ile 12 banda bölünmüştür (Çizelge 3.4) (13). Mobil telefon frekans bandı, UHF bandı ile ilişkilidir, UHF dalgaları ve frekans tahsisleri bu bandın mobil iletişimin bandı olarak tanımlanmasını sağlamıştır.

Çizelge 3.4. Frekans spektrum bantları

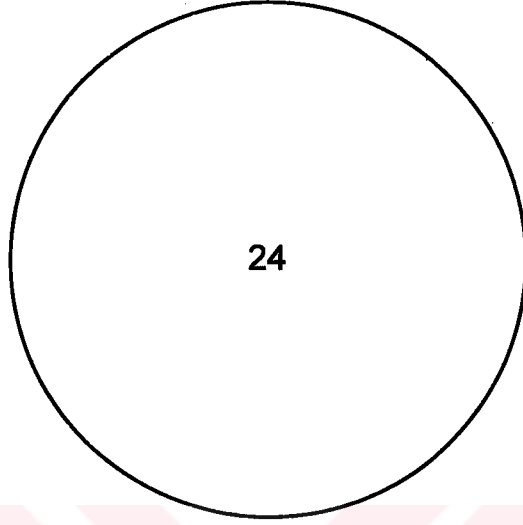
FREKANS	SINIFLANDIRMA	İŞARET
3-30 Hz		
30-300 Hz	Extremely Low Frequency	ELF
300-3000 Hz	Voice Frequency	VF
3-30 kHz	Very Low Frequency	VLF
30-300 kHz	Low Frequency	LF
300-3000 kHz	Medium Frequency	MF
3-30 MHz	High Frequency	HF
30-300 MHz	Very High Frequency	VHF
300-3000 MHz	Ultra High Frequency	UHF
3-30 GHz	Super High Frequency	SHF
30-300 GHz	Extremely High Frequency	EHF
300-3000 GHz		

3.3.2. Kanal yükleme planı

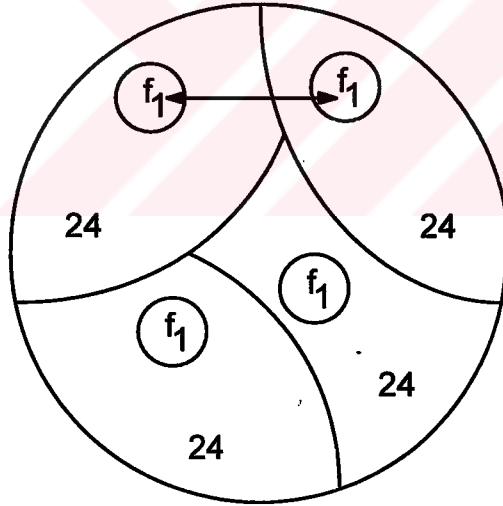
En kolay hücre planlaması problemi sadece bir hücreye sahip olunması ve mevcut tüm taşıyıcıların o hücrede kullanılması durumudur (Şekil 3.4). Yine de böyle bir çözüm dahi bir çok sınırlamalarla karşı karşıyadır. Arzu edilen alanın tümünde kapsamayı sağlayabilmek nadiren gerçekleşen bir durumdur. Ek olarak, kanal kullanımının fazla olmasına rağmen, herhangi bir operatör için mevcut taşıyıcıların sınırlı sayıda olmasından kaynaklanan sınırlı kapasite bir problem olarak ortaya çıkacaktır.

Bir hücresel sistem, aynı frekans setlerinin tekrar kullanılması üzerine temellenmiştir. Söz konusu frekans setleri, kapsanacak alanın, bir araya geldiklerinde hücre kümelerini oluşturan daha küçük alanlara bölünmesi ile elde edilirler (Şekil 3.5). Bir hücre kümesi, içerilerinde mevcut tüm taşıyıcıların sadece bir kez kullanıldığı hücreler grubudur. Aynı taşıyıcıların aynı hücre kümeleri içerisindeki hücrelerde kullanılması durumunda karışma problemi ortaya çıkar. Frekans tekrar kullanım uzaklığı, örneğin aynı taşıyıcıyı kullanan iki hücre arasındaki uzaklık, karışmayı önlemek için

mümkün olduğunca büyük, kapasiteyi karşılamak açısından da mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.



Şekil 3.4. 24 taşıyıcılı bir hücre tarafından hizmet verilen alan



Şekil 3.5. Her biri 24 taşıyıcı kullanan 4 hücre kümesine ayrılmış alan

Şekil 3.5'de küçük daireler f_1 frekansının kullanıldığı tek hücreleri göstermektedir. Tekrar kullanım uzaklığı ise çift ok ile belirtilmektedir.

3.3.3. Karışma

Hücresel sistemlerin karışma sınırlamaları çoğunlukla sinyal gücü sınırlamalarından daha fazladır (14).

Yoğun bir GSM şebekesine olumsuz etki eden karışmaların en yaygın türü ortak kanal karışmasıdır (15). Ortak kanal karışması, 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. Ortak kanal karışması, Şekil 3.6'da gösterilmektedir.

Analog sistemlerden farklı olarak, GSM sisteminde, söz konusu ortak kanal karışması durumunda bir abone diğer aboneler arasındaki konuşmayı duyamaz. Bunun nedeni, GSM sisteminde her konuşmanın şifrelenmesidir. Bir telefondan, başka bir konuşmanın dinlenmesine sebebiyet verebilecek bir girişim olması durumunda ses bilgisine çevrilemeyen bir dizi bit meydana gelir. Bu bitlerden ses bilgisi oluşturulamadığından, bir abone diğer aboneler arasındaki konuşmayı duyamaz.

Dar-bant radyo sistemlerinin karşılaştığı problemlerden birisi de çok yollu sönümlenmedir (16). Bu, binalar gibi büyük nesnelerin, iletilmesi arzu edilen sinyali yansıtması durumudur. Bazen yansıma ana (direkt) sinyal kadar güçlü olabilir ve bu iki sinyal karışabilir. Ana sinyal ve yansıyan sinyalin aslında aynı sinyal olduğu düşünülmesine rağmen, gerçek, bu iki sinyalin aynı olmadığıdır. Yansıyan sinyal ile ana sinyalin fazları farklıdır.

Frekans atlama tekniği, sözü edilen ortak kanal karışması ve çok yollu sönümlenme problemlerine çözüm getirmektedir. Bu teknikte, konuşma, tüm konuşma boyunca aynı kanal ve aynı TS üzerinden yapılmak yerine, şebeke aboneyi bir TS'den diğer TS'ye ve bir frekanstan diğer frekansa aktarmakta

ve böylece ortak kanal karışmasının etkilerinin azaltılması sağlanmaktadır. GSM sistemindeki yüksek frekans değerleri nedeni ile sinyallerin dalga boyları oldukça düşüktür (gerçekte sadece dört-beş santimetre). Bu da bir kanaldaki faz farkının bir diğerindekinden tümüyle farklı olması anlamına gelmektedir. Bir frekanstan diğer frekansa atlama ile, çok yollu sönümlenme problemi çok kısa zamanlarla sınırlandırılır ve problemin üstesinden gelinmesi kolaylaşır.

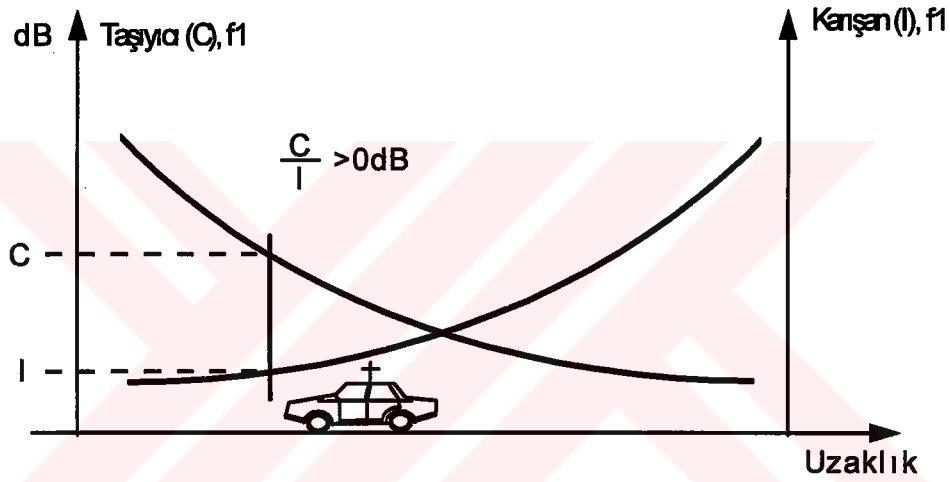
GSM sisteminde abone sayısındaki artış ve operatörler arasındaki rekabet, şebeke kapasitesi ve servis kalitesi üzerinde durulmasına neden olmuştur. Bu iki kavramın iyileştirilmesi de mevcut frekans spektrumunun verimli kullanımına bağlıdır. GSM sistemi, TDMA ve FDMA kavramları üzerine temellenmiştir. Mevcut bant genişliği frekanslara bölünmüştür (FDMA). Zaman ise, her biri sekiz TS'ye bölünmüş çerçevelerle ifade edilmektedir. Bir TS bir abonenin yaptığı arama için kullanılır (TDMA). Her bir operatörün sahip olduğu bant genişliği sınırlıdır. Bu da birbirinden farklı belirli sayıda abonenin kaçınılmaz olarak aynı ya da komşu frekansları kullanması anlamına gelmektedir. Bu durum, sırasıyla, kanal içi ve komşu kanal karışmasına neden olmaktadır. Karışma seviyeleri şebeke konfigürasyonuna, diğer bir deyişle; alıcı-verici ünitelerin sayısına, yerleşime, iletim gücüne, antenlerin konfigürasyonuna ve mobil kullanıcıların şebeke içerisindeki pozisyonlarına bağlıdır.

Radyo spektrumunun verimli kullanımı, frekansların, alıcı-verici ünitelerine, karışmayı azaltmak için verimli bir şekilde tahsis edilmesine karşılık gelmektedir. Frekans atlaması, frekans ve karışma çeşitliliği kavramlarını da içine alarak, söz konusu problemin üstesinden gelmeyi amaçlayan bir özelliktir.

Frekans atlaması tekniği, karışmaya maruz kalan bir çok sayıda hücreyi içeren büyük şebekelerde veya düzensiz yayılım modellerine sahip şebekelerde kullanılması durumunda daha çok yarar sağlamaktadır.

Abone tarafından bakıldığında, frekans atlama tekniği iyileştirilmiş konuşma kalitesi sağlar. Operatör açısından bakıldığında ise yararları şu şekilde sıralanabilir:

- Daha güvenilir ve durumu önceden kestirilebilir bir radyo ortamı
- Abonelere daha düzenli, kararlı bir konuşma kalitesinin sağlanması
- Hücre planlaması sınırlarının düşürülmesi, daha sıkı frekans-yeniden kullanımı ile kapasitenin artırımı (17)



Şekil 3.6. Ortak kanal karışması

GSM şartnamesi, taşıyıcı C ve karışan I arasındaki sinyal şiddeti oranının, C/I, 9 dB'den fazla olması gerektiğini belirtmektedir. Eğer frekans atlama söz konusu değil ise, bu, sistemdeki değeri 3 dB kadar değiştirir.

$C/I > 12$ dB (frekans atlama yoksa)

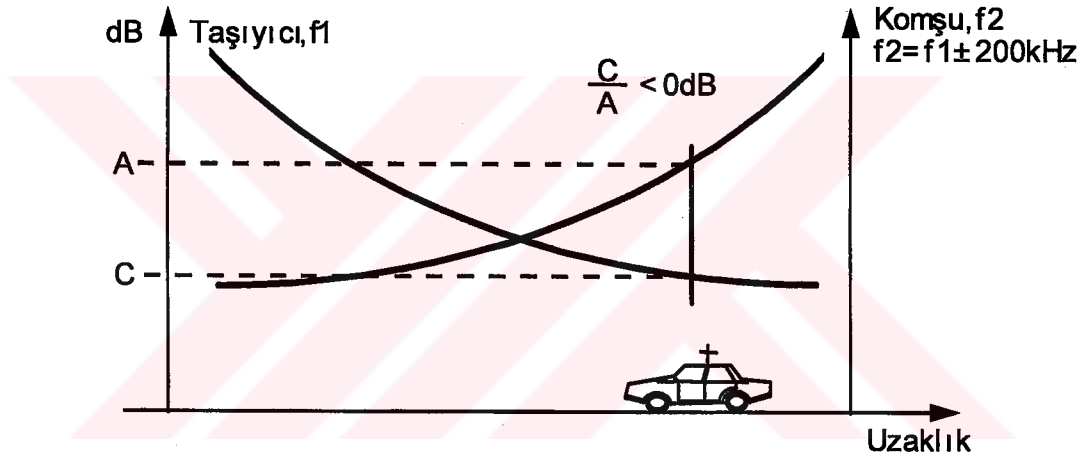
$C/I > 9$ dB (frekans atlama varsa)

Komşu taşıyıcı frekanslarının (± 200 kHz kaydırılmış frekanslar), 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. GSM şartnamesi, taşıyıcı frekans C ve karışan komşu frekans A

arasındaki sinyal şiddeti oranının, C/A , -9 dB'den büyük olması gerektiğini belirtir. Bununla birlikte, komşu kanal karışması, hassasiyeti de C/I performansını düşürdüğü gibi düşürür. Hücre planlaması süresince amaç 3 dB'den büyük C/A değeri elde etmek olmalıdır.

$$C/A > 3 \text{ dB}$$

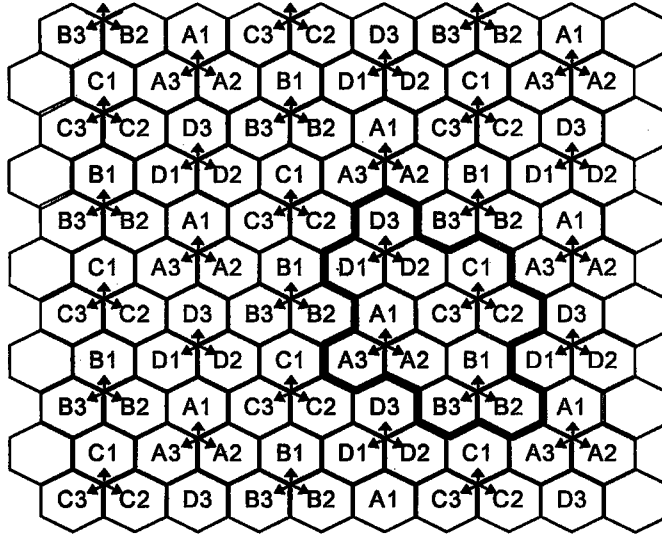
Aynı hücre içerisinde ve hatta tercihen komşu hücreler arasında komşu frekanslardan kaçınılmalıdır.



Şekil 3.7. Komşu kanal karışması

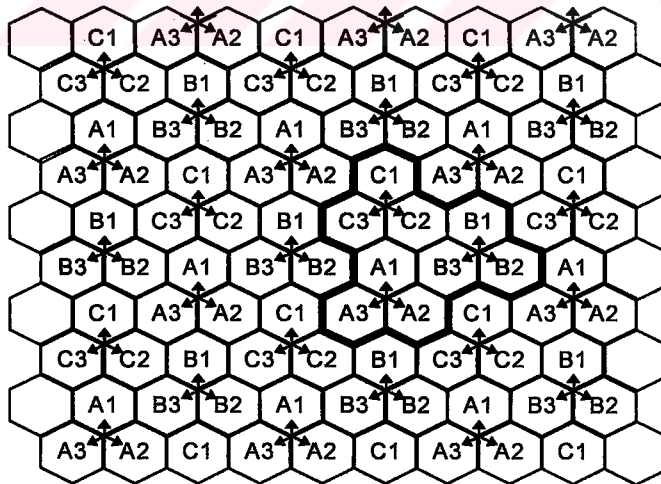
Taşıyıcı frekansların, iyi kanıtlanmış yeniden kullanım modellerine göre, yeniden kullanılması ile hem ortak kanal karışması hem de komşu kanal karışması problemleri en aza indirgenecektir.

GSM için önerilen yeniden kullanım modelleri 4/12 ve 3/9 modelleri şeklinde ifade edilir. 4/12, her bir hücre kümesinin 3 hücreye sahip olması ve toplam 4 hücre kümesi bulunması anlamına gelmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. 4/12 yeniden kullanım modeli

Şekil 3.8'deki yeniden kullanım modeli, $C/I > 12$ dB koşulu ile uyumludur. Daha kısa yeniden kullanım mesafesi ve daha küçük C/I oranı 3/9 modelinde kullanılmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. 3/9 yeniden kullanım modeli

Bu yeniden kullanım modeli (Şekil 3.9) sadece, frekans atlamaasının gerçekleştiği durumlar için önerilir. Bu model, daha fazla kanal kullanımına sahiptir çünkü taşıyıcılar 12 yerine 9 hücreye dağıtılmışlardır. Daha büyük yeniden kullanım uzaklıklarına sahip (7/21 gibi) diğer yeniden kullanım

modelleri karışmaya karşı çok daha hassas sistemler (örneğin analog mobil telefon sistemleri) için kullanılmalıdır.

3.4. İncelemeler

Hücre planlaması, taslak hücre pozisyonları elde edilmesi ile sonuçlanır. Taslak hücre planının söz konusu yerleşimlere adapte edilmesi gereklidir. Bu nedenle, hücre planlamacının kullanılabilecek yerleşimlerle ilgili temel bilgiye sahip olması önemlidir.

Bizzat sahada yapılan hücre planlaması “radyo şebeke tetkiki” olarak isimlendirilir. Daha detaylı bir inceleme ise BTS sahalarında gerçekleştirilir ve “saha araştırma” olarak isimlendirilir.

3.4.1. Radyo şebeke incelemesi

Operatörün, hücresel şebeke planlaması evresinde kullanılabilecek çok sayıda alternatif yapıya sahip olması akla uygundur. Bunun bir sebebi başlangıç maliyetinin azaltılmasıdır.

Saha seçiminin aşağıda verilen yönleri üzerinde mutlaka çalışılmalıdır :

- Taslak yerleşime ilişkin pozisyon tesbiti
- Antenler için uygun mesafe
- Anten yerleşimleri
- Yakın engeller
- Radyo teçhizatı için mesafe
- Güç kaynağı/aküsü yedeği
- İletim bağlantısı
- Servis alanı incelemesi
- Servis alanı sahibi ile sözleşme yapılması

3.4.1.1. Taslak yerleşime ilişkin pozisyon tesbiti

Hücre sistemi için yapılan başlangıç çalışması genellikle BTS konumları için taslak pozisyonlar içeren teorik hücre modelleri ile sonuçlanır. Mevcut yapılar, gerçek pozisyonların tesis edilmesi ve bu pozisyonların taslak pozisyonların yerini alması esası ile sisteme adapte edilir. Sahaya yapılacak ziyaret doğru yerleşimi (adres/koordinatlar ve yere göre seviyesi) garanti etmek içindir.

3.4.1.2. Antenler için uygun mesafe

Radyo yayılım tahminleri, baz istasyonunda ne tür antenler kullanılabileceği ve antenlerin hangi yöne yönlendirileceği hususunda bir işaret verirler.

Sahadaki çalışma başladığında, tahmin edilen anten yüksekliği meselenin ana noktası olarak kullanılmalıdır. Tahmin edilen anten yüksekliğinden en fazla %15'lik bir sapma olması durumunda tahmin değerleri kullanım için yeterlidir.

Eğer antenlerin kurulumunu, tahmin edilen pozisyondan daha yüksek bir pozisyona yapmak mümkün ise operatör ortak kanal karışması için hiç bir risk olmadığını garanti etmelidir. Eğer antenlerin kurulumu, tahmin edilen pozisyondan daha aşağı bir pozisyona gerçekleştirilirse, yeni tahminler bu pozisyon baz alarak yapılmalıdır.

Bir hücredeki tüm antenlerin aynı yüksekliğe ve aynı yöne sahip olmaları zorunlu değildir. Bu, aynı BTS üzerinde farklı anten yüksekliklerine sahip hücrelere sahip olunması anlamına gelmektedir. Bu, eğer mesafe bazı yönlerde sınırlı ise olabilecek bir durumdur. Antenleri farklı yüksekliklere yerleştirmede hücre planlamasından doğan nedenler de mevcuttur. Bunlar; kapsama, yalıtım, farklılık (çeşitlilik) ve/veya karışmayı içine alır.

3.4.1.3. Anten yerleşimleri

Antenlerin birbirlerinden ve diğer anten sistemlerinden ayrılmasının iki nedeni vardır:

- Mesafe çeşitliliğini elde etmek
- Yalıtımı sağlamak

Antenler arasında yeterli mesafe çeşitliliğini elde etmek için gereken yatay uzaklık GSM 900 için $12-18 \lambda$ veya 4-6 metre, GSM 1800/1900 için ise 2-3 metredir. Yeterli yalıtımı (normal değeri 30 dB) sağlamak için antenler arasında olması gereken uzaklığın tipik değerleri ise, GSM 900 için yatayda 0,4 metre ve düşeyde 0,2 metredir.

3.4.1.4. Yakın engeller

Radio şebeke incelemesinde en önemli noktalardan birisi radyo yayılımına etkileri göz önüne alınarak yakın çevrenin sınıflandırılmasıdır. Geleneksel noktadan noktaya iletişim şebekelerinde direkt görüş hattı (los) gereklidir. Engellerden arınmış bir "Fresnel bölgeye" sahip olmak planlama kriterlerinden birisidir. "Fresnel bölge"; bir radyo yolunun, fonksiyonunu tam olarak yerine getirebilmesi için açık mesafede engellerden arınmış alandır.

Bu kriteri takip etmek mümkün değildir çünkü baz istasyonu ve mobil abone arasındaki yol direkt görüş hattına (los) sahip değildir. Şehirsel bölgeler için hücre planlaması kriterlerinden birisi bu tür engeller için tolerans sağlanmasıdır. Eğer optimal kapsama arzu edilirse, antenlerin, yakınlarındaki 50-100 m aralığında engel bulunmaması gereklidir. Bu mesafede 900 MHz için birinci "Fresnel bölge" açıklığı 5 metredir. Bu, antenlerin en alt bölümünün kendisini çevreleyen engellerden en az 5 metre daha yukarıda olmak zorunda olduğu anlamına gelmektedir.

3.4.1.5. Radyo teçhizatı için mesafe

Radyo teçhizatları, besleyici kaybını azaltmak ve besleyicilerin maliyetini düşürmek için antenlere mümkün olduğunca yakın bir konuma yerleştirilmelidirler. Yine de bu dezavantajlar kabul edilebilirse, teçhizatlar için diğer yerleşimler göz önüne alınabilir. Bunun yanında, gelecekteki büyümeler için yeterli boşluk tahsis edilmelidir.

3.4.1.6. Güç kaynağı/aküsü yedeği

Güç kaynağı teçhizatı ihtiyacı göz önüne alınmalı ve bu gücün elde edilebilirliği kontrol edilmelidir. Akü yedeği için boşluğa ihtiyaç duyulabilir.

3.4.1.7. İletim bağlantısı

BTS fiziksel olarak BSC'ye bağlı olmak zorundadır. Bu bağlantı radyo link, fiber kablo veya bakır kablo üzerinden sağlanabilir.

3.4.1.8. Servis alanı incelemesi

Şebeke incelemesi süresince, tasarlanan servis alanları ve BTS yerleşimleri üzerinde çalışılması önemlidir. Kapsama tahminleri gözden geçirilmelidir.

3.4.1.9. Servis alanı sahibi ile sözleşme yapılması

Sahanın sahibi ve saha kullanıcısı arasında yasaya uygun bir dokümanın, örneğin bir kira kontratının olması zorunludur.

3.5. Sistem Uyumu

Sistem uyumu, sistem tarafından toplanan bilginin, sistemin gerçek trafik talebi dağılımına daha iyi uyum göstermesi için analiz edilmesidir. Yapılabilecek ayarlamalar aşağıdakileri içerir:

- Trafiğin tıkalı bir hücreden daha az trafiğe sahip komşu bir hücreye yönlendirilmesi için HO parametrelerinin değiştirilmesi
- Sistemin trafik yönetimi kapasitesini optimize etmek için anahtarlama parametrelerinin değiştirilmesi
- Tıkalı hücrelere radyo kanalları veya hücreler ekleme ve/veya umulandan daha az trafiğe sahip olan hücrelerin radyo kanalları sayılarının azaltılması

Sistem uyumu genellikle şu durumlarda yapılır:

- Başlangıç uyumu
- Radyo şebeke araştırması (RNI)

Başlangıç uyumu, müşteri ile birlikte yapılan kabul testinin bir parçası olabilir veya kabul testinden hemen önce gerçekleştirilebilir. Bu, o anda sistemde genellikle trafiğin olmadığı (veya çok az olduğu) anlamına gelmektedir. RNI ise bir sistem hizmete sokulduğunda veya bazı zamanlar için ticari amaçlı kullanıldığında gerçekleştirilir.

3.5.1. Hücre parametresi ayarlaması

Eğer ölçüm analizleri parametre belirlemelerinde birbirleri ile tutarsızlık gösterirse, histerezis ve ofset parametreleri şebeke kalitesini iyileştirmek amacı ile yeniden ayarlanabilir.

OSS, değişen parametreler için grafiksel kullanıcı arayüzü olarak kullanılır. OSS'yi kullanmak aynı zamanda insandan kaynaklanan hata olasılığını, parametrelerin tutarlılığını kontrol ederek azaltır. Parametre ayarlarındaki kontroller şebekenin güncelleştirilmesinden önce yapılır. OSS yedek tutulmasına da olanak tanır ve söz konusu yedek, şebeke güncellemesi sırasında bir hata oluşursa sistemin hatasını gidermek için sisteme yüklenebilir.

3.5.1.1. Hücre parametreleri

Parametreler, operatörün belirli gereksinimlerini karşılamak amacı ile şebekenin ayarlanması bakımından gereklidir. Tüm parametreler izin verilen belirli değişim aralıklarına sahiptirler, çoğu durumda bu aralık öntanımlı olarak atanmıştır.

Öntanımlı değerler yeni bir sistem için iyi birer başlangıç noktalarıdır. Daha sonra, sistem kullanıma hazır olduğunda ve ölçüm değerleri toparlandığında, parametreler sağlıklı bir şekilde ayarlanabilir. Aynı anda tek bir parametre değiştirilmelidir, aksi halde hangi parametrenin sistemi nasıl etkilediğini tespit etmek güçleşir.

3.5.1.1.1. Ofset

Ofset, ölçülen sinyal şiddetinin artırılması/azaltılması sureti ile bir hücrenin MS'ler ile iletişiminin olduğundan daha iyi/kötü görünmesini sağlar.

3.5.1.1.2. Histerezis

Histerezis, iki hücre arasında "pinpon efekti" oluşumunu, örneğin çok sayıda ardışık HO oluşumunu engellemek için kullanılır. "Pinpon efekti" sönümlenme nedeni ile veya hücreler arasında zik-zak şeklinde bir yol izleyen MS nedeni ile oluşabilir.

3.5.1.1.3. Radyo şebeke özelliklerinin kontrolü

Diğer parametreler DTX, frekans atlaması ve güç kontrolü gibi radyo şebeke özelliklerini kontrol etmek için kullanılır.

3.5.1.1.4. Zamanlayıcılar ve filtreler

Parametreler kullanılarak belirlenebilen bazı zamanlayıcılar ve filtreler vardır. Zaman ayarlarına veya filtrelerin uzunluklarına bağlı olarak sistem değişimlere daha hızlı veya daha yavaş tepki verir. Hızlı bir sistem, eğer hücre türü mikro ise gereklidir, çünkü bu durumda HO olayı daha sık gerçekleşir.

3.5.1.1.5. Tanımlama

Parametreler şebekedeki bir hücreyi veya bir yerleşim alanını tanımlamak için kullanılırlar.

3.5.1.1.6. Cezalandırma

Cezalar, yerleşim algoritmasındaki bir hücrede, MS ve anten arasındaki sinyal şiddetinin olduğundan daha zayıf gösterilmesi için kullanılır. Bu, güçsüz sinyalleşme söz konusu olduğunda defalarca yinelenen HO girişimlerinden kaçınmak içindir.

3.5.1.1.7. Eşikler

Hücre seviyelendirme, çağrı sonlandırma vs. için eşik değerleri atanabilir.

3.5.2. Sistemin büyümesi

Mobil telefon sistemleri için sınırlayıcı faktör kullanılacak olan radyo frekans aralığıdır ve mobil iletişim için oldukça dar bir bant tahsis edilmiştir (18). Şehirlerde aynı anda yapılan bir çok görüşme için yeterli kapasiteyi sağlamanın tek yolu, şebekenin bazı bölümlerinde aynı radyo frekanslarını tekrar tekrar kullanmaktır.

Bu amaçla sistem, bal peteği gibi birbirine bitişik olarak çalışan hücrelerden oluşmakta ve her hücre düşük çıkış gücü ve kısa mesafeli radyo sinyalleri ile çalışan ana alıcı-verici istasyonu (BTS) ile çalışmaktadır. Bu sayede aynı frekanslar değişik hücrelerde tekrar tekrar kullanılmakta ve aynı frekans daha fazla sayıdaki telefon görüşmeleri için kullanılabilir. Büyük şehirlerde ve aynı anda bir çok 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 bir çok yolu vardır (19):

- Frekans bandını büyütmek (örneğin bir GSM 900 operatörü GSM 1800 lisansı alabilir)
- HR iletişim kullanmak
- Frekans yeniden kullanım alanını daraltmak (örneğin 4/12 modeli kullanan bir sistemin frekans atlama kullanarak 3/9 modeline dönmesi)
- Hücreleri çok daha küçük hale getirmek (20)

HR iletişim, teoride şebekenin kapasitesini ikiye katlıyor gibi görünse de gerçekte böyle değildir. HR iletişimin sağlanması için düşürülen sistem kalitesi, hücre planlaması sürecinde karışma ihtimalini artırır, dolayısı ile frekans-yeniden kullanım işleminin uygulanmasını zorlaştırır. HR iletişim

tekniki, trafiğin tepe değere ulaştığı geçici durumlarda son çare olarak kullanılabilir.

Son çözüm hiyerarşik bir hücre yapısı altında mikro-hücrelerin kullanımını da içine alır. Bunun yanında yeni alanlar ekleme (hücre bölme) işlemi her zaman kullanılan bir işlemdir.

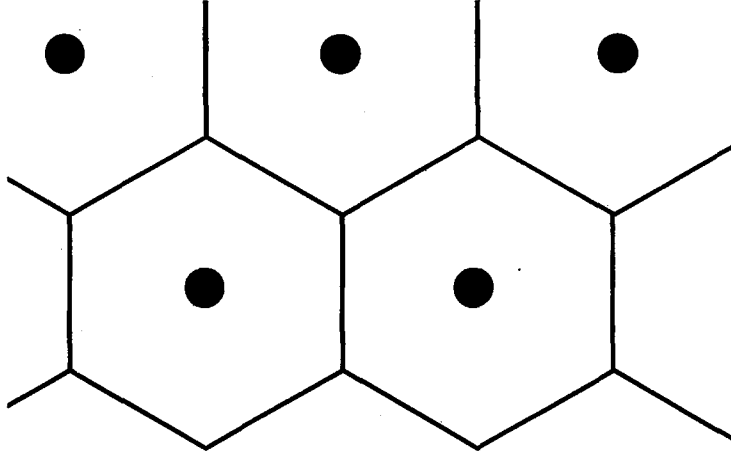
3.5.2.1. Hücre bölme

Daha küçük boyuttaki hücrelerin trafik kapasitesini artıracığı açıktır. Bunun yanında, daha küçük hücre daha fazla bölünmüş alan ve yapının kurulması için daha fazla maliyet anlamına gelmektedir. Gereksiz küçüklükte bir hücre ile çalışmak tercih edilen bir durum değildir.

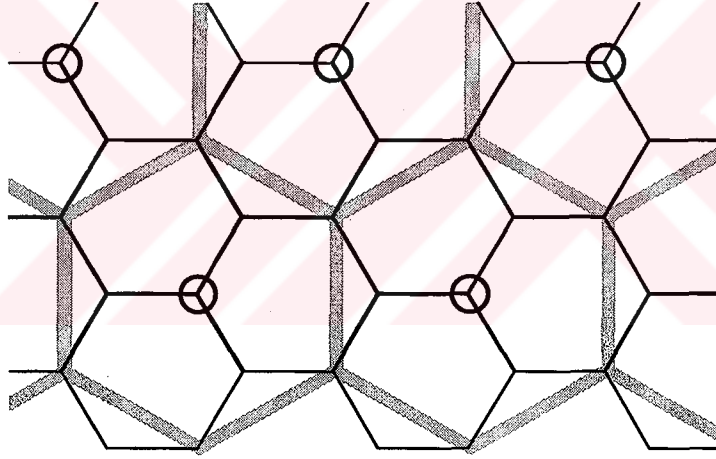
Hücre bölme, gerçekte ihtiyaç duyulan hücre boyutlarını ve kapasite gereksinimlerini uygun bir şekilde ayarlayacak bir yöntemdir. Sistemin oluşturulmasına büyük bir hücre ile başlanır ve sistem kapasitesi genişlemeye ihtiyaç duyduğunda, hücre boyutu yeni gereksinimleri karşılamak amacı ile küçültülür (21). Bu da farklı alanlarda farklı boyutlarda hücre kullanımını ortaya çıkarır. Bu yöntem "hücre bölme" olarak adlandırılır. Yöntem, Şekil 3.10 - 3.13 aralığında gösterilmektedir.

Örnek:

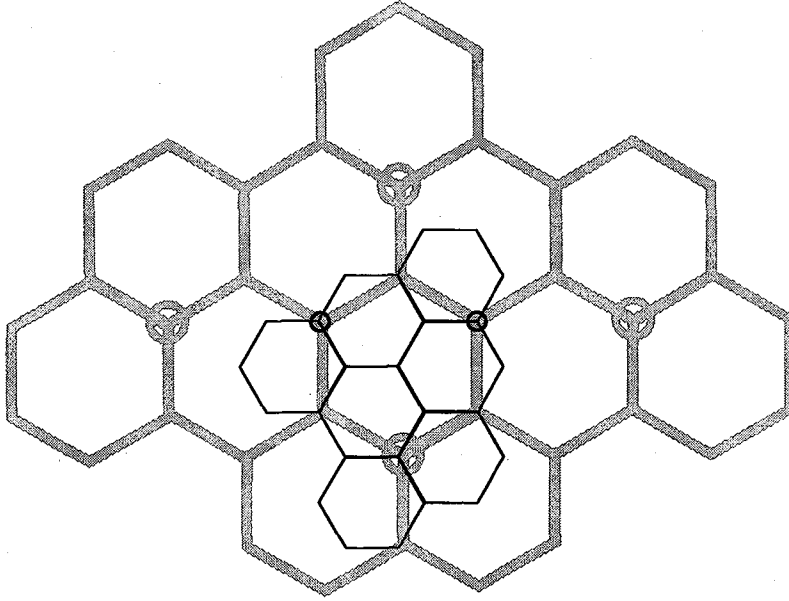
Kapsama alanı dikkate alınarak mümkün olabilecek en büyük hücre boyutu kullanılarak başlanır (Şekil 3.10). Bir sonraki adım, alan başına 3 hücre düşen bir yapı oluşturmaktır (Şekil 3.11). Bu, bir hücrenin üç hücreye bölünmesi anlamına gelir (1:3). Bu durumda alanların sayısı hala aynıdır fakat hücre sayısı bir öncekinin üç katıdır. Bir sonraki adım, hücre bölme işlemini (örneğin birden dörde) gerçekleştirmektir (Şekil 3.13). Şekillerden de görüldüğü üzere, eski alanlar yeni planda da kullanılır fakat bunların yanı sıra ilave alanlara da gereksinim duyulur.



Şekil 3.10. Hücre bölme faz 0

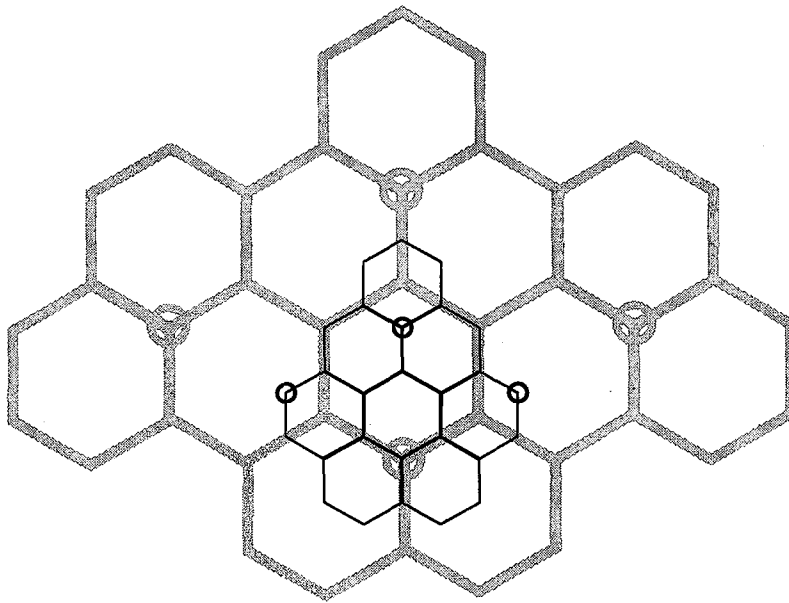


Şekil 3.11. Hücre bölme faz 1



Şekil 3.12. Hücre bölme 1:3 (faz 2)

Şekil 3.12'de 1:3 oranındaki hücre bölme işlemi gösterilmektedir. Bölme işleminden sonra, birim alandaki kapasite üç katına çıkar ve hücre alanı üç kat küçülür. Sahadaki anten doğrultularında bölme işleminden sonra 30 derecelik bir değişim yapılmalıdır.



Şekil 3.13. Hücre bölme 1:4 (faz 2)

1:4 bölme işleminden sonra birim alandaki kapasite dört katına çıkar ve hücre alanı dört kat küçülür. Bölme işleminden sonra, sahadaki anten doğrultularında bir değişim yapılmasına ihtiyaç yoktur.



4. TABU ARAMA (TA) ALGORİTMASI

4.1. TA'nın Geçmişi

TA tekniğine ait ilk çalışmalar 1986 yılında Glover tarafından başlatılmıştır (22).

Klasik optimizasyon yöntemleri, gerçek dünyada çok sayıda bulunan zor problemlerin çözümü ile karşılaştıklarında büyük zorluklar yaşarlar.

TA, klasik tasarımlardan farklı bir yöntemle problem çözme kabiliyetimizi değiştirmekte ve pratik olarak da önemli bir konuma gelmektedir. TA'nın mevcut uygulamaları arasında; kaynak planlama, telekomünikasyon, finansal analiz, uzay planlama, enerji dağıtımı, moleküler mühendislik, lojistik, model sınıflandırma, esnek üretim, çöp yönetimi, mineral keşif, biomedikal analiz, çevresel koruma bulunmaktadır (23).

4.2. TA'nın Kaynağı ve Özellikleri

Tabu, Tonga adasındaki aborjinler tarafından kullanılan ve kutsal oldukları için dokunulmayan nesneleri gösteren bir kelimedir ve bir Polinezya (Fransız Polinezyası) dili olan Tongan'dan gelmektedir. "Webster's Dictionary" isimli sözlüğe göre ise, tabu kelimesi koruyucu bir ölçü olarak örf ve adetlerce oluşturulan yasak veya risk taşıdığı için yasaklanan bir şey olarak tanımlanmaktadır (24). Bu tanımlamalar, TA'nın teması ile de uyusmaktadır.

Geleneksel kullanımla en önemli ortak nokta, tabuların zamanla değişime maruz kalan bellekler ile tabu durumlarının değişmesidir. Bu TA için tabu kelimesinin anlamına en temel bağlantıyı yaratmaktadır. TA'nın yasaklı elemanları durumlarını değişen bellekten alırlar, bu bellek söz konusu durumun zaman ve koşullara göre değişebilmesine imkan tanımaktadır.

TA, bir örnek üzerine gerçekleştirilen belleksiz tasarımlarla tezat oluşturmaktadır. Belleksiz yöntemlere örnek olarak, genetik algoritma ve benzetimli tavlama verilebilir.

TA'nın uyumlu bellek özelliği, çözüm uzayını ekonomik ve efektif bir şekilde araştırabilecek işlemlerin gerçekleştirilmesine imkan tanır. Buna ek olarak, TA'nın bu özelliği, kötü bir stratejik seçimin iyi bir ratsgele seçimden daha fazla bilgi vereceği varsayımını doğrulamaktadır. Bellek kullanan bir sistemde, strateji temelli kötü bir seçim, stratejinin karlı bir şekilde nasıl değiştirilebileceği yönünde yararlı ipuçları sağlayabilir.

4.3. TA Algoritması

TA tekniği, daha önce incelenmiş belli sayıda çözümü, tabu listesi olarak adlandırılan bir listede tutarak (bir bellek fonksiyonu oluşturarak) o çözümlere geri dönmeyi bir müddet yasaklayan ve böylece aramayı çözüm uzayının daha iyi noktalarına yönlendiren bir arama işlemidir. TA yerel optimuma ulaşmak için belirlenen bölgelerde ısrarlı bir şekilde çözüm arayışına girer, tıpkı bir yerel arama algoritması gibi davranır. Yerel optimum noktada ise, o tabu olmayan en iyi komşuyu (tabii olarak bu yerel optimum çözümden daha kötü bir çözümdür) seçerek, kısa sürede yerel optimumun aşılmasını sağlar. Üstelik bir komşunun "tabu" durumu mutlak değildir. Mesela tabu (yasak) olan bir taşımanın değeri, o ana kadar bulunan çözümden daha iyi ise o taşımanın tabu durumu iptal edilerek taşımanın yapılmasına izin verilir. Aspirasyon ya da tabu yıkma kriteri adı verilen bu özellik, TA'nın uyumlu bellek kullanımına güzel bir örnektir ve TA'nın mantıklı bir teknik olduğunu gösterir (25).

TA tekniğine ait ilk çalışmalar F. Glover tarafından yapılmıştır. Buna göre, tekniğin esası genel akıllı problem çözme eğiliminden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber, TA yerel optimalliğe düşmekten kaçınmak için bir bellek fonksiyonu kullanırken, küresel optimumu hızlı bir şekilde aramada bir veya

daha çok yerel arama yordamını hiyerarşik olarak yönlendiren akıllı bir tekniktir.

Temel bir TA üç ana stratejiden oluşur; yasaklama stratejisi, serbest bırakma stratejisi ve kısa dönem stratejisi (26). Yasaklama stratejisi, hangi hareketlerin tabu listesine gireceğini kontrol eder. Böylece henüz denenmiş çözümler tekrar denenmez ve kısır döngü engellenmiş olur. Serbest bırakma stratejisi, hangi hareketlerin ne zaman tabu listesinden çıkacağını belirler. Bu sayede yasaklanmış hareketlerin, araştırmanın ileri safhalarında yeniden düşünülmesi sağlanır. Kısa dönem stratejisi, deneme çözümlerini seçmek için yasaklama ve serbest bırakma stratejileri arasında bir rol oynar.

TA algoritmasının işleyişi nispeten basittir, ancak belirlenmesi gereken bazı önemli stratejiler ve parametre değerleri vardır. Bunlar temel olarak, komşuluk yapısı, tabu listesi uzunluğu, aspirasyon ölçütü, işletme stratejisi, aramayı yoğunlaştırma ve çeşitlendirme stratejisi ve aramayı durdurma ya da iterasyon sayısıdır.

TA'nın işleyişinde ilk olarak, bir başlangıç çözümü seçilir. Sonra, bu çözümün komşuları (aday komşular) bir komşuluk yapısıyla belirlenir. Komşu çözümler bir amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Tabu olmayan en iyi komşu ya da aspirasyon ölçütünü sağlayan komşu, sonraki arama için yeni başlangıç çözümü olarak seçilir, yani çözüm uzayında bir noktadan diğerine taşınır. Yapılan taşıma, tabu listesine eklenir. Daha sonra, taşınan çözüm şimdiye kadar bulunan en iyi çözümle karşılaştırılır; eğer bu çözüm sözü edilen en iyi çözümden daha iyi ise bu yeni çözüm en iyi çözüm olarak saklanır. Bu işlem bir durdurma ölçütü karşılanıncaya kadar tekrarlanır. Aşağıda genel bir TA algoritmasının adımları verilmiştir (27).

Adım 1. Bir başlangıç çözümü seç, onu mevcut çözüm ve en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım 2. Mevcut çözümün komşularını bir komşuluk yapısıyla üret.

- Tabu olmayan veya tabu olsa bile aspirasyon ölçütünü sağlayan bir komşu çözüm seç ve onu yeni çözüm olarak taşı.
- Mevcut çözümden yeni çözüme taşıma özelliğini tabu listesine ekleyerek listeyi güncelle.
- Eğer yeni çözüm o ana kadarki en iyi çözümden daha iyi ise onu yeni en iyi çözüm olarak kaydet.

Adım 3. Bir durdurma ölçütü sağlanıncaya kadar Adım 2'yi tekrarla.

4.4. TA Algoritmasının Elemanları

TA ile ilgili bazı kavramlar; başlangıç çözümü, komşuluk yapıları, tabu listesinin düzenlenmesi, aspirasyon ölçütü, durdurma ölçütü gibi sıralanabilir. Sözü edilen kavramlar aşağıda kısaca açıklanmaktadır (28).

Başlangıç çözümü: TA herhangi bir olurlu çözümle işe başlamaktadır. Bu problemin matematik ifadesinde geçen kısıtları tatmin eden ya da işleri bir kör döngüye yol açmayacak şekilde sıralayan çözümdür. Tabii olarak TA'nın performansı başlangıç çözümüne sıkıca bağlıdır. Bu yüzden TA'ya mümkün olduğunca iyi bir çözümle başlanmalıdır. Başlangıç çözümü çeşitli yöntemlerle elde edilebilir. Çeşitli çalışmalar, başlangıç çözüm yönteminin problemin nihai çözümünün kalitesini etkilediğini göstermiştir; yani, daha iyi bir başlangıç çözümü daha iyi TA çözümü elde edilmesini sağlamaktadır.

Komşuluk yapısı: Komşuluk yapısı, verilen bir çözüm üzerinde basit bir değişiklik yaratarak bir komşu çözümler kümesi elde eden mekanizmadır. Verilen bir çözümden her bir komşu çözüme bir *taşıma* ile ulaşılabilir. TA, problem çözüm uzayında bir komşudan diğerine iteratif olarak ilerlediği için, komşuluk yapısı TA'nın etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu yüzden,

komşuluk yapısı gereksiz ve eğer mümkünse olumsuz taşımaları eleyebilmelidir.

Taşıma seçimi: Tabu olmayan veya verilen aspirasyon kriterini sağlayan en iyi komşu yeni kök çözüm olarak seçilir. “En iyi” komşu, en iyi amaç fonksiyonu değerine sahip olandır. Eğer bütün komşular için tabu ve aspirasyon ölçütü sağlanamıyorsa, o zaman en eski komşuya, yani tabu listesine daha önce giren komşuya taşıma yapılır.

Tabu listesi: Tabu listesi TA'nın kısa süreli belleğini teşkil eder ve belli bir süre boyunca tekrar dikkate alınmaması gereken çözümleri karakterize eden özellikleri saklar. Yapılan belli sayıda taşıma listeye eklenerek, daha önce değerlendirilen komşulara tekrar dönme bir müddet (bellek uzunluğunca) yasaklanır. Komple bir seçimi bütün olarak tabu listesinde saklamak büyük bir bellek israfına neden olur.

Tabu listesi uzunluğu belirlenmesi gereken en önemli parametredir. Liste uzunluğu sabit veya belli bir aralıkta değişken olabilir. En iyi liste uzunluğunu tespit eden kesin bir kural yoktur, deneme yanılma ile tespit edilmeye çalışılır.

Aspirasyon Ölçütü: Aspirasyon ya da tabu yıkma ölçütünün amacı, gerektiğinde bir komşunun tabu durumunu iptal etmektir.

Durdurma kriteri: Önceden belirlenmiş sayıda taşıma yapıldıktan sonra iterasyonu durduran ya da belli sayıdaki taşıma neticesinde küresel bir iyileşme olmamışsa iterasyonu durduran bir araçtır.

Yoğunlaşma Taktiği: Arama uzayının iyi bir bölgesini keşfederek oraya yoğunlaşmayı sağlayan işlemlerdir.

Çeşitlendirme Taktiği: Çözüm uzayının yeni alanlarını keşfetmek için arama işlemlerinde kullanılan mekanizmalardır. Yerel bir bölgede yoğunlaşma taktiği

uygulanmakta iken, belirli bir aşamadan sonra, çözüm uzayının yeni alanlarını incelemek için bu taktik kullanılır.

4.5. Bellek Yapıları

TA'da iki temel bellek yapısı vardır. Yenilik-tabanlı bellek ve frekans-tabanlı bellek yapısı. Bunlar birbirini tamamlar niteliktedir. Yenilik-tabanlı bellek geçmiş en son aramalar müddetince değişen çözümlerin özelliklerini kaydetmek için kullanılan en yaygın bellek tipidir. Bu bellek tipi kısaca tabu listesi şeklinde kullanılır ve kısa süreli belleği teşkil eder. Bu tip bellek sürekli güncellenmeyi gerektirir. Bilgiler bellekte kısa bir süre tutulur ve sonra unutulur.

Uzun dönem belleği oluşturan frekans-tabanlı bellek, yenilik-tabanlı bellek tarafından elde edilen bilgileri tamamlayan bilgiler üretir. Frekans-tabanlı bellek, TA'da önemli iki kavram olan yoğunlaşma ve çeşitliliğin uygulanmasını sağlar. Frekans-tabanlı bellek ile yenilik-tabanlı bellek arasında oluşturulan bu tabii bağ, aramanın yoğunlaşma ve çeşitlilik safhaları arasında gidip-gelmesini sağlar.

4.6. Tabu Listesi Uzunluğu

Tabu listesi uzunluğu belirlenmesi gereken önemli bir parametredir. Liste uzunluğu sabit veya belli bir aralıkta değişken olabilir. En iyi liste uzunluğunu tesbit eden kesin bir kural yoktur; deneme yanılma ile tesbit edilmeye çalışılır. Etkin tabu listesinin uzunluğunun seçimi problem hacmine ve kullanılan taşıma tipine bağlıdır. Ancak bütün problem sınıfları için etkin tabu listesi uzunluğu tasarlayacak tek bir kural yoktur. Tabu listesi uzunluğu bazı deneylerle kolayca belirlenebilir. Aşırı küçük tabu listesi uzunlukları periyodik olarak tekrarlı amaç fonksiyonu değerlerine neden olur. Aşırı büyük tabu listesi uzunlukları ise bulunan çözümlerin kalitelerini kötüleştiren bir etkiye sahiptir. Genellikle, daha uzun tabu listeleri aramayı yerel optimum

civarından uzaklaştırmaya yardım ederken, kısa tabu listesi uzunlukları yerel optimuma “yakın” çözümlerin keşfine yol açar. Aslında tabu listesi uzunluğu bir çeşit yoğunlaşma ve çeşitlendirme fonksiyonu olarak da iş görür. Biraz küçük hacimli komşuluk olması ya da tabu listesi uzunluğunun biraz büyük seçilmesi durumunda, mevcut bütün taşımaların tabu olma olasılığı çok muhtemeldir. Böyle bir halde “en düşük tabu” ya da “en eski tabu” durumlu bir taşımaya izin vermek veya rastgele seçim gibi yöntemlerden birisi kullanılabilir.



5. MOBİL HABERLEŞMEDE KAPASİTE ARTIŞI DURUMUNDA HÜCRE PLANLAMASI

Ele aldığımız problem, artan trafik talebini karşılayacak her yeni baz istasyonunun yerleşimini ve kapasitesini tespit etmeye yöneliktir. Amaç, yeni baz istasyonlarının maliyetini minimize etmektir. Mevcut baz istasyonlarına yeni baz istasyonlarının eklenmesi ile, kapsama alanları, trafik talebinin uygun bölümünü karşılamak için artırılmıştır. Aynı zamanda, baz istasyonunda alınan sinyalin gücü, alıcı hassasiyetini karşılamalıdır. Hücre planlaması, bir tamsayı doğrusal programlama problemi olarak formüle edilmiştir ve bir TA algoritması ile çözülmüştür. TA sınıflandırmasında, ekleme ve çıkarma hareketleri, iki tabu liste ile temsil edilen kısa-dönem bellek ile yapılır. Çeşitlilik, yeni baz istasyonlarının kapasitelerinin uygunluğunu araştırmak ve yeni baz istasyonu yerleşimlerinden TA'yı yeniden başlatmak için kullanılır.

5.1. Giriş

Mobil haberleşme sistemlerinde hücre planlamasında, belirli bir bölgeyi kapsamak, baz istasyonu yerleşimlerini yapmak, her baz istasyonundaki mevcut kanal kapasitesini ve çeşitli potansiyel TDA'lardaki servis kalitesini yorumlamak için trafik talebi dikkate alınmalı, incelenmelidir. İyi baz istasyonları yerleşimleri ve kanallarının seçimi, baz istasyonlarında hem kapsama alanı hem sinyal kalitesi yönünden kabul edilebilir kapsama performansını doğuracaktır. Üzerinde durulan problem, artan trafik talebini karşılayacak baz istasyonlarının sayısı, yerleşimi ve kapasitesinin belirlenmesidir. Kapsama, toplam trafik talebinin belirli bir seviyede karşılanması ve alınan sinyal şiddetinin belirli bir seviyede olması durumunda tatmin edicidir.

Hücresel sistemde kapsamanın optimizasyonuna yönelik araştırmaların çoğu, baz istasyonu yerleşimleri seçimiyle sınırlandırılmaktadır. Baz

istasyonlarının aynı anda servis vermeye başladıkları hesap edilir. Burada, baz istasyonunun iki türü dikkate alınmaktadır. Bazı mevcut baz istasyonları, belirli bir bölgede servis verir durumdadır. Bölgede artan trafik talebi, ek baz istasyonları vasıtası ile kapasite artırımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle her yeni baz istasyonunun yerleşiminin ve kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir.

İkinci bölümde, baz istasyonunun kapasitesi ve potansiyel servis alanı tartışılmaktadır. Hücre planlaması problemi için de bir matematiksel model verilmektedir. Üçüncü bölümde, problemin çözümü için bir TA algoritması verilmektedir. İlk çözümlerin yapılandırılması, sınıflandırılması ve çeşitlendirilmesi stratejileri sınanmaktadır.

5.2. Kapasite Artışı ve Hücre Planlaması

Üzerinde durulan hücre planlaması, artan trafik talebini karşılamak için konulacak her yeni baz istasyonunun yerleşimi ve kapasitesidir. Bu talep, şehirlerde hücre bölünmelerini, şehir dışındaki alanlarda yeni hücre yerleşimlerini gerekli kılar. Bundan dolayı, mevcut bazı TDA'lar, hücre bölünmesi sonrasında yeni baz istasyonları ile çalışmaya başlar. Burada, artan trafik talebi, baz istasyonunun yerleşimi ve kapsama alanı için kapasitesi incelenmektedir.

5.2.1. Bir baz istasyonunun kapasitesi

Bir baz istasyonu kapasitesi, dijital modülasyon, çoklu giriş düzenlemeleri ve diğer gelişmelere bağlı olarak büyük gelişim göstermiştir. AMPS, FDMA ile çalışır. 800 MHz bandında, 50 MHz'lik bir spektrumu kullanır. AMPS'de her kanal bandı 30 kHz'dir. Markette, iki rakip taşıyıcı olduğu kabul edilirse, bir taşıyıcı 416 kanala sahiptir. 21 kanal kontrol amaçlı, diğerleri trafik amaçlı kullanılır. 7-hücre yeniden kullanım modeli kabul edilirse, bir hücredeki

mevcut trafik kanalı sayısı 56 olur. Bu da bloklama olasılığı %2 olduğunda 46 Erlang'lık bir baz istasyonu kapasitesine karşılık gelir.

GSM ise TDMA'nın tipik bir örneğidir. GSM 900, ileri ve geri bağlantılarda 25 MHz'lik birer bant kullanır. Frekans bandı, ARFCN olarak adlandırılan 200 kHz genişliğinde kanallara bölünmüştür. Her kanal, 8 abone tarafından zaman paylaşımı olarak kullanılmaktadır. Her radyo kanalı 8 TS'ye sahip olduğundan, GSM 900 içerisinde 1000 trafik kanalı bulunmaktadır. Pratik uygulamalarda, GSM 900 spektrumunun üst ve alt bitimlerinde 100 kHz'lik bir koruyucu bant bulunmakta ve sadece 124 kanal sağlanmaktadır. AMPS'de olduğu gibi iki şirket olduğu kabul edilirse, her taşıyıcı 62 kanala sahip olur. 4-hücre yeniden kullanım modeli kabul edilirse, bir BTS yaklaşık olarak, 120 TS kullanabilir. Bu da, bloklama olasılığı %2 olduğunda, 107,4 Erlang'a karşılık gelir.

"Interim Standard 95", CDMA'nın standardıdır ve TDMA ve FDMA'ya göre bazı avantajları vardır. FA olarak adlandırılan her CDMA kanalı, spektrumda 1,25 MHz'lik bant işgal eder. Her iki bağlantı (ileri ve geri yönler) için 25 MHz kabul edilirse, kanal sayısı 10 FA olur. 1-hücre yeniden kullanım modeli kabul edilirse, bir hücre 10 FA'ya kadar kullanır. Normalde, bir hücrede 3-4 FA pratikte kullanılır. 4 FA ve her FA için 36 trafik kanalı olduğu kabul edilirse, bir hücrede 144 trafik kanalı olduğu sonucu ortaya çıkar. Sistemde 120° anten kullanılırsa, kapasite 2,5 kat artırılarak 360 trafik kanalına yükseltilir. Bloklama olasılığı %2 olduğunda, her baz istasyonu kapasitesi 345,7 Erlang'a karşılık gelir.

5.2.2. Bir baz istasyonunun potansiyel servis alanı

Bir baz istasyonunun potansiyel servis alanı, baz istasyonunun yeterli kalitede servis verebildiği TDA'lara tekabül eder. Burada, genel mobil radyo çevresindeki genel yayılım yol-kaybı problemleri ile ilgilenilmektedir. Yol-kaybı modeli kullanılarak, alınan sinyalin gücü; iletilen sinyalin gücü, alıcı-

verici arasındaki mesafe, işlem kazançları ve anten yüksekliklerinin fonksiyonu şeklinde ifade edilebilir. Gölgeleme ihmal edilirse, aşağıdaki yayılım modeli potansiyel servis alanları için kullanılabilir. Modelde, yol kaybının üstel mertebesi 4 kabul edilmiştir.

$$P_r = P_t + G_r + G_t + 20\log h_r + 20\log h_t + L - 40\log r \quad [5.1]$$

P_r : alınan güç G_r, G_t : alıcı-vericinin sinyal işleme kazançları
 P_t : iletilen güç h_r, h_t : alıcı-vericinin anten yükseklikleri
 L : gölgeleme için tampon r : alıcı-verici arasındaki mesafe

Sinyal işleme kazancı, işlenmiş sinyalin sinyal-gürültü oranının (SNR), işlenmemiş sinyalin sinyal-gürültü oranına bölümü ile elde edilir.

Bu model kullanılarak, verilen bir alıcı hassasiyeti için hücre alanının yarıçapı hesaplanabilir. Burada, her yeni baz istasyonunun yerleşimi ve kapasitesi ile ilgilenildiğinden, BTS'de TDA'lardan alınan güç dikkate alınmaktadır. Ayrıca UL analizinde, "ortak kanal" ve "komşu kanal" karışmalarının ihmal edilebilir olduğu kabul edilmektedir.

5.2.3. Problemin formülasyonu

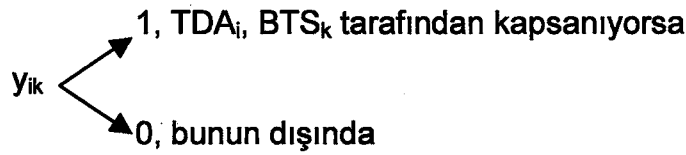
N TDA'dan oluşan belirli bir bölgeye mobil kullanıcıların dağıtıldığını kabul edelim. Her TDA_i 'nin trafik talebi d_i 'dir ($i=1, \dots, N$).

Bölgedeki mevcut baz istasyonlarının sayısının K_1 olduğunu ve baz istasyonlarının BTS_k ($k=1, \dots, K_1$) olarak gösterildiğini kabul edelim (aktif liste). Artan trafik talebini karşılamak için K_2 adet hücre lokasyonu belirlenir (aday liste). Her aday baz istasyonu BTS_k 'nin ($k=K_1+1, \dots, K_1+K_2$) potansiyel yerleşiminin bilindiği kabul edilir. c_k ve M_k sırasıyla her yeni baz istasyonu k 'nin maliyeti ve kapasitesidir. Maliyet ve kapasite, çoklu giriş ve kullanıcı kanallarının sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Baz istasyonu maliyeti c_k 'nin,

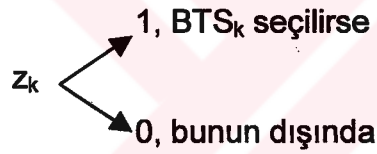
kapasite M_k ve baz istasyonunun yerleşim yerinin durumu ile doğru orantılı olduğu kabul edilir.

Problemi formüle etmek için iki değişkene ihtiyaç duyulur.

y_{ik} : TDA_i ve BTS_k arasındaki kablosuz bağlantı



z_k : BTS_k 'nin seçim değişkeni ($k=1, \dots, K_1+K_2$)



Üzerinde durulan hücre planlaması probleminin amacı, yeni kurulan baz istasyonlarının maliyetlerinin minimize edilmesidir. Dolayısı ile problemin amaç fonksiyonu aşağıdaki ifadenin minimize edilmesidir.

K_1+K_2

$$\sum_{k=K_1+1} c_k z_k$$

$k=K_1+1$

[5.2]

TDA_i , yeni veya mevcut bir baz istasyonu tarafından kapsanabilir. Yeni bir baz istasyonu tarafından, sadece, eğer seçilmişse (aktif listede ise) kapsanabilir. Dolayısıyla,

$$y_{ik} \leq z_k$$

$$i=1, \dots, N \text{ ve } k=1, \dots, K_1+K_2$$

[5.3]

Yukarıdaki sınırlamalarda, mevcut baz istasyonlarının seçildiği kabul edilir.

$$z_k = 1 \quad k=1, \dots, K_1 \quad [5.4]$$

TDA'lardaki artan trafik talebi ve hücre bölünmesi nedeni ile mevcut baz istasyonlarının kapsamasında değişiklik olabilir.

Hücre planlamasında, bölgedeki toplam trafik talebinin kapsama limitinin karşılanması önemlidir. Diğer bir deyişle, toplam beklenen trafik talebinin en azından α kadarı, bölgedeki baz istasyonu setlerince kapsanmalıdır. Bundan dolayı, aşağıdaki sınırlama söz konusudur:

$$\sum_{k=1}^{K_1+K_2} \sum_{i=1}^N d_i y_{ik} \geq \alpha \sum_{i=1}^N d_i \quad [5.5]$$

Bir baz istasyonunca kapsanan TDA'lar göz önüne alınırsa, baz istasyonunca kapsanan toplam trafik talebi kapasiteyi aşamaz. Kapasite sınırlaması aşağıdaki gibi verilebilir.

$$\sum_{i=1}^N d_i y_{ik} \leq M_k z_k \quad k=1, \dots, K_1+K_2 \quad [5.6]$$

Son olarak, TDA'lardan iletilen ve BTS_k'ca alınan sinyal güç şiddeti dikkate alınmaktadır. Radyo yayılımının yol kaybına bağlı olarak, TDA'dan alınan güç BTS_k'nin alıcı hassasiyetini aşmazsa, TDA, BTS_k tarafından kapsanamaz.

$P(i,k)$: TDA_i tarafından iletilen ve BTS_k'da alınan güç

QoS : her baz istasyonunda ihtiyaç duyulan minimum güç seviyesi (29)

Bu iki kavram aşağıdaki yol kaybı sınırlandırması ile ifade edilebilir.

$$P(i,k) \geq QoS \times y_{ik} \quad i=1, \dots, N \text{ ve } k=1, \dots, K_1+K_2 \quad [5.7]$$

Yukarıda bahsedilenler de dikkate alınarak, hücre planlaması problemi aşağıdaki doğrusal tamsayı probleminin minimizasyonu şeklinde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 & \sum_{k=1}^{K_1+K_2} C_k Z_k \\
 & Z_k = 1 \quad k=1, \dots, K_1 \\
 & y_{ik} \leq Z_k \quad i=1, \dots, N \\
 & \sum_{k=1}^{K_1+K_2} \sum_{i=1}^N d_i y_{ik} \geq \alpha \sum_{i=1}^N d_i \\
 & \sum_{i=1}^N d_i y_{ik} \leq M_k Z_k \quad k=1, \dots, K_1+K_2 \\
 & P(i,k) \geq QoS \times y_{ik} \quad i=1, \dots, N \text{ ve } k=1, \dots, K_1+K_2 \quad y_{ik}, z_k \in \{0,1\}
 \end{aligned}$$

Problemde, belirli bir bölgede TDA'ları kapsayan bir dizi baz istasyonu araştırılmaktadır. $\alpha=1$ olduğunda tüm TDA'lar baz istasyonlarınca kapsanmaktadır. Burada, problemin çözümü için TA algoritması kullanılmaktadır.

5.3. Hücre Planlaması Problemi İçin TA Algoritması

TA üç genel kavramı birleştirir :

- Kısa-dönem ve uzun-dönem bellek yapıları
- Tabu sınırlandırmaları ve aspirasyon kriteri
- Yoğunlaşma ve çeşitlilik stratejileri

“Yoğunlaşma stratejileri”, iyi çözümlerinin özelliklerini ve ortamlarını daha iyi çözümler üretebilmek için birleştirmek amacı ile kısa-dönem bellek fonksiyonunu kullanırlar. Bu tür stratejiler, stratejik olarak sınırlanan bölgede en iyi çözümü elde etmek için o bölgeye odaklanırlar. Uzun-dönem bellek

fonksiyonunu kullanan tipik “çeşitlilik stratejileri”, araştırmayı çözüm uzayının ziyaret edilmemiş bölgelerine yönlendirirler.

Burada kısa-dönem bellek, tabu listeleri ve aspirasyon kriteri ışığında uygulanır.

Yakın zamanda ziyaret edilen çözümlerle bazı nitelikleri paylaşan çözümlere dayanan hareketleri yasaklamak için, tabu listesi hareketlerin niteliklerinin kaydını tutar. Daha iyi çözümlerin araştırılmasına yardımcı olmak için belirli periyotlar (veya tabu boyutu) boyunca hareketler yasak kalmaya devam eder. Aspirasyon kriteri, bir hareketin tabu durumunun dikkate alınmamasına, dolayısı ile hareketin yapılmasına imkan tanır.

5.3.1. Başlangıç baz istasyonları ve kapsama

Başlangıç çözümünü elde etmek için iki strateji benimsenir :

- Tüm aday baz istasyonları
- Rastgele uygun (makul) baz istasyonları

İlk yöntemde, baz istasyonları tüm aday hücre lokasyonlarına yerleştirilir. Uygunluk için, ilk önce yeterli sayıda aday hücre lokasyonu, kapasiteyi ve yol-kaybı sınırlamalarını karşılamak için hazırlanır. Her TDA, kapasite ve TDA-BTS arasındaki sinyal gücü dikkate alınarak, en yakın baz istasyonuna tahsis edilir. İkinci yöntemde, baz istasyonları aday hücre lokasyonlarından azalan kapasite sırası ile seçilirler. Kapasite limiti çerçevesinde, her TDA en yakın baz istasyonunca kapsanır. Tüm TDA'lar kapsandığında, baz istasyonları seçimine son verilir.

Buradaki problemin çözümünde ilk yöntem kullanılmıştır, tüm TDA'lar, kapasite ve TDA tarafından iletilen ve BTS'de alınan sinyalin gücü göz önünde bulundurularak BTS'lere bağlanmışlardır.

5.3.2. Kısa-dönem bellek fonksiyonu ile yoğunlaşma stratejisi

TA'da iki türlü hareket tanımlanmaktadır; çıkarma hareketi ve ekleme hareketi. Çıkarma hareketi, aktif baz istasyonunun aday baz istasyonu haline gelmesine sebep olur. Diğer bir deyişle, çıkarılan baz istasyonu, yeniden seçilene kadar TDA'ları kapsayamaz. Çıkarma hareketi, baz istasyonunu aktif listeden aday listeye geçirmek suretiyle gerçekleştirilir. Ekleme hareketi, çıkarma hareketinin tersidir. Ekleme hareketi, TDA'ları kapsamak için bir baz istasyonu seçer. Sonuç olarak, baz istasyonu aday listeden aktif listeye geçer.

İki tabu listesine de dahil edilen kısa-dönem bellek fonksiyonu, BTS_k 'nın aktif veya aday listeye hareketine izin verilen en erken iterasyonu kaydeden bir $Tabu_Zamanı(k)$ dizisi şeklinde yerine getirilir, ifade edilir. Önceki elde edilen sonuçlara gidilmesini önlemek için, baz istasyonunun aday liste veya aktif liste arasındaki hareketine izin vermeden önce geçmesi gereken, sırasıyla T_1 ve T_2 tabu zamanları tanımlanmaktadır. Her iki tabu zamanı, belirli sayıda iterasyonla hesap edilir. Eğer, bir ekleme hareketi ile, BTS_k aday listeden aktif listeye geçerse, $Tabu_Zamanı(k)$ değeri Eş. 5.8'deki gibi ifade edilir.

$$Tabu_Zamanı(k) = Mevcut_İterasyon + T_1 \quad [5.8]$$

Eğer, bir çıkarma hareketi ile, BTS_k aktif listeden aday listeye geçerse, $Tabu_Zamanı(k)$ değeri Eş. 5.9'daki gibi ifade edilir.

$$Tabu_Zamanı(k) = Mevcut_İterasyon + T_2 \quad [5.9]$$

Böylece, $Mevcut_İterasyon \leq Tabu_Zamanı(k)$ ise BTS_k tabu olur. Tabu zamanlarının seçimi, TA algoritması için önemlidir. Tabu zamanları, geçerli iyi nedenlere dayanan deneysel yöntemlerle seçilir.

Çıkarma hareketinde, bir baz istasyonu, baz istasyonu maliyeti c_k ve normalize edilmiş artan kapasite $NRC(k)$ ($NRC(k)=(RC(k)/M_k) \times c_k$) dikkate alınarak, aktif listeden çıkarılmak üzere seçilir. Artan kapasite, toplam kapasitenin baz istasyonu maliyetine eşit olması şeklinde normalize edilir. İki maliyetinin toplamı maksimum olan baz istasyonu aktif listeden aday listeye taşınmak üzere seçilir.

Ekleme hareketinde, bir baz istasyonu, aday listeden kapsamanın ve baz istasyonu maliyetinin karşılaştırılması suretiyle seçilir. Minimum maliyetle, maksimum sayıda TDA kapsayan baz istasyonu listeye eklenmek üzere seçilir.

Yukarıdaki iki hareket, TA algoritmasının 5. ve 8. basamaklarında açıklanmaktadır. Bir çıkarma hareketi sonucunda TDA'ların kapsanması mümkün olmadığında aspirasyon kriteri uygulanır. Bu durumda, tabu durumu önemsenmez ve en küçük Tabu_Zamanı(k) - Mevcut_İterasyon değerindeki baz istasyonu aday listesinden alınarak çözüme eklenir.

5.3.3. TDA'ların yeniden tahsis edilmesi

Yoğunlaşma işleminde, her hareketten sonra yeniden tahsis etme işlemi yapılır. Her çıkarma hareketinden sonra, çıkarılan baz istasyonunca kapsanmakta olan TDA'nın artık diğer bir baz istasyonunca kapsanması gerekmektedir. Bu durumda, her TDA aktif listedeki bir baz istasyonunca kapsanmaktadır ve baz istasyonundan en güçlü sinyal alınmaktadır. Aynı ekleme hareketinden sonra da geçerlidir. Kapsama problemini bertaraf etmek için bir baz istasyonu eklendiğinde, yeni eklenen baz istasyonlarınca hangi TDA'ların kapsanacağı belirlenir. Kapasite karşılandığı sürece, yeni baz istasyonundan aldığı güç mevcut baz istasyonundan aldığı güçten fazla olan her TDA, yeni baz istasyonuna tahsis edilir. Bu iki yeniden tahsis etme işlemi TA algoritmasında 6. ve 9. adımlarda açıklanmaktadır.

5.3.4. Uzun-dönem bellek fonksiyonu ile çeşitlilik stratejisi

Çeşitlilik stratejisi, çözüm uzayında ziyaret edilmemiş bölgelerin araştırılması açısından yararlıdır. Arama işlemini yerel optimallikten kurtarır. Burada, yoğunlaşma işleminde ardarda l_{max} iterasyon için çözüm iyileştirimi olmadığında çeşitlilik kullanılır. İki çeşitlilik stratejisi uygulanır; kapasite çeşitliliği ve kapsama çeşitliliği.

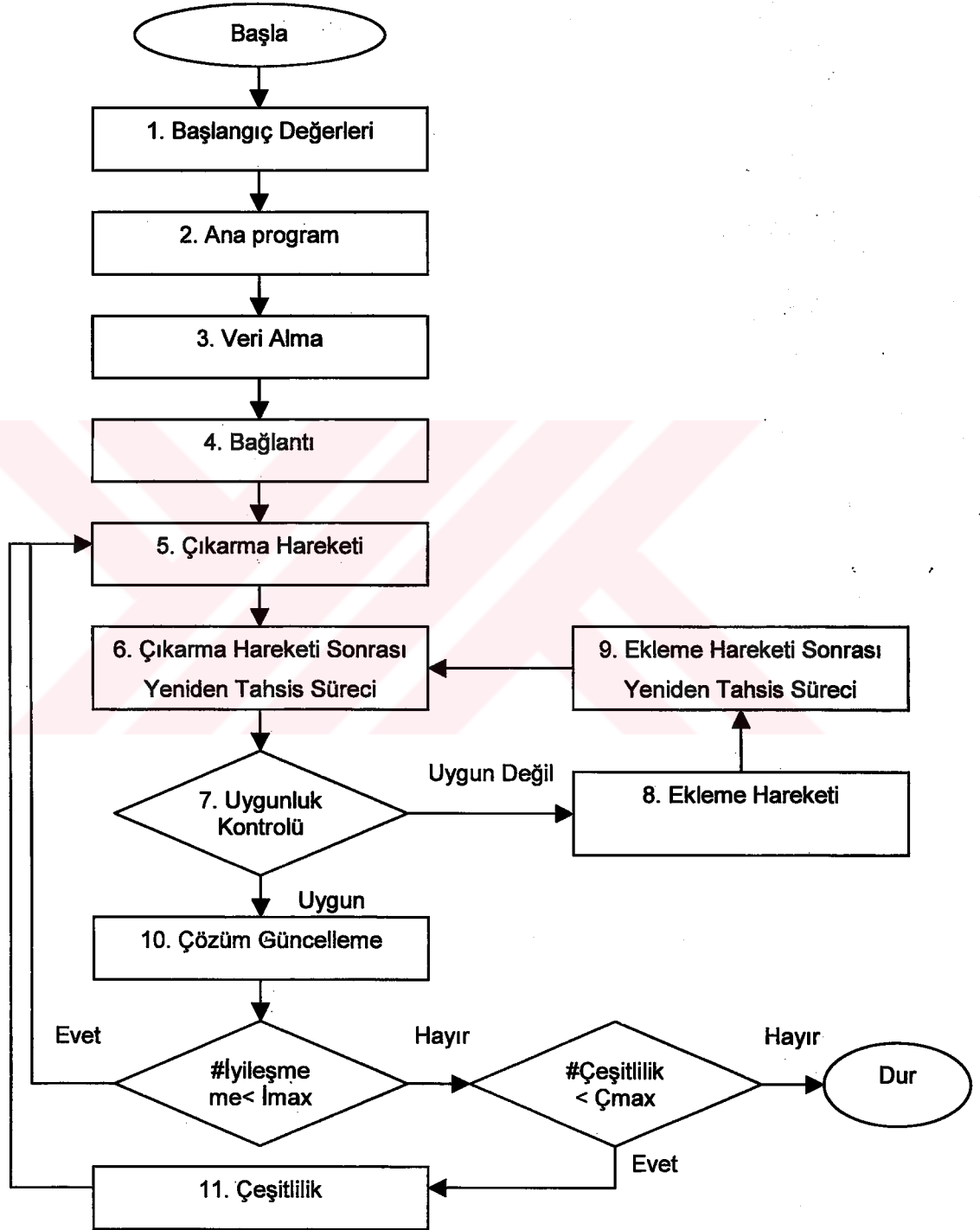
Kapasite çeşitliliği, her yeni baz istasyonunda uygun kapasitenin belirlenmesi yöntemidir. Bir BTS_k , kapasite değişim birimi Δm 'den daha büyük kullanılmayan artık kapasiteye ($RC(k)$) sahipse, bu kapasite Δm kadar düşürülür. Bir baz istasyonunun kapasitesi tamamı ile TDA'ları kapsamak için kullanılıyorsa, bu durumda kapasite bir birim (Δm kadar) artırılır.

Kapsama çeşitliliği, $Aktif_Frekans(k)$ ve $Hareket_Frekans(k)$ kullanılarak yerine getirilir. $Aktif_Frekans(k)$, BTS_k 'nin bir önceki yolda çözüm içinde olduğu iterasyon sayılarını, $Hareket_Frekans(k)$, BTS_k üzerinde gerçekleşen ekleme ve çıkarma hareketlerinin toplam sayısını vermektedir. Kapsama çeşitliliğinde, düşük $Aktif_Frekans(k)$ ve $Hareket_Frekans(k)$ değerli baz istasyonları tercih edilmektedir. Nispeten daha düşük $Aktif_Frekans(k) + Hareket_Frekans(k)$ değerine sahip baz istasyonları, tüm trafik talepleri karşılanıp kapsanana kadar seçilir.

Yukarıdaki iki çeşitlilik stratejisi 11. adımda açıklanmaktadır. Bu stratejiler, baz istasyonlarının uygun kapasitelerini ve TDA'ların daha iyi kapsanmasını araştırmak için tasarlanmışlardır.

TA algoritmasında, esas hesaplama adım 6'da ortaya çıkar. Algoritma, her TDA için K_2 adet baz istasyonunu azalan alınan güce göre sınıflandırır.

5.4. Programın Adımları



Şekil 5.1. Hücre planlaması için önerilen tabu arama algoritması

Adım 1: Başlangıç değerleri

Bu adımda, programda kullanılacak parametreler sisteme girilir, bazılarının başlangıç değerleri de atanır. Bunlar;

Mevcut_iterasyon=0	i
lyileşmeme=0	k
Imax (Maxlyileşmeme)	d[i]
Çeşitlilik=0	M[k]
Çmax (MaxÇeşitlilik)=6	c[k]
T ₁ =1	RC[k]
T ₂ =1	NRC[k]
En_lyi_Maliyet= ∞	z[k]
Kayıtlı_Maliyet= ∞	P[i][k]
Toplam_Trafik_Talebi	y[i][k]
Kapsanan_Trafik	Eval ₁ [k]
Eval ₂ [k]	$\Delta m=5$
V=10	$\Delta c=5$

Adım 2: Ana program

Programın bu bölümünde, baz istasyonu sayısı (k), TDA sayısı (i) ve α katsayısının değeri belirtilir. Tüm BTS'ler için Tabu_Zamanı değeri eksi bir (Tabu_Zamanı(k)=-1), Hareket_Frekansı ve Aktif_Frekans değerleri ise sıfır olarak tanımlanır (Hareket_Frekansı(k)=Aktif_Frekans(k)=0).

Adım 3: Veri alma

Bu adım, programa dışarıdan alınacak başlangıç değerlerinin çağrıldığı adımdır. Burada üç adet dosya çağrılır. Dosyaların isimleri ve içerikleri şöyledir:

Btsler.dat: Bu dosyada, bir önceki adımda belirtilen BTS'lere (k adet) ait kapasite (M_k) ve maliyet (c_k) değerleri bulunmaktadır. Her bir BTS'nin bir kapasite, bir de maliyet değeri vardır. Bu aşamada henüz sistem kurulu olmadığından her BTS için artan kapasite değeri ($RC(k)$), kapasite (M_k) değerine eşittir. Bu durum, bu adımda belirtilir.

Tdalar.dat: Bu dosyada, i adet TDA'nın her biri için trafik talebi değeri (d_i) bulunmaktadır.

Pik.dat: Bu dosyada, her bir TDA için, yine her bir BTS'de alınan sinyal gücü ($P(i,k)$) değerleri, bir matris şeklinde ifade edilmektedir.

"Veri alma" adımında ayrıca, sistemin başlangıç değerleri belirtilir. Sistem henüz kurulu olmadığından, dolayısı ile henüz hiç bir TDA hiç bir BTS'ye bağlanmadığından, y_{ik} değerleri sıfıra eşitlenir ($y_{ik}=0$). Tüm BTS'ler de aday listede olduğundan z_k değerleri de sıfır olarak atanır ($z_k=0$).

Adım 4: Bağlantı

Bu adımda TDA'lar, uygun BTS'lere bağlanırlar. Sistemin ilk kurulumu bu adımda gerçekleşir. Burada ilk önce her bir TDA için BTS'de alınan sinyalin gücü ($P(i,k)$) büyükten küçüğe doğru sıralanır. TDA'dan aldığı sinyalin gücü en büyük olan BTS'nin kapasitesi (M_k) de yeterli ise, söz konusu TDA bu BTS'ye bağlanır ve BTS'nin artan kapasitesi ($RC(k)$), BTS'nin kapasitesinden (M_k), kendisine bağlanan TDA'nın trafik talebinin (d_i) çıkarılması ile elde edilir. Bu durum tüm TDA'lar için uygulanır. Sistemin kurulumundan önce (henüz hiç bir TDA BTS'lere bağlı değil iken) tüm y_{ik} değerleri sıfıra eşittir ($y_{ik}=0$). Bu adım sonrasında birbirine bağlı BTS (k) ve TDA'lar (i) için y_{ik} değeri bir yapılar ($y_{ik}=1$). Bir TDA, birden fazla BTS ile aynı seviyede sinyal gücü ile iletişim kurabilir ama BTS'nin kapasitesi (M_k) elverdiği ölçüde TDA'lar BTS'ye bağlanabilir. Kapasitesi (M_k) yeterli ise bir BTS'ye birden fazla TDA bağlanabilir.

Adım 5: Çıkarma hareketi

Bu adımda, bir önceki adımda başlangıç için kurulan sistemin üzerinde ilk değişiklik gerçekleştirilir. Adım 4'de sistem kurulmuş, TDA'lar BTS'lerin kapasiteleri (M_k) elverdiği ölçüde BTS'lere bağlanmışlardır fakat problemin amacı maliyeti minimize etmek olduğundan ilk kurulan sistem yerine minimum maliyetle bir sistem kurma çabası söz konusudur. Bu nedenle aktif listedeki BTS'ler, Eş. 5.10'da verilen $Eval_1(k)$ değerlerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.

$$Eval_1(k) = c_k + NRC(k) \quad [5.10]$$

Sıralama yapıldıktan sonra $Eval_1(k)$ değeri en büyük olan BTS, eğer $Tabu_Zamanı$ değeri $Mevcut_İterasyon$ değerinden küçükse ya da aspirasyon kriterini sağlıyorsa aktif listeden çıkarılır. Söz konusu BTS artık aday listededir, z_k değeri sıfır yapılır ($z_k=0$). BTS'ye bağlı TDA'lar boşta kalır ve bu TDA'lar ve BTS için y_{ik} değerleri sıfıra eşitlenir ($y_{ik}=0$). Burada, BTS'ye ait $Tabu_Zamanı$ değerinin $Mevcut_İterasyon$ değerinden büyük olması, söz konusu BTS'nin en az bir kez aktif listeden aday listeye ya da tam tersi şekilde aday listeden aktif listeye taşınmış olması anlamına gelmektedir. Bu durum TA algoritması mantığı ile uyushmaktadır. Çünkü, üzerinde çalışılmış, örneğin aktif listeden alınıp aday listeye taşınan bir BTS ile, diğer BTS'ler üzerinde çalışılana değin yeniden ilgilenilmeyecektir. $Tabu_Zamanı$ değeri $Mevcut_İterasyon$ değerinden büyük olan BTS, belirli bir süre yasaklı durumda kalacak, yasaklı kaldığı süre boyunca maliyeti minimize etme çalışması diğer BTS'ler üzerinden yürütülecektir. İşlemler sonrasında aktif listeden aday listeye taşınan BTS'nin $Tabu_Zamanı$ değeri Eş. 5.9'da verildiği şekilde hesaplanır. BTS, aktif listeden aday listeye taşındığı, bir harekete maruz kaldığı için $Hareket_Frekansı(k)$ değeri bir artırılır ($Hareket_Frekansı(k)=Hareket_Frekansı(k)+1$). Söz konusu BTS'ye bağlı olan TDA ya da TDA'lar bir sonraki adımda yeni bir BTS'ye bağlanana dek boşta kalır.

Adım 6: Çıkarma hareketi sonrası yeniden tahsis süreci

Bu adım, bir önceki adımda boşa çıkan TDA'ların BTS ya da BTS'lere bağlandığı adımdır. İlk önce aktif listedeki BTS'ler ($z_k=1$), her TDA için, TDA'dan aldıkları sinyalin gücüne göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Sıralamanın tepesindeki BTS'nin artan kapasitesi ($RC(k)$), söz konusu TDA'nın trafik talebinden (d_i) büyük veya eşitse, TDA bu BTS'ye bağlanır. Değilse, TDA'dan aldığı sinyal gücüne göre büyükten küçüğe doğru sıralanan diğer BTS'ler sırası ile değerlendirilir. TDA, artan kapasitesi ($RC(k)$) söz konusu TDA'nın trafik talebinden (d_i) büyük veya eşit olan BTS'ye bağlanır. Kendisine TDA bağlanan BTS'nin artan kapasitesi ($RC(k)$), söz konusu TDA'nın trafik talebi (d_i) kadar azaltılır.

Adım 7: Uygunluk Kontrolü

Bu adımda, kurulu sistem için kapsanan trafik değerinin, toplam trafik talebini istenen ölçüde karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir. Bahsedilen ölçü α katsayısının değeri ile belirlenmektedir ($0 \leq \alpha < 1$). Kapsanan trafik değeri, Eş. 5.11 ile hesap edilmektedir.

$$\text{kapsanan trafik değeri} = \sum_{k=1}^{K_1+K_2} (M_k - RC(k)) \quad [5.11]$$

Kontrol için aşağıdaki eşitsizlik sınanır:

$$\text{kapsanan trafik} < \alpha \cdot \text{toplam trafik talebi}$$

Kapsanan trafik değeri, toplam trafik talebi değerinin α ile çarpımı ile elde edilen değerden küçükse "ekleme hareketi" adımına, aksi halde "çözüm güncelleme" adımına geçilir.

Adım 8: Ekleme Hareketi

Bu adımda, aday listedeki ($z_k=0$) BTS'ler için $Eval_2(k)$ ve $T_Asp(k)$ değerleri Eş. 5.12 ve Eş. 5.13 kullanılarak hesaplanır:

$$Eval_2(k)=(BTS_k \text{ tarafından kapsanabilecek TDA sayısı}) / c_k \quad [5.12]$$

$$T_Asp(k)=(BTS_k \text{ tarafından kapsanabilecek TDA'ların } d_i \text{ değerleri toplamı}) / M_k \quad [5.13]$$

$Eval_2(k)$ değerleri büyükten küçüğe doğru sıralanır. İlk önce en büyük $Eval_2(k)$ değerine sahip BTS için $Tabu_Zamanı(k)$ değerinin Mevcut_İterasyon değerinden küçük olup olmadığına, bu şart sağlanmıyor ise $T_Asp(k)$ değerinin bire eşit ($T_Asp(k)=1$) olup olmadığına bakılır (aspirasyon kriteri). İki şarttan birini sağlaması durumunda bu BTS aktif listeye eklenmek üzere seçilir. Aksi halde, sırası ile diğer BTS'ler incelenir, şartlardan en az birisini sağlayan BTS seçilir. Seçilen BTS için z_k değeri bir yapılır ($z_k=1$). İşlemler sonrasında taşınan BTS'nin $Tabu_Zamanı$ değeri, Eş. 5.8'deki gibi hesaplanır. BTS, aday listeden aktif listeye taşındığı, bir harekete maruz kaldığı için $Hareket_Frekansı(k)$ değeri bir artırılır ($Hareket_Frekansı(k)=Hareket_Frekansı(k)+1$).

Adım 9: Ekleme hareketi sonrası yeniden tahsis süreci

Bu adımda, bir önceki adımda aday listeden aktif listeye taşınan BTS'ye TDA ya da TDA'lar bağlanır. Burada ilk önce, her bir TDA için, yeni eklenen BTS'de alınan sinyalin gücünün ($P(i,yeni)$), TDA'nın o anda bağlı olduğu BTS'de alınan sinyal gücünden daha büyük olup olmadığı kontrol edilir. Kurulu sistemde TDA'lar belirli BTS'lere bağlıdır ve bu bağlantı TDA için BTS'de alınan sinyalin gücü dikkate alınarak yapılmıştır. Burada, artık sisteme yeni bir BTS eklendiğine göre, bu BTS'nin TDA'lardan, TDA'ların bağlı olduğu BTS'lerden daha büyük bir sinyal gücü alması ihtimali vardır. Bu

ihtimal değerlendirilir. Yeni eklenen BTS'nin, TDA'dan, TDA'nın bağlı olduğu BTS'nin aldığı sinyal gücünden daha büyük bir sinyal gücü alması durumunda, artan kapasitesi ($RC(k)$) de TDA'nın trafik talebinden (d_i) büyük veya eşitse bu TDA yeni BTS'ye bağlanır. TDA'nın eklendiği BTS'nin artan kapasite değeri ($RC(k)$), TDA'nın trafik talebi değeri (d_i) kadar azaltılır. TDA'nın önceden bağlı olduğu BTS'ye hala başka TDA ya da TDA'ların bağlı olup olmadığına bakılır (çünkü, kapasitesi (M_k) yeterli ise bir BTS'ye birden fazla TDA'nın bağlanması mümkündür). Kendisine bağlı TDA yoksa bu BTS aktif listeden aday listeye taşınır, z_k değeri sıfır yapılır ($z_k=0$). Artan kapasite değeri ($RC(k)$), TDA'nın trafik talebi değeri (d_i) kadar artırılır. Buradan, adım 6'ya gidilir.

Adım 10: Çözüm Güncelleme

Bu adımda, öncelikle aktif listedeki ($z_k=1$) tüm BTS'lerin toplam maliyetleri hesap edilir (yeni toplam maliyet) ve aktif listedeki tüm BTS'lerin Aktif_Frekans(k) değerleri bir artırılır ($Aktif_Frekans(k)=Aktif_Frekans(k)+1$). Yeni_Toplam_Maliyet değeri, En_İyi_Toplam_Maliyet değerinden küçük ise, yeni toplam maliyet, En_İyi_Toplam_Maliyet olarak alınır. İyileşmeme değeri sıfır atanır, çünkü yeni maliyetin değeri bir öncekinden daha düşüktür, dolayısı ile bir iyileştirme söz konusudur. Buradan “çıkarma hareketi” adımına gidilir. Yeni_Toplam_Maliyet değeri, En_İyi_Toplam_Maliyet değerinden küçük değil ise, iyileşmeme değeri bir artırılır ($iyileşmeme=iyileşmeme+1$).

İyileşmeme değeri I_{max} değerinden küçük ise “çıkarma hareketi” adımına gidilir.

İyileşmeme değeri I_{max} değerine eşit ve En_İyi_Toplam_Maliyet değeri, Kayıtlı_Toplam_Maliyet değerinden küçük ise En_İyi_Toplam_Maliyet değeri, Kayıtlı_Toplam_Maliyet değerine atanır. En_İyi_Toplam_Maliyet değeri ise sonsuz olarak alınır.

Çeşitlilik değeri, $\zeta_{\max}$ değerinden küçük ise “Çeşitlilik” adımına gidilir, aksi halde program sonlandırılır.

Adım 11: Çeşitlilik

Bu adımda, iki çeşitlilik stratejisi uygulanır:

(i) Kapasite çeşitliliği:

Δm : bir BTS'deki birim kapasite değişimi

Δc : bir BTS'deki birim maliyet değişimi

v_k : artırılan ya da azaltılan birimlerin sayısı ($0 \leq v_k \leq V$)

Bir önceki adımda aktif listede bulunan BTS'ler bu adımda incelenir.

Aktif listede her bir BTS'ye ait $RC(k)$ değeri Δm değerinden büyükse ve v_k değeri sıfırdan büyük ise ($RC(k) > \Delta m$ ve $v_k > 0$) koşulu sağlayan BTS'ye ait kapasite değeri (M_k), Δm kadar, maliyet değeri (c_k), Δc kadar azaltılır. v_k değeri bir artırılır.

Yine, aktif listede her bir BTS'ye ait $RC(k)$ değeri sıfıra eşit ise ve v_k değeri V 'den küçük ise ($RC(k) = 0$ ve $v_k < V$) koşulu sağlayan BTS'ye ait kapasite değeri (M_k), Δm kadar, maliyet değeri (c_k), Δc kadar artırılır. v_k değeri bir artırılır.

(ii) Kapsama çeşitliliği:

Aktif listedeki tüm BTS'ler aktif listeden aday listeye taşınır, tüm BTS'lere ait $RC(k)$ değerleri $M(k)$ değerlerine, tüm y_k ve z_k değerleri sıfıra eşitlenir ($RC(k) = M_k$ ve $y_k = z_k = 0$). Artık kapsanan bir trafik söz konusu olmadığından, Kapsanan_Trafik değeri de sıfıra eşitlenir ($Kapsanan_Trafik = 0$). Tüm BTS'ler, $Hareket_Frekans(k) + Aktif_Frekans(k)$ toplam değerine göre

azalandan artana doğru sıraya dizilir. Sırası ile en az Hareket_Frekansı(k)+Aktif_Frekans(k) toplam değerine sahip BTS'lere, kapasiteleri (M_k) yettiği ölçüde, Kapsanan_Trafik değeri $\alpha \times \text{Toplam_Trafik_Talebi}$ değerinden büyük ya da bu değere eşit oluncaya dek, d_i trafik talebi değerine sahip TDA'lar bağlanır. Kapsanan_Trafik değeri $\alpha \times \text{Toplam_Trafik_Talebi}$ değerinden büyük ya da bu değere eşit olduğu an TDA'ların BTS'lere bağlanması işlemine son verilir ve tüm BTS'lere ait yeni M_k , $RC(k)$ ve c_k değerleri göz önünde bulundurularak $NRC(k)$ değerleri hesaplanır, iyileşmeme, Hareket_Frekansı(k) ve Aktif_Frekans(k) değerleri de sıfıra eşitlenir (iyileşmeme=Hareket_Frekansı(k)=Aktif_Frekans(k)=0). Çeşitlilik değeri bir artırılır ve Çıkarma_Hareketi adımına gidilir.



6. BİLGİSAYAR PROGRAMI SİMÜLASYONU VE NÜMERİK SONUÇLAR

5. bölümde verilen denklemlere dayanarak ve Şekil 5.1'deki algoritma dikkate alınarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. "Hücre Planlaması İçin Önerilen TA Algoritması" isimli söz konusu program C++ programlama dili ile yazılmıştır.

Türkiye'de hizmet vermekte olan mevcut dört operatörden ikisi (A ve B operatörleri) GSM 900, diğer ikisi de (C ve D operatörleri) GSM 1800 operatörüdür.

GSM 900, ileri ve geri bağlantılarda 25 MHz'lik birer bant kullanır. Frekans bandı, ARFCN olarak adlandırılan 200 kHz genişliğindeki kanallara bölünmüştür. Pratik uygulamalarda, GSM 900 spektrumunun üst ve alt bitimlerinde 100 kHz'lik bir koruyucu bant bulunmakta ve sadece 124 trafik kanalı sağlanmaktadır. Türkiye'de iki operatör olduğu kabul edilirse, her operatör 62 kanala sahip olur. 3-hücre yeniden kullanım modeli kabul edilirse, bir BTS, ortalama 165 TS kullanabilir. Bu da, bloklama olasılığı %2 olduğunda, 151,57 Erlang'a karşılık gelir.

Gerçekte ise Türkiye'de GSM 900 trafik kanalları dağılımı şu şekildedir:

- A operatörü 50 kanal
- B operatörü 50 kanal
- C operatörü 6 kanal
- D operatörü 6 kanal

Dolayısı ile toplam 112 kanal kullanılmakta olup, 12 kanal henüz hiç bir operatör tarafından kullanılmamaktadır (toplam 124 trafik kanalı var).

C ve D operatörleri GSM 1800 operatörü olmalarına rağmen, açık alanlarda (otoyollar, şehirler arası yollar gibi) daha uzak noktaları aynı hücre bünyesinde kapsayabilmek için GSM 900 kanalları kullanmaktadır. Frekans arttıkça yol kaybı artmaktadır. Bu nedenle geniş alanları kapsamak GSM 900 sistemi ile daha kolaydır. Frekans düşük olduğundan yol kaybı da düşüktür ve BTS'nin servis verebileceği alan büyümektedir. Açık alanları kapsayan bir hücrenin kapsama mesafesini maksimuma çıkarmak ve mümkün olduğunca büyük bir alanı tek BTS ile kapsamak için GSM 1800 operatörleri de 6'şar adet GSM 900 kanalı kullanmaktadır.

GSM 1800, ileri ve geri bağlantılarda 75 MHz'lik birer bant kullanır. Frekans bandı, ARFCN olarak adlandırılan 200 kHz genişliğinde kanallara bölünmüştür. Pratik uygulamalarda, GSM 1800 spektrumunun üst ve alt bitimlerinde 100 kHz'lik bir koruyucu bant bulunmakta ve sadece 374 trafik kanalı sağlanmaktadır. Türkiye'de iki operatör olduğu kabul edilirse, her operatör 187 kanala sahip olur. 3-hücre yeniden kullanım modeli kabul edilirse, bir BTS, ortalama 498 TS kullanabilir. Bu da, bloklama olasılığı %2 olduğunda, 484,43 Erlang'a karşılık gelir.

Gerçekte ise Türkiye'de GSM 1800 trafik kanalları dağılımı şu şekildedir:

- C operatörü 75 kanal
- D operatörü 75 kanal

Toplam 150 kanal kullanılmakta olup, 224 kanal henüz hiç bir operatör tarafından kullanılmamaktadır (toplam 374 trafik kanalı var).

Program, Osmaniye ilinde bir operatörün kapsadığı TDA sayısı ve kullandığı TRU sayısı dikkate alınarak aşağıdaki veriler ile çalıştırılmıştır. Bu ilde kullanılan TDA sayısı 19'dur. Burada, 19 adet TDA'nın ($i=19$) kapsanması için toplam 30 adet BTS ($k=30$) üzerinde çalışılacaktır. TRU, BTS kapasitesini doğrudan etkileyen bir kavramdır. 1 TRU, 8 adet kanal içerir, her

bir kanal da 8 TS'ye bölünmüştür. BTS'ler, 2, 3, 4, 6 ve 12 TRU içerebilirler (30).

Adım 2'de $i=19$, $k=30$ ve $\alpha=0,90$ değerleri girilir. Program ilk önce $\alpha=0,90$ daha sonra $\alpha=0,94$ ve $\alpha=0,99$ değerleri için çalıştırılacaktır. Burada α , kapsama çarpanıdır. $\alpha=1$ olduğu durumda tüm trafik talebi karşılanır, diğer bir deyişle, trafik talebinde bulunan tüm TDA'lar kapsanır.

Adım 3'de BTS'lere ait girilen M_k , c_k değerleri aşağıdaki gibidir. BTS kapasitesi M_k 'nin birimi Erlang, BTS maliyeti c_k 'nin birimi 1 000 \$ olarak kabul edilmiştir.

Burada BTS'lerin kapasiteleri (M_k), sahip oldukları varsayılan TRU sayısına göre hesap edilmiştir. TRU sayılarının 2, 3, 4 ve 6 olduğu varsayılmıştır. Başlangıç çözümünde kullanılan TRU sayısı 73'dür.

BTS'nin sahip olduğu TRU'lardan ilkinde 2 adet, kalan TRU'larda ise 1'er adet kontrol kanalı bulunur. Örneğin 4 TRU'ya sahip bir BTS, $6+7+7+7=27$ trafik kanalına sahiptir. Bu rakam 8 TS ile çarpılırsa söz konusu BTS'nin 216 adet kanala sahip olduğu kabul edilir. Bu da, 202 Erlang'lık kapasiteye karşılık gelmektedir. TRU sayılarına karşılık gelen kapasite (M_k) değerleri şu şekildedir:

<u>TRU</u>	<u>M_k</u>
2	92
3	146
4	202
6	314

BTS'lerin maliyetleri (c_k) ise, sahip oldukları TRU sayıları ve önceki bölümlerde bahsedilen BTS'lerin konulacağı noktalar (yerleşim yerleri) ile ilgili maliyetler dikkate alınarak verilmiştir.

k	M _k	C _k	k	M _k	C _k	k	M _k	C _k
0	146	45	10	146	41	20	146	39
1	146	40	11	202	47	21	202	48
2	92	30	12	202	52	22	92	32
3	202	50	13	202	53	23	202	56
4	146	43	14	202	55	24	314	50
5	92	35	15	202	48	25	146	50
6	202	53	16	202	49	26	202	38
7	314	60	17	314	59	27	202	50
8	146	50	18	202	51	28	314	60
9	146	43	19	146	43	29	92	31

TDA'lara ait girilen d_i değerleri ise aşağıdaki gibidir. Trafik talebi d_i 'nin birimi Erlang'dır.

i	d_i	i	d_i	i	d_i	i	d_i
0	100	5	125	10	150	15	100
1	150	6	90	11	100	16	120
2	200	7	225	12	125	17	200
3	250	8	200	13	300	18	115
4	75	9	200	14	125		

Program başlangıcında, her bir TDA için, yine her bir BTS'de alınan sinyal gücü ($P(i,k)$) değerleri, bir matris şeklinde aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. Buradaki değerler rastgele oluşturulmuştur. Gerçekte, BTS ve TDA arasındaki sinyal gücü (-) 43 ve (-) 110 dBm arasındadır. Burada, en güçlü sinyali 110 dBm, en zayıf sinyali ise 43 dBm temsil etmektedir. Aşağıdaki matriste yer alan değerler 0-30 aralığında verilmiştir. 43-110 dBm aralığı, 30 parçaya ayrılmıştır. 30 değeri (en güçlü sinyal değeri), 110 dBm civarı sinyal gücüne, 0 değeri (en zayıf sinyal değeri) de 43 dBm civarı sinyal gücüne karşılık gelmektedir.

	0	20	10	1	11	6	16	18	21	29	8	13	3	17	22	12	5	25	14	23	15	26	19	24	9	7	28	30	2	27
	28	22	14	16	1	4	25	15	18	7	3	21	20	27	19	17	5	10	26	23	29	6	30	9	8	11	24	0	12	13
	17	11	30	0	29	14	7	16	15	19	21	18	24	13	2	25	22	26	20	10	28	8	9	23	6	12	27	4	3	1
	11	22	3	21	10	0	20	7	15	17	30	2	5	6	16	13	8	14	4	23	12	27	26	28	24	18	9	29	1	19
	26	20	28	29	11	13	7	0	6	21	9	17	24	30	5	27	18	23	16	1	10	3	12	25	15	19	22	2	8	4
	9	24	19	3	30	17	10	12	28	1	15	26	14	18	20	16	0	4	11	25	21	13	7	2	29	27	23	22	6	5
	17	16	19	15	7	13	12	26	8	24	2	21	28	27	4	20	11	5	10	9	1	6	18	30	25	29	22	14	0	23
	6	0	21	7	24	15	2	8	28	11	18	5	25	29	22	27	9	30	10	13	26	3	17	23	20	19	1	4	12	14
	20	28	22	7	5	0	1	8	14	12	23	4	30	24	27	18	29	6	2	21	26	15	11	25	9	19	10	3	16	17
$P_{ik} =$	2	0	16	17	19	9	29	12	15	3	18	11	21	22	23	25	4	8	28	5	1	10	24	14	13	20	26	30	7	6
	19	10	27	30	12	15	6	5	26	11	28	18	20	8	21	29	25	16	9	23	7	1	24	3	13	17	2	22	14	4
	7	22	26	9	0	15	20	1	21	12	2	24	4	6	14	16	13	11	27	29	8	10	30	19	25	17	5	3	28	23
	20	15	16	8	28	1	2	6	23	30	19	27	5	25	3	13	22	0	18	12	14	17	29	4	24	7	9	11	10	26
	20	27	5	12	1	19	30	25	16	14	24	0	18	15	7	29	22	28	23	3	26	10	17	4	6	21	13	2	8	11
	12	0	22	8	1	9	11	23	3	15	27	5	20	6	19	14	16	21	28	25	7	2	4	29	10	17	26	30	24	18
	29	5	4	17	8	10	26	13	3	18	23	21	24	12	9	22	28	1	16	20	30	0	6	14	7	15	2	11	25	27
	10	1	9	14	0	3	26	4	13	19	27	2	28	20	24	22	5	17	21	18	16	8	11	23	7	30	29	12	6	15
	4	29	7	9	1	28	25	3	30	22	23	17	14	10	20	5	24	6	0	12	16	27	2	21	26	13	18	19	15	8
	2	4	12	16	10	24	0	13	7	3	22	28	27	11	1	20	29	8	6	15	18	26	23	9	14	17	25	19	5	30

$\alpha=0,90$ için;

Bağlantı adımı (Adım 4) sonrasında sistemin başlangıç durumundaki TDA ve BTS bağlantıları aşağıdaki gibidir.

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	$T_Z(k)$	$H_F(k)$	$A_F(k)$
0	0	146	146	45	-1	0	0
0	1	146	146	40	-1	0	0
0	2	92	92	30	-1	0	0
1	3	202	52	50	-1	0	0
1	4	146	21	43	-1	0	0
0	5	92	92	35	-1	0	0
1	6	202	2	53	-1	0	0
1	7	314	14	60	-1	0	0
0	8	146	146	50	-1	0	0
1	9	146	21	43	-1	0	0
0	10	146	146	41	-1	0	0
0	11	202	202	47	-1	0	0

1	12	202	2	52	-1	0	0
1	13	202	127	53	-1	0	0
0	14	202	202	55	-1	0	0
0	15	202	202	48	-1	0	0
1	16	202	87	49	-1	0	0
1	17	314	89	59	-1	0	0
1	18	202	77	51	-1	0	0
1	19	146	46	43	-1	0	0
1	20	146	46	39	-1	0	0
1	21	202	2	48	-1	0	0
0	22	92	92	32	-1	0	0
1	23	202	112	56	-1	0	0
1	24	314	64	50	-1	0	0
1	25	146	26	50	-1	0	0
1	26	202	2	38	-1	0	0
1	27	202	102	50	-1	0	0
0	28	314	314	60	-1	0	0
0	29	92	92	31	-1	0	0

Adım 4 sonrasındaki toplam En_İyi_Maliyet değeri 887'dir. Kapsanan_Trafik değeri ise 2800'dür. Programın bundan sonraki bölümleri, sistemin bu ilk kurulum değerlerinden 887 olan toplam maliyet değerini daha aşağıya çekmek, dolayısı ile, TDA'ların, mümkün olan en az maliyet ile kapsanmasını sağlamaktır.

$\alpha=0,90$ için, kapsama limiti değeri;

$$\text{Toplam_Trafik_Talebi} \times 0,90 = 2950 \times 0,90 = 2655$$

olarak hesaplanır.

Program çalıştırıldığında sonuçlar farklı "Çeşitlilik" değerleri için aşağıdaki şekilde alınmaktadır.

Çeşitlilik=0;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	12	49
0	2	92	92	30	0	17	314	214	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	12	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=0 için toplam En İyi Maliyet değeri 772'dir.

Çeşitlilik=1;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	0	15	202	202	48
1	1	146	21	40	1	16	202	52	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	2	50	1	18	202	82	51
0	4	146	146	43	0	19	146	146	43

1	5	92	2	35	0	20	146	146	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
1	8	146	21	50	1	23	202	2	56
0	9	146	146	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	0	25	146	146	50
1	11	202	87	47	0	26	202	202	38
0	12	202	202	52	0	27	202	202	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=1 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 817'dir.

Çeşitlilik=2;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	0	16	202	202	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
0	3	202	202	50	1	18	202	2	51
1	4	146	21	43	1	19	146	21	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	52	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	46	43	1	24	314	14	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
1	11	202	87	47	1	26	202	2	38
1	12	202	112	52	1	27	202	52	50
0	13	202	202	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=2 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 774'dür.

Çeşitlilik=3;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	1	15	202	12	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	2	51
0	4	146	21	43	0	19	146	146	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
0	6	202	52	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
1	8	146	21	50	1	23	202	77	56
1	9	146	46	43	1	24	314	64	50
1	10	146	26	41	0	25	146	146	50
1	11	202	77	47	1	26	202	2	38
0	12	202	202	52	0	27	202	202	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=3 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 818'dir.

Çeşitlilik=4;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
0	3	202	202	50	0	18	202	202	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39

1	6	202	52	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	2	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
1	11	202	2	47	1	26	202	27	38
1	12	202	112	52	1	27	202	2	50
0	13	202	202	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=4 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 821'dir.

Çeşitlilik=5;

z _k	k	M _k	RC(k)	c _k	z _k	k	M _k	RC(k)	c _k
1	0	146	46	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	2	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
0	6	202	202	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	77	56
0	9	146	146	43	1	24	314	99	50
0	10	146	146	41	0	25	146	146	50
1	11	202	77	47	1	26	202	2	38
1	12	202	82	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=5 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 829'dur.

Çeşitlilik=6;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	0	18	202	202	51
1	4	146	21	43	0	19	146	146	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
0	9	146	146	43	1	24	314	89	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
1	11	202	2	47	1	26	202	2	38
1	12	202	37	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=6 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 782'dir.

$\alpha=0,90$ için maliyetin en düşük değeri (772), Çeşitlilik=0 için elde edilmiştir.

$\alpha=0,94$ için;

Bağlantı adımı (Adım 4) sonrasında sistemin başlangıç durumundaki TDA ve BTS bağlantıları aşağıdaki gibidir.

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	$T_Z(k)$	$H_F(k)$	$A_F(k)$
0	0	146	146	45	-1	0	0
0	1	146	146	40	-1	0	0
0	2	92	92	30	-1	0	0

1	3	202	52	50	-1	0	0
1	4	146	21	43	-1	0	0
0	5	92	92	35	-1	0	0
1	6	202	2	53	-1	0	0
1	7	314	14	60	-1	0	0
0	8	146	146	50	-1	0	0
1	9	146	21	43	-1	0	0
0	10	146	146	41	-1	0	0
0	11	202	202	47	-1	0	0
1	12	202	2	52	-1	0	0
1	13	202	127	53	-1	0	0
0	14	202	202	55	-1	0	0
0	15	202	202	48	-1	0	0
1	16	202	87	49	-1	0	0
1	17	314	89	59	-1	0	0
1	18	202	77	51	-1	0	0
1	19	146	46	43	-1	0	0
1	20	146	46	39	-1	0	0
1	21	202	2	48	-1	0	0
0	22	92	92	32	-1	0	0
1	23	202	112	56	-1	0	0
1	24	314	64	50	-1	0	0
1	25	146	26	50	-1	0	0
1	26	202	2	38	-1	0	0
1	27	202	102	50	-1	0	0
0	28	314	314	60	-1	0	0
0	29	92	92	31	-1	0	0

Adım 4 sonrasındaki toplam En_İyi_Maliyet değeri 887'dir. Kapsanan_Trafik değeri ise 2800'dür. Programın bundan sonraki bölümleri, sistemin bu ilk kurulum değerlerinden 887 olan toplam maliyet değerini daha aşağıya

çekmek, dolayısı ile, TDA'ların, mümkün olan en az maliyet ile kapsanmasını sağlamaktır.

$\alpha=0,94$ için, kapsama limiti değeri;

$$\text{Toplam_Trafik_Talebi} \times 0,94 = 2950 \times 0,94 = 2773$$

olarak hesaplanır.

Program çalıştırıldığında sonuçlar farklı Çeşitlilik değerleri için aşağıdaki şekilde alınmaktadır.

Çeşitlilik=0;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	14	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	12	50
0	13	202	202	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=0 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 778'dir.

Çeşitlilik=1;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	2	51
1	4	146	21	43	0	19	146	146	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
1	6	202	52	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	112	56
0	9	146	146	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	0	25	146	146	50
0	11	202	202	47	1	26	202	2	38
1	12	202	82	52	1	27	202	102	50
1	13	202	2	53	1	28	314	14	60
0	14	202	202	55	0	29	92	2	31

Çeşitlilik=1 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 858'dir.

Çeşitlilik=2;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	1	16	202	2	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32

0	8	146	146	50	1	23	202	112	56
1	9	146	21	43	1	24	314	189	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	0	26	202	202	38
1	12	202	87	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=2 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 884'dür.

Çeşitlilik=3;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	64	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	112	56
1	9	146	21	43	1	24	314	189	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	0	26	202	202	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=3 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 884'dür.

Çeşitlilik=4;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	21	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
1	5	92	2	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	0	21	202	202	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
1	11	202	2	47	0	26	202	202	38
1	12	202	2	52	0	27	202	202	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=4 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 857'dir.

Çeşitlilik=5;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	1	15	202	127	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	0	18	202	202	51
1	4	146	21	43	0	19	146	146	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32

0	8	146	146	50	1	23	202	112	56
0	9	146	146	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	0	25	146	146	50
1	11	202	77	47	1	26	202	2	38
1	12	202	82	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	1	28	314	14	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=5 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 902'dir.

Çeşitlilik=6;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	2	50	1	18	202	2	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
0	6	202	202	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
0	9	146	146	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
1	11	202	77	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	12	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=6 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 780'dir.

$\alpha=0,94$ için maliyetin en düşük değeri (778), Çeşitlilik=0 için elde edilmiştir.

$\alpha=0,99$ için;

Bağlantı adımı (Adım 4) sonrasında sistemin başlangıç durumundaki TDA ve BTS bağlantıları aşağıdaki gibidir.

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	112	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
1	13	202	127	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Adım 4 sonrasındaki toplam $En_lyi_Maliyet$ değeri 887'dir. $Kapsanan_Trafik$ değeri ise 2800'dür. Programın bundan sonraki bölümleri, sistemin bu ilk kurulum değerlerinden 887 olan toplam maliyet değerini daha aşağıya çekmek, dolayısı ile, TDA'ların, mümkün olan en az maliyet ile kapsanmasını sağlamaktır.

$\alpha=0,99$ için, kapsama limiti değeri;

$$Toplam_Trafik_Talebi_{0,99} = 2950 \times 0,99 = 2920,5$$

olarak hesaplanır.

Program çalıştırıldığında sonuçlar farklı Çeşitlilik değerleri için aşağıdaki şekilde alınmaktadır.

Çeşitlilik=0;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	77	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	1	25	146	26	50
1	11	202	52	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
1	13	202	37	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=0 için toplam En İyi Maliyet değeri 878'dir.

Çeşitlilik=1;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
1	2	92	17	30	1	17	314	89	59

1	3	202	52	50	0	18	202	202	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
1	11	202	52	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
0	13	202	202	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	1	29	92	2	31

Çeşitlilik=1 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 876'dır.

Çeşitlilik=2;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
1	1	146	46	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	2	51
1	4	146	21	43	0	19	146	146	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
1	8	146	21	50	1	23	202	112	56
1	9	146	26	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	0	25	146	146	50
0	11	202	202	47	1	26	202	52	38
1	12	202	2	52	0	27	202	202	50
1	13	202	127	53	0	28	314	314	60

1 14 202 2 55 0 29 92 92 31

Çeşitlilik=2 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 891'dir.

Çeşitlilik=3;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	2	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	127	50	1	18	202	2	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	21	39
0	6	202	202	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
1	11	202	87	47	1	26	202	112	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	1	28	314	164	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=3 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 928'dir.

Çeşitlilik=4;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	1	15	202	2	48
0	1	146	146	40	1	16	202	52	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	127	50	0	18	202	202	51

1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	77	56
0	9	146	146	43	1	24	314	99	50
1	10	146	26	41	1	25	146	31	50
0	11	202	202	47	0	26	202	202	38
1	12	202	2	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=4 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 844'dür.

Çeşitlilik=5;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
0	0	146	146	45	0	15	202	202	48
0	1	146	146	40	1	16	202	87	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	52	50	1	18	202	52	51
1	4	146	21	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	1	20	146	46	39
1	6	202	2	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	0	23	202	202	56
0	9	146	146	43	1	24	314	64	50
1	10	146	21	41	1	25	146	26	50
0	11	202	202	47	1	26	202	2	38
1	12	202	2	52	1	27	202	12	50
1	13	202	2	53	0	28	314	314	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=5 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 829'dur.

Çeşitlilik=6;

z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k	z_k	k	M_k	$RC(k)$	c_k
1	0	146	46	45	1	15	202	2	48
1	1	146	21	40	1	16	202	52	49
0	2	92	92	30	1	17	314	89	59
1	3	202	37	50	1	18	202	2	51
0	4	146	146	43	1	19	146	46	43
0	5	92	92	35	0	20	146	146	39
0	6	202	202	53	1	21	202	2	48
1	7	314	14	60	0	22	92	92	32
0	8	146	146	50	1	23	202	77	56
1	9	146	21	43	1	24	314	64	50
0	10	146	146	41	0	25	146	146	50
1	11	202	87	47	1	26	202	82	38
0	12	202	202	52	1	27	202	102	50
1	13	202	52	53	1	28	314	114	60
0	14	202	202	55	0	29	92	92	31

Çeşitlilik=6 için toplam En_İyi_Maliyet değeri 890'dır.

$\alpha=0,99$ için maliyetin en düşük değeri (829), Çeşitlilik=5 için elde edilmiştir.

Bağlantı adımı (Adım 4) sonrasındaki toplam En_İyi_Maliyet değeri 887'dir. Kapsanan_Trafik değeri ise 2800'dür. Program sırası ile $\alpha=0,90$, $\alpha=0,94$ ve $\alpha=0,99$ için çalıştırılmış ve sistemin ilk kurulum değerlerinden 887 olan toplam maliyet değerini daha aşağıya çekmek, dolayısı ile, TDA'ların, mümkün olan en az maliyet ile kapsanmasını sağlamak amaç edinilmiştir.

$\alpha=0,90$ için;

Toplam_Trafik_Talebi = 2655 E

$\alpha=0,94$ için;

Toplam_Trafik_Talebi = 2773 E

$\alpha=0,99$ için;

Toplam_Trafik_Talebi = 2920,5 E

En_İyi_Maliyet değerinin kabul edilebilir olması için söz konusu kurulumda elde edilen Kapsanan_Trafik değeri, Toplam_Trafik_Talebi değerinin α ile çarpımına ($\alpha \times \text{Toplam_Trafik_Talebi}$) eşit olmalı ya da bu değerden büyük olmalıdır.

Program çalıştırıldığında söz konusu kriteri sağlayan toplam En_İyi_Maliyet değerleri her bir α değeri için aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$\alpha=0,90$ için; 772 (Çeşitlilik=0)

$\alpha=0,94$ için; 778 (Çeşitlilik=0)

$\alpha=0,99$ için; 829 (Çeşitlilik=5)

Görüldüğü üzere yedi çeşitlilik (Çeşitlilik=0-6) değerinin programda yer alması sonucunda her üç α değeri için de toplam En_İyi_Maliyet değerleri, sistemin ilk kurulum değerlerinden 887 olan toplam En_İyi_Maliyet değerinden oldukça aşağıdadır. Kazançlar hesaplanacak olursa:

$\alpha=0,90$ için; 115 (x 1 000 \$ = 115 000 \$)

$\alpha=0,94$ için; 109 (x 1 000 \$ = 109 000 \$)

$\alpha=0,99$ için; 58 (x 1 000 \$ = 58 000 \$)

α değeri, dolayısı ile kapsanması gereken Toplam_Trafik_Talebi değeri büyüdükçe programın sonucunda elde edilen toplam En_İyi_Maliyet değerlerindeki iyileşme azalmaktadır. Bunun nedeni sistem karmaşıklıkça elde edilen yeni çözümlerin bir öncekilerden çok farklı olamamasıdır.

Hücre planlaması problemi için önerilen TA'nın hesaplamaları GSM sistemi için yapılmış, önerilen algoritma oldukça iyi performans göstermiştir. Özellikle kapsama faktörü $\alpha=0,90$ ve $\alpha=0,94$ için sistemin ilk kurulumunda 887 olan toplam En İyi Maliyet değerinden sırası ile %13 ve % 12,2 daha az değerler bulunmuş, çok iyi denebilecek bir maliyet azaltımı söz konusu olmuş ve büyük kazanç elde edilmiştir. Aynı şekilde $\alpha=0,99$ için elde edilen kazanç da tatmin edicidir (% 6,5).

Kapasite çeşitliliğini sağlayan ve adım 11'de belirtilen koşullar Osmaniye iline ait değerler için sağlanmadığından ($RC(k)=0$ durumu hiç bir durumda sağlanmadığından, diğer bir deyişle hiç bir BTS tam kapasite ile çalışmadığından, her BTS'in atıl kapasitesi olduğundan) bu çeşitliliğin etkisi sonuca yansımamıştır. Yapılan çalışmalar ve hesaplamalar, söz konusu çeşitliliğin de sonuca etki etmesi durumunda çok daha iyi sonuçlar elde edildiğini, maliyetin daha da düşürüldüğünü ve daha fazla kazanç sağlandığını ortaya koymaktadır.

Çeşitlilik değeri, α değeri arttıkça, diğer bir deyişle trafik talebinin karşılanması istenilen miktarı arttıkça artırılmalıdır. Hesaplama sonuçları da bunu doğrulamaktadır, $\alpha=0,90$ ve $\alpha=0,94$ için çeşitlilik değeri sıfır iken (Çeşitlilik=0) en iyi maliyet elde edilmiş, buna nazaran $\alpha=0,99$ için ise en iyi maliyet değeri, çeşitlilik değeri beş iken (Çeşitlilik=5) elde edilmiştir. Bu çalışmada pratik olması açısından her üç α değeri için ($\alpha=0,90$, $\alpha=0,94$ ve $\alpha=0,99$) de maksimum çeşitlilik değeri (α_{max}) olarak altı (Çeşitlilik=0-6) kullanılmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kablosuz haberleşmede kapasite artışı durumunda hücre planlaması problemi incelenmiştir. Problem, artan ve genişleyen trafik talebini karşılayacak her yeni baz istasyonunun yerleşimi ve kapasitesidir. Trafik talebinin uygun bir bölümünün karşılanması için, sisteme sonradan eklenen ve sistemin kurulum aşamasından bu yana mevcut olan BTS'lerin TDA'ları kapsaması sağlanır. Hücre planlaması, tamsayı doğrusal programlama problemi ile formüle edilmiş ve TA algoritması ile çözülmüştür.

TA sınıflandırmada, aday ve aktif listelerle temsil edilen kısa dönem bellek tarafından "ekleme hareketi" ve "çıkarma hareketi" gerçekleştirilir. Baz istasyonlarını aday listeye eklemek ve aktif listeden düşürmek için tabu zamanları dikkate alınır. Yeni çözüm uzaylarını araştırmak için iki çeşitlilik stratejisi uygulanır. Yeni baz istasyonlarının uygun kapasitelerini araştırmak için kapasite çeşitliliği kullanılır. Kapasite kullanım durumuna göre her yeni baz istasyonunun kapasitesi artırılır veya azaltılır. Kapsama çeşitliliği, TA algoritmasını yeniden başlatır, sistemi kurulum aşamasındaki değerlere götürür.

TA algoritması özellikle trafik talebinin tamamının ya da tamamına yakınının karşılanması istendiğinde değil, daha küçük yüzdelerin (örneğin burada olduğu gibi $\alpha=0,90$ için) karşılanması durumunda daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Trafik talebinin karşılanması istenilen değeri büyüdükçe algoritmanın başarı oranı azalmakta fakat algoritma yine de belirli seviyede bir kazanç sağlamaktadır. Kısacası, her durumda TA algoritması ile yararlı sonuçlar elde edilmekte, sistemin başlangıç değerlerine oranla sistem maliyeti oldukça aşağılara çekilebilmektedir.

TA algoritması, elde edilen kazanç yüzdeleri de göstermektedir ki, oldukça iyi performans sağlamaktadır. Özellikle büyük kentlerde kullanılması durumunda elde edilecek kazanç, \$ bazında oldukça büyük miktarlara karşılık gelecektir.

Teoride talep edilen tüm kapasitenin, pratik olarak karşılanması ($\alpha=1$ olması durumu) mümkün değildir. Bu nedenle α değeri mümkün olduğunca düşük tutularak kazanç da o oranda artırılabilir.

TA'nın performansı başlangıç çözümüne sıkıca bağlıdır. Bu nedenle, TA'ya mümkün olan en iyi çözümle başlamanın yolları aranmalıdır.



KAYNAKLAR

1. Chae Y. Lee, Hyon G. Kang, "Cell Planning with Capacity Expansion in Mobile Communications: A Tabu Search Approach", **IEEE Transactions On Vehicular Technology**, 49(5) : 1678-1691 (2000).
2. Uslu, B., Tuğutlu, S., "Mobil İletişim", <http://proje.bitek-o.org/biteko2002/GB1EA7NVVL/mobililetisim.doc> (08.01.2004).
3. Ericsson Telekomünikasyon, "Teknolojiler", <http://www.ericsson.com.tr/technology/> (02.05.2004).
4. Coinchon, M., Salovaara, A.P., Wagen, J.F., "The Impact of Radio Propagation Predictions on Urban UMTS Planning", http://www.wavecall.com/papers/UMTS_propagation_impact_v41.pdf (23.02.2004).
5. Zander, J., "Radio Resource Management in Cellular Networks", http://www.s3.kth.se/radio/COURSES/KB_4D1114_2002/kbf.pdf (09.11.2003).
6. GSM Cell Planning Overview, Student Text, **Ericsson Radio Systems AB**, 1-6, 21-72 (2000).
7. Dinçer, H., Dinçer, P., "Gsm Baz İstasyonlarında Elektromanyetik Işınım Ölçümü", http://ehsam.kou.edu.tr/ol_yontem.htm (25.11.2003).
8. Neskovic, A., Neskovic, N., Paunovic, G., "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment", **IEEE Communications Surveys**, 2-12 (2000).
9. Okçular, A., "GSM Sistemi ve Çalışma Prensipleri 1", <http://www.antrak.org.tr/gazete/072000/ayzen.htm> (14.02.2004).
10. GSM Cell Planning Principles 1, Student Text, **Ericsson Radio Systems AB**, 7-40, 47-66, 155-161 (2000).
11. Decision and Information Sciences Division, "Wireless Technology Evaluation: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)", http://www.dis.anl.gov/is/wireless_ofdm.htm (13.09.2003).
12. GSM Cell Planning Principles 2, Student Text, **Ericsson Radio Systems AB**, 279-309 (2000).
13. Tuncay, E., "Amatör Telsizcilik Sınav Soruları", <http://www.ta7v.com/sinavsoru.asp> (15.10.2003).

14. Kanalebe, H.Y., "Capacity Analysis of Base Station Diversity". Doctorate Thesis, **University of South Australia, School of Electrical and Information Engineering**, South Australia, 51-78 (1999).
15. Steve's Southern Ontario Cell Phone Page, "Frequency Hopping on GSM Networks", <http://www.arcx.com/sites/FrequencyHopping.htm> (20.12.2003).
16. Alouini, M.-S., Goldsmith, A.J., "Area Spectral Efficiency of Cellular Mobile Radio Systems", **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 48(4) : 1047-1066 (1999).
17. Rysavy, P., "GSM to UMTS Voice Capacity", <http://www.3gamericas.org/PDFs/Webcast/PeterRysavy.pdf> (16.03.2004).
18. Bourjolly, J.-M., Touhami, S., Dejoie, L., Ding, K., Dioume, O., Lominy, M., "Optimizing Frequency Hopping in GSM Cellular Phone Networks", **5th Inform's Communications Conference**, Boca Raton, Florida, 1-15, (2000).
19. Chaves, J., Oliveira, P., Correia, L.M., "Comparison of Propagation Models for Small Urban Cells in GSM 900 and 1800", <http://www.co.it.pt/conftele2001/proc/pap112.pdf> (20.10.2003).
20. Hou, X., "Resource Planning in Current and Future Mobile Communications", http://www.sis.pitt.edu/~prashant/inf3965/pres_09_26_1.pdf (26.09.2003).
21. Said, F., "Cellular Mobile Systems", <http://www.ctr.kcl.ac.uk/lectures/fatin/Mobile/part1.pdf> (24.09.2003).
22. Battiti, R., "Tabu Search", <http://www.cs.sandia.gov/opt/survey/ts.html> (10.07.2003).
23. Mastrolilli, M., "Tabu Search", <http://www.idsia.ch/~monaldo/tabusearch.html> (18.07.2003).
24. Laguna, M., Glover, F., "What is Tabu Search", http://www.tabusearch.net/Tabu_Search/What_is_Tabu_search.ASP (16.06.2003).
25. Geyik, F., "Tabu Aramada Hafıza Yapıları: Üretim Çizelgeleme Uygulaması", **Ya/Em XXII. Ulusal Kongresi**, 1-11 (2001).
26. Akdağlı, A., Güney, K., "Dairesel Anten Dizilerinin Tabu Araştırma Algoritması İle Sentezi", **Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı**, İstanbul, 1-6 (2002).

27. Kalinli, A., Karaboğa, D., "Yüksek Dereceden IIR Filtrelerin Tabu Araştırma Algoritması Kullanarak Tasarlanması", **Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı**, İstanbul, 1-6 (2002).
28. Cedimoğlu, İ.H., Geyik, F., "Tabu Arama Tekniğiyle Klasik İş-Atölyesi Çizelgeleme", **Yaem XX. Ulusal Kongresi**, Kara Harp Okulu, 10-18 (1999).
29. CGNET Services International, "Rapid-Extension Communications System, Configuration Two: Satellite Link with Community Extensions", <http://www.cgnet.com/about/casestudies/rssatlink2.htm> (07.09.2003).
30. Radio Site Installation Engineering Manual, **Ericsson Radio Systems AB**, 3-8 (2002).
31. Yanık, D., "3G Mobil Telekomünikasyon Sistemleri ve Türkiye'de UMTS Lisanslarının Yeri. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası", <http://dergi.emo.org.tr/altindex.php?sayi=416&yazi=68> (02.05.2004).
32. Institute of Electrical and Electronics Engineers, "802.11™ Working Group for Wireless Local Area Networks", <http://standards.ieee.org/wireless/overview.html#802.11> (15.05.2004).
33. International Telecommunications Union, "Recommendations, Switching and Signalling", <http://www.itu.int/rec/recommendation.asp?type=products&lang=e&parent=T-REC-Q> (19.05.2004).
34. Exercises and Extracts from GSM Specifications, **Ericsson Radio Systems AB**, 111-112 (2000).
35. Eraslan, E., "Desibel, dBm, Watt, Volt İlişkileri", <http://www.antrak.org.tr/gazete/111999/ertugrul.htm> (17.05.2004).



Ek-1. Kablosuz Haberleşme Standartları

Kablosuz haberleşme sistemleri, belirli standartlar çerçevesinde hizmet vermektedir. Standartların tanımlanmasındaki amaç farklı şebekelerin ve operatörlerin uyum içerisinde hizmet verebilmesidir.

Standart koyucu oluşumlardan en önemlileri aşağıda verilmektedir.

ETSI: Avrupa için standartları belirlemektedir.

ARIB: Asya'nın büyük bölümü ve Japonya için standartları belirlemektedir.

ANSI: Kuzey Amerika için standartları belirlemektedir.

CCSA: Çin için standartları belirlemektedir.

IEEE: Elektrik-elektronik mühendisliğine ilişkin standartları belirleyen oluşumdur.

Standart belirleyici söz konusu oluşumlar, uluslararası haberleşmenin sağlanması için ITU'nun önerdiği global telekom şebeke ve servis standartları ile uyumlu çalışmaktadır. Nihayetinde, ITU, yukarıda bahsi geçen tüm oluşumları çevreler.

Kablosuz haberleşmeye ilişkin standart sayısı oldukça fazladır, sistemdeki hemen hemen her işlem için bir standart belirlenmiştir. Bazı standartlar aşağıdaki gibidir:

M.687-2: 3. nesil (3G) haberleşmeye ilişkin standartları temsil etmektedir, IMT-2000 olarak da adlandırılmaktadır (31).

IEEE 802.11: Kablosuz bir ekipmana (MS) sahip kullanıcı ile bir baz istasyonu arasındaki hava arayüzüne ilişkin tanımlamaları vermektedir (32).

Q.1001: PLMN şebekelerine ilişkin genel ifadeleri içermektedir (33).

Q.1031: ISDN veya PSTN ile PLMN şebekelerinin birlikte çalışmasına ilişkin genel sinyalleşme gereksinimlerini ortaya koymaktadır (33).

ETR 350 (GSM 01.04): Hücresel haberleşme sistemlerine ilişkin kısaltmaların tanımlandığı standarttır (34).

ETS 102 221: Sim kartlar ile ilgileri tanımları içermektedir.

Söz konusu örneklemeleri çoğaltmak mümkündür, kablosuz haberleşme teknolojileri geliştikçe yeni standartların oluşması da kaçınılmazdır.



Ek-2. dB ve dBm

Bir sinyal bir noktadan başka bir noktaya iletilirken bir çok işlemlerden geçebilir. Bu sinyal kimi zaman kat kat amplifikasyona tabi tutulur kimi zaman da zayıflamalara uğrar. Bu iletim hattı üzerinde bulunan katların (amplifikatörler, filtreler, kablolar vs.) bir kazançları ve kayıpları vardır. Bu kazanç ve kayıplar Desibel (dB) ile ifade edilir. Desibel iki güç arasındaki oranın logaritmik ifadesidir. Daha belirgin bir ifade ile, çıkış gücünün giriş gücüne oranının 10 tabanına göre logaritmasının 10 ile çarpımıdır.

$$\text{Kazanç (dB)} = 10 \times \log (\text{Çıkış gücü} / \text{Giriş Gücü}) \quad (\text{EK 2.1})$$

dBm: Telekomünikasyon sistemlerinde, radyo frekans katlarında kullanılan bir seviye ölçü birimidir. (+) ve (-) seviyeler ile ifade edilir. 1 miliwatt'a oranlanmış decibel (dBm), miliwatt cinsinden bir gücün ondalık logaritmasının 10 katıdır.

$$\text{dBm} = 10 \times \log P \text{ (mW)} \quad (\text{EK 2.2})$$

Formülden de anlaşılacağı üzere, dBm, mutlak bir güç ifadesi olup oran değildir. dB, kazanç ve kaybı ifade ettiği halde dBm, düzeyi, seviyeyi ifade etmektedir (35).

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Amasya'da doğdu. İlkokul öğrenimini Bayezit İlkokulu'nda, ortaokul ve lise öğrenimini Amasya Anadolu Lisesi'nde tamamladı.

2000 yılında Gazi Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi ve aynı yılın kasım ayında Ericsson Telekomünikasyon A.Ş. firmasında Santral Kurulum Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2001 yılı şubat ayında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen aynı firmada, bahsedilen pozisyonda çalışmaya devam etmektedir.

