

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**2. NESİL VE 3. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN METRO
İSTASYONU HÜCRE PLANLAMASI**

FERHAT YUMUŞAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HABERLEŞME PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. AKTÜL KAVAS**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**2. NESİL VE 3. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN METRO
İSTASYONU HÜCRE PLANLAMASI**

Ferhat YUMUŞAK tarafından hazırlanan tez çalışması 18.07.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bülent BOLAT
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Soner ÖZGÜNEL
Haliç Üniversitesi

Bu çalışma Turkcell İletişim Hizmetleri A.Ş. ile birlikte gerçekleştirilmiştir.

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca beni yönlendiren, teşvik ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS'a, bu çalışmayı gerçekleştirmeme imkân tanıyan Betül ALTINOK'a, bilgi ve deneyimlerini aktararak konu hakkındaki eksiklerimi gidermemde yardımcı olan Nuran DEMİRCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Mayıs, 2012

Ferhat YUMUŞAK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Bulgular.....	3
BÖLÜM 2	
MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ.....	5
2.1 Tarihçe ve Teknolojik Gelişim	5
2.1.1 Birinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri	6
2.1.2 İkinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri	7
2.1.3 Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri	8
2.1.4 Dördüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri.....	11
2.2 3GPP Sürümleri	13
BÖLÜM 3	
İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ	15
3.1 GSM	15
3.1.1 Frekans Bandı ve Radyo Erişimi	15
3.1.2 Gezici Abone Yönetimi	17
3.1.3 İşaretleşme	19
3.1.4 Şebeke Mimarisi.....	20
3.2 Trank Kuramı.....	22
3.2.1 Erlang B.....	22
3.2.2 Erlang C.....	28

BÖLÜM 4

ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ.....	29
4.1 UMTS	29
4.1.1 Frekans Bandı ve WCDMA Arayüzü	29
4.1.2 Radyo Kaynak Yönetimi	32
4.1.3 Radyo Arayüzü Protokol Yapısı	34
4.1.4 Sürüm 4 Şebeke Mimarisi	37

BÖLÜM 5

BİNA İÇİ HÜCRE PLANLAMA.....	39
5.1 Bina İçi Kapsamanın Önemi	39
5.2 Bina İçi Planlama Süreci	43
5.3 Bina İçi Tasarımda Kullanılan Elemanlar.....	46

BÖLÜM 6

DAĞITILMIŞ ANTEN SİSTEMLERİ	53
6.1 Pasif DAS	53
6.2 Aktif DAS	54
6.3 Karma DAS	54
6.4 Bina İçi DAS Şeması	54

BÖLÜM 7

İKİNCİ VE ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL SİSTEMLER BİNA İÇİ HÜCRE PLANLAMA.....	58
7.1 GSM Hücre Planlama.....	58
7.1.1 Trafik ve Kapasite	58
7.1.2 Kapsama	60
7.1.2.1 Yukarı Link Bütçesi	61
7.1.2.2 Aşağı Link Bütçesi	65
7.1.3 Frekans Yapısı.....	66
7.2 UMTS Hücre Planlama.....	66
7.2.1 Trafik.....	68
7.2.2 Kapasite	70
7.2.2.1 Yukarı Link Kapasite	70
7.2.2.2 Aşağı Link Kapasite	72
7.2.3 Kapsama	75
7.2.3.1 Yukarı Link Bütçesi	75
7.2.3.2 Aşağı Link Bütçesi	79
7.2.4 Kod Yapısı.....	84
7.3 Benzetim.....	85
7.3.1 Bina İçi Yayılım Modeli	85
7.3.2 Benzetim Sonuçları.....	89
7.4 Saha İncelemesi.....	92
7.5 Ölçüm Sonuçları	92

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER	97
-------------------------	----

KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGE LİSTESİ

A	Toplam sunulan trafik yükü
A_u	Bir kullanıcının trafik yükü
C	Kanal sayısı
H	Ortalama çağrı süresi
M_{kutup}	Kutup kapasitesi
R_{bit}	Kullanıcı bit hızı
R_{yonga}	WCDMA yonga hızı
U	Toplam kullanıcı sayısı
λ	Birim zamandaki ortalama çağrı varış oranı, çağrı talebi
α	Dikgen olmama faktörü
δ	Zaman aralığı
ε	Hızlı sönmülenme dengelemesi
μ	Ortalama servis oranı
η	Toplam hücre yükü

KISALTMA LİSTESİ

2G	Second Generation
3G	Third Generation
3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
AGCH	Access Grant Channel
AMPS	Advanced Mobile Phone System
ARIB	Association of Radio Industries and Businesses
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
AUC	Authentication Center
BCCH	Broadcast Control Channel
BCH	Broadcast Channel
BER	Bit Error Rate
BICN	Bearer Independent Core Network
BMC	Broadcast/Multicast Control Protocol
BS	Base Station
BSC	Base Station Controller
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Base Station Subsystem
BTK	Bilişim Teknolojileri ve İletişim Kurumu
BTS	Base Transceiver Station
CCCH	Common Control Channel
CCSA	China Communications Standards Association
CDMA	Code Division Multiple Access
CEPT	The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CGI	Cell Global Identity
CIR	Carrier to Interference Ratio
CN	Core Network
CPC	Continuous Packet Connectivity
CPCH	Common Packet Channel
CPICH	Common Pilot Channel
CS	Circuit Switched
CS-MGW	Circuit Switched Media Gateway
CTCH	Common Traffic Channel

D-AMPS	Digital AMPS
DAS	Distributed Antenna Systems
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated Channel
DCS	Digital Cellular Telecommunication System
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
DL	Downlink
DPCCH	Dedicated Physical Control Channel
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel
DRX	Discontinuous Reception
DS-CDMA	Direct Sequence CDMA
DSCH	Downlink Shared Channel
DS-SS	Direct Sequence Spread Spectrum
DTCH	Dedicated Traffic Channel
DTX	Discontinuous Transmission
EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EPC	Evolved Packet Core
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
E-UTRA	Evolved UTRA
E-UTRAN	Evolved UTRAN
FACCH	Fast Associated Control Channel
FACH	Forward Access Channel
FCCH	Frequency Correction Channel
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequency Modulation
FPLMTS	Future Public Land Mobile Telecommunications Systems
GERAN	GSM/EDGE Radio Access Network
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GMSC-S	GMSC Server
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GOS	Grade of Service
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
IMT-2000	International Mobile Telephony 2000

IMT-A	IMT Advanced
IP	Internet Protocol
IS	Interim Standard
ISI	Inter Symbol Interference
ITU	International Telecommunication Union
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector
L1-2-3	Layer 1-2-3
LA	Location Area
LAI	Location Area Identity
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	LTE Advanced
MAC	Medium Access Control
MCM	Multicasting Matrix
ME	Mobile Equipment
MGW	Media Gateway
MIMO	Multiple Input and Multiple Output
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Services Switching Center
MSC-S	MSC Server
NMC	Network Management Center
NMT	Nordic Mobile Telephony
NR	Noise Rise
NSS	Network Switching Subsystem
NTT	Nippon Telegraph and Telephone
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operation and Maintenance Center
OMSS	Operation and Management Subsystem
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor
PCCH	Paging Control Channel
PCCPCH	Primary Common Control Physical Channel
PCH	Paging Channel
PCPCH	Physical Common Packet Channel
PDC	Personal Digital Cellular
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PG	Processing Gain
PLMN	Public Land Mobile Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PS	Packet Switched
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
R99	Release 99
RAB	Radio Access Bearer
RACH	Random Access Channel
RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem

RRC	Radio Resource Control
RSCP	Received Signal Code Power
SACCH	Slow Associated Control Channel
SCCPCH	Secondary Common Control Physical Channel
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel
SF	Spreading Factor
SGSN	Serving GPRS Support Node
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal to Interference Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
SRB	Signalling Radio Bearer
TACS	Total Access Cellular System
TCH	Traffic Channel
TD-CDMA	Time Division CDMA
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TIA	Telecommunications Industry Association
TRX	Transceiver
TSG	Technical Specification Group
TSL	Time Slot
TTA	Telecommunications Technology Association
TTC	Telecommunications Technology Committee
UE	User Equipment
UL	Uplink
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
UWC	Universal Wireless Communication
VLR	Visitor Location Register
WARC	World Administrative Radio Congress
WCDMA	Wideband CDMA
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
WRC	World Radiocommunication Conference

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Mobil abone sayısının yıllara göre değişimi.....	6
Şekil 2.2 IMT-2000 radyo arayüzleri ve şartnameleri hazırlayan kuruluşlar.....	10
Şekil 2.3 Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişimi.....	12
Şekil 2.4 3GPP sürümlerine genel bakış	13
Şekil 3.1 TDMA/FDD yapısı	16
Şekil 3.2 GSM’de aktarmalar	18
Şekil 3.3 GSM şebeke yapısı	20
Şekil 3.4 Erlang B durum geçiş şeması	26
Şekil 4.1 Kullanıcı verilerinin kanaldaki durumu.....	30
Şekil 4.2 Kanal tanımlama kod ağacı.....	31
Şekil 4.3 WCDMA’de aktarmalar, (a) Daha yumuşak aktarma, (b) Yumuşak aktarma..	33
Şekil 4.4 Hava arayüzü protokol yapısı [19]	35
Şekil 4.5 Kanal adreslemeleri [20].....	36
Şekil 4.6 Şebeke yapısı.....	37
Şekil 5.1 WCDMA haberleşmesinde kapsama ve kapasite birbiriyle bağlantılıdır	40
Şekil 5.2 Şehir içinde baz istasyonu sinyallerinin dağılımı.....	41
Şekil 5.3 Bina içi kapsama sistemi kullanılarak kapasite artışı sağlanmaktadır.....	42
Şekil 5.4 Planlama süreci	44
Şekil 5.5 Eşeksenel kablolar, (a) 1/2", (b) 7/8" [23], [24].....	46
Şekil 5.6 Bölücü [25].....	47
Şekil 5.7 Dengesiz bölücü [25]	48
Şekil 5.8 İki aşamalı karma birleştirici [25]	48
Şekil 5.9 Çift bantlı birleştirici [25]	49
Şekil 5.10 Çoğa gönderim matrisi [26]	50
Şekil 5.11 Bina içi tümyönlü anten [25]	50
Şekil 5.12 Bina içi yönlü anten [25]	51
Şekil 5.13 RBS 2216 bina içi GSM baz istasyonu [27].....	51
Şekil 5.14 RBS 6601 ana birim ve uzak birim [28].....	52
Şekil 6.1 GSM ve UMTS baz istasyonlarının sisteme bağlantısı.....	55
Şekil 6.2 Bina içi DAS şeması-1.....	56
Şekil 6.3 Bina içi DAS şeması-2.....	57
Şekil 7.1 Yukarı ve aşağı link	60
Şekil 7.2 Radyo erişim taşıyıcısı	66

Şekil 7.3	UMTS boyutlandırma servisleri.....	68
Şekil 7.4	1-50 m'deki serbest uzay kaybı.....	85
Şekil 7.5	Çoklu-duvar modeli yol kaybı, 4 ince veya kalın duvar, 900 MHz	88
Şekil 7.6	Çoklu-duvar modeli yol kaybı, 4 ince veya kalın duvar, 2100 MHz	89
Şekil 7.7	Gişe katı benzetimi.....	90
Şekil 7.8	Peron katı benzetimi	91
Şekil 7.9	Gişe katı 2G sinyal kalitesi (RxQual)	93
Şekil 7.10	Gişe katı 2G sinyal seviyesi (dBm).....	93
Şekil 7.11	Gişe katı 3G sinyal kalitesi, E_c/N_0 (dB)	94
Şekil 7.12	Gişe katı 3G sinyal seviyesi, RSCP (dBm)	94
Şekil 7.13	Peron katı 2G sinyal kalitesi (RxQual).....	95
Şekil 7.14	Peron katı 2G sinyal seviyesi (dBm)	95
Şekil 7.15	Peron katı 3G sinyal kalitesi, E_c/N_0 (dB)	96
Şekil 7.16	Peron katı 3G sinyal seviyesi, RSCP (dBm).....	96

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Mantıksal kanallar19
Çizelge 4.1	Lisans yapıları [18]30
Çizelge 4.2	Mantıksal kanallar35
Çizelge 5.1	Eşksenel kablo kayıp değerleri [23], [24]46
Çizelge 5.2	Bölücü özellikleri [25]47
Çizelge 5.3	Dengesiz bölücü özellikleri [25]47
Çizelge 5.4	Karma birleştirici özellikleri [25]48
Çizelge 5.5	Çift bantlı birleştirici özellikleri [25]49
Çizelge 5.6	MCM özellikleri [26]49
Çizelge 5.7	Tümyönlü anten özellikleri [25]50
Çizelge 5.8	Yönlü anten özellikleri [25]51
Çizelge 7.1	Meşgul saatteki GSM trafik profili59
Çizelge 7.2	TRX ve kullanıcı sayıları60
Çizelge 7.3	MS özellikleri61
Çizelge 7.4	GSM900 yukarı link bütçesi62
Çizelge 7.5	Anten özellikleri63
Çizelge 7.6	GSM900 aşağı link bütçesi65
Çizelge 7.7	Sunulan UMTS hizmetleri67
Çizelge 7.8	UMTS çoklu RAB'ler67
Çizelge 7.9	Meşgul saatteki devre ve paket anahtarlama trafik profili69
Çizelge 7.10	Bir kullanıcının meşgul saatteki ortalama trafik profili70
Çizelge 7.11	Yukarı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler71
Çizelge 7.12	Çoklu RAB yukarı link kapasite hesaplama parametreleri71
Çizelge 7.13	Yukarı link M_{kutup} ve hedef yük değerleri72
Çizelge 7.14	Aşağı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler73
Çizelge 7.15	Çoklu RAB aşağı link kapasite hesaplama parametreleri74
Çizelge 7.16	Aşağı link M_{kutup} ve hedef yük değerleri75
Çizelge 7.17	UE özellikleri76
Çizelge 7.18	UTMS yukarı link bütçesi77
Çizelge 7.19	CPICH girişim payı hesabında kullanılan parametreler79
Çizelge 7.20	Aşağı link bütçesi80
Çizelge 7.21	Servislere göre DCH güçleri82
Çizelge 7.22	Servislere göre toplam yük değerleri83
Çizelge 7.23	Yayma faktörüne göre bit hızları84

Çizelge 7.24	Çoklu-duvar modeli duvar türleri [30]	86
Çizelge 7.25	Çoklu-duvar modeli katsayı değerleri [30]	87
Çizelge 7.26	Bina içi kapsama seviyeleri	92
Çizelge 8.1	GSM kullanıcı sayısı ve toplam trafik	98
Çizelge 8.2	GSM yukarı ve aşağı link bütçesi	98
Çizelge 8.3	2G sinyal seviyesi ölçüm sonuçları	99
Çizelge 8.4	2G sinyal kalitesi ölçüm sonuçları	99
Çizelge 8.5	UMTS kullanıcı trafik profili	100
Çizelge 8.6	Yukarı link kapasite değerleri	101
Çizelge 8.7	Aşağı link kapasite değerleri	101
Çizelge 8.8	UMTS yukarı ve aşağı link bütçesi	102
Çizelge 8.9	DCH güçleri	102
Çizelge 8.10	3G sinyal seviyesi ölçüm sonuçları	103
Çizelge 8.11	3G sinyal kalitesi ölçüm sonuçları	103

2. NESİL VE 3. NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ İÇİN METRO İSTASYONU HÜCRE PLANLAMASI

Ferhat YUMUŞAK

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Aktül KAVAS

İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte mobil sistemler üzerinden internet erişiminin sağlanması temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu duruma paralel olarak çoklu ortam haberleşmesine olan talep gün geçtikçe artış göstermektedir. Mobil haberleşme sistemlerinin artan talepteki iletişim ihtiyaçlarını yüksek kalite ve yeterli kapasiteyle sağlayabilmesi önem taşımaktadır.

Ülkemizde mobil haberleşme sistemlerinden ikinci nesilde GSM, üçüncü nesilde ise UMTS (WCDMA) kullanılmaktadır. İkinci nesil sistemlerle ses haberleşmesi sorunsuz bir şekilde sunulurken veri haberleşmesinde yüksek hızlara çıkılamamaktadır. Teorik olarak GPRS’de maksimum 171.2 kbps, EDGE’de ise 473.6 kbps hızında veri iletimi yapılabilmektedir. Sistemin yapısı gereği yaşanan sınırlamalar üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinin gelişiminde büyük rol oynamıştır. Üçüncü nesil sistemler kullanıcılara yüksek hız ve performansta veri haberleşmesini sunmaktadır. WCDMA’de teorik olarak maksimum 2 Mbps, HSDPA’de 16-QAM modülasyonu kullanılarak 14.4 Mbps hızında haberleşme yapılabilmektedir. 64-QAM ve çift taşıyıcılı sistemin eşzamanlı kullanımı sonucunda HSDPA’de daha yüksek hıza ulaşılabilmektedir. HSUPA’de ise 16-QAM modülasyonunun kullanımı yukarı linkteki veri hızını artırmıştır. Veri hızlarında yaşanan gelişmeler sonucunda kullanıcıların hayatını kolaylaştıran ve mobil telefonlarıyla bütün iletişim ihtiyaçlarını karşılamalarını sağlayan servisler artış göstermiştir.

İkinci ve özellikle üçüncü nesil sistemlerde bina içinde yeterli ve baskın kapsama alanlarının oluşturulması sistem performansı açısından önemlidir. Bina içi alanlar makro hücreden kapsandığında kayıpların fazla olması nedeniyle yüksek hızda veri haberleşmesi yapılamamaktadır. Bina içi dağıtılmış anten sistemi kullanılarak yüksek trafik üreten kullanıcıların kapsanması sonucunda bina içi ve aynı zamanda makro hücre kapasitesi ve haberleşme performansı artırılmaktadır. Çalışmanın yapıldığı bina içi alan konum olarak yer altında bulunmaktadır. Dolayısıyla bu alanda kapsamanın sağlanabilmesi için bina içi sistemin kullanılması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ikinci nesilde GSM ve üçüncü nesilde UMTS için DAS sistemi kullanılarak bina içi hücre planlaması yapılmıştır. Teorik hesaplamaların yapılmasının ardından sahada alınan ölçüm sonuçlarına göre sistem performansı gözlenmiştir. Ayrıca elde edilen teorik ve pratik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bina içi kapsamanın önemi farklı yönlerden incelenmiş ve planlama süreci ile kullanılan DAS yapısı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: GSM, UMTS, WCDMA, dağıtılmış anten sistemleri, bina içi hücre planlama

ABSTRACT

SUBWAY STATION CELL PLANNING FOR 2ND GENERATION AND 3RD GENERATION MOBILE COMMUNICATIONS SYSTEMS

Ferhat YUMUŞAK

Department of Electronics and Communications Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Aktül KAVAS

Accessing to internet over mobile systems became basic requirement with spreading usage of internet. In parallel to this situation, demand for multimedia communications increasing day by day. It's important to mobile systems provide growing communication requirements with high quality and sufficient capacity.

Second generation system GSM and third generation system UMTS (WCDMA) are used in our country for mobile communications. In second generation systems voice communication submitted without any problem but it's not possible to go up to higher rates on data communication. Theoretically, GPRS maximum data transfer speed is 171.2 kbps and EDGE is 473.6 kbps. Due to the nature of the system, limitations had big impact on developing of third generation mobile communications systems. Third generation systems provide high speed and performance data communication. Theoretically, WCDMA maximum data speed is 2 Mbps and HSDPA maximum speed is 14.4 Mbps with 16-QAM modulation. Higher rates can be reached in HSDPA with simultaneous usage of 64-QAM and dual carrier system. Usage of 16-QAM modulation increased HSUPA data rate in uplink. As a result of developments in data rates, applications that make users' life easier and meet all communication needs with mobile phones have increased.

It is important to create sufficient and dominant coverage areas indoor at second and especially third generation systems in terms of system performance. When indoor

areas covered from macro cell, high speed data communication can't make due to excessive link loss. Using indoor distributed antenna systems indoor and macro cell capacity and communication performance increased with covering users who generates high traffic. The working place is underground. So, indoor system must be used for provide full coverage in this area.

In this thesis, indoor cell planning have made using DAS system for GSM at second generation and UMTS at third generation. System performance has been observed according to the results of the measurement taken from the site after completion of theoretical calculations. Also, theoretical and practical results were compared. The importance of indoor coverage analysed in different ways and the planning process explained particularly with used DAS structure.

Keywords: GSM, UMTS, WCDMA, distributed antenna systems, indoor cell planning

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Schuh ve Sommer [1], bina içi WCDMA kapsama ve kapasite benzetimini aktif, pasif ve fiber yapılandırmalarda ses ve paket servisleri için yaparak elde edilen sonuçları hücre yarıçapı ve kullanıcı sayıları açısından karşılaştırmışlardır.

Beijner [2], çalışmasında üçüncü nesil mobil sistemler için bina içi kapsamanın önemini ve getirdiği avantajları çeşitli sistem parametreleri üzerinden örnekler ve karşılaştırmalarla açıklamış, dağıtılmış anten sisteminin sağladığı kolaylıklar ile bina içi kapsama çözümlerini kullanan farklı ülkelerdeki operatörlerin deneyimlerini belirtmiştir.

Borkowski vd. [3], UMTS şebekesinin bina içi kapasitesini artırabilmek amacıyla dağıtılmış anten sistemine bağlı tekrarlayıcıların uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Sahada yaptıkları ölçümlere göre sistemin performansını tekrarlayıcı kullanılmayan tasarımla karşılaştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre kullandıkları sistemin kapasite artışı sağladığı sonucuna ulaşmışlardır.

Isotalo vd. [4], çalışmasında bina içi farklı anten yapılandırmalarının sinyal kalitesi ve sistem performansı üzerindeki etkilerini incelemiş, alınan ölçüm sonuçlarına göre elektromanyetik dalga yayıcı kablo da dâhil olmak üzere anten yapılandırmalarını karşılaştırarak yorumlamışlardır.

Rodríguez vd. [5], yüksek hızlı tren güzergâhında bulunan tüneller için dağıtılmış anten sistemlerini kullanarak GSM hücre planlaması yapmış ve sistemi farklı koşullarda test

etmişlerdir. Aldıkları ölçümleri tünelde sinyal yayılımının modellenmesinde kullanmışlardır. Yayılım modeli üzerinden yaptıkları kayıp hesaplamalarını ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.

Braz ve Hoefel [6], bina içi WCDMA Sürüm 99 ve HSDPA Sürüm 5 için kapsama ve kapasite hesaplamaları yapmış, kullandıkları yayılım modeli ve hesaplamalarda elde ettikleri sonuçları bina içi sistemden aldıkları ölçümlerle karşılaştırmışlardır.

1.2 Tezin Amacı

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte hayatımızda daha fazla yer alan mobil haberleşme sistemleri gün geçtikçe artan bilgiye ulaşma, bilgiyi paylaşma ve iletişim ihtiyaçlarımızı karşılamaktadır. Bilgi çağı olarak adlandırabileceğimiz bu dönemde haberleşmenin kesintisiz ve yüksek kalitede yapılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Geçmişten günümüze kadar olan zaman diliminde mobil haberleşme sistemleri farklı nesiller şeklinde gruplanmaktadır. Bir sonraki neslin getireceği yenilik ve sistemdeki gelişmeler haberleşme alışkanlıklarımıza bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sürekli artış gösteren haberleşme ihtiyacımız mobil sistemlerin hangi yönde gelişim göstereceğini belirlemektedir.

GSM sistemiyle birlikte dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de mobil haberleşme kullanımı önemli ölçüde yaygınlaşmıştır. Temel olarak ses iletimine dayalı bu standarda yapılan GPRS ve EDGE eklentileri, çıktığı döneme göre kullanıcıların yüksek hızda paket haberleşmesi yapabilmelerini sağlamıştır. Her ne kadar sistem ses ve veri haberleşmelerini gerçekleştirebiliyor olsa da kullanılan modülasyon, çoklu erişim tekniği gibi parametreler sistemin performansı ve kapasitesi üzerinde sınırlandırıcı etki yapmaktadır.

Üçüncü nesil haberleşme sistemi olan UMTS teknolojisi, sistemin temelini oluşturan WCDMA arayüzünün sağladığı yeni özelliklerle daha yüksek bant genişliğinde ve performansta haberleşme deneyimi sunmaktadır. UMTS, yapısı gereği yeni servislerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Ayrıca UMTS sisteminin GSM ile uyumlu olarak çalışabilmesi ikinci ve üçüncü nesil sistemler arasındaki geçişi kolaylaştırmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde yüksek hızlarda veri talep eden abonelerin 80%'i bina içinde haberleşmektedir. İş merkezleri, plazalar ve terminaller gibi kullanıcıların yoğun olduğu

bu alanlarda haberleşme ihtiyacının karşılanabilmesi için bina içi kapsama büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın amacı ikinci nesil GSM ve üçüncü nesil UMTS sistemleri için metro istasyonu hücre planlamasının yapılması, benzetim ve sahada alınan ölçüm verilerine göre elde edilen pratik ve teorik sonuçların karşılaştırılarak kapsama ve kapasite analizinin yapılmasıdır. Ayrıca GSM ve UMTS sistem özelliklerinin açıklanması, bina içi hücre planlamasının önemi, aşamaları ile kullanılan bina içi kapsama elemanlarının ve kapsama çözümünün incelenmesi çalışmanın diğer amaçlarıdır.

1.3 Bulgular

Tezin ikinci bölümünde mobil haberleşme sistemlerinin geçmişten günümüze yaşadığı gelişimden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde 3GPP tarafından yayımlanan sürümler kısaca açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde GSM sisteminin yapısal özelliklerinden bahsedilerek şebeke mimarisi ve elemanları, GSM haberleşme frekansları, TDMA radyo erişimi ve kanal yapısı açıklanmıştır. Bunun yanında gezici abone yönetimi ayrıntılı olarak incelenmiş, sınırlı sistem kaynakları altında hizmet verilebilecek kullanıcı sayısını tanımlayan trunk kuramı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde UMTS sisteminin genel özellikleri, ülkemizde kullanılan frekans bantları, WCDMA arayüzü, şebeke mimarisi ve elemanları açıklanmıştır. Şebekede aşırı gürültüye karşı bulunan kontrol mekanizması, alıcı ve verici güçlerinin ayarlanmasını sağlayan güç kontrolü, hücreler arasındaki geçişi mümkün kılan aktarma çeşitleri ve farklı fazdaki işaretlerin alıcıda toplanarak elde edilmesine olanak tanıyan tırmık alıcı yapısı anlatılmıştır. Ayrıca radyo arayüzü protokol yapısı ve kanal türleri de incelenmiştir.

Beşinci bölümde bina içi kapsamanın önemi farklı yönlerden ele alınarak açıklanmıştır. Bina içi planlama sürecinde takip edilen adımlar ve tasarımda kullanılan elemanlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Altıncı bölümde pasif, aktif ve karma DAS yapılarından bahsedilmiştir. Yapılan bina içi tasarımın DAS şeması belirtilmiş ve sistemin yapısı açıklanmıştır.

Yedinci bölümde GSM ve UMTS sistemleri için kullanıcı profilinin belirlenmesinin ardından sistemlerin karakteristik özellikleri göz önünde bulundurularak trafik, kapasite ve kapsama hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca sistemlerin frekans ve kod yapılarından bahsedilmiştir. Serbest uzay kaybı ve anten servis alanlarının hesaplanmasında kullanılan bina içi yayılım modeli ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bina içi kapsama sistemi ve yayılım modeline göre benzetim yapılarak kapsama performansı gözlenmiş ve sonuçlar belirtilmiştir. Sahada alınan ölçüm sonuçları, tasarımda kullanılan kapsama seviyeleri açıklanmıştır.

Sekizinci bölümde sahada alınan ölçümler, yapılan hesaplamalar ve benzetimlerle karşılaştırılmış, teorik ve pratik uygulama arasındaki farklar açıklanarak yorumlanmıştır.

MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİNE GENEL BAKIŞ

1890'lı yıllarda Guglielmo Marconi tarafından mors kodu kullanılarak radyo dalgaları ile yapılan ilk iletişimden günümüze kadar geçen sürede mobil haberleşme inanılmaz aşamalar kaydederek insanlar için artık vazgeçilemez bir ihtiyaç haline gelmiştir. Gün geçtikçe mobil kullanıcı sayısı ve beklentileri artmaktadır. Kullanıcıların farklı dönemlerdeki farklı ihtiyaçlarına ve teknolojik gelişime göre şekillenen mobil haberleşme sistemleri günümüzdeki haline ulaşmıştır.

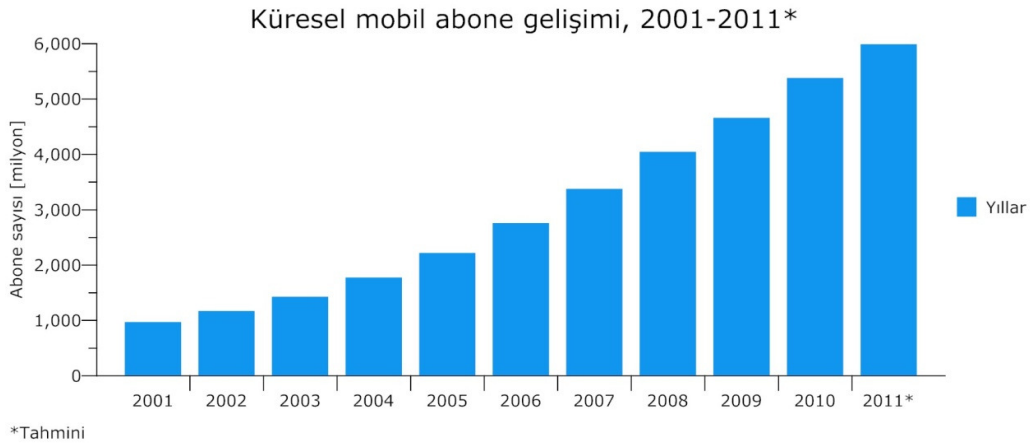
2.1 Tarihçe ve Teknolojik Gelişim

Hücresel kapsama kavramı ilk olarak AT&T/Bell laboratuvarları tarafından 1947 yılında geliştirildi. Mobil haberleşme sistemlerinin günümüze kadar olan gelişimi içinde bu kavram bütün sistemler için temel oluşturmuştur. Bunun öncesinde kullanılan ticari sistemler basit yapıya sahipti. Yapılan aramalar operatörler tarafından bağlanmaktaydı. Telefonlar araçlara kurulu donanım ve anten sistemleriyle kullanılmaktaydı. Zaman içinde mobil telefon kullanımı giderek yaygınlaştı ve şebekenin daha küçük ve daha fazla hücreye bölünmesi fikri ortaya çıktı. Böylece artan kapasite ihtiyacının karşılanması ve şebekede kullanıcı hareketliliğinin artırılması sağlandı. Hücresel kapsama kavramının geliştirilmesinin ardından dünyanın farklı bölgelerinde çeşitli hücresel sistemler geliştirildi. Bu doğrultuda kullanılan teknoloji hücresel teknoloji ve telefonlar da hücre telefonu (cep telefonu) olarak adlandırılmıştır.

Teknolojinin gelişmesinin yanında mobil cihaz fiyatlarının da düşmesiyle birlikte mobil kullanıcı sayısı önceki yıllara oranla büyük artış göstermiştir. Küresel anlamda son 11 yıldaki mobil kullanıcı sayısının gelişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir [7].

2.1.1 Birinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri

Dünyadaki ilk hücresel sistem 1979 yılında Japonya’da kullanıma açıldı ve şebeke NTT (Japonya Telgraf Telefon) tarafından işletilmekteydi. İki yıl sonra, 1981 yılında İskandinavya’da NMT (Kuzey Avrupa Mobil Telefon) standardı 450 MHz bandında kullanılmaya başlandı. Ardından 1982 yılında İngiltere ve İrlanda’da hücresel haberleşme için TACS (Tüm Erişim Hücresel Sistemi) kullanıma sunuldu. ABD’de ise ilk hücresel lisanslar 1981 yılında alındı ve 1983 yılında AMPS (İleri Mobil Telefon Sistemi) kullanılmaya başlandı.



Şekil 2.1 Mobil abone sayısının yıllara göre değişimi

Birinci nesil sistemlerde analog iletim teknikleri kullanılarak ses servisleri sunulmaktaydı. Ses kalitesi tutarsız, güvenlik yetersiz, kullanılan telefonlar çok pahalı, büyük boyutlarda ve yüksek güçte çalışmaktaydı. Kullanıcılar arasında ses karışması, cızırtı gibi gürültü etkileri oldukça sık yaşanan problemlerdi. Teknik olarak birbirine benzeyen bu sistemler 25-30 kHz kanal aralığı ile dar bant FM modülasyonu tekniğine dayanmaktaydılar [8]. Kullanılan sistemlerin her biri kendi standartlarında tasarlanmıştı. O dönemlerde haberleşme sistemleri standartlarının geliştirilmesi için herhangi bir çalışma olmadığından sistemler birlikte çalışabilirliğe sahip değildi ve

dolayısıyla uluslararası dolaşım sağlanamamaktaydı. 80'li yılların sonlarında mobil kullanıcı sayısında önemli artış yaşandı.

2.1.2 İkinci Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri

1980'li yılların sonlarına doğru Avrupa'da birbiriyle uyumsuz, birlikte çalışamayan farklı hücresel standartlar bulunmaktaydı. CEPT (Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Yönetimleri Konferansı) tarafından Avrupa kapsamlı mobil telefon sisteminin geliştirilmesi amacıyla GSM (Mobil Haberleşme için Küresel Sistem) projesi başlatıldı. Yapılan TDMA (Zaman Bölüşümlü Çoklu Erişim), FDMA (Frekans Bölüşümlü Çoklu Erişim) ve CDMA (Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim) tabanlı önerilerin değerlendirilmesi sonucunda GSM standardında TDMA sisteminin kullanılmasına karar verildi. 1989 yılında GSM'le ilgili çalışmaları ETSI (Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü) devralarak devam ettirdi. Teknik esasların hazırlanmasının ardından ilk sayısal hücresel haberleşme sistemlerinden biri olan GSM, 1991 yılının başında duyuruldu. Aynı anda ABD'de TIA (Telekomünikasyon Endüstri Birliği) tarafından sayısal hücresel haberleşme standardı oluşturmak için yapılan çalışmalar sonucunda TDMA tabanlı IS-54 (Ara Standart) standardı geliştirildi. Ek servisleri destekleyen IS-136 ise 1996 yılında duyuruldu. 1993 yılında yine TIA tarafından CDMA tabanlı IS-95A (cdmaOne) standardı geliştirildi. Japonya'da kullanılan ikinci nesil TDMA standardı PDC (Kişisel Sayısal Hücresel) olarak adlandırılmaktadır. 1800 MHz bandında çalışan GSM sistemi ise DCS (Sayısal Hücresel Telekomünikasyon Sistemi) olarak adlandırılmaktadır.

1990'lı yılların başında sayısal iletim teknolojisiyle birlikte gelişen teknoloji ikinci nesil mobil sistemler olarak adlandırıldı. Sayısal teknolojiyle sistem kapasitesi ve servis kalitesinin artırılabilmesi, daha hafif ve küçük boyutlarda mobil telefon üretilebilmesi mümkün oldu. Ayrıca güvenlik, hata kontrolü gibi denetimler de artırıldı.

İkinci nesildeki önemli mobil haberleşme standartları olarak GSM, D-AMPS (IS-54 ve IS-136 standartlarını içermektedir), CDMA IS-95A, PDC ve DCS gösterilebilir.

GSM standardında sunulabilen veri hizmeti oldukça düşük hızlardaydı. Ayrıca devre anahtarlama bağlantı veri iletimi için uygun yapıda değildi. Şebekedeki sınırlamalar GSM standardına yapılan GPRS (Genel Paket Radyo Hizmeti) eklentisi ve diğer standartlara yapılan eklentilerle (örneğin, IS-95B) belirli bir süre için aşıldı. Bu

teknolojiler 2.5G olarak adlandırıldı. GPRS, kullanıcılara birden fazla zaman dilimi ayrılarak değişken hızlarda veri haberleşmesi yapılmasını sağlayan paket anahtarlama bir teknolojidir. GPRS’de CS1-4 olmak üzere dört farklı kod kümesi zaman dilimi başına 9.05 kbps ile 21.4 kbps aralığında farklı veri hızlarını sağlamaktadır.

EGDE (GSM Evrimi için Geliştirilmiş Veri Hızı) sisteminde ise 8.8 kbps ile 59.2 kbps aralığında farklı veri hızlarını sağlayan 9 tane kod kümesi MCS1-9 bulunmaktadır. GPRS’ye göre daha yüksek hızlara çıkılabilmesi 8PSK (8’li Faz Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonunun kullanılmasıyla sağlanmıştır. EDGE, UMTS’ye (Evrensel Mobil Telekomünikasyon Sistemi) alternatif bir teknoloji değildir ancak bazı durumlarda tamamlayıcı olarak kullanılabilir. 2.5G sistemlerinde veri hızları ve servis kullanım oranlarındaki artışlar sonucunda mobil sistemlerde veri haberleşme uygulamalarının büyük bir önem ve potansiyele sahip olduğu görülmüştür.

Her ne kadar dünya çapında şebeke için standartlaşma amaçlansa da Avrupa, Japonya ve ABD’de kullanılan standartların birbirlerinden farklı olması nedeniyle ikinci nesil sistemlerle bu amaca ulaşamamıştır. Bu standartların içinde GSM, teknik ve ticari anlamda bekleneni en çok veren, belirli oranda dünya çapında standart olarak tanımlanabilen sistemdir.

Dünya çapında ortak standart ihtiyacı, kapasite yetersizliği ve daha yüksek veri hızlarına olan ihtiyaç sonucunda üçüncü nesil sistemler doğmuştur. Üçüncü nesil sistemler kullanıcılara sesli görüşmenin haricinde görüntülü görüşme, sosyal ağlar, mobil televizyon, konum tabanlı servisler, yüksek hızlarda veri haberleşme uygulamalarını kullanabilme ve üçüncü nesil teknolojinin getirdiği diğer yeniliklerden faydalanabilme imkânı sağlamaktadır.

2.1.3 Üçüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri

Üçüncü nesil mobil haberleşmeyle ilgili çalışmalara 1980’li yıllarda ITU (Uluslararası Telekomünikasyon Birliği) bünyesinde başlandı. Birliğin çalışmaları dünya çapında IMT-2000 (Uluslararası Mobil Telekomünikasyon-2000) (eski adıyla FPLMTS) (Gelecek Kamu Karasal Mobil Telekomünikasyon Sistemleri) standardını oluşturma amacını taşımaktaydı. Bu standarda göre üçüncü nesil mobil haberleşmenin Avrupa, ABD ve Asya’da ortak bir frekans bandında yapılması düşünülmüyordu.

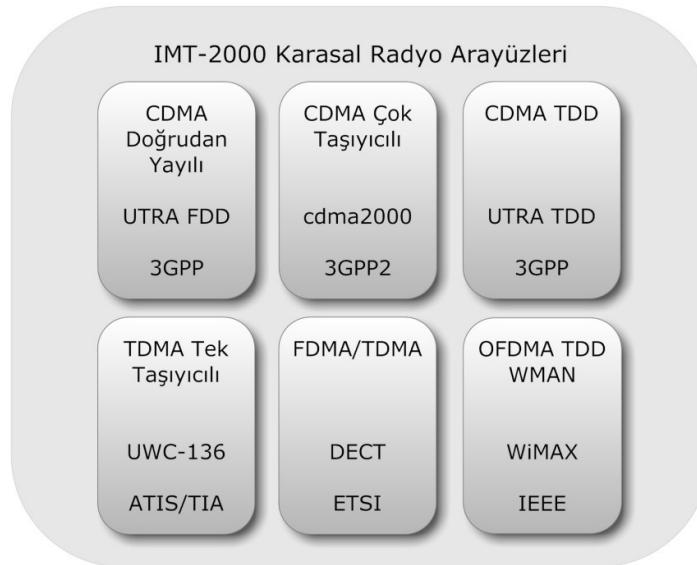
IMT-2000 için ilk olarak 1992 yılında Dünya İdari Radyo Kongresi'nde (WARC-92) 230 MHz'lik frekans bandı tanımlandı. Buna göre küresel spektrum 1885-2025 ve 2110-2200 MHz bantları olarak belirlendi. 230 MHz'lik bu bantta 2x60 MHz FDD (Frekans Bölüşümlü Çift Yönlü), 35 MHz ise TDD (Zaman Bölüşümlü Çift Yönlü) için tanımlanmıştır. 2000 yılında ek spektrum tanımlaması Dünya Radyohaberleşme Konferansı'nda (WRC-2000) ikinci nesil sistemler için kullanılan 806-960 MHz bandı ile 1710-1885 MHz ve 2500-2690 MHz bantlarının belirlenmesiyle gerçekleştirildi. 2007 yılında yine Dünya Radyohaberleşme Konferansı'nda (WRC-07) 450 MHz'de ek bir bant tanımlaması daha yapıldı.

ITU bünyesinde radyo haberleşmeyle ilgili çalışmalar ITU-R (Radyohaberleşme Sektörü) tarafından yapılmaktadır. IMT-2000 sistemi için küresel anlamda frekans düzenlemeleri ilgili ITU-R tavsiyesinde belirtilmiştir [9]. Tanımlanan frekans bantlarının kullanılabilirliği bölgesel olarak değişiklik göstermektedir. Bu nedenle 3G dolaşımı çok bantlı cihazlarla sağlanabilmektedir.

ITU tarafından yapılan çalışmaların dışında dünya genelindeki farklı bölgelerde üçüncü nesil sistemlerin geliştirilmesi için çeşitli çalışmalar yürütölmekteydi. Avrupa, Japonya ve ABD'de üçüncü nesil sistemler üzerine yapılan çalışmalarda WCDMA (Geniş Bant CDMA) tabanlı erişim tekniğı kullanılmaktaydı. 1996 yılında üçüncü nesil sistemler için standartlaşma çalışmaları ETSI tarafından başlatılmıştır. Bu sürecin sonunda, 1998 yılında UMTS için WCDMA eşli spektrumda (FDD) ve TD-CDMA (Zaman Bölüşümlü CDMA) eşli olmayan spektrumda (TDD) kullanılacak arayüzler olarak seçilmiştir. WCDMA standartlaşmasına ETSI ve ARIB tarafından 1998 yılının sonunda 3GPP'nin (Üçüncü Nesil Ortaklık Projesi) kuruluşuna kadar devam edilmiştir. Üçüncü nesil mobil sistemler için küresel şartnameler hazırlanabilmesi amacıyla standartlaşma kurumları tarafından işbirliğı yapılması sonucunda 3GPP oluşturulmuştur. Bu kurumlar ETSI (Avrupa), ARIB ve TTC (Japonya), TTA (Kore), CCSA (Çin) ve ATIS (ABD) şeklindedir. 3GPP farklı Teknik Şartname Grupları'ndan (TSG) oluşmaktadır ve ikinci nesilde GSM, üçüncü nesilde UTRA (Evrensel Karasal Radyo Erişimi) ve dördüncü nesilde E-UTRA (Evrilmiş-UTRA) standartlarını belirlemektedir. Üçüncü nesil ortaklık projesine benzer bir diğör proje olan 3GPP2 ise 1999 yılında kurulmuştur ve cdma2000 sistemi

için üçüncü nesil tanımlamaları yapmaktadır. ARIB, CCSA, TTA ve TTC 3GPP2 bünyesindeki kurumlardır.

ITU bünyesinde üçüncü nesille ilgili devam eden çalışmalar 3GPP ve 3GPP2 ortaklık projelerinin uluslararası çerçevede standartlaşma çalışmaları yapmalarına olanak sağlamıştır. Üçüncü nesil sistemler ITU tarafından IMT-2000 olarak adlandırılmaktadır. IMT-2000 çerçevesinde standartlaşma kurumları tarafından farklı standartlar tanımlanmıştır. 1999 yılında ITU, IMT-2000 için beş tane radyo arayüzünü onaylamıştır [10]. Bunlar UTRA FDD, cdma2000, UTRA TDD, UWC 136 (Evrensel Kablosuz Haberleşme) ve DECT (Sayısal Geliştirilmiş Telsiz Telekomünikasyon) şeklindedir. 2007 yılında OFDMA (Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoklu Erişim) TDD WMAN (Kablosuz Kentsel Alan Ağı), ITU tarafından altıncı karasal radyo arayüzü olarak kabul edilmiştir [11]. Ana IMT-2000 tavsiyesi IMT-2000 radyo arayüzü şartnamelerini tanımlayan ITU-R M.1457'dir [12].



Şekil 2.2 IMT-2000 radyo arayüzleri ve şartnameleri hazırlayan kuruluşlar

Avrupa'da üçüncü nesil sistemler için UMTS tanımı kullanılmaktadır. UMTS ile üçüncü nesil sistemlerin yanında ikinci nesil sistemlerle birlikte çalışma sağlanarak ikinci nesil şebekeden üçüncü nesle sorunsuz geçiş amaçlanmaktadır.

Üçüncü nesil sistemler 3GPP bünyesinde UTRA olarak adlandırılmakta ve UTRA FDD ile UTRA TDD olmak üzere iki farklı çalışma modundan oluşmaktadır. UTRA FDD ile yukarı ve aşağı linkte ayrı frekanslar kullanılarak iletim yapılırken UTRA TDD ile yukarı ve aşağı

linkte aynı frekans kullanılmakta, iletim yönüne göre zaman dilimi değiştirilmektedir. WCDMA arayüzü FDD modunu kullanırken, TD-CDMA ve TD-SCDMA (Zaman Bölüşümlü Eşzamanlı CDMA) arayüzleri TDD modunu kullanmaktadır. Çin’de WCDMA’ya alternatif olarak geliştirilen TD-SCDMA Sürüm 4’te duyurulmuştur.

3GPP tarafından ilgili ITU tavsiyelerine göre yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ITU’ye iletilmektedir. Organizasyon ortakları standartlarda yer alması için bölgesel ihtiyaçları tanımlamak zorundadır. Şartnameler yılda dört kez gerçekleşen TSG toplantılarından sonra güncellenmektedir. 3GPP belgeleri sürümlere bölünmüştür ve her yeni sürüm çıkarıldığı döneme göre GSM, UMTS ve LTE için yeni özellik ve düzenlemeler içermektedir. İlk sürüm çıkarıldığı 1999 yılı ile numaralandırılırken takip eden diğer sürümler 4’ten itibaren numaralandırılmıştır. WCDMA radyo erişimi için Sürüm 99, IMT-2000 ihtiyaçlarını karşılayan ilk sürümdür. 3GPP bünyesinde geliştirilen yeni şartnamelerle birlikte üçüncü neslin evrimi gerçekleşmektedir.

Üçüncü neslin dördüncü nesle evrimine doğru sistemin bant kapasitesi artış göstermektedir. Mobil cihazlar üzerinden internet erişiminin sağlanması ve yüksek veri hızı gerektiren servislerin kullanımının artması geniş bant haberleşmeye olan ihtiyacı artırmıştır. Bu ihtiyaç, dördüncü nesil teknolojilerin gelişimine yön veren önemli bir motivasyon kaynağı olmuştur.

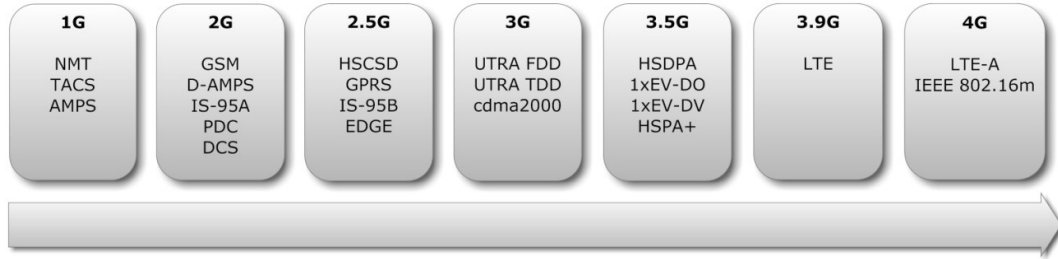
2.1.4 Dördüncü Nesil Mobil Haberleşme Sistemleri

3GPP tarafından radyo erişim şebekesi ve çekirdek şebekenin tekrar tasarlanması sonucunda LTE (Uzun Vadeli Evrim) ortaya çıkmıştır ve ilk olarak Sürüm 8’de duyurulmuştur. LTE, OFDMA tabanlı sistemdir ve her ne kadar LTE-A (LTE-Gelişmiş) ile aynı teknoloji olsa da 3.9G olarak sınıflandırılmaktadır. Dördüncü nesil teknolojiler kablosuz ağlarda kullanıcılara daha yüksek performansta veri haberleşmesi imkânı sunmaktadır.

Üçüncü neslin dördüncü nesle evriminde UTRA, E-UTRA yapısını almıştır. LTE (E-UTRA) genellikle dördüncü nesil sistemi olarak adlandırılrsa da Sürüm 10 ile birlikte ITU tarafından dördüncü nesil şebekeler için oluşturulan IMT-A (IMT-Gelişmiş) gerekliliklerine uygun olarak tanımlanan LTE-A dördüncü nesil kategorisinde gösterilmektedir. IMT-A, üçüncü nesil sistemlerin ötesinde yeni radyo arayüzleri ve

özelliklerini içeren dördüncü nesil sistemler için kullanılan tanımlamadır. Ekim 2010'da ITU-R tarafından LTE-A ve IEEE 802.16m, IMT-A ilk sürüm kriterlerini karşılayan radyo arayüzleri olarak duyurulmuştur [13].

Mobil sistemlerin gelişiminde yüksek dereceli modülasyonların kullanılmasıyla teoride çok yüksek hızlara ulaşılabilmektedir. Teorik hızlarda koşullar her zaman idealdir. Ancak pratikteki hızlar ise kullanılan mobil cihazların veri kapasitesi, kalite hedefleri, bulunulan ortamdaki koşullar, aktif kullanıcı sayısı gibi farklı nedenlerden dolayı teorik hızlara göre daha düşük olmaktadır. Teoride ulaşılabilen maksimum hızlar kullanılan teknolojinin kapasitesi ve yeteneklerini belirtmektedir. Dolayısıyla pratikteki hızlar her ne kadar maksimum teorik hızlara göre düşük olsa da kullanıcı ihtiyaçlarına göre şekillendiği için beklentileri tamamıyla karşılamaktadır.



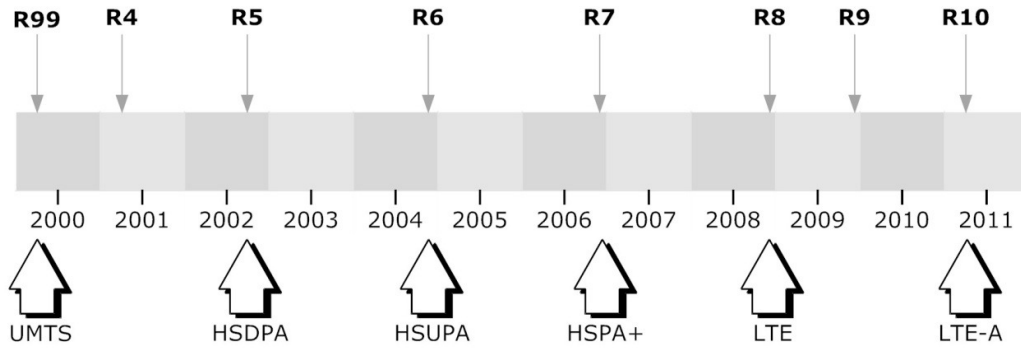
Şekil 2.3 Kablosuz haberleşme sistemlerinin gelişimi

Birinci nesil analog sistemler ses haberleşmesine odaklıyken ikinci nesil sayısal sistemlerle birlikte ses haberleşmesinin yanında veri haberleşmesi de kullanıma sunulmuştur. İlk olarak devre anahtarlama bağlantı kullanılarak yapılan veri haberleşmesi ilerleyen zamanda yerini daha verimli ve hızlı iletim sağlayan paket anahtarlama bağlantıya bırakmıştır. GSM sisteminde başlangıç olarak 9.6 kbps hızında haberleşme yapılabilirken HSCSD (Yüksek Hızlı Devre Anahtarlama Veri) ile kullanıcıya dörtte kadar zaman dilimi tahsis edilmesi sonucunda veri hızında artış (tam hızlı kanalda hata kontrolüyle 38.4 kbps) yaşanmıştır. Veri hızındaki önemli artışlar paket anahtarlama sistemlerinin kullanılmasıyla gerçekleşmiştir. Üçüncü nesildeki ilk sistemler (Sürüm 99) devre ve paket anahtarlama iletime dayalıdır. Sürüm 5'te duyurulan IMS (IP Çoklu Ortam Alt Sistemi) ile sunulan bütün servislerin paket anahtarlama iletime dayalı olduğu Tüm-IP yapısına geçiş başlamıştır. Üçüncü neslin dördüncü nesle evrimi sonucunda LTE teknolojisiyle birlikte radyo erişim ve çekirdek şebekelerin yapıları değişmiştir. Dördüncü nesil mobil teknolojilerle mevcut frekans bandı daha verimli

kullanılmakta dolayısıyla sistem kapasitesi artmaktadır. Mobil haberleşme sistemlerinin süreç içerisindeki gelişimi sonucunda bütünleşmiş ağ yapısına ulaşılması hedeflenmektedir.

2.2 3GPP Sürümleri

Üçüncü nesil ve sonrasındaki mobil sistemler için küresel şartnameler oluşturmak amacıyla kurulan 3GPP daha sonra GSM/GPRS/EDGE şartnamelerini de hazırlayan kuruluş olmuştur. 3GPP tarafından UMTS için hazırlanan ilk şartname Sürüm 99'dur.



Şekil 2.4 3GPP sürümlerine genel bakış

Sürüm 99, UMTS şartnamelerini tanımlayan ilk sürümdür. GSM'den farklı olarak radyo erişim şebekesi (UTRAN) (UMTS Karasal Radyo Erişim Şebekesi) yeniden tasarlanmıştır. WCDMA hava arayüzünün kullanılmasıyla UTRAN pratik olarak aşağı ve yukarı linkte 384 kbps'ye varan hızlarda haberleşme yapabilmektedir. Çekirdek şebekede ise UMTS özelliklerini sağlamak için GSM'nin kullandığı devre anahtarlama yapı ve GPRS çekirdek şebekede güncellemeler yapılmıştır.

Sürüm 4'te devre anahtarlama ses ve veri servisleri için önemli bir güncelleme yapılmıştır. Ses ve devre anahtarlama veri iletimi zaman dilimleri üzerinden yapılırken Sürüm 4'te bu durum geliştirilmiştir. BICN (Taşıyıcı Bağımsız Çekirdek Şebeke) ile trafik IP paketleri içinde taşınmaktadır. MSC bu nedenle sunucu (MSC-S) ve (devre anahtarlama) ortam geçidi (CS-MGW) birimlerine ayrılmıştır. Yapılan bu değişiklik devre ve paket anahtarlama trafiğin bütünleşmiş ağ içinde taşınması için önemli bir adım olmuştur.

Tüm-IP yapısına geçiş Sürüm 5 ile başlamıştır. IMS ile şebekenin devre anahtarlama bölümü kaldırılarak paket anahtarlama yapı kullanılmaya başlanmıştır. Devre

anahtarlama telefon sistemleri arasındaki bağlantıyı MGW'ler sağlamaktadır. Sürüm 5'le gelen en önemli yenilik aşağı link veri iletim hızını artıran HSDPA'dır. Ulaşılabilen hızların artışıyla birlikte UMTS teknolojisinin kullanım alanları genişlemiştir.

Sürüm 6'da yukarı linkteki erişim hızını Sürüm 99'a göre önemli ölçüde artıran HSUPA tanımlanmıştır. HSDPA ve HSUPA birlikte HSPA olarak adlandırılmaktadır.

Sürüm 7'de mobil istasyonda güç tüketiminin azaltılması ve aktif duruma hızlı bir şekilde dönülmesini sağlayan CPC (Sürekli Paket Bağlanırlığı) eklenmiştir. MIMO (Çok Girdili Çok Çıktılı) ve 64-QAM (64-Dördün Genlik Modülasyonu) kullanılmasıyla HSPDA'da daha yüksek hızlara ulaşabilmektedir. HSUPA'da ise 16-QAM modülasyonu kullanılarak ulaşılabilen hızlarda artış yaşanmıştır. Yapılan yeni eklentilerle birlikte HSPA gelişimi sonucunda HSPA+ olarak adlandırılmıştır.

Sürüm 8, LTE'nin duyurulduğu sürümdür. Şebeke yapısında UTRAN'ın evrimi E-UTRAN (Evrimsel UTRAN) ve çekirdek şebekenin evrimi EPC (Evrimsel Paket Çekirdek) olarak adlandırılmıştır. Paket anahtarlama sistem üzerine kurulan çekirdek şebeke HSPA ve LTE sistemlerine hizmet verebilmektedir. MIMO ve 64-QAM'nin eşzamanlı kullanımı sonucunda tek kanal ile HSPA'de ideal koşullarda aşağı linkte 40 Mbps civarında veri hızına ulaşılabilmiştir. UMTS'de bitişik iki kanalı birleştirerek (çift taşıyıcı) daha fazla bant genişliği elde edilmesi mümkün olmuştur.

Sürüm 9'da LTE için yeni tanımlama ve düzenlemeler yapılmıştır. UMTS'de yukarı linkte de bitişik iki kanalın birleştirilmesi mümkün olmuştur. Böylece yukarı linkte ulaşılabilen veri hızında artış olmuştur. Çift taşıyıcı sistemin MIMO ile birlikte kullanılması sonucunda aşağı linkte Sürüm 8'e göre daha yüksek veri hızına ulaşılabilmiştir. Aşağı linkte kanalların komşu olması zorunluluğu aşarak farklı bantlardaki iki kanalın birleştirilebilmesi mümkün olmuştur. Ayrıca GSM ve GPRS için yeni bir şifreleme algoritması (A5/4) tanımlanarak güvenlik güncellemesi yapılmıştır.

Sürüm 10'da IMT-A gerekliliklerini karşılayan LTE-A tanımlanmıştır. LTE-A'da veri hızında önemli artış yaşanmıştır.

İKİNCİ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

GSM standardı sayısal ve TDMA tabanlı bir teknolojidir. Sayısal sistemin getirdiği geliştirilmiş güvenlik, düşük güçte haberleşme gibi birçok yeniliğin yanında TDMA teknolojisiyle birlikte frekans spektrumunun daha verimli kullanılması sonucunda sistem kapasitesi birinci nesil analog sistemlere göre büyük oranda artmıştır.

3.1 GSM

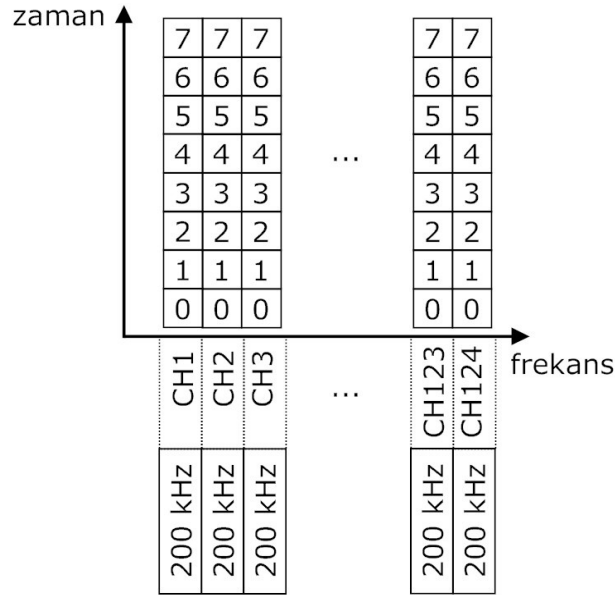
Hücrel haberleşme sistemleri birbiriyle örtüşen hücrelerden oluşmaktadır. Hücre, tek bir baz istasyonu (BTS) anten sisteminin kapsadığı bölgedir. Baz istasyonu anteni tüm yönlü veya yönlü olabilir. Tek bir BTS ile tüm yönlü anten kullanılarak yapılan kapsama tüm yönlü hücreyi oluşturmaktadır. Yönlü antenler kullanılarak yapılan kapsama ise sektör hücreleri oluşturmaktadır. En sık kullanılan tasarım olan 3 sektör hücrelerde yönlü antenler 120°'lik açılarla konumlandırılmakta ve her hücreye birer BTS hizmet vermektedir.

3.1.1 Frekans Bandı ve Radyo Erişimi

Dünya genelinde GSM haberleşmesi 900, 1800 ve 1900 MHz bantlarında yapılmaktadır. Ülkemizdeki operatörlerden Turkcell ve Vodafone 900 MHz bandını kullanırken, Avea 1800 MHz bandını kullanmaktadır. Bu bölümde bina içi kapsama çalışmasının yapıldığı frekans bandı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

GSM900'de spektrum, FDD kullanılarak yukarı ve aşağı linkte 125 tane 200 kHz'lik kanallara bölünmüştür. Bant sınırındaki en düşük frekanslı kanal, aralık dışında kalan

bantla girişimi önlemek için koruma kanalı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle haberleşmede kullanılan kanal 124 tanedir. Her bir kanal zaman düzleminde 8 tane dilime (TSL) bölünmüştür. Bu yapı bir çerçeve olarak adlandırılmaktadır. GSM900 yukarı linkte 890-915 MHz, aşağı linkte 935-960 MHz arasındaki frekans bantlarını kullanmaktadır [14]. UL ve DL 45 MHz'lik bantla birbirinden ayrılmıştır.



Şekil 3.1 TDMA/FDD yapısı

GSM haberleşmesinde TDMA/FDD yaklaşımı kullanılmaktadır. Buna göre kullanıcılar aşağı linkte belirli bir frekanstaki zaman dilimini, yukarı linkte ise farklı bir frekanstaki zaman dilimini kullanmaktadır. TDMA, abonelerin farklı zaman dilimlerini kullanması sonucunda haberleşme kaynaklarının ortaklaşa kullanımını sağlamaktadır. Sistemin kullandığı GMSK (Gauss Minimum Kaydırmalı Anahtarlama) modülasyonu ile 200 kHz'lik bir radyo kanalında (bir TDMA çerçevesi) 270.8 kbps hızında (TSL başına 33.85 kbps) iletim yapılmaktadır.

Her bir TSL 156.25 bitten meydana gelmektedir. Bu yapıda 8.25 bit, koruma zaman aralığı olarak kullanılmaktadır. 114 bitte 2x57'lik diziler halinde kodlanmış veri iletilmektedir. 2x1 bit, TSL'deki verinin trafik ya da kontrol verisi olduğunu gösteren kontrol bitidir. 26 bit, kullanıcı verisi çözülmeden önce kanal analizini sağlayan eğitim dizisi olarak kullanılmaktadır. Kalan 2x3'lük 6 bit ise kuyruk bitidir. Bir TDMA çerçevesinin periyodu 4.615 ms'dir ve 1250 bit içermektedir.

3.1.2 Gezici Abone Yönetimi

Hücresel haberleşmenin sabit hatlara göre en önemli avantajı hizmet alanı içinde kullanıcılara hareketlilik imkânı sunmasıdır. Şebeke, MS ve BTS tarafından yapılan ölçümlere göre sinyal gücü ve servis kalitesini korumak için farklı parametrelere göre yönetilmektedir.

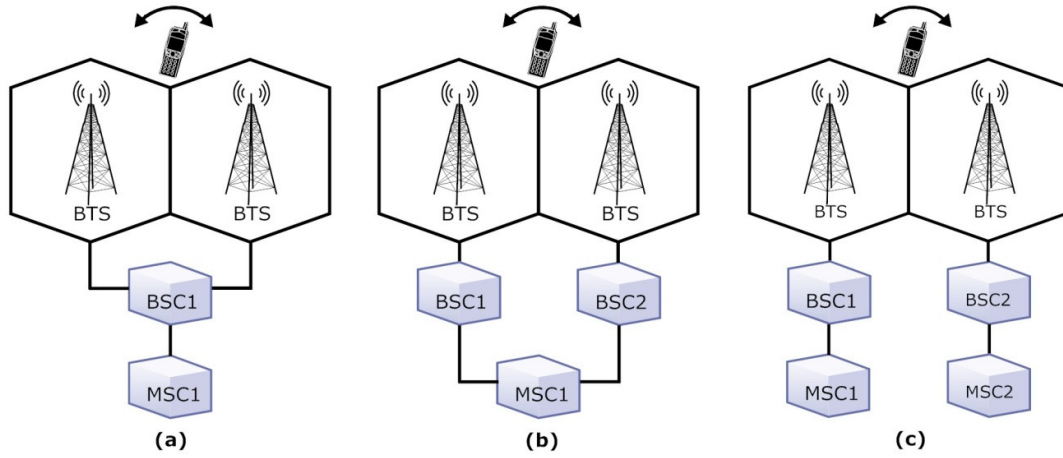
Her hücre kendine özgü hücre küresel kimliği (CGI) ile tanımlanmaktadır. Belirli bir hücre grubu konum alanını (LA) oluşturmaktadır. Abonenin şebekedeki konumu bulunduğu LA'ya göre bilinmektedir. MSC servis alanı birkaç tane LA'dan oluşmakta ve servis alanında tek bir MSC hizmet vermektedir. PLMN (Kamu Karasal Mobil Şebekesi) ise tek bir operatörün servis alanı olarak tanımlanmaktadır.

Mobil istasyon şebekede bağlantısız ya da bağlı durumda bulunabilmektedir. Bağlantısız, MS'nin kapalı ya da SIM kartın devre dışı olduğu durumdur. Bağlı ise MS'nin açık ve SIM kartın etkin olduğu durumdur. Bağlı durumda MS, boş ve aktif olabilir. Boş durumda MS açıktır ancak trafik üretmez. En güçlü sinyali aldığı hücrede bekler ve BTS yayımlama sinyallerini dinler. Dolaşım halinde ise LA bilgisini şebekeye bildirir. Aktif durum, MS'nin çağrı veya veri iletimi yaptığı durumdur. MS aktarma, güç kontrolü gibi değerlendirmeler için aşağı linkte hizmet aldığı hücredeki sinyal gücü ve kalitesi ile komşu hücrelerin sinyal güçlerini ölçer. Sonuçları düzenli aralıklarla SACCH üzerinden BTS'ye gönderir. MS, şebekeye periyodik olarak kayıt mesajı yollamaktadır. Eğer şebeke kayıt mesajı alamazsa MS'nin durumunu bağlantısız olarak tanımlar.

Süreksiz iletim (DTX) ve süreksiz alı (DRX) fonksiyonları kullanılarak mobil terminalin güç tüketimi azaltılmaktadır. DTX ile konuşmanın olmadığı aralıklarda iletim yapılmamaktadır. DTX, hücreler arası girişimin azaltılmasına ve kapasitenin artırılmasına yardımcı olmaktadır. Her bir MS çağrı alt kanallarından birinde tanımlanmıştır ve sadece kendi kanalını dinlemektedir. DRX ile çağrı alt kanalları arasında geçen sürede mobil terminal uyku durumuna geçmektedir.

Aktarma, devam eden görüşmenin farklı bir hücreye transfer edilmesi işlemidir. GSM aktarmalarında sinyal gücü, kalite, trafik, kullanıcı hızı gibi farklı etkenler tetikleyici olabilir. Şekil 3.2'den görülebileceği gibi aktarma aynı BSC'nin hizmet verdiği hücreler arasında gerçekleşirse (a), aynı MSC servis alanındaki farklı BSC'lerin hizmet verdiği

hücreler arasında gerçekleşirse (b), farklı BSC ve MSC'lerin hizmet verdiği hücreler arasında gerçekleşirse (c)'deki yapıda meydana gelmektedir.



Şekil 3.2 GSM'de aktarmalar

Şebeke, servis kalitesini korumak için MS ve BTS'nin iletim gücünü ayarlamaktadır. Her bir hücrede minimum ve maksimum alışı seviyesine göre hücredeki sinyal seviyelerini belirlenen aralıkta tutmak için güç kontrolü yapılmaktadır. GSM'de güç kontrolü saniyede 2 kez (2 Hz) yapılmaktadır. Ayrıca sönümlenme ve girişim etkilerini azaltmak için BTS ile MS eşzamanlı olarak görüşme sırasında frekanslar arası hoplama yaparak iletim yapmaktadır.

Her bir MS kendisine atanan zaman aralığında veri iletimini gerçekleştirmektedir. Zaman hizalaması problemi MS'nin yolladığı verinin BTS'ye doğru zaman diliminde ulaşmaması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda zaman dilimlerinde örtüşme meydana gelmektedir. Bu olay MS ve BTS arasındaki mesafenin fazla olduğu durumlarda yayılım gecikmesinden kaynaklanmaktadır. Zamanlama avansı, zamanda kayma yaşayan MS'nin veriyi normalden önce veya sonra göndermesini sağlayarak zaman hizalaması problemini ortadan kaldırmaktadır. Maksimum 63 bit zamanı kullanılmaktadır.

Yukarı ve aşağı link radyo kalitesi (RxQual) sekiz seviyeye bölünmüştür. RxQual-0 en iyi kaliteyi gösterirken, RxQual-7 ise en kötü kaliteyi göstermektedir. RxQual-4 değerinin üstüne çıktığında ses kalitesinde fark edilebilir bir düşüş yaşanmaktadır. Bu nedenle bina içinde bu değerden daha iyi kalite elde edilmelidir. Kalitedeki düşüş, sinyal seviyesinin azalması veya girişimin artmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.3 İşaretleşme

Bir TDMA çerçevesindeki her bir zaman dilimi fiziksel kanal olarak adlandırılmaktadır. Bu kanallar ses, veri ve işaretleşme bilgilerinin iletiminde kullanılmaktadır. Mesajlar mantıksal kanallar ile fiziksel kanallar üzerinden burst (bilgi bitleri + diğer bitler) biçiminde iletilmektedir. İletilen mesajın türüne göre farklı mantıksal kanallar kullanılmaktadır. Mantıksal kanallar kontrol ve trafik kanalları olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadır.

Çizelge 3.1 Mantıksal kanallar

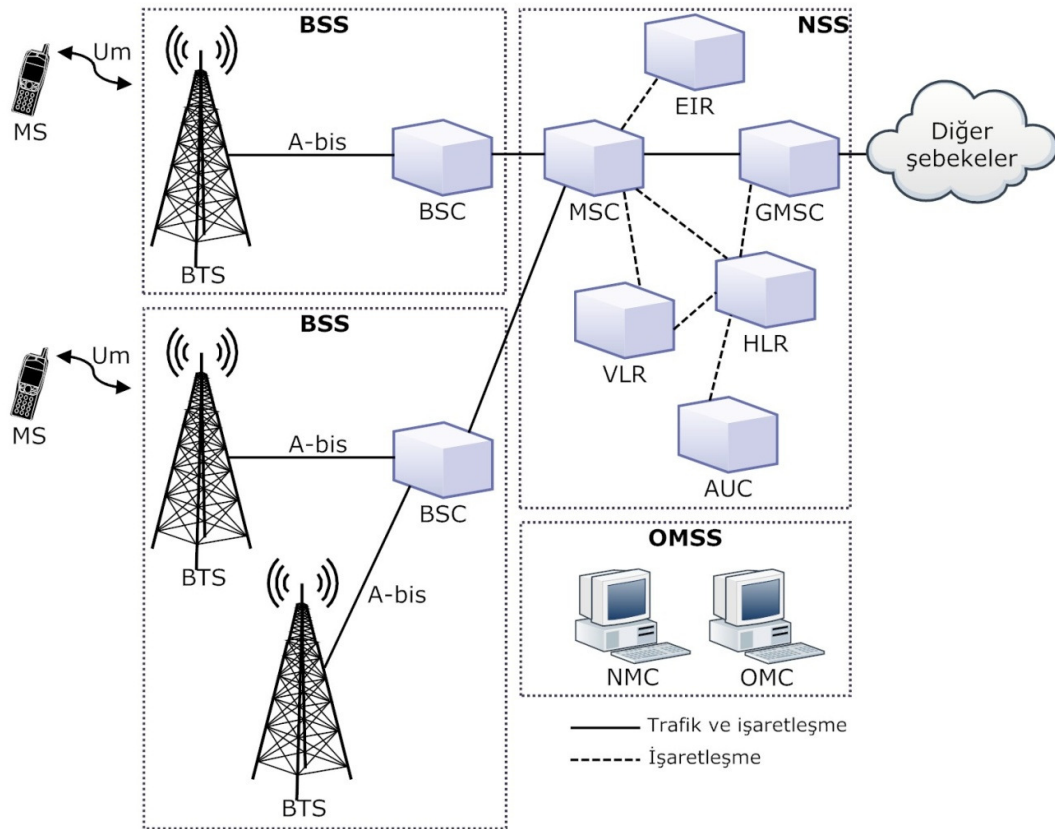
Yayın Kontrol Kanalı (BCCH), DL	Hücre kimliği, LAI bilgisi, maksimum çıkış gücü gibi genel hücre bilgilerini yayımlar.
Frekans Düzeltme Kanalı (FCCH), DL	MS'nin BTS ile bağlantı kurabilmesi için frekans bilgisini iletir.
Eşzamanlama Kanalı (SCH), DL	MS'nin TDMA çerçeve eşzamanlamasını sağlamak için gerekli çerçeve numarası ve BSIC bilgisini taşır.
Çağrı Kanalı (PCH), DL	Gelen bir çağrı ya da kısa mesaj olduğunu belirten çağrı mesajını iletir.
Erişim Tahsis Kanalı (AGCH), DL	MS'ye TCH ya da SDCCH atamak için kullanılır.
Rastgele Erişim Kanalı (RACH), UL	MS çağrı mesajlarına cevap verdiğinde, şebekeye bağlanmak istediğinde, LA güncellemesinde, çağrı kurulumunda kullanılır.
Bağımsız Özel Kontrol Kanalı (SDCCH), UL/DL	Kimlik denetimi, dolaşım ve çağrı kontrolünde kullanılır.
Yavaş İlişkilendirilmiş Kontrol Kanalı (SACCH), UL/DL	Hizmet alınan hücre ve komşu hücrelerdeki sinyal güçleri ölçüm raporlarını taşır.
Hızlı İlişkilendirilmiş Kontrol Kanalı (FACCH), UL/DL	Aktarma bilgilerini iletir.

Kontrol kanallarıyla işaretleşme ve eşzamanlama verileri taşınmaktadır. BCCH, FCCH ve SCH yayım kanallarını (BCH), PCH, AGCH ve RACH ortak kontrol kanallarını (CCCH), SDCCH, SACCH ve FACCH ise özel kontrol kanallarını (DCCH) oluşturmaktadır.

Trafik kanalları (TCH) yukarı ve aşağı linkte kullanıcı verilerini taşıyan kanaldır. Tam hız ve yarı hızda olabilir. Tam hızda ses verisi 13 kbps hızında iletilir. Bir fiziksel kanalı kaplar. Bir TDMA çerçevesi 8 çağrıyı taşıyabilir. Yarı hızda ise ses verisi 6.5 kbps hızında iletilir. İki yarı hızlı TCH bir fiziksel kanalı kaplar. Böylece bir TDMA çerçevesindeki kanal sayısı iki katına çıkarılmış olur.

3.1.4 Şebeke Mimarisi

GSM şebeke yapısı üç alt sistem içerisinde toplanmaktadır. Baz istasyonu alt sistemi (BSS), radyo iletişimle ilgili işlemlerin gerçekleştirildiği sistemdir. Şebeke anahtarlama alt sistemi (NSS), çağrı işleme ve aboneyle ilgili işlemlerin gerçekleştirildiği sistemdir. İşletim ve yönetim alt sistemi (OMSS) ise şebekeyle ilgili trafik ve alarm gözetimi gibi işlemlerin yapıldığı sistemdir. BSS ve NSS birimlerine erişime sahiptir.



Şekil 3.3 GSM şebeke yapısı

Mobil istasyon (MS), mobil cihaz (ME) ve abone bilgilerinin tutulduğu SIM (Abone Kimlik Modülü) karttan oluşmaktadır. Şebekeye 200 kHz'lik kanallardan oluşan Um radyo arayüzüyle bağlanır. SIM, abonenin özgün kimlik tanımlayıcısı olan IMSI

(Uluslararası Mobil Abone Kimliği) numarasını barındırır. Mobil cihazın özgün kimlik tanımlayıcısı ise IMEI (Uluslararası Mobil İstasyon Donanım Kimliği) numarasıdır.

Baz istasyonu (BTS), hücreye servis verebilmek amacıyla radyo alıcı-vericiler (TRX) ve antenlerden oluşmaktadır. MS ile arasındaki arayüzü kontrol eder. MS, hücre içerisinde tek BTS'ye bağlıdır ve aynı frekansta iletim yapan baz istasyonlarını BSIC (Baz İstasyonu Kimlik Kodu) ile ayırt etmektedir. Baz istasyonu denetleyicisi (BSC), bir ya da birden fazla BTS'yi yönetmektedir. MS ve BTS'nin ölçüm raporlarını toplar. Servis alanı içinde aktarma, güç kontrolü, kanal atama işlemlerini gerçekleştirir. BTS'ye A-bis arayüzüyle bağlıdır.

Mobil hizmetler anahtarlama merkezi (MSC), şebekedeki çağrı anahtarlama işlemlerinin yapıldığı birimdir. MSC, servis alanı içinde MS'ye gelen ve MS'nin yaptığı çağrıları kontrol eder. Çağrı kurulumu, gözetimi ve sonlandırılması işlemlerini gerçekleştirir. Ayrıca çağrı yönlendirme gibi tamamlayıcı hizmetleri de sağlamaktadır. Anahtarlama ve çeşitli servisleri desteklemek için NSS'deki diğer birimlerle bağlantılıdır. Bir MSC birkaç tane BSC'ye hizmet verebilir. BSC'lere A arayüzüyle bağlıdır. Geçit mobil hizmetler anahtarlama merkezi (GMSC), mobil şebeke ile diğer şebekeler arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Abone ana kütüğü (HLR), her bir aboneye ait IMSI numarasını, servis profilini, konum bilgisini (MSC servis alanı) ve kimlik denetim bilgisini içeren veritabanıdır. Kullanıcının aboneliği sonlanmadıkça bu bilgiler HLR'de tutulur. Ziyaretçi abone kütüğü (VLR), MS'nin bulunduğu LA bilgisi ve şebekede MSC tarafından o anda hizmet verilen abonelerin bilgilerinin geçici olarak tutulduğu veritabanıdır. VLR, HLR'deki bilgilerin kopyasını tutar. Şebekede her bir MSC servis alanı için bir VLR bulunmaktadır. Cihaz kimlik kütüğü (EIR), şebekedeki bütün geçerli ME bilgilerinin tutulduğu veritabanıdır. Cihazın çalınması, kayıtsız kullanımı gibi durumlarda kimlik bilgisi (IMEI) kullanılarak cihazın şebeke kullanımı kısıtlanabilir. Kimlik denetim merkezi (AUC), her kullanıcının SIM kartında da bulunan özel anahtar bilgisinin tutulduğu veritabanıdır. Bu bilgi kullanılarak abonelerin kimlik doğrulama ve link şifreleme işlemleri yapılır.

Şebeke yönetim merkezi (NMC), şebekenin merkezi kontrolünün yapıldığı yönetim birimidir. Kendisine bağlı OMC'leri kontrol eder. İşletim ve bakım merkezi (OMC), şebeke birimlerine bağlı olan ve şebeke durumu hakkında bilgilerin gösterildiği, şebeke

gözetimi ve kontrolünün yapıldığı merkezdir. Şebeke büyüklüğüne göre birden fazla OMC kullanılabilir.

3.2 Trank Kuramı

Trank kuramı belirli hizmet niteliği (GOS) altında sınırlı sistem kaynaklarının ne kadarlık bir kitle tarafından kullanılabileceğini belirtir. GOS, bir kullanıcının trank sistemine meşgul saatte bağlanabilme yeteneğinin ölçümüdür [15]. Trank kuramının temelleri Danimarkalı matematikçi Agner Krarup Erlang tarafından geliştirilmiştir. Erlang'ın trafik yükü hesaplamalarında önerdiği formül dünya genelinde kabul görmüş ve standartlaşmıştır. Günümüzde telefon sistemlerinde trafik yükü birimi olarak Erlang (E) kullanılmaktadır.

Trank sisteminde hiçbir kullanıcıya ait sabit bir kanal bulunmamaktadır. Boş kanallar havuzda toplanmıştır ve kanal ataması bu havuzdan yapılmaktadır. Kullanıcı aramayı sonlandırdığında bulunduğu kanal, boş kanal havuzuna tekrar eklenmektedir. İlişkisiz bloke çağrılar ve gecikmeli bloke çağrılar olmak üzere iki tür trank sistemi bulunmaktadır. İlişkisiz bloke çağrılarda, kullanıcının yaptığı çağrı talebi sonucunda boş kanal bulunması durumunda kullanıcının o anda kanala erişimi sağlanmaktadır. Sistemde talep edilen anda boş kanal bulunmuyorsa kullanıcı bloke olmaktadır. Gecikmeli bloke çağrılarda ise o anda boş kanal bulunmuyorsa kullanıcı sıralamaya sokulmaktadır. Bu sistemde hizmet almak isteyen kullanıcılar boş kanal bulunana kadar bekletilmektedir.

3.2.1 Erlang B

Erlang B formülü ilişkisiz bloke çağrılar sistemi için GOS ölçümüdür. Bu formül kullanılarak toplam sunulan trafik yükü ve kanal sayısına göre çağrı talebinin bloke olma olasılığı (3.1) belirlenmektedir. Erlang B modeli aşağıdaki kabullere dayanmaktadır [15].

$$GOS = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{k=0}^C \frac{A^k}{k!}} \quad (3.1)$$

- Bütün kullanıcılar (bloke olanlar da dâhil) herhangi bir anda çağrı talebi yapabilir.
- Bütün boş kanallar, dolana kadar kullanıcılar için uygun durumdadır.
- Bir kullanıcının hizmet süresi üstel dağılımlıdır.
- Trank havuzunda sınırlı sayıda kanal bulunmaktadır.
- Çağrı talepleri Poisson dağılımına göre tanımlanmaktadır.
- Çağrı talepleri arasında geçen süreler birbirinden bağımsızdır.
- Meşgul kanal sayısı meşgul kullanıcı sayısına eşittir.

Bir kullanıcının oluşturduğu trafik yükü, kullanıcının birim zamandaki ortalama çağrı varış oranı ile ortalama çağrı süresinin çarpımıdır.

$$A_u = \lambda_1 H \quad (3.2)$$

U kullanıcı için toplam sunulan trafik yükü ise,

$$A = UA_u = \lambda H, \quad \lambda = U\lambda_1 \quad (3.3)$$

Sisteme yapılan çağrı varışları Poisson sürecine göre modellenmiştir. Poisson süreci, olayların sürekli ve birbirinden bağımsız olarak meydana geldiği rastgele bir süreçtir ve sayma süreci olarak da tanımlanmaktadır. Sayma süreci a , t_1 ve t_2 zaman aralığında meydana gelen varış sayısını belirtmektedir ve Poisson dağılımlıdır.

$$a(t_1, t_2) = a(t_2) - a(t_1) \quad (3.4)$$

Poisson süreci farklı t zamanları için rastgele değişkenler dizisidir, $(a(t), t \geq 0)$. Bu durumda $a(t)$, her t değeri için bir rastgele değişkendir. $a(t)$, $(0, t)$ zaman aralığında λ varış oranında meydana gelen toplam çağrı varışlarının sayısını gösterirse (Saymaya başlamadan önce bir olay meydana gelmediği kabul edilmiştir, $a(0) = 0$), $(t, t + \tau)$ zaman aralığında n yeni varış olma olasılığı,

$$P\{a(t + \tau) - a(t) = n\} = \frac{e^{-\lambda\tau}}{n!} (\lambda\tau)^n, \quad n \geq 0 \quad (3.5)$$

Sistemde hizmet alan her bir kullanıcının hizmet süresi üstel dağılımlı olduğundan n . kullanıcının hizmet süresinin s zamanından kısa olma olasılığı ($\mu = 1/H$),

$$F = P(s_n < s) = 1 - e^{-\mu s}, \quad s > 0 \quad (3.6)$$

$\mu s \ll 1$ ise,

$$P(s_n < s) \approx \mu s \quad (3.7)$$

(3.6)'nın türevi olasılık yoğunluk fonksiyonunu vereceğinden,

$$\frac{d}{ds} F = f(s) = \mu e^{-\mu s} \quad (3.8)$$

Erlang B sistemi M/M/C/C kuyruk sistemi olarak adlandırılmaktadır. Bu sisteme göre ilk M Poisson sürecini, ikinci M kullanıcıların hizmet süresini, ilk C uygun kanal sayısını ve ikinci C aynı anda hizmet verilebilen maksimum kullanıcı sayısını göstermektedir. Trank sistemine yapılan çağrı varışları herhangi bir anda gerçekleşebilir. Sistemdeki kullanıcı (kanal) sayısına göre sistem sadece ayırık durumlarda (0,1,2,...,C) bulunabilmektedir. Trank sisteminin bu davranışı Markov süreciyle tanımlanabilmektedir.

Pozitif tamsayı değerler alan bir ayırık zamanlı rastgele süreç $(X_k, k = 0,1,2, \dots)$ göz önüne alındığında $X_k = i$ ise süreç k zamanında i durumunda bulunmaktadır. Sürecin i durumundan j durumuna geçme olasılığı $P_{i,j}$ ile gösterilmektedir. Sürecin, bulunduğu durumdan bir sonraki duruma geçişi sadece bulunduğu duruma bağlı ise süreç Markov zinciri olarak belirtilmektedir. Geçiş olasılıkları grafiksel olarak Markov zinciri durum şemasıyla gösterilmektedir. Zincir, durum ve geçiş olasılıklarına göre belirtilmektedir.

$$P_{i,j} = P\{X_{k+1} = j | X_k = i\} \quad (3.9)$$

Trank sisteminin çalışması küçük δ zaman aralıklarında (sistemin ayırık durumlarında) incelenebilmektedir (δ sadece bir olay olabilecek kadar küçük bir zaman aralığı). Yani sistem, inceleme anlarında ayırık durumlarda bulunmaktadır. Dolayısıyla δ zamanında hiçbir çağrı olmayabilir, devam eden bir çağrı bitebilir veya yeni bir çağrı gerçekleşebilir. $N_k, t = k\delta$ anında sistemde kullanılan kanal sayısını gösterirse,

$$N_k = N(k\delta) \quad (3.10)$$

N bu durumda, sistemde ayrık zamanlarda kullanılan kanal sayısını gösteren bir rastgele süreçtir. Dolayısıyla durumlar arasındaki geçiş olasılığı (3.9)'la tanımlanmaktadır. δ saniyede n varış olma olasılığı,

$$P\{a(t + \delta) - a(t) = n\} = \frac{e^{-\lambda\delta}}{n!} (\lambda\delta)^n \quad (3.11)$$

n . kullanıcının hizmet süresinin δ zamanından kısa olma olasılığı,

$$P(s_n < \delta) = 1 - e^{-\mu\delta} \quad (3.12)$$

δ zaman aralığında her $t \geq 0$ ve $\delta \geq 0$ için bir varış olma olasılığı (3.14), hiç varış olmama olasılığı (3.15) ve birden fazla varış olma olasılığı (3.16)'daki gibidir. δ zaman aralığında bir varış olma olasılığı,

$$P\{a(t + \delta) - a(t) = 1\} = \frac{e^{-\lambda\delta}}{1} (\lambda\delta) \quad (3.13)$$

$e^x = \sum_{m=0}^{\infty} (x^m/m!)$ eşitliği kullanılarak (3.13) düzenlenirse,

$$\begin{aligned} P\{a(t + \delta) - a(t) = 1\} &= (\lambda\delta) \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-\lambda\delta)^m}{m!} \\ &= (\lambda\delta) \left(\frac{(-\lambda\delta)^0}{0!} + \frac{(-\lambda\delta)^1}{1!} + \frac{(-\lambda\delta)^2}{2!} + \dots \right) \\ &= (\lambda\delta) \left(1 - \lambda\delta + \frac{1}{2} \lambda^2 \delta^2 + \dots \right) = \lambda\delta + O(\delta) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Benzer şekilde,

$$P\{a(t + \delta) - a(t) = 0\} = 1 - \lambda\delta + O(\delta) \quad (3.15)$$

$$P\{a(t + \delta) - a(t) \geq 2\} = O(\delta) \quad (3.16)$$

$O(\delta), \delta \rightarrow 0$ iken limiti,

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \{O(\delta)/\delta\} = 0 \quad (3.17)$$

(3.17)'den görülebileceği gibi δ saniyede birden fazla varış olma olasılığı sıfırdır. (3.9), (3.10), (3.12), (3.14), (3.15) ve (3.16) kullanılarak geçiş olasılıkları ($\delta \rightarrow 0$ iken) elde edilmektedir. Buna göre sisteme yeni bir çağrı varışında,

$$P_{i,i+1} = P\{N_{k+1} = i + 1 | N_k = i\} = \lambda\delta, \quad i \geq 0 \quad (3.18)$$

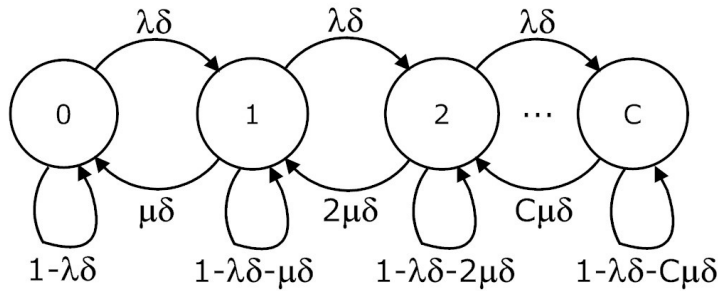
i adet çağrı dışında bir çağrının bitmesi durumunda geçiş olasılığı,

$$P_{i,i-1} = P\{N_{k+1} = i - 1 | N_k = i\} = i(1 - e^{-\mu\delta}) \approx i\mu\delta, \quad \mu\delta \ll 1, \quad i \geq 1 \quad (3.19)$$

Kesin bir durumdaki bütün olasılıklar $P_{i,i-1} + P_{i,i} + P_{i,i+1} = 1$ olduğundan sistemin mevcut durumunu koruma olasılığı,

$$P_{i,i} = P\{N_{k+1} = i | N_k = i\} = 1 - \lambda\delta - i\mu\delta, \quad i \geq 0 \quad (3.20)$$

Şekil 3.4'de C kanallı trunk sisteminin Markov zinciri gösterilmektedir. δ zaman aralığında sistemde 0 kanalın kullanılması olasılığı $1 - \lambda\delta$, bu durumdan 1 kanalın kullanımda olması durumuna geçiş olasılığı $\lambda\delta$, 1 kanalın kullanımda olması durumundan 0 kanalın kullanımda olması durumuna geçiş olasılığı ise $\mu\delta$ 'dir. Aynı şekilde diğer olasılıklar (3.18), (3.19) ve (3.20)'de belirtildiği gibidir.



Şekil 3.4 Erlang B durum geçiş şeması

Sistemin kalıcı durumdayken sonraki aralıkta n durumundan $n - 1$ durumuna geçme olasılığı ile $n - 1$ durumundan n durumuna geçme olasılığı birbirine eşittir. Buna göre,

$$\lambda\delta P_{n-1} = n\mu\delta P_n, \quad 1 \leq n \leq C \quad (3.21)$$

Eşitlik düzenlenirse,

$$P_n = P_{n-1} \frac{1}{n} \frac{\lambda}{\mu} \quad (3.22)$$

(3.22)'de n 'ye tanımlı olduğu aralıkta değerler verilerek eşitlikte düzenleme yapılırsa,

$$P_n = P_0 \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \quad (3.23)$$

şeklinde yazılabilir. $\sum_{n=0}^C P_n = 1$ olduğundan,

$$\sum_{n=0}^C P_n = P_0 + \sum_{n=1}^C P_n = 1 \Rightarrow P_0 = 1 - \sum_{n=1}^C P_n \quad (3.24)$$

(3.23) (3.24)'te yerine yazılırsa,

$$P_0 = 1 - \sum_{n=1}^C P_0 \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \Rightarrow P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^C \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.25)$$

(3.25)'i düzenlersek,

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^C \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} + 1 - 1} = \frac{1}{\sum_{n=0}^C \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!}} \quad (3.26)$$

(3.23)'e göre C tane kanalın bloke olma olasılığı,

$$P_C = P_0 \frac{1}{C!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^C \quad (3.27)$$

(3.26) (3.27)'de yerine yazılırsa ve $A = \lambda H = \lambda/\mu$ olduğundan (3.28) elde edilir.

$$P_C = \frac{\frac{A^C}{C!}}{\sum_{n=0}^C \frac{A^n}{n!}} \quad (3.28)$$

3.2.2 Erlang C

Erlang C formülü gecikmeli bloke çağrılar sistemi için GOS ölçümüdür. Böylece çağrı talebinin sıralamada belirli bir süre bekleddikten sonra bloke olma olasılığı belirlenmektedir. Erlang C formülü,

$$P(\text{gecikmiş çağrı}) = \frac{A^C}{A^C + C! \left(1 - \frac{A}{C}\right) \sum_{k=0}^{C-1} \frac{A^k}{k!}} \quad (3.29)$$

Kuyruktaki çağrının (gecikmeli çağrı) t saniyeden daha fazla bekleme olasılığı,

$$P(\text{bekleme} > t | \text{gecikmiş}) = e^{-\frac{(C-A)}{H}t} \quad (3.30)$$

Herhangi bir kullanıcının kuyrukta t saniyeden daha fazla bekleme olasılığı,

$$P(\text{bekleme} > t) = P(\text{gecikmiş çağrı})P(\text{bekleme} > t | \text{gecikmiş}) \quad (3.31)$$

Tüm çağrılar için ortalama gecikme,

$$\begin{aligned} D &= \int_0^{\infty} P(\text{gecikmiş çağrı})P(\text{bekleme} > t | \text{gecikmiş})dt \\ &= \int_0^{\infty} P(\text{gecikmiş çağrı})e^{-\frac{(C-A)}{H}t}dt \\ &= P(\text{gecikmiş çağrı}) \frac{H}{(C-A)} \end{aligned} \quad (3.32)$$

Kuyruktaki çağrılar için ortalama gecikme ise $H/(C-A)$ şeklindedir. Erlang C modelinde çağrı kanala tahsis edilemiyorsa sonsuz uzunluktaki kuyruk sistemine sokulduğu kabul edilmektedir. Kuyruktaki çağrılar sisteme varış sırasına göre alınmaktadır.

ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL HABERLEŞME SİSTEMLERİ

Ülkemizde üçüncü nesil mobil haberleşme sistemi olarak WCDMA hava arayüzü tabanlı UMTS teknolojisi kullanılmaktadır. Standartlaşması 3GPP tarafından yapılan WCDMA (UTRA FDD) ile frekans bandı verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

4.1 UMTS

4.1.1 Frekans Bandı ve WCDMA Arayüzü

Küresel anlamda frekans düzenlemeleri ITU-R tarafından yapılarak spektrumdaki eşli ve eşli olmayan bölümler tanımlanmaktadır. WCDMA haberleşmesinde eşli spektrum (FDD, 2x60 MHz) kullanılmaktadır. FDD ve TDD için frekans bandı tanımlamaları 3GPP tarafından yapılmaktadır [16], [17]. Ülkemizde, 3GPP tarafından eşli spektrum için tanımlanan frekans bantlarından FDD Bant I kullanılmaktadır. Buna göre haberleşme yukarı linkte 1920-1980 MHz bandında, aşağı linkte 2110-2170 MHz bandında yapılmaktadır. Her bir bant 5 MHz genişliğindeki 12 adet kanaldan (taşıyıcı) oluşmaktadır. Bantlar arası uzaklık ise 190 MHz'dir.

28 Kasım 2008 tarihinde üçüncü nesil lisanslarının tahsisine ilişkin ihale BTK tarafından yapılmıştır. İhale sonucunda A tipi lisans Turkcell, B tipi lisans Vodafone ve C tipi lisans Avea tarafından alınmıştır. D tipi lisans ihalesi ise katılımcı olmadığı için yapılamamıştır.

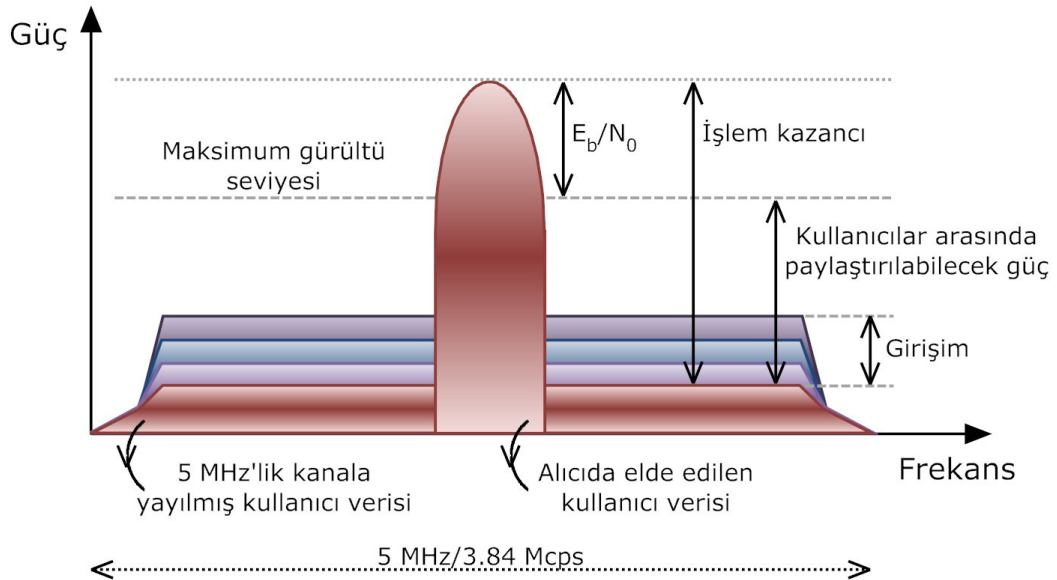
WCDMA geniş bant DS-CDMA (Doğrudan Dizilerle-Kod Bölüşümlü Çoklu Erişim) sistemidir. Temel olarak DS-SS (Doğrudan Dizilerle-Yayılı Spektrum) tekniğine dayanmaktadır. Bu radyo erişim sistemine göre kullanıcı verisinin kendinden daha

yüksek veri hızına sahip yayma koduyla çarpılarak frekans bandına yayılması (veri hızının artması nedeniyle) sağlanmaktadır. Yayma kodunun veri hızı, yonga hızı olarak adlandırılmaktadır. WCDMA’de yonga hızı 3.84 Mcps’dir. Yayma koduyla çarpılan kullanıcı verisi 5 MHz’lik taşıyıcı bant genişliğine yayılmaktadır.

Çizelge 4.1 Lisans yapıları [18]

Lisans Tipi	Bant Genişliği	FDD Kanal Sayısı (2x5 MHz)	TDD Kanal Sayısı (1x5 MHz)
A	45 MHz	4	1
B	40 MHz	3	2
C	35 MHz	3	1
D	25 MHz	2	1

Her bir kullanıcı kendine ait özel bir kod kullanarak aynı frekansta 5 MHz’lik kanal üzerinden haberleşmektedir. Alıcıda alınan işaret sadece doğru kod dizisiyle (vericide kullanılan kod dizisi) çarpıldığında bilgi işareti elde edilmektedir. Aynı frekansta iletim yapıldığından kullanıcılar kendilerine özgün olarak tanımlanan kod dizilerine göre birbirlerinden ayrılmaktadır. Böylece maksimum gürültü seviyesinin altında kalan işaretler alıcıda tekrar elde edilebilmektedir. Dikgen kod yapısı sayesinde kullanıcılar aynı zamanda aynı kanalda haberleşme yapabilmektedir.



Şekil 4.1 Kullanıcı verilerinin kanaldaki durumu

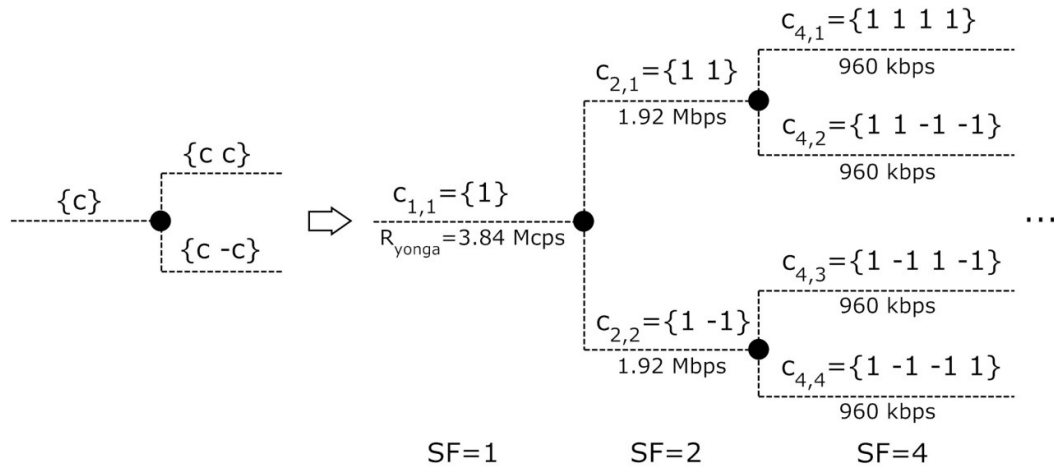
Yonga hızı ile kullanıcının bit hızı arasındaki oran yayma faktörü (SF) olarak adlandırılmaktadır. Yagma kodu kullanılarak işaretin bant üzerinde yayılması ve alıcıda aynı kod kullanılarak işaretin tekrar elde edilmesi sonucunda sağlanan kazanç, işlem kazancı (PG) olarak adlandırılmaktadır. İşlem kazancı ve dikgen kodlar diğer kullanıcı ve hücrelerden gelen girişime karşı sistemin dayanıklılığını sağlamaktadır.

$$PG = SF = R_{yonga}/R_{bit} \quad (4.1)$$

Alıcıda işaret elde edildikten sonra işaret gücünün maksimum gürültü seviyesinin (diğer kullanıcıların yaptığı girişim) kaç dB üzerinde olacağını E_b/N_0 değeri belirlemektedir. E_b/N_0 , sayısal sistemlerde işaret-gürültü oranıdır. E_b , bit başına işaret enerjisi iken N_0 ise gürültü spektral yoğunluğudur. İşaret taşıyıcı bandındayken işaret-girişim oranı (SIR), taşıyıcı-girişim oranı (CIR) olarak adlandırılmaktadır. E_b/N_0 mevcut gürültüdeki maksimum veri hızını tanımlamakta ve kullanılan servise göre değişiklik göstermektedir.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{\text{işaret gücü/bit hızı}}{\text{gürültü gücü/bant genişliği}} = \frac{S/R_{bit}}{N/B} = \left(\frac{R_{yonga}}{R_{bit}}\right) \left(\frac{S}{N}\right) = PG \frac{S}{N} \quad (4.2)$$

WCDMA'de kanal tanımlama ve çarpma kodları olmak üzere kullanılan iki tür kod bulunmaktadır. Kullanıcı verisi kanal tanımlama ve çarpma kodlarıyla çarpılmaktadır.



Şekil 4.2 Kanal tanımlama kod ağacı

Kanal tanımlama kodu aşağı linkte aynı Node B'deki farklı kullanıcılara ait veri kanallarını, yukarı linkte ise aynı UE'deki fiziksel veri ve kontrol kanallarını ayırt etmek

için kullanılmaktadır. Kanal tanımlama koduyla çarpılan kullanıcı verisi frekans bandında yayılmaktadır. Kodlar OVSF (Dikgen Değişken Yayma Faktörü) tekniğine dayanmaktadır ve dikgen olduklarından çapraz ilintileri sıfırdır. Kanal tanımlama kodları Şekil 4.2'deki kod ağacı kullanılarak elde edilmektedir. Kullanıcının veri hızına göre yayma faktörü değişeceğinden kod uzunluğu değişmektedir. Verinin doğru elde edilebilmesi için alıcı ve vericide kodlar eşzamanlı olmalıdır. Tek bir kaynağın kanal tanımlama kodu kullanımında sınırlamalar bulunmaktadır. Bir daldaki kod dizisi kullanıldığında o dala ait alt dallardaki kodlar ve kullanılan kodla kaynak kod arasında kalan kodlar kullanılamamaktadır.

Çırpma kodu (sözde gürültü kodu) UE ve Node B'lere özgün olarak tanımlanmaktadır. Kodlar yukarı linkte UE'leri, aşağı linkte ise hücreleri ayırt etmek için kullanılmaktadır. Çırpma kodu işaretin bant genişliği ve sembol hızını değiştirmemektedir. Kanal tanımlama kodu kullanımındaki sınırlamalar çırpma kodlarının kaynaklar arasındaki farklılığı sağlaması nedeniyle tek bir kaynak için geçerlidir. Böylece farklı UE ve Node B'ler kod ağaçlarını birbirinden bağımsız olarak kullanabilmektedir.

4.1.2 Radyo Kaynak Yönetimi

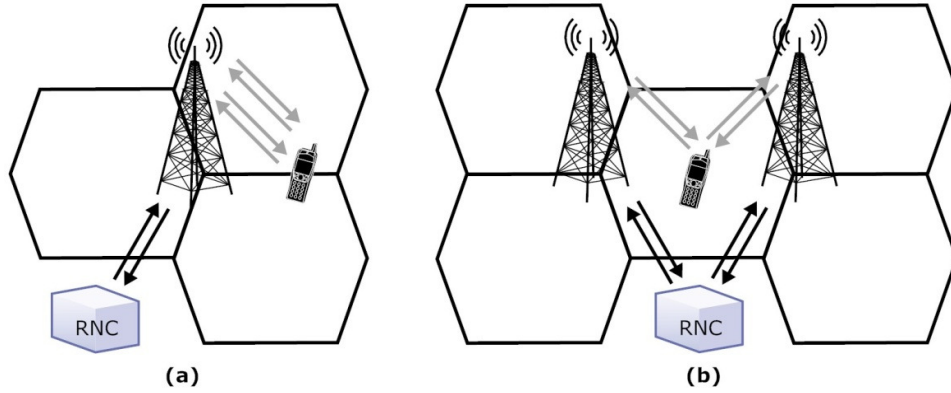
Radyo kaynak yönetimi haberleşme kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. WCDMA yukarı linkte gürültü sınırlı ve aşağı linkte güç sınırlı olduğundan aşırı gürültü ve güce karşı kontrol mekanizması bulunmaktadır.

Giriş kontrolünde Node B, hücredeki gürültü artışını kontrol edebilmek için yukarı linkteki toplam gürültü gücünü ölçerek yeni trafik için ne kadar pay bulunduğunu hesaplamaktadır. Böylece yeni trafiğin maksimum gürültü seviyesinin aşılmasına neden olup olmayacağı kontrol edilmektedir. Hücredeki trafik arttıkça gürültü de artmaktadır. Bu nedenle hücredeki yükün sınırlandırılması gerekmektedir. Yüke bağlı olarak gürültü artışı (NR) diğer bir adıyla girişim payı (4.3) eşitliği kullanılarak hesaplanabilmektedir. Hücredeki toplam yükün artması sonucunda girişim payı da artacağından kapsama alanı küçülmektedir. Sistem yükü 100% olduğunda (kutup kapasitesi) gürültü artışı sonsuza gitmektedir. Şebekenin kararlılığını koruyabilmek için yük 1'in altında tutulmalıdır.

$$NR = 1/(1 - \eta)$$

(4.3)

WCDMA’de açık çevrim, kapalı çevrim ve dış çevrim olmak üzere üç farklı güç kontrol mekanizması bulunmaktadır. Güç kontrolüyle UE ve Node B’nin iletim güçleri ayarlanarak girişimin azaltılması ve kapasitenin artırılması sağlanmaktadır. UE boş durumdayken güç kontrolü yapılmamaktadır. Açık çevrim güç kontrolü UE boş durumdan aktif duruma geçerken UE’nin kabaca şebekeye katılım gücünü belirlemek için yapılmaktadır. Kapalı çevrim güç kontrolü UE aktif durumdayken yapılmaktadır. Kapalı çevrim kontrol saniyede 1500 kez (1500 Hz) yapılmakta ve böylece hücredeki UE’lerin iletim güçleri ayarlanarak baz istasyonuna aynı güç seviyesinde bağlanmaları sağlanmaktadır. Ayrıca yukarı linkte kapalı çevrim güç kontrolü kanaldaki sönümlenmeleri dengelemektedir. Dış çevrim güç kontrolü yapılarak linkin durumuna göre baz istasyonundaki SIR değeri ayarlanmaktadır.



Şekil 4.3 WCDMA’de aktarmalar, (a) Daha yumuşak aktarma, (b) Yumuşak aktarma

WCDMA’de aktarmaların gerçekleşmesi için UE’nin eşit güç seviyesindeki iki ya da üç hücreye bağlı olması gerekmektedir. Daha yumuşak, yumuşak ve sert aktarma olmak üzere üç farklı aktarma tipi bulunmaktadır. UE, aynı baz istasyonuna ait hücrelerin kapsama alanında bulunuyorsa daha yumuşak aktarma yapar. UE baz istasyonu ile olan bağlantısında eşzamanlı olarak iki radyo kanalını (bir hücre için bir kanal) kullanmaktadır. UE, farklı baz istasyonlarına ait hücrelerin kapsama alanında bulunuyorsa yumuşak aktarma yapar. UE baz istasyonlarıyla olan bağlantısında eşzamanlı olarak iki radyo kanalını (her baz istasyonu için bir kanal) kullanmaktadır ve tırmık alıcıyla işaretleri almaktadır. Baz istasyonları tarafından alınan işaretler RNC’de toplanmaktadır. Bu durumda bir kullanıcı için iletim hattındaki yük iki katına

çıkılmaktadır. Sert aktarma ise WCDMA'de farklı frekanslar arasında ya da WCDMA ve GSM arasında yapılan aktarmadır.

Özellikle şehir içlerinde veya binaların yoğun olduğu bölgelerde mobil istasyona, baz istasyonu görüş açısında olmadığı durumlarda çevre yapılardan yansıyan ve kırınımına uğramış işaretler ulaşmaktadır. WCDMA'de farklı fazlardaki işaretleri alıp çıkışında toplayarak veren tırmık alıcılar kullanılmaktadır. Alıcı yapısı farklı fazlardaki işaretleri alan paralel alıcılar ve toplayıcıdan oluşmaktadır. WCDMA'de gecikmiş işaretler arasındaki sürenin en az bir yonga süresi kadar ($0.26 \mu s$) olması durumunda alıcı, işaretleri ayırt edebilmektedir. İşaretler arasındaki gecikme bu süreden daha kısa ise tırmık alıcı işaretleri toplayamamaktadır. Bu durum simgelerarası karışmaya (ISI) neden olmaktadır. ISI, işaretlerin kendi zaman dilimlerinden komşu işaretlerin zaman dilimlerine taşması durumudur.

4.1.3 Radyo Arayüzü Protokol Yapısı

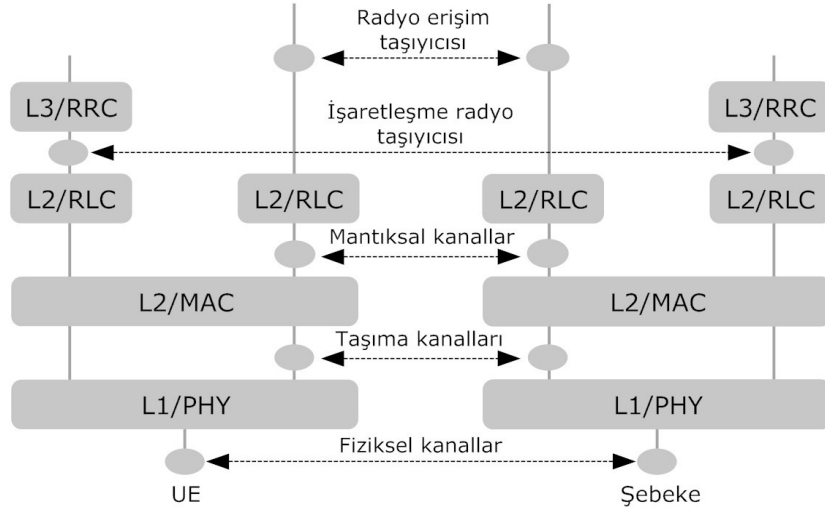
WCDMA radyo erişim şebekesiyle UE arasındaki radyo arayüzü protokol yığıtı, katmanlı yapıdadır. Radyo arayüzü protokolleri radyo taşıyıcı servislerinin kullanılabilmesi için gereklidir.

Katman 1 (L1) fiziksel katman olarak adlandırılmaktadır. Fiziksel katmanın MAC (Ortam Erişim Kontrolü) ve RRC'ye (Radyo Kaynak Kontrolü) arayüzü bulunmaktadır. Fiziksel katman taşıma kanallarını MAC katmanına sunmaktadır. Kanal kodlama, fiziksel kanalların adreslenmesi, işaretin banda yayılması ve modülasyonu fiziksel katmanın iletim fonksiyonları arasındadır.

Katman 2 (L2) veri bağı katmanı olarak adlandırılmaktadır ve alt katmanlara ayrılmıştır. Bunlar MAC, RLC (Radyo Link Kontrolü), PDCP (Paket Veri Yakınsama Protokolü) ve BMC'dir (Yayımlama/Çoklu Gönderim Kontrol Protokolü). MAC katmanı mantıksal kanalları üst katmanlara sunmaktadır. MAC katmanı ortak taşıma kanallarında farklı UE'lerin verileri ayırt edebilmeleri amacıyla adres bilgisi eklemektedir. Ayrıca mantıksal kanalı dinamik olarak farklı taşıma kanallarına anahtarlayarak kanal tipi anahtarlamayı gerçekleştirmektedir.

Katman 3 (L3) ağ katmanı olarak adlandırılmaktadır. Katman 3 ve RLC, kontrol (C-) ile kullanıcı (U-) düzlemlerine bölünmüştür. PDCP ve BMC sadece U-düzleminde

bulunmaktadır. C-düzleminde Katman 3 alt katmanlara bölünmüştür. En alt katmanda bulunan RRC protokolünün Katman 2'yle arayüzü bulunmaktadır ve ayrıca UTRAN tarafındaki protokolleri sonlandırmaktadır. RRC protokolü UE'nin RNC'den kontrolünü sağlamaktadır.



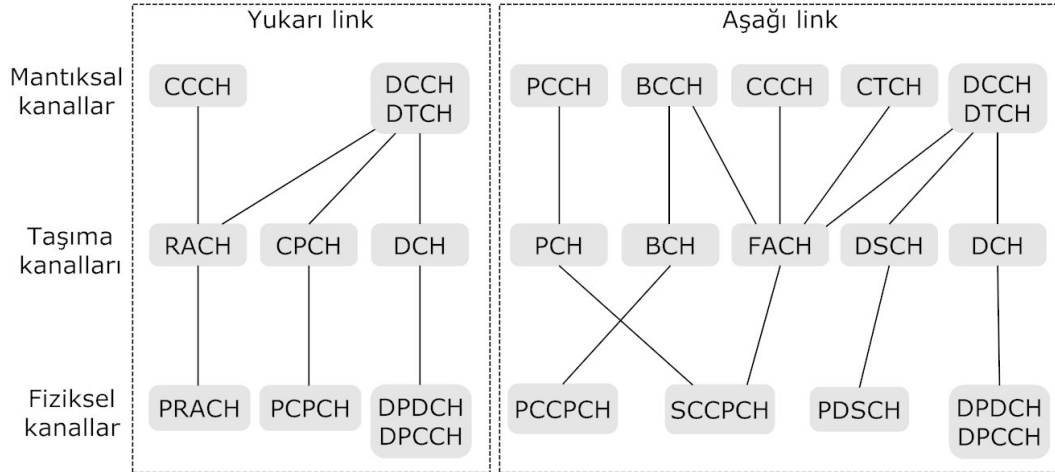
Şekil 4.4 Hava arayüzü protokol yapısı [19]

WCDMA'de veri iletimi ve işaretleşmede fiziksel, taşıma ve mantıksal kanallar olmak üzere üç farklı kanal tanımlanmıştır. Mantıksal kanallar iletilecek verinin türünü tanımlamaktadır. Kontrol bilgisinin iletildiği kontrol kanalları (BCCH, PCCH, DCCH, CCCH) ve kullanıcı bilgisinin iletildiği trafik kanalları (DTCH, CTCH) olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Mantıksal kanallar taşıma kanallarına adreslenmiştir.

Çizelge 4.2 Mantıksal kanallar

Yayın Kontrol Kanalı (BCCH), DL	Sistem kontrol bilgisini yayımlar.
Çağrı Kontrol Kanalı (PCCH), DL	Çağrı bilgisini iletir.
Özel Kontrol Kanalı (DCCH), UL/DL	UE ve şebeke arasında kullanıcıya özel kontrol bilgisini iletir.
Ortak Kontrol Kanalı (CCCH), UL/DL	UE'ler ve şebeke arasında kontrol bilgisini iletir.
Özel Trafik Kanalı (DTCH), UL/DL	UE'ye özel olarak atanmış kanaldır. Kullanıcı verisini iletir.
Ortak Trafik Kanalı (CTCH), DL	Kullanıcıya özel bilgiyi herkese veya belirli bir UE grubuna iletir.

Kullanıcı verisi hava arayüzünden taşıma kanallarıyla iletilmektedir. Fiziksel katmanda taşıma kanalları fiziksel kanallara adreslenmiştir. Taşıma kanalları özel (DCH) ve ortak (BCH, FACH, PCH, RACH, CPCH, DSCH) kanallar olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Özel kanallar belirli bir kodla tanımlanan tek bir kullanıcı, ortak kanallar ise hücredeki bütün kullanıcılar veya kullanıcı grubu tarafından ortak kullanılmaktadır.



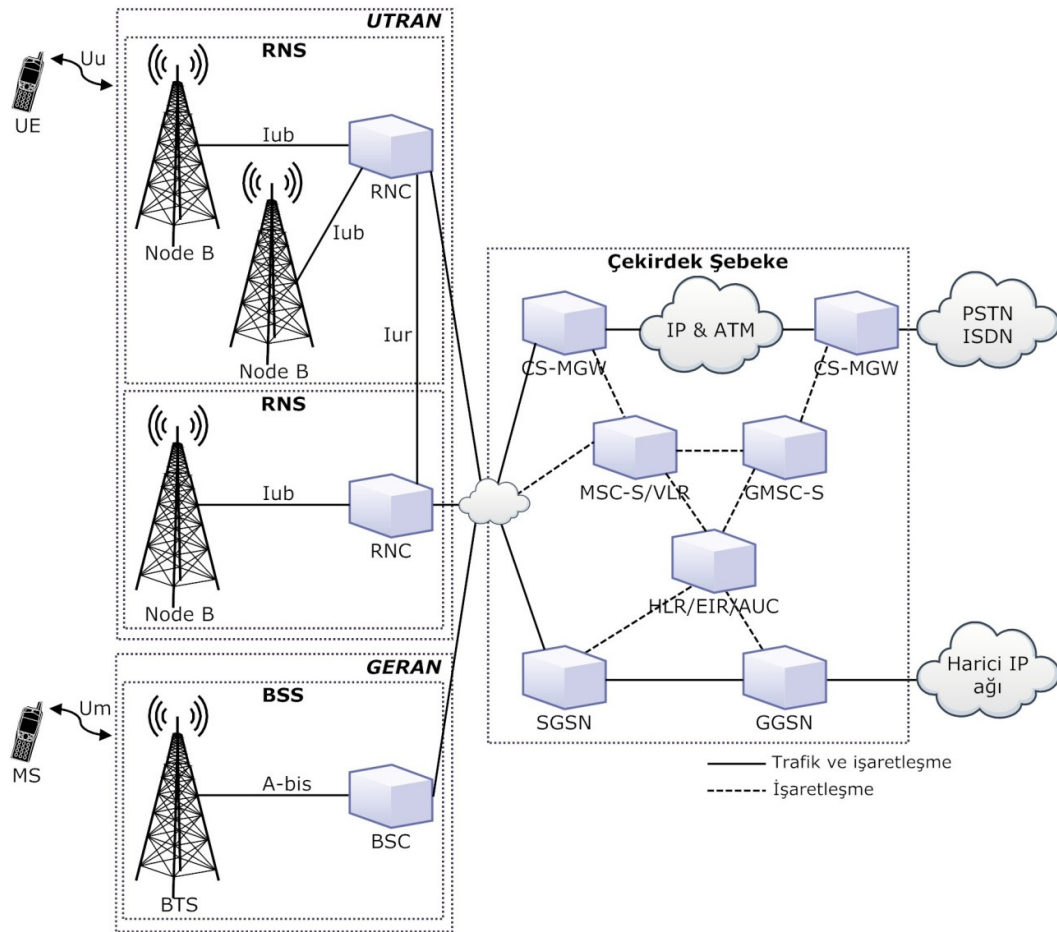
Şekil 4.5 Kanal adreslemeleri [20]

Fiziksel kanallar Şekil 4.5'deki gibidir. Adreslenen fiziksel kanallardan ayrı olarak üst katman bilgisi taşımayan, fiziksel katmana özgü kanallar da bulunmaktadır. Bu kanallar içinde UMTS hücre planlamasında büyük önem taşıyan ortak pilot kanalı (CPICH) bulunmaktadır. CPICH, hücre kimliğini yayımlar. UE algılayabildiği farklı hücrelere ait CPICH'yi dinleyerek en güçlü sinyali aldığı hücreye katılır ve aktarma için komşu hücrelerin CPICH sinyallerini dinler. Pilot kanalın gücü RSCP (Alınan İşaret Kod Gücü), kalitesi ise E_c/I_0 (E_c/N_0) ile ölçülmektedir. E_c yonga enerjisi, I_0 ise CPICH'de ölçülen girişim yoğunluğudur. UE aynı seviyede CPICH sinyali alırsa bağlantıyı korumak için yumuşak aktarmaya girer. Eğer CPICH sinyali alınan hücre, komşu listesinde yoksa aktarma yapılamayacağından CPICH sinyalleri arasında girişime neden olur. Bu durum pilot kirliliği olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca yumuşak aktarma, sistem kaynaklarının verimsiz kullanımına neden olduğu için aktarma alanlarının doğru bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

4.1.4 Sürüm 4 Şebeke Mimarisi

UMTS şebeke elemanları kullanıcı ekipmanı (UE), UMTS karasal radyo erişim şebekesi (UTRAN) ve çekirdek şebeke (CN) olmak üzere üç bölümde toplanabilir. UTRAN, radyo tabanlı işlemlerin gerçekleştirildiği bölümdür. Kullanıcıların şebekeyle bağlantısını sağlar. Dâhili ya da harici şebekelere olan çağrı anahtarlama ve veri iletimi çekirdek şebeke tarafından gerçekleştirilmektedir.

GSM EDGE radyo erişim şebekesi (GERAN) GSM kullanıcılarının şebekeyle bağlantısını sağlamaktadır. Şekil 4.6'da belirtilen şebeke 3GPP Sürüm 4 yapısındadır [21]. Sürüm 4'le birlikte çekirdek şebeke, devre anahtarlama yapıda taşıma ve kontrol birimlerinin birbirinden ayrılması amacıyla Taşıyıcı Bağımsız Devre Anahtarlama (Taşıyıcı Bağımsız Çekirdek Şebeke) mimariye geçmiştir. Böylece veri taşımada verimliliğin artırılması ve IP tabanlı taşımaya geçişin kolaylaştırılması hedeflenmiştir. Bu yapıyı sağlayabilmek amacıyla MSC, MSC-S (Sunucu) ve CS-MGW (Ortam Geçidi) birimlerine ayrılmıştır.



Kullanıcı ekipmanı (UE), mobil telefon ve veri cihazları gibi üçüncü nesil arayüze sahip cihazdır. Mobil ekipman (ME) ve UMTS abone kimlik modülünden (USIM) oluşmaktadır. Node B'ye Uu radyo arayüzüyle bağlanmaktadır. USIM, içerisinde aboneye özel bilgileri barındırmaktadır.

Node B, UTRAN şebekesinde bulunan baz istasyonudur. RNC'ye Iub arayüzüyle bağlıdır. Uu ve Iub arayüzleri arasında veri iletimini sağlar. Uu arayüzü link kalitesi hakkında RNC'ye bilgi verir. UE'den gelen ve UE'ye olan bağlantıları yönetir. Radyo şebeke denetleyicisi (RNC) kendisine bağlı bulunan baz istasyonlarını (Node B) kontrol eder. RNC'ye bağlı baz istasyonları RNS'yi (Radyo Şebeke Alt Sistemi) oluşturur. Farklı RNC'ler Iur arayüzüyle birbirine bağlıdır. Aşağı linkteki dikgen kodların yönetimini yapar. Iu arayüzüyle çekirdek şebeke ve erişim şebekesini birbirine bağlar.

Mobil hizmetler anahtarlama merkezi-Sunucu (MSC-S), bütün çağrı kontrolü ve gezici abone yönetiminden sorumludur. CS-MGW ile birlikte çalışır. MSC-S birden fazla CS-MGW'yi kontrol edebilir. Yapısında VLR'yi barındırır. Devre anahtarlama-Ortam geçidi (CS-MGW), trafiğin devre anahtarlama yapıya girişi ve çıkışı kontrol etmektedir. Iu arayüzüyle UTRAN'a, A arayüzüyle GERAN'a bağlıdır. Trafik CS-MGW tarafından işlenir. Harici şebekelere bağlantısı olan CS-MGW devre ve paket anahtarlama taşıma yöntemleri arasındaki dönüşümü sağlamaktadır. Böylece zaman dilimleri üzerinden taşınan veri, IP paketlerine (veya tersi) dönüştürülerek taşınmaktadır. Geçit mobil hizmetler anahtarlama merkezi-Sunucu (GMSC-S), harici şebekelerle olan bağlantıyı sağlar. Abone ana kütüğü (HLR), abone bilgilerinin tutulduğu veritabanıdır. Ziyaretçi abone kütüğü (VLR), abonenin bulunduğu servis alanında bilgilerinin geçici olarak tutulduğu veritabanıdır. Cihaz kimlik kütüğü (EIR), mobil ekipman kimlik bilgilerinin tutulduğu veritabanıdır. Kimlik denetim merkezi (AUC), kullanıcıların IMSI numaralarının doğrulanması ve şebekeyle aralarındaki linkin şifrelenmesi için gerekli bilgilerin tutulduğu veritabanıdır. GPRS hizmet destek düğümü (SGSN), dâhili paket anahtarlama trafiği kontrol eder. GPRS geçit destek düğümü (GGSN) ise harici paket anahtarlama trafiği kontrol etmektedir.

BİNA İÇİ HÜCRE PLANLAMA

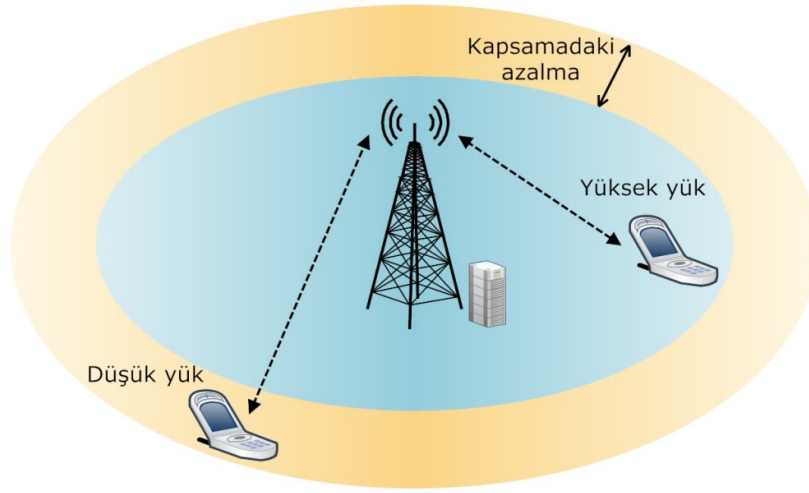
5.1 Bina İçi Kapsamanın Önemi

Birçok ülkede özellikle şehir merkezlerinde mobil kullanıcıların büyük bir bölümü bina içlerinde bulunmaktadır. Plazalar, iş merkezleri, kongre salonları, havaalanları, tren/otobüs terminalleri ve alışveriş merkezleri gibi kullanıcıların yoğun olduğu bu alanlar trafiğin önemli kısmının da kaynağını oluşturmaktadır. Örneğin, mobil ağlarda çağrıların üçte ikisi ve 90%'ın üzerinde veri servisleri kullanımı bina içi kullanıcılar kaynaklıdır [22]. Bu nedenle kullanıcı beklentilerini karşılayabilecek kalite ve veri hızlarında bina içi kapsamanın sağlanması büyük önem taşımaktadır. Bina içi kapsamanın uygulandığı alanlar halka açık merkezler ve iş merkezleri olarak iki grupta toplanabilir.

Veri kapasitesinin büyümesi ve üçüncü nesil haberleşme sistemlerinin yüksek hızlarda, zengin içeriklerle veri hizmetleri sunması mobil ağlardaki talebi artırmaktadır. Makro baz istasyonundan gelen sinyalin zayıf olduğu ya da kapasite ihtiyacının bulunduğu durumlarda bina içi kapsama sistemlerinin kullanılması avantaj sağlamaktadır. Bina içi kapsama sistemleri kullanılarak kapsamanın iyileştirilmesi, servis kalitesinin artırılması, kapasite ihtiyacının karşılanması, yüksek veri hızlarına ulaşılabilmesi ve mevcut makro hücre yükünün azaltılması sağlanmaktadır [14].

Kullanıcıların yoğun olduğu bina içi alanlar makro hücreden kapsandığında şebeke yükünün artması sonucunda hücredeki diğer kullanıcılara istenen kalitede hizmet verilememektedir. Yani, baz istasyonu kapasitesinin yüksek trafik üreten bina içi

kullanıcılar tarafından kullanılması sonucunda makro hücredeki kullanıcılar kapasite yetersizliği yaşamaktadır. Bina içi kapsama makro hücreden sağlanmak istendiğinde kullanılacak servislere göre baz istasyonları arasındaki mesafenin 1-2 km'den fazla olmaması gerekmekte, şehir içinde ise bu mesafe 300-500 m'ye kadar düşebilmektedir [14]. Ancak birçok durumda baz istasyonları arasındaki mesafenin düşürülmesi kapasite artışını sağlayabilirken EDGE ve özellikle WCDMA (UMTS) haberleşmesinde yüksek hızlara ulaşılabilmesine yeterli olamamaktadır. Bina içi kapsama çözümleri kullanılarak makro hücre yükü azaltılmakta ve bina dışı hücre için ek kapasite sağlanmaktadır. Operatörler minimum yatırım ile mevcut hücrede artan sayıdaki abonelere hizmet vermeye devam edebilmektedir.

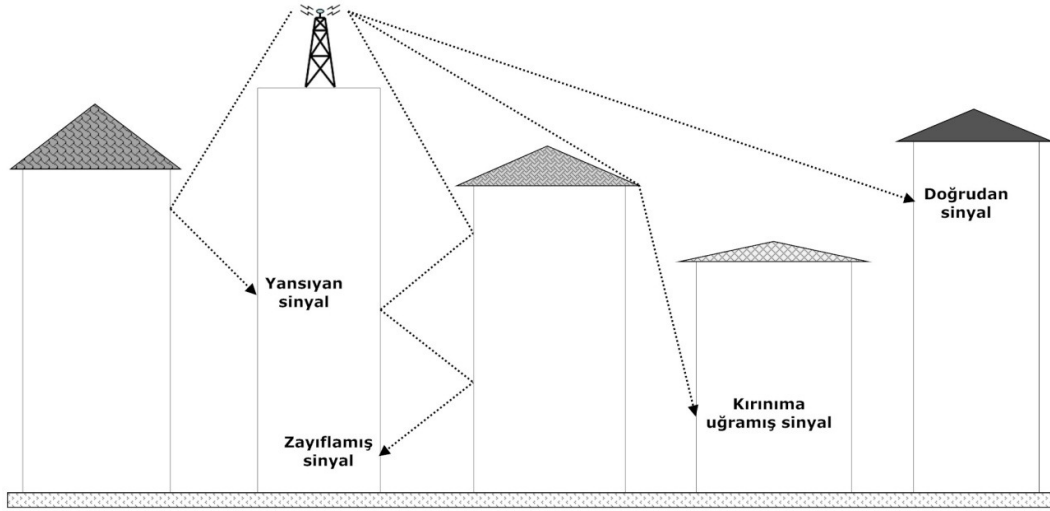


Şekil 5.1 WCDMA haberleşmesinde kapsama ve kapasite birbiriyle bağlantılıdır

Bina içi girişim kaybıyla birlikte linkteki toplam kayıp önemli ölçüde artmaktadır. Kaybın duvar türü, kalınlığı ve kullanılan malzemeye göre değişmesi farklı türdeki yapılarda haberleşme performansının farklılık göstermesine neden olmaktadır. Ayrıca UMTS frekans bandının GSM bandından yüksek olması bina içi kapsama sistemlerine olan ihtiyacı da artırmaktadır. Frekans artışı nedeniyle WCDMA için serbest uzay ve bina içi girişim kayıpları daha yüksek olmaktadır.

Özellikle makro baz istasyonuna daha uzak konumda bulunan bina içinde alt katlardaki kullanıcılar için serbest uzay ve girişim kaybı haricinde parazit oluşturan yankılar nedeniyle sinyalde zayıflama meydana gelmektedir. Bu kullanıcıların yüksek link kayıplarını telafi edebilmek ve linki korumak amacıyla mobil istasyon ve baz istasyonundaki güç kullanımları yüksek olmaktadır. WCDMA'de baz istasyonundaki

kapasite ve güç kaynakları birbiriyle bağlantılıdır. Dolayısıyla bir kullanıcının baz istasyonundaki güç kullanımı ne kadar yüksek ise aynı oranda kapasite kullanımı da yüksek olmaktadır. Bu durum diğer kullanıcılar tarafından kullanılabilir güçü sınırlandırmakta ve hücrenin veri kapasitesini düşürmektedir. Aynı zamanda kullanıcıların yüksek güçte haberleşmeleri girişimi artırmaktadır. Bina içinde tutarlı bir kapsama olmaması nedeniyle verilen hizmet her noktada aynı kalitede olamayacağından verimsizlik söz konusudur. Kapsamanın bu şekilde sağlanması bina içi sistemlerle karşılaştırıldığında oldukça maliyetlidir. Bina içi kapsama sistemiyle baz istasyonu kapasitesi verimli şekilde kullanılarak kapsama sağlanmaktadır. Yüksek girişim kaybının telafi edilmesi gibi bir sorun bulunmadığından aboneler düşük güçte haberleşebilmekte ve hizmet verilebilen abone sayısı da artmaktadır.

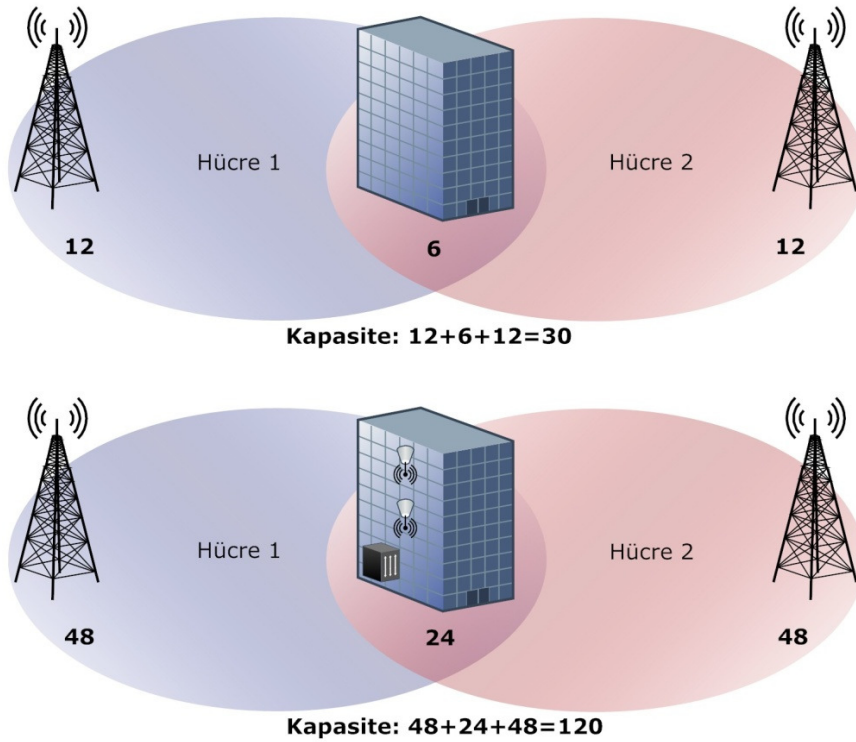


Şekil 5.2 Şehir içinde baz istasyonu sinyallerinin dağılımı

Bina içi kullanıcılar makro baz istasyonundan kapsandığında kullanıcıların küçük bir bölümü anten görüş açısında bulunmaktadır. Bunun dışında kalan kullanıcılar baz istasyonu anteninin görüş açısında olmadıklarından komşu yapılardan yansıma ve kırınımına uğrayan sinyalleri almaktadır. Bu durum sonucunda binanın üst katlarında kapsama sağlanırken alt katlara inildikçe sinyallerin zayıflaması sebebiyle kapsama problemi ortaya çıkmakta ve veri hizmetlerinde performans düşüklüğü yaşanmaktadır. Diğer bir yandan ise WCDMA haberleşmesinde anten görüş açısında bulunmayan kullanıcılarda yansıma ve kırınımına uğrayan sinyallerin alıcıda farklı faz ve genliklerde alınması sonucunda oluşan çokyolluluk etkisinden dolayı alıcıda kodlar birbiriyle

karışmaktadır. Bunun sonucunda dikgenlik düşmekte ve işaretler girişim yapmaktadır. Ayrıca çokyolluluk etkisi sonucunda alıcıdaki sinyalde sönümlenmeler meydana gelmektedir. Dikgenliğin düşmesi kanalın etkinliğini azaltmakta dolayısıyla kanaldaki veri kapasitesi azalmaktadır. Özellikle şehir içlerinde görülen bu problem bina içi anten sistemi kullanılarak aşılabilmektedir. Böylece kullanıcılar antenlerden gelen işareti direkt olarak almakta ve çokyolluluk etkisi minimuma indirilmektedir.

WCDMA sistemlerinde hücre kapasitesi, hücredeki her bir kullanıcıya hizmet verebilmek için gerekli güç ve diğer hücrelerin yaptığı girişime bağlıdır. Bu nedenle bina içi kapsama tasarımında en önemli parametrelerden birisi sinyal yalıtımının sağlanmasıdır. Yalıtım, bina içi ve bina dışı sinyaller arasındaki fark olarak tanımlanabilir. Sinyal yalıtımının sağlanması sonucunda bina içi hücre, girişimden daha az etkilenmektedir. Duvar ve diğer yapılar bina içinde yalıtımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Girişimin daha az olması daha fazla kapasite anlamına gelmektedir. Bu durum sistem performansını da artırmaktadır. Bina içi kapsama sistemlerinin kullanılmasıyla elde edilen kapasite, sinyal yalıtımı olmayan makro hücre kapasitesine göre iki ya da üç kat daha fazla olabilmektedir [2].



Şekil 5.3 Bina içi kapsama sistemi kullanılarak kapasite artışı sağlanmaktadır

Bina içi sinyal yalıtım performansı yumuşak aktarma alanlarının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Eğer bina içi ve makro hücre sinyalleri aynı seviyede olursa, mobil istasyon linki koruyabilmek için yumuşak aktarmaya girmektedir. Bu durumda bir kullanıcıya aynı anda birden fazla baz istasyonunun hizmet vermesi nedeniyle kaynaklar verimsiz olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla makro hücreye aşır sızıntı yapmayacak baskın bir sinyal seviyesi oluşturularak bina içi kullanıcıların bina içi hücreden hizmet almaları sağlanmalıdır.

Bina içi tasarım yapılırken kapsama seviyesinin doğru seçilmesi sistem performansı, veri iletim performansı ve binadan sinyal sızıntısı açışından önem taşımaktadır. Farklı kapsama seviyelerinin maliyet üzerindeki etkisi de farklı olmaktadır. Tasarımda kapsama seviyesi ne kadar yüksek seçilirse daha fazla anten ve donanım ihtiyacının getireceği maliyet orantılı olarak yüksek olacaktır. Bina içi kapsama zmleri doğru bölgelerde ve yapılarda doğru şekilde tasarlandığında operatörlerin gelirlerini de artırmaktadır. Bina içi sistemle WCDMA haberleşmesinde ağrı dakikası ya da veri miktarı (MB) başına üretim maliyeti 50-70% oranlarında azaltılabilmektedir [14].

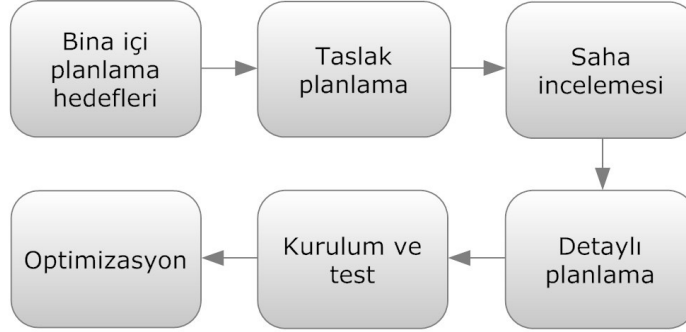
Bina içi hücre planlamasının amacı girişimi olabilecek en düşük seviyede tutarak yüksek kapsama ve kapasite için planlamanın yapılmasıdır. Tasarlanan sistem sonraki teknolojilere uyarlanabilir olduğu takdirde küçük güncellemeler yapılarak yeni teknolojilerle çalışma sağlanabilmektedir.

5.2 Bina içi Planlama Süreci

Bina içi planlama, belirli bir alan veya binanın tamamı için şebeke tasarımını oluşturmak amacıyla farklı aşamalardan oluşan süreçtir. Kullanıcı beklentilerini karşılayacak şekilde kapsama, kapasite ve kalite arasındaki ilişkileri en iyi seviyede tutarken aynı zamanda uygun maliyetli üzümlerin sunulması önem taşımaktadır. Baz istasyonu mobil cihaz ile belirli bir kapsama alanı içinde istenen kalite ve yeterli kapasitede haberleşme yapabilmelidir. Bina içi hücre planlamanın odak noktaları baz istasyonu, bina içine dağıtılmış antenler, mobil cihaz ve mobil cihaz ile antenler arasındaki arayüz olarak tanımlanabilir.

Bina içi hücre planlama süreci şekil 5.4'de belirtilen aşamalardan oluşmaktadır. Belirtilen süreç, gerçekleştirilen bina içi planlamasında olduğu gibi tasarım yapılacak

alandaki mevcut bir bina için sistemin bulunmadığı durum baz alınarak açıklanmıştır. Planlama sürecinde elde edilen sonuç ve tasarımın gerekliliklerine göre bazı adımlar tekrarlanabilmekte veya bir diğer adımla birlikte yürütülebilmektedir.



Şekil 5.4 Planlama süreci

Tasarıma başlamadan önce kullanıcı ihtiyaçları, beklentileri ve bunlara bağlı olarak planlama hedeflerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bina içi kullanıcı sayısı, trafik profili, talep edilen servisler ve kalite ihtiyaçları planlama kriterlerinin belirlenmesi açısından giriş bilgileri olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kontrat süresi, tasarım yapılacak binanın kat planları ve fotoğrafları, bina içi karakteristik özellikler (duvar tipleri, kapsama istenmeyen alanlar gibi) ve benzeri bilgilerin de uygun bir şekilde dokümantasyonu yapılmalıdır.

Elde edilen giriş bilgilerine göre tasarımın diğer adımlarında kullanılacak planlama kriterleri belirlenmektedir. Genel olarak bu kriterler aşağıdaki şekildedir.

- Bina içi hedef kapsama alanları ve kapsama seviyesi
- Yukarı ve aşağı link hedef yükü
- Bina içi maksimum veri hızı
- Veri hızlarına göre kullanıcı sayısı ve dağılımı
- Çağrı düşme oranı
- Aktarma başarımı ve aktarma ek yükü

Standart yapıların dışında sınıflandırılacak alanlarda (metro istasyonu, yer altı otoparkı gibi) tasarım yapılacak yerin kendine özgü özelliklerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Taslak planlamada giriş bilgileri ve belirlenen kriterlere göre bina içi kat planları kullanılarak tasarım yapılmaktadır. Şebekede trafiğin en yoğun olduğu saate göre planlama yapılarak en kötü durumda dahi kapsamanın istenen kalitede olması sağlanmalıdır. Taslak planlamada şebeke boyutlandırması sonucunda kapsama için gerekli donanımlar ve antenlerin kat planları üzerinde dağılımları belirlenmektedir. Boyutlandırmada kapsama, kapasite hesapları ve yayılım modeli kullanılarak benzetim yapılmaktadır. Ayrıca boyutlandırma sonucunda DAS şeması, projenin tahmini tamamlanma süresi ve maliyeti de planlamacı tarafından belirtilmektedir [14]. Taslak planlamanın niteliği kullanılan giriş bilgilerinin kalitesi ile doğru orantılıdır.

Saha incelemesi sonucunda elde edilen bilgiler taslak planlama üzerinden kesin planlamayı yapabilmek amacıyla kullanılmaktadır. Bina içi incelemede taslak planlamaya göre donanımın kurulacağı alan, kablo yolları, anten konumları ve farklı parametrelerde binanın karakteristik özelliklerine bağlı olarak çeşitli sınırlamalar gözlenirse tasarımın bunlara göre uyarlanması gerekmektedir. Bina içinde farklı noktalarda ve bina çevresinde makro şebekeden alınan sinyalin ölçülmesi bina içinde sinyal yalıtımını sağlayacak doğru bir kapsama seviyesinin ve ayrıca yayılım kaybının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Yapılan ölçümler sonrasında bina içindeki mevcut kapsama seviyesi de belirlenebilmektedir. Ölçümlerde elde edilen sonuçlara göre kullanılan yayılım modeli doğrulanabilmekte ve gerekirse yayılım modelinde kullanılan bina içi kayıp parametreleri elde edilen ölçüm sonuçlarına göre tekrar uyarlanabilmektedir.

Metro istasyonu gibi yer altında bulunan alanların dış şebeke ile arasında iyi bir sinyal yalıtımına sahip olması dış şebekelerden gelecek girişimin performansa olan etkisini minimuma indirmektedir. Dolayısıyla kapsama seviyesinin belirlenmesinde bu durum önemli rol oynamaktadır.

Detaylı planlama aşamasında taslak planlama, saha incelemesinde elde edilen bilgilere göre uyarlanmaktadır. Bu aşamada GSM ve WCDMA sistemlerine özgü planlamalar (frekans ve kod planlaması gibi) yapılmaktadır.

Kesin planlamanın elde edilmesinden sonra sistem kurulumu ilgili bölüm tarafından gerçekleştirilmektedir. Kurulumun ardından sistem devreye alınmakta ve gerekli testler yapılmaktadır. Bina içi ve dışında farklı alanlarda yapılan ölçümlere göre kapsama

seviyesi, sinyal sızıntısı gibi parametrelerin beklenen değerlerde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Ölçüm cihazı kullanılarak antenlerden alınan sinyal seviyelerinin kontrol edilmesi ve her bir antenin istenen performansta çalıştığının doğrulanması önem taşımaktadır. Ayrıca sunulan her bir servisin aktarma testleri yapılarak aktarma başarımı gözlenmektedir.

Optimizasyon aşamasında sistem performansı özel yazılımlar kullanılarak gözlenmekte ve elde edilen istatistiksel sonuçlara göre gerekiyorsa çeşitli parametreler üzerinden sistem performansını artıracak iyileştirmeler yapılmaktadır.

5.3 Bina İçi Tasarımda Kullanılan Elemanlar

Çizelge 5.1, 1/2" ve 7/8" eşeksenel kabloların 100 metre başına kayıplarını göstermektedir.

Çizelge 5.1 Eşeksenel kablo kayıp değerleri [23], [24]

	Kayıp dB/100m	
Kablo Tipi	900 MHz	2100 MHz
1/2"	6.80	10.8
7/8"	3.57	5.67



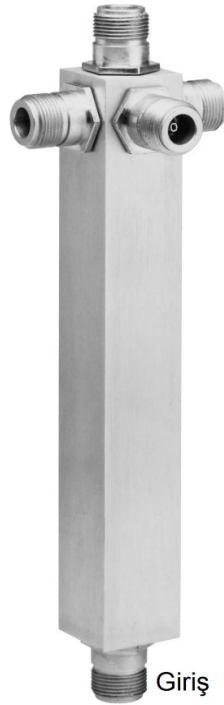
Şekil 5.5 Eşeksenel kablolar, (a) 1/2", (b) 7/8" [23], [24]

Bölücü, bir eşeksenel hattı iki ya da daha fazla hatta ayırmak veya bu işlemin tersini yapmak için kullanılmaktadır. Bölücü kaybı (5.1)'deki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir [14]. Kayıp, bütün çıkış portlarında geçerli olmaktadır. (5.1)'den görülebileceği gibi bölücünün (çıkış) port sayısı, toplam kayıp üzerinde etkilidir.

$$kayıp[dB] = 10\log(port\ sayısı) + araya\ girme\ kaybı \quad (5.1)$$

Çizelge 5.2 Bölücü özellikleri [25]

	İkili (1:2)	Üçlü (1:3)
Kayıp	3 dB	4.8 dB
Araya Girme Kaybı	< 0.05 dB	
Frekans Aralığı	800-2500 MHz	



Şekil 5.6 Bölücü [25]

Dengesiz bölücü, bölücüden farklı olarak sinyali bir hattan iki hatta eşit olmayan şekilde bölmektedir. Dengesiz bölücülerdeki temel prensip çıkış portlarından biri düşük kayıplıyken diğer portun yüksek kayıplı olmasıdır. Kullanılan elemanların kayıp değerleri Çizelge 5.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.3 Dengesiz bölücü özellikleri [25]

Tip	Giriş-P1 Portu Kaybı	Giriş-P2 Portu Kaybı	Frekans Aralığı
1/7	1 dB	7 dB	800-2500 MHz
0.4/10.4	0.4 dB	10.4 dB	
0.1/15.1	0.1 dB	15.1 dB	

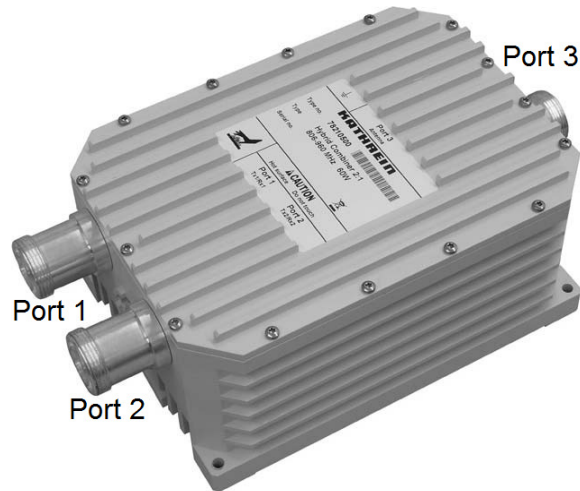


Şekil 5.7 Dengesiz bölücü [25]

2:1 karma birleştirici, iki sinyal kaynağından gelen sinyalleri birleştirerek çıkışına verebilmekte ve birleştirilmiş iki sinyali, giriş portlarına ayırabilmektedir.

Çizelge 5.4 Karma birleştirici özellikleri [25]

	Port 1-Port 3	Port 2-Port 3	Port 1-Port 2
Kayıp	3.1 ± 0.5 dB	3.1 ± 0.5 dB	> 23 dB
Frekans Aralığı	806-960 MHz		



Şekil 5.8 İki aşamalı karma birleştirici [25]

Çift bantlı birleştirici, ayrı bantlardaki sinyalleri tek bir hatta toplamakta ya da tek bir hatta toplanmış farklı bantlardaki sinyalleri iki hatta ayırmaktadır. Çift bantlı birleştiricinin kaybı (5.1) eşitliğiyle hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5 Çift bantlı birleştirici özellikleri [25]

	Port 1-Port3	Port 2-Port 3
Araya Girme Kaybı	0.15 dB (806-960 MHz)	0.25 dB (1710-2000 MHz) 0.35 dB (2000-1710 MHz)
Kayıp	3.16 dB (806-960 MHz)	3.26 dB (1710-2000 MHz) 3.36 dB (2000-2170 MHz)
Frekans Aralığı	Bant 1: 806-960 MHz Bant 2: 1710-2170 MHz	

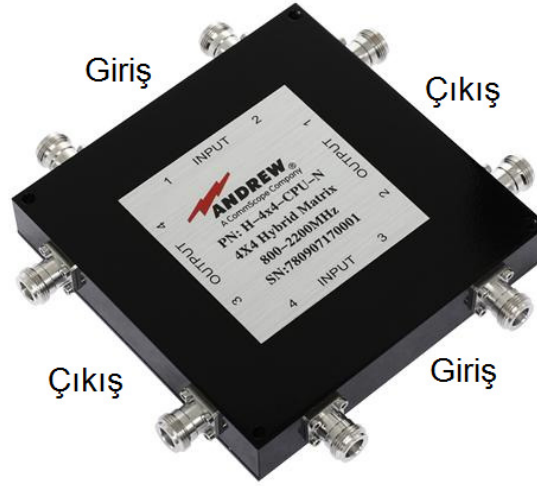


Şekil 5.9 Çift bantlı birleştirici [25]

Çoğa gönderim matrisi (MCM), giriş portlarından aldığı sinyalleri birleştirerek çıkış portlarından sisteme dağıtmaktadır. MCM kaybı, (5.1) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6 MCM özellikleri [26]

Araya Girme Kaybı	0.3 dB
Kayıp	6.3 dB
Frekans Aralığı	800-2200 MHz



Şekil 5.10 Çoğa gönderim matrisi [26]

Sonlandırıcı (yapay yük), kullanılmayan, boşta kalan portları sonlandırmak için kullanılmaktadır.

Tümyönlü anten, elektromanyetik dalgaları bir düzlemde her yöne eşit olarak ışıma yapmakta ve almaktadır. Bu tip antenler belirli bir düzlemde yönsüz örüntü ile herhangi bir dikgen düzlemde yönlü örüntüye sahiptir.

Çizelge 5.7 Tümyönlü anten özellikleri [25]

Frekans Aralığı	876-960 MHz / 1710-2500 MHz
Kazanç	2 dBi
Polarizasyon	Dikey



Şekil 5.11 Bina içi tümyönlü anten [25]

Yönlü anten, elektromanyetik dalgaları belirli yönlerde diğer yönlere göre daha etkin ışıma yapmakta ve almaktadır.

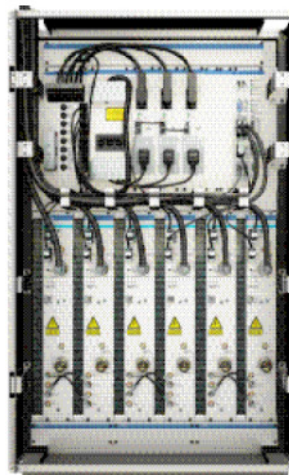
Çizelge 5.8 Yönlü anten özellikleri [25]

Frekans Aralığı	806-960 MHz / 1710-2700 MHz
Kazanç	Yaklaşık 7 dBi
Polarizasyon	Dikey
Yarım-Güç Hüzme Genişliği	Yatay, yaklaşık 90°



Şekil 5.12 Bina içi yönlü anten [25]

Ericsson RBS 2216 saha dolabı, yüksek kapasiteli 12 adet alıcı-verici modüle (TRX) sahip bina içi GSM baz istasyonudur. TDMA ve WCDMA sistemleriyle anten paylaşımı yapılmasına olanak tanımaktadır. GSM900 ve GSM1800 haberleşmelerini desteklemektedir.



Şekil 5.13 RBS 2216 bina içi GSM baz istasyonu [27]

Ericsson RBS 6601 saha dolabı, ana birim ve ana birime fiber kablolarla bağlı (çoklu) uzak radyo biriminden oluşmaktadır. İhtiyaçlara göre ana birime on ikiye kadar uzak birim bağlanabilmektedir. Ana birim bina içi kullanım için tasarlanmıştır. Saha dolabında 19" rafa monte edilebilmektedir. Tek ana birime iki tane GSM/LTE arayüzü, bir tane WCDMA arayüzü takılabilmektedir. WCDMA arayüzü devre anahtarlama ve paket anahtarlama haberleşme gibi farklı türdeki trafik verisini işleyebilmektedir.



Şekil 5.14 RBS 6601 ana birim ve uzak birim [28]

DAĞITILMIŞ ANTEN SİSTEMLERİ

Bina içi kapsamanın eşit dağılımlı ve istenen kalitede olabilmesi için bina içinde tutarlı sinyal seviyesi ve baskın kapsama alanlarının oluşturulması gerekmektedir. Dağıtılmış anten sistemleri (DAS) bu amaçla bina içi kapsamada yaygın olarak kullanılan ve en verimli çözüm sağlayan yöntemdir. DAS sisteminde baz istasyonundan gelen sinyal, kapsanmak istenen alan boyunca dağıtılmış antenlere bölüştürülmektedir. Yukarı linkte ise antenlerden alınan sinyaller baz istasyonunda toplanmaktadır.

DAS sistemleri pasif elemanların kullanıldığı pasif DAS ve aktif elemanların kullanıldığı aktif DAS olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Ayrıca aktif ve pasif elemanların birlikte kullanıldığı karma DAS yapısı da bulunmaktadır. Bina içi karakteristik özellikler kullanılacak sistemde belirleyici olmaktadır.

Tek bir DAS sistemi çok bantlı ve çok operatörlü tasarımları desteklemektedir. Çok operatörlü sistemde aynı DAS yapısını birden fazla operatör ortak kullanmaktadır. Dolayısıyla birden fazla baz istasyonu tek bir sistem içerisinde toplanmaktadır.

6.1 Pasif DAS

Pasif DAS yapısında pasif elemanlar kullanılarak baz istasyonundan alınan sinyal bina içi antenlere dağıtılmaktadır. Pasif elemanlar çalışma esnasında herhangi bir harici güce ihtiyaç duymamaktadır. Bina içi tasarımda kullanılan pasif elemanlar genel olarak eşeksenel kablo, bölücüler, dengesiz bölücüler, birleştiriciler, süzgeçler, sonlandırıcılar, zayıflatıcılar ve MCM'den meydana gelmektedir. Yapılan tasarımın gerekliliklerine göre farklı elemanlar birlikte kullanılmaktadır.

6.2 Aktif DAS

Aktif DAS yapısında ana birim, genişleme birimi, uzak birim, IT ve fiber kablolar kullanılmaktadır.

Baz istasyonu veya tekrarlayıcıya bağlı olan ana birim, sinyali fiber kablolarla farklı genişleme birimlerine dağıtır. Dâhili kalibrasyon sinyallerini üretir. Sistem performansını gözleyerek herhangi bir hatada baz istasyonuna alarm sinyali gönderir.

Aktif sistemin kurulduğu alan içine dağıtılan genişleme birimi, optik sinyalleri elektriksel sinyallere dönüştürerek uzak birime iletir. Uzak birime IT kablolarla bağlıdır.

Antenler uzak birimlere bağlıdır. Anten yakınına kurulan uzak birim, sistemdeki kayıpları minimumda tutabilmek için yapısında kuvvetlendiriciler barındırmaktadır.

Sistemde uzun mesafelere çıkılablmesini sağlayan optik fiber kablolar ve ayrıca kısa mesafelerde IT kablolar (ince eşeksenel kablo, CAT5 kablo vb.) kullanılmaktadır.

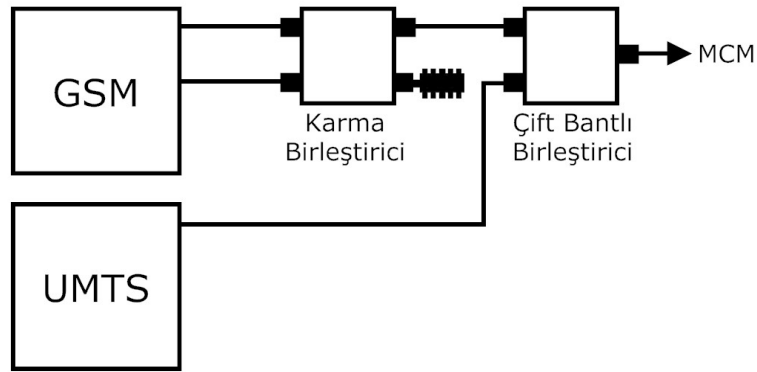
6.3 Karma DAS

Aktif ve pasif elemanların birlikte kullanıldığı tasarımlardır. Aktif DAS dâhili kuvvetlendiriciler kullanarak belirli bir dereceye kadar sistemdeki kayıpları telafi edebilmektedir.

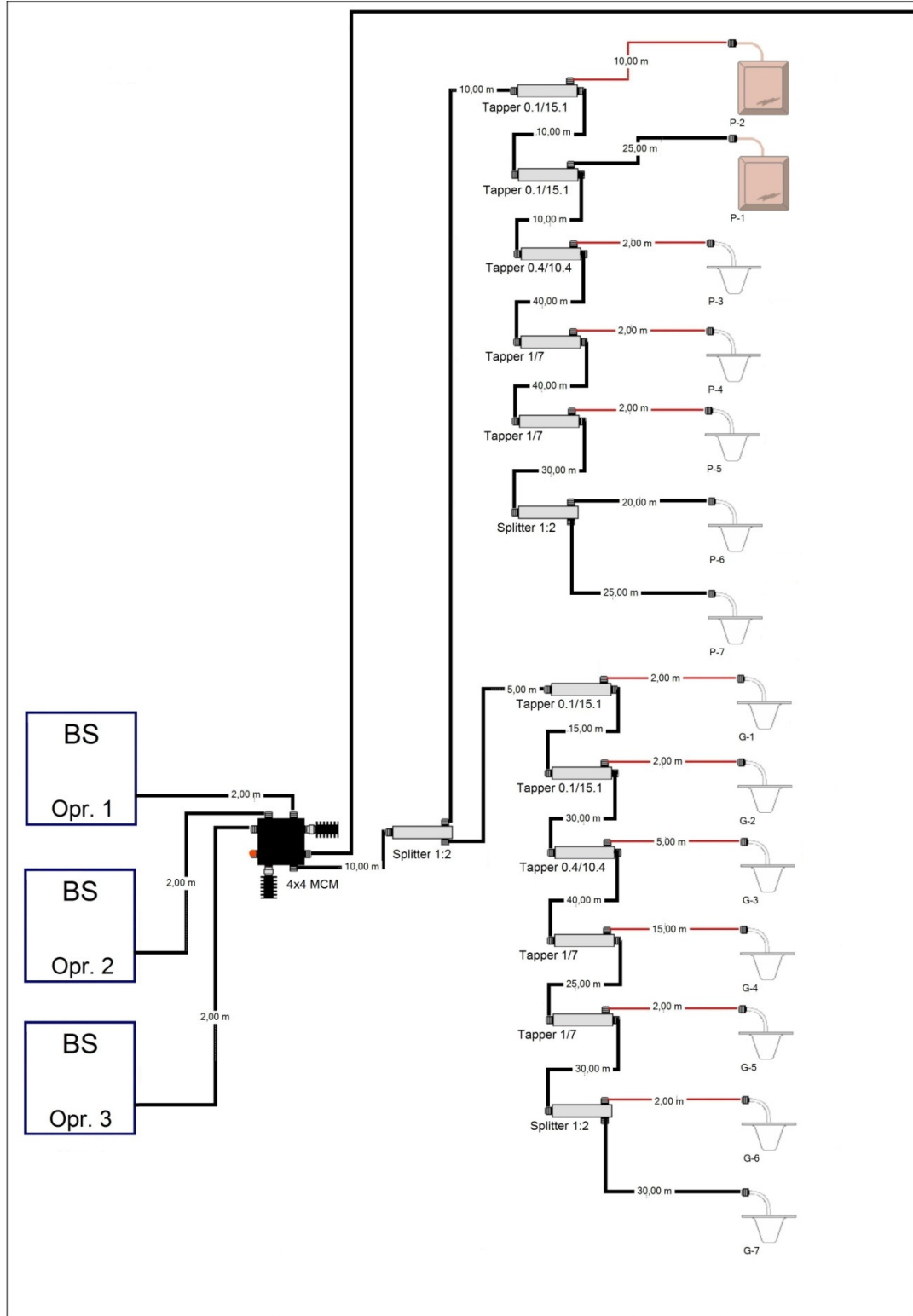
6.4 Bina İçi DAS Şeması

Pasif DAS ile yapılan metro istasyonu hücre tasarımında üç operatör tek bir DAS yapısını ortak kullanmaktadır. Gişe ve peron katlarından oluşan istasyonun DAS şeması Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de gösterilmektedir. Şemaya göre MCM çıkışından alınan sinyaller bölücü ve dengesiz bölücüler kullanılarak antenlere dağıtılmaktadır. MCM’de kullanılmayan iki çıkış yapay yüklerle sonlandırılmıştır. Gişe katında 13 tane tümyönlü anten kullanılarak kapsama sağlanırken, peron katında kapsama 6 tane tümyönlü ve 4 tane yönlü antenin kullanılmasıyla sağlanmıştır. Peron katında kullanılan yönlü antenler (P-1, P-2, P-9 ve P-10) tünel girişlerine yönlendirilmiştir. Böylece bu noktalarda belirli bir mesafeye kadar kapsama sağlanabilmiştir. DAS şemasında pasif elemanları birbirine bağlayan kalın hatlar 7/8" eşeksenel kabloyu, anten bağlantılarında kullanılan ince hatlar 1/2" eşeksenel kabloyu temsil etmektedir.

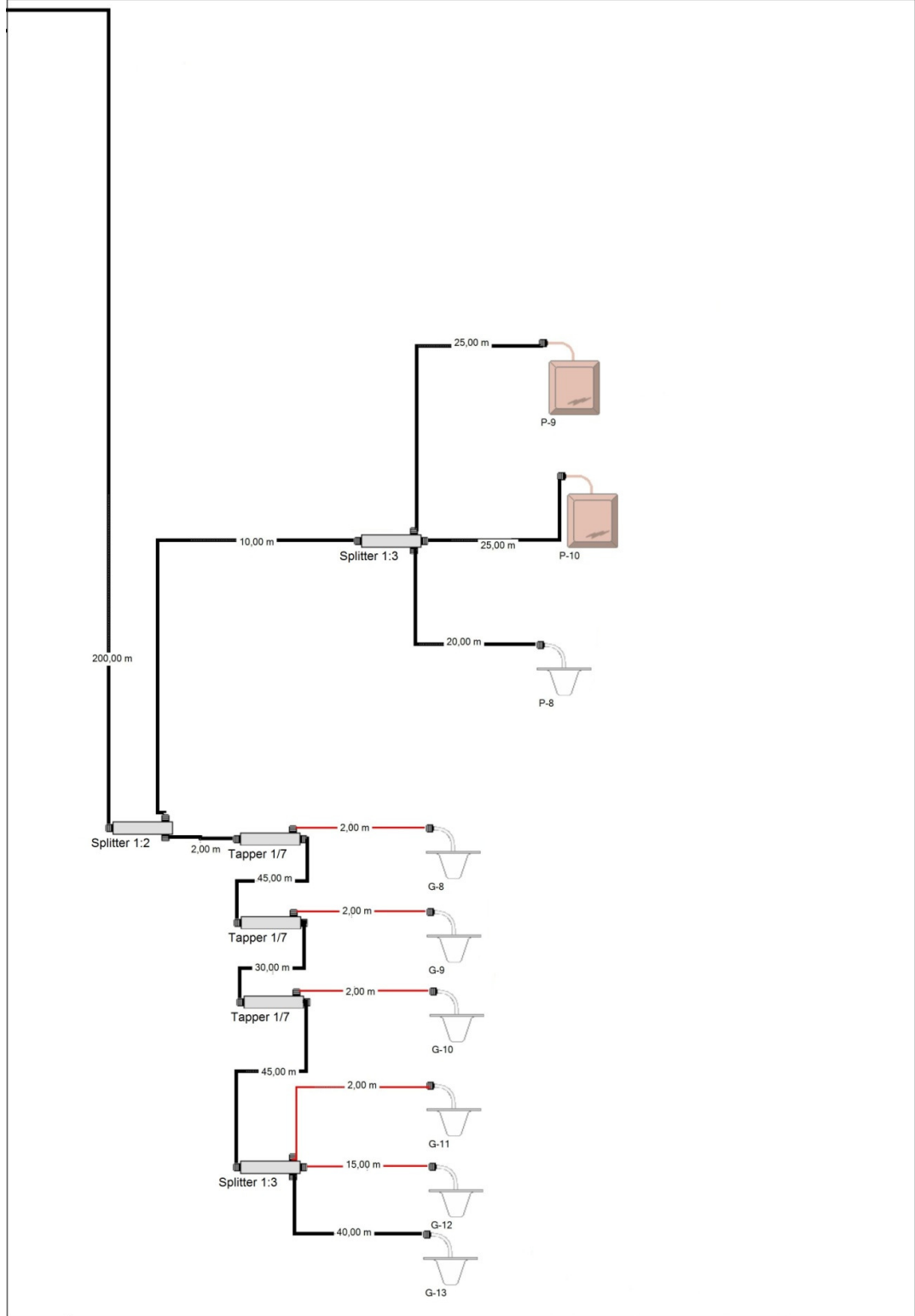
Metro istasyonu hücre planlaması GSM ve UMTS sistemleri için yapılmıştır. Dolayısıyla sistemde 2G ve 3G baz istasyonları birlikte kullanılmaktadır. Şekil 6.1’deki gösterildiği gibi karma ve çift bantlı birleştiriciler kullanılarak baz istasyonlarının MCM’ye bağlantısı sağlanmıştır. GSM kapasite hesaplamaları sonucunda elde edilen TRX sayısına göre baz istasyonundan alınan iki çıkış, 2:1 karma birleştirici kullanılarak tek çıkışta toplanmıştır. Karma birleştiriciden alınan çıkış ile UMTS baz istasyonundan alınan çıkış ise çift bantlı birleştirici kullanılarak toplanmaktadır. Dört tane girişe sahip olan MCM’nin üç girişi üç farklı operatör tarafından kullanılmaktadır. Baz istasyonları gişe katında konumlandırılmıştır.



Şekil 6.1 GSM ve UMTS baz istasyonlarının sisteme bağlantısı



Şekil 6.2 Bina içi DAS şeması-1



Şekil 6.3 Bina içi DAS şeması-2

İKİNCİ VE ÜÇÜNCÜ NESİL MOBİL SİSTEMLER BİNA İÇİ HÜCRE PLANLAMA

Kapsanması istenen bölge veya alanda hücre planlaması yapılarak belirli hedef ve kriterlere göre istenen nitelikte servis kalitesinin sağlanabilmesi için gereken tasarım elde edilmektedir. Bina içi hücre planlamasında kullanıcıların kapsama, kapasite ve kalite gereksinimlerine bağlı olarak tasarım yapılmaktadır. Şebeke boyutlandırması GSM’de ses hizmeti için, UMTS’de ise R99 ses ve paket tabanlı hizmetlere göre yapılmıştır.

7.1 GSM Hücre Planlama

7.1.1 Trafik ve Kapasite

GSM trafik hesaplamasında hedeflenen, ses haberleşmesi için gereken toplam kanal sayısının bulunmasıdır. Hesaplamalar şebekede maksimum kullanıcının bulunduğu duruma göre yapılmaktadır. Şebekede çağrıların bloke olma olasılığı GOS ile tanımlanmaktadır. GOS, kapasite yetersizliğinden dolayı bloke olan çağrıların yüzdesini belirtmektedir. Örneğin, kullanıcıların yaptığı 100 tane çağrıda kapasite yetersizliğinden dolayı 2 çağrının bloke olması 2% GOS’la belirtilmektedir.

Trafik yükü birimi olarak Erlang kullanılmaktadır. Bir Erlang, bir ses kanalının kesintisiz kullanımını göstermektedir. Pratikte ise bir saatteki toplam trafik hacmini tanımlamada kullanılmaktadır. Bir kullanıcının ürettiği trafik yoğunluğu, çağrı talebiyle çağrı süresi çarpılarak elde edilmektedir.

Çizelge 7.1 Meşgul saatteki GSM trafik profili

Servis			Kullanım Oranı	Kullanıcı Sayısı
Konuşma	Meşgul saatteki çağrı talebi	0.44	100%	1000
	Ortalama çağrı süresi	3 dk		
	Bloke olma oranı (GOS)	2%		

Çizelge 7.1'deki trafik profiline göre bir kullanıcının meşgul saatte ürettiği konuşma trafiği,

$$A_u = \lambda H_{saat} = 0.44 \times (3/60) = 0.022E = 22mE \quad (7.1)$$

Servis kullanım oranına göre kullanıcı başına düşen trafik yükü,

$$A_u = 22mE \times 100\% = 22mE \quad (7.2)$$

Meşgul saatteki toplam kullanıcı sayısı ve operatör pazar payına göre toplam trafik yükü,

$$A = A_u \times U \times \text{pazar payı} = 22mE \times 1000 \times 70\% = 15.4E \quad (7.3)$$

Belirli bir trafik yükü ve GOS altında gereken kanal sayısı Erlang formülü kullanılarak hesaplanmaktadır. Formülün karmaşık yapıda olması nedeniyle pratikte Erlang B formülünden oluşturulan Erlang B tablosu kullanılmaktadır. Erlang B tablosuna göre elde edilen 15.4 E'lik toplam trafik yükünü 2% bloke olma oranında destekleyebilmek için 23 trafik kanalı gerekmektedir (Erlang B tablosuna göre 23 trafik kanalı ve 2% GOS'da elde edilen trafik 15.761 E'dir).

Bir TRX'deki sekiz fiziksel kanaldan bir tanesi kontrol kanalı, geriye kalan kanallar ise trafik kanalı olarak kullanılmaktadır. Dolayısıyla 15.4 E'lik trafiği destekleyebilmek için gereken 23 trafik kanalı 4 TRX kullanılarak elde edilmektedir. Çizelge 7.2'de görüldüğü gibi 4 TRX ile elde edilen trafik kanalı sayısı 28'dir. Buradaki fazla kanal sayısı gerektiğinde paket anahtarlama veri trafiği (GPRS ve EDGE) ihtiyacını karşılamaktadır. Çizelge 7.2'ye göre 4 TRX'de elde edilen kullanıcı sayısı, operatör pazar payı da göz

önünde bulundurulduğunda meşgul saatte hedeflenen toplam kullanıcı sayısının 30%'undan fazladır.

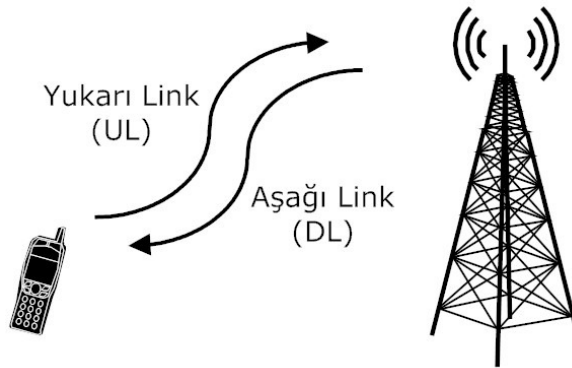
Çizelge 7.2 TRX ve kullanıcı sayıları

TRX Sayısı	Trafik Kanalı Sayısı (1 CCH + 7 TCH / TRX)	Trafik (2% GOS)	Kullanıcı Sayısı (22 mE / 2% GOS)
1	7	2.935 E	133
2	14	8.200 E	372
3	21	14.036 E	638
4	28	20.150 E	915
5	35	26.435 E	1201

Toplam yükün tek kaynakta birleştirilmesi sonucunda elde edilen trunk kazancından dolayı örneğin, iki TRX'in desteklediği trafik yükü tek TRX'in desteklediği trafik yükünün iki katından fazla olmaktadır. Dolayısıyla kaynakların aynı hücrede toplanması trunk kazancını artırmaktadır.

7.1.2 Kapsama

Kapsama hesabında yapılan RF link bütçesiyle baz istasyonundan mobil istasyona ve mobil istasyondan baz istasyonuna olan (verici ve alıcı arasındaki) maksimum yol kaybı ve alıcıdaki en düşük sinyal seviyesi hesaplanmaktadır. Link bütçesi yapılırken uçtan uca bütün kazanç, kayıp ve paylar dikkate alınmaktadır. Ayrıca bulunulan ortam ve kullanılan sisteme göre bütçeye farklı parametreler eklenebilmektedir.



Şekil 7.1 Yukarı ve aşağı link

GSM’de yukarı ve aşağı link bütçelerinin hesaplanması sonucunda maksimum yol kaybı elde edilerek linkin hangi yönde sınırlı olduğu belirlenmektedir. Elde edilen yol kaybı, yayılım modelinde kullanılarak antenlerin servis alanları hesaplanmaktadır. Genel olarak link bütçesi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Maksimum yol kaybı [dB]} = \text{Verici gücü} - \text{Sistem duyarlılığı} - \text{Toplam pay} \\ - \text{Toplam kayıp} + \text{Toplam anten kazancı}$$

7.1.2.1 Yukarı Link Bütçesi

Yukarı linkte mobil istasyon verici, baz istasyonu ise alıcı konumundadır. Yukarı link bütçesi Çizelge 7.4’deki şekildedir.

a, Verici gücü: MS maksimum çıkış gücüdür.

b, Verici anten kazancı: MS anten kazancıdır.

Çizelge 7.3 MS özellikleri

Maksimum iletim gücü	33 dBm
Anten kazancı	0 dBi
Vücut kaybı	3 dB

c, Etkin yönbağımsız ışıma gücü (EIRP): MS anteninin ışıma gücüdür.

$$c[dBm] = \text{verici gücü} - \text{kablo\&donanım kaybı} + \text{anten kazancı} \quad (7.4)$$

d, Isıl gürültü yoğunluğu: Isıl gürültü RF spektrumu boyunca eşit olarak dağılmış güçtür ve bant genişliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Isıl gürültü kaynağı çıkışındaki gürültü gücü,

$$d[dBW] = 10\log(KTB) \quad (7.5)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Eşitlikte K Boltzmann sabitini (J/K), T sıcaklığı (K) ve B bant genişliğini (Hz) göstermektedir. Buna göre oda sıcaklığında (17°C/290 K) 1 Hz’deki ısı gürültü gücü,

$$d = 10 \log(1.380 \times 10^{-23} \times 290 \times 1) = -204 \text{ dBW} = -174 \text{ dBm/Hz} \quad (7.6)$$

Çizelge 7.4 GSM900 yukarı link bütçesi

<i>Verici özellikleri (MS)</i>		
Verici gücü [dBm]	33	<i>a</i>
Verici anten kazancı [dBi]	0	<i>b</i>
Etkin yönbağımsız ışıma gücü [dBm]	33	<i>c = a + b</i>
<i>Alıcı özellikleri (BTS)</i>		
Isıl gürültü yoğunluğu [dBm/Hz]	-174	<i>d</i>
Isıl gürültü tabanı [dBm]	-121	<i>e</i>
Alıcı gürültü şekli [dB]	3	<i>f</i>
DAS kablo&donanım kaybı [dB]	32	<i>g</i>
Sistem gürültü şekli [dB]	35	<i>h</i>
Servis SNR ihtiyacı [dB]	9	<i>i</i>
Alıcı anten kazancı [dBi]	2	<i>j</i>
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-79	<i>k</i>
<i>RF kanalı</i>		
Log-normal sönümlenme payı [dB]	10	<i>l</i>
Çokyollu sönümlenme payı [dB]	6	<i>m</i>
Vücut kaybı [dB]	3	<i>n</i>
Toplam pay [dB]	19	<i>o</i>
Alıcı minimum seviye [dBm]	-60	<i>p = k + o</i>
Maksimum yol kaybı [dB]	93	<i>r = c - p</i>

e, Isıl gürültü tabanı: Sistemin bant genişliğine bağlı olan ısı gürültü tabanı 1 Hz'deki gürültü gücüyle taşıyıcı bant genişliğinin çarpımıdır. Isıl gürültü tabanı kanalda mevcut olan en düşük gürültü gücüdür.

$$e[dBm] = -174dBm/Hz + 10\log(bant\ genişliği) \quad (7.7)$$

GSM’de kanal bant genişliği 200 kHz’dir. Dolayısıyla GSM ısı gürültü tabanı,

$$e = -174dBm/Hz + 10\log(200000) = -121dBm \quad (7.8)$$

f, Alıcı gürültü şekli: Alıcıdaki elektronik yapı barındırdığı elemanlar dolayısıyla gürültü üretmektedir. Bu gürültünün gücü gürültü şekli olarak tanımlanmaktadır. Yukarı linkteki alıcı hassasiyetini etkileyen gürültü şekli DAS sisteminin yukarı link performansında belirleyici olmaktadır. Yukarı linkte pasif bir bileşenin gürültü şekli, kaybıyla aynı değerde olmaktadır.

g, DAS kablo & donanım kaybı: DAS sisteminde kullanılan pasif kablo ve bileşenlerin (bölücü, dengesiz bölücü vb.) toplam kaybıdır. Hesaplamalarda (GSM ve UMTS), tasarımdaki bütün antenlere olan toplam kayıpların ortalaması alınmıştır.

h, Sistem gürültü şekli: Pasif bileşenlerin kaybı alıcı gürültü şekliyle birlikte yukarı linkte sistemin toplam gürültü şeklini belirlemektedir.

$$h[dB] = f + g \quad (7.9)$$

i, Servis SNR ihtiyacı: SNR, işaret gücünün gürültü gücüne oranıdır ve kullanılan servisin kalitesini tanımlamaktadır. Farklı servisler için gerekli link kalitesi farklılık gösterdiğinden SNR ihtiyacı da kullanılan servise göre değişmektedir. Ses servisi için SNR ihtiyacı 9 dB olarak alınmıştır.

j, Alıcı anten kazancı: DAS yapısında bulunan antenlerin kazancıdır. Tasarımda tümyönlü ve yönlü anten olmak üzere iki tip anten kullanılmıştır. Sistemde kullanılan antenlerin kazançları Çizelge 7.5’teki şekildedir.

Çizelge 7.5 Anten özellikleri

	Kazanç
Tümyönlü anten	2 dBi
Yönsüz anten	7 dBi

k , Alıcı duyarlılığı: Ses servisi için baz istasyonu tarafından algılanabilecek en düşük sinyal seviyesini tanımlamaktadır. Alıcı gürültü tabanı, SNR ihtiyacı ve anten kazancı alıcı duyarlılığını belirlemektedir. Gürültü şekliyle ısı gürültü tabanının toplamı olan alıcı gürültü tabanı, alıcıdaki mevcut gürültüyü belirtmektedir.

$$k_{BS}[dBm] = e + h + i - j \quad (7.10)$$

l , Log-normal sönümlenme payı: MS ve BS arasındaki fiziksel engeller gölge etkisini oluşturmaktadır. Gölge etkisi sönümlenmelere ve dolayısıyla alıcıdaki sinyal gücünde sapmalara neden olmaktadır. Gölgeleme sönümlenmesi log-normal dağılıma göre modellenmektedir ve yavaş sönümlenme olarak da adlandırılmaktadır.

m , Çokyollu sönümlenme payı: Çokyolluluk etkisi nedeniyle alıcıda alınan toplam sinyalde sönümlenmeler meydana gelmektedir. Sinyal gücü çok kısa zamanda büyük değişiklikler gösterebilmektedir. Bu durum hızlı veya Rayleigh sönümlenmesi olarak da adlandırılmaktadır. Alınan toplam işaret bu etki sonucunda alıcı hassasiyetinin altına düşebilmektedir. Hızlı sönümlenme, kullanıcı hızına ve iletim yapılan frekansa bağlıdır.

n , Vücut kaybı: Kullanıcı ses görüşmesi yaparken MS anten performansını olumsuz (parazit etkisi) yönde etkilemektedir. Bu durum kayıp olarak dikkate alınmaktadır.

o , Toplam pay: Log-normal ve çokyollu sönümlenme payları ile vücut kaybının toplamıdır.

$$o[dB] = l + m + n \quad (7.11)$$

p , Alıcı minimum seviye: Hücre sınırındaki en düşük sinyal seviyesidir.

$$p[dBm] = k_{BS} + o \quad (7.12)$$

r , Maksimum yol kaybı: Alıcı ile verici arasındaki maksimum yol kaybıdır. EIRP ve minimum sinyal seviyesinin farkı maksimum yol kaybını vermektedir.

$$r[dB] = c - p \quad (7.13)$$

Yukarı link bütçesinden görülebileceği gibi yukarı linkte elde edilen maksimum yol kaybı 93 dB'dir.

7.1.2.2 Aşağı Link Bütçesi

Aşağı linkte baz istasyonu verici, mobil istasyon ise alıcıdır. Aşağı link bütçesi Çizelge 7.6'daki şekildedir.

Çizelge 7.6 GSM900 aşağı link bütçesi

<i>Verici özellikleri (BTS)</i>		
Verici gücü [dBm]	40	a
DAS kablo&donanım kaybı [dB]	32	b
Verici anten kazancı [dBi]	2	c
Etkin yönbağımsız ışıma gücü [dBm]	10	$d = a - b + c$
<i>Alıcı özellikleri (MS)</i>		
Isıl gürültü yoğunluğu [dBm/Hz]	-174	e
Isıl gürültü tabanı [dBm]	-121	f
Alıcı gürültü şekli [dB]	8	g
Servis SNR ihtiyacı [dB]	9	h
Alıcı anten kazancı [dBi]	0	i
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-104	$j = f + g + h - i$
<i>RF kanalı</i>		
Log-normal sönümlenme payı [dB]	10	k
Çokyollu sönümlenme payı [dB]	6	l
Vücut kaybı [dB]	3	m
Toplam pay [dB]	19	$n = k + l + m$
Alıcı minimum seviye [dBm]	-85	$o = j + n$
Maksimum yol kaybı [dB]	95	$p = d - o$

Aşağı linkte elde edilen maksimum yol kaybı 95 dB'dir. Dolayısıyla link, yukarı linkte sınırlıdır. Yukarı ve aşağı linki dengeleyebilmek amacıyla baz istasyonu verici gücü

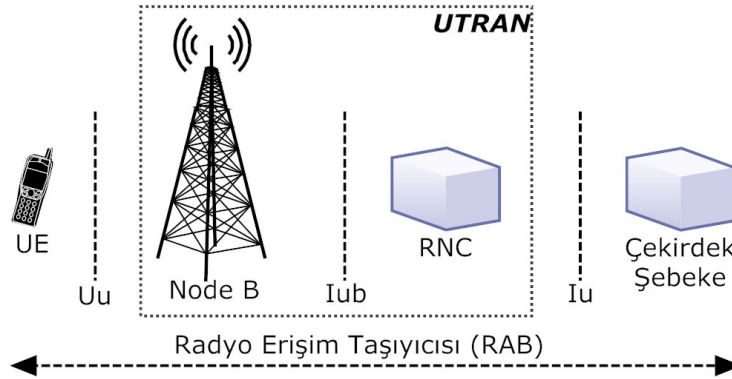
düşürülebilir. Böylece diğer hücelere olabilecek girişim seviyesi de azaltılarak haberleşme performansı ve sistem kapasitesi artırılabilir.

7.1.3 Frekans Yapısı

Frekans spektrumu sınırlı bir kaynaktır ve radyo kanalları arasındaki girişimin en düşük seviyede tutularak tekrar kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bina içi tasarımın yapıldığı metro istasyonu konum olarak izole bir ortamda bulunması nedeniyle makro hücredeki girişimden çok fazla etkilenmemektedir. Bu yüzden radyo kanalı seçiminde daha rahat davranılabilmektedir. Öngörülen kullanıcı profiline göre yapılan kapasite hesaplaması sonucunda 4 TRX ile bina içi hücrenin kapasite ihtiyacı karşılanmaktadır. Her bir TRX, 200 kHz'lik birer radyo kanalı olduğundan meşgul saatte hedeflenen maksimum kullanıcı kapasitesini karşılayabilmek için 4 tane radyo kanalına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla sistemde 4 farklı frekans kullanılmıştır.

7.2 UMTS Hücre Planlama

Radyo erişim taşıyıcısı (RAB), UE ile çekirdek şebeke arasındaki bağlantıyı tanımlamaktadır ve haberleşme verilerini UMTS erişim şebekesi üzerinden taşımakla sorumludur. 3GPP tarafından konuşmaya dayalı, kesintisiz iletim, etkileşimli ve arka plan olmak üzere dört farklı sınıfta RAB tanımlanmıştır.



Şekil 7.2 Radyo erişim taşıyıcısı

Trafik sınıflandırması ve servis kalitesi çekirdek şebeke tarafından belirlenmektedir. Kullanıcı tabanlı uygulamalara göre RAB için trafik sınıflandırması gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan uygulamalar olmak üzere iki ana başlıkta toplanabilir. Her bir sınıfın kendi özelliklerine bağlı olarak kalite tanımlamaları farklı olmaktadır.

Gerçek zamanlı uygulamalar, konuşmaya dayalı ve kesintisiz iletim olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Ses ve video uygulamaları gibi zaman ilişkisinin korunduğu, gerçek zamanlı trafik akışının olduğu durumdur.

Gerçek zamanlı olmayan uygulamalar, etkileşimli ve arka plan olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. İnternet uygulamaları ve kısa mesaj, e-posta gönderimi/alımı gibi gerçek zamanlı olmayan, kullanıcının talebine göre şekillenen trafik akışının olduğu durumdur.

Çizelge 7.7 Sunulan UMTS hizmetleri

	Hizmet Türü
Konuşmaya Dayalı RAB	AMR Konuşma 12.2 kbps + SRB 3.4 kbps
	CS 64 kbps + SRB 3.4 kbps
Etkileşimli RAB	PS 64/64 kbps + SRB 3.4 kbps
	PS 64/128 kbps + SRB 3.4 kbps
	PS 64/384 kbps + SRB 3.4 kbps

Gerçek zamanlı uygulamalar belirli bir bloke olma tanımlamasıyla sunulurken, gerçek zamanlı olmayan uygulamalar ise şebekenin o anki durumuna göre en uygun hızda (garantisiz hizmet) sunulmaktadır.

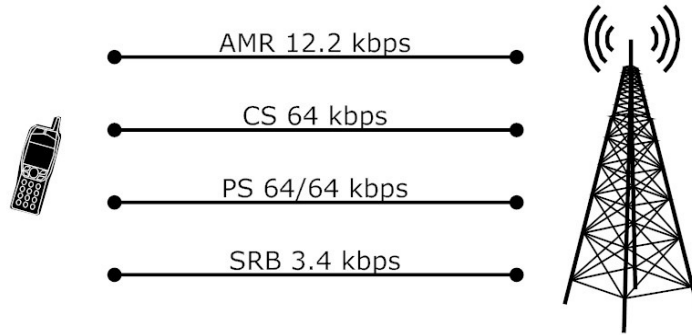
Çizelge 7.8 UMTS çoklu RAB'ler

	Hizmet Türü
Konuşma + Etkileşimli RAB	AMR Konuşma 12.2 kbps PS UL: 64 DL:64/128/384 kbps SRB 3.4 kbps
CS + Etkileşimli RAB	CS 64 kbps PS 8/8 kbps SRB 3.4 kbps

Şebekede sunulan servisler Çizelge 7.7'de gösterilmektedir. Konuşmaya dayalı RAB'de AMR 12.2 kbps konuşma ve 64 kbps video telefon hizmeti sunulmaktadır. Etkileşimli RAB'de DTCH kanalı üzerinden UL 64 kbps ve DL 64/128/384 kbps hızlarında veri iletimi

yapılmaktadır. SRB (İşaretleşme Radyo Taşıyıcısı) ise DCCH kanalı üzerinden kontrol bilgisini taşımaktadır.

Çoklu RAB’de konuşma ve etkileşimli hizmetler birlikte sunulmaktadır. “Konuşma + Etkileşimli RAB” birleşimi, kullanıcıya etkileşimli RAB hizmetini kullanırken çağrı hizmetini de kullanabilme imkânı vermektedir. “CS + Etkileşimli RAB” birleşimi ise etkileşimli RAB hizmetini kullanırken video çağrı hizmetini de kullanabilme imkânı tanımaktadır.



Şekil 7.3 UMTS boyutlandırma servisleri

Şebeke boyutlandırması AMR 12.2 kbps konuşma, CS 64 kbps video telefon ve PS 64/64 kbps etkileşimli servise göre yapılmıştır. Şebekedeki yük ve aktif kullanıcı yoğunluğuna göre etkileşimli servislerde aşağı linkte sunulabilen daha yüksek hızlara (PS128 ve PS384) çıkılabilmektedir.

7.2.1 Trafik

Trafik hesaplaması yapılırken şebekenin en yoğun olduğu saat göz önünde bulundurulmaktadır. Devre ve paket anahtarlama trafik hesabında kullanılan parametreler Çizelge 7.9’daki şekildedir. Buna göre bir kullanıcının meşgul saatte ürettiği konuşma ve video telefon trafiği,

$$A_{konuşma} = \lambda H_{saat} = 0.44 \times (3/60) = 0.022E = 22mE \quad (7.14)$$

$$A_{CS64} = \lambda H_{saat} = 0.09 \times (7.2/60) = 0.0108E = 10.8mE \quad (7.15)$$

Servis kullanım oranına göre kullanıcı başına ortalama trafik,

$$A_{konuşma} = 22mE \times 95\% = 20.9mE \quad (7.16)$$

$$A_{CS64} = 10.8mE \times 10\% = 1.08mE \quad (7.17)$$

Çizelge 7.9 Meşgul saatteki devre ve paket anahtarlama trafiki

Servis			Kullanım Oranı	Kullanıcı Sayısı
Konuşma	Meşgul saatteki çağrı talebi	0.44	95%	1000
	Ortalama çağrı süresi	3 dk		
	Bloke olma oranı	2%		
CS64	Meşgul saatteki çağrı talebi	0.09	10%	
	Ortalama çağrı süresi	7.2 dk		
	Bloke olma oranı	2%		
R99 PS	UL+DL kullanıcı başına veri hacmi	1800 kbit	100%	
	UL/DL trafik oranı	10%		

Çizelge 7.9'a göre bir kullanıcının meşgul saatteki ortalama paket anahtarlama trafiki,

$$UL + DL veri = 1800kbit = 220KB \quad (7.18)$$

$$UL/DL = 0.1 \Rightarrow UL = 20KB, DL = 200KB \quad (7.19)$$

$$PS UL veri = 20 \times 100\% = 20KB \quad (7.20)$$

$$PS DL veri = 200 \times 100\% = 200KB \quad (7.21)$$

Elde edilen sonuçlara göre bir kullanıcının ortalama trafik profili Çizelge 7.10'daki gibidir.

Çizelge 7.10 Bir kullanıcının meşgul saatteki ortalama trafik profili

Servis	Meşgul Saat İhtiyacı
Konuşma	20.9 mE
Video telefon	1.08 mE
UL PS	20 KB
DL PS	200 KB

7.2.2 Kapasite

7.2.2.1 Yukarı Link Kapasite

Hücre kapasitesi kalite ihtiyaçlarına, dolayısıyla sunulan servislere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kutup kapasitesi teorik olarak bir hücrenin destekleyebileceği maksimum kullanıcı sayısını belirtmektedir. Link yükü kutup kapasitesindeyken (4.3)'e göre gürültü artışı sonsuza gitmekte, bu nedenle kapsama sağlanamamaktadır. Yukarı link kutup kapasitesi,

$$M_{kutup} = \left(\frac{1}{1+F} \right) \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right) (1 + G_{DTX}) \quad (7.22)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilmektedir [29]. (7.22)'de F yukarı link girişim faktörünü, γ yukarı link RAB (C/I) hedefini, G_{DTX} yukarı link DTX kazancını göstermektedir. Yukarı link girişim faktörü, diğer hücrelerdeki kullanıcıların yaptığı girişimin aynı hücredeki kullanıcıların yaptığı girişime oranıdır.

$$F = \frac{I_{diğer}}{I_{aynı}} = \frac{\text{diğer hücrelerdeki kullanıcı girişi}}{\text{aynı hücredeki kullanıcı girişi}} \quad (7.23)$$

E_b/N_0 bit başına işaret enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna oranıdır ve (7.24)'deki şekilde ifade edilmektedir.

$$E_b/N_0 = PG \times (S/N) = PG \times (C/I) = PG \times \gamma \quad (7.24)$$

Taşıyıcı-girişim oranı (C/I), taşıyıcı gücünün kanaldaki girişim gücüne oranıdır (alınan işaretin yayma koduyla çarpılmadan önceki değeri). (7.24)'e göre taşıyıcı-girişim oranı,

$$\gamma = \frac{10^{(E_b/N_0)/10}}{PG} = \frac{10^{(E_b/N_0)/10}}{R_{yonga}/R_{bit}} \quad (7.25)$$

$$\gamma[dB] = E_b/N_0 - 10\log(PG) \quad (7.26)$$

Yukarı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 7.11'deki şekildedir.

Çizelge 7.11 Yukarı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler

Parametre	Konuşmaya Dayalı RAB		Etkileşimli RAB
	AMR	CS64	PS64
E_b/N_0 [dB]	7.5	6.0	5.5
R_{bit} [kbps]	12.2 + 3.4	64 + 3.4	64 + 3.4
R_{yonga} [kcps]	3840		
F	0.2		
G_{DTX}	0.69	0.07	0.05

Çoklu servis hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri ise Çizelge 7.12'de belirtilmiştir.

Çizelge 7.12 Çoklu RAB yukarı link kapasite hesaplama parametreleri

Parametre	Konuşma + Etkileşimli RAB	CS + Etkileşimli RAB
	AMR + PS64	CS64 + PS8
E_b/N_0 [dB]	5.5	5.2
R_{bit} [kbps]	12.2 + 64 + 3.4	64 + 8 + 3.4
R_{yonga} [kcps]	3840	
F	0.2	
G_{DTX}	0.0	

Belirtilen parametrelere göre örneğin, AMR 12.2 kbps ses hizmeti için yukarı link kutup kapasitesi,

$$\gamma = \frac{10^{7.5/10}}{3840/(12.2 + 3.4)} = 0.0228 \quad (7.27)$$

$$M_{kutup}^{AMR12.2} = \left(\frac{1}{1 + 0.2} \right) \left(1 + \frac{1}{0.0228} \right) (1 + 0.69) = 63.18 \quad (7.28)$$

Sunulan servisler için elde edilen yukarı link kutup kullanıcı ve hedef yükteki kullanıcı sayıları Çizelge 7.13’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.13 Yukarı link M_{kutup} ve hedef yük değerleri

Hizmet Türü	M_{kutup}	60% yük
AMR Konuşma 12.2 kbps + SRB 3.4 kbps	63.18	37.908
CS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	13.65	8.190
PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	14.92	8.952
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	12.17	7.302
CS 64 kbps + PS 8 kbps + SRB 3.4 kbps	13.65	8.190

7.2.2.2 Aşağı Link Kapasite

WCDMA haberleşmesinde kullanıcılar aşağı linkte ortak güç kaynağını (baz istasyonu gücü) paylaşmaktadır. Yukarı linkten farklı olarak aşağı link kapasite hesaplamalarındaki en önemli parametre dikgenlik faktörüdür. Baz istasyonu ile kullanıcı arasında ideal koşullarda veri iletimi tek bir yol üzerinden gerçekleşmektedir. Bu durumda kodlar arasındaki dikgenlik faktörü 1’dir. Ancak çokyolluluk etkisi sonucunda alıcıda alınan işaretlerin gecikmeden dolayı farklı faz ve genliklerde olması nedeniyle bulunan ortam ve kullanıcı hareketliliğine göre dikgenlik faktörü değişiklik göstermektedir. Aşağı link kutup kapasitesi,

$$M_{kutup} = \frac{(1 + \alpha\gamma)(1 + G_{DTX})}{\gamma(\alpha + F) \left(1 + \sum_{b=2}^{n_{AS}} \frac{\kappa(b)[(1 + \alpha\gamma)(b - 1) - G_{SHO}(b)]}{1 + \alpha\gamma + G_{SHO}(b)} \right)} \quad (7.29)$$

formülü kullanılarak hesaplanabilmektedir [29]. (7.29)'da α dikgen olmama faktörünü, γ aşağı link RAB (C/I) hedefini, G_{DTX} aşağı link DTX kazancını, F aşağı link girişim faktörünü, n_{AS} aktif küme boyutunu ($n_{AS} > 1$ yumuşak aktarma), κ yumuşak aktarmadaki kullanıcı oranını, b yumuşak aktarmadaki baz istasyonu sayısını, G_{SHO} ortalama yumuşak aktarma kazancını göstermektedir.

Yumuşak aktarma alanları bina girişinde tanımlandığı için kapasite hesabında yumuşak aktarmanın olmadığı duruma göre ($\kappa = 0$) hesaplama yapılmıştır. Dolayısıyla aşağı link kutup denklemi (7.30)'daki şekli almıştır.

$$M_{kutup} = \frac{(1 + \alpha\gamma)(1 + G_{DTX})}{\gamma(\alpha + F)} \quad (7.30)$$

Aşağı linkte baz istasyonu, hızlı sönmülenme etkisini dengeleyebilmek amacıyla iletim gücünü artırmaktadır. Kapasite hesaplamalarında bu etkiyi modelleyebilmek için hızlı sönmülenme dengelemesi aşağı link taşıyıcı-girişim oranıyla çarpılmaktadır.

Çizelge 7.14 Aşağı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler

Parametre	Konuşmaya Dayalı RAB		Etkileşimli RAB		
	AMR	CS64	PS64	PS128	PS384
E_b/N_0 [dB]	7.2	6.7	6.2	5.7	5.2
R_{bit} [kbps]	12.2 + 3.4	64 + 3.4	64 + 3.4	128 + 3.4	384 + 3.4
R_{yonga} [kcps]	3840				
α	0.15				
G_{DTX}	1.02	0.06	0.05	0.02	0.01
F	0.2				
ε [dB]	2				

Aşağı link kapasite hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 7.14’de, çoklu servis hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri ise Çizelge 7.15’de belirtilmiştir.

Çizelge 7.15 Çoklu RAB aşağı link kapasite hesaplama parametreleri

Parametre	Konuşma + Etkileşimli RAB			CS + Etkileşimli RAB
	AMR + PS64	AMR + PS128	AMR + PS384	CS64 + PS8
E_b/N_0 [dB]	6.3	5.8	5.3	7.3
R_{bit} [kbps]	12.2 + 64 + 3.4	12.2 + 128 + 3.4	12.2 + 384 + 3.4	64 + 8 + 3.4
R_{yonga} [kcps]	3840			
α	0.15			
G_{DTX}	0.0			
F	0.2			
ε [dB]	2			

Belirtilen parametrelere göre örneğin AMR 12.2 kbps ses hizmeti için aşağı link kutup kapasitesi,

$$\gamma \times 10^{\varepsilon/10} = \frac{10^{7.2/10}}{3840/(12.2 + 3.4)} \times 10^{2/10} = 0.0338 \quad (7.31)$$

$$M_{kutup}^{AMR12.2} = \frac{(1 + 0.15 \times 0.0338)(1 + 1.02)}{0.0338 \times (0.15 + 0.2)} = 171.62 \quad (7.32)$$

Sunulan servisler için elde edilen aşağı link kutup kullanıcı sayıları Çizelge 7.16’da belirtilmiştir. Yukarı ve aşağı linkte bulunan kutup kullanıcı sayılarının hedef yükle çarpılması sonucunda yüke göre kullanıcı sayıları elde edilmektedir. Dolayısıyla belirtilen servisler için kullanıcı sayıları hedeflenen yüke göre değişmektedir.

Paket kanalları hücredeki kullanıcılar tarafından paylaşılmaktadır. Bu nedenle servislerde sunulan hızlar aktif kullanıcı sayısına göre farklılık göstermektedir. Eğer kullanıcı sayıları yüke göre bulunan değerleri aşarsa kullanıcılar daha düşük hızlara

atanmaktadır. Örneğin, 128 kbps'lik hıza, kanalın paylaşılmadığı durumda ulaşılabilir. Eğer kanal paylaşımlı kullanılırsa ulaşılabilen hız düşmektedir.

Çizelge 7.16 Aşağı link M_{kutup} ve hedef yük değerleri

Hizmet Türü	M_{kutup}	60% yük
AMR Konuşma 12.2 kbps + SRB 3.4 kbps	171.62	102.972
CS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	23.73	14.238
PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	26.31	15.786
PS 128 kbps + SRB 3.4 kbps	14.90	8.940
PS 384 kbps + SRB 3.4 kbps	5.88	3.528
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	20.82	12.492
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 128 kbps + SRB 3.4 kbps	13.11	7.866
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 384 kbps + SRB 3.4 kbps	5.54	3.324
CS 64 kbps + PS 8 kbps + SRB 3.4 kbps	17.53	10.518

Kapasiteye göre konuşma, CS64 ve PS64 servisleri için yukarı link sınırlayıcıdır. PS128 ve PS384 servisleri ise aşağı linkte sunulmaktadır. Ayrıca yukarı ve aşağı link kapasite eşitliklerinden de görülebileceği üzere girişim faktörü azaldıkça yani komşu hücrelerden gelen girişim azaldıkça yukarı ve aşağı link kapasiteleri artış göstermektedir.

7.2.3 Kapsama

UMTS'de yukarı ve aşağı link bütçeleri sunulan servisler için hesaplanarak linkin hangi yönde ve serviste sınırlı olduğu belirlenmektedir. Buna göre benzetimde kullanılan yayılım modeline göre antenlerin servis alanları hesaplanmaktadır.

7.2.3.1 Yukarı Link Bütçesi

a, Verici gücü: UE maksimum çıkış gücüdür. 3GPP mobil cihazlar için dört farklı güç sınıfı tanımlamıştır [16].

b, Verici anten kazancı: UE anten kazancıdır.

Çizelge 7.17 UE özellikleri

	Konuşma	Veri
Maksimum iletim gücü	24 dBm	24 dBm
Anten kazancı	0 dBi	0 dBi
Vücut kaybı	3 dB	0 dB

c, Etkin yönbağımsız ışıma gücü (EIRP): UE anteninin ışıma gücüdür. (7.4)'deki şekilde hesaplanmaktadır.

d, Isıl gürültü yoğunluğu: Oda sıcaklığında (17°C/290 K) 1 Hz'deki ısı gürültü gücü (7.6)'da hesaplandığı gibi -174 dBm/Hz'dir.

e, Isıl gürültü tabanı: WCDMA'de bant genişliği yonga hızıyla orantılı olduğundan taşıyıcı bant genişliği olarak yonga hızı alınmaktadır. Dolayısıyla WCDMA ısı gürültü tabanı,

$$e = -174 \text{ dBm/Hz} + 10 \log(3840000) = -108 \text{ dBm} \quad (7.33)$$

f, Alıcı gürültü şekli: Alıcıdaki elektronik yapının ürettiği gürültünün gücüdür.

g, DAS kablo & donanım kaybı: DAS sisteminde kullanılan kablolar ve donanımın toplam kaybıdır.

h, Sistem gürültü şekli: Alıcı gürültü şekliyle DAS kaybının toplamı yukarı linkte sistemin gürültü şeklini vermektedir.

$$h[\text{dB}] = f + g \quad (7.34)$$

i, İşlem kazancı: Taşıyıcı bandına yayılan kullanıcı verisinin dikgen yayma koduyla çarpılması sonucunda elde edilen kazançtır.

$$i[\text{dB}] = 10 \log(R_{\text{yonga}}/R_{\text{bit}}) \quad (7.35)$$

j, Gerekli E_b/N_0 : Sunulan hizmete bağlı olarak değişiklik gösteren E_b/N_0 ihtiyacı servis kalitesini tanımlamaktadır. E_b/N_0 , alınan işaretin, gürültü seviyesinin ne kadar üstünde olacağını belirtmektedir.

Çizelge 7.18 UTMS yukarı link bütçesi

	AMR 12.2	CS64	PS64	
<i>Verici özellikleri (UE)</i>				
Hedef yük	0.6	0.6	0.6	
Verici gücü [dBm]	24	24	24	a
Verici anten kazancı [dBi]	0	0	0	b
Etkin yönbağımsız ışıma gücü [dBm]	24	24	24	$c = a + b$
<i>Alıcı özellikleri (Node B)</i>				
Isıl gürültü yoğunluğu [dBm/Hz]	-174	-174	-174	d
Isıl gürültü tabanı [dBm]	-108	-108	-108	e
Alıcı gürültü şekli [dB]	4	4	4	f
DAS kablo&donanım kaybı [dB]	34	34	34	g
Sistem gürültü şekli [dB]	38	38	38	h
İşlem kazancı [dB]	23.91	17.56	17.56	i
Gerekli E_b/N_0 [dB]	7.5	6	5.5	j
C/I [dB]	-16.41	-11.56	-12.06	k
Alıcı anten kazancı [dBi]	2	2	2	l
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-88.41	-83.56	-84.06	m
<i>RF kanalı</i>				
Girişim payı [dB]	4	4	4	n
Log-normal sönümlenme payı [dB]	5.3	5.3	5.3	o
Güç kontrol payı [dB]	4.5	4.5	4.5	p
Vücut kaybı [dB]	3	0	0	r
Toplam pay [dB]	16.8	13.8	13.8	s
Alıcı minimum seviye [dBm]	-71.61	-69.76	-70.26	$t = m + s$
Maksimum yol kaybı [dB]	95.61	93.76	94.26	$u = c - t$

k , Taşıyıcı-girişim oranı: Taşıyıcı gücünün girişim gücüne oranıdır. Örneğin, konuşma servisi için elde edilen sonuca göre işaret, gürültünün 16.41 dB altında olsa dahi alıcıda çözümlenebilir.

$$k[dB] = j - i \quad (7.36)$$

l , Alıcı anten kazancı: DAS yapısında bulunan antenlerin kazancıdır. Sistemde kullanılan antenlerin kazançları Çizelge 7.5'teki gibidir.

m , Alıcı duyarlılığı: Baz istasyonu tarafından algılanabilecek en düşük sinyal seviyesini tanımlayan alıcı duyarlılığı her bir servis için farklılık göstermektedir.

$$m_{BS}[dBm] = e + h + k - l \quad (7.37)$$

n , Girişim payı: Dördüncü bölümde de bahsedildiği gibi WCDMA'de toplam yük ile kapsama alanı birbiriyle bağlantılıdır. Hücredeki yükün artışına bağlı olarak girişim payı da artış göstermekte, dolayısıyla kapsama alanı daralmaktadır. Kapsama alanındaki bu değişiklik hücre nefes alması olarak adlandırılmaktadır.

$$n_{UL}[dB] = -10 \log(1 - hedef\ yük) \quad (7.38)$$

o , Log-normal sönümlenme payı: Alıcı ve verici arasında bulunan fiziksel yapılar alınan sinyalde sönümlenmelere neden olmaktadır.

p , Güç kontrol payı: Sönümlenmelere bağlı olarak sinyaldeki bit hata oranını (BER) koruyabilmek amacıyla güç kontrol payı kullanılmaktadır. Güç kontrol payı kullanıcının bulunduğu ortama göre değişmektedir. WCDMA'de yapılan kapalı çevrim güç kontrolüyle sönümlenme etkileri minimuma indirilmektedir. Kapalı çevrim güç kontrolünün doğruluğu güç kontrol payını da etkilemektedir.

r , Vücut kaybı: GSM link bütçesinde bahsedildiği gibi kullanıcının konuşma anında (sadece konuşma hizmeti) mobil anteni olumsuz etkilemesinden kaynaklanan kayıptır.

s , Toplam pay: Link bütçesindeki payların toplamıdır.

$$s[dB] = n_{UL} + o + p + r \quad (7.39)$$

t , Alıcı minimum seviye: Hücre sınırındaki en düşük sinyal seviyesidir.

$$t[dBm] = m_{BS} + s \quad (7.40)$$

u , Maksimum yol kaybı (L_{maksimum}): Alıcı ile verici arasındaki maksimum yol kaybıdır.

$$u[dB] = c - t \quad (7.41)$$

Yukarı link bütçesine göre sunulan servisler içinde en düşük yol kaybına sahip servis CS64'tür. Dolayısıyla kapsamaya göre yukarı linkteki sınırlayıcı servisin maksimum yol kaybı 93.76 dB'dir.

7.2.3.2 Aşağı Link Bütçesi

CPICH kanalı UE'ler tarafından hücre seçiminde kullanılmaktadır. Dolayısıyla aşağı linkte yeterli CPICH seviyesinin sağlanması önem taşımaktadır. Aşağı link bütçesinde (Çizelge 7.20) yukarı linkteki parametrelerden farklı olarak,

α , Verici gücü: CPICH kanalı gücüdür. Aşağı link CPICH gücü (P_{CPICH}) nominal baz istasyonu gücünün (P_{nom}) 10%'u (–10 dB) olarak hesaplanmıştır. Baz istasyonu gücü 43 dBm (20 W) olduğuna göre CPICH kanalına ayrılan güç 33 dBm'dir.

h , E_c/N_0 : Yonga enerjisinin gürültü spektral yoğunluğuna oranıdır.

Çizelge 7.19 CPICH girişim payı hesabında kullanılan parametreler

Dikgen olmama faktörü, α	1
Girişim oranı, F	1.5
Nominal baz istasyonu gücü, P_{nom} [W]	20
Toplam çıkış gücü, P_{toplaml} [W]	$0.60 \times P_{\text{nom}}$
R_{yonga} [kcps]	3840

k , Girişim payı: CPICH kanalı için aşağı link girişim payıdır. (7.42)'de P_{toplaml} ortalama toplam çıkış gücünü, L_{sa} sinyal zayıflamasını göstermektedir [29]. Sinyal zayıflaması hesaplanırken yukarı ve aşağı linki dengelemek için yukarı linkteki sınırlayıcı servisin yol kaybı kullanılmakta ve buna bağlı olarak girişim payı hesaplanmaktadır.

$$k[dB] = 10 \log \left(1 + \frac{(\alpha + F)P_{toplam}}{10^{(e+g)/10} R_{yonga} 10^{L_{sa}/10}} \right) \quad (7.42)$$

Çizelge 7.20 Aşağı link bütçesi

<i>Verici özellikleri (Node B)</i>		
Hedef yük	0.6	
Verici gücü [dBm]	33	<i>a</i>
DAS kablo&donanım kaybı [dB]	34	<i>b</i>
Verici anten kazancı [dBi]	2	<i>c</i>
Etkin yönbağımsız ışıma gücü [dBm]	1	$d = a - b + c$
<i>Alıcı özellikleri (UE)</i>		
Isıl gürültü yoğunluğu [dBm/Hz]	-174	<i>e</i>
Isıl gürültü tabanı [dBm]	-108	<i>f</i>
Alıcı gürültü şekli [dB]	7	<i>g</i>
E_c/N_0 [dB]	-8	<i>h</i>
Alıcı anten kazancı [dBi]	0	<i>i</i>
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-109	$j = f + g + h - i$
<i>RF kanalı</i>		
Girişim payı [dB]	15	<i>k</i>
Log-normal sönümlenme payı [dB]	5.3	<i>l</i>
Güç kontrol payı [dB]	0	<i>m</i>
Vücut kaybı [dB]	0	<i>n</i>
Toplam pay [dB]	20.3	$o = k + l + m + n$
Alıcı minimum seviye [dBm]	-88.70	$p = j + o$
Maksimum yol kaybı [dB]	89.70	$r = d - p$

Sinyal zayıflaması linkteki kayıp, pay ve kazançların etkisi olmadan sinyalin baz istasyonundan hücre sınırındaki kullanıcıya kadar olan zayıflamasını göstermektedir.

$$L_{sa}[dB] = L_{maksimum} + b + l + m + n - c - i \quad (7.43)$$

Aşağı link bütçesine göre minimum sinyal seviyesi -88.7 dBm ve maksimum yol kaybı yaklaşık olarak 90 dB bulunmuştur.

Aşağı link DCH gücü (P_{DCH}) aşağı linkte tek bir kullanıcıya tahsis edilen güçtür. P_{DCH} , nominal baz istasyonu gücünün 40%'ını (8W) aşmamalıdır. Güç hesaplamasındaki önemli parametreler (Çizelge 7.21),

p , Girişim payı: DCH kanalı girişim payıdır. Her bir servis için sinyal zayıflaması hesaplanmakta ve (7.42) ile girişim payı bulunmaktadır. CPICH girişim payı hesaplamasından farklı olarak sadece dikgen olmama faktörü 0.15 alınmıştır. Yukarı ve aşağı linki dengelemek için sinyal zayıflaması yukarı linkteki servis yol kayıplarına göre hesaplanmıştır.

$$o[dB] = L_{sa} = L_{maksimum} + a + n - b - i \quad (7.44)$$

r , DCH gücü: Hücre sınırındaki kullanıcının DCH kanalı gücüdür.

$$r[dB] = j + o + p \quad (7.45)$$

Çizelge 7.21'den görülebileceği gibi konuşma, video telefon ile PS64, PS128 ve PS384 etkileşimli servislerinin DCH güçleri limit değerinin altındadır.

Kapasite hesaplamaları sonucunda yukarı link konuşma hizmeti için kutup kullanıcı sayısı 63.18 olarak bulunmuştur. Buna göre yukarı linkte hedeflenen 60% yük için ses kanal sayısı,

$$M = \eta \times M_{kutup} = 60\% \times 63.18 = 37.908 \quad (7.46)$$

Erlang B tablosuna göre 37 ses kanalı 2% GOS oranında 28.254 E trafik sunmaktadır. UMTS trafik hesaplamaları sonucunda meşgul saatte bir kullanıcının ürettiği konuşma trafiği 20.9 mE olarak bulunmuştur.

Çizelge 7.21 Servislere göre DCH güçleri

	AMR 12.2	CS64	PS64	PS128	PS384	
<i>Verici özellikleri (Node B)</i>						
DAS kablo&donanım kb. [dB]	34	34	34	34	34	<i>a</i>
Verici anten kazancı [dBi]	2	2	2	2	2	<i>b</i>
<i>Alıcı özellikleri (UE)</i>						
Isıl gürültü yoğ. [dBm/Hz]	-174	-174	-174	-174	-174	<i>c</i>
Isıl gürültü tabanı [dBm]	-108	-108	-108	-108	-108	<i>d</i>
Alıcı gürültü şekli [dB]	7	7	7	7	7	<i>e</i>
İşlem kazancı [dB]	23.91	17.56	17.56	14.66	9.96	<i>f</i>
Gerekli E_b/N_0 [dB]	7.2	6.7	6.2	5.7	5.2	<i>g</i>
C/I [dB]	-16.71	-10.86	-11.36	-8.96	-4.76	<i>h</i>
Alıcı anten kazancı [dBi]	0	0	0	0	0	<i>i</i>
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-117.71	-111.86	-112.36	-109.96	-105.76	<i>j</i>
<i>RF kanalı</i>						
Log-normal sön. payı [dB]	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	<i>k</i>
Güç kontrol payı [dB]	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	<i>l</i>
Vücut kaybı [dB]	3	0	0	0	0	<i>m</i>
Toplam pay [dB]	12.8	9.8	9.8	9.8	9.8	<i>n</i>
Sinyal zayıflaması [dB]	140.41	135.56	136.06	133.36	128.96	<i>o</i>
Girişim payı [dB]	5.25	9.13	8.69	11.11	15.29	<i>p</i>
DCH kanalı gücü [dBm]	27.95	32.83	32.39	34.51	38.49	<i>r</i>
	0.62 W	1.92 W	1.73 W	2.82 W	7.06 W	

Hücrede, 12.2 kbps konuşma hizmeti için 37 ses kanalı desteklenebilmektedir. Trafik hesaplaması ve Erlang B tablosundan elde edilen sonuçlara göre konuşma hizmeti kullanıcı sayısı,

$$U = \frac{A}{A_u} = \frac{28.254E}{20.9mE} = 1351 \quad (7.47)$$

(7.47)'de elde edilen sonuç yukarı linkte sadece ses trafiğinin olduğu durumdur. Hücrede konuşma hizmetinin yanında etkileşimli hizmetlerin kullanılması kanal sayısını düşürmekte, dolayısıyla kullanıcı sayısı azalmaktadır. Aşağı linkte ise WCDMA sisteminin yapısı gereği kullanıcı sayısında sınırlamalar yaşanmaktadır. Bu etkiler sonuç bölümünde açıklanmıştır.

Meşgul saatteki kullanıcı ihtiyaçlarına göre konuşma, görüntülü konuşma ve veri haberleşmesi kullanımında kapasiteye göre elde edilen toplam yük,

$$\eta_{maks} = Ux \left\{ \left(\frac{A_{AMR12.2}}{M_{kutup}} \right) + \left(\frac{A_{CS64}}{M_{kutup}} \right) + \left(\frac{Veri \times 1024 \times 8 \times 1.4}{3600 \times R_{veri} \times M_{kutup}} \right) \right\} \quad (7.48)$$

şeklinde [29]. Buna göre yukarı linkte konuşma, video telefon ve PS64 servisleri için elde edilen toplam yük,

$$\eta_{UL} = 1000x \left\{ \left(\frac{20.9mE}{63.18} \right) + \left(\frac{1.08mE}{13.65} \right) + \left(\frac{20x1024x8x1.4}{3600x64000x14.92} \right) \right\} = 0.4766 \quad (7.49)$$

Konuşma, video telefon ve etkileşimli servislerin kullanımına göre elde edilen toplam yük değerleri Çizelge 7.22'deki gibidir.

Çizelge 7.22 Servislere göre toplam yük değerleri

	Toplam Yük	
	Yukarı Link	Aşağı Link
AMR 12.2 kbps + CS 64 kbps + PS 64 kbps	47.66%	54.57%
AMR 12.2 kbps + CS 64 kbps + PS 128 kbps	–	50.14%
AMR 12.2 kbps + CS 64 kbps + PS 384 kbps	–	44.95%

7.2.4 Kod Yapısı

WCDMA’de kullanıcı ve veri kanalları ayrımı kodlarla sağlanmaktadır. Yayma faktörü, kullanılabilecek kod sayısını belirtmekte ve servis hızına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yayma faktörü değeri OVSF yapısı gereği 2^x tabanında olduğundan (4.1)’e göre elde edilen veri hızları Çizelge 7.23’deki gibidir. Örneğin, yayma faktörü 256 için bit hızı,

$$R_{bit} = \frac{R_{yonga}}{SF} = \frac{3840}{256} = 15 kbps \quad (7.50)$$

Servis hızına ek olarak sinyalleşme hızı toplamdaki bit hızını belirlemektedir. Örneğin konuşma hizmeti için toplam bit hızı 15.6 kbps’dir (12.2 kbps + 3.4 kbps). Buna göre farklı servisler için kullanılan SF değerleri Çizelge 7.23’te belirtilmiştir.

Çizelge 7.23 Yayma faktörüne göre bit hızları

Yonga Hızı [kcps]	Yayma faktörü	Bit Hızı [kbps]	İşlem Kazancı [dB]	Hizmet Türü
3840	256	15	24.08	–
	128	30	21.07	AMR 12.2
	64	60	18.06	–
	32	120	15.05	CS64, PS64
	16	240	12.04	PS128
	8	480	9.03	PS384
	4	960	6.02	–
	2	1920	3.01	–
	1	3840	0.0	–

(4.1)’e göre yayma faktörü arttıkça veri hızı düşmekte ve kod sayısı artış göstermektedir. OVSF kod kullanımındaki sınırlamalardan dördüncü bölümde bahsedilmiştir.

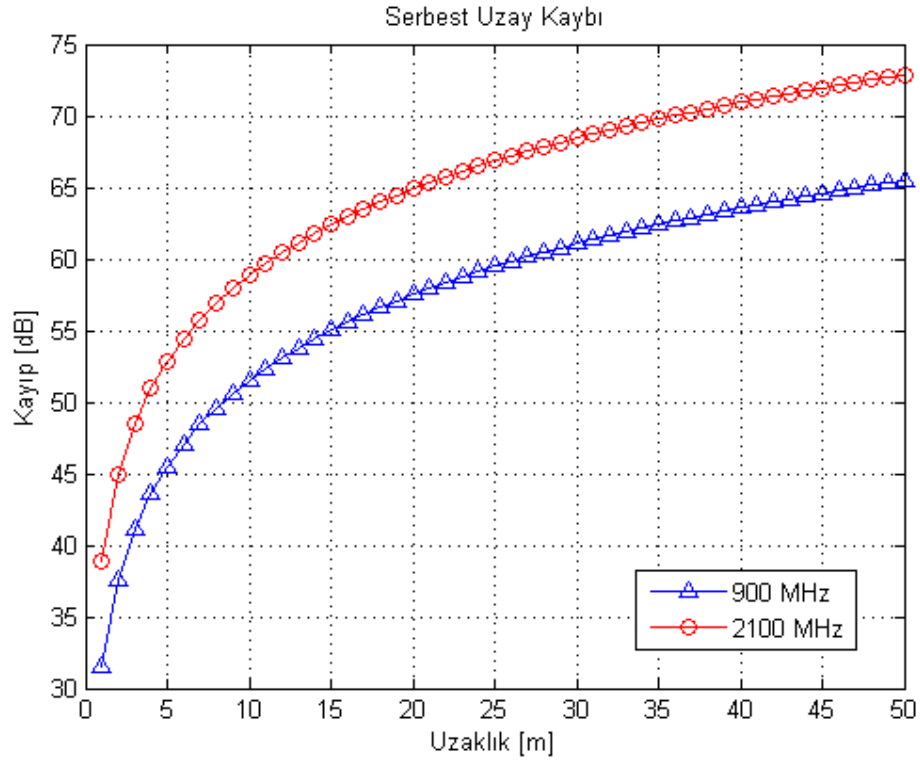
Çırpma kodları farklı kaynaklar arasındaki ayrımı sağladığından bir hücrenin aynı çırpma koduna sahip birden fazla komşusu bulunmamalıdır.

7.3 Benzetim

7.3.1 Bina İçi Yayılım Modeli

Link bütçesinde verici ve alıcı antenler arasındaki maksimum yol kaybı elde edilmektedir. Yol kaybı, antenden olan uzaklığa ve RF sinyalinin yayıldığı ortama göre değişiklik göstermektedir. Serbest uzay kaybı alıcıyla verici arasında herhangi bir fiziksel nesnenin bulunmadığı ortamda (ideal durum) elde edilen yol kaybıdır.

$$L_{FS}[dB] = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (7.51)$$



Şekil 7.4 1-50 m'deki serbest uzay kaybı

(7.51)'e göre serbest uzay kaybı, antenler arasındaki uzaklık (d) attıkça artmaktadır. Ayrıca dalga boyu $\lambda = c/f$ olduğundan iletim yapılan frekansın artması da kaybı artırmaktadır. (7.51) eşitliği d km, f MHz olacak şekilde düzenlenirse (ışık hızı, $c = 3 \times 10^8$ m/s) (7.52) elde edilir.

$$L_{FS}[dB] = 32.44 + 20\log(f_{MHz}) + 20\log(d_{km}) \quad (7.52)$$

Serbest uzay kaybına ek olarak, bulunulan ortama göre değişiklik gösteren çevresel kayıplar da dikkate alınmaktadır. Bina içinde kullanıcılar binanın yapısına bağlı olarak duvar, kat kayıpları gibi çevresel kayıplardan etkilenmektedir.

$$yol\ kaybı[dB] = serbest\ uzay\ kaybı + duvar\ kaybı + kat\ kaybı \quad (7.53)$$

Bina içi yayılım modeli olarak COST-231 çoklu-duvar modeli kullanılmıştır [30]. Çoklu-duvar modelinde RF sinyali alıcıyla verici arasında tek bir yol üzerinden (doğrudan yol) ulaşmaktadır ve serbest uzay kaybı haricinde sinyalin geçtiği duvar kaybı ile kat kaybı eklenerek toplam kayıp elde edilmektedir. Çoklu duvar modeli,

$$L[dB] = L_{FS} + L_C + \sum_{i=1}^I k_{wi}L_{wi} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1}-b\right)} L_f \quad (7.54)$$

(7.54)'te L_{FS} serbest uzay kaybını, L_C sabit kaybı, k_{wi} sinyalin geçtiği i türündeki duvar sayısını, L_{wi} i türündeki duvarın kaybını, I duvar türü sayısını, k_f sinyalin geçtiği kat sayısını, b deneysel parametreyi, L_f komşu katlar arasındaki kaybı göstermektedir. Eşitlikteki üçüncü terim farklı türdeki duvar kayıplarının toplamını göstermektedir. Modelin yapısı gereği duvar türü ince ve kalın olmak üzere iki türde olabilmektedir. Duvar türü sınıflandırması Çizelge 7.24'de belirtilmiştir.

Çizelge 7.24 Çoklu-duvar modeli duvar türleri [30]

Duvar Türü	
İnce duvar (L_{w1})	Yük tutmayan duvar. Örneğin, alçı panel, ince (< 10 cm) beton duvar.
Kalın duvar (L_{w2})	Yük tutan duvar. Örneğin, kalın (> 10 cm) beton veya tuğla duvar.

Toplam kat kaybı karakteristiği deneysel parametre ile hesaba katılmıştır. Sabit kayıp ise yaklaşık olarak sıfırdır. Çoklu-duvar modelinde kullanılan parametreler Çizelge 7.25'de belirtilmiştir. (7.54) eşitliği (7.55)'teki şekilde yazılabilir. Buna göre,

$$L[dB] = L_{FS1m} + 20\log(d) + \sum_{i=1}^I k_{wi}L_{wi} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1}-b\right)} L_f \quad (7.55)$$

Düzenlenen eşitlikte sabit kayıp sıfır alınmıştır. L_{FS1m} , 1 m'deki serbest uzay kaybını göstermektedir. (7.52)'ye göre 900 MHz frekansında 1 m'deki serbest uzay kaybı yaklaşık 32 dB iken 2100 MHz'de 1 m'deki serbest uzay kaybı yaklaşık 39 dB'dir.

Çizelge 7.25 Çoklu-duvar modeli katsayı değerleri [30]

Ortam	900 MHz			1800/2100 MHz			b
	L_{w1}	L_{w2}	L_f	L_{w1}	L_{w2}	L_f	
Yoğun, açık, geniş, koridor	1.9 dB	5.9 dB	14.8 dB	3.4 dB	6.9 dB	18.3 dB	0.46

Tasarımın yapıldığı alanda her bir kat ayrı antenlerle kapsanacağından modeldeki çoklu kat parametresi sıfır alınmıştır. Buna göre model serbest uzay kaybına ek olarak duvar kayıplarının toplamı şeklini almıştır.

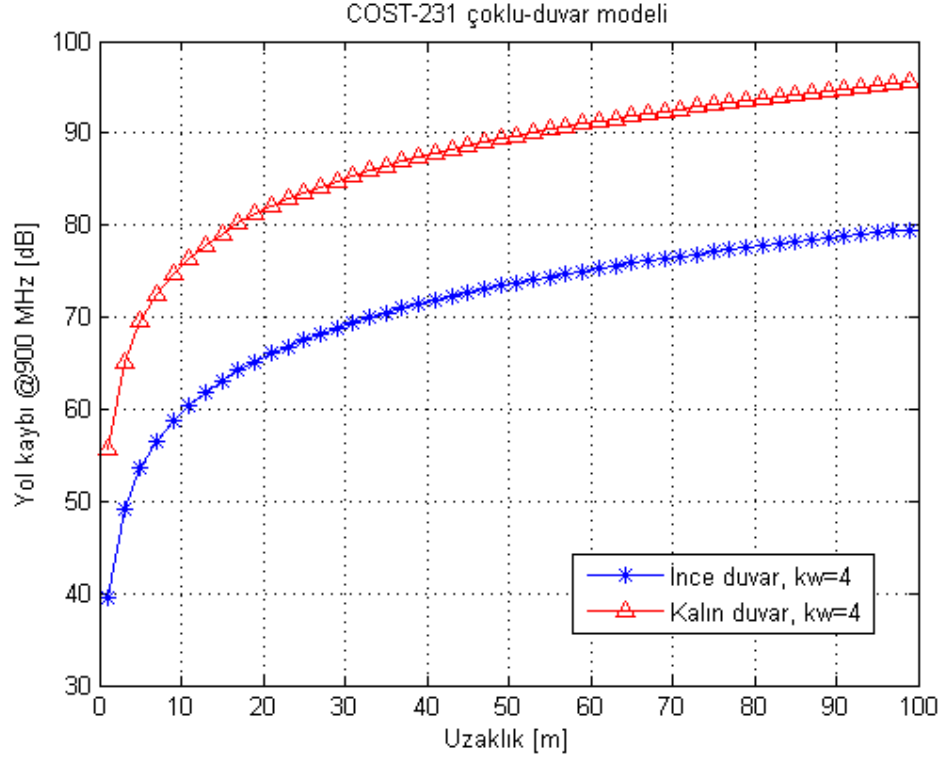
$$L[dB] = L_{FS1m} + 20\log(d) + k_{w1}L_{w1} + k_{w2}L_{w2} \quad (7.56)$$

Modeldeki kayıp parametreleri 900 ve 1800 MHz frekanslarına göre değişiklik göstermektedir. COST-231 raporunda belirtildiğine göre iki frekans arasında ince duvarda 1.5 dB, kat kaybında 3.5 dB'lik fark gözlenmektedir. Ayrıca rapordan farklı olarak kalın duvarda iki frekans arasındaki farkın 1 dB ve 1800 MHz'deki kayıp değerlerinin 2100 MHz için de geçerli olduğu (frekansların yakın olması nedeniyle) kabul edilmiştir. Ortam türü duvar yoğunluğuna bağlı olduğundan farklı ortamlardaki kayıp parametreleri aynıdır.

GSM haberleşmesinde verici ve alıcı antenler arasında 4 kalın duvarın bulunduğu duruma göre anten servis uzaklığı,

$$L_{GSM}[dB] = 32 + 20\log(d) + 23.6 \quad (7.57)$$

GSM900 link bütçesinde elde edilen maksimum yol kayıpları yukarı linkte 93 dB iken aşağı linkte 95 dB'dir. Yukarı link sınırlayıcı olduğundan kayıp değeri (7.57)'de kullanılarak anten servis uzaklığı 74 m olarak bulunmuştur.

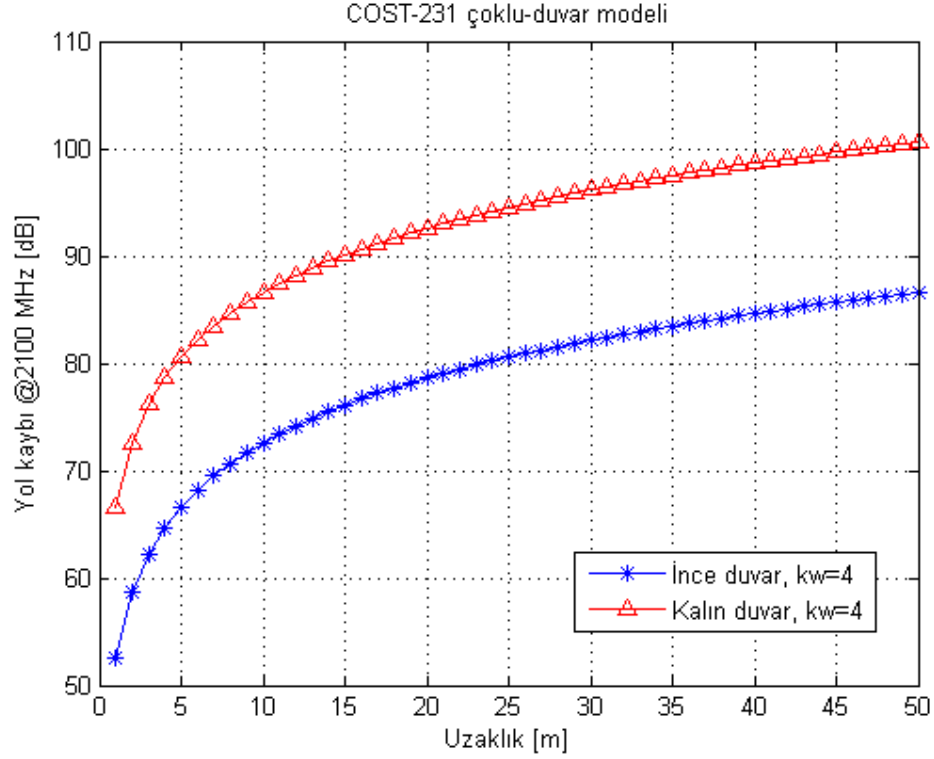


Şekil 7.5 Çoklu-duvar modeli yol kaybı, 4 ince veya kalın duvar, 900 MHz

Aynı şekilde UMTS için verici ve alıcı arasında 4 kalın duvarın bulunduğu duruma göre anten servis uzaklığı,

$$L_{UMTS}[dB] = 39 + 20\log(d) + 27.6 \quad (7.58)$$

UMTS aşağı link bütçesinde elde edilen maksimum yol kaybı 89.70 dB'dir. Buna göre anten servis uzaklığı yaklaşık olarak 15 m olarak bulunmuştur. Anten yerleşiminde sınırlayıcı sistemin servis alanı belirleyici olmaktadır. Bu nedenle katlardaki anten dağılımı UMTS sistemine göre yapılmıştır.

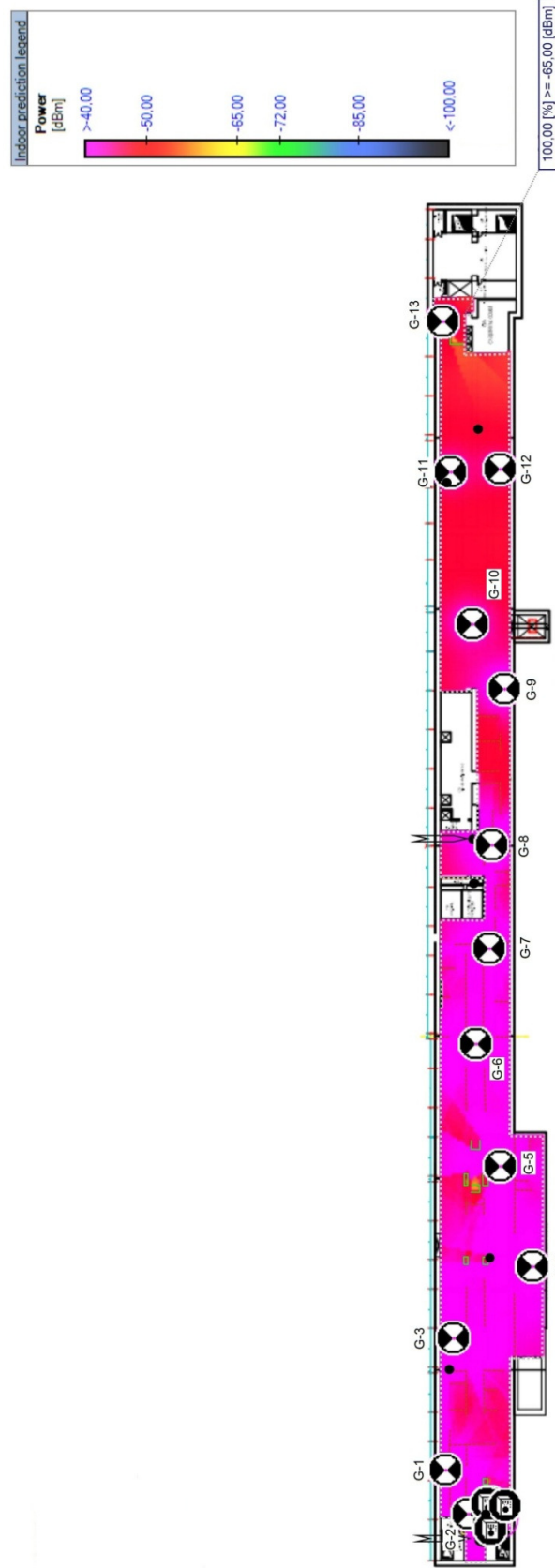


Şekil 7.6 Çoklu-duvar modeli yol kaybı, 4 ince veya kalın duvar, 2100 MHz

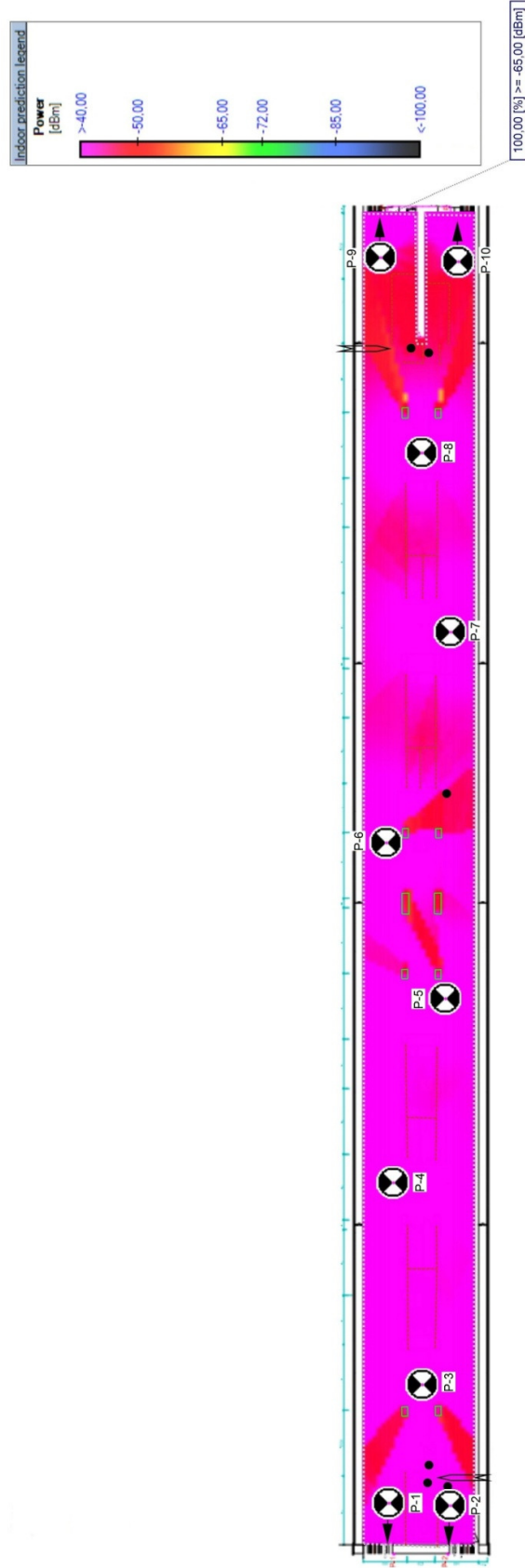
7.3.2 Benzetim Sonuçları

Bina içi benzetimde iBwave tarafından geliştirilen RF-vu (iBwave Design) programı kullanılmıştır. RF-vu ile DAS şeması oluşturulabilmekte ve kat planları üzerinde anten yerleşim noktaları tanımlanarak benzetim yapılabilir. Sahip olduğu geniş donanım veritabanı sayesinde tasarımda kullanılacak elemanlarla benzetim yapılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Programda, anten servis alanı hesaplamalarında kullanılan COST-231 çoklu-duvar yayılım modeline göre benzetim yapılmıştır.

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'deki benzetim sonuçlarına göre bina içi kapsaması -65 dBm'den yüksek sinyal seviyesinde sağlanmıştır. Ancak benzetimde gişe ve peron katlarındaki duvar yoğunluğu yüksek olmadığından sinyal seviyesi grafiğinden görülebileceği gibi gişe katının büyük bölümünde ve özellikle de peron katının tamamına yakınında -50 dBm'den daha yüksek sinyal seviyesi elde edilmiştir.



Şekil 7.7 Gişe katı benzetimi



Şekil 7.8 Peron katı benzetimi

7.4 Saha İncelemesi

Metro istasyonu konum olarak yer altında bulunmaktadır. Bu nedenle makro şebekeyle arasında iyi bir yalıtıma sahiptir. Yalıtımın iyi olması sonucunda bina içi sistem, bina dışı girişimden daha az etkileneceğinden makro hücreye kıyasla daha düşük kapsama seviyeleri kullanılabilir. Kullanılacak kapsama seviyeleri hem bina içi sinyal baskınlığı sağlayacak hem de makro hücreye sinyal sızıntısı yapmayacak değerlerde olmalıdır. Buna göre hedef kapsama seviyeleri olarak Çizelge 7.26’da belirtilen değerler kullanılmıştır.

Çizelge 7.26 Bina içi kapsama seviyeleri

	Kapsama Seviyesi
GSM BCCH	≥ -85 dBm
UMTS CPICH	≥ -90 dBm

İstasyon, gişe ve peron olmak üzere iki kattan oluşmaktadır. Katların konumu en alt kattan üste doğru peron, gişe ve giriş katı şeklindedir. Gişe katının farklı bölümlerinde açık alanlar ve bunlar arasında koridorlar bulunmaktadır. Genel olarak duvar yoğunluğu ortalama seviyededir. Peron katında bekleme alanları arasında geçiş noktaları bulunmaktadır.

7.5 Ölçüm Sonuçları

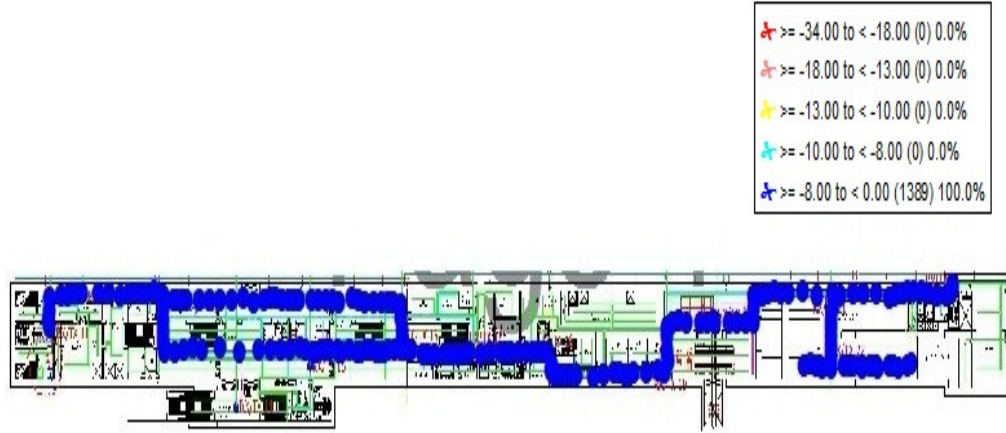
Ölçüm sistemi olarak GSM ve WCDMA mobil cihazları ile gerekli yazılımın (TEMS Investigation) bulunduğu dizüstü bilgisayar ve bağlantı kabloları kullanılmıştır. Bina içi ölçümler, belirlenen noktalar boyunca yaya hızında 2G ve 3G sistemler için mobil cihazların boş ve aktif durumlarında gerçekleştirilmiştir. Cihazlar ölçüm sırasında yaklaşık 1.5 m yükseklikte tutulmuştur. TEMS yazılımı (v11.0.2) kullanılarak, 2G ve 3G sistemlerde sinyal seviyesi ve sinyal kalitesi ölçümleri yapılabilmektedir. Programda, ölçüm yapılacak alanın kat planı tanımlanarak gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra 2G ve 3G ölçümleri alınmaktadır.



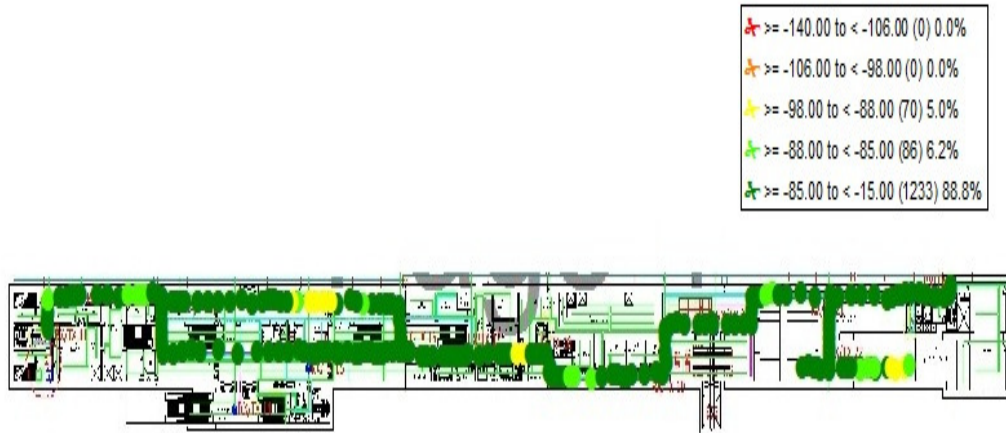
Şekil 7.9 Gişe katı 2G sinyal kalitesi (RxQual)



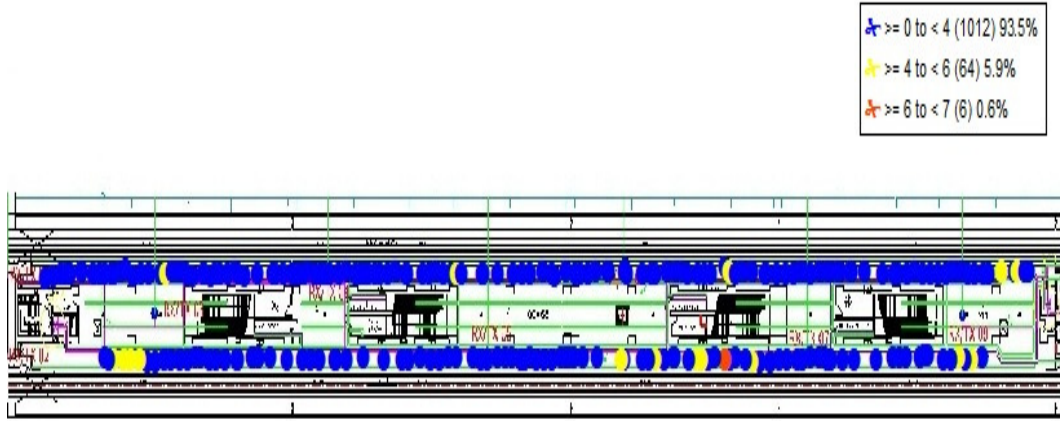
Şekil 7.10 Gişe katı 2G sinyal seviyesi (dBm)



Şekil 7.11 Gişe katı 3G sinyal kalitesi, E_c/N_0 (dB)



Şekil 7.12 Gişe katı 3G sinyal seviyesi, RSCP (dBm)



Şekil 7.13 Peron katı 2G sinyal kalitesi (RxQual)



Şekil 7.14 Peron katı 2G sinyal seviyesi (dBm)



Şekil 7.15 Peron katı 3G sinyal kalitesi, E_c/N_0 (dB)



Şekil 7.16 Peron katı 3G sinyal seviyesi, RSCP (dBm)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 2G ve 3G sistemler için bina içi metro istasyonu hücre planlaması yapılmıştır. Pasif DAS kullanılarak yapılan tasarımda üç operatör tek bir DAS yapısını birlikte kullanmaktadır. Hücre planlaması yapılan bina içi alan gişe ve peron katlarından oluşmakta ve konum olarak yer altında bulunmaktadır. İstasyonun yer altında bulunması, bina içi hücrenin komşu hücrelerden gelebilecek girişimden daha az etkilenmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu durum bina içinde iyi bir sinyal yalıtımının oluşturulmasına da yardımcı olmaktadır.

Pasif DAS yapısında, MCM'nin (çoğa gönderim matrisi) iki çıkışından alınan sinyaller gişe ve peron katlarındaki antenlere 1/2" ve 7/8" eşeksenel kablolar ile bölücü ve dengesiz bölücüler kullanılarak dağıtılmıştır. MCM'de kullanılmayan iki çıkış ise yapay yüklerle sonlandırılmıştır. Bina içi kapsamında tüm yönlü ve yönlü antenler kullanılmıştır. Sadece peron katında kullanılan 4 tane yönlü antenle tünel girişlerinde belirli bir seviyede kapsamanın sağlanması amaçlanmıştır. 2G ve 3G baz istasyonlarının MCM'ye bağlantısı karma ve çift bantlı birleştiriciler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Baz istasyonları bina içinde gişe katına konumlandırılmıştır.

Bina içi ölçüm sistemi olarak GSM ve WCDMA mobil cihazları ile gerekli yazılımın bulunduğu (TEMS Investigation) dizüstü bilgisayar ve bağlantı kabloları kullanılmıştır. Bina içi ölçümler yaya hızında, 2G ve 3G sistemler için mobil cihazların boş ve aktif durumlarında gerçekleştirilmiştir.

GSM trafik hesaplamalarındaki meşgul saat kullanıcı profiline göre bir kullanıcının oluşturduğu trafik 22 mE olarak hesaplanmıştır. Meşgul saatteki 1000 kullanıcının 70%

pazar payında oluşturduğu toplam trafik ise 15.4 E bulunmuştur. 15.4 E'lik toplam trafiği 2% bloke olma oranında karşılayabilmek için 23 trafik kanalına ihtiyaç vardır. Bir TRX'deki sekiz fiziksel kanaldan birinin kontrol kanalı olarak kullanıldığı dikkate alınırsa meşgul saatteki toplam trafik 4 TRX ile karşılanmaktadır.

Çizelge 8.1 GSM kullanıcı sayısı ve toplam trafik

TRX Sayısı	Trafik Kanalı Sayısı (1 CCH + 7 TCH / TRX)	Trafik (2% GOS)	Kullanıcı Sayısı (22 mE / 2% GOS)
1	7	2.935 E	133
2	14	8.200 E	372
3	21	14.036 E	638
4	28	20.150 E	915
5	35	26.435 E	1201

Çizelge 8.1'e göre 4 TRX'de elde edilen kullanıcı sayısı operatör pazar payı da göz önünde bulundurulduğunda meşgul saatte hedeflenen toplam kullanıcı sayısının 30%'undan fazladır. Elde edilen fazla kanal sayısı, gerektiğinde paket anahtarlama veri (GPRS ve EDGE) trafiğini karşılamaktadır. Her bir TRX, 200 kHz'lik birer radyo kanalı olduğundan meşgul saatteki kapasiteyi karşılayabilmek için 4 farklı frekans kullanılmıştır.

GSM kapsama hesaplamaları sonucunda yukarı ve aşağı link bütçelerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 8.2'deki gibidir.

Çizelge 8.2 GSM yukarı ve aşağı link bütçesi

Yukarı Link	EIRP [dBm]	33
	Alıcı duyarlılığı [dBm]	-79
	Alıcı minimum seviye [dBm]	-60
Aşağı Link	EIRP [dBm]	10
	Alıcı duyarlılığı [dBm]	-104
	Alıcı minimum seviye [dBm]	-85

Metro istasyonu kapsamı için sahada alınan 2G ölçümlerine göre gişe katında 91.3% oranında -70 dBm'den yüksek sinyal seviyesi elde edilmiştir. 8.7%'lik bir bölümde ise bu seviye -81 dBm ile -70 dBm arasındadır. Peron katında sinyal seviyesi 71.1% -70 dBm'den yüksek, 28.9% -81 dBm ile -70 dBm arasında ölçülmüştür.

Çizelge 8.3 2G sinyal seviyesi ölçüm sonuçları

	Gişe Katı	Peron Katı
$\geq -110 < -95$ [dBm]	0.0%	0.0%
$\geq -95 < -84$ [dBm]	0.0%	0.0%
$\geq -84 < -81$ [dBm]	0.0%	0.0%
$\geq -81 < -70$ [dBm]	8.7%	28.9%
$\geq -70 < 0$ [dBm]	91.3%	71.1%

Yukarı ve aşağı linkte hesaplanan alıcı duyarlılıkları ile ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, yukarı linkte alıcı duyarlılığının altına, kabul edilebilir çok düşük bir oran dışında düşülmemiştir. Bu durum, elde edilen teorik ve pratik sonuçların örtüştüğünü göstermektedir. Link bütçesinde hesaba katılan toplam 19 dB'lik log-normal ve çokyollu sönümlenme ile vücut kaybı etkilerinin ölçüm noktalarında herhangi bir çağrı düşüşü yaşanmaması nedeniyle daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 8.4 2G sinyal kalitesi ölçüm sonuçları

	Gişe Katı	Peron Katı
$\geq 0 < 4$ [RxQual]	96.1%	93.5%
$\geq 4 < 6$ [RxQual]	3.8%	5.9%
$\geq 6 < 7$ [RxQual]	0.1%	0.6%

GSM'de yukarı ve aşağı link sinyal kalitesi (RxQual) sekiz tane seviyeye bölünmüştür. RxQual-0 en iyi kaliteyi gösterirken, RxQual-7 en kötü kaliteyi göstermektedir. Sahada yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlara göre gişe katındaki 2G sinyal kalitesi 96.1% oranında RxQual-0,1,2,3 ve 3.8% oranında RxQual-4,5 seviyelerinde iken 0.1% oranında ise RxQual-6 seviyesindedir. Buna göre kat genelindeki sinyal kalitesi sadece 0.1% gibi

çok küçük bir oranda düşük seviyededir. Ölçüm sonuçlarına göre gişe katında 96.1% oranında yüksek kalite seviyesi sağlanmıştır. Peron katında ise 2G sinyal kalitesi 93.5% oranında RxQual-0,1,2,3 ve 5.9% oranında RxQual-4,5 seviyelerindedir. Kalite, 0.6% gibi düşük bir oranda RxQual-6 seviyesinde elde edilmiştir. Dolayısıyla peron katında 93.5% oranında yüksek kalite seviyesi sağlanmıştır.

UMTS (WCDMA) haberleşmesi aşağı linkte güç, yukarı linkte gürültü ile sınırlıdır. Yukarı linkte veri hızının artışı, iletim gücünün artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda kullanıcılar arasındaki girişim artmakta ve hücre kapasitesi düşmektedir. Yukarı linkteki gürültü artışı kontrol edilerek belirli bir seviyenin altında tutulmazsa kapsama sağlanamamaktadır. Toplam baz istasyonu gücünün sınırlı olması nedeniyle veri hızının artması, aşağı linkte gerekli trafik kanalı gücünü artırdığından aynı anda haberleşebilen kullanıcı sayısı düşmektedir. Dolayısıyla hücre kapasitesi, kalite hedefleri ve kullanılan servislere göre değişiklik göstermektedir.

UMTS (WCDMA) trafik hesaplamaları sonucunda bir kullanıcının ortalama trafik profili Çizelge 8.5'deki şekilde bulunmuştur.

Çizelge 8.5 UMTS kullanıcı trafik profili

Servis	Meşgul Saat İhtiyacı
Konuşma	20.9 mE
Video telefon	1.08 mE
UL PS	20 KB
DL PS	200 KB

Kutup kapasitesi teorik olarak bir hücrenin destekleyebileceği maksimum kullanıcı sayısını göstermektedir. Yukarı link kutup kapasitesi her bir kullanıcının iletim gücünün sonsuz olduğu ve alıcıdaki gürültü artışının sonsuza gittiği teorik bir yaklaşımdır. Pratik sistemde kullanıcının iletim gücü ve alıcıdaki girişim seviyesi sınırlıdır. Aşağı link kutup kapasitesi ise sonsuz baz istasyonu gücündeki kapasite olarak yorumlanabilir. Ancak pratikte aşağı link gücü sınırlıdır. Pratikteki kullanıcı sayısı kutup kapasitesinin hedef yüke göre yüzdesidir ve Çizelge 8.6 ile Çizelge 8.7'deki şekildedir.

UMTS kapasite hesaplamaları sonucunda yukarı link konuşma hizmeti için kutup kullanıcı sayısı 63.18 olarak bulunmuştur. Buna göre yukarı linkte hedeflenen 60% yük için elde edilen ses kanal sayısı 37'dir. Erlang B tablosuna göre 37 ses kanalı 2% bloke olma oranında 28.254 E trafik sunmaktadır. Bir kullanıcının konuşma trafiği 20.9 mE olduğundan sadece konuşma hizmetinin kullanıldığı durumdaki kullanıcı sayısı 1351'dir. Yukarı linkte sadece konuşma servisinin kullanıldığı durum için meşgul saatte hedeflenen kullanıcı sayısının üzerinde kullanıcıya hizmet verilebilmektedir. Ancak hücrede konuşmanın yanında etkileşimli servislerin kullanılması sonucunda ses kanal sayısında düşüş yaşanmaktadır.

Çizelge 8.6 Yukarı link kapasite değerleri

Hizmet Türü	M _{kutup}	60% yük
AMR Konuşma 12.2 kbps + SRB 3.4 kbps	63.18	37.908
CS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	13.65	8.190
PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	14.92	8.952
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	12.17	7.302
CS 64 kbps + PS 8 kbps + SRB 3.4 kbps	13.65	8.190

Çizelge 8.7 Aşağı link kapasite değerleri

Hizmet Türü	M _{kutup}	60% yük	Kod Sayısı
AMR Konuşma 12.2 kbps + SRB 3.4 kbps	171.62	102.972	128
CS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	23.73	14.238	32
PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	26.31	15.786	32
PS 128 kbps + SRB 3.4 kbps	14.90	8.940	16
PS 384 kbps + SRB 3.4 kbps	5.88	3.528	8
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 64 kbps + SRB 3.4 kbps	20.82	12.492	–
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 128 kbps + SRB 3.4 kbps	13.11	7.866	–
AMR Konuşma 12.2 kbps + PS 384 kbps + SRB 3.4 kbps	5.54	3.324	–
CS 64 kbps + PS 8 kbps + SRB 3.4 kbps	17.53	10.518	–

Aşağı linkte hücredeki kullanıcı sayısını kanal tanımlama kodları sınırlandırmaktadır. Yayma faktörü aynı zamanda o servis için kullanılabilecek maksimum kod sayısını yani aşağı linkte aktif durumdaki kullanıcı sayısını belirtmektedir. Kapasite hesaplamalarında elde edilen sonuçlara göre aşağı link konuşma hizmeti kutup kullanıcı sayısı kod sayısından daha fazladır. Ancak sistem hiçbir zaman kutup değerine ulaşmayacağı için kısıtlama yaşanmamaktadır. Diğer hizmetler için ise kutup kullanıcı değerleri maksimum kod sayısından daha düşüktür. Elde edilen sonuçlarda kapasiteye göre CS64 ve PS64 etkileşimli servislerinde yukarı link sınırlıdır. PS128 ve PS384 servisleri ise aşağı linkte sunulmaktadır. Yukarı ve aşağı link kapasitesinde komşu hücrelerden gelen girişim azaldıkça artış gözlenmektedir.

UMTS kapsama hesaplamaları sonucunda yukarı ve aşağı link için elde edilen sonuçlar Çizelge 8.8'deki şekildedir.

Çizelge 8.8 UMTS yukarı ve aşağı link bütçesi

	Yukarı Link			Aşağı Link
	AMR 12.2	CS64	PS64	CPICH
EIRP [dBm]	24	24	24	1
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-88.41	-83.56	-84.06	-109
Alıcı minimum seviye [dBm]	-71.61	-69.76	-70.26	-88.70

Aşağı link trafik kanalı güçleri ve servislere göre alıcı duyarlılıkları Çizelge 8.9'daki şekildedir.

Çizelge 8.9 DCH güçleri

	AMR 12.2	CS64	PS64	PS128	PS384
Alıcı duyarlılığı [dBm]	-117.71	-111.86	-112.36	-109.96	-105.76
DCH kanalı gücü [W]	0.62	1.92	1.73	2.82	7.06

Metro istasyonu kapsamı için sahada alınan 3G ölçümlerinde sinyal seviyesi gişe katında 88.8% oranında -85 dBm'den yüksek, 6.2% -88 dBm ile -85 dBm arasında ve 5% -98 dBm ile -88 dBm arasında ölçülmüştür. Peron katında ise 55.8% oranında -85

dBm'den yüksek, 11.6% -88 dBm ile -85 dBm arasında, 31.4% -98 dBm ile -88 dBm arasında ve 1.2% -106 dBm ile -98 dBm arasında elde edilmiştir.

Çizelge 8.10 3G sinyal seviyesi ölçüm sonuçları

	Gişe Katı	Peron Katı
$\geq -140 < -106$ [dBm]	0.0%	0.0%
$\geq -106 < -98$ [dBm]	0.0%	1.2%
$\geq -98 < -88$ [dBm]	5.0%	31.4%
$\geq -88 < -85$ [dBm]	6.2%	11.6%
$\geq -85 < -15$ [dBm]	88.8%	55.8%

Yukarı linkteki ortalama alıcı duyarlılığının -85 dBm olduğu göz önünde bulundurulursa gişe katında 11.2%, peron katında 44.2%'lik alanda alıcı duyarlılığının altına düşülmüştür. Ancak yukarı link yüküne göre değişen girişim payı, alıcı duyarlılığı değerini artıracığından belirtilen oranlarda artış yaşanmaktadır. Buna rağmen ölçüm sırasında çağrı düşüşü yaşanmaması daha düşük kalite değerlerinde (düşük bit hızında AMR kodlaması) ses servisinin sunulabildiğini göstermektedir. Bu durum bina içi hücrenin gürültüden daha az etkilenmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak peron katında etkileşimli servislerde 50%'ye yakın bölgede sinyal seviyesinin düşmesi nedeniyle performans düşüklüğü yaşanmaktadır. Peron katında zayıflama yaşanan bölgelerde tümyönlü anten kullanılarak sinyal seviyesinde alıcı hassasiyetinin altına düşüşlerin önlenmesi sonucunda etkileşimli servis performansları artırılabilir.

Çizelge 8.11 3G sinyal kalitesi ölçüm sonuçları

	Gişe Katı	Peron Katı
$\geq -34.00 < -18.00$ [dB]	0.0%	0.0%
$\geq -18.00 < -13.00$ [dB]	0.0%	0.0%
$\geq -13.00 < -10.00$ [dB]	0.0%	0.0%
$\geq -10.00 < -8.00$ [dB]	0.0%	0.3%
$\geq -8.00 < 0.00$ [dB]	100.0%	99.7%

UMTS'de sinyal kalitesi (E_c/N_0) ile ölçülmektedir. E_c yonga enerjisi, N_0 ise CPICH kanalındaki girişim yoğunluğudur. Gişe katında 100% ve peron katında 99.7% oranında -8 dB'den yüksek 3G sinyal kalitesi elde edilmiştir. Peron katındaki 0.3%'lük sinyal kalitesi -10 dB ile -8 dB arasındadır. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre bina içinde yüksek kalite ve baskın kapsama alanlarının oluşturulduğu görülmektedir. Ayrıca gişe ve peron katlarının konum olarak yer altında bulunması sinyal yalıtımının sağlanmasına da yardımcı olmuştur.

Gişe ve peron katlarında genel olarak sinyal kalitesi ve sinyal seviyesinin belirli noktalarda düşmesi bina içi çevresel koşullar ve ölçüm noktalarının antene olan uzaklığının artması ve yüksek duvar kayıpları nedeniyle sinyaldeki aşırı zayıflamadan kaynaklanmaktadır. Ayrıca teorik hesaplamalarda ortalaması kullanılan toplam pasif DAS kayıplarının baz istasyonuna uzak antenlerde daha fazla olması anten servis alanını daralttığından sinyal seviyesinde de zayıflamaya neden olmuştur.

Bina içi benzetimde iBwave tarafından geliştirilen RF-vu programı kullanılmıştır. Programda, anten servis alanı hesaplamalarında kullanılan COST-231 çoklu-duvar yayılım modeline göre benzetim yapılmıştır. Benzetim göre bina içi genelinde -65 dBm'den yüksek seviyede kapsama sağlanmıştır. Benzetimde elde edilen sonuçlarda bina içi çevresel etkilerin benzetim ortamına tam olarak yansıtılamaması ve kullanılan yayılım modelindeki duvar kayıp değerlerinin daha düşük olmasından dolayı ölçümlere göre yüksek sinyal seviyesi elde edilmiştir.

2. nesil ve 3. nesil mobil haberleşme sistemleri için metro istasyonu hücre planlamasında yapılan teorik çalışmaların benzetim sonuçları ve sahada alınan ölçüm değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Schuh, R.E. ve Sommer, M., (2002). "W-CDMA Coverage and Capacity Analysis for Active and Passive Distributed Antenna Systems", IEEE 55th Vehicular Technology Conference, 6-9 May 2002, Birmingham, USA, 434-438.
- [2] Beijner, H., (2004). "The Importance of In-Building Solutions in Third-Generation Networks", Ericsson Review, 2: 90-97.
- [3] Borkowski, J., Niemelä, J., Isotalo, T., Lähdekorpi, P. ve Lempiäinen, J., (2006). "Utilization of an Indoor DAS for Repeater Deployment in WCDMA", IEEE 63rd Vehicular Technology Conference, 7-10 May 2006, Melbourne, Australia, 1112-1116.
- [4] Isotalo, T., Niemelä, J. ve Lempiäinen, J., (2006). "Measurements for Distributed Antennas in WCDMA Indoor Network", The 9th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, 17-20 September 2006, San Diego, USA, 183-187.
- [5] Rodríguez, C.B., Cruz, J.M. ve Alonso, J.I., (2007). "Measurements and Modeling of Distributed Antenna Systems in Railway Tunnels", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56 (5): 2870-2879.
- [6] Braz, G. ve Hoefel, R.P.F., (2010). "Indoor WCDMA/HSDPA: Field and Analytical Results on Coverage and Throughput", The 7th International Symposium on Wireless Communication Systems, 19-22 September 2010, York, UK, 320-324.
- [7] ITU, World Telecommunication/ICT Indicators Database, <http://www.itu.int/ict/statistics>, 15 Nisan 2012.
- [8] Tanner, R. ve Woodard, J., (2004). WCDMA Requirements and Practical Design, John Wiley & Sons, Chichester.
- [9] ITU, (2007). Frequency Arrangements for Implementation of the Terrestrial Component of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) in the Bands 806-960 MHz, 1710-2025 MHz, 2110-2200 MHz and 2500-2690 MHz, Recommendation ITU-R M.1036-3, Geneva.
- [10] ITU, (1999). IMT-2000 Radio Interface Specifications Approved in ITU Meeting in Helsinki, Press Release, Geneva.

- [11] ITU, (2007). IMT-2000 Radio Interface Expanded with OFDMA Technology, Press Release, Geneva.
- [12] ITU, (2011). Detailed Specifications of the Terrestrial Radio Interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000), Recommendation ITU-R M.1457-10, Geneva.
- [13] ITU, (2010). ITU-R IMT-Advanced 4G Standards to Usher New Era of Mobile Broadband Communications, Press Release, Geneva.
- [14] Tolstrup, M., (2011). Indoor Radio Planning A Practical Guide for GSM, DCS, UMTS, HSPA and LTE, Second Edition, John Wiley & Sons, Chichester.
- [15] Rappaport, T.S., (2002). Wireless Communications Principles and Practice, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey.
- [16] 3GPP, (2012). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (FDD), TS 25.101, Valbonne.
- [17] 3GPP, (2012). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (TDD), TS 25.102, Valbonne.
- [18] Candan, M., (2007). "Üçüncü Nesil Mobil Telekomünikasyon Sistemleri İçin Türkiye'de Uygulanacak Frekans Bandı, Lisans, Servisler, Uygulamalar ve Ülkemizdeki Durumu", 1. Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, 21-24 Kasım 2007, İstanbul, Türkiye.
- [19] Ericsson, (2001). Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network, White Paper AE/LZT 123 6982, Stockholm.
- [20] Holma, H. ve Toskala, A., (2004). WCDMA FOR UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications, Third Edition, John Wiley & Sons, Chichester.
- [21] 3GPP, (2003). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and Systems Aspects; Network Architecture (Release 4), TS 23.002, Valbonne.
- [22] Zhang, J. ve Roche, G., (2010). Femtocells Technologies And Deployment, John Wiley & Sons, Chichester.
- [23] Radio Frequency Systems, (2007). 1/2" Cellflex Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable, LCF12-50JFN, Hannover.
- [24] Radio Frequency Systems, (2011). 7/8" Cellflex Premium Attenuation Low-Loss Foam-Dielectric Coaxial Cable, LCF78-50JFNA-A0, Hannover.
- [25] Kathrein, (2009). 790-6000 MHz Base Station Antennas, Filters, Combiners and Amplifiers for Mobile Communications, Catalogue Issue 01, Rosenheim.
- [26] Commscope, (2012). 4x4 High Power Hybrid Matrix, H-4X4-CPU-N, Hickory, NC.
- [27] Carson, S., Friberg, C., Kilegran, A. ve Norrby, J., (2006). "Reducing TCO with the New RBS 2x16", Ericsson Review, 2: 71-78.

- [28] Ericsson, (2008). RBS 6601 Product Description, Stockholm.
- [29] Ericsson, (2007). WCDMA Radio Network Design Student Book, LZT 1237628 R7A, Stockholm.
- [30] COST, (1999). Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems, Action 231 Final Report, Torino.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ferhat YUMUŞAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.02.1988 / İzmit
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ferhatyumusak@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul / Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2010
Lise	Fen Bilimleri	Merkez Bankası Derince Anadolu Lisesi	2006

YAYINLARI

Bildiri

1. Yumuşak, F., Kavas, A. ve Altınok, B., (2011). "WCDMA Haberleşmesinde Pasif Dağıtılmış Anten Sistemleri Kullanılarak Bina İçi Hücre Planlama", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, 1:92-97.