İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZ DÜZENLEMELİ UMTS HÜCRESEL AĞLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fadime DEMİRER ÜLGEN

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Programı : Telekomünikasyon Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selçuk PAKER

KASIM 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZ DÜZENLEMELİ UMTS HÜCRESEL AĞLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Fadime DEMİRER ÜLGEN
(504081315)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 Eylül 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Kasım 2011

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selçuk PAKER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet Ertuğrul Çelebi (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Feza BUZLUCA (İTÜ)

KASIM 2011

Anneme ve Eşime,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Selçuk Paker'e, hayatım boyunca yanımda hissedeceğim annem Meryem Demirer, babam Mustafa Demirer ve ablalarım Seher ve Emine'ye, hiç bir zaman sevgisini ve desteğini esirgemeyen eşim Semih Can Ülgen'e teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2011

Fadime DEMİRER ÜLGEN
Telekomünikasyon Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.2 Önceki Çalışmalar 3
2. TELSİZ HÜCRESEL AĞLAR **5**
2.1 Üçüncü Nesil Hücresel Ağlar 6
2.1.1 IMT2000 süreci 8
2.2 Telsiz Haberleşmede Çoklu Erişim Teknikleri 10
2.2.1 FDMA 10
2.2.2 TDMA 11
2.2.3 CDMA 12
3. UMTS **15**
3.1 WCDMA 16
3.1.1 Yayma işlemi 17
3.2 UMTS ağ mimarisi 18
3.2.1 UE bölümü 19
3.2.2 UTRAN bölümü 19
3.2.3 CN bölümü 19
3.3 UTRAN Kanalları 20
3.3.1 Mantıksal kanallar 21
3.3.2 İletim kanalları 21
3.3.3 Fiziksel kanallar 22
3.4 Hiyerarşik Hücre Yapısı 22
3.5 Hiyerarşik Hücre Yapısının Avantajları 24
4. ÖZ-DÜZENLEMELİ AĞLAR **27**
4.1 Anahtar Teknolojiler ve Özellikleri 27
4.1.1 Öz-konfigürasyon 28
4.1.2 Öz-optimizasyon 28
4.1.3 Otomatik hata algılayıcı ve öz-düzeltme 29
4.2 Öz-Düzenlemeli Ağ Fonksiyonları İyileştirmeleri 30
4.2.1 Ağ planlama fonksiyonu iyileştirmeleri 30
4.2.2 Ağ uygulama fonksiyonu iyileştirmeleri 31
4.2.3 Ağ optimizasyonu fonksiyonu iyileştirmeleri 32
4.2.4 Ağ operasyonu fonksiyonu iyileştirmeleri 32
5. ÖZ DÜZENLEMELİ UMTS HÜCRESEL AĞLAR **35**

5.1 UMTS Hiyerarşik Ağlarda Karşılaşılan Zorluklar 36
5.1.1 UMTS hiyerarşik hücre yapısında girişim sorunu 37
5.1.2 UMTS hiyerarşik hücre yapısında girişim yönetimi 38
5.2 UMTS Hiyerarşik Hücrelerde Öz-Düzenleme Fonksiyonu 39
5.3 UMTS Hiyerarşik Öz-Düzenlemeli Ağda Güç Optimizasyonu 40
6. SİMÜLASYON SONUÇLARI 43
6.1 OPNET (Optimized Network Engineering Tool) 43
6.1.1 Projeler ve senaryolar 44
6.2 Öz-Düzenlemeli UMTS Hücresel Ağ Simülasyon Ayarları 46
6.2.1 Profil ve uygulama tanım nesnesi 47
6.3 Simülasyon Senaryoları 48
6.3.1 Aynı frekans kullanımlı hiyerarşik hücre senaryosu 51
6.3.2 Frekans dağılımlı hiyerarşik hücre senaryosu 62
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 75
KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 81

KISALTMALAR

1G : First Generation
2G : Second Generation
2.5G : Generation Between 2G and 3G
3G : Third Generation
3GPP : 3rd Generation Partnership Project
ATM : Asynchronous Transfer Mode
BCCH : Broadcast Control Channel
BER : Bit Error Rate
BLER : Block Error Rate
BS : Base Station
BSC : Base Station Controller
BSIC : Base Station Identity Code
BSS : Base Station Subsystem
BTS : Base Transceiver Station
CAC : Call Admission Control
CAPEX : Capital Expenditure
CAZAC : Constant Amplitude Zero Auto-Correlation
CCCH : Common Control Channel
CCPCH : Common Control Physical Channel
CDMA : Code Division Multiple Access
CN : Core Network
CPCH : Common Packet Channel
CPICH : Common Pilot Channel
CTCH : Common Traffic Channel
DCCH : Dedicated Control Channel
DCH : Dedicated Channel
DL : DownLink
DPCCH : Dedicated Physical Control Channel
DPDCH : Dedicated Physical Data Channel
DSCH : Downlink Shared Channel
DTCH : Dedicated Traffic Channel
EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution
FACCH : Fast Associated Control Channel
FACH : Forward Access Channel
FCCH : Frequency-Correlation Channel
FDD : Frequency Division Duplexing
FDMA : Frequency Division Multiple Access
GGSN : Gateway GPRS Support Node
GMSC : Gateway Mobile Switching Centre
GPRS : General Packet Radio Service
GSM : Global System for Mobile communication
HBS : Home Base Station
HCS : Hierarchical Cell Structure

HNB : Home NodeB
HSDPA : High Speed Downlink Packet Access
HSPA : High Speed Packet Access
IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers
IMSI : International Mobile Subscriber Identity
IP : Internet Protocol
ITU : International Telecommunications Union
ITU-R : International Telecommunications Union – Radiocommunications
ITU-T : International Telecommunications Union – Telecommunications
LAN : Local Area Network
LTE : Long Term Evolution
MS : Mobile Station
MSC : Mobile Switching Centre
NGMN : Next Generation Mobile Networks
OPEX : Operational Expenditure
OSI : Open Systems Interconnection
PCCH : Paging Control Channel
PCCPCH : Primary Common Control Physical Channel
PCH : Paging Channel
PCPCH : Physical Common Packet Channel
PCPICH : Primary Common Pilot Channel
PDSCH : Physical Downlink Shared Channel
PHY : Physical
PN : Pseudorandom Noise
PSTN : Public Switched Telephone Network
QAM : Quadrature Amplitude Modulation
QoS : Quality of Service
RACH : Random Access Channel
RF : Radio Frequency
RLC : Radio Link Control
RNC : Radio Network Controller
SACCH : Slow Associated Control Channel
SCCPCH : Secondary Common Control Physical Channel
SDCCH : Standalone Dedicated Control Channel
SGSN : Serving GPRS Support Node
SINR : Signal to Interference plus Noise Ratio
SON : Self-Organizing Network
TCH : Traffic Channel
TDD : Time Division Duplex
UE : User Equipment
UL : UpLink
UMTS : Universal Mobile Telecommunication System
USIM : Universal Subscriber Identity Module
UTRA : UMTS Terrestrial Radio Access
UTRAN : UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP : Voice-Over IP
WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 6.1 : UMTS RNC kanal konfigürasyonu 49
Çizelge 6.2 : Makro baz istasyonu UMTS parmetreleri 50
Çizelge 6.3 : Kullanıcı cihazı UMTS parametreleri 51
Çizelge 6.4 : Güç optimizasyonu öncesi ve sonrasındaki değerler 52

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : GSM'in UMTS evrimi [9] 7
Şekil 2.2 : IMT2000 arayüzleri ve teknolojileri [10] 9
Şekil 2.3 : Hücresel frekans tahsisi [9] 9
Şekil 2.4 : FDMA şeması [3] 11
Şekil 2.5 : TDMA şeması [7] 11
Şekil 2.6 : FDMA/TDMA hibrid çoklu erişim yöntemi [7] 12
Şekil 2.7 : CDMA şeması [7] 13
Şekil 2.8 : CDMA iletişim örneği 13
Şekil 3.1 : GPRS genel mimarisi [9] 15
Şekil 3.2 : UMTS genel mimarisi [9] 16
Şekil 3.3 : WCDMA'da zaman-frekans-kod uzayında band genişliği tahsisi 16
Şekil 3.4 : Yayma işleminde kanallama ve çırpma 17
Şekil 3.5 : Downlink yayma kodu ağacı 18
Şekil 3.6 : UMTS ana mimari [13] 18
Şekil 3.7 : Avrupa UTRA operasyon bandları. (a) FDD (b) TDD 20
Şekil 3.8 : UMTS kanal yapısı 21
Şekil 3.9 : Hiyerarşik hücre yapısı 23
Şekil 3.10 : Femto ve makro hücre senaryo örneği 24
Şekil 4.1 : LTE ağlarda öz-optimizasyon diyagramı 28
Şekil 4.2 : SON dönüşüm diyagramı 31
Şekil 4.3 : SON genişleme senaryosu 32
Şekil 5.1 : Katmanlar arası girişim örneği 38
Şekil 5.2 : Aynı katmanda girişim örneği 39
Şekil 5.3 : Öz-düzenlemeli femto/pico hücre diyagramı [25] 40
Şekil 5.4 : Femto/piko hücrenin öz-optimizasyonu 41
Şekil 6.1 : Opnet iş akışı 44
Şekil 6.2 : OPNET project editör ekran örneği 45
Şekil 6.3 : OPNET project-node-process model örneği [32] 45
Şekil 6.4 : OPNET istatiksel veri çıktısı 46
Şekil 6.5 : Profil tanım özellikleri ekran çıktısı 47
Şekil 6.6 : WCDMA Hiyerarşik Hücre Topolojisi 48
Şekil 6.7 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikme karşılaştırmalı (end to end delay, mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 53
Şekil 6.8 : Makro hücrenin sırası ile uplink ve downlink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 54
Şekil 6.9 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 55
Şekil 6.10 : Node_B_1'ın (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 56
Şekil 6.11 : Node_B_2'ın (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 57

Şekil 6.12 : UE-2 (üç piko hücrenin ortasında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 58
Şekil 6.13 : UE-4 (piko hücre-0 ve 1 arasında, makro hücreye yakın) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 59
Şekil 6.14 : UE-11 (makro hücreye uzak, piko1 ve 2 arasında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 60
Şekil 6.15 : UE-12'nin (piko hücre-1 uç noktalarında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo) 61
Şekil 6.16 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikme karşılaştırmalı (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında) . 62
Şekil 6.17 : Node_B'nın (makro hücre) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında) . 63
Şekil 6.18 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında) . 64
Şekil 6.19 : Node_B_1'in (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında) . 65
Şekil 6.20 : Node_B_2'in (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında) . 66
Şekil 6.21 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikmesi karşılaştırmalı (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ) 67
Şekil 6.22 : Node_B'nın (makro hücre) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ) 68
Şekil 6.23 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ) 69
Şekil 6.24 : Node_B_1'in (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ) 70
Şekil 6.25 : Node_B_2'nin (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ) 71
Şekil 6.26 : Makro ve piko hücrelerin tamamında uçtan uca ses uygulaması gecikmesi (kırmızı: farklı frekans kullanılan ve optimize olmuş, mavi: aynı frekansı kullanan ve optimize olmuş, turkuaz: farklı frekansı kullanan ve optimize olmamış, yeşil: aynı frekansı kullanan ve optimize olmamış) 72

ÖZ DÜZENLEMELİ UMTS HÜCRESEL AĞLAR

ÖZET

Son yıllarda telsiz haberleşme ve bilgi cihazlarının hayatımızın her noktasında kullanımı yaygınlaşmış ve bu uygulamalar bir ihtiyaç halini almıştır. 2.5 ve 3. Nesil telsiz ağlarda ses, video ve yüksek hızda data hizmetleri aynı anda verilmeye başlanmış ve telsiz ağların yükü daha da ağırlaşmıştır. Operatörler tarafından karşılaşılan en yaygın problem ise "hot spot" diye adlandırılan, kullanıcılar tarafından alt yapıyı zorlayacak kadar yüksek miktarlarda trafiğin üretildiği noktalardır. Bu noktalar tipik bir operatör alt yapısının %60'ı aşkın bir kısmında görülmektedir. Son yıllarda yapılan bir başka araştırmada ses aramalarının %50' sinden, data trafiğinin ise %70'ten fazlasının iç mekanlarda yapıldığı belirtilmektedir.

Sistem kapasitesini ve kalitesini arttırmaya yönelik birçok çalışma, özellikle bina içi için, yapılmaktadır. Telsiz ağlarda trafiğin yoğun olduğu noktalarda makro hücreler içerisine mikro, piko veya femto hücreler yerleştirmek, kapasiteyi arttırmak için kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde yüksek hızlı erişim, düşük enerji gücü ile gerçekleşebilecektir. Bir diğer avantajı ise makro hücre üzerindeki yükü hafifletecek, böylece hem maliyetten tasarruf edecek, hem de makro hücrenin dış mekânlardaki kullanıcılara daha iyi hizmet verebilmesidir.

Kapasite, kapsama gibi sebeplerle telsiz ağlar genişlerken karmaşıklığı da aynı oranda artmaktadır. Femto/piko hücresel ağ yapısının avantajları bulunurken, aynı zamanda planlama, konfigürasyon ve yönetim zorlukları da bulunmaktadır. Operatörler maliyet, zaman ve işgücü kaybına yol açan bu zorluklar sebebi ile otomatik algoritma çalışmalarına (öz-düzenlemeli) yoğunluk vermektedirler. Femto/piko hücrelerde plansız dağılımdan da kaynaklı yaşanılan en büyük sorunlardan birisi de girişimdir. Femto/piko hücreler, hem kendi aralarında hem de makro hücre ile girişim sorunu yaşamaktadır. Yaşanılan girişim sorununun çözümü için güç optimizasyonu veya frekans dağılım çalışması önerilmektedir.

Bu tez çalışmasında, WCDMA hiyerarşik hücre yapısında plansız dağılım sonucunda oluşan girişim probleminin üstesinden gelmek için öz-düzenlemeli ağ yapısı önerilmektedir. Bu ağ yapısında kullanılacak olan öz-düzenleme fonksiyonu ile piko/femto hücrelerin ve bu hücrelerdeki kullanıcıların iletim gücü optimize edilecektir. Güç optimizasyonu sayesinde hücre kapsama alanlarını optimum hale gelecek ve aralarındaki girişim en aza inmiş olacaktır. Güç parametresi için çalıştırılan öz-optimizasyon fonksiyonunda anlık değerler (mobil ve sabit cihazların lokasyon bilgisi ve yol kaybı) kullanılmaktadır. Öz-düzenlemeli ağların bu özelliği sayesinde çevre koşullarına duyarlı ve değişimlere daha dayanıklı bir ağ yapısı sağlanmaktadır. Tez çalışması kapsamında WCDMA hiyerarşik hücresel ağlarda öz-düzenleme fonksiyonu benzetimi çeşitli senaryolarda yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Benzetim aracı olarak OPNET (Optimized Network Engineering Tools) kullanılmıştır.

SELF ORGANIZING UMTS CELLULAR NETWORK

SUMMARY

In recent years, wide spread use of wireless communications and information devices and applications at every point in our lives have become a necessity. With 3rd generation wireless networks, video, audio, and high-speed data services started to be given at the same time and wireless networks' load deteriorated. The most common problem faced by operators is hot spots where the huge amount of traffic generated by users. These points are seen at over 60% for the infrastructure of an typical operator. Another study in the recent years, more than 50% of the voice calls and more than 70% of data traffic is take place indoor.

Many studies on the capacity and improve the quality of the system, especially for the interior of the building is done. Wireless networks in high-traffic locations within cells, macro, micro, pico or femtocells to place, is one of the methods used to increase capacity.

When the wireless network expands because of capacity or coverage, the complexity of network is also increase at the same time. In this method, high-speed access, be realized with low-energy power. Another advantage is relieving of the burden on the macro-cell, so that the cost savings to both the exterior and the macro-cell can provide better service to users. Due to the difficulties that lead the cost, time and labor consuming, operators give the automatic algorithm (self-organizing) intensity. The biggest problem in the femto/picocells caused by unplanned deployment is interference. femto/picocells have interference problems both among themselves and between macro cell. Frequency distribution or power optimization can be use for the solution of interference problem.

In this thesis, self-organizing network structure is recommended for WCDMA hierarchical cell structure, for overcome the interference problem, which can be caused unplanned deployment. Self-organized functions, which will be used in the structure of this network, optimize the femto/picocell transmission and femto/picocell users transmission power. Power optimization strategy to optimize the coverage area of the cells and brought to minimize interference between them self. In the self-optimization function for the power parameter, instantaneous values for the parameter (mobile and fixed devices, location information and path loss) are used. With this feature of self-organizing networks, sensitive to environmental conditions and more resistant to changes in the structure of a network is provided. In this study, hierarchical cellular WCDMA networks with self-organizing function are simulated in several scenarios and evaluated the results of simulation. OPNET (Optimized Network Engineering Tools) is used as a simulation tool.

1. GİRİŞ

Kişisel ve iş hayatlarımızda doğrudan veya dolaylı olarak önemli sayıda bilgisayar ve bilgi cihazı kullanmaktayız. Bu bilgi cihazlarının birbirleri ile bağlantılı olması sayesinde bilgi paylaşımı ve akışı sağlanmakta, böylece iletişim ve bilgi ihtiyaçlarımız karşılanmaktadır. Günlük hayatımızı destekleyecek bilgi cihazı sayısı ve yetenekleri gün geçtikçe çoğalmaktadır. Özellikle 2. nesil telsiz ağların (GSM) hayatlarımıza girmesi ile iletişim mobil hale gelmiş neredeyse günün her anında aktif olarak kullandığımız bir ihtiyaç olmuştur. Telsiz hücresel ağlara olan yoğun ilgi ve her geçen gün artan talepler, hücresel ağların hızla gelişmesine sebebiyet vermiştir. Gelişen telsiz teknolojisi ile ses hizmetinin yanı sıra video ve data hizmetlerinin de verilmesi ile kullanılan cihazların sayısı, özellikleri ve kullanım miktarı da artmıştır. Ağ planlaması da artan kapasite ihtiyacını karşılamak amacıyla değişim göstermektedir. Ağ planlamalarında da yeni yöntemler geliştirilmektedir. Örneğin 2. ve 3. nesil hücresel ağlarda kapasiteyi artırmak ve trafik yoğunluğu olan noktalarda (hot-spot) hücreyi rahatlatmak için hiyerarşik hücre planlaması yöntemi kullanılmaktadır. Hiyerarşik hücre planlamasında ihtiyaç duyulan yoğun noktalara mikro, piko ya da femto hücreler kurularak daha az maliyetle kapsama ve kapasite ihtiyacı giderilmektedir.

3G telsiz ağının hiyerarşik hücre yapısı kullanarak hızlı büyümesi ile beraber ağın dağılım, bakım ve işletim işlemleri gitgide daha karmaşık, vakit gerektiren ve maliyetli bir hal almaktadır. Operatörler gitgide karmaşık ve plansız büyüyen bu ağları yönetmek için otomatik algoritmalara ihtiyaç duymaya başlamıştır. İhtiyaç duyulan otomatik, adaptif algoritmalar öz-düzenleme fonksiyonları altında geliştirilmeye başlanmış ve öz-düzenlemeli ağlar oluşturulmaya başlanmıştır.

Oluşturulan öz-düzenlemeli ağların adaptif ve anlık değerlerine bakan fonksiyonları sayesinde daha esnek, daha güvenilir, daha az maliyetli ve hatalara daha dayanıklı ağ yapıları ortaya çıkmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında 3G UMTS hücresel ağ yapısında yukarıda bahsedilen ihtiyaçlar doğrultusunda hiyerarşik hücre yapısı modeli üzerinde çalışılmıştır. UMTS hiyerarşik hücre yapısında karşılaşılan plansız dağılım, girişim sorunları baş edebilmek ve oluşan oto-konfigürasyon gibi ihtiyaçları karşılamak için öz-düzenlemeli ağ fonksiyonları önerilmiştir.

Öz-düzenlemeli ağlar biyolojik organizmalardan ilham alınarak tasarlanmıştır. Tıpkı bir canlı gibi ağdaki elemanların da kendi kendine organize olabilen ve kendini kontrol edebilen bir yapıda olması öz-düzenlemeli ağların temelini oluşturmaktadır. Kendi kendini kontrol edebilen ve organize olabilen ağlara öz-düzenlemeli ağlar (self-organizing networks, SON) adı verilmiştir. Öz-düzenlemeli ağın, birden fazla ağ elemanının birbirleri ile direkt bağlı olmadığı fakat organize olabildikleri çoklu ağ elemanları yapısında oldukları kabul edilir [1]. SON sistemlerle geleneksel yöntemlere göre daha ölçeklenebilir, çeşitli trafik modellerine, dinamik değişimlere adapte olabilen, daha güvenilir bir ağ oluşturması hedeflenmiştir [2]. Öz-düzenlemeli ağların ağ sağlayıcılar tarafından önemsenen en önemli özelliği ise radyo erişim ağının ana giderlerini (CAPEX) ve operasyonel harcamalarını (OPEX) düşürmesidir.

WCDMA femto/piko hücrelerin beraber çalıştığı hiyerarşik hücre yapısında girişim ile baş etmek, hücrelerin kapsama ve kapasitelerini optimize etmek için adaptif algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç doğrultusunda bu tez çalışmasında femto/piko hücre istasyonlarının ve kullanıcılarının güç optimizasyonu için öz-düzenlemeli bir algoritma önerilmiştir.

Tez çalışmasında, birinci bölümünde WCDMA hiyerarşik hücre yapısında önerilen diğer öz-düzenlemeli algoritma çalışmalarına yer verilmiştir. İkinci bölümde telsiz hücresel ağlar, 3G teknolojisi, üçüncü bölümde UMTS/WCDMA teknolojisi, ağ elemanları, hiyerarşik hücre yapısı ve avantajları incelenmiştir. Dördüncü bölümde öz-düzenlemeli ağlar teorisi ve özellikleri hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde tez çalışmasında önerilen öz-düzenlemeli hücresel ağ özellikleri ve güç optimizasyonu incelenmiş, altıncı bölümde öz-düzenlemeli hücresel ağ simülasyonu ve sonuçları incelenmiştir.

1.2 Önceki Çalışmalar

Jo, Yook, Mun, ve Moon, 2008'de Femto hücre uygulamasında karşılaşılan girişimi öz-düzenlemeli uplink güç optimizasyonu ile en aza indirmeye çalışmışlardır. Çalışmayı WCDMA sistemler üzerinde geliştirmişlerdir. Açık-döngü (open-loop) ve kapalı-döngü (closed-loop) olmak üzere iki ayrı öz-düzenlemeli fonksiyon çalıştırmışlar ve kapalı döngünün daha yüksek throughput değerleri verdiğini görmüşlerdir [3].

2008 yılında Claussen, Ho ve Samuel, femto hücre dağıtım ve kapsama öz-optimizasyonu başlığında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada WCDMA femto hücre kapsama alanını optimize etmek amacı ile bir çok oto-konfigürasyon ve öz-optimizasyon metodu incelenmiştir. Öz-optimizasyon fonksiyonları sonucunda pilot güç optimize edilmekte ve buna göre hücre kapsama alanı çizilmektedir. Metotlar incelenirken başarım kriteri olarak hücre yapısındaki el değiştirme (handover) sayısı göz önünde tutulmuştur [4].

Yavuz, Meshkati ve Nanda, 2009 yılında UMTS/HSPA femto hücrelerde girişim yönetimi ve performans analizi adlı bir çalışma yayınlamışlardır. Bu çalışmada femto hücrelerde taşıyışı frekans seçimi ve downlink/uplink Tx güç optimizasyonu girişim yönetimi için önerilmiştir. Downlink tarafında, taşıyıcı seçimi ve Tx güç optimizasyonunun başarılı olduğunu ve girişim kabul edilebilir düzeylere çekilebildiğini göstermişlerdir. Uplink tarafında da adaptif UL zayıflaması kayda değer iyileştirmeler gerçekleştirmiştir [5].

2011 yılında Nagaraja, Yavuz ve arkadaşları UMTS/HSPA femto hücrelerde iletim yönünde öz-düzenlemeli güç optimizasyonu başlığında bir çalışma yayınlamışlardır. Çalışmada optimum kapsama ve girişim ile mücadele için downlink iletim güç kalibrasyonunun kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. İki adet güç kalibrasyon fonksiyonunun performansları incelenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır [6].

2. TELSİZ HÜCRESEL AĞLAR

Fiziksel bir alan içerisindeki veya uzak mesafelerdeki bilgisayarların iletişim hatları aracılığıyla birbirine bağlandığı, dolayısıyla bilgi ve sistem kaynaklarının farklı kullanıcılar tarafından paylaşıldığı, bir yerden başka bir yere veri aktarımının mümkün olduğu iletişim sistemine ağ (network) adı verilmektedir. En az iki bilgisayarı birbirine bağlayarak bir ağ oluşturulur. Ağ üzerindeki bilgisayarlar birebirlerinden coğrafi olarak çok uzaklarda olsalar bile, aynı protokol sayesinde, karşılıklı olarak uygulamaya yönelik işlemleri yürütme yeteneğine sahiptirler. 1980'li yıllarda, ethernet teknolojisinin gelişmesiyle bilgisayar ağları ortaya çıkmıştır. En bilinen ve en büyük bilgisayar ağı internettir.

İlk bilgisayar ağı, İleri Araştırma Projeleri Ajansı'nın Amerikan Savunma Bakanlığı için geliştirdiği İleri Araştırma Projeleri Ajansı Bilgisayar Ağı yani ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network)'tir.

Bilgisayarlar arasındaki veri haberleşmesi sürecinde, yapılması gereken işleri katmanlar düzeyinde (7 katmanlı) tanımlanmış bir OSI (Open systems interconnections) modeline göre yapar. Bu modelde her katmanda yapılacak işler, protokollerle belirlenmiştir.

Telsiz hücresel ağlar, kapsama alanını küçük hücrelere bölme mantığı ile kurulmuş ağ topolojileridir. Küçük hücrelere bölünmesi ile aynı frekansın birden fazla kez girişim oluşmadan kullanılmasını sağlamıştır. Bu yöntemle sistem kapasitesi artmıştır.

Birinci nesil telsiz hücresel ağlar 1980'li yıllarda ortaya çıkmıştır. Birinci nesil telsiz haberleşmenin başlangıcı değildir, daha öncelerde birden fazla hücresel olmayan telsiz radyo ağı bulunmaktaydı. Birinci nesil ağlar ses hizmetinin verilmesinde (analog telsiz sistemlerle) kısıtlı bir çözüm sunmakta idi. 1G'de analog iletim teknikleri kullanılmıştır. Baskın standartlar bulunmamakla birlikte NMT (Nordic

Mobile Telephone), TACS (TotalAccess Communications System) ve AMPS (Advanced Mobile Phone Service) başarılı olan standartlardan birkaçıdır. 1G sistemlerin güvenlik, kapsama ve kalite gibi önemli sorunlar bulunmaktaydı.

İkinci nesil (2G) hücresel sistemler 1980'li yıllarından sonlarından bu yana ticari olarak uygulamaya konulmuştur. O zamanlardan bu yana sistemlerin boyutu, kalitesi ve güvenirliği önemli ölçüde değişmiştir. İkinci nesil hücresel ağlarda dijital radyo iletim teknikleri kullanılmaktadır. Birinci ve ikinci nesil hücresel ağların geçiş sınırı analog-dijital olarak keskin bir biçimde ayrılmaktadır. 2G'de sistem kapasitesi 1G'ye göre fazlaca artmıştır. Bir frekans kanalı eş zamanlı olarak birden fazla kullanıcıya zamanda veya kod bölmeleme teknikleri kullanılarak paylaştırılabilmektedir. Dört adet baskın standart bulunmaktadır; GSM (Global System for Mobile), dijital AMPS (D-AMPS), CDMA (code division multiple access) IS-95 ve PDC (personal digital cellular). GSM en çok kullanılan ve ne başarılı olan standarttır.

İkinci ve üçüncü nesil arasında geçiş süreci 2.5G hücresel ağlarla sağlanmıştır. 2.5G neredeyse 3G'de yapılması planlanan bütün özellikleri sağlamaktadır. GSM sistemlerinin yanında HSCSD (high-speed circuit-switched data), GPRS (General Packet Radio Services) veya EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) teknolojilerinden en az birisini kullanmak durumundadır. En büyük problemi düşük oranlardaki data hızıdır [7].

Yakınsama terim olarak telekomünikasyon ve data iletim sektörlerinin literatürüne 3G ile katılmıştır. Telekom sektörünün perspektifine göre ses hizmetinin veriliği ağın (PSTN) gelişmesi ile diğer hizmetlerinde verilebilmesini hedeflenmiş. Data iletim sektöründe de data hizmetinin verildiği ağ üzerinden ses hizmetinin de verilebilmesi hedeflenmiştir.

2.1 Üçüncü Nesil Hücresel Ağlar

2G'de GSM (Global System for Mobile communication) en başarılı mobil ağ şebekesi olmuştur. 2.5G'de de yaşanan düşük hız oranı problemine çözüm olarak geliştirilmiştir. Bu nesilde lokasyondan bağımsız olarak her hizmete erişim desteklemiş ve bu esnekliği önermiştir. Erişilebilecek hizmetler ses, video ve data kombinasyonlarıdır.

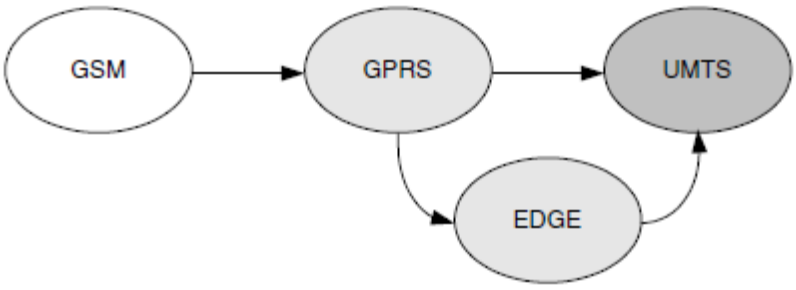
Uluslararası Telekomünikasyon Birliği-2000 (International Mobile Telecommunications-2000, IMT-2000) ya da daha bilinen adıyla 3G 3N ya da 3. Nesil, Uluslararası Telekomünikasyon Birliği tarafından tanımlanan; GSMEDGE, UMTS, CDMA2000, DECT ve WiMAX teknolojilerini kapsayan bir standartlar ailesidir. 3G'de görüntülü aramalar, kablosuz veri aktarımı ve konuşma ile eş zamanlı veri alışverişi yapılabilmektedir [8].

GSM devre anahtarlamalı yapısı ile en fazla 14.4 kbps hızlarında veri aktarımı yapabilmekte idi. 3G'de kullanılan yeni paket anahtarlamalı yapı sayesinde daha iyi spektral verimlilikte ve yüksek hızlarda veri aktarımı sağlanabilmektedir. 3G ile 2G arasındaki sınır, paket anahtarlama sayesinde 3G sistemlerin veri aktarımına hız kazandırılmış ve veri odaklı bir iletim yaratılmış olmasıdır.

İlk ticari örnekleri Japonya'da üretilmiştir. 2001 yılında görülen bu teknoloji, 2002'de Amerika'da, 2003'ten itibaren Avrupa'da 3G kullanılmaya başlanmıştır. 3G hizmetleri Türkiye'de 2009 yılında kullanıma girmiştir.

3G standartları ETSI (European Telecommunications Standards Institute)ve Japon standardizasyon kurumu tarafından, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) olarak önerilmiştir. UMTS, International Telecommunication Union-Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) tarafından IMT2000 (International Mobile Telephony) çatısı altında onaylanmış standartlardan biridir.

UMTS standardı 2G GSM standardında bir geçiş olarak belirtilen GPRS (Genel Radyo Paket Servisi) ve EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution)'in aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi gelişmiş bir birleşimidir.



Şekil 2.1 : GSM'in UMTS evrimi [9]

3G'nin en önemli özelliği ağ alt yapısını daha geniş servis çeşitliliği sağlayacak şekilde değiştirmesidir. 3G'nin geçişinin 2G'nin devrimi değil evrimi olması üreticiler, operatörler ve tüketiciler için olması gereken yumuşak bir geçiştir. Var olan 2G ağ alt yapısı UMTS ile uyumlu çalışmaktadır. Tam olarak 3G'ye geçmeden önce operatörler GPRS teknolojisini kullanarak UMTS' e hazırlık yapmışlardır. Sonuç olarak GSM ve UMTS arasındaki yapılabilen handover ile tüm dünyayı kapsayacak bir ağ dizayn edilmektedir.

2.1.1 IMT2000 süreci

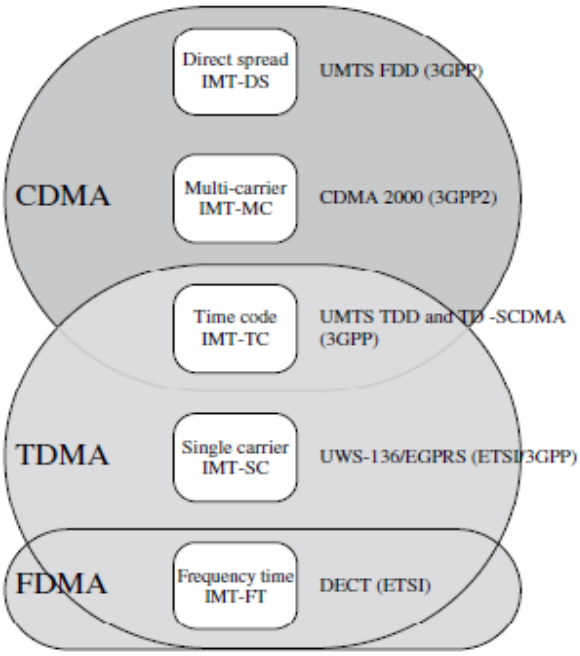
IMT2000 tarafından yeni nesil telsiz ağlar için geliştirilmiş, bütün teknik özellikleri ve frekans planlamasını içeren global bir süreçtir. 1995'te FPLMT (Future Plans for Land Mobile Telecommunications System) liderliğinde başlanılan IMT2000 standardizasyonu kullanıcıların servislere erişimini sağlayan standardizasyonlardır. Amaç yeni nesil ağ geliştirilmesinde gerekli her yerde birden bulunan genişband gerçek zamanlı olan ve olmayan servislerin kriterlerini belirleyip yerine getirmektir. Anahtar kriterler aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Bina içi ve bina dışı operasyonla çevre koşullarında yüksek iletim oranları
- Simetrik ve asimetrik veri iletmesi
- Devre anahtarlama ve paket anahtarlamalı servislerin sağlanması
- Spektral ve kapasite verimliliğinin artırılması
- Ses kalitesinin sabit hatlı ağlarla kıyaslanması
- Global dolaşımın farklı operasyonel çevrelerde sağlanması
- Son kullanıcıya çoklu ve eş zamanlı servis sağlanması

IMT2000 süreci tek bir çatı altında birçok teknolojileri entegre etmek için tasarlanmıştır. ITU-T aşağıdaki şekilde görüldüğü üzere 5 adet farklı radyo erişim teknolojisine ruhsat vermiştir [10].

Birçok ülke lisans dağılımlarını 3G servisi için tamamlamış bulunmaktadırlar. UMTS için temel taşıyıcı frekansı 5 Mhz ve UMTS FDD için 60 Mhz band genişliği uplink ve downlink için 12 taşıyıcı frekansa dağıtılmıştır. Bir operatörün 3 adet

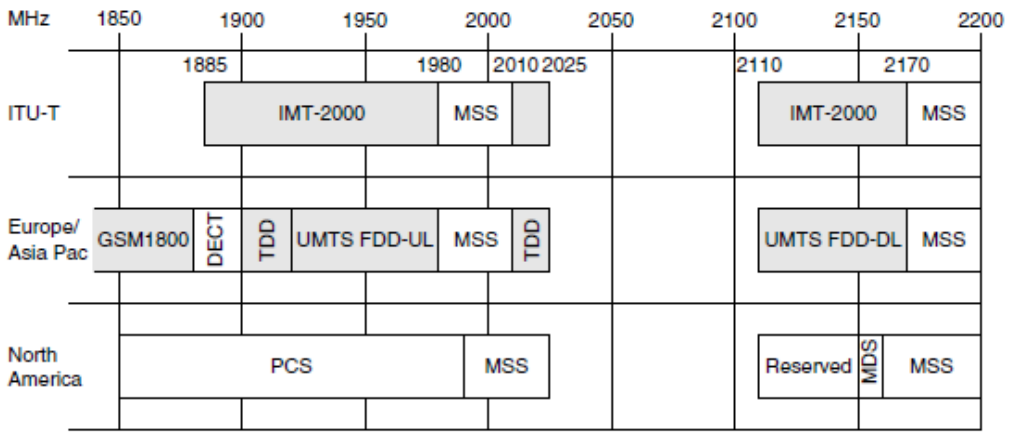
taşıyıcı frekans tahsis edilmesi tavsiye edilir. ITU-T hücre hiyerarşisi prensiplerine göre makro, mikro ve piko olmak üzere üç adet hücre tipi sağlanabilir.



Şekil 2.2 : IMT2000 arayüzleri ve teknolojileri [10]

Makro hücre tipleri geniş bina dışı geniş alanlar için, mikro hücreler daha küçük bina dışı alanlar, piko hücreler bina içi alanları kapsama sağlayacak olan hücrelerdir.

Her hücre tipi için farklı taşıyıcı frekansı tahsis edilebilmektedir. Fakat frekans dağılımları ülkenin kendi otoritesine bağımlıdır. Hücresel frekans kullanımlarını gösteren şekil aşağıda sunulmuştur;



Şekil 2.3 : Hücresel frekans tahsisi [9]

2.2 Telsiz Haberleşmede Çoklu Erişim Teknikleri

Çok sayıda kullanıcısı olan her iletişim sisteminde kullanıcılar bir kaynağı paylaşmak zorundadırlar. Çoklu erişim sistemleri sabit kaynağın paylaştırılmasında görevli olan mekanizmadır. Sistemdeki kullanıcılara ortak iletim kanalını kullanıcılara paylaştırarak, iletim olanaklarının verimli kullanılmasını sağlar.

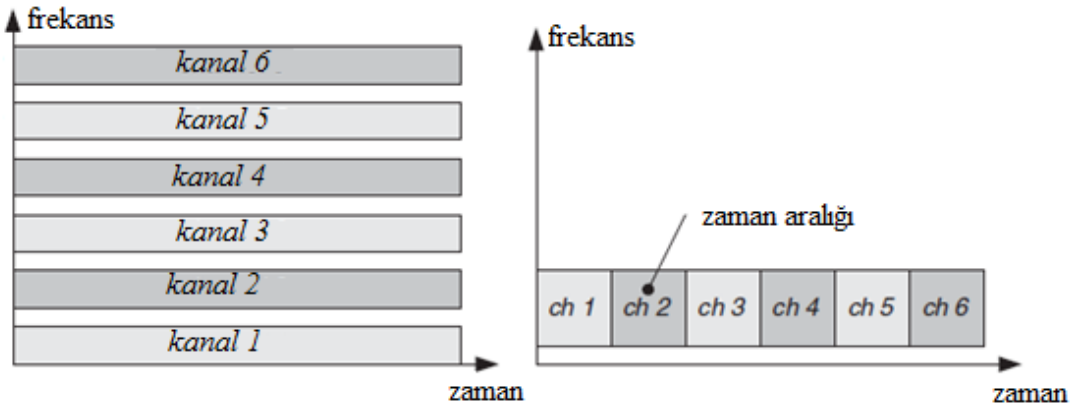
İletim ortamında veri aktarımı dubleks (çift yönlü) yada simpleks (tek yönlü) olarak iki şekilde yapılmaktadır. Dubleks iletimde aynı anda hem gönderim hem de data alımı gerçekleşmektedir. Hücresel ağlarda çift yönlü iletişim sağlanmaktadır, yani aynı anda hem konuşmak hem de dinlemek mümkündür. Telsiz ağlarda çift yönlü haberleşme frekans veya zamanda bölme yöntemleri ile yapılabilmektedir. FDD (Frequency Division Duplex) yönteminde her kullanıcı için iki ayrı frekans tahsis edilir. TDD (Time Division Duplex) yönetimde tek kanalda zamanda bölme yapılarak iletim ve gönderim sağlanır. Çoklu erişim tekniklerinin yanında çift yönde iletişimi sağlamak amacıyla FDD veya TDD yöntemlerinden birisi de kullanılmaktadır. Çoğunlukla FDD yöntemi tercih edilmektedir [11].

Hücresel ağlarda her nesilde kullanılan erişim metodu değişmektedir. 1G'de FDMA (frequency division multiple access), 2G'de TDMA (time division multiple access), ve 3G'lerin çoğunluğunda da CDMA (code division multiple access) kullanılmaktadır.

2.2.1 FDMA

Sınırlı sayıda yada miktarda olan kaynağın paylaştırma metotlarından biri de FDMA yani frekans bölmeli çoklu erişimdir. İsminden de anlaşılabileceği kaynak olarak frekans seçilmiş ve her kullanıcıya iletişiminde kullanabilmesi için bir frekans aralığı tahsis edilmiştir. Tahsis edilen frekans aralıklarında güvenlik amaçlı tampon bölgeleri bulunmaktadır. Bu tampon bölgeler sayesinde girişim en aza indirilmektedir.

Şekil 3.4'de de görüldüğü üzere her kullanıcıya bir frekans kanalı tahsis edilmektedir. Frekanslar arasında güvenlik tampon bölgeleri görülmektedir. FDMA tekniğinde bir kanalı bir kullanıcı kullanır, eğer kullanıcı kanalı kullanmıyorsa kanal boş olarak bekler ve bu da kaynak kaybına yol açmaktadır.

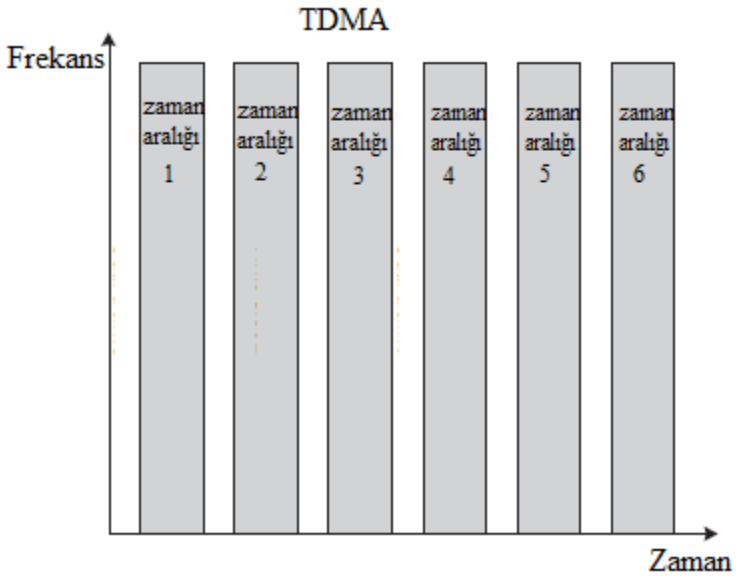


Şekil 2.4 : FDMA şeması [3]

FDMA kanallarının band genişlikleri dardır, bu sebeple FDMA dar band sistemlerde kullanılabilmektedir[11].

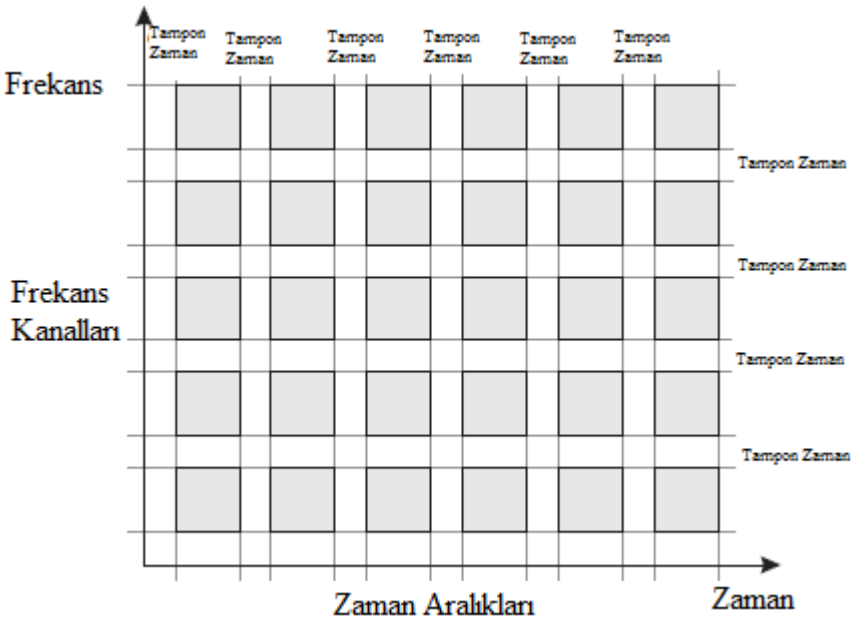
2.2.2 TDMA

TDMA yani zaman bölmeli çoklu erişim yöntemi radyo spektrumunu zaman dilimlerine bölerek kullanıcılara tahsis etmektedir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere güvenlik tampon bölgesi kullanılarak girişimi en aza indirilmektedir. TDMA'de herhangi bir kullanıcının iletimi FDMA'de olduğu gibi sürekli değildir kaynak kaybı daha azdır. Şekil 3.5'de görüldüğü gibi frekanslar zamanda bölünerek dağıtılmaktadır [9].



Şekil 2.5 : TDMA şeması [7]

FDMA ve TDMA erişim yöntemlerinin aynı anda kullanıldığı hibrid çoklu erişim metodu da bulunmaktadır. Böylece daha fazla sayıda kullanıcının aynı anda iletişim halinde olması sağlanmaktadır. Örnek olarak GSM hem FDMA hem de TDMA beraber kullanmaktadır. Aşağıdaki şekilde de TDMA ve FDMA aynı anda kullanıldığında oluşan hibrid yönetim şeması görülmektedir.

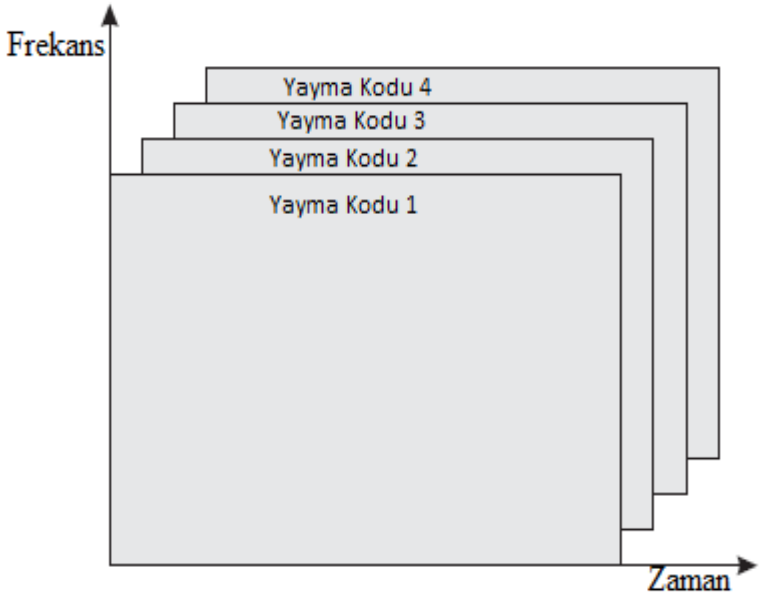


Şekil 2.6 : FDMA/TDMA hibrid çoklu erişim yöntemi [7]

2.2.3 CDMA

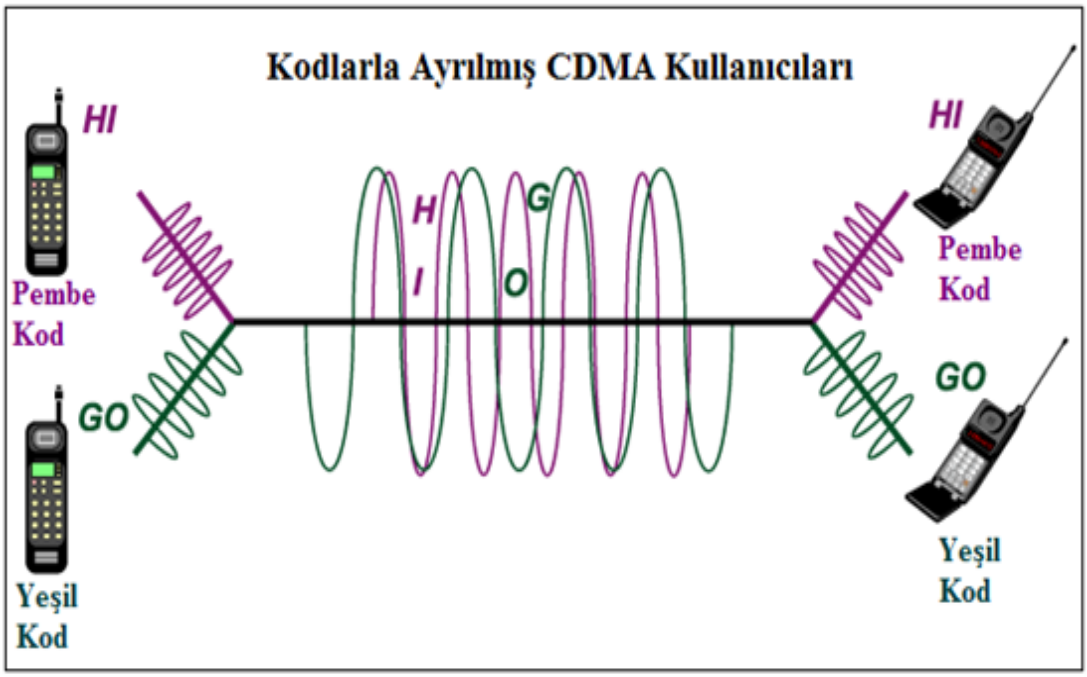
CDMA yani kod bölmeli çoklu erişim yönteminde aynı zamanda ve aynı frekansda birden fazla kullanıcı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi iletim yapabilmektedir [7]. CDMA bir SS (Spread Spectrum) tekniğidir. CDMA'de yayma kodu ile dar band mesaj çarpılır. Bu teknikte kaynak kodları yani yayma kodları paylaştırılır ve her kullanıcının kendine ait tekil bir kodu bulunur. Yayma kodunda, PN, bulunan bitlere çip adı verilmektedir. Her PN kodu diğer kodlarla ortagonaldir, böylece girişim de en aza indirgenmiş olunur.

Göndericide iletilecek veri yayma kodu ile çarpılarak spektruma yayılır. Spektruma yayılan veri telsiz ağda gürültüden daha az etkilenerek alıcıya ulaşır. Alıcıda kullanılan yayma kodunu bilmektedir ve aldığı veriyi tekrar yayma kodu ile çarparak gönderilen orijinal veriye ulaşır.



Şekil 2.7 : CDMA şeması [7]

CDMA tekniğinde kullanılan geniş banda yayma (SS, Spread spectrum) metodunun bazı avantajları bulunmaktadır. Çok yollu zayıflamaya karşı yayılmış sinyaller daha dayanıklıdır. Yayılmış sinyal düşük güç seviyesi ile gürültüye benzer bir şekilde iletildiği için sinyalin fark edilmesi zordur, bu da sinyalin dinlemesi gibi olasılıkları düşürür.



Şekil 2.8 : CDMA iletişim örneği

Bir çok askeri uygulamada kullanılmaktadır. Güvenlik açısından ancak doğru kod ile çözülebildiğinden ve yayma kodlarının uzun ve çözülmesi zor olması sinyalin yakalanması durumda da ekstra bir güvenlik sağlamaktadır [11].

CDMA protokolleri: SS iletişim yönetimlerinden birisidir. Kodlar yayılmış spektrumun performansını belirlerler. İki tane en çok kullanılan CDMA türü bulunmaktadır. Bunlar FH (Frequency Hopping) ve DS (Direct Sequence)'dir.

FH-CDMA'de modüle edilmiş bilgi işaretinin taşıyıcı frekansı sabit değildir, taşıyıcı frekansı kod işaretine göre periyodik olarak değişmektedir. T zaman aralığı süresinde taşıyıcı frekans sabit kalırken, diğer T zaman aralığında taşıyıcı frekans atlama yapmaktadır. Bu atlama modelini kod işareti belirler.

DS-CDMA'de veri işareti analog yada sayısal olmasına bakılmadan doğrudan sayısal kod işareti ile modüle edilir. Veri genellikle sayısaldır ve sayısal olduğunda direk olarak kodla çarpılır. DS, doğrudan yayma ismini bu doğrudan çarma işleminden almaktadır [7].

DS-CDMA yönetiminin en büyük avantajı girişime ve gürültüye (çok yollu yayılım gürültüsüne, dar band gürültüsüne) karşı dirençli olmasıdır. Diğer avantajları da, farklı taşıyıcı frekansı kullanmadığından frekans birleştiricisinin basit olması, DS işaretinin uygun demodülasyonu mümkün olması ve kullanıcılar arasında senkronizasyonun gerekli olmamasıdır. Dezavantajları ise; alınan işaret ile lokal olarak üretilen kodun senkronizasyonun çip zamanı içerisinde olması gerekmektedir ve baz istasyonlarına daha yakın kullanıcılardan alınan güç uzaktakilere göre daha fazla olması uzak kullanıcıların veri alımının imkânsız hale gelmesini sağlamaktadır. Bu yakın-uzak etkisinin güç kontrol algoritmaları ile düzenlenmesi gerekmektedir [11].

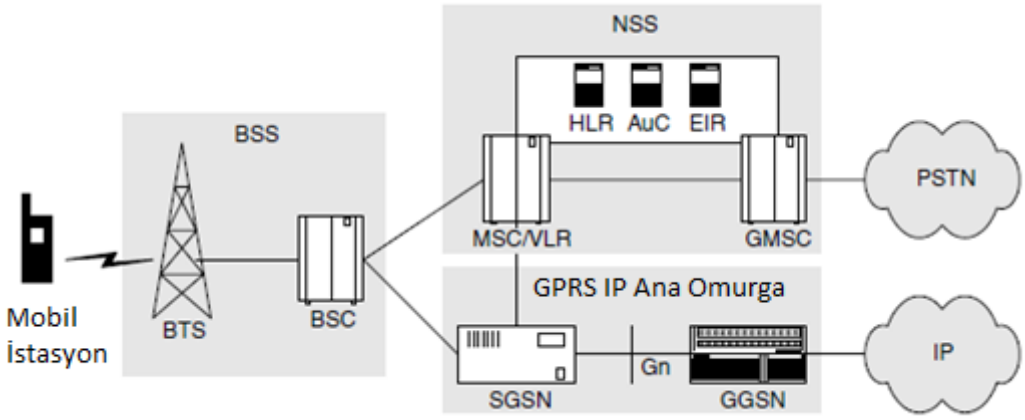
DS-CDMA işlemi UMTS'de hava arayüzü olarak kullanılır. UMTS'te kullanılan yöntemin adı WCDMA (Wideband CDMA) olarak bilinmektedir. WCDMA'in cip hızı 3.84 Mchip/s'dir.

3. UMTS

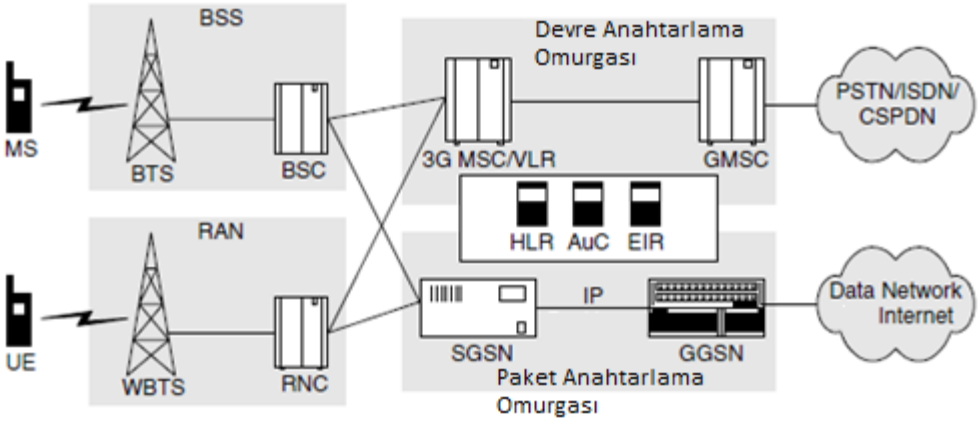
UMTS (Universal MobileTelecommunications System) 3G teknolojisi için ITU-T tarafından oluşturulmuş IMT-2000 standartlarından birisidir. 3G özellikleri olan her yerde her zaman her servisi (ses, video, veri) desteklemektedir. 1998 yılında GPRS ve sonrasında EDGE ile internet GSM içerisine dahil olmuştur fakat düşük veri hızı ile ilgili problemleri mevcuttur. Bunun üzerine 3G standardizasyon çalışmaları 1998 yılında 3. Nesil Ortaklık Projesi (3GPP) tarafından başlatılmıştır. 3GPP GSM'i geliştirerek 3G ağ yapısı oluşturmaya çalışmış ve UMTS'i ortaya çıkarmışlardır 2000 yılında UMTS ilk sürümü (R99), 2001 yılında ikinci sürümü (R4), 2003 yılında üçüncü sürümü (R5), 2004 yılı ortalarında dördüncü sürüm (R6) standartları ortaya çıkmıştır [12].

3G'nin ortaya çıkışında kullanıcıların ses dışı servislere olan yoğun talepleri, yüksek hıza olan büyük gereksinim, mobil uygulamaların zenginleşmesi, iletim bandının verimli kullanılabilmesi ve operatörlerin gelirlerini artırıcı yeni uygulamaların yaratılması şeklinde özetleyebiliriz.

Birçok operatör 2.5G'den 3G'ye geçiş yapmış veya yapmak üzeredir. 2.5 G yetenek açısından 3G'ye çok yakındır. Şekil 3.1 ve 3.2'de görüleceği üzere kullanılan ağ topolojisi de birbirine çok yakındır [9].



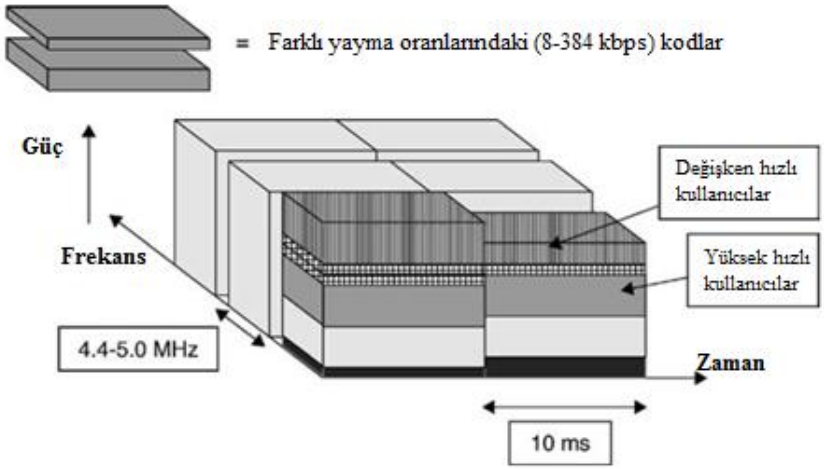
Şekil 3.1 : GPRS genel mimarisi [9]



Şekil 3.2 : UMTS genel mimarisi [9]

3.1 WCDMA

UMTS şebekesinde kullanılan erişim çoklama yöntemi DS-CDMA'dir. WCDMA geniş band (wideband) anlamında kullanılmaktadır. UMTS'de kullanılan band genişliği diğerlerine göre daha geniş tutulmuştur. Bilgi, yayma kodlarıyla çarpılarak geniş banda yayılır. Çok yüksek bir hızlarına çıkabilmek için yayma faktörü ve çoklu kod bağlantıları kullanılır. Yayma Faktörü (SF, spreading factor) WCDMA'da en önemli parametrelerden birisidir. İletim hızına, kodlar arasındaki dikliğe ve kod uzunluklarına direkt etkisi bulanmaktadır. Örneğin yayma faktörü 8 ise kod uzunluğu 8 bit'tir. Modüle edilmiş data bit hızı R ise, yayılmış data iletim hızı 8xR'dir.



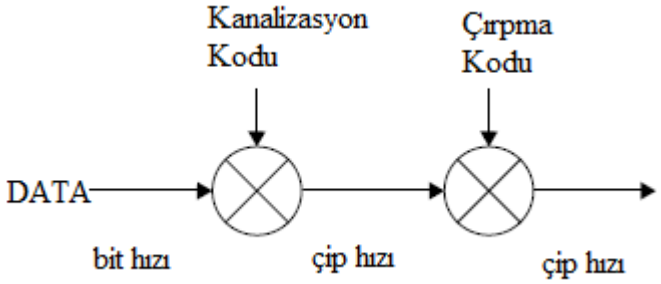
Şekil 3.3 : WCDMA'da zaman-frekans-kod uzayında band genişliği tahsisi

Çip hızı 3.84 Mcps ve dolayısı ile taşıyıcı band genişliği 5 MHz civarındadır. Kullanıcı veri hızı Şekil 3.3'da görüleceği gibi 10ms'lik çerçevelerle (frame) ile sabit tutulur. WCDMA'da iki ana çoğullama tekniği kullanılabilmektedir, FDD (Frequency Division Duplex) ve TDD (Time Division Duplex). Baz istasyonları asenkron modda çalışmaktadır.

3.1.1 Yayma işlemi

WCDMA'da iki çeşit yayma kodu bulunmaktadır. Bunlar, ortogonal kodlar ve pseudorandom (PN) kodlardır. Her iki kod da uplink ve downlinkte kullanılmaktadır. Yayma işlemi, kanallama ve çırpma adında iki ayrı operasyonla olur.

Kanallama ortogonal kodları, çırpma PN kodlarını kullanmaktadır. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi vericide kanallama, çırpmadan önce hem uplink hem de downlink yönünde uygulanır.

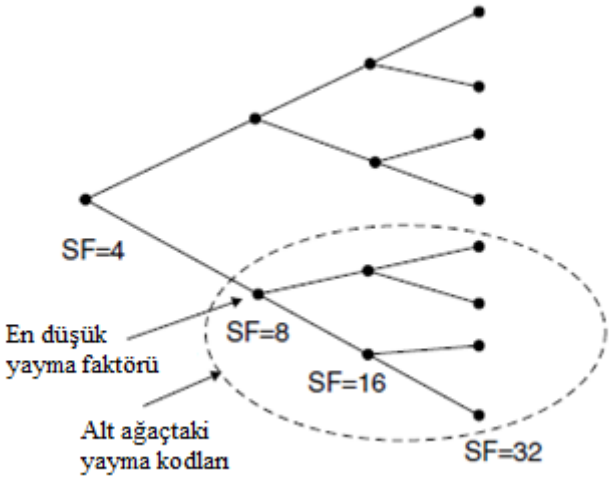


Şekil 3.4 : Yayma işleminde kanallama ve çırpma

Çırpma terminalleri ve baz istasyonlarını birbirinden ayırmak için kullanılır. Sinyal band genişliğini veya sembol hızını değiştirmez, sadece onun hangi terminalden veya baz istasyonundan geldiğini ayırt etmeye yarar.

Kanallama kodları ise, bir kaynaktan yapılan iletimleri birbirinden ayırır. UTRAN'ın yayılmış/kanallanmış kodları OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) tekniğine bağlıdır. OVSF kodlarının yayılma faktörü (SF) değiştirilebilinir. SFçip sayısı/sembol değerindedir. Bu değişiklik yayılmış kodlar arasındaki ortagonalliği ve kod uzunluğunu değiştirir. Aşağıdaki şekilde downlink yayma kodu ağacı ve yayma faktörü ile ilişkisi görülmektedir.

OVSF kodlar ortogonaldir. Ortogonal olması normal şartlarda birbirleri ile asla girişim yapmayacakları anlamına da gelmektedir.

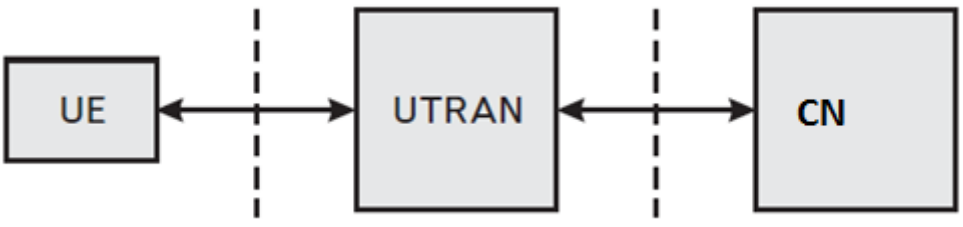


Şekil 3.5 : Downlink yayma kodu ağacı

Tam ortogonallik sistemin senkron olmasına da bağlıdır [7]. WCDMA'de baz istasyonları birbirleri ile senkron değildir. Bu sebeple girişim farklı baz istasyonları yani ayrı hücreler arasında çok yollu yayılım ve asenkronizasyon çalışmaları yüzünden yaşanabilir. WCDMA'de girişimi en aza indirmek için ortogonal kodların yanı sıra güç optimizasyonu da gerekmektedir [7].

3.2 UMTS ağ mimarisi

UMTS ağ mimarisi 3 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler Şekil 3,6'da görüldüğü üzere UE (User equipment), UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) ve CN (Core Network)'ten oluşmaktadır.



Şekil 3.6 : UMTS ana mimari [13]

3.2.1 UE bölümü

UE bölümü kullanıcı tarafında UMTS servisinin alabilmek için kullandıkları cihazlardan oluşmaktadır. Bu cihazlar cep telefonları, bilgisayarlar, PDA, laptop vs olabilir. Cihazlar USIM (UMTS Subscriber Identity Module) ve mobil cihaz kısmı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. USIM'de servis alabilmesi için gerekli kimlik doğrulama bilgileri ve kullanıcıya özel bilgiler bulunmaktadır.

3.2.2 UTRAN bölümü

Bu bölümde ana omurga ile kullanıcı cihazları arasında işlem yapan cihazlar bulunmaktadır. UTRAN bir ya da daha fazla RNS (Radio Network Sub-systems) bulunabilmektedir. RNS sistemi baz istasyonları (BS) ve radyo ağ kontrol (RNC) cihazından oluşmaktadır. Baz istasyonları radyo sinyallerini toplayarak RNC'ye aktarırlar. Baz istasyonları antenleri ile hücreler oluşturmaktadır.

RNC'ler bir yada birden fazla baz istasyonunu kontrol edebilmekteler. RNC'ler UTRAN'daki bütün radyo kaynaklarının kontrolünden sorumludur.

3.2.3 CN bölümü

Bu bölümde ana omurga cihazları yer almaktadır. Bu ana omurga cihazları bütün anahtarlama ve yönlendirme işlemlerinden sorumludur. CN paket anahtarlamalı ağ (PS) ve devre anahtarlamalı ağ (CS) ve HLR (Home Location Register) olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır.

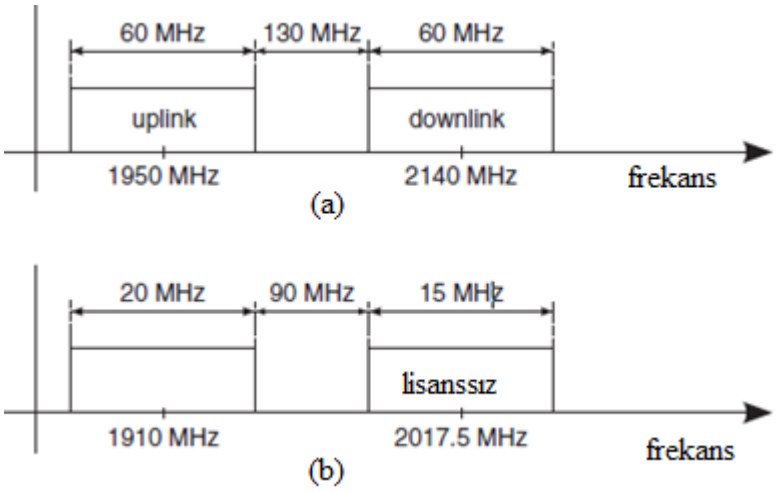
Paket anahtarlamalı ağ, SGSN (Serving GPRS Support Node) ve GGSN (Gateway GPRS Support Node) cihazlarından oluşmaktadır. SGSN cihazı paket yönlendirmesinde, kullanıcı kimlik doğrulama ve şifrelemelerinden sorumludur. GGSN cihazı dış ağlarda (internet, LAN, WAN, GPRS, ATM, Frame Relay, X.25 vb.) aradaki gateway görevindedir.

Devre anahtarlamalı ağ, ses trafiğini işlemek ve aktarmak için kurulmuş bir ağdır. Bu ağ, MCS (Mobile Services Switching Centre)/VLR (Visitor Location Register) ve GMSC (Gateway Mobile Services Switching Centre) cihazlarından oluşmaktadır. MSC kısmı devre kurma, sonlandırma, telsiz radyo fonksiyonları için gerekli bütün sinyalleşmelerden sorumludur. VLR kısmı müşteriler ile ilgili bütün bilgileri tutan veri depolarıdır. VLR, MSC tarafından kontrol edilir. GMSC de GGSN gibi dış

ağlara açılan bir kapıdır. Devre anahtarlamalı ağı PLMN (Public Land Mobile Networks), PSTN (Public Switched Telephone Networks), ISDN (Integrated Service Digital Networks) gibi ses trafiğini yönlendirileceği geniş alan ağlarına bağlar [13].

3.3 UTRAN Kanalları

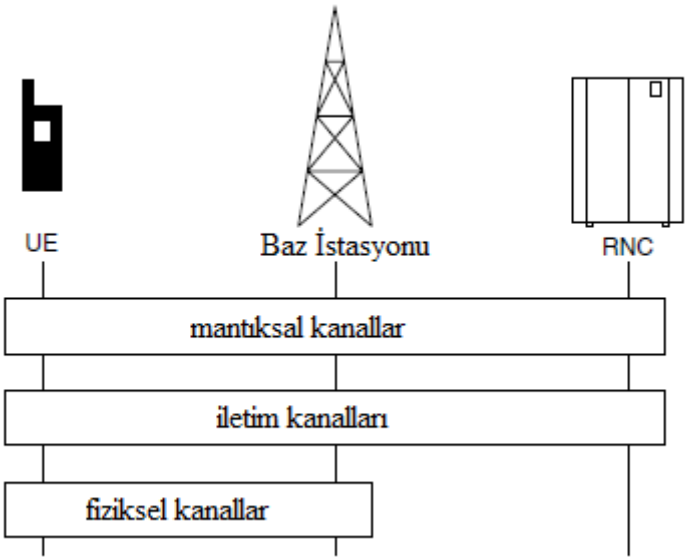
UMTS'de çift yünlü iletişimi sağlamak için FDD modu kullanılmaktadır. Böylece GSM'de olduğu gibi UMTS kanalları da Şekil 3.7'de görüldüğü gibi çift halindedir. Tek bir lisans bir çift (downlink ve uplink) frekans içermektedir. Her UMTS kanalı 5MHz band genişliği gerektirmektedir böylece sadece 60/5=12 adet UMTS kanalının lisans bandında yer aldığını göstermektedir [14].



Şekil 3.7 : Avrupa UTRA operasyon bandları. (a) FDD (b) TDD

UE tarafındaki UMTS kanalları üç katmanlı bir hiyerarşik yapıdadır. Bu katmanlar mantıksal, iletim ve fiziksel katmanlardır. Mantıksal bir kanal, radyo arayüzünde transfer edilmek üzere sabitlenmiş belirli tür bilgi akımıdır. İletim kanalı mantıksal kanalların UE ve RNC arasında iletimin nasıl olacağıdır. Fiziksel kanal da, WCDMA kodlarla ve frekansı ile belirlenmiş gerçek kanaldır. Şekil 3.6'da UMTS kanal yapısı görülmektedir.

Bir benzetme ile açıklamak gerekirse bir postanın postahane aracılığı ile postalanacağını düşünelim. Bu durumda postayı taşıyan araç fiziksel kanal, taşındığı araç bilgisini bilen iletim kanalı, iletimin gerekli QoS değerleri ile yapılıp yapılmadığını bilen de mantıksal kanaldır.



Şekil 3.8 : UMTS kanal yapısı

3.3.1 Mantıksal kanallar

BCCH (Broadcast control channel) : Downlink kanalıdır. Özel olarak belirlenmiş bir grup UE'ye bilgi taşır.

PCCH (Paging control channel): Downlink kanalı, gelen bir bağlantıda UE belirtmek için kullanılmaktadır.

CTCH (Common traffic channel): Downlink kanalı, Point-to-multipoint bağlantılarda aynı bilgiyi gruba yollamak için kullanılmaktadır.

CCCH (Common control channel): UE'ler arasında kontrol paketlerini yollamak için kullanılmaktadır.

DTCH (Dedicated traffic channel): UTRA'da ana trafik kanal, hem uplink hemde downlink için kullanılmaktadır.

DCCH(Dedicated control channel): Belirli bir UE ile ağ arasıda kontrol bildilerini taşımak içinkullanılmaktadır.

3.3.2 İletim kanalları

BCH (Broadcast Channel): BCCH'leri ağdaki her kullanıcı cihazına taşırlar.

FACH (Forward Access Channel): Downlink kanalıdır. Birden fazla tipte trafiği taşıyabilmektedir.

DCH (Dedicated Channel): Kullanıcıların verilerini tutmak için kullanılırlar.

DSCH (Downlink Shared Channel): Birden fazla kullanıcıya ait olan bilgileri taşımak için kullanılır.

RACH (Random Access Channel): Bir kullanıcı cihazının ilk defa ağa erişim talebi için kullandığı kanaldır.

CPCH (Common Packet Channel): Kullanıcı tarafından güç kontrol bilgilerinin taşındığı kanaldır.

3.3.3 Fiziksel kanallar

CCPCH (Common Control Physical Channel): Daha çok kontrol paketlerinin taşındığı downlink kanalıdır.

DPDCH (Dedicated Physical Data Channel): DCH'den gelen kullanıcı bilgilerini taşırlar.

PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): DSCH'ları farklı kullanıcı cihazlarına göndermek için kullanılırlar.

PRACH (Physical Random Access Channel): Ağa ilk kez erişim sağlayan bir kullanıcnın gönderdiği RACH kontrol bilgilerini taşır.

CPICH (Common Pilot Channel): En önemli downlink fiziksel kanallarından birisidir. HNB'lerden (baz istasyonları vb) düzenli olarak gönderilmektedir. Kullanıcı ekipmanları bu kanaldaki gücü okuyarak bağlanacağı uygun hücreyi seçer.

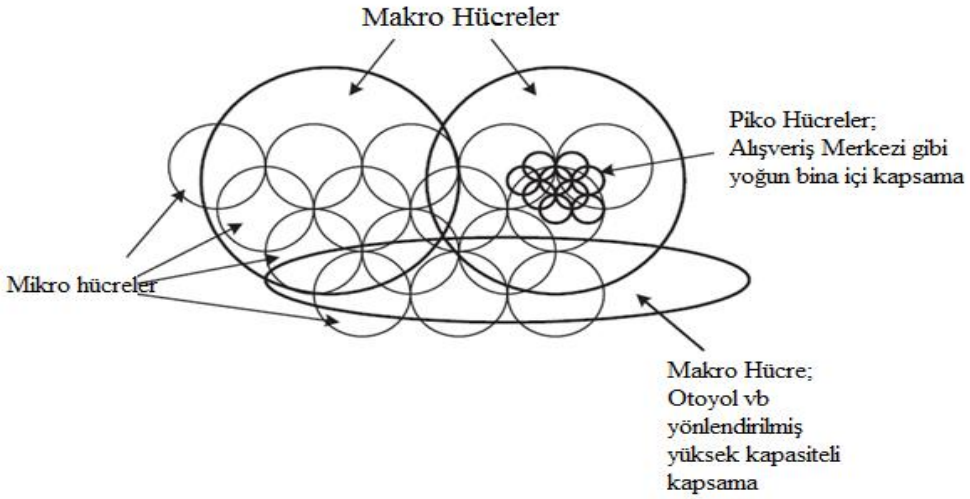
3.4 Hiyerarşik Hücre Yapısı

Ağ planlamanın kapsamı oldukça geniş ve operatörler için yüksek önem dereceli bir görevdir. Planlama zaman harcayan, yoğun emek gerektiren, maliyeti yüksek ve hiçbir zaman bitmeyen bir iştir. Yeryüzüne, nüfusa, hizmet kullanım oranına ve hizmet çeşitliliğine göre planlamalar hep gözden geçirilir veya yeniden yapılır. Operatörlerin kalitesi ve kazancı ağ planlamaları ile direkt ilgilidir.

3G WCDMA ağ ile GSM ağının planlaması arasında birçok ortak nokta bulunurken farklı önemli parametreler de mevcuttur. Her iki ağı planlarken gerekli bilgiler daha önceden toplanmalı ve bilgiler işlenmelidir. GSM'de ağ planlamada işin daha büyük

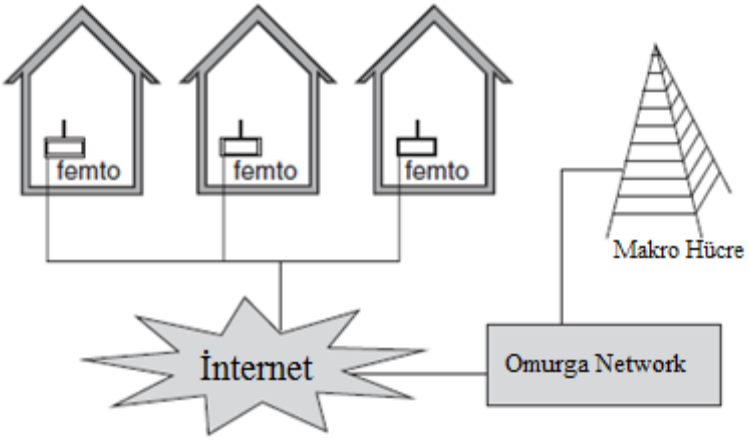
kısmı frekans planlamasındaydı. WCDMA'da ise frekans planlaması yoktur çünkü bütün baz istasyonları aynı frekansı kullanmaktadır. UMTS frekanslarının tahsisinden kaynaklı operatör başına iki yada en fazla üç frekans düşmektedir. Bir operatöre 2x15 MHz frekans bandı verildiği düşünüldüğünde, 3x5 MHz dupleks frekans bandına bölünebilir. UMTS Forum 2x15 MHz (FDD) + 5MHz (TDD) olarak tahsis edilmesini tavsiye etmektedir. WCDMA'da bu farklı frekanslar farklı hiyerarşide olan hücrelerde kullanılmaktadır. WCDMA ağların daha verimli çalışması için kapsama alanı ve kapasite planlamasını birleştirmek ve dengelemek gereklidir. Ayrıca, baz istasyonlarının konuşlandırılmasında ve konfigürasyonun da birbirlerine girişim yapmamasını sağlayacak planlamalar yapılmalıdır [9].Güç kontrolü de WCDMA'de yapılması gereken önemli konulardan birisidir. Güç kontrolü ağda girişimi en aza indirmek için mutlaka yapılmalıdır [8]. Güç kontrol için oluşturulmuş birkaç model bulunmaktadır.

Hiyerarşik hücre yapısı frekans planlama tartışmasına yeni bir boyut getirmektedir. Operatörler hiyerarşik hücre yapısını, hücreyi bölmeleme ve hücre kapasitesini arttırma ihtiyacı hissettikleri yerlerde kullanmaktadırlar. Örneğin otoyollarda makro hücreler hızlı hareket eden mobil kullanıcıları daha az handover ile destekleyebilirler. Mikro hücreler ise kapasiteyi arttırmak için şehir içinde veya işyerlerinde bina içinde kullanabilirler. Piko hücreler ise alışveriş merkezleri gibi yavaş hareket eden ama yüksek sayılardaki kullanıcının bulunduğu yerlerde kullanılabilirler. Hiyerarşik hücre yapısının kullanım örneği Şekil 3.9'de görülmektedir [7].



Şekil 3.9 : Hiyerarşik hücre yapısı

Femto hücreler, hiyerarşik hücre yapısında bina içi kapsamayı sağlayacak HNB (Home Base Station) adı verilen hücresel erişim noktalarıdır. Femto hücreler WiFi erişim noktaları gibi görünür ve o mantıkla çalışırlar. Femto hücrelerin UMTS ana omurga ağına erişimi internet üzerinden gerçekleşmektedir. Femto hücreleri ana omurgaya DSL veya kablo üzerinden Şekil 3.10'de görüldüğü gibi bağlanmaktadır.



Şekil 3.10 : Femto ve makro hücre senaryo örneği

3.5 Hiyerarşik Hücre Yapısının Avantajları

Hücresel ağlarda yapılan aramaların 2/3'ü ve data servislerinin kullanımının %90'ından daha fazlası bina içlerinde gerçekleşmektedir. Bu sebeple bina içlerinde ses, video ve yüksek hızlı data servisleri için iyi bir kapsama sağlanması operatörler açısından büyük önem arz etmektedir ve giderek artmaktadır. Yapılan bazı surveyler sonucunda %45 oranında ev içlerinde ve %30 oranında işyerlerinde zayıf kapsama problemleri tespit edilmiştir [15].

Makro hücreler ile bina içi kapsamanın yapılması pahalıdır. Çünkü dışarıdaki bir UMTS baz istasyonunun da kullanıcı ekipmanlarının da daha yüksek güçlerde çalışması gerekmektedir. Mikro/femto hücreler sayesinde hem baz istasyonu hem de mobil kullanıcı cihazlarında (cep telefonları, PDA vb) ciddi bir miktarda güç tasarrufu sağlanmaktadır. Kullanıcı tarafında cep cihazlarının daha uzun aralıklarda şarj etme avantajını, operatör tarafında ise enerji maliyetinin düşmesi demektir. Ayrıca yüksek kapasiteli kapsamalar için dışarıdaki baz istasyonlarının sayısının çoğaltılması gerekmektedir. Bu da operatörler aşıcından maliyetli bir durumdur. Hücreler büyüdükçe planlamaları da zorlaşmaktadır. Mikro, piko ve femto hücreler

sayesinde daha küçük hücreler oluşturulup makro hücrenin kapasitesi artırılıp, yoğunluğu azaltılabilmektedir.

4. ÖZ-DÜZENLEMELİ AĞLAR

Öz-düzenlemeli ağlar, ağ performansını iyileştirmek amacıyla tasarlanan bir ağ yöntemidir. Giriş bölümünde de anlatıldığı gibi günümüz ağ ihtiyaçları, giderek artmaktadır. Bu sebeple büyüyen ağların daha verimli çalışmasını sağlayacak birçok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan birisi de öz-düzenlemeli ağlardır. Öz- düzenlemeli ağların temel özelliği ağ elemanlarının birer yaşayan organizma gibi davranmasıdır. Ağ elemanları ağ içerisinde veya çevrede olan değişiklikleri hissetmeli ve algıladığı duruma göre hızlı tepki vermelidir. Öz-düzenlemeli ağların bu özellikte olabilmeleri için cihazların anlık değerleri kontrol edebilen ve bu değerlere göre karar verebilen özellikte olmaları gerekmektedir [16]. Ayrıca öz-düzenlemeli ağlardaki ağ elemanları işbirliği içerisinde çalışabilmelidir. Çünkü ağdaki diğer ekipmanlardan toplayacakları bilgiler ışığında kendilerini ve ağı optimize edebileceklerdir.

Mobil haberleşmenin hızlı büyümesi ile beraber hücresel ağların dağılım ve bakım işlemleri gitgide daha kompleks, vakit harcatan ve maliyetli bir hal almaktadır. Kullanıcılarında zamanla almak istedikleri mobil hizmet kalitesi, hızı ve çeşitliliği de devamlı artmaktadır. 3G hücresel ağların da kullanılmaya başlaması ile mobil ağlar daha yoğun ve karmaşıklaşmıştır. Operatörlerin ihtiyaçlarını gidermek ve daha kaliteli bir hizmet sunabilmek için öz-düzenlemeli ağlar üzerine çalışmalara yoğunluk verilmektedir [17].

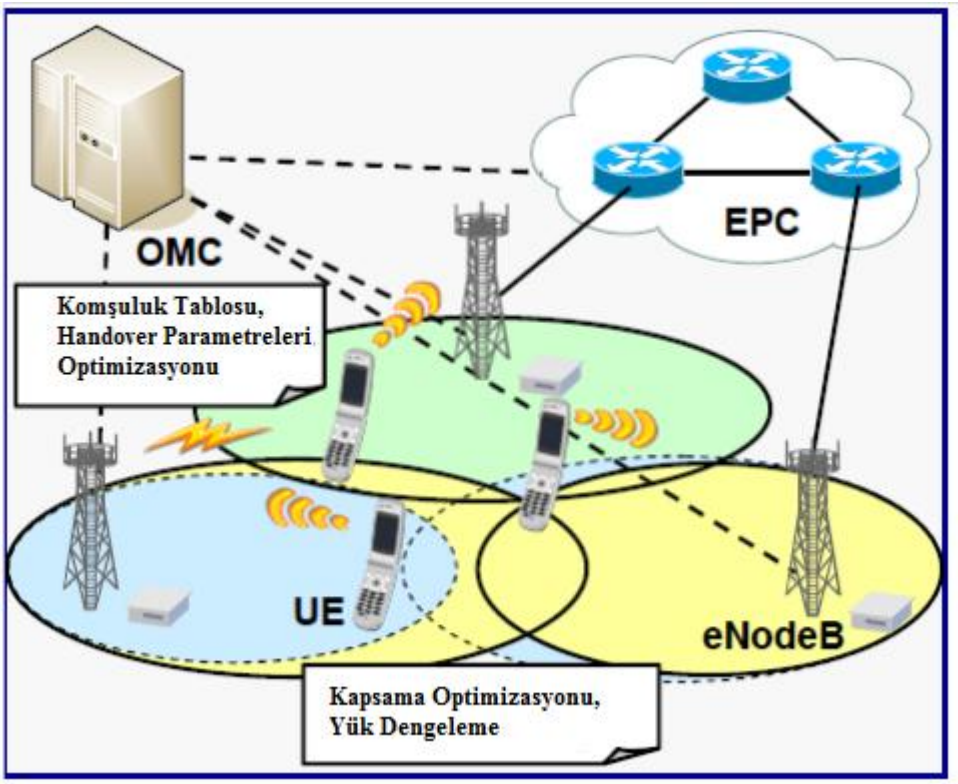
Oluşturulan öz-düzenlemeli ağlar, daha esnek, daha güvenilir, yönlendirme işlemi sırasında göreceli olarak daha az maliyetli ve hatalara daha dayanıklı bir yapıda oluşturulması hedeflenmektedir.

4.1 Anahtar Teknolojiler ve Özellikleri

Öz-düzenlemeli ağ çatısı altında ağda birçok yönde iyileştirmeler yapılabilir. Dünyada önde giden mobil operatör, servis sağlayıcı ve altyapı firmalarının öz-düzenlemeli hücre yapı mantığı bu bölümde incelenmiştir [18-21].

4.1.1 Öz-konfigürasyon

Yeni ağ elemanlarının, ağa dahil edilmesi sırasında insan müdahalelerini azaltmak için süreçler mümkün olan en geniş kapsamda otomatikleştirilmelidir. Öz-konfigürasyon çevre koşulları değiştiği zaman veya daha fazla performans için ağ elemanının diğer noktalarla ilişkisini yönetmesi özelliğidir. Ağ elemanları gerekli güvenlik önlemleri ağ ve ağdaki yeni eleman ve gerekli sunucular (DHCP gibi) arasında bağlantı kurmalıdır. Sonuç olarak, ağ elemanı aktif olarak servise alınabilmeli ve konfigürasyon öz-optimizasyon ile güncellenebilmelidir [18]. LTE Şekil 4.1'de görüldüğü



Şekil 4.1 : LTE ağlarda öz-optimizasyon diyagramı

4.1.2 Öz-optimizasyon

Ağ performansını maksimum yapabilmek için ağ elemanlarında öz-optimizasyon yapılmalıdır. Optimizasyon, sıkça yapılan bir şey değildir çünkü uç cihazların keşif çalışmaları (istatistiksel performans ve optimum parametrelerin karar analizi) ağır bir iş yükü gerektirir. SON bütün bu görevleri ağ cihazlarında ölçümler yaparak otomatikleştirir. Problemler nitelikli bir şekilde tespit edilir, problemin kök sebepleri tanımlar ve otomatik olarak ölçüm ve performans istatistikleri yönetim cihazlarından

alınarak çözüm aksiyonları alır. Bu otonom optimizasyon problemlerin daha hızlı çözülmesine ve ağ performansının iyileşmesini sağlar [19].

Komşu listesi optimizasyonu, komşuluk tablolarının (handover (hücre aktarma) için gereken en az hop sayısını içerir) otomatik olarak tekrar yenilenmesini sağlar. Komşuluk tabloları uç cihazların ölçüm raporlarına dayanarak dinamik olarak yenilenir [18].

Kapsama alanı ve kapasite optimizasyonu, maksimum sistem kapasitesini ve komşu hücreler arasında yeterli miktarda çakışma alanlarının (overlapping area) kalmasını amaçlar. Optimum parametrelerin ayarlanması ilişkide olan hücrelerin anten açısı ve sinyal gücünün beraber hesaba katılması ile olabilir [20].

Kablosuz yük dengeleme optimizasyonunda, hücre tekrar seçimi ve handover eşik değerlerini otomatik olarak ayarlayarak, aşırı yükleme sebebi ile sıkışma olan hücreden başka bir hücreye aktarma yapılması sağlanabilir.

4.1.3 Otomatik hata algılayıcı ve öz-düzeltme

Ağlarda hata yönetimi ve düzeltmesi işlemini yapılması için ağ yöneticilerinin devamlı müdahaleleri gerekmektedir. Öz-düzenlemeli ağlarda bu işlemlerin mümkün olduğunca otomatikleştirilmesi istenmiştir [18].

Ağ cihazların hataları normalde cihazlar tarafından otomatik olarak algılanırlar. Hata tespit mesajları (alarm) her zaman üretilemez. Mesela istasyonda tanımlanamayan bir hata belirdi, noktalardan sıkça uyuyan hücre olarak bahsedildiği, bu durumda alarmlar performans istatistiklerinden tespit edilir [18]. Örneğin bazı SON fonksiyonları ağ loglarında analiz yaparak ve radyo kalitesinde zayıflık olan yerlerdeki alan yakınlarındaki uç cihazlardaki bozulmayı tespit eder. Kök arıza sebebini otomatik olarak bulmak için ilişkili çoklu alarm fonksiyonları kullanılmaktadır [20].

Cihazda bir hata tespit edildiğinde SON cihazın iç loglarını analiz ederek kök arızayı bulmaktadır ve bazı kurtarma işlemleri yapmaktadır. Örneğin bir önceki yazılım sürümüne çekmek veya daha önceki haline döndürme kararı alabilir. Cihaz hatası bu aksiyonlarla çözülmezse etkilenen hücre ve çevresindekiler kullanıcı kalitesinde bozulma olamaması için işbirlikli aksiyon alırlar [21].

Hücresel ağ yapısında, enerji önemli operasyon giderlerinden biridir. Özellikle mobil haberleşmede enerji tüketiminin azaltılması önemli bir optimizasyondur. Aşırı yüklenmenin süresinin varyansları sayesinde tasarruf sağlanabilir. Örneğin gece boyunca kaynakların bir kısmının kapatılması önemli bir tasarruftur. Bir istasyon, kaynaklarının bir kısmını kendi lokal kararı ile kapatabilmektedir. Eğer istasyon kapalı ise diğer istasyonların bu durumu telafi edebilecek kadar kapsama alanına ve kapasiteye sahip olabilmelidir. Bu sebepten istasyonlar arasında bir koordinasyonun olması şarttır. Önemli bir husus da, kapalı olan noktanın tekrar nasıl çalışır hale getirildiğidir. İstasyonların ne zaman açılacağını bilmesi gerekmektedir. Bu lokal bir karar ya da dış tetikleme ile olabilir. İstasyonların açılıp kapanması ile komşu hücrelerin komşuluk listeleri otomatik olarak güncellenmelidir [18]. Bu da SON sayesinde sağlanabilmektedir.

4.2 Öz-Düzenlemeli Ağ Fonksiyonları İyileştirmeleri

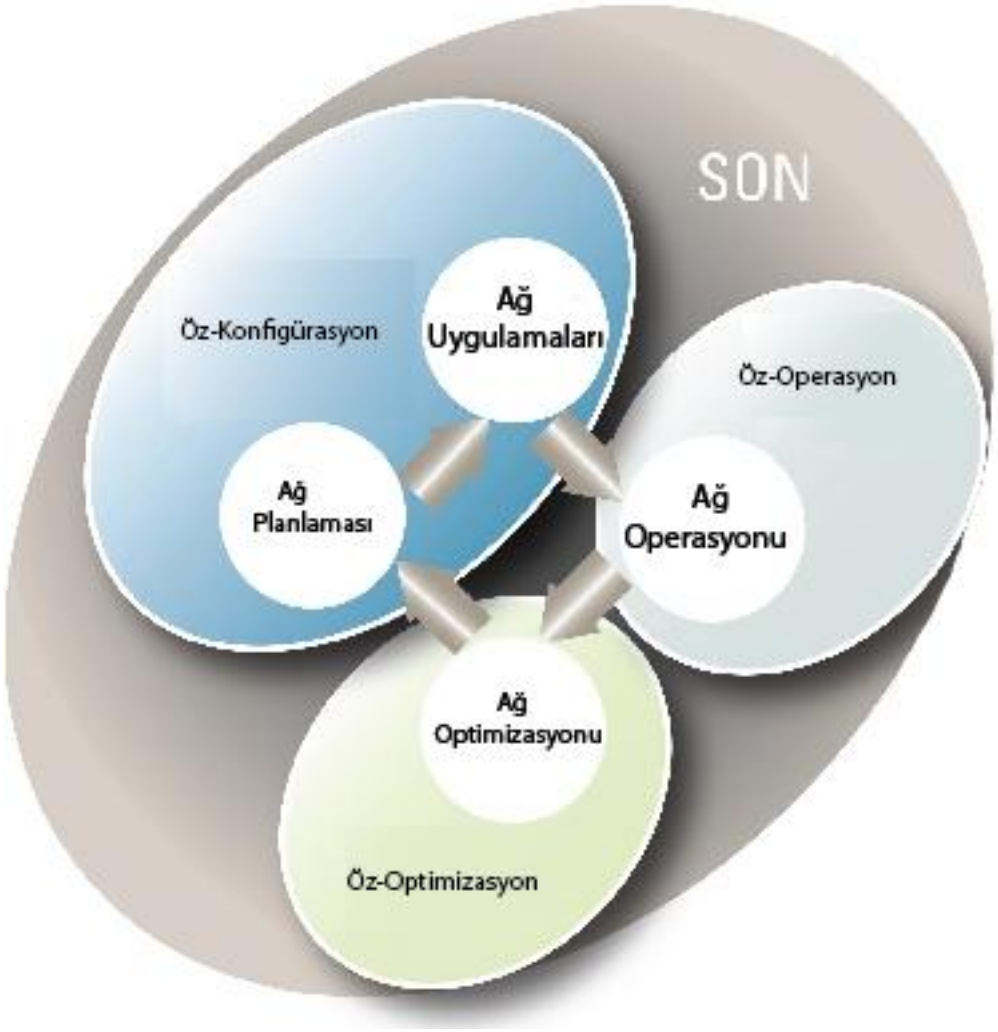
Öz-düzenlemeli ağların kendi kendine organize olabilmesi sayesinde telsiz ağlarda birçok iyileştirme görülmektedir. Yukarıdaki bölümlerde öz-düzenlemeli ağların fonksiyonlarından bahsedilmişti. Bu fonksiyonları kabaca dört ana başlık altında toplayabiliriz.

- Ağ Planlaması
- Ağ Uygulamaları (deployment)
- Ağ Optimizasyonu
- Ağ Operasyonu

Şekil 4.2'de de görüleceği üzere SON'un fonksiyonları devamlı olarak birbirini besleyen ve tetikleyen bir döngü içerisindedir [19]. Bu döngüde işlem yapan fonksiyonların detayları ve sonuç olarak getirdiği iyileştirmeler aşağıda sunulmuştur.

4.2.1 Ağ planlama fonksiyonu iyileştirmeleri

SON önden planlanmış ağ konfigürasyonlarına izin vermektedir fakat mümkün olduğunca ağ konfigürasyonunun otomatik keşifler sonucunda üretilmesini desteklemektedir. SON ağ elemanlarında komşuluk listelerinin oluşturulmasını, radyo parametreleri, iletim parametrelerini ayarlamaktadır.



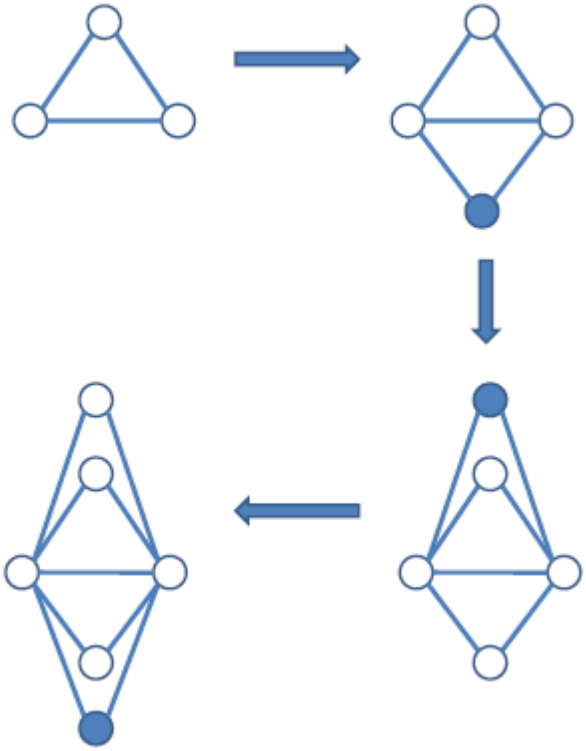
Şekil 4.2 : SON dönüşüm diyagramı

Örneğin ağa yeni bir cihaz katıldığında ağ elemanları onu otomatik olarak farkedece ve ağ planlamasını otomatik olarak değiştirecektir. Marchetti, N., Prasad, N.R., Johansson, J., Tao Cai'nin 2010 yılında yapmış oldukları çalışmada vermiş oldukları Şekil 4.3'deki örneği incelersek, ağa katılan her yeni noktayı diğerleri algılamakta ve hemen aralarında bir link kurarak ağ planlamalarını ona göre değiştirmektedir [9].

4.2.2 Ağ uygulama fonksiyonu iyileştirmeleri

Uç cihazların yüklemeleri, ağ kimlik doğrulama, iletim ve radyo parametrelerinin ayarları yapılmakta ve test edilmektedir. Özellikle uç cihazlarda tak-çalıştır (plug and play) özelliği kazandırılmaktadır. Uç cihazlar otomatik olarak iletim özelliklerine sahip ve yönetim sistemi ile iletişim kurabilen hale gelecektir [21]. Uç cihazlardaki tak çalıştır mekanizması ağ alt yapı sağlayıcılar için çok önem arz

etmektedir, çünkü bu özellik sayesinde müşteri memnuniyetini geliştirip, bir çok ürünü daha rahat pazarlama imkanı bulacaktır.



Şekil 4.3 : SON genişleme senaryosu

4.2.3 Ağ optimizasyonu fonksiyonu iyileştirmeleri

SON ile otomatik olarak radyo ve iletim parametreleri optimizasyonu yapılmaktadır. Ağ elemanları arayüzlerini devamlı kontrol (otomatik komşu optimizasyonu) etmektedir. Herhangi bir arayüzdeki erişilememe durumu fark edilip ona göre tedbir alma fırsatı yaratmaktadır. Ağ cihazları kendi QoS değerlerini kontrol ederek verilen servisin kalitesinin stabil kalması sağlanacaktır. Tüm arayüz ve önemli ağ parametrelerinin devamlı kontrol altında tutulması enerji tasarrufunu da beraberinde getirmektedir [20].

4.2.4 Ağ operasyonu fonksiyonu iyileştirmeleri

SON ile otomatik olarak upgrade olan, hata algılayan, donanımsal uzantılar ve ağ yönetimi için monitör edebilen ağlar oluşturulacaktır. Operasyonel faaliyetlerin birçoğu insan müdahalesi gerektirmeksizin yapılabilecektir. Ağda arıza oluşma

olasılığı sürekli kontrollerle ve hata algılama özellikleri ile azaltan SON, aynı zamanda upgrade işlemlerini de otomatik yaparak ağın devamlı güncel kalmasını sağlamaktadır.

5. ÖZ DÜZENLEMELİ UMTS HÜCRESEL AĞLAR

Telsiz haberleşmeye olan yoğun ilgi ve teknolojik gelişmeler sayesinde hücresel ağlar gün geçtikçe daha çok büyümekte ve karmaşık hale gelmektedir. 3G gibi yüksel hız ve servis çeşitliliği getiren yeni ağ yapısında hücre sayıları, kullanılan cihaz sayısı ve cihaz özellikleri artmaktadır. Oluşan bu yeni gelişmiş ağın yönetimi de daha zorlaşmaktadır. Zorlaşan bu ağ yönetimini kolaylaştıran operatörlere zaman ve maliyet kazancı getiren otomatik algoritmalar ihtiyacı doğmuştur. Öz-düzenlemeli ağlar 4. Bölümde anlatılan özellikleri sayesinde operatörlerin ihtiyacı olan otomatik algoritmayı gerçekleyebilmektedir. Bu tez çalışmasında hiyerarşik UMTS ağ yapısında karşılaşılan sorunları öz-düzenlemeli ağ yaklaşımı ile çözülmesi hedeflenmiştir.

Hiyerarşik hücre yapısında yoğun trafiğin bulunduğu noktalarda özellikle bina içi kapsamayı arttırmak amacıyla femto ve piko hücreler yoğun olarak kullanılmaktadır. Bina içlerinde kapsamayı eksiksiz sağlamak amacıyla birden fazla femto/pico hücre kurulumu, her kata veya her bölüme olmak üzere, gerçeklenmektedir. Bu durumda kullanılan çok sayıda femto/piko hücrenin sayısını ve pozisyonunu operatörlerin tam olarak takip etmesi olanaksızdır. Küçük istasyonlar kullanıcıların rahatlıkla ulaşabileceği yapıda ve pozisyonda olmasından, her an birileri tarafından kapatılabilir, yeri değiştirilebilir. Bu aç-kapa ve yer değişikliği durumlarında küçük istasyonlar tak-çalıştır özelliğinde olmalıdır ki, kesintisiz hizmet devam edebilsin. Klasik hücresel ağ planlamasına aykırı olan bu durumlarda operatörler ancak otomatik bir yöntem kullanabilerek baş edebilirler. İleri düzeyde bir öz-düzenleme tekniği piko/femto hücrelerin makro hücre üzerinde dağılımı ve yönetimi önemli bir rol oynamaktadır. Öz-düzenleme tekniği ile insan gücüne minimum düzeyde ihtiyaç duyulmasını gerektirecek uç cihaz konfigürasyonları yapılabilir, çevre radyo bilgileri (komşuluk bilgileri ve girişim) sezilebilir ve sezilen bu bilgiler ışığında parametrelerini optimize edebilir [22].

Bu şekilde piko/femto hücreler ağda olan değişiklikleri sezebilecek ve buna göre tepki verebilecektir. Bu uygulama ile trafik ve kanal durumları, girişim bilgileri (cross and co-layer interference) sezilerek optimize edilebilir.

1990'larlı yıllarda GSM teknolojisinin ilerlemesi ile de kullanıcı sayısı da giderek artmıştı. Radyo frekans mühendisleri çok önemli öz-düzenleme fonksiyonu üretip, sistem performansında büyük bir iyileştirme sağlamışlardı. Bu öz-düzenlemeli fonksiyonla otomatik frekans planlaması [23] ve anten açı/eğim ayarlaması yaparak girişimi azaltılmış [24] ve sistem performansını artırılmıştır. 2000'li yılların başlarında CDMA teknolojisi gelecekteki uygulamalarda kullanılmak üzere ortaya çıkmıştır. 3G teknolojisinde CDMA ile ses, görüntü ve yüksek hızda data trafiği taşınmaktadır. CDMA sisteminde bütün kullanıcılar aynı frekansta ama farklı kodlarla iletişim sağlayabilmektedir. Bu durumda öz-düzenlemede frekans planlama ihtiyacı bulunmamaktadır. Girişimi azaltmak için ağ planlama, güç ve kod optimizasyonu yapılabilir.

Bu tez çalışmasında WCDMA hiyerarşik hücresel ağlarda girişim sorunu ile baş etmek için öz-optimizasyon yöntemi kullanılacaktır. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan optimizasyon yöntemi incelenecektir.

5.1 UMTS Hiyerarşik Ağlarda Karşılaşılan Zorluklar

Yeni nesil UMTS hücresel yapılarda hiyerarşik yapının kullanıldığından bahsedilmiştir. Hiyerarşik yapının avantajları bulunduğu gibi tasarımda ve yönetimde bazı zorlukları mevcuttur. Karşılaşılan en büyük problemler plansız dağılım, femto/pico istasyon konfigürasyonudur. Makro hücre içerisinde küçük hücreler tasarımı ile aynı zamanda ağdaki girişim miktarını arttırmaktadır.

Femto/pico İstasyon Konfigürasyonu: Piko ve femto hücreler yoğun kullanım olan bina içlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İhtiyaç gereği daha önce planlanmamış bir işyerine veya eve hücre tasarlanması beklenen bir durumdur. Femto/piko istasyonlar konfigürasyon ile ilgili herhangi bir eğitim veya bilgi almamış kullanıcılar tarafından rahatlıkla müdahale edebilecekleri pozisyonlarda bulunmaktadırlar. Bu gibi bina içi, kullanıcıların temas edebileceği konumda olan istasyonlar tak-çalıştır olmalıdır. Arıza durumunda, optimizasyon gerekli olduğunda

veya dışarıdan gelebilecek herhangi bir müdahale durumunda uzaktan yönetilebilir olması gerekmektedir [25].Yapılabilecek herhangi bir müdahalenin ağ planlamasını bozmayacak ve kullanıcılara kesintisiz hizmet sağlayacak yapıda olmalıdırlar. Uzaktan yönetilebilir, tak-çalıştır özelliği ancak otomatik bir algoritma (öz-konfigürasyon) sayesinde verilebilir.

Plansız Dağılım: Makro ağlardan farklı olarak femto hücreler planlama olmaksızın dağıtılmış durumdadır. Hücredeki trafik talebi veya diğer mikro/makro hücrelerden oluşabilecek girişim hesaplamaları yapılmamıştır. Yer değişikliği veya plansız dağılım sebebi ile ağ yapısının çalışılabilecek en verimli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu özellik otomatik bir algoritma (öz-optimizasyon) ile verilebilir.

5.1.1 UMTS hiyerarşik hücre yapısında girişim sorunu

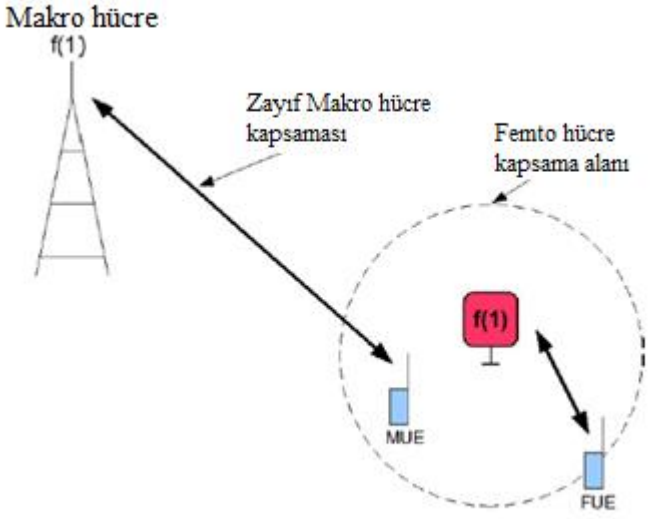
Girişim, hiyerarşik hücrelerde plansız dağılımdan kaynaklı en büyük problemlerden birisidir. WCDMA sistemlerde olduğu gibi aynı frekans bandında ve aynı coğrafi konum içerisinde bulunan birden fazla yayın yapan vericinin bulunduğu ağda, alıcı sistemin bu frekansta hangi vericinin kendisine ait olduğunu algılaması oldukça zordur.

Hiyerarşik hücrelerde geniş bir makro üzerinde piko veya femto hücreler yerleştirilerek oluşturulmuş yapıya iki katmanlı (two-layer) ağ adı verilmektedir. WCDMA gibi girişim limitli bir sistemde, ortogonal kodlarla yayılım yapılmış olmasına rağmen hücreler arası çok yollu yansımalar ve hücre baz istasyonlarının asenkron çalışmasından kaynaklı girişim yaşanmaktadır [26].

Femto/piko hücrelerin RF kapsama alanı manüel olarak operatörler tarafından ayarlanabilir olmadığından ve dağıtım genelde ad-hoc yapısında olduğundan, RF girişim sorunları uygun yöntemler kullanılmazsa ortaya çıkabilir. Dahası operatörlere verilmiş sınırlandırılmış spektrum sebebi ile, makro ve femto hücreler bir frekansı paylaşmaktadırlar [5]. Temelde aynı frekansı paylaşmalarından kaynaklı bir girişim yaşanmaktadır, bu girişme aynı kanal girişimi (co-channel interference) adı verilmektedir. Farklı frekanslar kullanılarak yapılan hücre ayrımlarında birbirlerine yaptıkları girişime komşu kanal girişimi (adjacent-channel interference) adı verilmektedir. Komşu kanal girişimi genelde farklı operatörlerin hücreleri arasında yaşanmaktadır.

Hiyerarşik hücre yapısında oluşan girişim tiplerini genel olarak aynı katmanda olan (co-layer) ve katmanlar arası olarak (cross-layer) ikiye ayırabiliriz.

Katmanlar arası girişim: Makro ve küçük hücreler (pico/femto) arasında oluşan girişimdir. Kısıtlı kullanım sebebi ile femto hücreler hem uplinkde hem de downlinkte girişime yol açabilirler. Örneğin femto hücreler pencere kenarına yerleştirilirse dışarıdaki kullanıcılara downlink'te girişime sebep olur. Ayrıca femto hücre kullanıcıları makro hücre kullanıcılarının uplink'inde girişime sebep olur. Aşağıdaki şekilde katmanlar arası girişimin bir örneğini görebilirsiniz. Burada makro istasyonun femto istasyona yaptığı girişim görülmektedir [27].



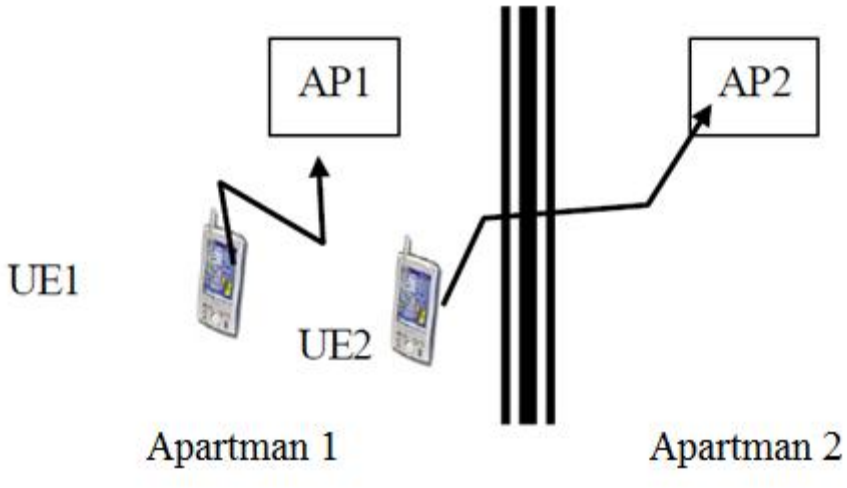
Şekil 5.1 : Katmanlar arası girişim örneği

Aynı katmanda girişim: Aynı katmanda bulunan küçük hücrelerin (piko-piko yada femto-femto) birbirlerine yaptıkları girişimdir. Femto/piko hücreler birbirlerine plansız dağıtım yüzünden girişime sebep olabilirler. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi yan yana duran iki ayrı apartmana hizmet etmesi için konulmuş iki femto hücre birbirlerine girişimde bulunur.

5.1.2 UMTS hiyerarşik hücre yapısında girişim yönetimi

WCDMA yapıdaki hiyerarşik hücre yapısında girişim ile baş etme yollarından en basiti her hiyerarşik katmana farklı bir frekans tahsisi yapmaktır. Eğer UMTS frekans planlamasında operatör başına 15MHz frekans alanı düştüğünü farz edersek, operatörün 3 adet frekans kanalı bulunmaktadır. Bu planlama ile farklı

hiyerarşilerdeki hücrelere farklı frekans kanalında çalışmakta ve birbirlerine girişim yapmadığı düşünülmektedir



Şekil 5.2 : Aynı katmanda girişim örneği

Fakat Johnson ve Khalab'ın yayınlamış olduğu araştırmada komşu kanal girişiminin makro hücre performansında etkisi olmamasına rağmen mikro hücreler ve kullanıcıları üzerinde ciddi bir girişim düzeyine sahip olduğu belirtilmiştir [28]. Bu problem farklı operatörler arasında olduğu da düşünülünce daha da büyük sorunlara yol açacaktır [7]. Hiyerarşik hücrelerde farklı frekans kullanımı handover kısmında da bir dezavantaj getirmektedir. Farklı frekanslar kullanıldığından CDMA teknolojisinin sağladığı yumuşak handover (soft-handover) avantajı kullanılamamakta, mecburen katı handover (hard-handover) gerekmektedir.

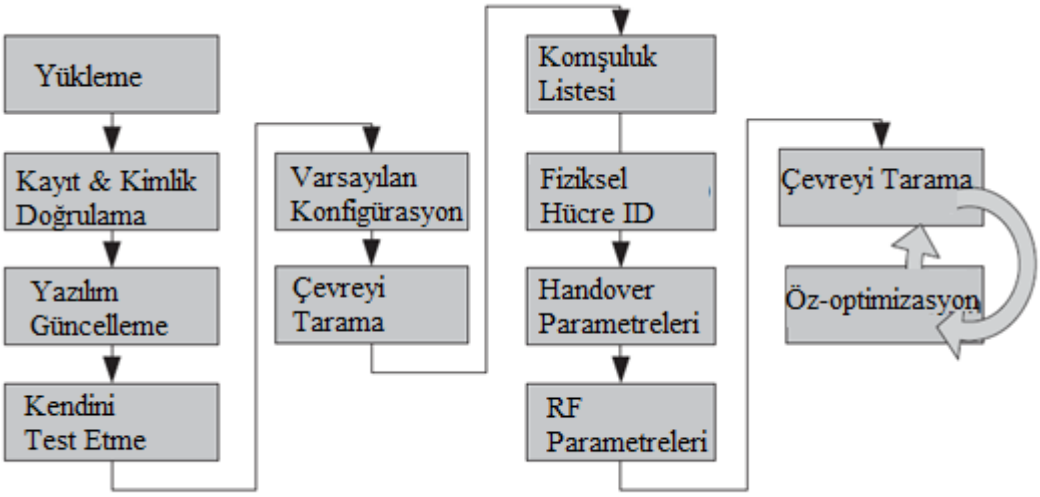
Aynı frekans kullanımının katmanlar arası ve aynı katmandaki istasyonlar arasında girişimde bulunduğunu biliyoruz. Oluşan bu girişimleri en aza indirmek için güç optimizasyon yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Güç optimizasyonunda otomatik algoritmaların çalıştırılması hiyerarşik hücrelerde optimum çözüm getirecektir.

5.2 UMTS Hiyerarşik Hücrelerde Öz-Düzenleme Fonksiyonu

Hiyerarşik WCDMA hücrelerde yaşanan en büyük zorluklar plansız dağılım ve femto/piko kurulumudur. Tak-çalıştır modunda, kendi kendine konfigüre olabilen ve

dolayısı ile girişimi göz önünde bulundurarak kendi kendine optimize olabilen ağ yapısı ancak öz-düzenleme fonksiyonu ile oluşturulabilinir.

Yeni bir femto/piko hücrenin kullanıcı tarafından satın alındığını veya operatör tarafından devreye alınacağı senaryosu düşünülürse; femto/piko istasyonun ayağa kalkması yani uzaktan yönetim sayesinde ağa kabul edilmesi ve varsa yeni yazılımını ve temel konfigürasyonunu yükleyebilmesi gerekmektedir. Şekil 5.3'te de görüleceği gibi öz-düzenlemeli bir femto/piko hücre temel konfigürasyonunu yükledikten sonra çevreyi ve RF bilgilerini dinlemelidir. Dinleme sonrasında temel parametrelerini optimize etmelidir [25].



Şekil 5.3 : Öz-düzenlemeli femto/pico hücre diyagramı [25]

Öz-optimizasyon fonksiyonu ile konfigüre edilebilecek parametrelere örnek olarak; hücre ID, lokasyon, yönlendirme alan kodu, çırpıcı kod, downlink/uplink frekansları, komşuluk tabloları, pilot ve data gücü verilebilir.

Çevre koşulları değiştiğinde konfigüre edilen parametreler güncellenir, böylece her ortama uygun adaptif hücre yapısı sağlanmış olur.

5.3 UMTS Hiyerarşik Öz-Düzenlemeli Ağda Güç Optimizasyonu

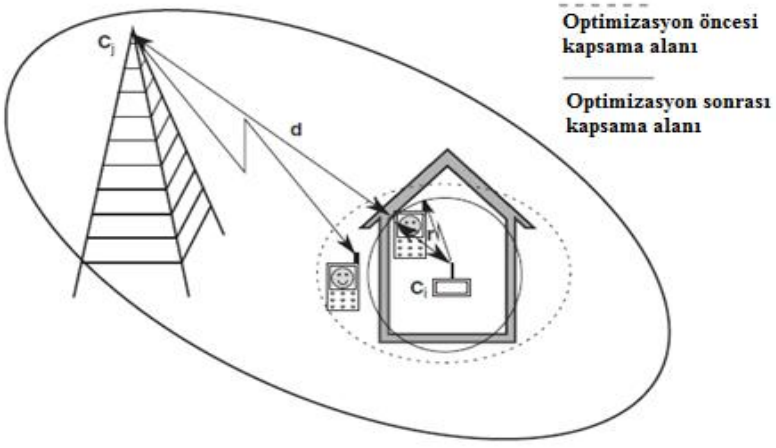
Öz-optimizasyon hiyerarşik hücre yapısında katmanlar arası (cross-layer) ve aynı katman (co-layer) girişimleri ile baş etmede çok önemli bir rol oynar. İletim gücünün

optimizasyonu ile girişim azaltıldığı gibi makro hücre-femto/piko hücre geçişleri azalır.

Pilot gücü (CPICH kanal gücü) hücrenin kapsama alanını belirleyen parametredir. CPICH kanal gücü, veri taşıyan trafik kanal gücünün yüzde onu kadar verilmelidir [24]. Güç optimizasyonlarında CPICH kanal gücü veya trafik kanallarının gücünün hesaplanması ve diğerinin de ona göre ayarlanması gerekmektedir. Claussen'in çalışmasında [29] WCDMA makro içinde yerleştirilen femto hücrelerde aynı frekans (co-channel) girişimini engellemek amacı bir algoritma geliştirmiştir. Downlinkte bu yaklaşım modeli ile hem pilot hem de veri kanallarının iletim gücü optimize edilecektir. Femto/piko hücrenin veri iletim gücü $P_{f,}$

$$P_f = min\ \{P_{makro} + G(\theta) - L_{makro}(d) + L_f(r), P_{max}\} \quad \textbf{(5.1)}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada P_{makro} makro hücrenin iletim gücünü, L_{makro} makro hücrenin hedef femto/piko hücrede (d mesafede) oluşan o andaki yol kaybı, G(Θ)anten kazancıdır. L_f ise femto/piko hücrenin hedef yarıçapında oluşan o andaki bina içi yol kaybıdır. Femto/piko hücrenin hedef yarıçapı *r*'yi 10m, P_{max}'ı 125mW olarak kabul edilmektedir. Şekil 5.4'te tasarlanan senaryonun bir örneğini görebilirsiniz [7].



Şekil 5.4 : Femto/piko hücrenin öz-optimizasyonu

Optimizasyonda femto/piko hücrenin yayabileceği maksimum güç 125mW ile sınırlandırılmıştır. Femto/piko hücrenin makro hücreye olan mesafesine göre

yayabileceği iletim gücü makro hücrenin en uç kesimlerinde birkaç μW'dan makro hücrenin merkezine yakın olanlar ile 125mW'a kadar yayın yapabilmektedir.

WCDMA hiyerarşik hücrelerde aynı frekansta yaşanılan en büyük sorunlardan birisi de kullanıcı cihazlarından kaynaklı oluşan girişimlerdir. Femto/piko hücrenin uç kısımlarında bir kullanıcı cihazı, istasyonuna erişebilmek ve yüksek hızlarda iletişim için gücünü maksimuma çekebilir. Bu durumda femto/piko istasyonuna rahatlıkla erişirken belki de ona çok yakın diğer ağlarda ciddi oranda girişime sebep olmaktadır. Her kullanıcının öz-optimizasyon ile bulunduğu konuma göre iletim gücünü optimize etmesi gerekmektedir.

Ho, Samuel ve Claussen'in çalışmasına göre CPICH kanal gücü (1)'deki ile eşdeğer denklemle $P_{f,pilot}$ değeri gibi optimize edilmiştir. Çalışmada hedeflenen öz-optimizasyon fonksiyonu ile hiyerarşik hücrelerin kapsama alanları optimize edilmeye çalışılmıştır [4].

Uplink'te kullanıcı cihazlarının iletim gücünün öz-optimizasyonu yapılacaktır. Uplink maksimum iletim gücü de 125mW olarak alınmıştır. Bu şekilde makro hücrenin uplink değerinde beklenmedik bir artış olmayacaktır. Uplink'te yapılan optimizasyonda makro hücrede femto/piko hücreler tarafından oluşturulmasına izin verilen maksimum girişim değeri $P_{interference,max}$ femto/piko hücre sayısına n_{femto}'ya bölünmüş, femto/piko hücre başına düşen maksimum girişim gücü çıkarılmıştır. $L_{macro,\ measured}$ ise kullanıcı cihazının makro hücreye olan o andaki yol kaybıdır. Kullanıcı cihazının iletim gücü,

$$P_{UE}=min\left\{\frac{P_{interference,max}}{n_{femto}}+L_{macro,measured},\ P_{UE,max}\right\} \qquad \textbf{(5.2)}$$

şeklinde hesaplanır. Bu teknikte izin verilen girişim değeri anlık girişim durumu göz önüne alınarak hesaplanmış ve Bölüm 6'da detayları verilecek olan simülasyonda kullanılmıştır. [30].

6. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Tez çalışması kapsamında UMTS (WCDMA) hiyerarşik öz-düzenlemeli hücresel ağ simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon aracı olarak OPNET (Optimized Network Engineering Tool) kullanılmıştır. Bu bölümde öncelikle kullanılan simülasyon aracı OPNET hakkında bilgiler verilecek, daha sonra tez çalışması kapsamında yapılan simülasyonların senaryoları ve çıktıları hakkında bilgiler verilecektir.

6.1 OPNET (Optimized Network Engineering Tool)

Sistem girdileri çıktılara dönüştüren birbirleriyle ilişkili faaliyetler ve öğlerdir. Modelleme bir sistemin matematiksel, algoritmik veya davranışsal özelliklerinin detaylı açıklamasıdır. Simülasyon ise bir sistemin modelinin gerçeğine uygun olarak tasarlanmasını, tasarlanan modelin çalıştırılarak sistemin davranışlarının incelenmesi sürecidir. Modellemenin amacı, sistemi gerçekte oluşturmaya gerek kalmaksızın anlaşılmasına, tasarlanmasına, çalışmasına, analizine, kontrolüne yardım etmek ve bunları detayları ile anlamaktır.

Benzetim (Simülasyon) ise bir nesnenin modelidir. Simülasyon gerçek bir sistemin modelinin tasarımı, işletilmesi, deneyler yapılmasıdır. Bilgisayarda sayısal olarak yapılan simülasyonlara bilgisayar simülasyonu adı verilir. Bilgisayar benzetimleri sürekli olay ve ayrık olay olmak üzere iki tiptir. Sürekli olayda, olaylar zamana bağlı olarak süreklidir, zaman ilerledikçe işlemlerde zaman içinde değişir. Ayrık olay ise, sayısal veri iletişim sistemleri, bilgisayar ağları, mesajların üretimi ve dağıtımı gibi durumlar gerçekleştiğinde modüllerin çalıştırıldığı ve benzetim saatinin ilerlediği simülasyonlardır [31].

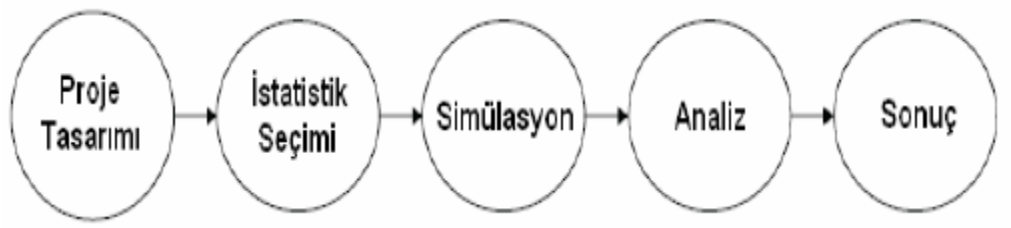
Dünyada yaygın olarak kullanılan ağ simülasyon araçlarına örnek olarak; OPNET, Network Simulator, J-Sim, OMNeT++, SWANS++, GrooveNeT, TRANS, NetSim verilebilir. OPNET 1986'da Alain Cohen adlı 20 yaşında bir MIT öğrencisi tarafından geliştirilmiştir. Tüm dünyada ticari amaçla kullanılan simülasyon aracı birçok üniversitede de araştırma amaçlı kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında yapılan modelleme ve benzetim örneklerinde OPNET 14.5 (Educational Version) simülasyon aracı kullanılmıştır.

OPNET, 4 farklı simülasyon tekniğini desteklemektedir. Bunlar Ayrık Olay Simülasyonu (Discrete Event Simulation (DES)), Akış analizi (Flow Analysis), ACE Quick Predict ve Hibrid Simülasyon'dur.

6.1.1 Projeler ve senaryolar

Projede ağla ilgili genel bilgiler toplanır. İstenilen senaryo ortamı yerleşke, ofis ya da harita üzerinden herhangi bir yer seçilebilir ve birebir geçek boyutlarda bir ağ oluşturulabilir. Bir proje içerisinde birden fazla senaryo oluşturulabilir ve bu senaryolar beraber yönetilebilir ve istatistiki verileri karşılaştırılabilir. OPNET akış diyagramı Şekil 6.1'deki gibidir.

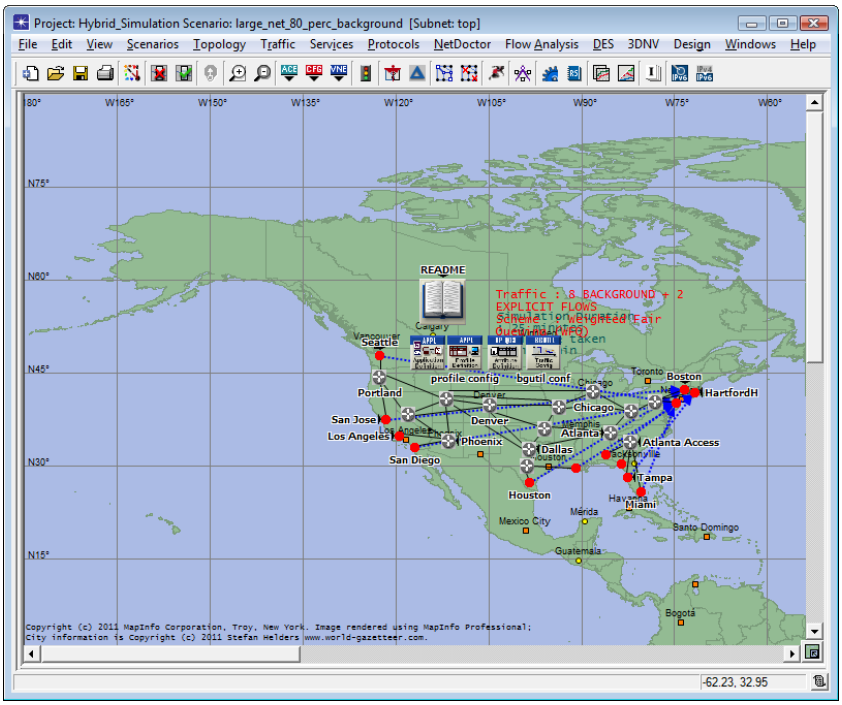


Şekil 6.1 : Opnet iş akışı

OPNET'te ağ modeli yaratmaya Proje Editor'ü ile başlanır. Proje editöründe ağ elemanı (cihaz, link vb.) yaratılabilir, istenilen yetenekler objelere atanır ve istatistik toplanabilir.

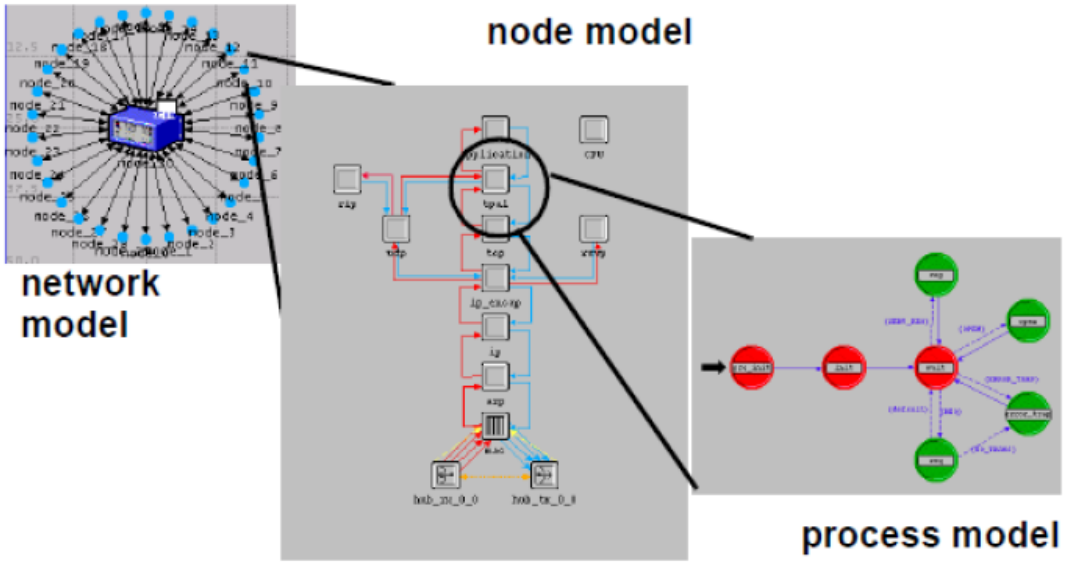
Node Editör ise Proje Editöründe oluşturulan ağ elemanlarının (node) modellerini oluşturmak için kullanılır. OPNET node modelleri modüler yapıdadır. Modüller birbirine bağlanarak node'lar oluşturulabilir.

Node modelde yaratılan modüllerin işlem diyagramları bütünüdür. Her durum veya bir geçiş için yapılan işlemler gömülü C veya C++ kod blokları açıklanmıştır. Şekil 6.3'de Project-Node-Process model örneği görülmektedir.



Şekil 6.2 : OPNET project editör ekran örneği

OPNET'de hemen hemen her ağ teknolojisi bulunmaktadır. Ağ elemanları kütüphanesinde dünyada yaygın kullanılan markalar, modellerde rahatlıkla bulunabilir.

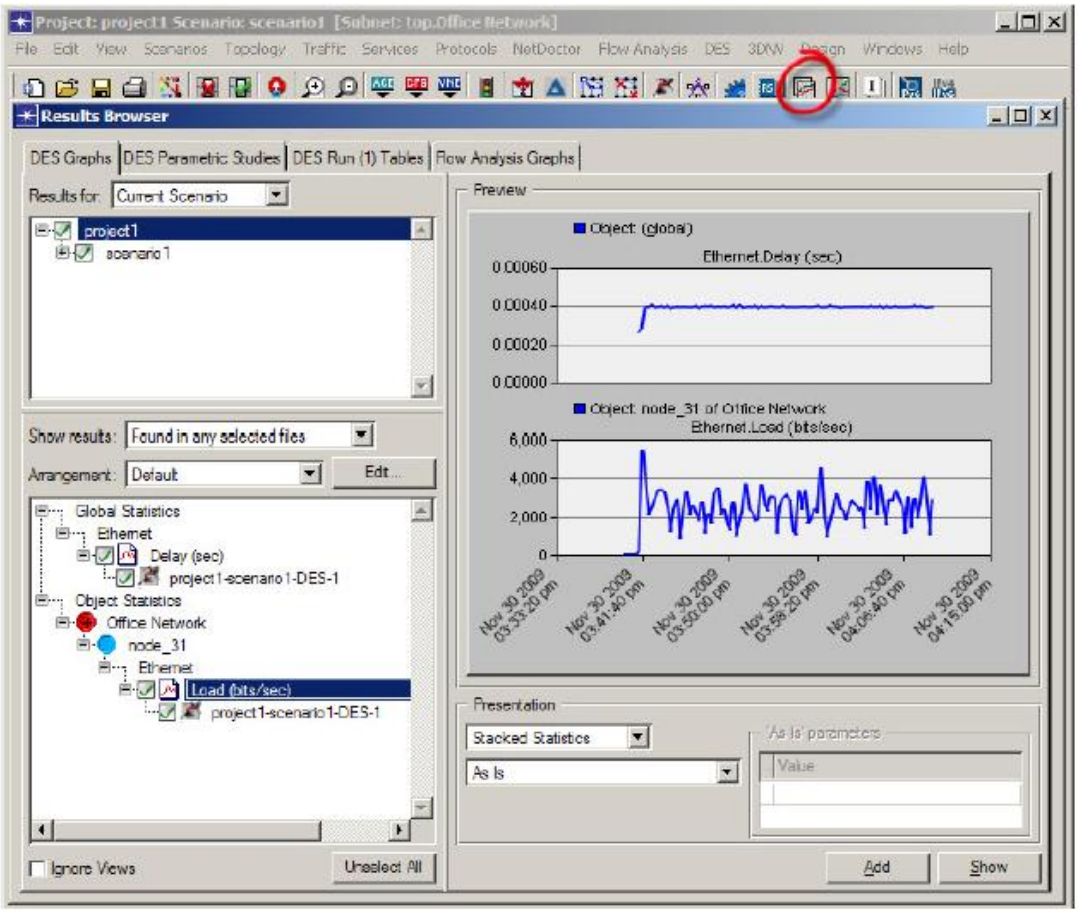


Şekil 6.3 : OPNET project-node-process model örneği [32]

Node'lar arasında linkler oluşturulabilir ya da kablosuz haberleşmeleri sağlanabilir. Linkler node'ların özelliklerine uygun olarak seçilmelidir.

OPNET'de OSI (Open Systems Interconnection) katmanlarından fizikselden, uygulamaya kadar hepsini ayrı ayrı konfigüre edilebilir.

OPNET'de oluşturulan senaryolar istenilen zaman (saniye, dakika, saat, gün) alıştırılabilir. Oluşturulan senaryolarda genel ağ ile ilgili, ağ elemanları ile ilgili istatistiki bilgi toplanabilir, görsel yada tablo halinde bilgiler çekilebilir. Bu sebeple senaryolar çalıştırılmadan önce istenen istatistiki parametreler işaretlenmelidir. Simülasyon istenilen kadar çalıştıktan sonra istatistiksel veriler incelebilir.



Şekil 6.4 : OPNET istatiksel veri çıktısı

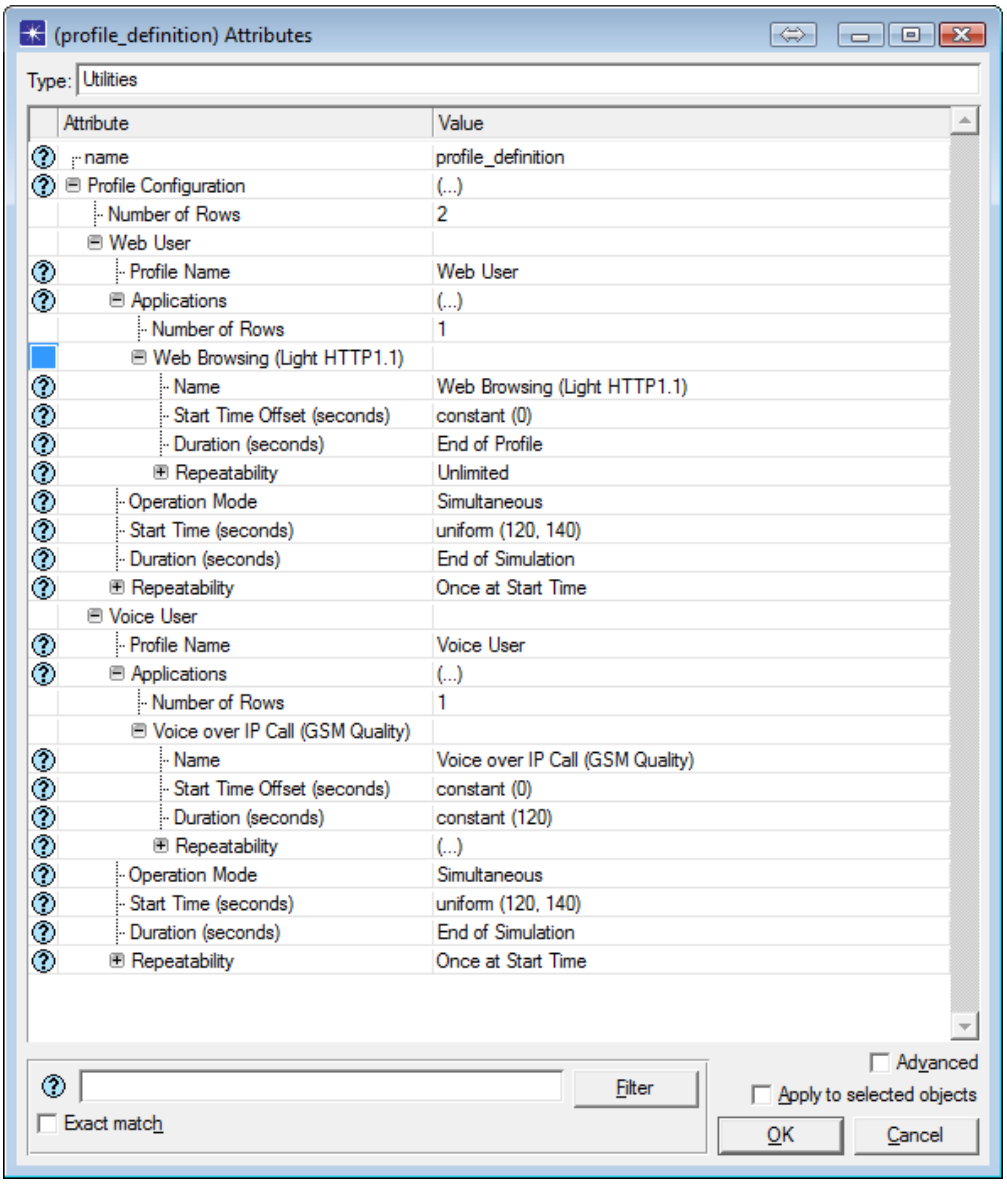
6.2 Öz-Düzenlemeli UMTS Hücresel Ağ Simülasyon Ayarları

WCDMA sistemlerde etkin olan ana parametrelerin ayarları (modülasyon, iletim gücü, taşıyıcı frekansı, yayma kod, yayma faktörü vb.) ve UMTS yapısında kullanılan ağ elemanlarının ayarları (RNC, BS, UE, SGSN ve GGSN) bu bölümde anlatılmıştır. Ayrıca senaryoların özellikleri, kullanılan uygulamalar ve profiller de detaylı olarak incelenmiştir.

6.2.1 Profil ve uygulama tanım nesnesi

Uygulama tanım nesnesi (Application Definition Object) OPNET simülasyonların kullanılacak olan uygulamaları seçildiği ve bu uygulamaların konfigürasyonlarının yapıldığı nesnedir. Profil tanım nesnesi ise tanımlanan uygulamaları kullanarak belirli bir kullanıcı profilleri oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu profiller de tanımlanan kullanıcılara atanmaktadır

Öz-düzenlemeli hücresel ağ simülasyonunda uygulama olarak Voice (GSM quality) ve Web Browsing uygulamaları kullanılmıştır. Bu uygulamaların detayları ve oluşturulan profiller Şekil 6.5'deki ekran çıktısındaki gibidir.

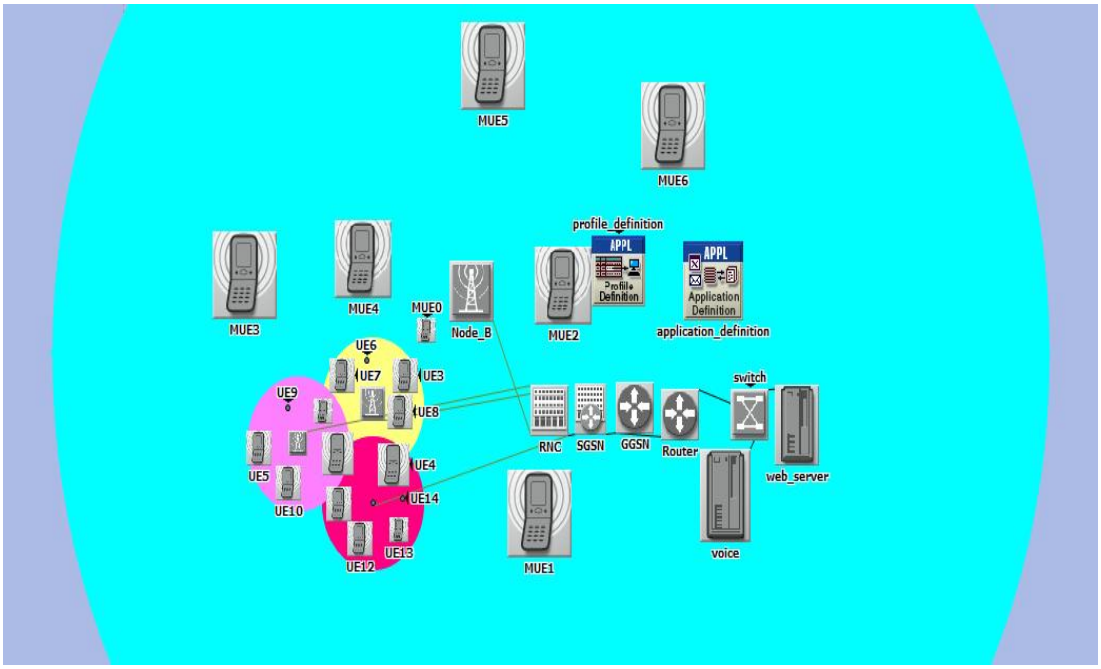


Şekil 6.5 : Profil tanım özellikleri ekran çıktısı

Şekil 6.5'te görülen uygulama ve profiller oluşturularak aşağıdaki bölümde simülasyon senaryoları üzerinde incelemeler yapılacaktır.

6.3 Simülasyon Senaryoları

Simülasyon senaryomuzda WCDMA hiyerarşik hücre planlaması yapılmıştır. Bu kapsamda bir adet makro hücrenin içerisine yerleştirilmiş üç adet piko hücre bulunmaktadır. Piko hücrelerde ve makro hücrede, yoğun ses uygulaması kullanan kullanıcılar yerleştirilmiştir. Simülasyon topolojisi Şekil 6.6'da görülmektedir.



Şekil 6.6 : WCDMA Hiyerarşik Hücre Topolojisi

Makro hücre kapsama alanının çapı yaklaşık 1 km, içindeki piko hücrelerin kapsama alanının hedef çapı 20m'dir. Piko hücrelerin yoğun trafiğin olduğu aynı bina içinde farklı bölgeleri kapsamak amacıyla kurulduğu varsayılmıştır. Piko hücrelerin ve kullanıcılarının optimizasyon algoritmasında bina içinde olduklarından yol kayıp modelleri de simülasyonda bina içi olarak tasarlanmıştır.

Yapılan UMTS ağ simülasyonunda ana omurga cihazlar olarak RNC, SSSN ve GGSN kullanılmıştır. UMTS RNC cihazı (umts_rnc_ethernet_atm_slip) hem seri, hem atm hem de ethernet çıkışına sahiptir. RNC cihazına bir makro üç adet de piko hücre bağlanmıştır. UTRAN'ın bir parçasını oluşturan RNC'nin temel görevi baz

istasyonlarını yönetmek ve ana omurgaya bağlamaktır. UMTS RNC'nin kanal konfigürasyonu Çizelge 6.1'deki gibidir.

Çizelge 6.1 : UMTS RNC kanal konfigürasyonu

UMTS RNC Common & Shared Channel Configuration Attributes	**Values**
FACH DL Transmission Time Interval (ms)	10
FACH DL Type of Channel Coding	Convolutional
FACH DL Coding Rate	Rate 1/3
FACH DL Rate Matching Attribute	256
FACH DL CRC Size (bits)	16
FACH DL Block Error Rate	0.01
FACH DL Max Number of Concurrent RABs	128
FACH Scheduling Weights	Default
FACH UE Type	C-RNTI
RACH UL Transmission Time Interval (ms)	10
RACH UL Type of Channel Coding	Convolutional
RACH UL Coding Rate	Rate 1/3
RACH UL Rate Matching Attribute	256
RACH UL CRC Size (bits)	16
RACH UL Data Rate (Kbps)	960.0 Kbps
RACH UL ASC Parameters	Default
RACH UL AICH Transmission Timing	Default
DSCH UL & DL Transmission Time Interval (ms)	10
DSCH UL & DL Type of Channel Coding	Convolutional
DSCH UL & DL Coding Rate	Rate 1/3
DSCH UL & DL Rate Matching Attribute	256
DSCH UL & DL CRC Size (bits)	16
DSCH Data Rate (Kbps)	1920.0 Kbps
DSCH Block Error Rate	0.01

UMTS SGSN (Serving GPRS Support Node) ağ elemanı olarak umts_sgsn_ethernet_atm9_slip modeli kullanılmıştır. Bu cihazın da ethernet, atm ve seri çıkışı mevcuttur. UMTS GGSN (UMTS Gateway GPRS Support Node) modeli de ana omurga cihazlarındandır. Seri çıkışları bulunan umts_ggsn_slip8 modeli kullanılmıştır. Seri çıkışlar SGSN ve harici bir ağa dahil olmak üzere kullanılmaktadır. SGSN üzerinde GTP protokolü çalıştırılmaktadır. Bu protokolle GTP tüneller SGSN ve GGSN arasında kurulmakta ve UMTS trafiği taşınmaktadır. SGSN'de GTP, GGSN ID, zamanlayıcılar ve kalite (ToS ve QoS) parametreleri konfigüre edilebilmektedir.

OPNET kütüphanesinde bulunan baz istasyonlarında atm, ethernet teknoloji çeşitliliği mevcuttur. Senaryoda kullanılan baz istasyonları atm teknolojisi ile çalışmaktadır. Öz-düzenlemeli yapıda önerilen algoritma gereği UMTS Node-B'lerin güç parametreleri optimize edilecektir. Makro hücrenin baz istasyon konfigüre edilmiş parametreleri Çizelge 6.2'deki gibidir.

Çizelge 6.2 : Makro baz istasyonu UMTS parmetreleri

Node_B UMTS Parameter	**Value**
Serving RNC ID	0
UMTS CPICH Transmission Power	0.1
UMTS Cell ID	3
UMTS Cell Pathloss Parameter	Outdoor to Indoor Pedestrian Environment
RR Modulation	QAM64
RR Channel Bandwidth	3840kHz
RR Channel Min Frequency	1920 MHz
RT Modulation	QAM64
RT Channel Bandwidth	3840 kHz
RT Channel Min Frequency	2110 MHz

UMTS baz istasyonlarında RT yönünde 252, RR yönünde ise 4 adet kanalla iletim yapılmaktadır. Bu trafik kanallarının her birinin iletim gücü, band genişliği, minimum frekans, band genişliği gibi parametreleri konfigüre edilmektedir.

Öz-düzenlemeli yapıda, senaryoya bağlı olarak öz-optimizasyon ile hesaplanan değerler, kanallara verilerek optimizasyon yapılmaktadır.

UMTS kullanıcı cihazları ise atanan profiller ile özellik kazanmakta, aşağıdaki Çizelge 6.3'deki UMTS parametrelerin de her bir cihazda konfigüre edilmesi ile hücresini en algıladığı en yüksek CPICH (pilot) gücüne bakarak seçer ve hücrede iletişim kurmaya başlar.

6.3.1 Aynı frekans kullanımlı hiyerarşik hücre senaryosu

Bu bölümde önerilen güç optimizasyon algoritmaları piko hücre istasyonlarında ve piko hücre kullanıcılarında iletim yönünde çalıştırılmıştır. Güç optimizasyonu için önerilen fonksiyon (denklem 5.1) gereği her bir piko hücre istasyonu öncelikle lokasyon bilgisine bakmakta ve L_{makro} makro hücrenin hedef femto/piko hücrede (d mesafede) oluşan o andaki yol kaybını hesaplamaktadır.

Çizelge 6.3 : Kullanıcı cihazı UMTS parametreleri

UE UMTS Attributes	**Values**
UMTS GMM Timers	Default
Higher Layer Data to Logical Channel Mapping	ToS_Based
Logical Channel Definitions	Default
Queuing Scheme	Weighted Round Robin
Logical Signaling Channel Definitions	Default
UMTS PDCP Compression	Disable
UMTS QoS Profile Configuration	Default
UMTS RACH QoS to ASC Mapping	Default
UMTS RLC Processing Time	0.0015
UMTS UE Cell State	CELL_DCH
RR Modulation	QAM64
RR Channel Bandwidth	3840kHz
RR Channel Min Frequency	2110 MHz
RT Modulation	QAM64
RT Channel Bandwidth	3840 kHz
RT Channel Min Frequency	1920 MHz

Ayrıca femto/piko hücrenin hedef yarıçapında oluşan o andaki bina içi yol kaybını da L_f'nı da öngörerek, maksimum 125mW olacak şekilde kendi gücünü optimize etmektedir.

Piko hücrede bulunan kullanıcılar ise makro hücrelerde lokasyon bilgilerini kullanarak makro hücre ile aralarındaki yol kaybını hesaplamaktadırlar ve denklem

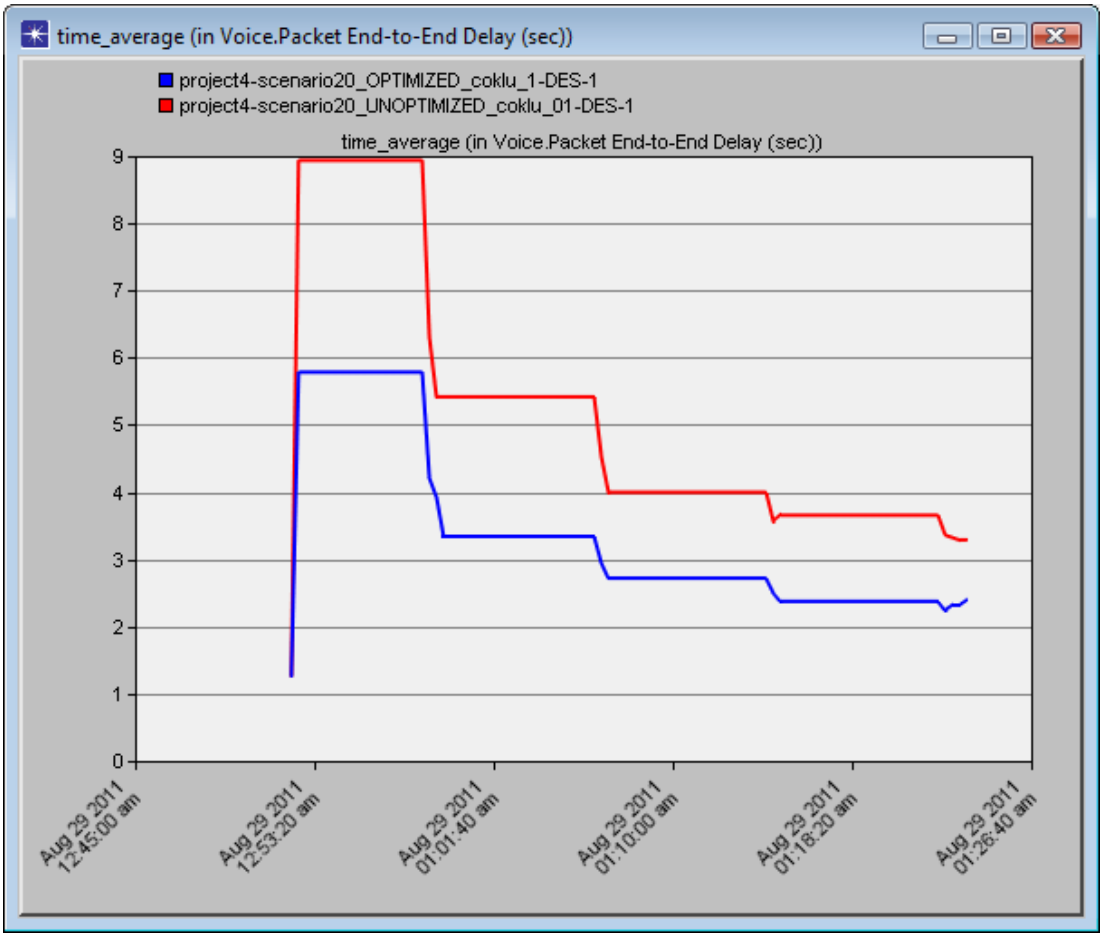
5.2 gereği makro hücrede tolare edilebilen maksimum girişim miktarını da kullanarak iletim güçlerini optimize ederler.

Simülasyon gereği optimize olmuş ağ elamanlarının güç değerleri Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Güç optimizasyonu öncesi ve sonrasındaki değerler

İstasyon Adı	**Optimizasyon Öncesi İletim Gücü**	**Optimizasyon Sonrası İletim Gücü**
Node_B (Makro Hücre)	20W	20W
Node_B_0	1W	125mW
Node_B_1	1W	20.4mW
Node_B_2	1W	12.21mW
UE2	0.2W	81.2mW
UE3	0.2W	10.62mW
UE4	0.2W	62.69mW
UE5	0.2W	125mW
UE6	0.2W	25.30mW
UE7	0.2W	51.54mW
UE8	0.2W	24.2mW
UE9	0.2W	125mW
UE10	0.2W	125mW
UE11	0.2W	125 mW
UE12	0.2W	125 mW
UE13	0.2W	125 mW
UE14	0.2W	93.58 mW
UE15	0.2W	101.01 mW

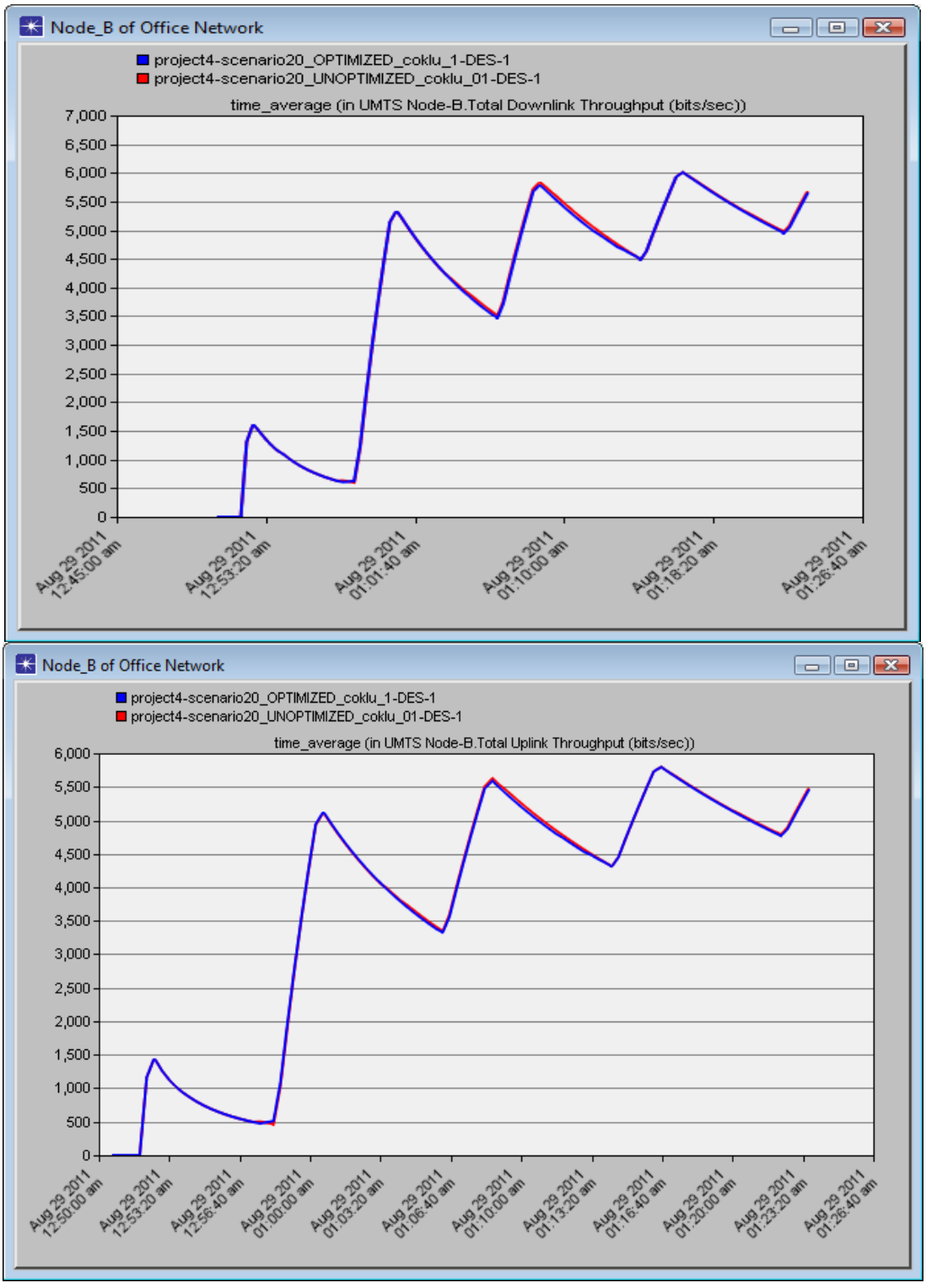
Piko hücreler baz istasyonları ve kullanıcılarının tamamında optimizasyon öncesinde 5800mW güç tüketimi var iken optimizasyon sonrasında 1256mW güç tüketimi oluşmaktadır. Yapılan güç optimizasyonu ile %78 oranında güç tasarrufu yapılmıştır.



Şekil 6.7 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikme karşılaştırmalı (end to end delay, mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Yapılan optimizasyon öncesinde ve sonrasında alınan bütün makro hücrenin (pikolar da dahil olmak üzere) ses uygulaması için ölçülmüş gecikme değerleri Şekil 6.7'de görülmektedir. Başarım ölçüt kriterlerinden birisi olan ses uygulaması gecikme değeri, bütün makro hücre içerisinde (piko hücreler de dahil olmak üzere) kullanıcı cihazlarından yapılan ses uygulaması gecikme değerleri (saniye cinsinden) toplam olarak verilmiştir.

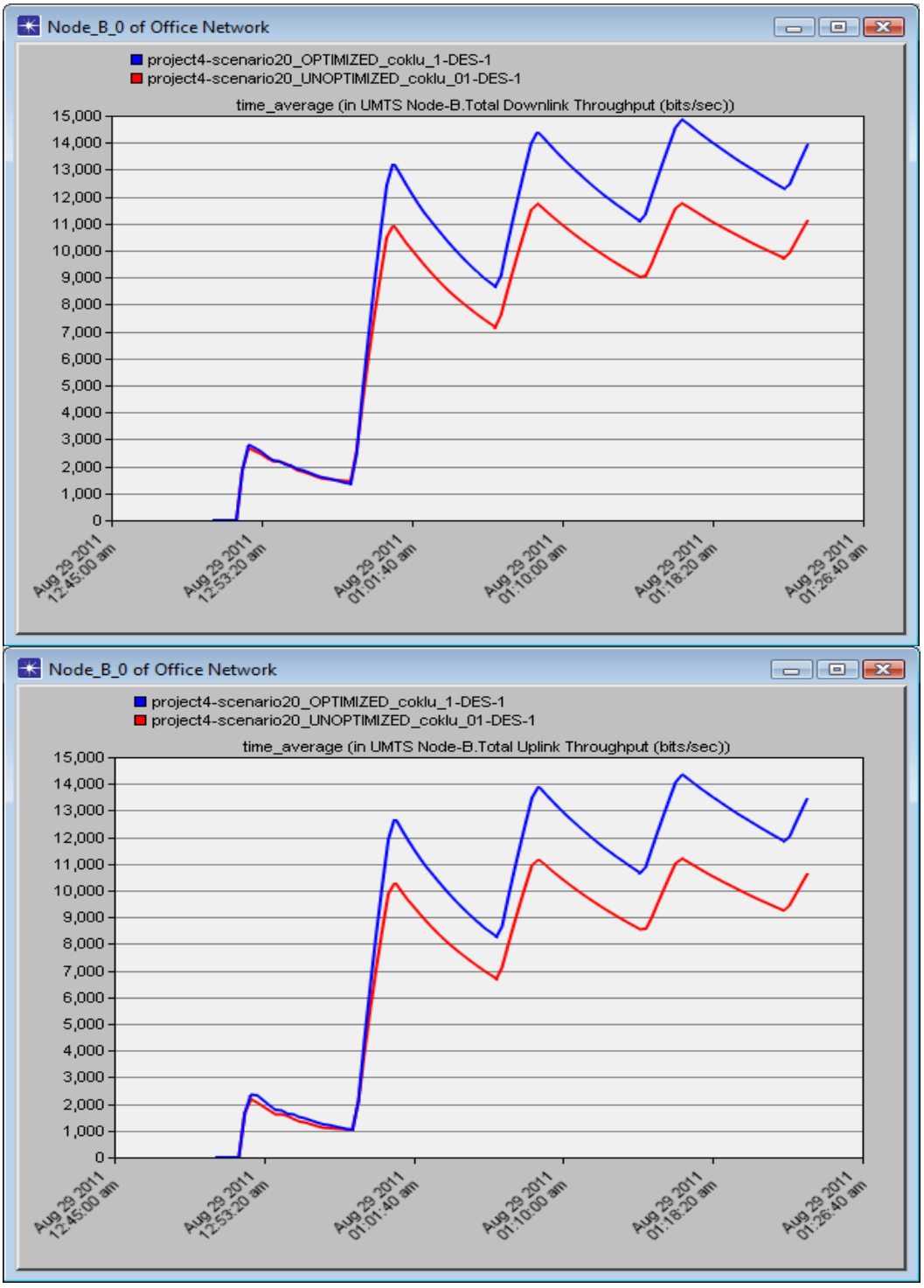
Şekil 6.7'den de görüldüğü üzere optimizasyon öncesinde ve sonrasında tüm makro hücre içerisindeki toplam ses uygulaması gecikme değerleri arasında ciddi oranda bir iyileşme görülmüştür.



Şekil 6.8 : Makro hücrenin sırası ile uplink ve downlink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

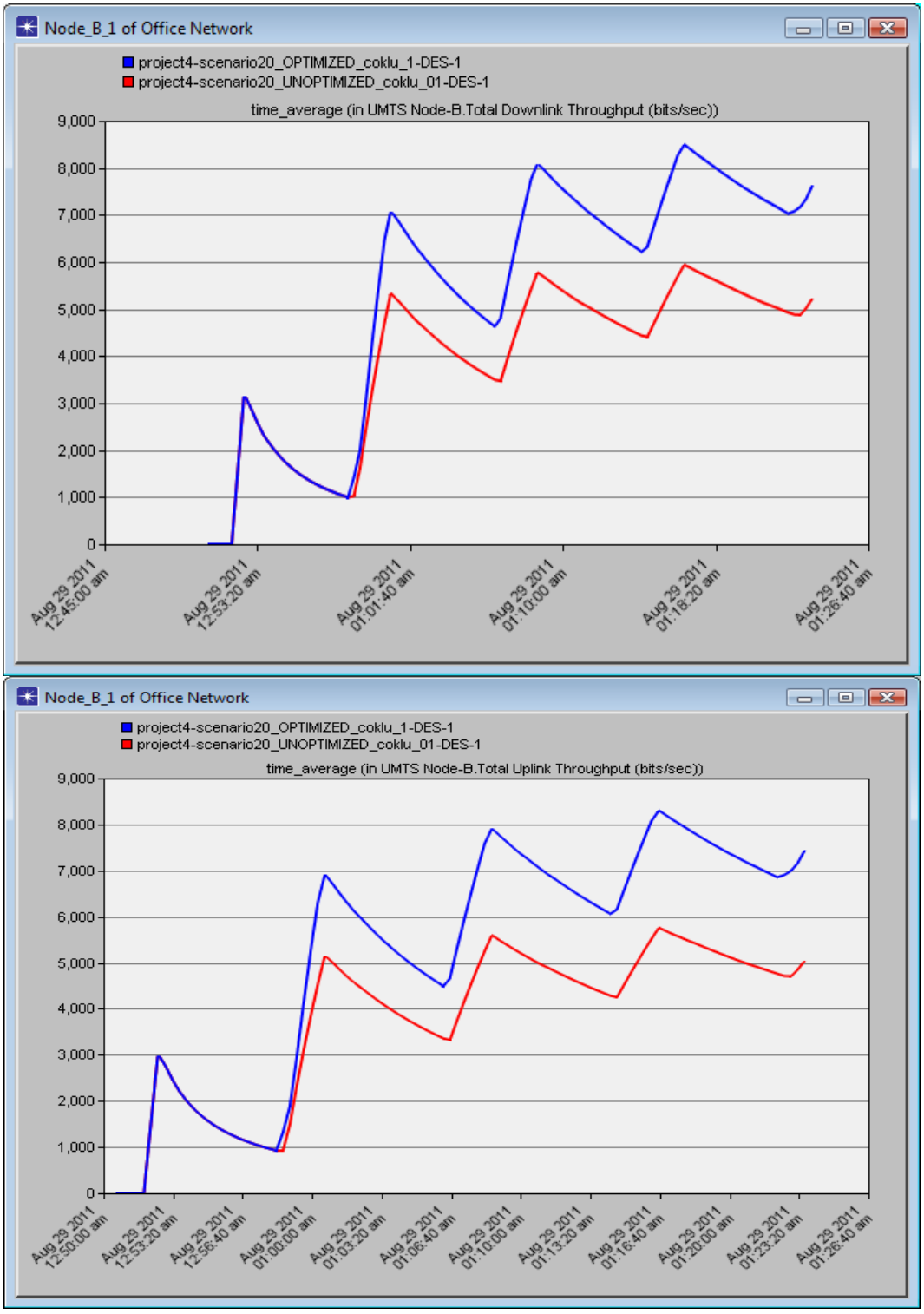
Senaryolarda başarım ölçütü olarak ses uygulaması gecikme değerlerinin yanı sıra hücre throughput değerleri de alınmaktadır.

Makro hücre istasyonun optimizasyon öncesinde ve sonrasında alınan throughput değerleri Şekil 6.8'de görüldüğü gibidir. Görüldüğü üzere makro hücre baz istasyonunda throughput değerlerinde bir iyileşme görülmemiştir.



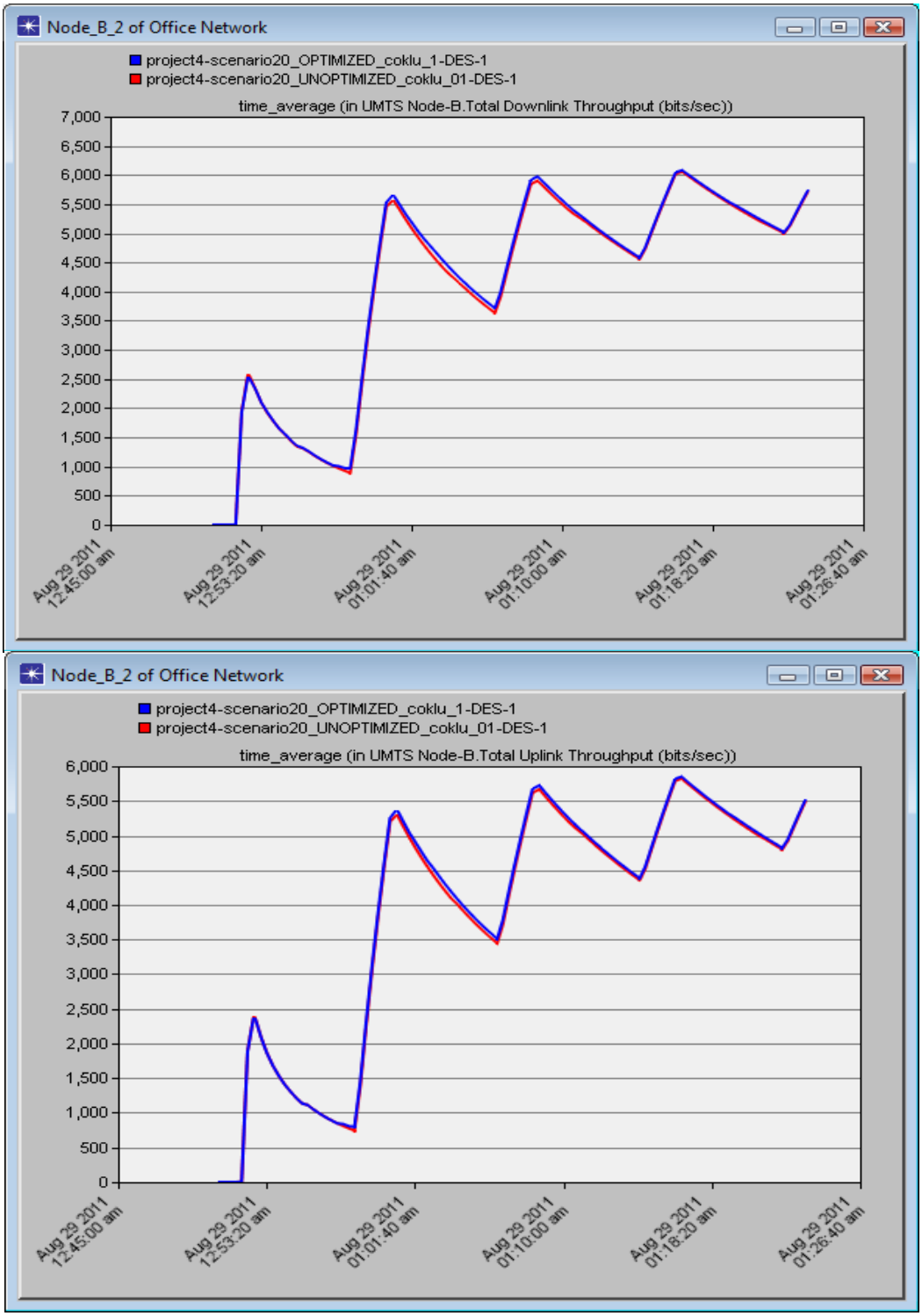
Şekil 6.9 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Piko hücre-0 istasyonunun optimizasyon öncesinde ve sonrasında alınan throughput değerleri Şekil 6.9'de görüldüğü gibidir. Hem downlink hem de uplinkte ciddi oranda bir iyileşme görülmüştür.



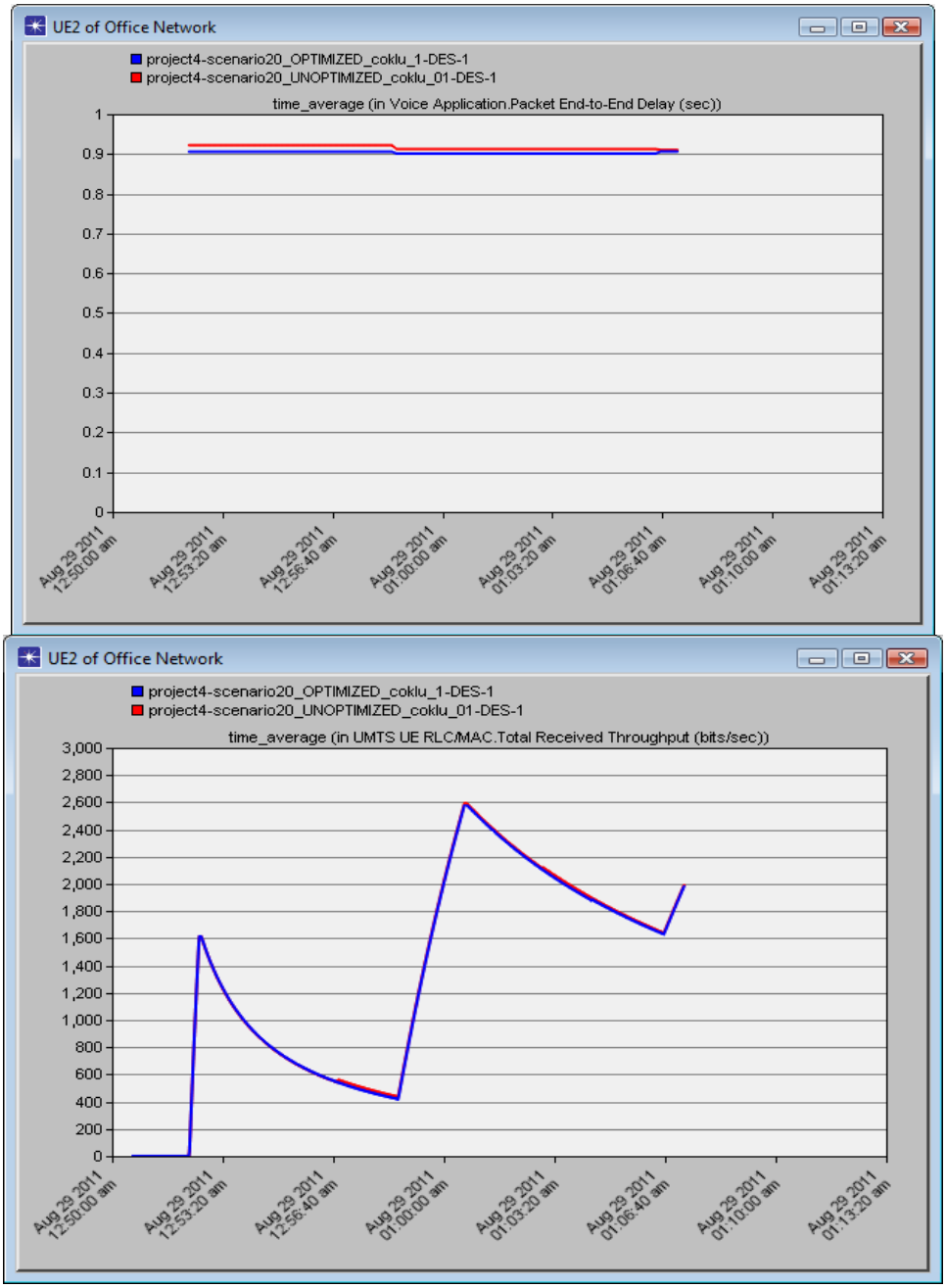
Şekil 6.10 : Node_B_1'ın (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Piko hücre-1 istasyonunun optimizasyon öncesinde ve sonrasında alınan throughput değerleri Şekil 6.10'de görüldüğü gibidir. Hem downlink hem de uplinkte ciddi oranda bir iyileşme görülmüştür.



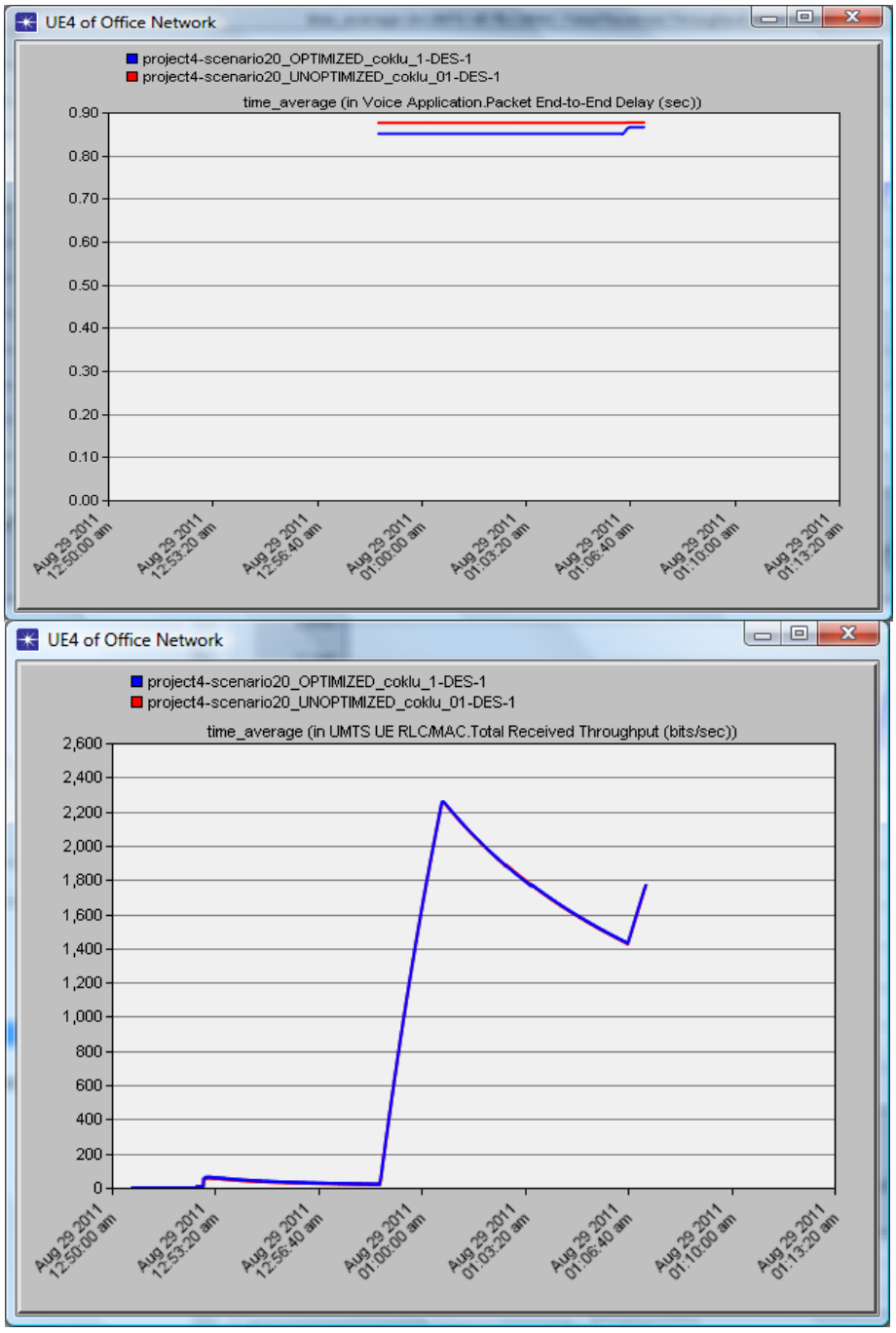
Şekil 6.11 : Node_B_2'ın (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Piko hücre-2 istasyonunun optimizasyon öncesinde ve sonrasında alınan throughput değerleri Şekil 6.11'de görüldüğü gibidir. Makro hücreye en uzak noktada bulunan bu hücrede ciddi bir enerji tasarrufu olmasına rağmen throughput değerleri aynı kalmıştır. Bu senaryoda piko hücre kullanıcılarına da güç optimizasyonu yapıldığından aşağıda bazı örnek kullanıcıların throughput ve ses uygulaması gecikme değerlerine bakılmıştır



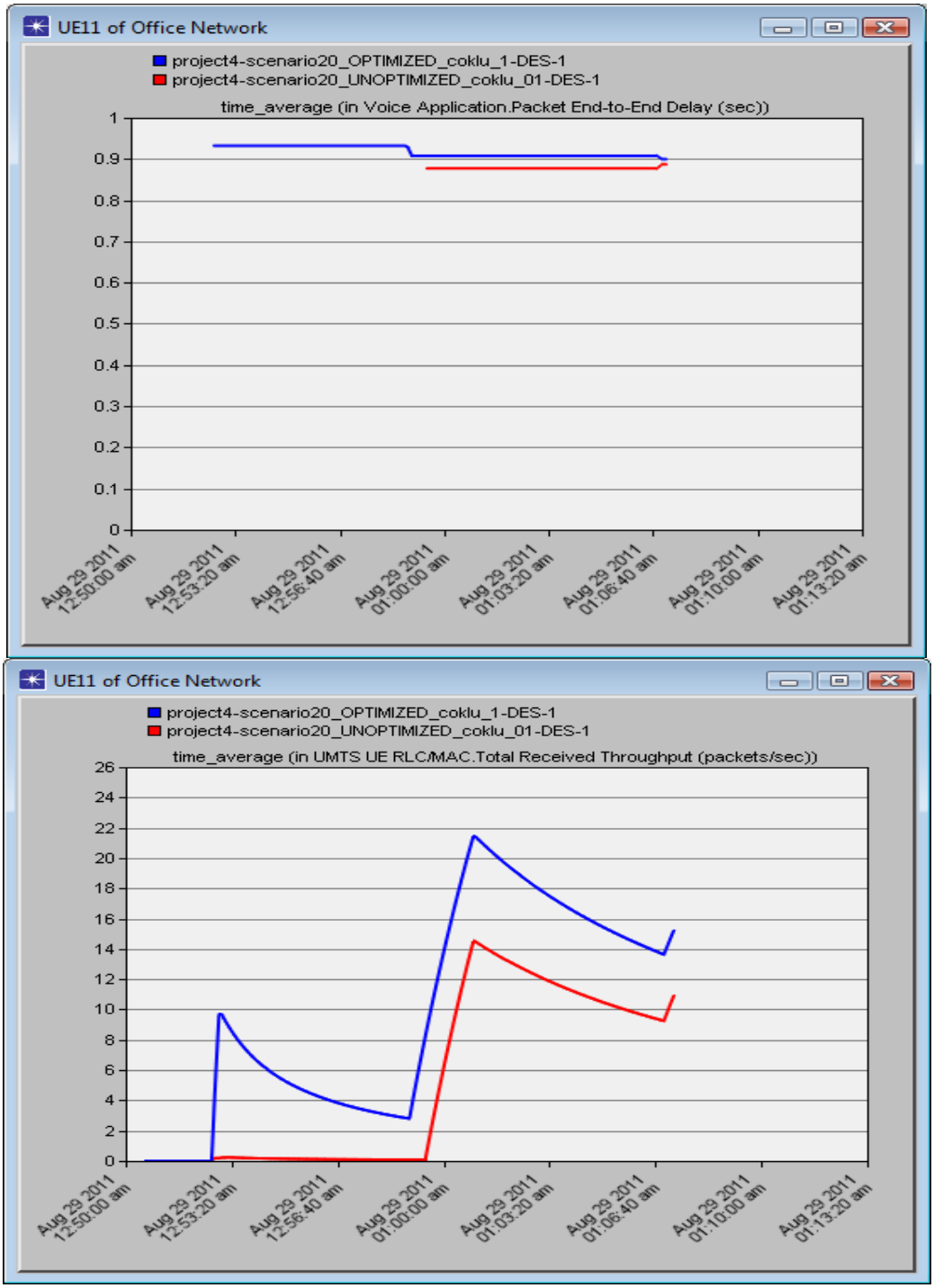
Şekil 6.12 : UE-2 (üç piko hücrenin ortasında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Daha çok kritik noktalarda bulunan kullanıcılardan seçilen sonuçlar Şekil 6.12, 6.13, 6.14, 6.15'de incelenmiştir. Şekil 6.12'de üç piko hücre arasına koyulmuş UE2'nin, aslında kritik bir noktadaki kullanıcının throughput ve gecikme değerlerine bakılmıştır. UE2 kullanıcısının gecikme değerinde iyileşme görülmüş, throughput değeri sabit kalmıştır.



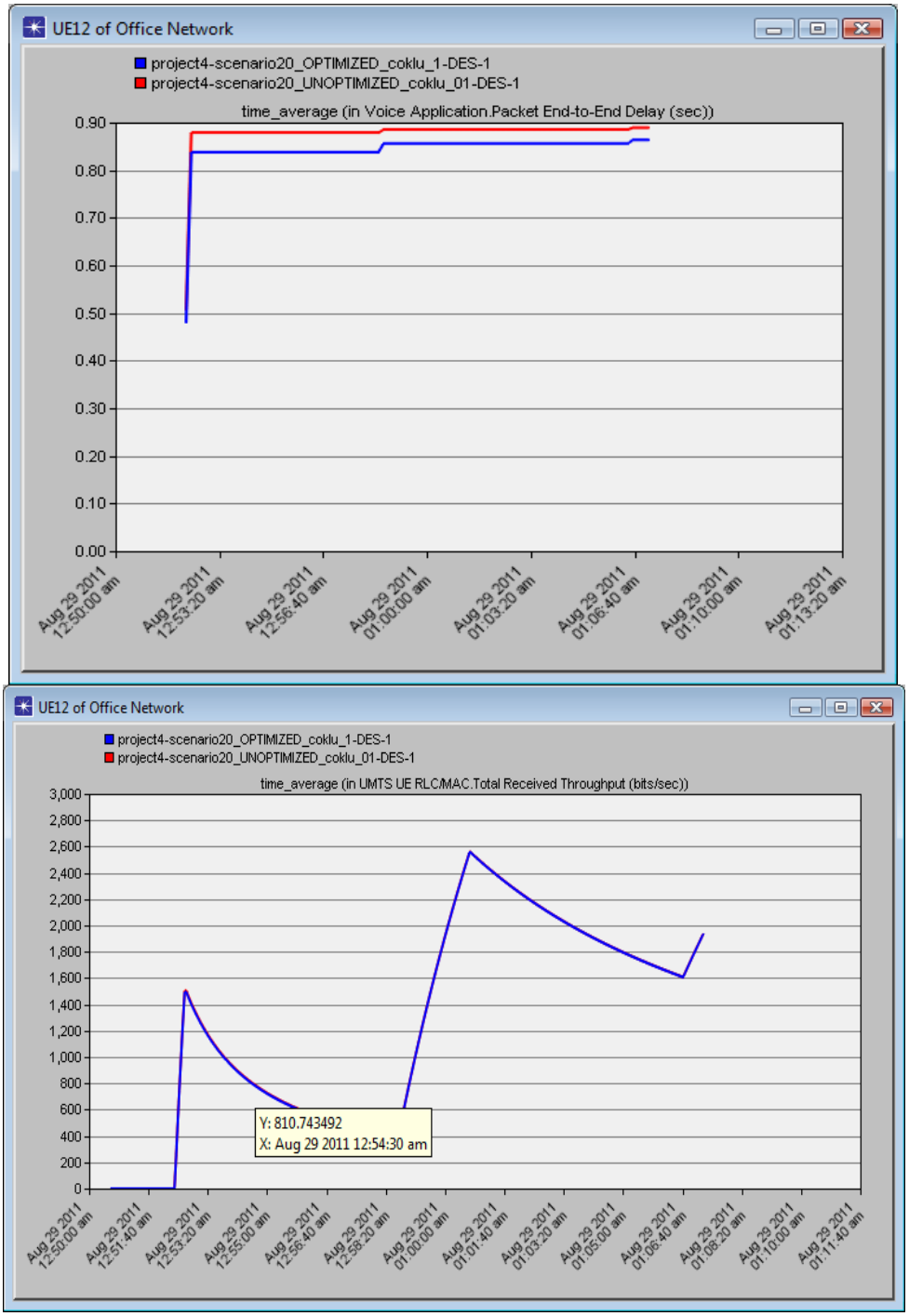
Şekil 6.13 : UE-4 (piko hücre-0 ve 1 arasında, makro hücreye yakın) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Yine kritik kullanıcılardan, piko hücre 1'in kapsama alanında, piko hücre 0' a ve makro hücreye yakın olan UE4 incelenmiştir. UE4'ün Şekil 6.13'de throughput ve gecikme değerlerinin ekran çıktısı alınmıştır. Bu kullanıcıda da gecikme değerinin ve ciddi oranda iyileşme görülmüştür.



Şekil 6.14 : UE-11 (makro hücreye uzak, piko1 ve 2 arasında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Bir başka kullanıcı olan U11'in (piko hücre-1-2 arasında, makro hücreye uzak) throughput ve gecikme değerleri 6.14'de verilmiştir. Makro hücreye uzak olan bu kullanıcıda da gecikme değerinde uzama fakat throughput değerlerinde ciddi oranda iyileşme görülmüştür.



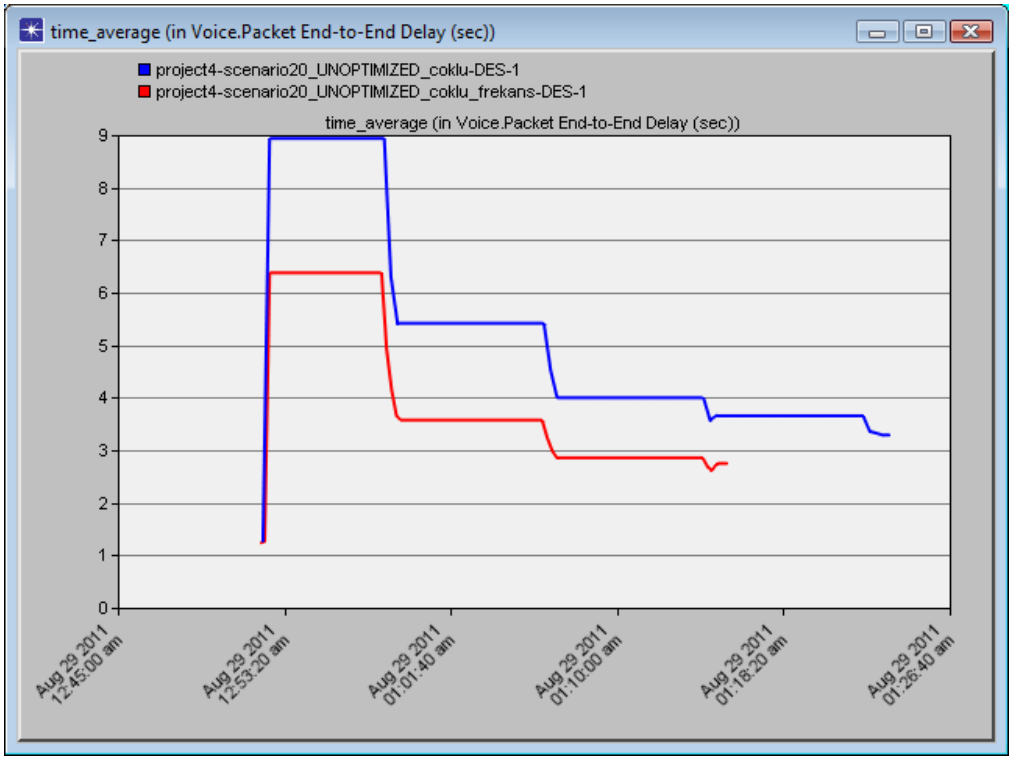
Şekil 6.15 : UE-12'nin (piko hücre-1 uç noktalarında) ses uygulaması uçtan uca gecikme değeri ve alınan throughput değeri (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış senaryo)

Şekil 6.15'te de, piko hücre 1'in uç sınırlarında olan UE12'nin throughput ve gecikme değerleri incelenmiştir. Bu kullanıcıda optimizasyon sonrasında gecikme süresinde iyileşme görüşmüştür.

Kritik noktalardaki kullanıcıların sonuçlarında ve makro/piko istasyonlarında olduğu gibi kullanıcıların da genel itibari ile gecikme süreleri düşmüş, throughput değerleri yükselmiştir.

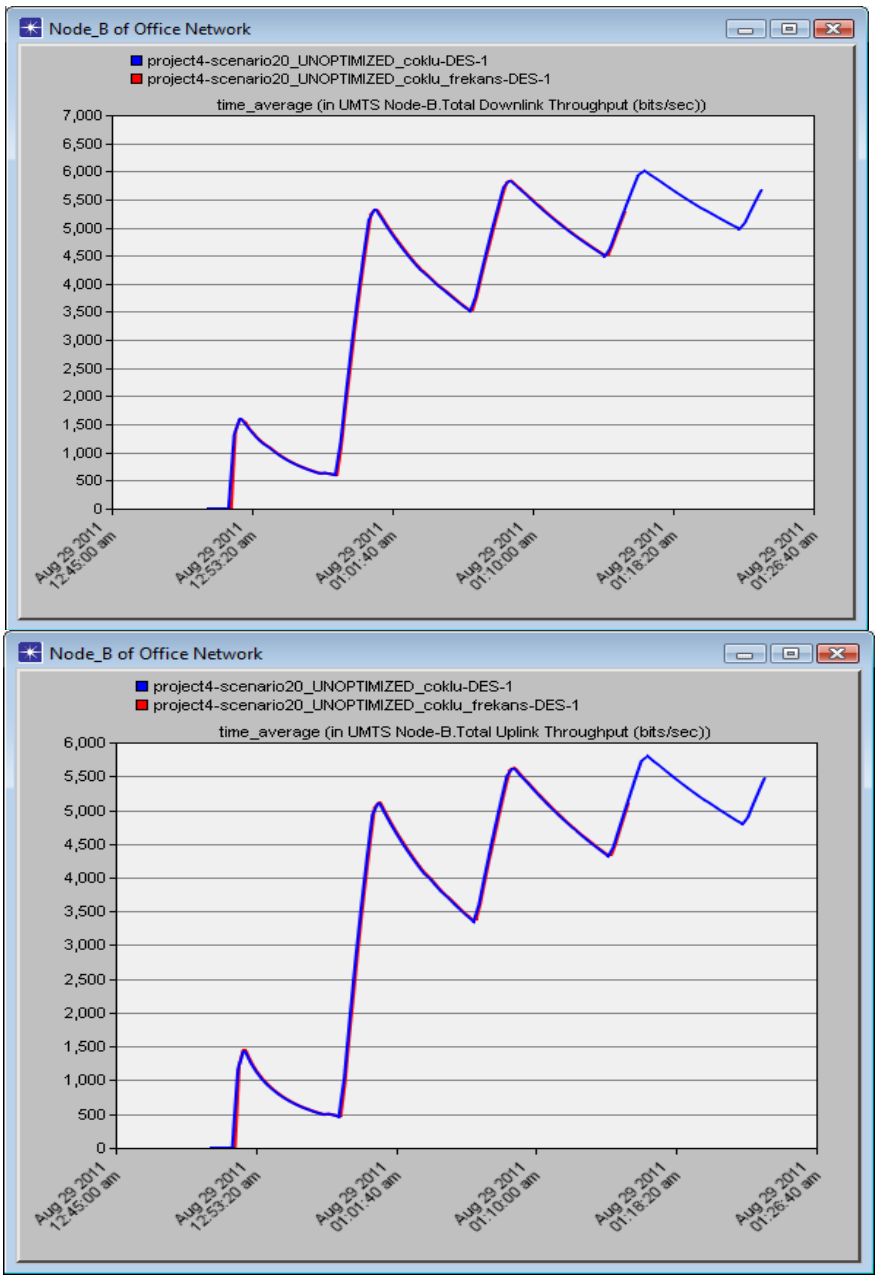
6.3.2 Frekans dağılımlı hiyerarşik hücre senaryosu

Bu simülasyon senaryosunda farklı hiyerarşide olan hücrelerde, farklı frekans bandında iletim yapılmıştır. Makro hücrenin iletim yapığı frekanslar downlinkte 2150 MHz, uplinkte 1960 MHz'dir. Piko hücrelerin iletim yaptığı frekanslar downlinkte 2110 MHz, uplinkte 1920 MHz'dir. Bu frekans planlaması dağılımı yapıldıktan sonra alınan sonuçlar ile aynı frekans kullanıldığı durumdaki sonuçlar kıyaslanmıştır. Hücre genelinde ölçülen ses gecikme değeri aynı frekans kullanımına ortalama 2-2,5 sn kadar düşmüştür. Bu da frekans dağılımının hücre planlamasında kattığı iyileştirme oranının ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir.



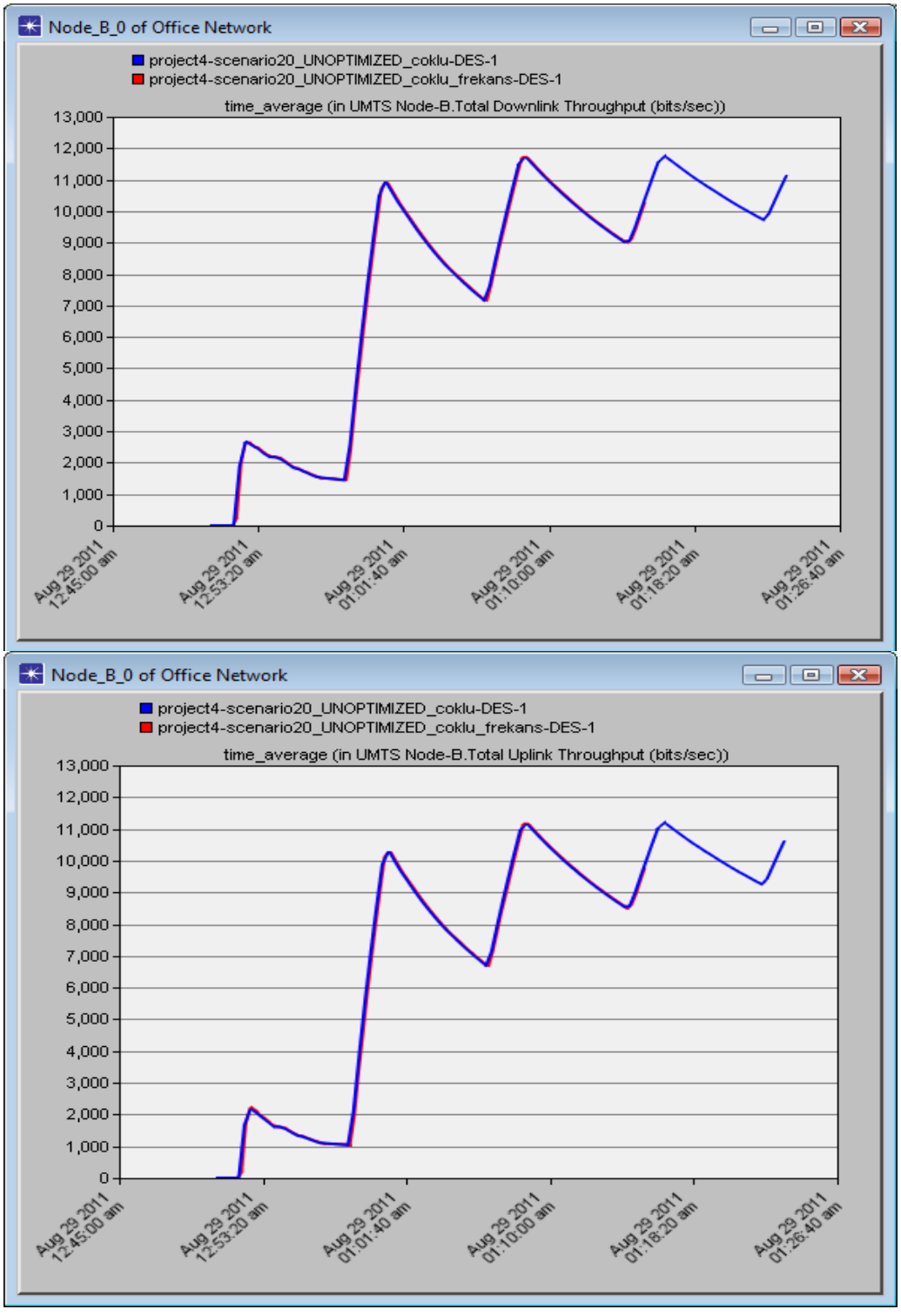
Şekil 6.16 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikme karşılaştırmalı (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında)

Frekans dağılımı yapılmadan önce ve sonra bütün makro hücrede (pikolar da dahil olmak üzere) ses uygulaması için ölçülmüş gecikme değerleri Şekil 6.16'da görülmektedir. Başarım ölçüt kriterlerinden birisi olan ses uygulaması gecikme değeri, bütün makro hücre içerisinde (piko hücreler de dahil olmak üzere) kullanıcı cihazlarından yapılan ses uygulaması gecikme değerleri (saniye cinsinden) toplam olarak verilmiştir.



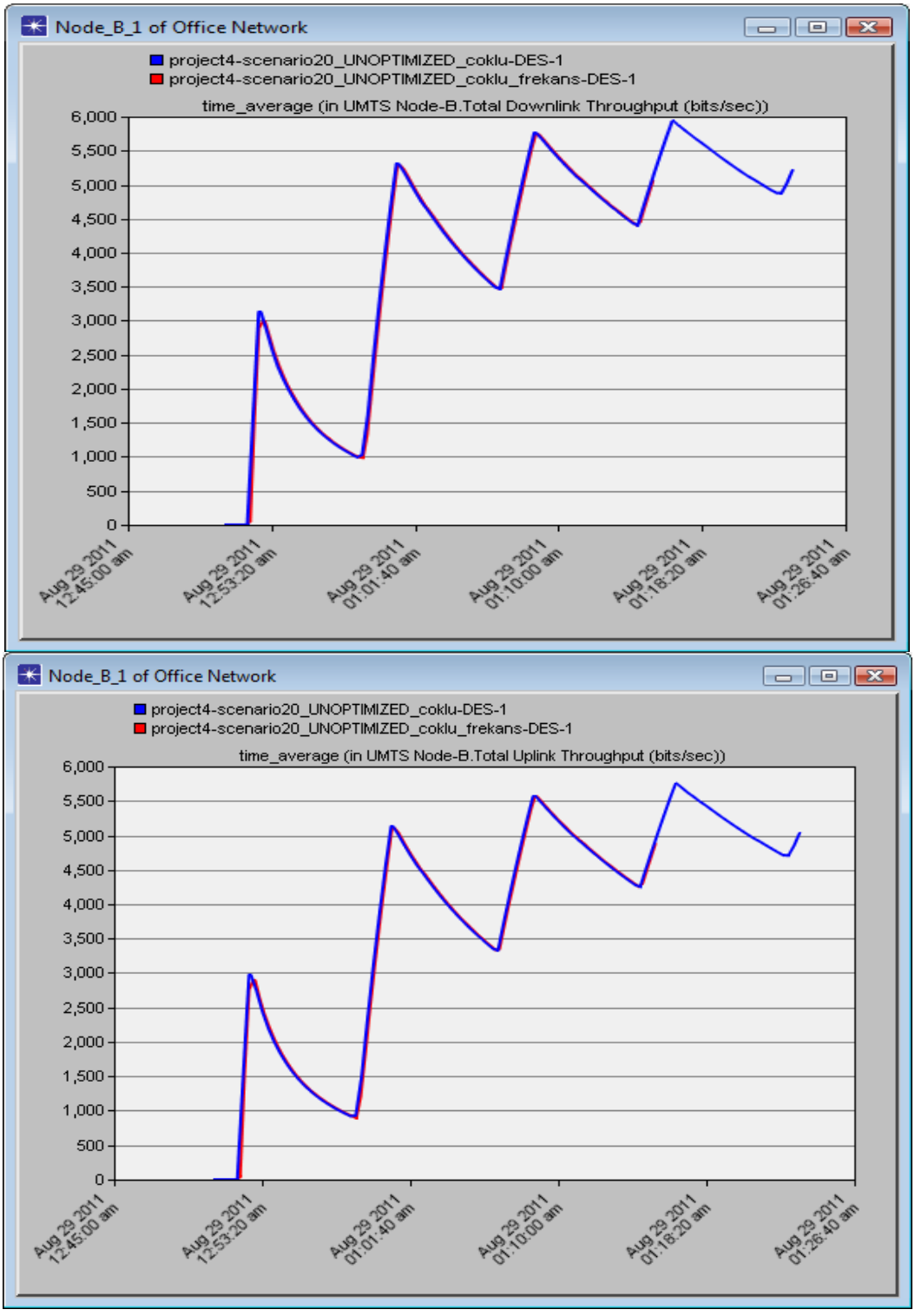
Şekil 6.17 : Node_B'nın (makro hücre) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında)

Şekil 6.17'de makro hücre istasyonunda ölçülen downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımının makro hücre throughput değerlerinde herhangi bir etkisi görülmemiştir.



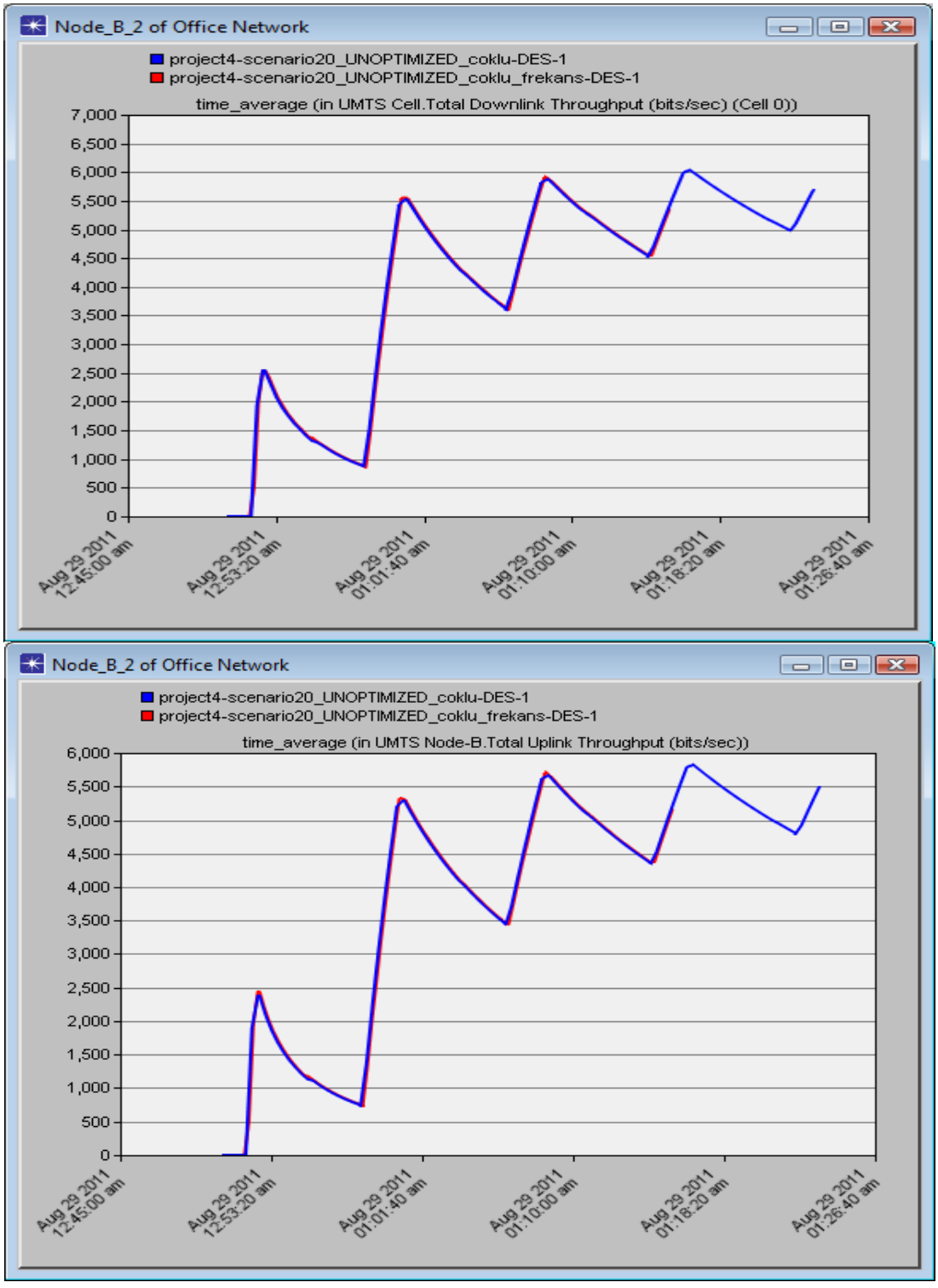
Şekil 6.18 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında)

Şekil 6.18'de piko hücre-0 istasyonunda ölçülen downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımının piko hücre-0 üzerinde (throughput değerlerinde) herhangi bir etkisi görülmemiştir.



Şekil 6.19 : Node_B_1'in (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında)

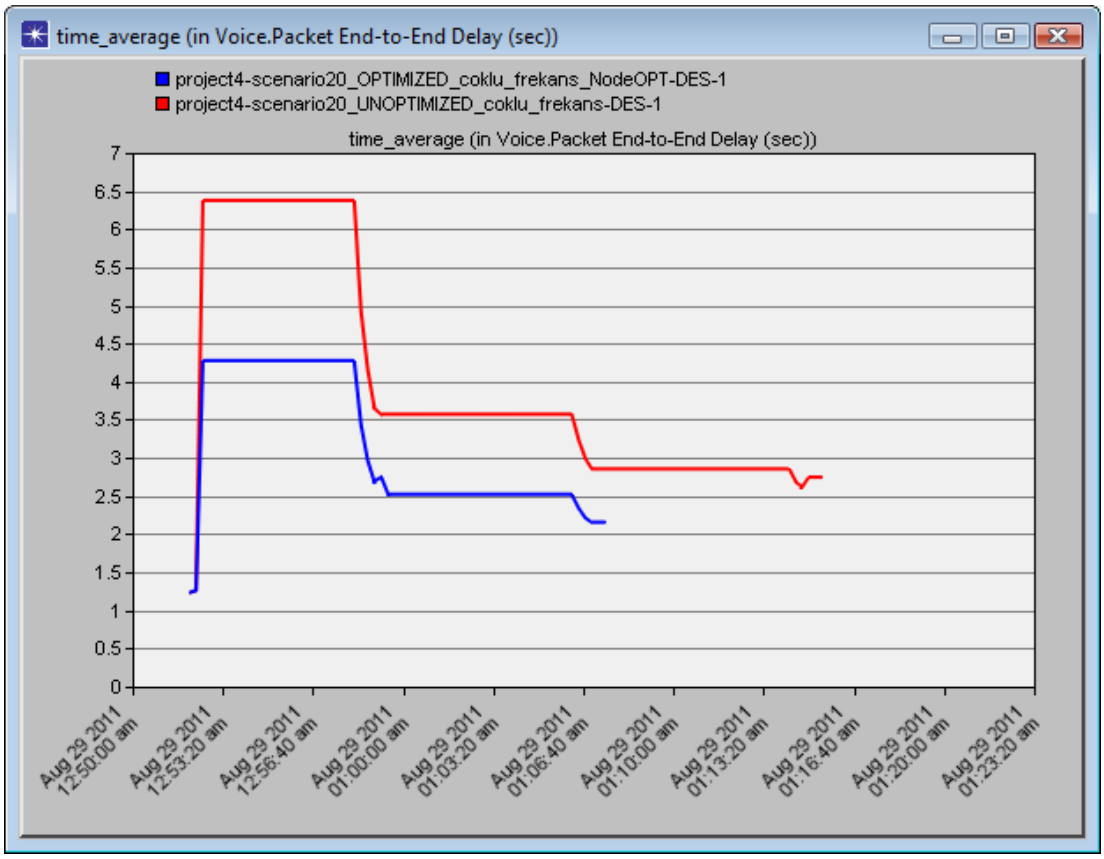
Şekil 6.19'de piko hücre-1 istasyonunda ölçülen downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımının piko hücre-1 throughput değerlerinde olumlu ya da olumsuz bir etkisi görülmemiştir.



Şekil 6.20 : Node_B_2'in (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi aynı frekans kullanımında, kırmızı farklı frekans kullanımında)

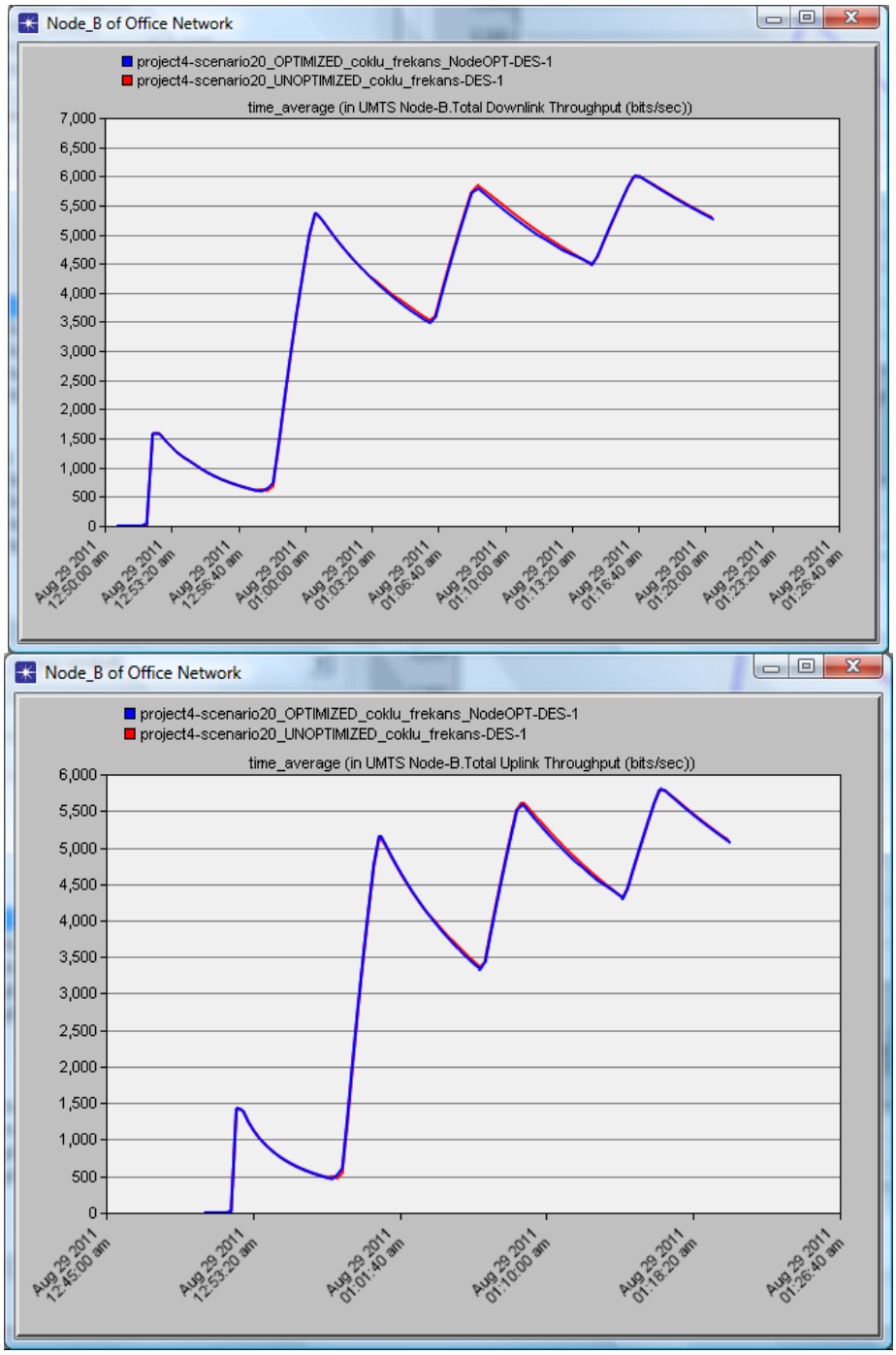
Şekil 6.20'de piko hücre-2 istasyonunda ölçülen downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımının piko hücre-2 throughput değerlerinde olumlu ya da olumsuz bir etkisi görülmemiştir.

Aynı frekans bandını kullanan ve ayrı frekans bandını kullanan senaryoların karşılaştırılmasında; farklı frekans kullanımı gecikme değerinde bir iyileşme sağladığı ama throughput değerlerinde etkisinin olmadığı görülmüştür. Birinci senaryoda aynı frekans kullanımından kaynaklı (co-channel) girişim için yapılan optimizasyon çalışmasını bu kez de komşu kanal (adjent-channel) girişimi için de yapılması gerekmektedir. Farklı frekans kullanılarak oluşturulmuş hiyerarşik ağ yapısında piko hücre kullanıcılarının makro hücreye girişimleri minimum düzeyde olacağından, onlara optimizasyon uygulanmasına gerek bulunmamaktadır. Denklem 5.1'in gerektirdiği biçimde optimizasyon sadece piko hücre istasyonlarında gerçekleştirilir. Optimizasyon sonucunda çıkan sonuçlar genel hücre durumu için 6.23, makro baz istasyonu için 6.24 ve piko istasyonlar için 6.25, 6.26, 6.27'de gösterilmiştir.



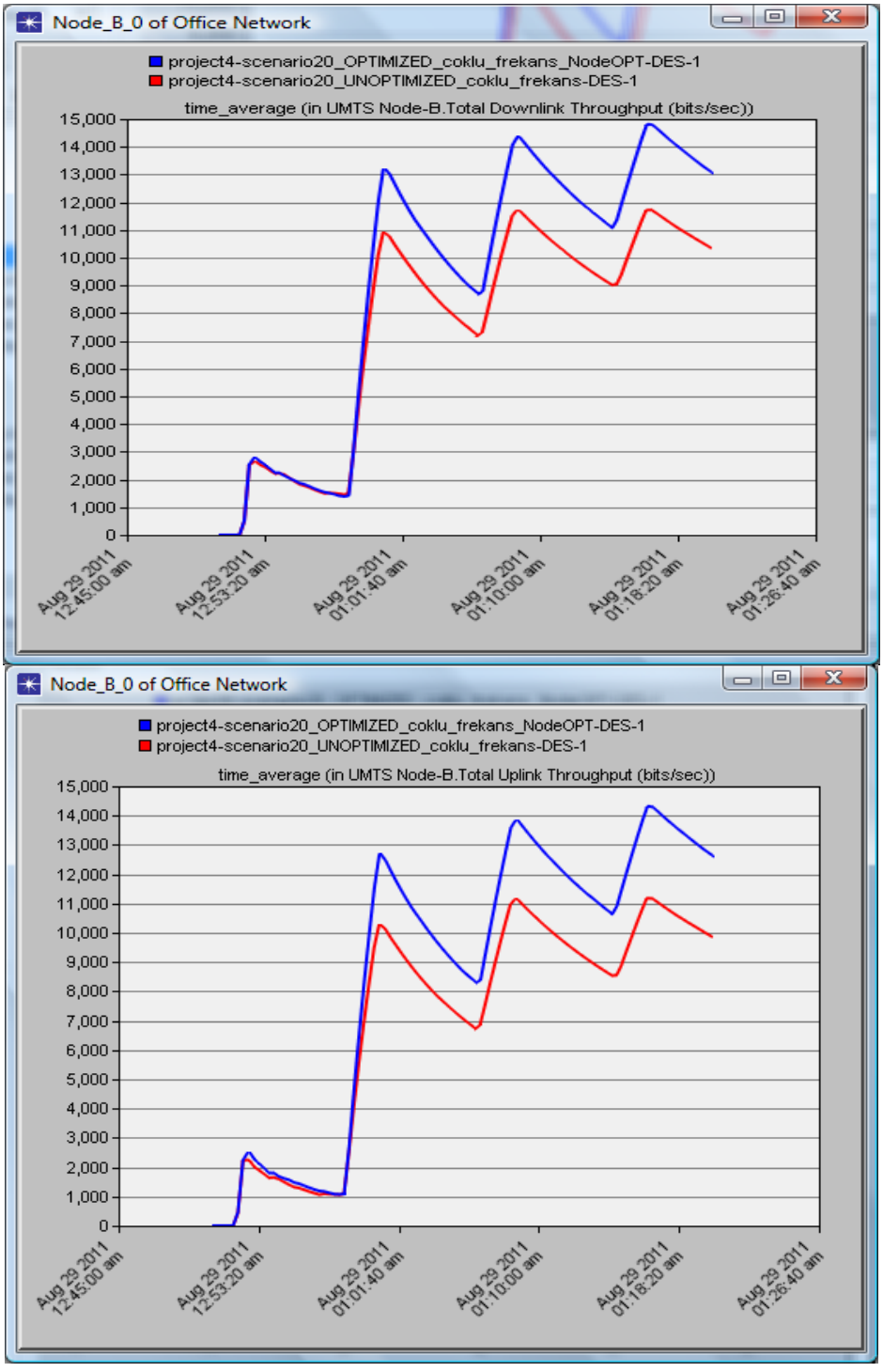
Şekil 6.21 : Makro hücrenin tamamında ses uygulaması gecikmesi karşılaştırmalı (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ)

Frekans dağılımlı senaryolarda, optimizasyon yapılmadan önce ve sonra bütün makro hücrede (pikolar da dahil olmak üzere) ses uygulaması için ölçülmüş gecikme değerleri Şekil 6.21'de görülmektedir. Ses uygulaması gecikme değeri, bütün makro hücre içerisinde (piko hücreler de dahil olmak üzere) kullanıcı cihazlarından yapılan ses uygulaması gecikme değerleri (saniye cinsinden) toplam olarak verilmiştir.



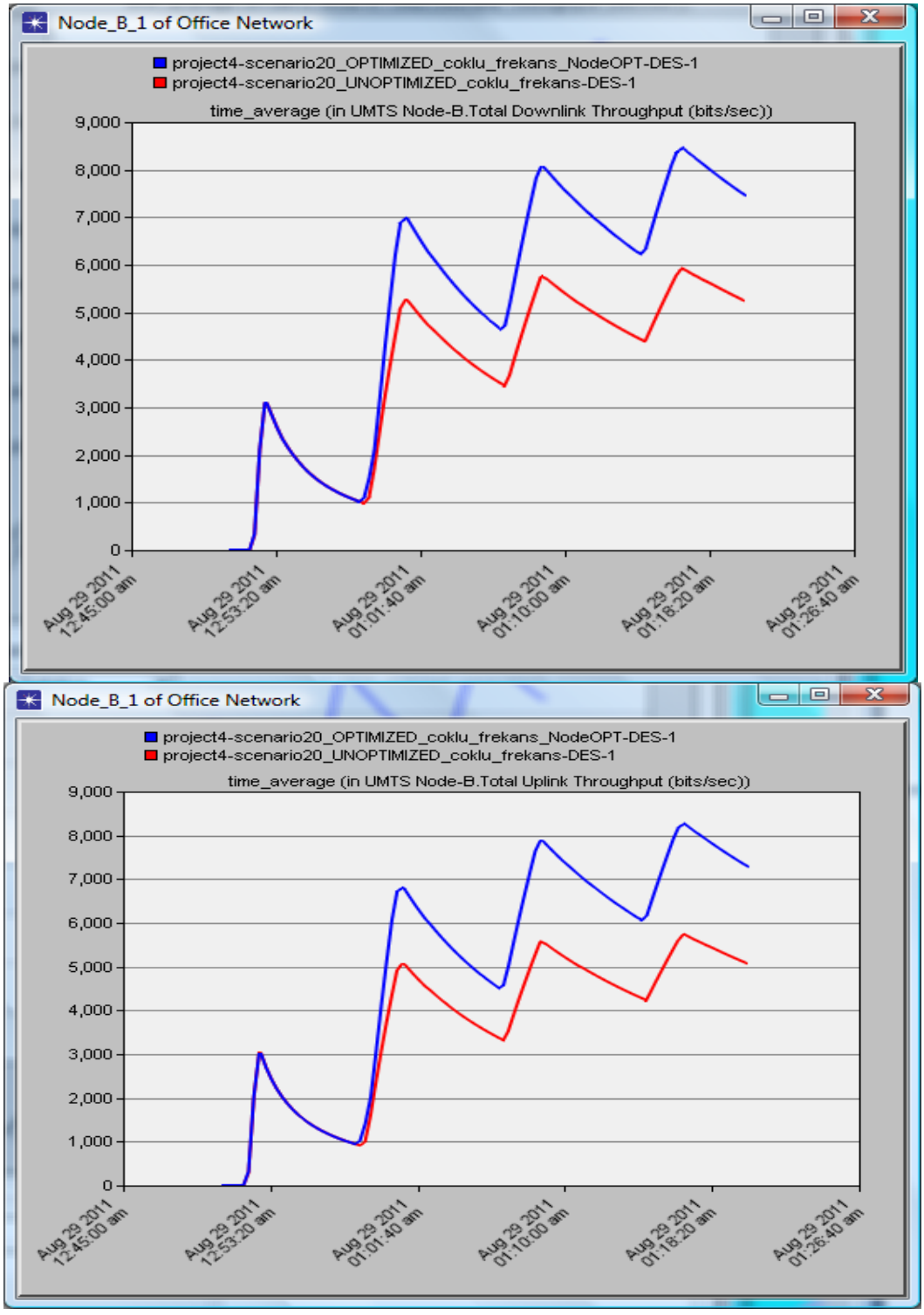
Şekil 6.22 : Node_B'nın (makro hücre) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ)

Şekil 6.22'de makro hücre istasyonunda ölçülen downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımlı senaryolarda yapılan optimizasyonun makro hücre throughput değerlerinde herhangi bir etkisi görülmemiştir.



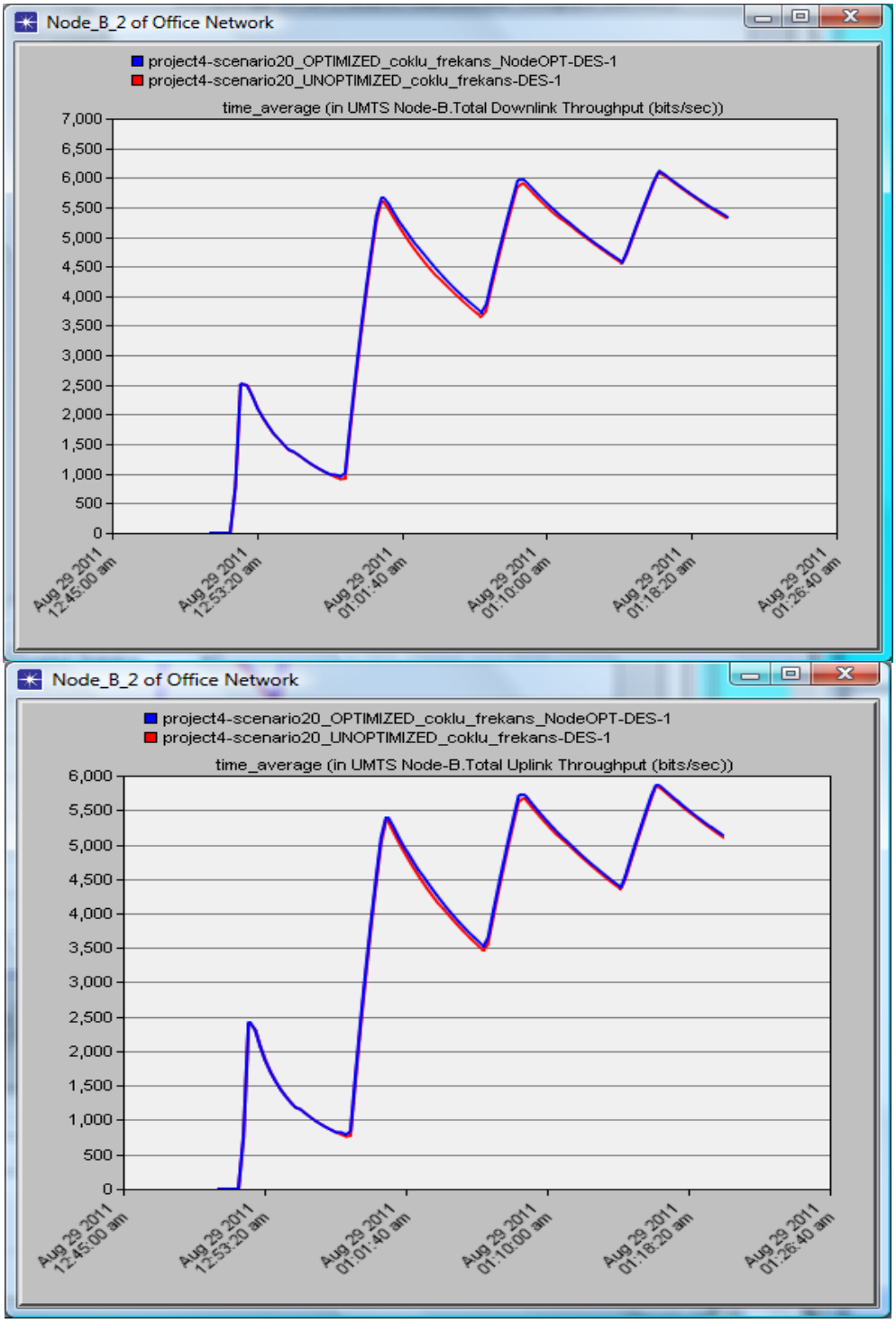
Şekil 6.23 : Node_B_0'ın (piko hücre-0) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ)

Şekil 6.23'de piko hücre-0 istasyonunda downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımlı senaryolarda yapılan optimizasyon sonucunda hem downlink hem de uplink yönünde ciddi oranda bir iyileşme görülmüştür.



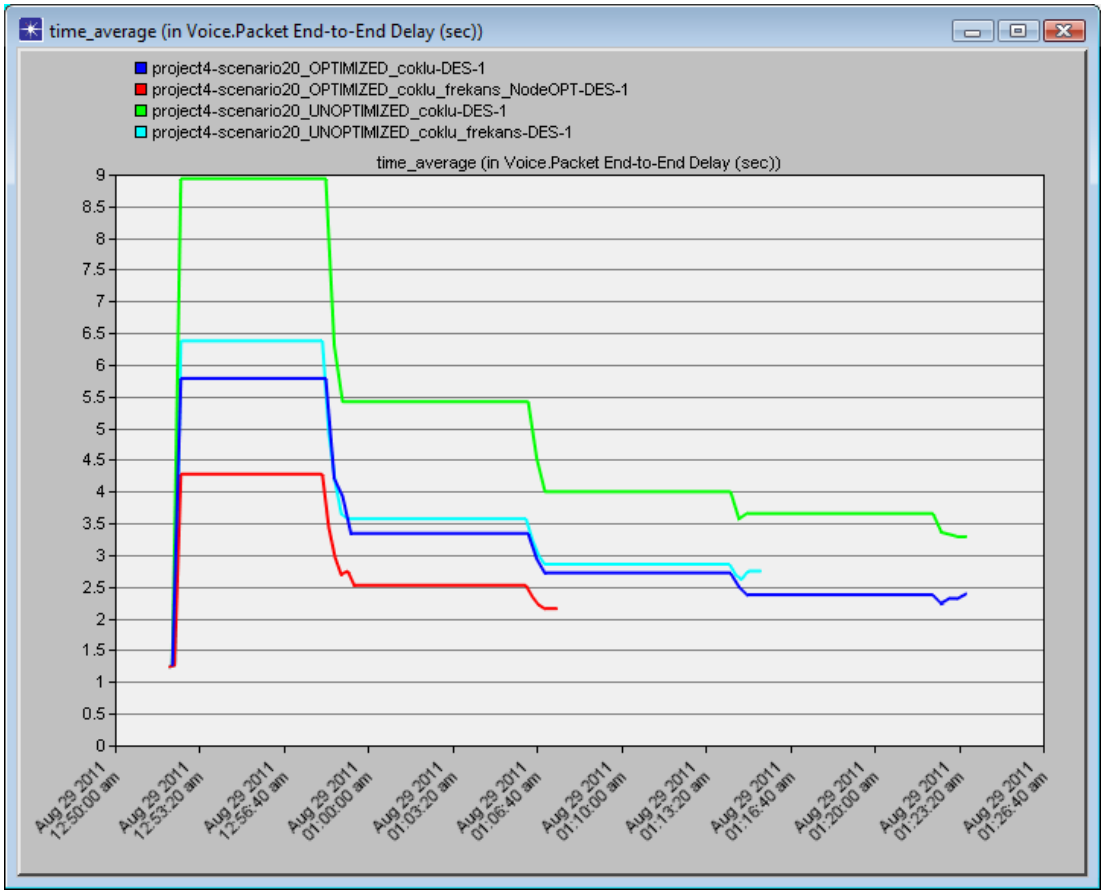
Şekil 6.24 : Node_B_1'in (piko hücre-1) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ)

Şekil 6.24'de piko hücre-1 istasyonunda downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımlı senaryolarda yapılan optimizasyon sonucunda piko hücre-1'de hem downlink hem de uplink yönünde ciddi oranda bir iyileşme görülmüştür.



Şekil 6.25 : Node_B_2'nin (piko hücre-2) downlink ve uplink throughput oranları (mavi optimize olmuş, kırmızı optimize olmamış ağ)

Şekil 6.25'de piko hücre-2 istasyonunda downlink ve uplink yönündeki throughput değerleri verilmiştir. Frekans dağılımlı senaryolarda yapılan optimizasyon sonucunda piko hücre-2'de olumlu ya da olumsuz bir etki görülmemiştir. Simülasyon sonuçlarında yine makro hücre baz istasyonunda throughput oranlarında iyileşme görülmemiş fakat piko hücrelerde genel olarak throughput oranlarında hem download hem de upload yönünde ciddi miktarda iyileşme görülmüştür. Makro hücre içerisine yerleştirilmiş olan piko hücre yapısının tamamında ses uygulaması gecikmesinde iyileşme görülmüştür.



Şekil 6.26 : Makro ve piko hücrelerin tamamında uçtan uca ses uygulaması gecikmesi (kırmızı: farklı frekans kullanılan ve optimize olmuş, mavi: aynı frekansı kullanan ve optimize olmuş, turkuaz: farklı frekansı kullanan ve optimize olmamış, yeşil: aynı frekansı kullanan ve optimize olmamış)

Yapılan tüm senaryoları birbiri ile kıyaslamak için ses uygulaması gecikme değerleri incelenmiştir. Şekil 6.26'da görüldüğü üzere, birinci olarak, en düşük gecikme değeri hem frekans dağılımı hem de optimizasyon yapılan senaryoda görülmüştür. İkinci olarak, aynı frekans kullanımında optimizasyon yapılmış senaryo, üçünü olarak

frekans dağılımının yapılmış olduğu senaryo başarım elde etmiştir. Hem optimizasyon hem de frekans dağılımı hücrelerde en yüksek başarımı sağlamıştır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında hiyerarşik yapıda bulunan WCDMA hücresel ağlarda karşılaşılan en büyük sorun olan girişimin çözüm yolları irdelenmiştir. WCDMA hücresel ağlarda girişimi azaltmak için frekans dağılım ve/veya güç optimizasyon algoritmalarından yaralanılmaktadır. Bu tez çalışmasında öz-optimizasyon yöntemi ile güç parametresi yeniden düzenlenmiş ve benzetim çalışmaları ile de başarım oranlarına bakılmıştır.

WCDMA hücresel sistemlerde başarım göstergesi olarak throughput ve gecikme değerleri kabul edilmiş ve simülasyon sonuçları bu bakış açısı ile değerlendirilmiştir. Bütün senaryo tek bir topoloji üzerine kurulmuştur. Bir adet makro hücre içerisine bina içi kapsamayı arttırmak üzere üç adet piko hücre yan yana kurulmuştur. Makro hücrenin kapsama çapı 1 km olarak değerlendirilmiş, piko hücrelerin kapsama çapı ise 20m olacak şekilde ayarlanmıştır.

Birinci senaryoda WCDMA hücresel ağlarda hiyerarşi gözetilmeksizin aynı frekansı kullandıkları kabul edilmiş ve ona göre simüle edilmiştir. Bu senaryoda aynı frekanstan (co-channel) kaynaklanan girişim ile mücadele edilmiştir. Simülasyonda öncelikle önerilen güç optimizasyon algoritması gereği (denklem 5.1 ve 5.2) anlık lokasyon ve yol kaybı bilgilerine bakarak piko hücre istasyonlarının ve piko hücre kullanıcı cihazlarının kendilerini optimize etmeleri sağlanmıştır. Optimize olmadan önce ve sonraki değerler karşılaştırmalı olarak Bölüm 6'da verilmiştir. Çıkan sonuçlarda genel anlamda bütün hücrede (makro ve piko hücreler beraber) ses uygulamasındaki gecikme değerinde ciddi azalma, ortalama 3.2 sn kadar, görülmüştür. Makro hücre baz istasyonunda uplink ve downlink throughput değerlerinde ciddi bir iyileştirme görülmemiştir. Piko hücrelerde ise hem DL hem de UL yönünde önemli bir miktarda throughput iyileşmesi görülmüştür. Optimize olmuş piko hücre kullanıcılarında ise hem gecikme hem de throughput iyileşmesi görülmüştür.

İkinci senaryoda WCDMA hücresel ağlarda ayrı hiyerarşide olan hücrelere farklı frekanslarda (hem downlink hem de uplinkte) iletim yapmaları sağlanmıştır. Bu birinci iyileştirme sonucunda aynı frekans kullanımı olan hücresel ağ simülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak gecikme değerlerinde iyileştirmeler görülmüş, throughput oranlarında kayda değer bir iyileştirme görülmemiştir. Bu senaryoda komşu kanal (adjant-channel) girişimi ile mücadele edilecektir. Bu yapıda makro hücre farklı frekansta olduğundan piko hücre kullanıcılarının makro hücreye girişimi önemsenmemiştir. Bu sebeple girişim ile baş etmek için sadece Denklem 5.1 uygulanmış ve piko hücre istasyonları iletim gücü optimize edilmiştir. Hücrelerin optimize olmadan önceki ve sonraki başarım oranları simülasyon ekran çıktıları ile Bölüm 6'da gösterilmiştir. Burada görülen sonuçlar birinci senaryo ile yaklaşık aynıdır. Makro hücre içerisindeki bütün hücrede (makro ve piko hücreler beraber) ses uygulamasındaki gecikme değerinde ciddi bir azalma görülmüştür. Bu gelişme birinci senaryodaki optimizasyondan daha iyi, ortalama 4.7 sn değerlerindedir. Makro hücre baz istasyonunda uplink ve downlink throughput değerlerinde kayda değer bir iyileşme görülmemiştir. Piko hücrelerde ise hem downlink hem de uplink yönünde önemli bir miktarda throughput iyileşmesi görülmüştür. Optimize olmuş piko hücre kullanıcılarında ise hem gecikme hem de throughput iyileşmesi görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarından da anlaşılabileceği gibi, öz-düzenlemeli güç optimizasyonu ile ağ elemanları güncel verilerini kullanarak (yol kaybı, girişim, lokasyon bilgisi) güç parametresini optimize ettiklerinde hem gecikme hem de throughput değerlerinde iyileşmeler görülmüştür. Hücreler optimum kapsama alanı ve enerji değerlerinde çalışmaktadırlar. Hem operatörler hem de kullanıcılar açısından enerji optimizasyonu çok önemli bir kriterdir. Bu kriterin başarılı bir şekilde yönetilmesi de öz-düzenlemeli ağ ile sağlanabilmektedir.

Bundan sonraki çalışmalarda makro hücre içerisinde de throughput iyileşmesi kaydedilen yeni ve daha kapsamlı optimizasyon algoritmaları üzerinde çalışılabilinir. Öz-düzenlemeli yapı gereği özellikle kullanıcı cihazlarında güncel verileri kontrol eden ve sistem optimizasyonunu iteratif bir şekilde devamlı ne konttrollü sağlayan ve böylece en küçük ağ elemanın dahi daha başarılı optimize değerlerde çalışacağı ağ modelleri tasarlanabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Li, K., Jiang, P., ve Bigham, J.,** 2011: Partitioning the Wireless Environment for Determining Radio Coverage and Traffic Distribution with User Feedback, *Communications (NCC), 2011 National Conference*, pp. 1-5.

[2] **Altman Z., Balageas, C., Beltran, P., Ezra, Y. B., Formet E., Hämäläinen, J., Marcé, O., Mutafungwa, E., Perales, S. , Ran, M. , Zheng, Z.,** 2010: Femtocells: The HOMESNET Vision, *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops), 2010 IEEE 21st International Symposium*, pp. 139-144.

[3] **Jo, H., Yook J., Mun, C., Moon, J.,** 2008: Self-Organized Uplink Power Control For Cross-Tier, *Military Communications Conference, IEEE*, pp. 1-6, 16-19 Nov.

[4] **Claussen, H., Ho, L. T. W., Samuel L., G.,** 2008: Self-optimization of Coverage for Femtocell Deployments, *Wireless Telecommunications Symposium, IEEE,* pp. 278 – 285.

[5] **Yavuz, M., Meshkati, F., Nanda, S.,** 2009: Interference Management and Performance Analysis of UMTS/HSPA+ Femtocells, *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-109, September 01.

[6] **Nagaraja, S., Chande, V., Goel, S., Meshkati, F., Yavuz, M.,** 2011: Transmit Power Self-Calibration for Residential UMTS/HSPA+ Femtocells, *Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt), 2011 International Symposium on*, pp. 451 – 455, 9-13 May.

[7] **Korhonen, J.,** 2003:Introduction to 3G Mobile Communications,Artech House,2. Edition, pp. 1-131.

[8] **Holma, H., Toskala, A.,** 2004: WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons Ltd, 3. Edition, pp. 1-447.

[9] **Bannister, J., Mather, P., Coope, S.,** 2004: Convergence Technologies for 3G Networks, John Wiley & Sons Ltd, pp. 1-623.

[10] **Fox, D.,** 2008: Testing UMTS, John Wiley & Sons Ltd, pp. 10-14.

[11] **Çetinkaya, N.,** 2007: Kablosuz Haberleşmede Kod Bölmeli Çoklu Erişim, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, pp. 6-33.

[12] **Demirci, N.,** 2008: UMTS Şebekesinde IP, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, pp. 1-10.

[13] **Schmidt, A. L.,** 2004: UMTS and WLAN interoperability, *Technical University of Denmark Research Center COM*, pp. 1-9, July 31.

[14] **Valcarce, A., Liu, E.,** 2010, Air-Interface Technologies, Femtocells: Technologies and Deployment, John Wiley & Sons Ltd, pp. 79- 88.

[15] **Zhang, J., Roche, G., Liu, E.,** 2010: Introduction, Femtocells: Technologies and Deployment, John Wiley & Sons Ltd, pp. 1-10.

[16**] Li, K., Jiang, P., ve Bigham, J.,** 2011: Partitioning the Wireless Environment for Determining Radio Coverage and Traffic Distribution with User Feedback, *Communications (NCC), 2011 National Conference*, pp. 1-5.

[17] **Hu, H., Zhang, J.,** 2010: Self-Configuration and Self-Optimization for LTE Networks, *IEEE Communications Magazine*, pp. 94-100, February.

[18] **NEC Corporation,** 2009: Self Organizing Network, *NEC Corporation White Paper***,** date Februray.

[19] **Motorola,** 2009: LTE Operations and Maintenance Strategy, Using Self-Organizing Networks to Reduce OPEX, *Motorola White Paper*.

[20] **Bein, D.,** 2008: Self-Configurating, Self-Organizing, nad Self-Healing Schemes in Mobile Ad Hoc Networks, *Guide to Wireless Ad Hoc Networks*, pp. 27-41.

[21] **NGMN Alliance**, 2007: NGMN Use Cases related to Self Organising Network, Overall Description, *NGMN The Engine of Broadband Wireless Innovation*, May 31.

[22] **Marchetti, N., Prasad, N. R., Johansson, J., Cai, T.,** 2010: Self-Organizing Networks: State-of-the-Art, *Challenges and Perspectives, Communications (COMM), 2010 8th International Conference*, pp. 503-508.

[23] **Eisenblatter, A.,** 2001: Frequency assignment in GSM networks: Models, heuristics, and lower bounds, *PhD dissertation, Technische Universit¨at Berlin, Fachbereich Mathematik,* Berlin Germany.

[24] **Eisenblatter, A., Geerdes, H. F., Koch, T., Martin, A., Wessaly, R.,** 2006: UMTS radio network evaluation and optimization beyond snapshots, *Mathematical Methods of Operations Research*, **63**, pp. 129-133, February.

[25] **Zhang, J., Lopez-Perez, D.,** 2010: Self-Organization, Femtocells:Technologies and Deployment, John Wiley & Sons Ltd, pp. 226-258.

[26] **Valcarce, A., Lopez-Perez., D.,** 2010: Interference in the Presence of Femtocells, Femtocells: Technologies and Deployment, John Wiley & Sons Ltd, pp. 146-177, February.

[27] **Femto Forum,** 2011: Interference Management in UMTS Femtocells, *http://www.femtoforum.org/femto/Files/File/FF_UMTS-Interference_Management.pdf*, September.

[28] **Johnson, C., Khalab, J.,** 2002: The Coexistence of WCDMA Macrocell and Microcell Radio Network Layers, *3G Mobile Communication Technologies Conference, IEE Conference Publication No. 489*, London, pp. 81–85, May 03.

[29] **Claussen, H.**, 2007: Performance Of Macro- And Co-Channel Femtocells In A Hıerarchıcal Cell Structure, *The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications PIMRC'07.*

[30] **Rahnema, M.,** 2008: UMTS Network Planning, Optimization, and Inter-Operation with GSM, John Wiley & Sons Ltd, pp. 190-200.

[31] **Bayılmış, C.,** 2010: Modelleme ve Simülasyon Teorisi ve Uygulamaları, *Mikroişlemci ve Mikrodenetleyici Uygulamaları I Ders Notu.*

[32] **Url-1,** <*http://www.opnet.com*>, alındığı tarih 29.07.2011.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Fadime DEMİRER ÜLGEN

Doğum Yeri ve Tarihi: Konya/Ereğli, 04.06.1985

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Telekomünikasyon Müh., 2008

Lise: Aksaray Fen Lisesi, 2003