

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU ERİŞİM ARAYÜZÜNE SAHİP MOBİL
TERMİNALLER İÇİN SERVİS BİLİNÇLİ EL
DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ

Fatih KOÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU ERİŞİM ARAYÜZÜNE SAHİP MOBİL
TERMİNALLER İÇİN SERVİS BİLİNÇLİ EL
DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ

Fatih KOÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Hacı Ali MANTAR

GEBZE
2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından tarihinde tez savunma sınavı yapılan Fatih KOÇ'un tez çalışması Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

Doç.Dr. Hacı Ali MANTAR

ÜYE

:

Doç.Dr. İbrahim SOĞUKPINAR

ÜYE

:

Doç.Dr. Vedat COŞKUN

YEDEK ÜYE

:

Yrd.Doç.Dr. Mehmet GÖKTÜRK

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI: ÇOKLU ERİŞİM ARAYÜZÜNE SAHİP MOBİL
TERMINALLER İÇİN SERVİS BİLİNÇLİ EL
DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ**

YAZAR ADI: FATİH KOÇ

Bu tez çalışmasında günümüzde kullanım yaygınlığı artan kablosuz terminaller üzerinde bulunan ağ erişim arayüzlerinin seçimi ve değişimi için servis bilinçli bir yöntem/çerçeve önerilmiştir. Geliştirilen yöntemin kullanıcı memnuniyetini maksimum seviye tutması ve mobil terminal üzerinde çalışan uygulamaların ihtiyaç duydukları servis kalitesini sağlaması hedeflenmiştir. Mobil terminallerde kullanılacak ağ yapıları heterojen yapıda olması sebebi ile karşılaştırılabilirliği sağlamak maksadı ile mobil terminal üzerinde servis sınıfları tanımlanmış bu servis sınıfları için performans metrikleri belirlenmiş bu metrikler için değer atanabileceği bir çerçeve önerilmiştir.

Mobil servis sağlayıcıların altyapısına müdahale etmeksizin gerçekleştirilecek bu yöntem ile mobil terminal üzerinde çalışan uygulamaların servis kalite gereksinimlerinin karşılanması ve kullanıcı memnuniyetinin mümkün olan en üst seviyeye çıkarılması hedeflenmiştir.

Önerilen yöntem için benzetim yöntemi ile doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu maksatla 3G, GPRS, EDGE, kablosuz LAN parametreleri ve kullanıcı politikaları belirlenmiş, mevcut durum ile karşılaştırması yapılmıştır.

Sonuç olarak yapılan benzetim çalışmasında hali hazırda kullanılan yönteme nazaran önerilen yapının dikey el değiştirme sayısında ve kullanıcı memnuniyetinde iyileştirmeler gösterdiği tespit edilmiştir.

SUMMARY

**THESIS TITLE: SERVICE AWARE HANDOVER FRAMEWORK FOR
MOBILE DEVICES WITH MULTIPLE ACCESS
INTERFACES**

AUTHOR: FATİH KOÇ

In this thesis, a service aware network access interface selection and change framework is proposed in widely used mobile terminals nowadays. It is aimed to maximize level of user satisfaction and to provide quality of service of application run on mobile terminals needs with developed method. For this purpose, service classes are defined on mobile terminals, performance metrics are determined for the service classes and a framework is proposed for valuation of this metrics.

It is aimed to ensure quality of service of application run on mobile device and user satisfaction without any modification in infrastructure of mobile service provider with proposed method.

Verification of the proposed method has been maintained with in simulations. For this purpose, 3G, GPRS, EDGE, wireless LAN parameters and user policies has been determined and compared with current situation.

As a result simulation results show that compared with current situation, proposed framework provides better results in vertical handover and user satisfaction.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında bana sürekli destek olan ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hacı Ali MANTAR' a ve tez çalışmam sırasında bana gösterdikleri sabır ve anlayıştan ötürü tüm çalışma arkadaşlarıma, ayrıca tezi yazarken karşılaştığım zorluklarda bana her zaman yardımcı olan arkadaşım Ali DİNÇKAN' a ve eşim Feyza KOÇ' a, benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1 GİRİŞ	1
2 TEMEL BİLGİLER VE KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Temel Bilgiler	3
2.1.1 Veri Haberleşmesi	3
2.1.2 Mobil Haberleşme	5
2.1.3 El Değiştirme	9
2.2 Konu ile İlgili Çalışmalar	16
2.3 Problem Alanları	20
2.3.1 Yanlış Ağ Arayüzü Seçimi	21
2.3.2 Aynı Anda Birden Fazla Ağ Arayüzünün Kullanılamaması	22
2.3.3 Servis Farkındalığının Olmaması	22
2.3.4 El Değiştirme Metriklerinin Belirlenmesi	23
2.3.5 El Değiştirme Karar Algoritmaları	23
2.3.6 Mobilite Yönetimi	23
3 PERFORMANS METRİKLERİ VE SERVİS SINIFLARI	25
3.1 Servis Sınıfı Fonksiyonu	29
4 ÖNERİLEN DİKEY EL DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ	32

4.1	Mesaj Tipleri	35
4.2	Uygulama / Servis Tabanlı Arayüz Seçimi	36
5	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
5.1	Kabullenmeler ve Varsayılan Değerler	39
5.2	Benzetim Senaryoları	43
5.3	Benzetim Sonuçları	46
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	56
	KAYNAKLAR DİZİNİ	58
	ÖZGEÇMİŞ	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACK	: Acknowledgement
AES	: Advanced Endryption Standard
AAO	: Active Application Oriented
BTS	: Base Tranciever Station
BSC	: Base Station Controller
CDMA	: Code Division Multiple Access
DCS	: Digital Cellular System
DNS	: Domain Name System
DSSS	: Direct-Sequence Spread Spectrum
EDGE	: Enhanced Data Rates for Global Evolution
ESSID	: Extended Service Set Identifier
GPRS	: General Packet Radio Service
GSM	: Global Systems form Mobile Communications
HON	: Handover Number
HSCSD	: High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	: High Speed Downlink Packet Access
HTML	: Hyper Text Markup Language
IEEE	: Institute of Electrical and Electronical Engineers
IETF	: Internet Engineering Task Force

IMT-2000	: International Mobile Telephone Standart 2000
IP	: Internet Protocol
LAN	: Local Area Network
MADM	: Multiple Attribute Decision Making
MAHO	: Mobile-Assisted Handoff
MCHO	: Mobile-controlled handoff
MS	: Mobile Station
MSC	: Mobile switching centre
NCHO	: Network-controlled handover/handoff
OFDM	: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
PCS	: Personal Communications Service
PDA	: Personal Digital Assistant
PSTN	: Public Switched Telephone Network
RC4	: Rivest Cipher 4
RFC	: Request for Comments
RSS	: Received Signal Strength
RSS	: Relative Signal Strength
RTT	: Round Trip Time
RWIN	: TCP Receive Window Size
SAW	: Simple Additive Weighting
SHO	: Soft Handoff

SNR	: Signal to Noise Ratio
TDMA-FM	: Time Division Multiplexing Access- Frequency Modulation
TOPSIS	: Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UMTS	: Universal Mobile Telecommunication System
WAP	: Wireless Application Protocol
WCDMA	: Wideband Code Division Multiple Access
WiBRO	: Wireless Broadband
Wi-fi	: Wireless fidelity-Wireless Local Area Network
WiMAX	: Worldwide Interoperability for Microwave Access

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2-1 MSC dışı el değiştirme	13
4-1 Dikey el değiştirme çerçevesi	33
4-2 Karar makinesi algoritması	37
5-1 Yoğun şehir merkezi benzetim ağ erişim noktaları konumları	46
5-2 Seyrek şehir merkezi benzetim ağ erişim noktaları konumları	47
5-3 Kırsal alan benzetim ağ erişim noktaları konumları	47
5-4 Yoğun şehir merkezinde politika bazlı gecikme değerleri	48
5-5 Seyrek şehir merkezinde politika bazlı gecikme değerleri	49
5-6 Kırsal alanda politika bazlı gecikme değerleri	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2-1 802.11 protokolleri	7
2-2 GSM, GPRS, EDGE, 3G Veri Haberleşme Hızları	8
3-1 Örnek bir servis sınıfı- performans parametresi ağırlık çizelgesi	30
5-1 Dikey el değıştirme sayısı	49
5-2 Kalan enerji miktarı	50
5-3 Toplam bağlantı kesinti sayısı	51
5-4 Toplam parasal maliyet	52
5-5 Toplam iletilen veri miktarı	53

1 GİRİŞ

Gelişen teknoloji sayesinde bir mobil terminal birçok ağ arayüzü üzerinden haberleşme gerçekleştirebilmektedir. WiMAX, GSM, GPRS, 3GPP, 3GPP2, UMTS ve 4G geniş kapsama alanı ve hareket serbestisi sağlarken kapasite noktasında WLAN, Wi-fi veya 802.11 ağları olarak da bilenen kablosuz LAN (kablosuz yerel alan ağı) kadar geniş kapasite sunamamaktadırlar. Mobil terminaller veya taşınabilir bilgisayarlar dış dünyaya erişim için kullandıkları ağ arayüzünün seçimini, kullanılan işletim sisteminin kısıtları çerçevesinde gerçekleştirebilmektedirler. Aynı anda birden çok kablosuz LAN ağına erişme şansı olan bir cihaz bunlardan hangisine daha yakınsa başka bir deyişle hangi erişim noktasından daha güçlü sinyal alıyorsa o erişim noktası üzerinden bağlantısını gerçekleştirebilmektedir. Oysa ikinci katman bilgisine dayanarak tercih gerçekleştirmek kimi zaman verimsiz sonuçlar doğurabilmektedir. Örneğin sinyal gücü yüksek olan bir erişim noktasından veya baz istasyonundan çok sayıda abone faydalaniyorsa, paylaşılan çıkış kapasitesinden elde edilecek kapasite ile göreceli olarak düşük sinyal gücündeki bir erişim noktası veya bir GSM baz istasyonundan elde edilecek kapasiteden çok daha düşük olabilir. Benzer şekilde yüksek seviyede sinyal gücü alınan kablosuz erişim noktası veya baz istasyonu arkasında yer alan modem veya yönlendiricinin kullanıcılara sunacağı ağ erişim hızı, düşük sinyal gücündeki başka bir erişim noktası veya baz istasyonu arkasındaki modem veya yönlendiricinin sunacağı ağ erişim hızından düşük olabilir.

Bir arayüz seçilmesi durumunda mobil terminal üzerinde çalışan uygulamaların tamamı aynı arayüz üzerinden dış dünyaya erişim sağlamaktadırlar. Oysa tüm uygulamalar eş seviyede servis beklentisine sahip değildirler. Kimi uygulamalar gerçek zamanlı veya yakın gerçek zamanlı erişim hızına ihtiyaç duyarken kimi uygulamalar ise birkaç saniye hatta birkaç dakika gecikmeler kabul edebilir. Örneğin ses veya video çağrılarında uçtan uca gecikme ve gecikme değişimi büyük önem taşıırken bir e-postanın birkaç saniye hatta birkaç dakika geç gönderilmesi birçok durum için kabul edilebilir niteliktedir.

Bu çalışmada birden fazla arayüze sahip cihazlarda arayüz tercihi için bir metodoloji önerilmektedir. Verimli bir arayüz seçimi yapılarak erişimin ilgili arayüz üzerinden yapılması hedeflenmektedir. Bu maksatla ağ mimarisine veya şebeke servisine herhangi bir müdahale yapılmaksızın uç cihaz üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler üzerinde durulmuştur.

Mobil terminal kullanıcı tercihleri mevcut teknolojik imkanlarda kısıtlı miktarda mobil terminallere uygulanabilmektedir. Sürekli internete bağlı kalmayı sağlayabilecek yapılandırma yapılabilmekte fakat ücretlendirme ve uygulama bazında ağ veya arayüz seçimi yapılamamaktadır.

Mobil terminal üzerinde çalışan uygulamalar ve servisler servis sınıflarına ayrılmıştır. Her servis sınıfının gereksinimi diğer servis sınıflarından farklı olabilmektedir. Örneğin ses ve video görüşmesi tipindeki veri trafiğinin uçtan uca gecikme toleransı ile e-posta trafiğinin uçtan uca gecikme gereksinimi farklıdır veya internetten indirilen bir video dosyasının gizlilik gereksinimi ile e-posta mesajlarının gizlilik gereksinimi farklıdır.

Günümüzde mobil cihazlarda birden fazla ağ erişim arayüzü bulunmaktadır. Bu arayüzlerden hangisi kullanılarak dış ağlara erişileceği çoğu zaman statik bir yapılandırma ile bazı cihazlarda ise birinci katmanda elde edilen performans değerleri kullanılarak tercih edilen ağ listesinde sıra ile denenerek erişilmektedir.

Bu tez çalışmasında önerilen yöntemle kullanıcı tatminiyeti mümkün olacak en üst seviyeye çıkarılması ve servis kalitesinin uygulama bazında karşılanmasını sağlanması hedeflenmiş, dinamik olarak servis kalitesi ve kullanıcı tercihlerini baz alarak ağ arayüz seçimi probleminin çözümü üzerine çalışılmıştır.

2 TEMEL BİLGİLER VE KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

2.1 Temel Bilgiler

Bu bölümde mobil iletişim ve mobil terminallerin anlaşılabilmesi için temel bilgiler verilmiştir. İlk olarak veri haberleşmesi hakkında kısaca bilgi verilmiş ardından kablosuz veri haberleşmesi teknolojileri ve el değiştirme kavramı ve çeşitleri anlatılmıştır. Günümüzde bir mobil terminalde bulunabilecek arayüz tipleri uydu haberleşme bağdaştırıcısından kızıl ötesi arayüze kadar değişiklik gösterebilmektedir. Kullanıcı memnuniyeti çok fazla farklılık göstermekle birlikte her bir teknolojinin çoğunlukla geliştirilme ve kullanım alanı açıklanılmıştır.

2.1.1 Veri Haberleşmesi

Veri haberleşmesi iki ana bölümde incelenmektedir. Bunlardan ilki, verinin parçalara ayrılarak birbirinden bağımsız olarak karşı uca iletiildiği paket bağlaşmalı haberleşme sistemidir. Diğeri ise haberleşme süresince sabit bir hatta sahip olan ve bütün verinin aynı devre üzerinden aktığı devre bağlaşmalı haberleşmedir. Eski nesil PSTN (Public Switched Telephone Network) şebekesi, GSM faz 2 şebekesi devre bağlaşmalı haberleşme sistemlerine, GPRS sistemi ise paket bağlaşma sistemlerine örnek olarak verilebilir.

2.1.1.1 Devre Bağlaşmalı Haberleşme

Bir veya birçok santral elemanı üzerinden geçerek, kullanıcılar arasında zamanda ya da frekans uzayında uçtan-uca bir bağlantı kurulur. Haberleşme taraflar arasında yol kurulunca başlar ve kurulan yol görüşme süresince tutulur. Görüşme sona erince bağlantı çözülür ve ardından imkânlar başka kullanıcılara tahsis edilir.

GSM faz 2 sisteminde haberleşme için TDMA-FM çoklu erişim mimarisi kullanılır. Bu mimaride aboneye bir frekans üzerinde tanımlanmış zaman bölmesi tahsis edilir. Düşük miktarda veri transfer edilse dahi haberleşme sonlanana kadar ilgili frekanstaki zaman bölmesi aboneye atanmış halde kalır. Ücretlendirme bağlantı süresi üzerinden yapılır.

Devre bağlaşmalı haberleşme tekniği sabit bant genişlikli veri akışının gerekli olduğu durumlarda ve küçük veri bağlantı gecikmelerine duyarlı olduğu durumlar için tercih edilmektedir.

2.1.1.2 Paket Bağlaşmalı Haberleşme

Bir uç noktasından başka bir uç noktasına erişmek üzere bir mesaj gönderildiğinde, sistem mesajı daha küçük belli bir sistem için sabit veya değişken bir uzunluğu olan parçalara (paket) ayırır. Noktadan noktaya kurulan bağlantıya "Sanal Bağlantı" adı verilir. Oluşturulan paketler ayrı olarak iletilir. Her bir pakete, ulaşması istenen uç noktanın adresi eklenir. Bir mesaja ait paketler farklı yollar izleyerek farklı gecikmelerle alıcısına ulaşabilir. Paket bağlaşmalı haberleşme için şebeke, ihtiyaç olduğunda paketlere ayrılmış olan veriyi dağıtır. Bu yüzden bir radyo kanalı birden fazla mobil istasyon tarafından eşzamanlı olarak paylaşılabilir. Ayrıca bir mobil istasyon birden fazla radyo kanalını aynı anda kullanabilir. Bir mobil istasyon veri paketi oluşturduğunda, şebeke, paketi adresine uygun olan ilk radyo kanalı üzerinden gönderir. Veri trafiği, veri patlamaları içerdiğinden radyo kanalları verimli bir şekilde kullanılır. Radyo kanallarının paylaşımında yapılan çoğullama işlemi sırasında gecikme oluşabilir. Bu gecikmenin kabul edilebilir seviyede olması için mobil kullanıcı ile hizmet sağlayıcı arasında "Servis Kalitesi" (QoS) tanımlanır. Paket bağlaşmasında kanal, devre bağlaşmasında yapıldığının aksine, sürekli olarak tahsis edilmez. Bunun yerine gerekli olduğunda kanal tahsis edilir ve ihtiyaç olmadığında serbest bırakılır.

GPRS, X.25, Çerçeve Aktarma (Frame Relay) ve IP protokolünün bulunduğu sistemler paket bağlaşma teknolojisini kullanmaktadır.

Paket bağlaşma tekniği, verinin patlamalar halinde gönderiminin gerekli olduğu durumlar ve verinin hataya karşı duyarlılığının yüksek olduğu durumlar için uygundur.

Paket bağlaşmasında iki iletim metodu vardır. Bunlar;

Bağlantısız iletim: Paket bağlaşmalı iletimde veri akışı, protokollere ve kullanılan fiziksel kaynaklara bağlı olarak değişen boyutlardaki paketler halindedir. Her paket paketin alıcıya yönlendirilmesinde kullanılan bir kaynak ve varış adresi içerir. Paketin izleyeceği yol vardığı düğümde belirlenir. Bu nedenle aynı mesaja ait paketler farklı yollar izleyerek alıcıya ulaşır. En çok kullanılan protokol IP'dir. IP, GPRS servisinde kullanılan ana şebeke protokolü olarak kabul edilmektedir.

Bağlantılı iletim: Bağlantı yönelimli hizmette, bir uç birim başka bir uç birimle mantıksal bağlantı kurmak için çağırma isteğinde bulunur. Şebeke üzerinde mantıksal yol kurulur. Şebekeye gönderilen paketler sıra ile numaralandırılır ve sıra numarasına göre gönderilir. Bütün paketler aynı mantıksal bağlantıya bağlantı üzerinden de hedefe ulaşır.

2.1.2 Mobil Haberleşme

2.1.2.1 Mobil Haberleşmenin Tarihçesi

Mobil Haberleşme 1940'lı yıllarda A.B.D. 'de ve 1950 yıllarında Avrupa'da tek hücreli analog araç telefonlarının kullanılmasıyla başlamıştır. Daha sonra 1970'lerin sonlarına doğru birinci nesil diye adlandırılan hücreli analog mobil telefonlar kullanılmıştır. Analog haberleşme teknolojisini kullanan birinci nesil mobil haberleşme sistemi, ses kalitesi, kapasite, kapsama alanı artırılması ve veri iletim isteklerini karşılayamamıştır. Bu problemlerin çözümü için sayısal haberleşme teknolojisini kullanan ikinci nesil mobil haberleşme sistemi geliştirilmiştir. İkinci nesil sistemlerde esas olarak ses haberleşmesi hizmetlerini sağlamak hedeflenmiştir. Bu nedenle bu sistemler devre bağlaşmalı radyo haberleşmesini kullanmaktadırlar. GSM mobil erişim tekniği ile kablosuz bağlantı kuran bu sistem için, yüksek hızda

hareket eden abonelerin kesintisiz iletişim içinde kalabilmeleri için dinamik olarak baz istasyonu değiştirme ve girişim giderme gibi özellikler geliştirilmiştir.

Devre baęlařmalý sistemler, ses haberleşmesi için etkin olmakla birlikte İnternet veri trafiği için yetersiz kalmışlardır. Bunun nedeni devre baęlařmalý sistemlerin abonenin haberleşme için işgal ettikleri kanalı tüm oturum abone dışındaki diğer kullanıcılara kullandırmamasıdır. Devre baęlařmalý sistemlerde ani artışlı veri iletimi yapılması durumunda, trafik kanalı zamanın büyük bir kısmında boş kalmaktadır. Veri hizmetlerine olan taleplerin giderek artması, yeni protokollerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu da sayısal teknolojiyi ve paket baęlařmalý radyo haberleşmesini daha verimli bir şekilde destekleyebilen üçüncü nesil sistemlerin geliştirilmesine yol açmıştır. Üçüncü nesil (3G) mobil haberleşme sistemleri, gerçek zamanlı çoklu ortam (mültimedya) hizmetleri sunan bir hücrenel haberleşme sistemidir. Üçüncü nesil mobil haberleşme sistemlerinde yüksek hızda İnternet erişimi sağlanarak video, ses, veri ve grafik bilgileri de yüksek hızlarda iletebilmektedir. Bu hizmetleri sunabilmek için sabit erişimde 2 Mbps, hareketli iken 384 kbps bilgi hızlarına gereksinim vardır.[Dinçkan, 2006]

Uydu haberleşmesi karasal kablolu iletişim ile yakın zamanlarda geliştirilmeye başlanmıştır. Özellikle yüksek maliyetleri ile genele yaygınlığı yeni nesil hücrenel haberleşme cihazları kadar olmasa da teorik olarak kapsama alanının sınırsız oluşu sebebi ile çöl, kutup bölgeleri, okyanus benzeri yerleşim bölgesi dışında faaliyet gösteren işletmelerde veya bu bölgelerde yaşayan kişiler tarafından kullanılmaktadır.

1957 de gönderilen ilk uydu Sovyet “Sputnik 1” den bu yana gelişen teknoloji ile uydu haberleşmesi telefon, televizyon yayını, radyo yayını, amatör radyo, konum belirleme ve navigasyon, askeri amaçlar, internet erişimi için kullanılmaktadır. Özellikle 1990 lardan sonra uydu haberleşmesi veri trafiğinin taşınmasında kullanılmaya başlanmıştır. [Communications Satellites: Making the Global Village Possible, 2007]

Kablolu yerel alan ağları Amerikan FCC düzenlemeleri ile başlayıp bugün IEEE düzenlemeleri ile uluslar arası standartlarla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kablosuz yerel alan ağlarında tek taşıyıcılı radyo teknolojisi (DSSS) veya çok taşıyıcılı radyo teknolojisi (OFDM) kullanılmaktadır.

Çizelge 2-1 802.11 protokolleri

802.11 protokolü	Yayınlanma	Frekans (GHz)	Veri hızları (Mbps)	Modülasyon	Yaklaşık iç mekan kapsama alanı (m)	Yaklaşık dış mekan kapsama alanı (m)
-	Haziran 1997	2.4	1,2 (bant genişliği 20 MHz)	DSSS	20	100
A	Eylül 1999	5	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 (bant genişliği 20 MHz)	OFDM	35	120
B	Eylül 1999	2.4	1, 2, 5.5, 11 (bant genişliği 20 MHz)	DSSS	38	140
G	Haziran 2003	2.4	1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 (bant genişliği 20 MHz)	DSSS, OFDM	38	140
N	Kasım 2009	2.4 /5	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65 (bant genişliği 20 MHz) 15, 30, 45, 60, 90, 120, 135(bant genişliği 40 MHz)	OFDM	70	250

IEEE 802.11 ile Wi-fi ismi birçok yerde eşanlamlı olarak kullanılmakla birlikte, Wi-fi 802.11 standardına göre geliştirilmiş ürünlerin birlikte çalışabilirlik sertifikası anlamındadır. Yani üzerinde Wi-fi logosu bulunan ürünlerin birbiri ile sorunsuz çalıştığı test edilip onaylanmıştır.

802.11 protokollerine dair yayınlanma tarihleri, çalışma frekansları, veri hızları, modülasyon teknikleri, iç ve dış mekanlarda kapsama alan yarıçapları Çizelge 2-1 de sunulmuştur.[IEEE 802.11 Wireless Local Area Network, 2001]

2.1.2.2 GSM Sisteminde Veri Haberleşmesi

GSM servisi ile ilgili ilk gelişme, var olan devre bağlaşmalı veri hızının 9.6 kbps 'den 14.4 kbps'ye çıkartılmasıdır. Bu aşamadan sonra 1998 yılında, veri iletim hızını arttırmak amacıyla devre anahtarlamaalı veri kapasitesine sahip mevcut 2G GSM şebekelerinin gelişmiş bir uygulaması olan HSCSD (Yüksek Hızda Devre Anahtarlamaalı Veri) yapısı oluşturulmuştur. HSCSD kullanımı ile 57.6 kbps hızına kadar veri iletimi gerçekleştirmek mümkündür. Temelde yüksek hızlara ulaşmak çoklu GSM zaman slotu ile mümkündür. GSM, her biri 200 kHz kanal aralığının 8 zaman slotuna bölündüğü TDMA (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim) tekniğini kullanır. Bir zaman slotu ses için ayrılmıştır. Aynı zamanda bir zaman slotu ile 14.4 kbps hızında veri iletimi gerçekleştirilebilir. HSCSD'de 57.6 kbps hızına ulaşmak için 4 slot kullanılmaktadır.

Direkt IP (Internet Protokolü) teknolojisi bu konuda atılan bir diğer önemli adımdır. Bu sistemde abone bir devre bağlaşmalı veri çağırması gerçekleştirir, fakat taşıyıcı çağırmaı PSTN'e bağlaştırmak yerine internete bağlanmış bir yönlendiricide sona erdirir. Abone açısından, taşıyıcı bir internet servis sağlayıcı gibidir. Bu hibrit devre/paket servis tipi GPRS'e geçişte bir adım taşıdır ve ayrıca HSCSD ile birlikte çalışabilmektedir.

HSCSD'den sonra GPRS teknolojisi gelmektedir. GPRS sistemi ile teorik olarak 171.2 kbps hız desteklenmektedir. Yüksek hızda bir GPRS bağlantısının kurulma süresi sadece 1-2 saniye almakta ve yalnız bir kez yapılması yeterli olmaktadır. Bu aşamada, son kullanıcı herhangi bir şebeke kaynağını kullanmadan sürekli hatta kalabilmekte ve kapasiteye ihtiyaç duyulduğunda erişim gecikmeleri sadece birkaç yüz milisaniye almaktadır.

Çizelge 2-2 GSM, GPRS, EDGE, 3G Veri Haberleşme Hızları

Teknolojinin Adı	Yetenekleri ve Hızı	Notlar
GSM	9.6 kbps hızında devre bağlaşmalı veri ve faks	Çoğu GSM operatöründe mümkün
GSM	14.4 kbps hızında devre bağlaşmalı veri ve faks	9.6 kbps servisi ile benzer şekilde, daha yüksek hızda çalışır.
Doğrudan IP Erişimi	İnternete doğrudan devre bağlaşmalı bağlantı	Çağrı kurma süresini azaltır ve paket verisi için bir adım taşındır.
HSCSD	57.6 kbps 'ye kadar yüksek hız	Pahalı altyapı gerektirmez, taşıyıcılar için sadece yazılım geliştirmesi yapılır.
GPRS	Teorik olarak 171.2 kbps hızında paket veri iletimi	Son derece yetenekli ve esnek mobil haberleşme
EDGE	GPRS ile mümkün olan hızı 3 kat daha artıran yüksek hızlı paket veri iletimi	Var olan GSM şebekesi için son yüksek hızlı veri şebekesi
3.Nesil Hücresel Sistemler	2 Mbps'lik yüksek hızlı paket veri iletimi	Tamamen yeni bir hava arayüzü

GPRS teknolojisinden sonra ve üçüncü nesilden önce EDGE (GSM Evrimi İçin Geliştirilmiş Veri Hızları) teknolojisi gelmektedir ve geliştirilmiş modülasyon tekniklerini kullanarak 384 kbps'lik bir maksimum teorik hız desteklenmektedir.

EDGE teknolojisinden sonra veri haberleşmesini 2 Mbps hızlara çıkarabilen üçüncü nesil hücresel sistemler gelmektedir. Üçüncü nesil sistemleri kullanan operatörler aynı zamanda EDGE teknolojisini de kullanmaktadır.[Dinçkan, 2006]

2.1.3 El Değiştirme

El değiştirme tanımı hücresel haberleşme ile birlikte gelişmiştir. GSM sisteminin en temel özelliği abonelerine hareket özgürlüğü kazandırmasıdır. Bu hareket serbestisinin konuşma sırasında da devam etmesi beklenir. Bir abonenin servis aldığı hücre sınırından çıkması durumunda dahi konuşmasının devam etmesi El Değiştirme (Handoff/Handover) ile sağlanır.

Gelişen teknoloji ile tek bir iletişim servis sağlayıcı içinde gerçekleşen bu el değiştirme tanımı, birden fazla servis sağlayıcıdan birden fazla teknolojik altyapı aracılığı ile hizmet alan kullanıcının bir servis sağlayıcıdan diğerine geçişi için dahi

kullanılmaya başlanmıştır. Servis alınan altyapıların homojen olmaması sebebi ile bu el değiştirme tipi için dikey el değiştirme (vertical handover) veya heterojen el değiştirme tanımı yapılmıştır. El değiştirme kavramı bir şebeke içinde yapılıyorsa bu tür el değiştirme yöntemine homojen el değiştirme veya yatay el değiştirme denir.

2.1.3.1 Yatay El Değiştirme

Gerek GSM sisteminde gerekse uydu ses haberleşmesinde servis alanları, baz istasyonları veya uydular tarafından kapsanan alanlardır. Bu bölgelere hücre adı verilir. Mobil haberleşmede hareket serbestisi sebebiyle abonelerin bir noktada birden fazla baz istasyonunun kapsama alanında çalışmaları ve/veya hareketlilik sebebiyle hücre değiştirmeleri söz konusudur. Hücre değişimi sırasında konuşmanın kesintiye uğramaması gereklidir. Yatay el değiştirme (Handover /Handoff) türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Ağ kontrollü el değiştirme (NCHO-Network-controlled handover/handoff)
- Mobil istasyon yardımcı el değiştirme (MAHO Mobile-Assisted Handoff)
- Yazılımsal el değiştirme (SHO: Soft Handoff)
- Mobil istasyon kontrollü el değiştirme (MCHO: Mobile-controlled handoff)

Ağ kontrollü el değiştirme (NCHO-Network-controlled handover/handoff): NCHO mobil istasyonun birkaç baz istasyonunda sinyal kalitesi ölçümüne bağlı olarak el değiştirme kararının verilmesine dayanan merkezi bir el değiştirme protokolüdür. Spesifik olarak bir MS nin eski baz istasyonunda ölçülen sinyal seviyesinin yeni, baz istasyonuna nazaran düşük olduğu durumlarda servis alınan eski baz istasyonundan yeni baz istasyonuna geçiş kararının ağ tarafından verilmesidir. Bu tip el değiştirme 100- 200ms kadar servis kesintisine sebep olabilmektedir. Toplamda 5- 10 s lik gecikmelere sebep olabilen bu tip el değiştirme protokolleri sıkça el değiştirme yaşanacak baz istasyon ve kullanıcının fazla olduğu sistemlerde

olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Bu tip el değiştirme mekanizmaları ilk nesil analog hücresel haberleşme teknolojilerinde kullanılmaktadır. Bir servis sağlayıcı altında gerçekleşebilecek el değiştirme işlemleri aşağıdaki gibi kategorize edilmiştir.

Mobil İstasyon Yardımlı El Değiştirme (MAHO Mobile-Assisted Handoff): MAHO el değiştirme karar işlemini dağıtmıştır. MS sinyal ölçümünü kendisi yapmakta ve mobil anahtarlama merkezi el değiştirme kararını vermektedir. Ağ kontrollü el değiştirmeye kıyasla daha dağıtık bir kontrol sağlamaktadır, böylelikle toplamda el değiştirme için harcanan kesinti 1 s mertebelerine inmektedir.

Yazılımsal El Değiştirme (SHO: Soft Handoff): SHO, MAHO ile birlikte sıklıkla kullanılır. MS nin eski BS den aldığı hizmetin kesilip yeni BS de sağlanması yerine, SHO da öncelikle yeni baz istasyonu ile iletişim kurulup başarılı veri akışı sağlandıktan sonra eski baz istasyonu ile olan iletişim kesilmektedir. Özetle SHO “kesmeden önce kur” (“make before break” mechanism) mekanizması ile çalışmaktadır. Bu mekanizma servis sürekliliğini sağlanmasını garanti eder. Bununla birlikte aynı anda iki baz istasyonu ile iletişim yapılması sebebiyle daha fazla kaynak tüketimine sebep olmaktadır.

Mobil İstasyon Kontrollü El Değiştirme (MCHO: Mobile-controlled handoff): Ağ kontrollü el değiştirmenin tersine mobil istasyon el değiştirme kontrol ve kararının tamamını gerçekleştirmektedir. Mobil İstasyon sürekli bulunduğu bölgedeki tüm baz istasyonlarının sinyal güçlerini ölçer. Mobil istasyon bağlı olduğu baz istasyondan daha güçlü sinyal aldığı bir baz istasyonu bulduğunda yeni baz istasyonuna geçiş kararını kendisi verir. MCHO en dağıtık seviyede el değiştirme mekanizmasıdır, bu sebeple en hızlı el değiştirme (toplamda 0,1 s seviyelerinde) bu mekanizmada gerçekleşir. [N. Ekiz vd., 2005]

Bir abone konuşma sırasında bir hücrenin kapsama alanından çıkıp başka bir hücreye girdiğinde, hedef hücre ile yeni bir bağlantı kurulup eski hücre ile olan bağlantı koparılır.

El değiştirmenin gerçekleşmesi, için iki neden vardır. Bunlar;

- Ölçüme bağlı el değiştirme

- Trafik kısıtlarına bağlı el değiştirme

Ölçüme bağlı el değiştirmede, radyo sinyalinin gücünün ya da kalitesinin, BSC tarafından belirlenen belli değerlerin altına düşmesiyle gerçekleşir. Sinyaldeki bozulma, hem MS hem de BTS tarafında yapılan ölçümlerle belirlenir. Sonuç olarak, bağlantı daha güçlü sinyale sahip hücreye aktarılır. Bu tür el değiştirmelere servis alınan BSC karar verir.

Trafik kısıtlarına bağlı el değiştirmede, abonenin servis aldığı hücrenin trafik kapasitesinin dolması durumunda gerçekleşir. Hücrenin sınırlarında bulunan abone, trafiğin daha az yoğun olduğu komşu hücreye aktarılır. Bu tür el değiştirmelere servis alınan MSC karar verir.

Dört çeşit el değiştirme vardır. Bunlar;

- Hücre içi el değiştirme- BSC içi el değiştirme
- Hücre dışı el değiştirme- BSC içi el değiştirme
- Hücre dışı el değiştirme –BSC dışı el değiştirme
- MSC dışı el değiştirme

Hücre içi el değiştirme – BSC içi el değiştirme: En basit el değiştirme şeklidir. Abonenin kullandığı konuşma kanalının değişmesi anlamındadır. Bu kanal değişikliği genellikle başka bir frekansa geçiş şeklindedir. BSC tarafından gerçekleştirilir.

Hücre dışı el değiştirme – BSC içi el değiştirme: Abone bulunduğu hücreden başka bir hücreye geçiş yaptığında gerçekleşir. Yeni hücre ile bağlantı kurulduktan sonra eski bağlantı kesilip işgal edilen kaynaklar serbest bırakılır. BSC tarafından gerçekleştirilir.

Hücre dışı el değiştirme – BSC dışı el değiştirme: Abonenin geçiş yaptığı hücreye yayın yapan BTS in kontrolcüsü ile eski hücreye yayın yapan BTS in kontrolcüsü farklı BSC olması durumunda gerçekleşir. El değiştirmenin gerekliliğine

iken kablosuz LAN ile internete erişirken kapsama alanı dışına çıktığında veya kablosuz LAN ile ilgili ciddi performans kayıpları yaşandığında hücresel ağa bağlanabilir.

Yatay el değiştirme aynı teknolojiyi kullanan farklı ağ erişim noktalarının kullanımı iken dikey el değiştirmede farklı teknoloji altyapıları arasında geçiş söz konusudur. Yatay el değiştirme GSM, 3G veya uydu ağlarında aynı operatör ağında farklı ağ erişim noktaları üzerinden dış dünyaya erişmek, kablosuz yerel alan ağlarında tercih edilmiş ağlar (işletim sisteminde daha önceden bağlanılmış kablosuz ESSID leri) arasında geçiş yapmak anlamına gelirken, dikey el değiştirme mobil terminalin GSM, 3G, uydu kablosuz LAN hatta kablolu LAN arasında geçiş yapması anlamına gelmektedir. Yatay el değiştirme için birkaç önemli nokta vardır. Bunlar; el değiştirme metrikleri, el değiştirme karar algoritmaları, mobilite yönetimi ve el değiştirme prosedürüdür.

El değiştirme metrikleri: hücresel ağdaki hücreler arası geçişte söz konusu olan geleneksel yatay el değiştirmede el değiştirme kararı hücre sınırlarındaki göreceli sinyal gücüne RSS (Relative Signal Strength) ve çağrı düşme oranı gibi kıt kaynak yönetim sebeplerine dayanır. Dikey el değiştirmede ise farklı tipteki ağ teknolojileri farklı tipte sinyaller kullandığı ve farklı gürültü ve hata oranlarına sahip oldukları için doğrudan sinyal gücünün karşılaştırılması mümkün değildir. Daha karmaşık metrik ve karşılaştırma metotları kullanılır. Örneğin kablosuz LAN ile 3G ağlarının her ikisinin kapsama alanında bulunana bir mobil terminal için el değiştirme metrikleri sinyal gücü, kullanıcı ihtiyaçları, ağın durumu, uygulamanın tipi, parasal maliyet ve güç tüketim maliyeti olabilir.

El değiştirme karar algoritmaları: yukarıda belirtilen dikey el değiştirme metriklerine dayanarak arayüz değişiminin ne zaman ve nasıl yapılacağı kararı verilecektir. Bu hususta daha iyi servis kalitesi ve düşük maliyet hedeflerini gerçekleştirmek için birçok makale yayımlanmıştır. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları kullanılarak önerilmiş algoritmalar da aynı problemin çözümü için önerilmiştir.

Mobilite yönetimi: Bir mobil terminal mevcut oturumunu bir ağdan başka bir ağa taşıdığında, başka bir deyişle söz konusu oturum için dikey el değiştirme gerçekleştirdiğinde, IP adresi değişecektir. Oturum kurulmuş hedef sistemin mobil terminalin yeni IP adresinden haberdar edilmesi gereklidir başka bir deyişle oturum kurulmuş hedef sistemin mobil terminale veri gönderebilmesi için mobilite yönetiminin yapılması gereklidir. Mobilite yönetimi uygulama katmanı, iletim katmanı, ağ katmanı gibi birçok ağ katmanında gerçekleştirilebilir. EN sık kullanılan yöntem SIP ve Mobile IP dir.

El değiştirme prosedürü: Ağ altyapısının dikey el değiştirme mekanizmasını desteklediği sistemlerde el değiştirme prosedürünün gerçekleşmesi için el değiştirme algoritması tarafından üretilen el değiştirme kontrol sinyalleri kullanılır. Aşağıda örnek bir dikey el değiştirme prosedürü tanımlanmıştır.

Dikey el değiştirme başlangıcı

Yeni link arama

Ağın keşfi

Ağ seçimi

El değiştirmede anlaşma

El değiştirme hazırlık safhası

Yeni bağlantının kurulması

İkinci katman bağlantısı sağlanması

IP bağlantısı sağlanması

El değiştirmenin gerçekleştirilmesi

Bağlantıların transferi

El değiştirme sinyalleşmesi

Durum transferi

Paket kabul

Mobil terminalin servis alabileceği tüm ağ altyapılarında eş veya benzer yapılar söz konusu olmayabilir. Örneğin mobil IP için gerekli kontrolcüler, ücretlendirme sunucuları, servis sağlayıcılar arası oturum transferleri için geliştirilmiş sunucular farklı teknoloji altyapılarında farklılık gösterecektir. Yukarıda belirtilen el değiştirme metodolojisinde Bağlantıların Transferi bölümü ağ altyapı bileşenlerine bağlıdır. Ağ

altyapı bileşenleri dikey el değiştirme mekanizması için kullanılabilecek bir sinyalleşmeyi desteklemiyorsa dikey el değiştirme gerçekleşmesinin ardından yeni oturum açılabilir.

2.2 Konu ile İlgili Çalışmalar

Bu tez çalışmasında dikey el değiştirme yöntemleri, mobil IP yöntemleri, servis kalitesi merkezli performans metrik tanımları üzerine literatür taraması gerçekleştirilmiş. Literatür tarama çalışmalarının sonucunda problem alanları tespit edilmeye çalışılmıştır. Tespit edilen problem alanları Bölüm 2.3 de özetlenmiştir.

Yakın geçmişte dikey el değiştirme ile ilgili birçok metot önerilmiştir. [Niemah, 2008] [Zhang Q., 2003] [Meriem, 2008]

[Zhu and MacNair, 2004] makalesinde dikey el değiştirme yöntemi bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Her bir aday ağ arayüzü bir maliyet fonksiyonu ile eşleştirilmiştir. Haberleşme için kullanılacak arayüz bu maliyet fonksiyonu esas alınarak belirlenmiştir. En düşük maliyet fonksiyonu üreten arayüz tercih edilmiştir. Maliyet fonksiyonu kapasite, gecikme ve enerji gereksinimlerine bağlıdır. Her bir kriter için uygun bir ağırlık vektörü tanımlanmıştır.

[Chen and Shu, 2005] makalelerinde dikey el değiştirme karar metodu için Active Application Oriented (AAO) ismini verdikleri bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemde ses haberleşmesi için gerekli olacak maksimum ve minimum kapasite değerleri servis kalitesi için metrik olarak seçilmiştir. Bu metrik değerlerine göre arayüz seçim işi yapılmaktadır. Her bir aday arayüz için bir fayda fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu metotta da en yüksek fayda fonksiyonu üretecek arayüz haberleşme için seçilmiş arayüz olarak kullanılmıştır. Bu fayda fonksiyonu normalize edilmiş servis kalite parametrelerinin belli ağırlıklarla çarpılıp toplanması şeklinde elde edilmiştir.

[Zhang W., Optimizations... , 2004] makalesinde dikey el değiştirme kararının çoklu öznitelikle karar verme (MADM: Multiple Attribute Decision Making) problemi bulanık problemi olduğu değerlendirilmiştir. Bulanık mantık kesin olmayan bazı özellik ve kullanıcı tercihlerinin temsili için kullanılır. Bu makalede belirtilen bulanık MADM metodunun iki aşaması vardır. İlk aşamada bulanık veriler gerçek

rakamlara çevrilmiş, ikinci aşamada ise klasik MADM metotları kullanılarak aday ağlar sıralanmıştır. SAW (Simple Additive Weighting) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) klasik MADM metotlarıdır.

SAW metodunda bütün aday ağ arayüzlerine ait metrik değerleri ağırlıklandırılarak toplanır. Her bir aday ağ arayüzüne ait skor her bir metriğin ağırlık değeri ile o metriğe ait normalize edilmiş değerın çarpılıp toplanması ile elde edilir (E. Stevens-Navarro, 2006).

TOPSIS metodunda ise ağ arayüzlerinden ideal çözüme en yakın ve en kötü duruma en uzak arayüz haberleşme arayüzü olarak belirlenir. İdeal çözüm her bir metriğin en iyi değerinden elde edilmiş çözüm durumudur.

[Wang, 1999] de iki boyutlu, politika tabanlı birçok metriği aynı anda değerlendiren bir dikey el değiştirme algoritması önerilmiştir. Bu algoritmada tüm uygulamalar için bir çıkış arayüzü belirlenmektedir. Şayet seçilen ağ uygulamaların ağı kullanımının tamamını karşılayamayacak hale gelirse çalışan uygulamaların oturumlarının tümü kaybolacaktır.

[Zhu F. and Macnair, Vertical ... 2004] makalesinde, [Wang, 1999] makalesinde önerilen algoritma genişletilmiştir. Maliyet fonksiyonu tüm aktif uygulamalar için hesaplanıp azalan şekilde sıralanmıştır. Bu metotta karar verilirken her bir uygulama için ayrı ayrı değerlendirme yapılması sağlanmıştır. Bu metodun [Wang, 1999] de belirtilen metottan farkı, kapasitenin esnek kullanımı sayesinde yüksek efektif kapasite değerlerine ulaşılmasıdır.

[Li and Fei, 2004] makalelerinde geniş alan hücreli veri ağları ile (örneğin UMTS) kablosuz LAN ağları arasında dikey el değiştirme için SCTP (Stream Control Transmission Protocol) kullanımı önerilmiştir. SCTP protokolünün dinamik adres konfigürasyonu özelliği kullanılarak çok adreslilik (multihoming) kullanılmıştır. Çok adreslilik dikey el değiştirmede mobilite yönetimi kullanılabilecek yöntemlerden biridir. Yazar SCTP nin bu özelliğinin kullanılarak dikey el değiştirmedeki gecikmelerin azaltılabileceğini öne sürmüştür. Önerilen yöntemin öne çıkan özelliği SIP (Session Initiation Protocol) veya Mobile IP de ağ

altyapısının ihtiyaç duyacağı ek bileşenlere (HA -Home Agent-, FA –Foreign Agent-, SIP sunucu) ihtiyaç duymadan dikey el değiştirme yapılabilmesidir.

[Stevens-Navarro et al., 2008] makalelerinde dikey el değiştirme için karar mekanizması problemi üzerinde durulmuş ve hangi şartlar altında dikey el değiştirme yapılması gerekliliği problemi için her bir durum için toplam beklenen fayda için Markov karar süreci kullanılmıştır. Bağlantı için kullanılacak ağ kaynaklarından toplanan verilerle toplam fayda için bir fonksiyon tanımlanmış. Metrik olarak sinyalleşme ve işlem maliyetleri kullanılmıştır. Önceden belirlenmiş bir politikaya göre ses ve veri haberleşmesi için elde edilen sonuçları SAW (Simple Additive Weighting) benzeri yöntemlerle karşılaştırmasını yaparak dikey el değiştirme karar safhasında önerdikleri algoritmanın diğer algoritmalar göre daha yüksek fayda sağladığını belirtmişlerdir.

[Dvir et al., 2010] bu makalede kapsama alanı geniş WiMAX ağları ile bu ağların kapsama alanı içinde yer alan kablosuz LAN ağları arasında geçiş ve en iyi performansın alınabileceği ağın tercihi için efektif bant genişliği ve kapasite metriklerine dayanarak karar verebilmeyi sağlayacak bir yöntem önerilmiştir. Makalede WiMAX ağını dış hücre kablosuz LAN ağı ise iç hücre olarak tanımlanmıştır. İç hücre alanı ile dış hücre alanının örtüştüğü bölgelerde en iyi ağın tercihi için kullanılan metriklerle performans analizi yapılmış ve diğer erişim metotları ile birlikte kullanılabileceği öne sürülmüştür. Bu makalede kullanıcı tercihlerinin de değerlendirilebileceği bir yapı hususunda iyileştirmeye değinilmemiş teknolojik gereksinimler ve alınabilecek en yüksek efektif bant genişliği ve en yüksek kapasite ağ tercihi üzerinde durulmuştur..

[Dai et al., 2008] makalelerinde IEEE 802.11 ağları ile WiMAX olarak da bilinen 802.16 ağları arasında dikey el değiştirme için yüksek seviyede efektif bant genişliği ve olabildiğince yüksek seviyede kapasite kullanımını hedefleyen bir dikey el değiştirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem ikinci katmanda sinyal gürültü oranı ve bant genişliği değerlerini metrik olarak kullanarak en yüksek seviyede efektif bant genişliğinin ve kapasite kullanımını sağlayacak iyileştirmeleri anlatmaktadır. Makalede mobilite yönetimi hususunda bir açıklama yapılmamış,

üçüncü katman ölçümleri ile ilgili performans metrikleri karar mekanizmasında kullanılmamıştır.

[Yoon et al., 2009] bu makalede üçüncü katmanda gerçekleştirilen dikey el değiştirme mekanizması için bir mobile IP mekanizması önerilmiştir. Makalede bundan önce yapılan çalışmalarda kablosuz LAN ve hücresel haberleşme için birçok önerinin yapıldığını fakat WiBro (Wireless Broadband) için çalışma yapılmadığının altını çizmiştir. Önerilen yöntem gerek IP versiyon 4 gerekse IP versiyon 6 da kullanılabilir bir mobile IP çözümüdür. Önerilen yöntemde mobil terminallerin herhangi bir ağdan erişebilecekleri bir sunucu üzerinde konum ve kimlik kaydı oluşturup bu kayıt bilgileri ile sunucu üzerinden tünel kurarak diğer mobil kullanıcılar ile haberleşmeyi öngörmektedir. Yazarlarında belirttikleri gibi sunucu sadece kontrol amacı ile kullanılmaması, mobil terminalin tüm veri trafiğinin bu sunucu üzerinden akması sebebiyle hem sunucu performansına yüksek seviyede bağımlı hem de ağa binecek trafik açısından trafik miktarını ikiye katlayacak bir çözümdür. Çünkü normal şartlar altında haberleşme doğrudan gerçekleşebilecekken, trafik kaynağından sunucuya sunucudan trafik hedefine giden bir yol önerilmiştir. Geleneksel mobile IP yönteminde (HA-FA kullanımında) dahi trafik miktarı kötü senaryolar için bir buçuk katına çıkacaktır.

IEEE bünyesinde oluşturulan bir çalışma grubu medyadan bağımsız el değiştirme için IEEE 802.21 (Media Independent Handover Services) standardını hazırlamışlardır. Bu standart yerel alan ağları ailesi olarak da bilinen IEEE 802 standardına uygun ağların ve hücresel haberleşme ağları arasında gerçekleşebilecek dikey el değiştirme gereksinimlerini belirtmektedir. Standart üçüncü katman ve üzeri protokol seviyesinde bir kontrol yapmamaktadır. Ayrıca 802.11 kablosuz LAN ağları dışında sistem içi el değiştirme için bir öneri veya yöntem önermemektedir.

Dikey el değiştirmede arayüzlerin farklı teknolojilerde olmasının getirdiği teknik problemlerin dışında bağlantının sağlanabilmesi için servis sağlayıcılardan alınıp kullanılan adres bilgilerinin de taşınması ciddi bir problem alanıdır. İnternette kullanılan adresleme IP protokolüne dayanır. Şu an dünya üzerinde sıklıkla kullanılan IP protokolü versiyonu IP v4 dür bununla birlikte gerek adres uzayının seneler önce tükenmiş olması gerekse güvenlik, QoS gibi servisler için yeterli

başlık alanının bulunmaması sebebiyle IP v6 geçişleri yer yer yapılmaktadır. Arayüz değişimi sonrasında eski arayüzde hizmet alınan servis sağlayıcının sağlamış olduğu IP adresinin muhafaza edilmesi için servis sağlayıcılar arası bir organizasyon veya birlikte çalışma gerekli olacaktır.

IP mobiltenin sağlanması yapılan birçok çalışma mevcuttur. IETF in IP versiyon 4 ve IP versiyon 6 için yayımladığı iki adet RFC si mevcuttur (RFC#4068 ve RFC#4988).

Yapılan birçok çalışma ve yayımlanan birçok makale dikey el değiştirme sonucu bir arayüz seçilip tüm bağlantıların bu arayüz üzerinden çıkışını önermektedirler.

Bu tez çalışmasında mobil terminal üzerinde servis sınıfları tanımlanarak her bir servis sınıfı için servis sınıf fonksiyonu hesaplanması yapılmıştır. Servis sınıfları ve servis sınıf fonksiyonları mobil terminaller üzerinde çalışan uygulamaların performans metrik gereksinimlerinin belirlenmesi için önerilmiştir.

Servis sınıflarının belirlenmesinin ardından arayüz performans metrik değerlerinin ölçülmesi için bir çerçeve önerisinde bulunulmuştur. Bu öneride kullanıcı ihtiyaçlarının tanımlandığı politika, arayüz performans metrik değerleri ve uygulama servis taleplerinin tamamı birden değerlendirilip ilgili servis için uygun arayüz ataması yapılması önerilmektedir. Aynı anda birden fazla arayüzden birden fazla ağa bağlanması öngörülmektedir.

2.3 Problem Alanları

Dikey el değiştirme işleminde heterojen ağlar arasında geçiş yapıldığı için birçok problem alanı mevcuttur. Bu problem alanlarını;

- Yanlış arayüz seçimi
- Aynı anda birden fazla ağ arayüzünün kullanılamaması
- Servis farkındalığının olmayışı

- El Değişirme Metriklerinin Belirlenmesi
- El Değişirme Karar Algoritmaları
- Mobilite Yönetimi

şeklinde gruplandırabiliriz.

2.3.1 Yanlış Ağ Arayüzü Seçimi

Birden çok ağ arayüzüne sahip bir mobil cihaz, hangi arayüzü kullanacağını genellikle işletim sisteminin müsaade ettiği ölçüde kullanıcı tercihinine bağlı olarak bir erişim noktası listesine göre belirlenmektedir. Listenin ilk elemanına bağlanamazsa ikincisine, ikincisine de bağlamazsa bir sonrakine bağlanmaya çalışmaktadır. Örneğin listenin ilk sırasında A ESSID sine sahip 802.11 ağı ikinci sırasında B 802.11 ağ, üçüncü sırasında C isimli GSM operatörü olsun. A ve B isimli 802.11 ağlarından herhangi birinden servis alabildiği sürece, mobil terminal C operatörünün sunduğu GPRS, UMTS veya 3GPP servislerinden faydalanamayacaktır.

Aynı arayüzden birden fazla operatör üzerinden ağ erişim hizmeti alınması durumunda da ikinci katman parametrelerinden alınan sinyal gücü, sinyal gürültü oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) parametreleri karşılaştırılarak bağlanılacak ağ belirlenir. Oysaki pratikte bu tercih yanlış olabilmektedir. Bir mobil cihazının 54 Mbps bağlantı hızı olan bir 802.11 ağına bağlandığını fakat bu ağın internete çıkışı olmadığını veya çıkış hızının çok düşük olduğunu düşünelim. Bu durumda daha düşük sinyal gücüne sahip fakat daha yüksek erişim sağlanabilecek başka bir 802.11 ağı veya başka bir arayüz üzerinden başka bir servis sağlayıcı kullanılabilecek iken daha düşük bağlantı hızına sahip bir arayüz seçilmiş olacaktır. Doğru arayüzü tercih edebilmek için sinyal gücü gibi kriterlerin yanı sıra uçtan uca gecikme, harcanan güç maliyeti, parasal maliyet, throughput ve güvenlik gereksinimleri gibi üçüncü ve daha yukarıdaki katmanların kriterleri de göz önüne alınmalıdır.

2.3.2 Aynı Anda Birden Fazla Ağ Arayüzünün Kullanılamaması

Günümüzde üretilen mobil cihazların büyük bölümü aynı anda sadece bir ağ arayüzünü kullanmaktadır. Mobil cihazların büyük çoğunluğu, 802.11 hızının GPRS, EDGE ve 3G den daha yüksek olması nedeni ile 802.11 erişimi mümkün olan her yerde 802.11 üzerinden haberleşmeyi tercih etmektedir. Birbirlerine rakip gibi görünen 802.11 (Wi-fi), 802.16 (WiMAX) ve hücresel mobil telefon teknolojileri aslında birbirini tamamlayıcı nitelikte kullanılabilmektedir. Birden fazla ağ bağlantısı olan ortamlarda hem Wi-fi ağı hem de hücresel haberleşme ağı birlikte kullanılması sağlanabilir. Mobil cihaz üzerinde çalıştırılan her uygulamanın ihtiyaç duyduğu zaman hassasiyeti farklıdır. Örneğin ses haberleşmesinde 150 ms lik gecikmeden fazlası konuşmanın kalitesini olumsuz etkilerken, bir e-postanın hedefine 1 dakika geç gitmesi kullanıcı tarafından kabul edilebilmektedir. Bu sebeple ihtiyaçlar uygulamalara ve kullandıkları protokollere göre değişebilmektedir. Zaman hassasiyetine bakılmaksızın aynı ağ arayüzünden gönderilen paketler diğer uygulamaların çalışmasını negatif yönde etkilemektedir. Bu durumda farklı ağ arayüzlerini ortak kullanarak zaman hassasiyeti az olan protokolleri düşük kapasiteye sahip arayüzden göndererek ses ve benzeri uygulamalardaki kalite arttırılabilmektedir.

2.3.3 Servis Farkındalığının Olmaması

Mobil terminallerde çalışan uygulamaların farklı haberleşme ihtiyaçları vardır. Kimi uygulamalar için kapasite önemli iken kimi uygulamalar için ise gecikme en büyük çözülmesi gereken sorun haline gelmektedir. Benzer şekilde haberleşme servisi alınan servis sağlayıcılarında gerek teknolojik nedenlerden gerekse mobilitenin ve dünyanın doğasından gelen kısıtlar mevcuttur. Örneğin baz istasyonlarının konumları ve sayısı, atmosferik nedenler, kablosuz servis sağlayıcıların servis aldığı altyapı servis sağlayıcılar, mali nedenler alınan erişim hizmetini etkileyen faktörler arasında sayılabilir. Uygulamaların ihtiyaç duydukları seviyede servis kalitesinin sağlanması için dikey el değiştirme de servis kalitesi ele alınması gereken bir problem olmaktadır.

2.3.4 El Değiştirme Metriklerinin Belirlenmesi

Yatay el değiştirmede servis alınan ağ ile aday ağ arasında teknolojik bir harklılık yoktur, eski ağda servis seviyesinin düşmesinin ve el değiştirme kararının verilmesinin sebebi yeni ağda daha iyi sonuçlar vermektedir. Örneğin alınan sinyal seviyesi veya çağrı düşme oranı her iki ağ için karşılaştırılabilir ve her iki ağda aynı skalada değer elde edilebilecek metriklerdir.

Dikey el değiştirme de ise teknolojiler dahi farklı olduğu için sinyal seviyelerinin karşılaştırılması, sinyal gürültü oranlarının karşılaştırılması mümkün bile olmayabilir. Örneğin kablosuz LAN altyapısında DSSS veya OFDM kullanılırken GSM de TDMA FM kullanılır. Bu iki teknolojinin birinci veya ikinci katmanda doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir. Bu sebeple dikey el değiştirme için metriklerin belirlenmesi önemli bir problem alanıdır.

2.3.5 El Değiştirme Karar Algoritmaları

El değiştirme metriklerinin bir şekilde belirlendiği durumlarda bu metriklere dayanarak el değiştirme kararının verilmesi gerekecektir. Servis kalitesinin maksimizasyonu güç tüketiminin minimizasyonu hedefli el değiştirmenin ne zaman ve hangi şartlarda yapılma kararı için birçok akademik çalışmalar yapılmıştır. Her bir el değiştirme, mobil terminal üzerine ayrı bir yük getirecektir. Her bir el değiştirme yeni ağa bağlantı istek paketlerinin gönderilmesi sonucunu doğuracaktır.

2.3.6 Mobilite Yönetimi

Bir mobil terminal mevcut oturumunu bir ağdan başka bir ağa taşıdığına, başka bir deyişle söz konusu oturum için dikey el değiştirme gerçekleştirdiğinde, IP adresi değişecektir. Aynı kablolu ağa bağlı birden fazla kablosuz LAN kullanımının olması gibi istisnai durumlarda IP adresinin değişmemesi için ağa altyapısında gerekli önlemler alınabilir. Oturum kurulmuş hedef sistemin, mobil terminalin yeni IP adresinden haberdar edilmesi gereklidir başka bir deyişle oturum kurulmuş hedef sistemin mobil terminale veri gönderebilmesi için mobilite yönetiminin yapılması

gereklidir. Aksi takdirde hedef sistem tarafında mevcut oturum zaman aşımına uğrayacak ve mobil terminalin yeni oturum açması gerekecektir. Mobilite yönetimi uygulama katmanı, iletim katmanı, ağ katmanı gibi birçok ağ katmanında gerçekleştirilebilir. EN sık kullanılan yöntem SIP ve Mobile IP dir.

3 PERFORMANS METRİKLERİ VE SERVİS SINIFLARI

Mobil terminal üzerinde çalışan birçok uygulama bulunmaktadır, günümüzde birçok uygulama enteraktif çalışacak şekilde geliştirilmekte ve internet bağlantısı hemen hemen tüm uygulamalar için gerekli hale gelmiştir. Farklı amaçlar için geliştirilmiş uygulamaların farklı seviyede erişim ihtiyaçları bulunmaktadır.

Kimi uygulamaların kullanıcı tatminiyeti için yüksek kapasiteye ihtiyacı varken, kimi uygulamaların taşıdığı veri itibarı ile güvenilir veri iletim hatlarına ihtiyacı vardır.

Mobil cihazların doğası gereği bir ağdan aynı seviyede servis kalitesi alması mümkün değildir. Burada çevresel faktörlerin etkisi çok büyüktür. Özellikle geniş kapsama alanına sahip GSM WiMAX gibi teknolojilerde atmosferik etki, çevredeki hareketli objeler, keskin yüzeylere sahip binalar, metal yoğun ofis ortamları alınan sinyalin kalitesinin çok kısa bir zaman içinde uç noktalara inip çıkmasına sebep olmaktadır.

Veri haberleşmesinde servis kalitesini etkileyen metriklerden en önemlileri yeniden gönderim oranları, gecikme ve kapasitedir. Bunun yanında kullanıcı memnuniyeti için mobil terminalin enerji tüketimi, haberleşme kanalında bulunan güvenlik önlemleri ve haberleşme kanalı kullanım ücreti de servis sınıfını belirlemek için değerlendirilmesi gereken konuların başında gelmektedir. Bu metrikler servis sınıflarının belirlenmesi için performans metrikleri olarak değerlendirilmiştir.

Kapasite: Birim zamanda iletilen veri miktarını ifade etmektedir, genellikle bit/s, kbps veya Mbps şeklinde gösterilir. Kanal kapasitesini gösterir. Arayüz tercihinde özellikle gerçek zamanlı veya gerçek zamana yakın uygulamalarda yüksek kapasite gereksinimi ortaya çıkacaktır. Bunların dışında kalan e-posta gibi “olabildiğince iyi” sınıfına girecek uygulamalar için yüksek kapasite veya throughput ihtiyacı yoktur.

TCP protokolü için maksimum kapasite aşağıdaki şekilde hesaplanabilir

$$\text{Max_Throughput} = \text{RWIN} / \text{RTT} \quad (3-1)$$

Kapasitenin her iki parametresi de zaman içinde değişiklik göstermesi kuvvetle muhtemel değerlerdir. RWIN değeri haberleşme alt yapısından bağımsız hedef sistemle ilintilidir. Bu sebeple arayüz seçimi yapılırken önerilen çerçevede kapasite ile ilgili bir performans değeri kullanılacaksa bunun başlangıçta ölçülmesi uygulanabilir değildir. Bu değer haberleşme için arayüz seçiminden ölçülmesi yerine, başlangıçta teknolojik kısıtlar doğrultusunda kabul yapılış ardından yapılan iletişimin dinlenerek gerekli olduğu durumlarda kararın değiştirilmesi şeklinde bir iyileştirme öngörülmüştür. Örneğin mobil terminal uygulamasının 600kbps lik bir kapasiteye ihtiyacı olduğunu düşünelim, 3G nin teknolojik üst limiti 2Mbps olduğu bir ağda garanti edilmese dahi 3G seçilebilir, benzer şekilde teknolojik limiti 172kbps olan EDGE ağı seçilmez.

RTT: Bilgisayar haberleşmesinde Round Trip Time bir noktadan başka bir noktaya paketin gidiş geliş sürelerinin toplamıdır. Saniye, milisaniye, mikrosaniye cinsinden ifade edilir.

RWIN (TCP Receive Window Size): Bilgisayar haberleşmesinde bir bilgisayarın göndericiye geri bildirim (ACK) yapmaksızın kabul edeceği maksimum veri miktarıdır. Bit cinsinden ifade edilir.

Gecikme: Bilgisayar haberleşmesinde gecikme gerek kullanıcı tatminiye düşürmesi sebebiyle gerekse zaman kritik işlem yapamamaya sebep olması sebebiyle çözülmesi gereken önemli problemlerden biridir. Özellikle ses ve video haberleşmesi söz konusu olan haberleşme sistemlerinde gecikme için kabul edilebilir zaman aralıkları dışına çıkan ağların tercih edilmesi durumunda ses haberleşmesinde bayılmalar, video haberleşmesinde ise görüntü kayıpları yaşanacaktır Gecikme tipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Uçtan uca gecikme: Tüm ağ boyunca kaynaktan hedefe ulaşmak için geçen süreyi ifade etmektedir. Aşağıda belirtildiği gibi hesaplanabilir

$$d_{\text{end-end}} = d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}} + d_{\text{que}} + d_{\text{proc}} \quad (3-2)$$

$d_{\text{end-end}}$: uçtan uca gecikme

d_{trans} : transmisyon gecikmesi -iletilen paketteki bit sayısı /iletim hızı-

d_{prop} : ortamdaki –bakır, fiber, hava-iletimden kaynaklı gecikme

d_{que} : iletim ortamındaki cihazlarda paketin kuyrukta beklemesinden kaynaklan gecikme

d_{proc} : ağ cihazlarında işlem kaynaklı gecikme

Jitter gecikmesi (jitter delay -packet delay variation-): paketin ağ üzerindeki gecikme değeri değişimini ifade eder. Farklı sebeplerden gecikme değeri değişebilir özellikle servis kalitesinin önemli olduğu ses ve video haberleşmesinde jitter gecikmesi önemi, bir problem haline gelmektedir. (örneğin VoIP haberleşmesinde jitter değeri 100 ms nin altında olması önerilmektedir.)

Güvenilirlik: Bilgisayar haberleşmesinde haberleşme kanalından, verici veya alıcı devrelerden, komşu iletişim cihazlarından kaynaklanan gürültü sebebiyle veri iletiminde bozulmalar gerçekleşir. Bu bozulmalar özellikle ses ve video gibi servis kalitesinin ön planda olduğu uygulamalar için büyük problem teşkil etmektedirler. Güvenilirlik için kullanılacak performans metrikleri aşağıdaki gibidir;

Bit Hata oranı (BER): veri transferi sırasında gürültü, enterferans veya distorsiyon sonucu bozulan bit sayısının toplam iletilen bit sayısına oranıdır.

Paket Hata Oranı (PER): veri transferi sırasında bozulan paket sayısının toplam transfer edilen paket sayısına oranıdır.

Yeniden Gönderim Oranı: haberleşme kanalında bozulan veya kaybolan paketlerin yeniden gönderiminin toplam paket gönderim sayısına oranıdır.

Güç: Mikro elektronikte gerçekleşen gelişmeler doğrultusunda el terminalleri mikro entegreleri çok daha düşük enerji tüketim değerleri ile çalışabilmektedirler. Fakat kullanıcı iletişim gereksinimleri ve uygulama çeşitliliği el terminallerinin güç tüketiminin yönetilmesi gereken bir problem haline getirmiştir. Haberleşme açısından güç tüketimini üç ayrı şekilde değerlendirebiliriz. Bunlar; veri gönderim (transmit mode), veri alım (receive mode) ve hazırda bekleme (IDLE Mode). Her

haberleşme teknolojisinde ve kullanılan protokollere bağlı olarak bu değerler değişiklik göstermektedir. Mobil terminalin enerji tüketiminin daha etkin bir şekilde yönetilmesi için her bir arayüzün güç tüketimi dikkate alınmalıdır.

Ücretlendirme: Kablosuz erişim sağlanabilecek, hücresele (GSM, DCS, PCS), uydu telefonu ve kablosuz LAN ağlarında ücretlendirme yapılabilmektedir. Uydu ve hücresele ağlarda kullanılabilecek el terminallerinde veya bilgisayar adaptörlerinde abonemin tanınması için bir SIM kart yer almaktadır. Faturalı veya ön ödemeli abonelikler mümkündür. Kablosuz Lan da ise erişim noktasında yapılacak otomatik yönlendirme ile sadece ödeme yapılabilecek sunucuya trafik mümkün olmaktadır. Kullanıcının kablosuz LAN ı kullanabilmesi için gerekli ödeme yapıldıktan veya abonelik işlemi tamamlandıktan sonra ağın kullanımına müsaade edilmektedir. Ücretlendirme iki türlü olabilmektedir. Bunlar;

Süre tabanlı ücretlendirme: Haberleşme kanalının kullanım süresine dayalı ödeme biçimidir. GSM teknolojisindeki WAP süre tabanlı ücretlendirmeye güzel bir örnektir.

Birim tabanlı ücretlendirme: Haberleşme kanalından geçen veri trafiği bazında ücretlendirme yapılır. GPRS ücretlendirmesi birim tabanlı ücretlendirmeye örnek olarak verilebilir.

Güvenlik: Mobil terminal ile hedef sistem arasındaki veri birçok ağdan geçmektedir. Mobil terminalden çıkan bir paket öncelikli olarak, mobil terminal ile baz istasyonu veya kablosuz LAN erişim noktası arasından ardından şebeke içinde veya yerel alan ağından ardından geniş alan ağından geçerek hedef sisteme ulaşacaktır. Aynı şekilde hedef sistemden çıkan bir paket mobil terminale ulaşmak için aynı yolu takip etmek durumundadır. Saldırı erişim yüzeyi ve erişim kontrol tedbirleri değerlendirildiğinde atmosferdeki sinyalleri dinlemek, manipüle etmek, LAN veya WAN da saldırı gerçekleştirmekten daha olasıdır. Bu sebeple mobil terminal ile baz istasyonu veya kablosuz erişim noktası arasındaki trafiğin gizlilik ve bütünlük tedbirleri hassas veri transferinde önemli bir performans ve politika metriki olacaktır.

Gizlilik: Hassas verilere yetkisiz kişiler tarafından erişilmemesinin sağlanmasıdır. Bunu için atmosferde gönderilen veriler için şifreleme teknikleri kullanılır. GSM standardında A3(kimlik doğrulama için), A5 (şifreleme için), A8 (anahtar üretimi için) standartları kullanılırken, kablosuz LAN larda şifreleme için RC4, AES algoritmaları kullanılır.

Bütünlük: Verinin yetkisiz kişilerce değişiminin tespit edilmesi anlamına gelir. Mesaj bütünlüğü, kontrol ve yönetim paketlerinin gönderim esnasında manipüle edilmediğinin garantisi için gerek hücresel gerek kablosuz LAN ağlarında önlemler alınabilmektedir.

Kullanılabilirlik: İstenildiği anda mobil haberleşme ortamlarının kullanılabilir olmasını ifade etmektedir. Birinci katman seviyesindeki bozucu etkiler ağın kullanılabilirliğini etkiler. Bozucu etkiler doğal sebepler olabileceği gibi insan yapımı bozucu sebeplerde olabilir.

Sinyal Enterferans Oranı (SIR): Hizmet alınan ağda belli frekans aralıklarında tanımlanmış kanallar bulunmaktadır. Bu kanallar içerisinde veri veya ses taşıdığı zaman ilgili kanalın yakın komşuluklarındaki kanallar iletilen ses ve veri trafiğinden etkilenirler. Sinyalin enterferans veya girişime oranı ne kadar büyük ise iletim kanalı o kadar temiz demektir.

Alınan Sinyal Gücü (RSS): gerek mobil terminalin gerekse baz istasyonu veya kablosuz LAN erişim noktasının anten yapısına bağlı olmakla birlikte, mobil istasyon ile baz istasyonu veya kablosuz LAN erişim noktası arasındaki mesafeye ve çevre koşullarına çok bağlıdır. Alınana sinyal gücü ne kadar fazla olursa gürültünün etkinliği azalacak ve erişim hızı artacaktır.

3.1 Servis Sınıfı Fonksiyonu

Her bir servis sınıfı için her bir performans parametresine bir ağırlık değeri atanır. Servis sınıflarının sınırlarının belirlenmesi için önceden tanımlanmış aralıklarda değerler belirlenir. Servis fonksiyonu da normalize edilmiş performans metrik

değerleri ve performans parametrelerinin ağırlıkları kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$F_s = \sum_{i=1}^n (W_i \times N(p_i)) \quad (3-3)$$

F_s : Servis fonksiyonu

W_i : Performans parametresi ağırlığı

$N(p_i)$: Normalize edilmiş performans metrik değeri

n: performans parametrelerinin sayısı

Performans parametresi ağırlıkları kullanıcı politikasına göre statik belirlenebileceği gibi, mobil terminalin o an içinde bulunduğu duruma göre dinamik değişimi de sağlanabilir. Örneğin enerji seviyesi bir eşik değerinin altına inmesi halinde güç tüketimi ile ilgili performans parametresi ağırlığı arttırılabilir. Böylelikle mobil terminalin yaşam ömrü uzatılmış olur. Aşağıda örnek bir servis sınıflandırma çizelgesi (Çizelge 3-1) verilmiştir. Bu çizelgede satırlarda belirtilenler servis sınıfı tanımları, sütunlarda belirtilenler performans parametreleridir. Çizelgenin gösterdiği değerler ise performans parametre ağırlıklarıdır.

Çizelge 3-1 de servis sınıfı 1 ile belirtilen servis sınıfı ses veya video görüşmesi gibi gerçek zamanlı veya yakın gerçek zamanlı uygulamalar için değerlendirilebilir. Servis sınıfı 2 de ses ve video yayını şeklindeki yakın gerçek zamanlı uygulamalar için bir örnek niteliğindedir. Servis sınıfı 3 internet web tarayıcı uygulamaları gibi enteraktif uygulamalar için bir örnek niteliğindedir. Servis sınıfı 4 arka planda çalıştırılacak zaman kısıdı olmayan olabildiğince iyi hız ve gecikmesi kabul edilebilecek e-posta haberleşme yazılımları ve dosya indirme uygulamaları için bir örnek niteliğindedir. Servis sınıfı 5 ise normal şartlarda arka planda çalışması öngörülmüş fakat kullanıcı gereksinimi ile aciliyet kazanmış (örneğin acil e- posta gönderimi, önemli dosya indirimi söz konusu olduğu durumlarda) arka plan uygulamaları için bir örnek niteliğindedir. Servis sınıfı 6 ise

mobil terminal enerji seviyesinin düşük seviyelere indiği durumlarda haberleşme için tercih edilebilecek ağırlık değerleri için bir örnek niteliğindedir.

Çizelge 3-1 Örnek bir servis sınıfı- performans parametresi ağırlık çizelgesi

	Gecikme	Kapasite	Güvenlik	Güvenilirlik	Güç tüketimi	Ücret	Kullanılabilirlik
Servis Sınıfı 1	0.4	0.05	0.15	0.05	0.05	0.1	0.05
Servis Sınıfı 2	0.35	0.25	-	0.1	0.05	0.1	0.15
Servis Sınıfı 3	0.2	0.2	0.15	0.05	0.1	0.1	0.2
Servis Sınıfı 4	0.05	0.05	0.4	0.1	0.1	0.25	0.05
Servis Sınıfı 5	0.15	0.2	0.35	0.05	0.05	0.05	0.15
Servis Sınıfı 6	0.05	0.15	-	0.2	0.4	0.05	0.15

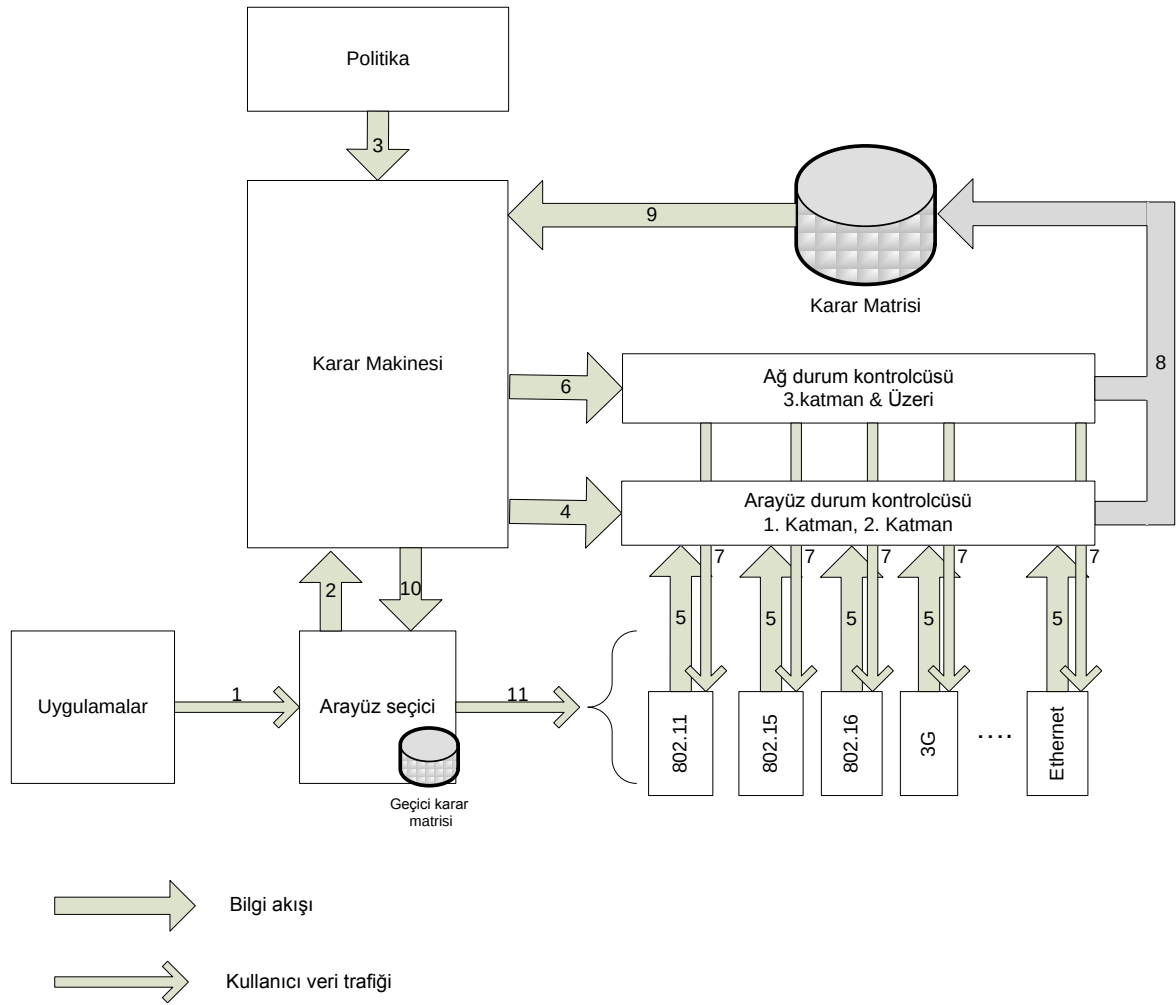
4 ÖNERİLEN DİKEY EL DEĞİŞTİRME ÇERÇEVESİ

Bu çalışmada önerilen yöntem ağ altyapısına müdahale etmeksizin mobil terminalde gerçekleştirilebilecek iyileştirmeye işaret etmektedir. Hali hazırda kullanılan mobil terminallerde arayüz seçimi işletim sistemlerinin müsaade ettiği ölçüde tercih edilen ağ arayüzleri listesinin sırayla denenmesi şeklindedir. Örneğin Microsoft Windows işletim sisteminde varsayılan yapılandırma kablolu ağa öncelik tanımakta kablolu ağ yoksa veya bu ağdan erişim zaman aşımına uğramışsa sıradaki ağa bağlanılmaya çalışılması şeklindedir. Benzer şekilde cep telefonlarında veya PDA larda ise öncelikle kablosuz LAN a erişilmeye çalışılmakta, tercih edilen bir kablosuz ağ yoksa GSM şebekesi üzerinden alınabilecek en iyi servisle (3G, GPRS, EDGE) internete erişim sağlanabilmektedir.

Hali hazırda kullanılan teknolojilerde veya işletim sistemlerinde servis kalitesini dikkate alarak arayüz seçimi gerçekleştirilmemektedir. Fakat bu hususta yapılan akademik çalışmalar ve ara katman yazılımları ile bazı önerilmiş çözümler mevcuttur [Niemah, 2008] [Zhang Q., 2003] [Meriem, 2008].

Mobil kullanıcıların trafik şekli çok büyük çoğunlukla asimetriktir yani veri alma miktarı ile veri gönderme miktarı arasında çok fark vardır. Alma miktarı gönderme miktarından fazladır. Bu tez çalışmasında önerile çözüm; mobil kullanıcıdan çıkacak trafiğin ihtiyaç duyulacak servis kalitesine göre servis sınıflarına ayrılması, erişim hizmeti alınabilecek aday arayüz veya ağların kullanıcı isteklerine ve uygulamaların servis kalite ihtiyaçlarına göre seçilmesi ve gerekli durumlarda dikey el değiştirmenin yapılmasıdır.

Bu maksatla Şekil 4-1 de belirtilen tasarım yapılmıştır. Özetle önerilen dikey el değiştirme el terminallerinde çalışan uygulamalardan gelen erişim isteklerini uygun arayüzlere yönlendirmektedir.



Şekil 4-1 Dikey el değiştirme çerçevesi

“Uygulamalar” gerekli erişim ihtiyaçları doğrultusunda ağı bağlanmak isterler (Şekil 4-1 1 numaralı ok). Tasarımdaki “Arayüz seçici” uygulamaların erişim isteklerini ele alırlar. “Arayüz Seçici” “Uygulamalar” dan gelen istekler “Geçici karar matrisi” nde yaşam süreleri dolmamış ise uygun arayüze yönlendirir (Şekil 4-1 11 numaralı ok). Yaşam süresi dolmuş kayıtlar veya “Geçici karar matrisi” nde bulunmayan istekler için “Arayüz seçici”, “Karar makinesi” ne gelen isteği iletip hangi arayüzden çıkış verileceği kararını bekler (Şekil 4-1 2 numaralı ok). “Karar Makinesi” nden gelen karar doğrultusunda “Geçici karar matrisi” ni günceller ve gelen trafik isteğini uygun arayüze yönlendirir (Şekil 4-1 11 numaralı ok).

“Karar Makinesi” kullanıcı tercihleri, servis kalite seviyeleri gibi karar girdilerini “Politika” dan alır (Şekil 4-1 3 numaralı ok), arayüz performans değerlerini öğrenmek için “1. ve 2. Katman arayüz durum kontrolcüsü” nü tetikler (Şekil 4-1 4 numaralı ok). Üçüncü katman ve üst seviyede performans değerleri için “3. Katman & üzeri arayüz durum kontrolcüsü” nü tetikler (Şekil 4-1 6 numaralı ok). Böylelikle “Karar makinesi” karar verebilmek için gerekli olacak performans metriklerine ait değerleri arayüz, ağ ve hedef sistemlerden öğrenir. “1. ve 2. Katman arayüz durum kontrolcüsü” arayüzlerden sürekli durum bilgilerini alıp (Şekil 4-1 5 numaralı ok) “Karar matrisi” ne yazar (Şekil 4-1 8 numaralı ok). Arayüz üzerinden veri iletimi gerçekleştiği durumlarda veya arayüz beklemede (IDLE) kalsa dahi sistem kontrol kanallarından ve kontrol mesajlarından elde edilen veriler sürekli olarak karar matrisinde güncellenir. “3. Katman & üzeri arayüz durum kontrolcüsü” uygulamaların erişmek istediği hedef sistem ve kullanmak istedikleri servislere bağlı olarak hedef sistemlere erişim için gerekli performans değerlerini elde etmek için uygun arayüzler aracılığı ile ağlara paket gönderirler (Şekil 4-1 7 numaralı ok). Sonuçta elde ettikleri performans değerleri “Karar matrisi” ne yazılır (Şekil 4-1 8 numaralı ok). Karar makinesi uygun arayüzleri karar matrisinden elde ettiği verilere dayanarak belirleyip ağ durum kontrolcüsüne ilgili arayüzler, hedef sistem adresi ve hedef servis bilgilerini gönderir. Ağ durum kontrolcüsü hedef sistemlere hedef servisin niteliğine bağlı olarak TCP başlatma ve sonlandırma veya ICMP paketleri göndererek hedef sistem ve servisle ilgili toplam uçtan uca gecikme ve ilgili TCP performans değerlerini (ör: kabul edilen maksimum pencere genişliği) ölçüp “Karar matrisi” ne yazar. “Karar Makinesi”, “Karar Matrisi” ve “Geçici karar matrisi ” ni kontrol ederek “Politika” doğrultusunda erişim arayüzlerini belirlerler (Şekil 4-1 9,2 ve 10 numaralı oklar). Güncellenen veya ilk defa eklenen karar bilgisine yaşam ömrü atamasını yapar. Bu atanacak geçici yaşam ömrü değeri arayüz değişme gerekliliği olmadığı sürece birden büyük belli bir katsayı ile çarpılarak arttırılır. Arayüz değişim kararı verilmesi ardından yaşam ömrü başlangıç değerine döner.

4.1 Mesaj Tipleri

Önerilen dikey el değiştirme çerçevesinde oklarla belirtilen arayüzlerden geçecek mesaj tipleri aşağıdaki gibidir.

- “Uygulamalar” ile “Arayüz seçici” arası (Şekil 4-1 1 numaralı ok): TCP protokolleri için TCP SYN, TCP FIN, TCP RST paketleri, veri paketleri, IP protokol ICMP paketleri, UDP paketleri
- “Arayüz seçici” ile “Karar makinesi” arası (Şekil 4-1 2 numaralı ok): GetStatus (IP, Servis, Port Numarası); IP ve TCP seviyesinde performans metrik değerlerinin belirlenmesi için gerekli istek mesajıdır.
- “Karar makinesi” ile “Politika” arası (Şekil 4-1 2 numaralı ok): Servis ve performans metrik değerleridir.
- “Karar makinesi” ile “1. ve 2. Katman arayüz durum kontrolcüsü” arası (Şekil 4-1 4 numaralı ok): GetStatusL1, GetStatusL2; kontrol kanallarından baz istasyonu, uydu, kablosuz LAN, Bluetooth gibi ağların varlığının kontrolü için gerekli paketlerin gönderilmesi için tetiklemek için mesajlardır.
- “1. ve 2. Katman arayüz durum kontrolcüsü” ile arayüz sürücüler arası (Şekil 4-1 5 numaralı ok): L2 discovery; arayüz sürücülerinden gelen ağ bilgileri ve 1. Ve 2. Katman performans metrik değerleri bilgileridir.
- “Karar makinesi” ile “3. Katman ve üzeri ağ durum kontrolcüsü” arası (Şekil 4-1 6 numaralı ok): GetStatus (IP, Servis, Port Numarası); IP ve TCP seviyesinde performans metrik değerlerinin belirlenmesi için gerekli istek mesajıdır.
- “3. Katman ve üzeri ağ durum kontrolcüsü” ile arayüz sürücüler arası (Şekil 4-1 7 numaralı ok): TCP SYN, TCP FIN, IP ICMP; hedef sisteme ait performans değerlerinin elde edilmesi için hedef sistemlere gönderilecek test paketleridir.

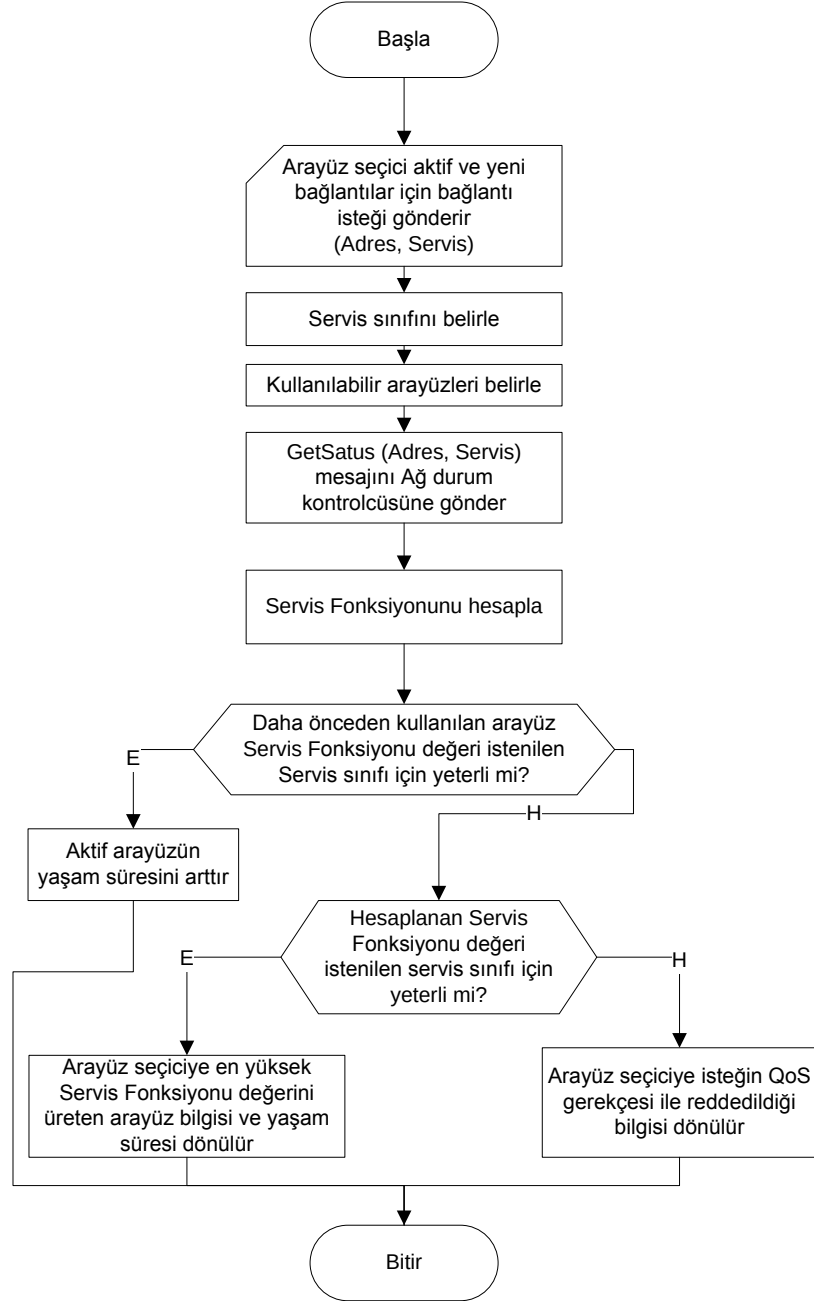
- 3. Katman ve üzeri ağ durum kontrolcüsü” ve “1. ve 2. Katman arayüz durum kontrolcüsü” ile “Karar matrisi” arası (Şekil 4-1 8 numaralı ok): WRT (Interface, Metric1, Metric2, ..., MetricN), WRT (IP, ,Servis, Port numarası, Interface, Metric1, Metric2, ... MetricK); arayüz sürücülerinden ve hedef sistemlerden elde edilen performans metrik değerleri,
- “Karar Makinesi” ile “Karar Matrisi” arası (Şekil 4-1 9 numaralı ok): READ (Interface), READ (IP, Servis,Port Numarası); Karar matrisinde güncellenmiş arayüz performans metrik değerleri ve hedef sistem performans metrik değerleri,
- “Karar Makinesi” ile “Arayüz seçici” arası (Şekil 4-1 10 numaralı ok): SetStatus (IP, Port, Interface, lifetime); istekte bulunulmuş hedef sistem ve servis için belirlenmiş arayüz bilgisi ev yaşam süresi güncelleme mesajıdır.
- “Arayüz seçici” ile arayüz sürücüler arası (Şekil 4-1 11 numaralı ok): Uygulamalardan gelen ve mobil terminal dışına yönelmiş veri kontrol ve yönetim paketleridir.

4.2 Uygulama / Servis Tabanlı Arayüz Seçimi

Karar makinesinde koşan algoritma Şekil 4-2 de belirtildiği gibi bir açgözlü (greedy) algoritmadır. Karar makinesi arayüz seçiciden gelen uygulamaların ihtiyaç duyduğu veya hali hazırda kullandıkları fakat yaşam süresi dolmuş bağlantı isteklerini ele alır.

Öncelikle karar makinesi politika ve arayüz seçici isteğinde belirtilen servis bilgisini kullanarak servis sınıfını belirler. Ardından karar matrisinden kullanılabilir durumdaki arayüzlere ait performans metrik değerlerini okur. Bir arayüzün kullanılabilir olup olmayacağı kimi durumlarda politikada belirtilir (örneğin sinyal gürültü oranı –SNR– için bir üst değer veya alınan sinyal seviyesi –RSS– için bir alt değer). Uygun arayüzleri belirleyebilmek için karar makinesi sürekli GetStatusL1,

GetStatusL2 mesajlarını arayüz kontrolcüsüne gönderir. Ardından arayüz durum kontrolcüsü karar matrisindeki performans metrik değerlerini günceller.



Şekil 4-2 Karar makinesi algoritması

Karar makinesi GetStatus (IP, Servis, Port numarası) mesajı ile ağ durum kontrolcüsünden hedef sistem ile ilgili performans metrik değerlerini ölçmesi için adres ve servis bilgilerini gönderir. Karar makinesi güncel bilgilerle servis fonksiyonunu her bir arayüz için hesaplar.

Karar makinesine hem yeni bir bağlantı talebinde hem de yaşam süresi dolmuş bir bağlantı için istek gönderilebilir. Şayet karar makinesine yaşam süresi dolmuş bir bağlantı isteği gelmişse ve hesaplanan servis fonksiyon değeri istenilen servis fonksiyon değerinin üzerinde ise karar makinesi yaşam süresi değerini arttırıp arayüz seçiciyi bilgilendirir. Karar makinesi yeni bir bağlantı isteğini ele alıyorsa hesaplanan servis fonksiyonu değerleri istenilen servis için belirlenmiş servis fonksiyon değeri ile karşılaştırılır, istenilen servis seviyesini sağlıyor ise en yüksek seviyedeki servis fonksiyon değerini üreten arayüz bilgisi arayüz seçiciye gönderilir. Şayet istenilen servis seviyesi dağlanamıyor ise arayüz seçiciye isteğin reddedildiği bilgisi dönülür.

Arayüz değişimi yükünü azaltmak için aktif olarak kullanılan arayüzün sağladığı servis seviyesinin kontrolü yapılmıştır. Mevcut durumda aktif olan arayüzün servis seviyesi kabul edilebilir aralıkta ise daha iyi sonuç üretmiş arayüz tercih edilmemiştir. Daha yüksek performans veya kullanıcı tatmini yetini sağlayabilecek arayüz seçmek yerine kabul edilebilir aralık sağlayan aktif kullanılan arayüzde kalınması tercih edilmiştir. Bu tür bir iyileştirme bağlanılacak arayüzdeki ağa dahil olmak için gerekli bağlanma, kimlik doğrulama gibi mesajlardan kaynaklanacak yükü ortadan kaldırmıştır.

5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Önerilen dikey el değiştirmenin benzetimi için benzetim ortamında 3G, GPRS, EDGE ve kablosuz LAN olduğu bir senaryo gerçekleştirilmiştir. Kullanıcının sürekli ses ve veri haberleşmesi yaptığı durum değerlendirilmiştir. Birçok mobil terminal üzerinde birden fazla haberleşme arayüzü mevcuttur. Bu arayüzler arasında yapılan tercih işlemi benzetimde ayrı bir politika olarak ele alınmış, servis kalitesinin karşılanma zorunluluğunun olduğu ayrı politikalar ile karşılaştırılmıştır. Hücresel ağlar geniş kapsama alanına sahipken, sağlayabildikleri kapasite kablosuz LAN ağlarına nazaran daha düşüktür. Kablosuz LAN ağları ise yüksek hat kapasitesine sahip fakat etkin kapsama alanı 10-100 metreler mertebesinde. Bu teknolojik kısıtlar da benzetim kabullenme ve varsayılan değerlerinde ele alınmıştır. Benzetim için MatLab ortamı kullanılmıştır.

5.1 Kabullenmeler ve Varsayılan Değerler

Benzetim için aşağıda belirtilen kabullenmeler yapılmış ve varsayılan değerler belirlenmiştir.

- Haberleşme için kullanılacak alan 1000 mt x 1000 mt açık alan olarak belirlenmiştir.
- Benzetim ortamı olarak üç farklı alan belirlenmiştir. Bunlar;
 - Yoğun şehir merkezi
 - GSM Baz istasyonu sayısı 10,
 - WiMAX baz istasyonu sayısı 1,
 - WiMAX gecikme değeri 30ms,
 - Kablosuz yerel alan ağı erişim noktası sayısı 50,

- Seyrek şehir merkezi
 - GSM Baz istasyonu sayısı 4,
 - WiMAX baz istasyonu sayısı 1,
 - WiMAX gecikme değeri 200 ms,
 - Kablosuz yerel alan ağı erişim noktası sayısı 10,
- Kırsal alan
 - GSM Baz istasyonu sayısı 1,
 - WiMAX baz istasyonu sayısı 0,
 - Kablosuz yerel alan ağı erişim noktası sayısı 3,
- GSM baz istasyonları (0,0) koordinatından başlayarak (1000,0) noktasına kadar düzenli olarak dağıtıldığı varsayılmıştır.
- WiMAX baz istasyonlarının (0,999) koordinatından başlayarak (1000,999) noktasına kadar düzenli olarak dağıtıldığı varsayılmıştır
- Benzetim alanında çalışacak erişim noktalarının konumları her 100 metre içinde en az bir erişim noktası olacak şekilde düzensiz olarak dağıtıldığı varsayılmıştır.
- Mobil terminal kullanıcısının benzetim süresince veri hattı üzerinden sürekli ses görüşmesi yaptığı varsayılmıştır. Ses görüşmesi için kabul edilebilir gecikme değerinin 150 ms olduğu varsayılmıştır.
- Mobil kullanıcının benzetim süresince kullanılacak veri hattı üzerinden sürekli haberleşme yapmaya çalıştığı varsayılmıştır.
- Kablosuz LAN erişim noktalarının
 - Kapsama alan sınırı 100 mt olarak belirlenmiştir.

- Her bir kablosuz LAN erişim noktasının bir yönlendirici ile internete bağlandığı ve internet bağlantısı hızı için 1~20 Mbps arasında rastgele değer ataması sağlanmıştır. Bu değerler kablosuz LAN için gerçeğe yakın throughput değerleridir.
- Her bir kablosuz LAN erişim noktasının ses iletişimi için kullanılacak hedef kullanıcı ile iletişimindeki gecikme için 30-170 ms arasında rastgele değer ataması sağlanmıştır.
- Mobil terminalin kablosuz LAN kapsamında iken 0-20 mt mesafede ise erişim noktası için belirlenmiş maksimum hızla bağlanılabileceği varsayılmıştır.
- Mobil terminalin kablosuz LAN kapsamında iken 20-50 mt mesafede ve maksimum hız 5Mbps nin üzerinde ise erişim noktasından 5 Mbps lik bir hızla, maksimum hız 5Mbps nin altında ise erişim noktası için belirlenmiş maksimum hızla bağlanılabileceği varsayılmıştır.
- Kablosuz LAN kapsamında iken 50-100 mt mesafede ise erişim noktasından 1 Mbps lik bir hızla bağlanılabileceği varsayılmıştır.
- Kablosuz LAN ağlarının ücretsiz olduğu varsayılmıştır.
- Tüm kablosuz LAN lara ait ağ bilgilerinin mobil terminalin tercih edilen kablosuz LAN listesinde olduğu. Mobil terminalin karşılaştığı her kablosuz LAN ağına bağlanılabileceği varsayılmıştır.
- GSM şebekesi ve baz istasyonları için
 - GSM şebekesi için veri hattı üzerinden hedef kullanıcı için gecikme süresinin, 500 mt den yakın alanlarda 80ms, 500mt ile 1000 mt ararsı bölgede 100ms, 1000 mt den uzak mesafelerde 140ms olduğu varsayılmıştır.

- GSM baz istasyonu ile mobil terminal arasındaki mesafeye bağlı olarak şebekeden alınabilecek veri haberleşme servisleri 3G, GPRS ve EDGE olarak belirlenmiştir.
- Baz istasyonu ile mobil terminal arasındaki mesafe 500 mt nin altında ise alınan servisin 3G olacağı ve veri hızının 2 Mbps olacağı varsayılmıştır.
- Baz istasyonu ile mobil terminal arasındaki mesafe 500 mt ile 1000 mt olması durumunda ise alınan servisin EDGE olacağı ve veri hızının 512 Kbps olacağı varsayılmıştır.
- Baz istasyonu ile mobil terminal arasındaki mesafe 1000 mt nin üzerinde ise alınan servisin GPRS olacağı ve veri hızının 150 kbps olacağı varsayılmıştır.
- GSM şebekesinden alınan veri hizmetinin ücretlendirmesinin zaman üzerinden değil transfer edilen veri üzerinden olduğu varsayılmış ve 1 Mbit lik trafiğin 2 birim maliyetinin olduğu varsayılmıştır.
- WiMAX şebekesi için
 - Kapasite için 5 Mbps olduğu varsayılmıştır,
 - Gecikme değerinin yoğun şehir merkezinde 30, seyrek şehir merkezinde 200 ms olduğu varsayılmıştır.
 - WiMAX şebekesinden alınan veri hizmetinin ücretlendirmesinin 1 Mbit lik veri transferi için 4 birim maliyet getirdiği varsayılmıştır.
- Mobil terminalin (0,500) noktasından (1000,500) noktasına doğrusal olarak hareket ettiği varsayılmıştır.
- Mobil terminalin başlangıç enerjisi seviyesinin 10 Kjul olduğu varsayılmıştır.

- Mobil terminalin teknoloji bazlı enerji tüketiminin;
 - Kablosuz LAN: $0,5 \text{ mj/bit} = 4 \text{ J/MB}$
 - WiMAX: $1,5 \sim 3,2 \text{ mj/bit} = 12 \sim 25 \text{ J/MB}$
 - WiMAX_ort $2,4 \text{ mj/bit} = 19,2 \text{ J/MB}$
 - 3G: $0,825 \text{ mj/bit} = 6,6 \text{ J/MB}$
 - EDGE: $0,412 \text{ mj/bit} = 3,3 \text{ J/MB}$
 - GPRS: $0,412 \text{ mj/bit} = 3,3 \text{ J/MB}$ olduğu varsayılmıştır.
- Mobil terminalin kritik enerji seviyesi 100 jul olarak varsayılmış ve kritik enerji seviyesine ulaşan mobil terminalinin veri haberleşmesini durduracağı varsayılmıştır.
- Mobil terminalin her bir noktada üzerinde çalışan senaryoya /politikaya bağlı olarak haberleşme yapıp yapmama kararı vermesi sağlanmıştır. Kabul edilebilir seviyenin altında olan durumlarda haberleşmenin durdurulacağı varsayılmıştır.

5.2 Benzetim Senaryoları

Benzetim için üç performans kriteri belirlenmiştir. Bunlar gecikme değeri, haberleşmenin enerji maliyeti ve parasal maliyettir. Her bir politikada iki kriter için sırası ile sert kısıt uygulanmış, bu kısıtları sağlayan ağ adayları arasında yumuşak kısıt uygulanarak en iyi değeri sağlayan ağ tercihe edilmiştir.

Uygulamada dikey el değiştirme işlemi, ağ adaylarının belirlenmesinin ardından bu ağları kullanmak için ağ bağlanma/giriş trafiği, bağlı olunan ağdan ayrılma trafiği ve dolayısı ile fazladan enerji tüketimi gerektirecektir. Bu sebeple bir iyileştirme olarak iki seviyede sıkı kısıt uygulandıktan sonra en son bağlı olunan ağ halen aday ağlar içinde ise üçüncü seviyede en iyi sonucu üreten aday ağa bağlanılmadan eski ağ üzerinden haberleşmeye devam edilecektir.

Benzetimde oluşturulan politikalar aşağıdaki gibidir;

Politika 1: Sıkı kısıt olarak öncelikle Gecikme performans metriği ve Enerji tüketimi performans metriği, yumuşak kısıt olarak Parasal maliyet performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika 1 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: 100 ms

Enerji tüketimi: 30 jul

Parasal maliyet: minimum değer

Politika 2: Sıkı kısıt olarak öncelikle Gecikme performans metriği ve Parasal maliyet performans metriği, yumuşak kısıt olarak Enerji tüketimi performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika2 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: 130 ms

Enerji tüketimi: minimum değer

Parasal maliyet: 2 jul

Politika 3: Sıkı kısıt olarak öncelikle Enerji tüketimi performans metriği ve Gecikme performans metriği, yumuşak kısıt olarak Parasal maliyet performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika 3 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: 100 ms

Enerji tüketimi: 7 jul

Parasal maliyet: minimum değer

Politika 4: Sıkı kısıt olarak öncelikle Enerji tüketimi performans metriği ve Parasal maliyet performans metriği, yumuşak kısıt olarak Gecikme performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika 4 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: minimum değer

Enerji tüketimi: 7 jul

Parasal maliyet: 1 birim

Politika 5: Sıkı kısıt olarak öncelikle Parasal maliyet performans metriği ve Gecikme performans metriği, yumuşak kısıt olarak Enerji tüketimi performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika 5 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: 150 ms

Enerji tüketimi: minimum değer

Parasal maliyet: 2 birim

Politika 6: Sıkı kısıt olarak öncelikle Parasal maliyet performans metriği ve Enerji tüketimi performans metriği, yumuşak kısıt olarak Gecikme performans metriği tercih kriteri olarak kullanılmıştır.

Politika 6 için performans değerleri aşağıdaki gibidir;

Gecikme: minimum değer

Enerji tüketimi: 30 jul

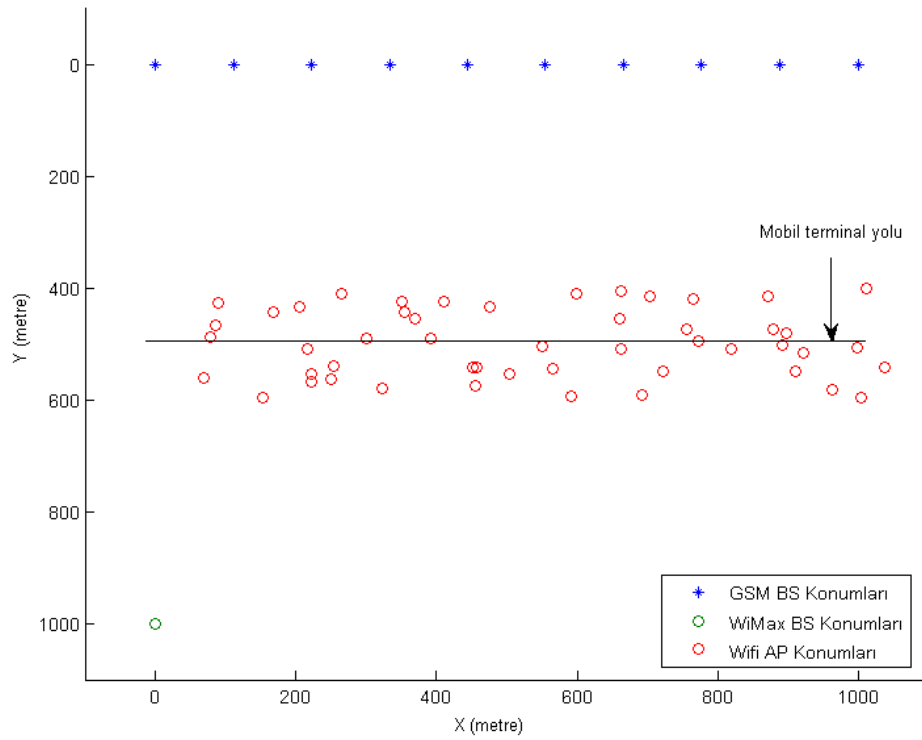
Parasal maliyet: 4 birim

Politika 7 Bu politika şu an kullanımda olan birçok cep telefonu, akıllı telefon (smart phone) ve PDA gibi hem kablosuz LAN hem de GSM-UMTS gibi hücresel ağlara erişebilen mobil terminallerde varsayılan politikadır. Kablosuz LAN kullanılabilir olduğu sürece kablosuz LAN üzerinden bağlanılacak, kablosuz LAN kullanılabilir durumda değilse GSM şebekesi üzerinden bağlanılacaktır. Bu politika kullanıcı tercihleri ile şekillendirilebilse de yapılabilecek değişiklik yeni WLAN lar eklenip bu WLAN lar ve GSM şebekesi arasında bir sıralama oluşturmak olacaktır.

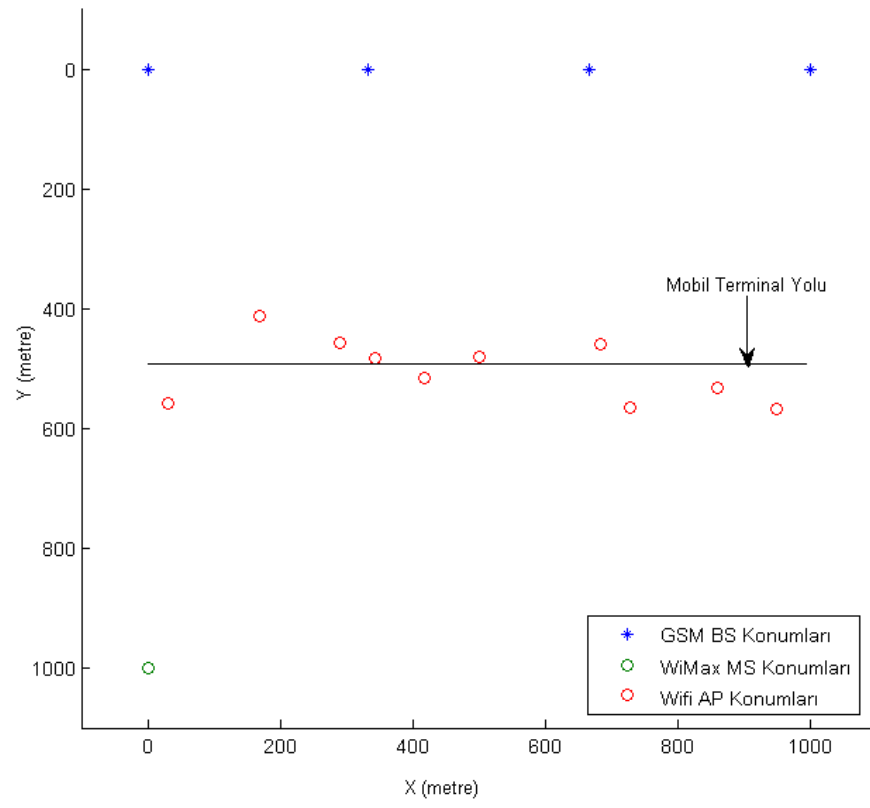
5.3 Benzetim Sonuçları

Benzetim üç tip benzetim alanı için yapılmıştır. Benzetim alanlarında erişim noktalarının konumlandırması 1000 birimlik mobil terminal yolu üzerine belli yoğunluğu sağlamak kaydı ile rastgele bir şekilde dağıtılmıştır. Şekil 5-1, Şekil 5-2, ve Şekil 5-3 te benzetim alanındaki GSM baz istasyonlarının, Wi Max baz istasyonunun, ve kablosuz LAN erişim noktalarının konumları incelenebilir.

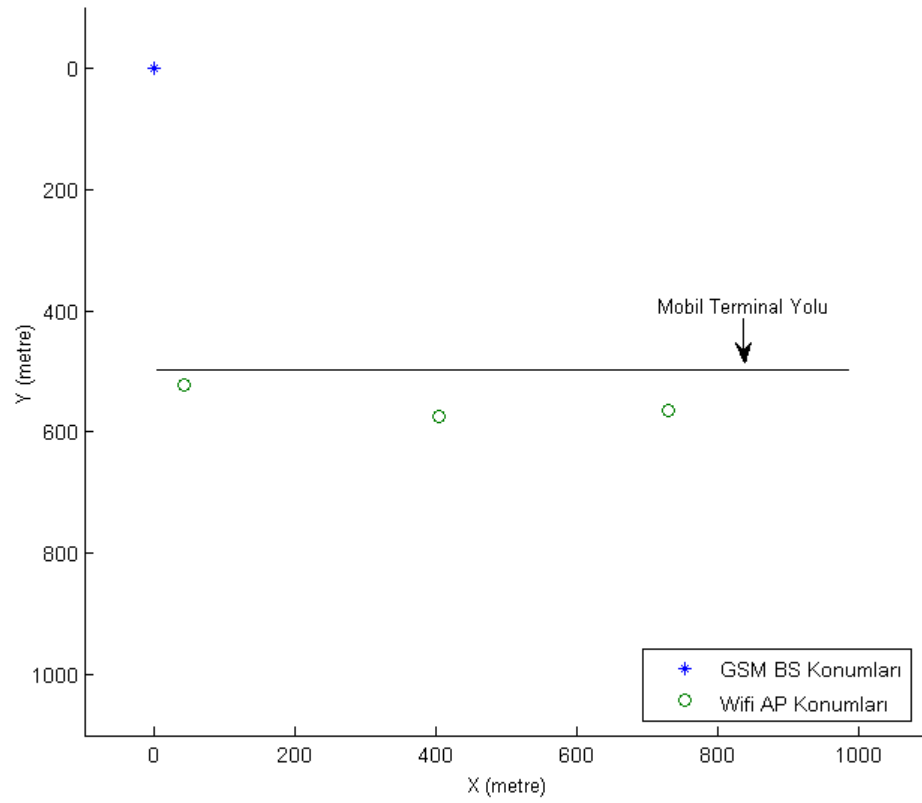
Benzetim sonuçlarının değerlendirmesi dikey el değiştirme uygulanan 6 politika ile herhangi bir servis bilinçli dikey el değiştirme uygulanmayan mevcut durum karşılaştırılması şeklinde yapılmıştır. Kimi durumlarda politikanın sağlanamadığı durumlarda haberleşmenin gerek servis seviyesinin sağlanmaması gerekse kullanıcı tercihlerinin karşılanmaması sebebi ile kesildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5-1 Yoğun şehir merkezi benzetim ağ erişim noktaları konumları

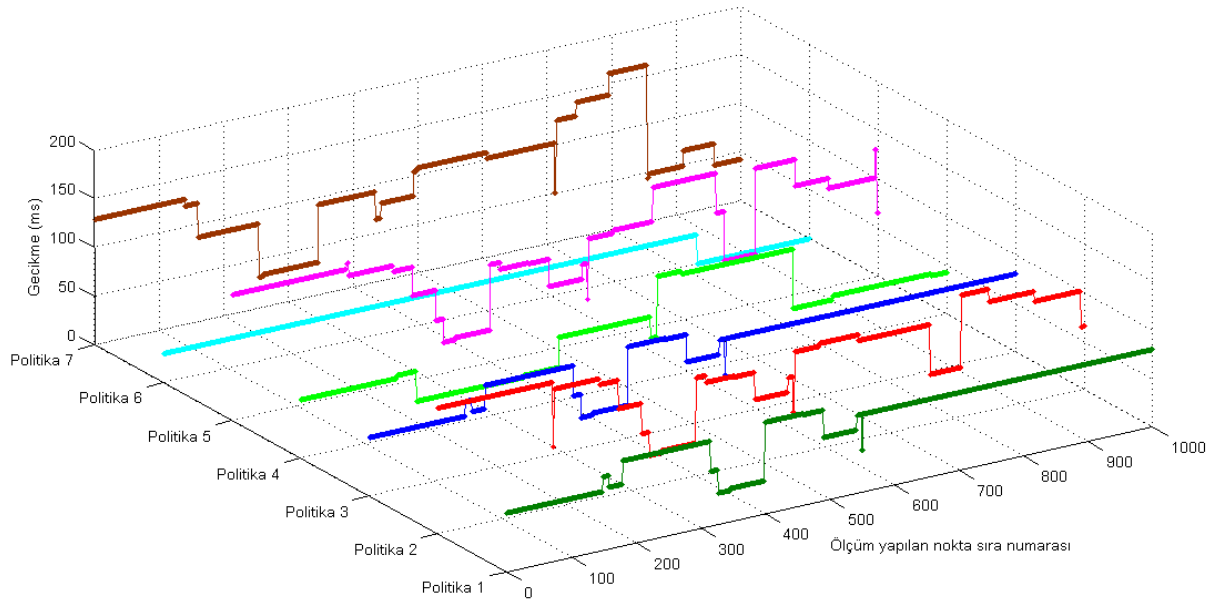


Şekil 5-2 Seyrek şehir merkezi benzetim ağ erişim noktaları konumları



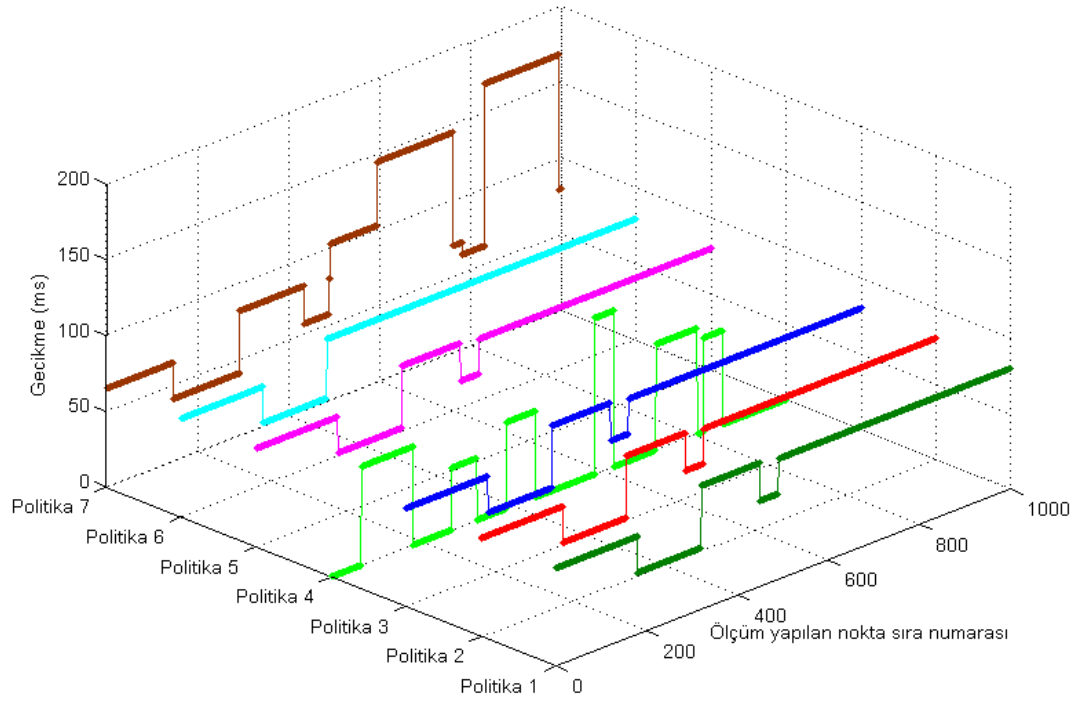
Şekil 5-3 Kırsal alan benzetim ağ erişim noktaları konumları

Şekil 5-4 de yoğun şehir merkezi ortamı için benzetim sonuçları verilmiştir. Mevcut durum sonuçları politika 7 de izlenebilmektedir. Yoğun şehir merkezi gibi ortamlarda dikey el değiştirme için aday ağ sayısı artacağından gerek kullanıcı memnuniyetini artırma açısından gerekse haberleşme protokol gereksinimlerinin karşılanması açısından daha elverişli ağlarla karşılaşılma ihtimali daha yüksek olacaktır. Yoğun şehir merkezinde Politika 6 gecikme değerinin sıfır gösterdiği noktalarda mobil terminalin enerjisi kritik seviyeye ulaştığı haberleşmeyi durdurmuştur.



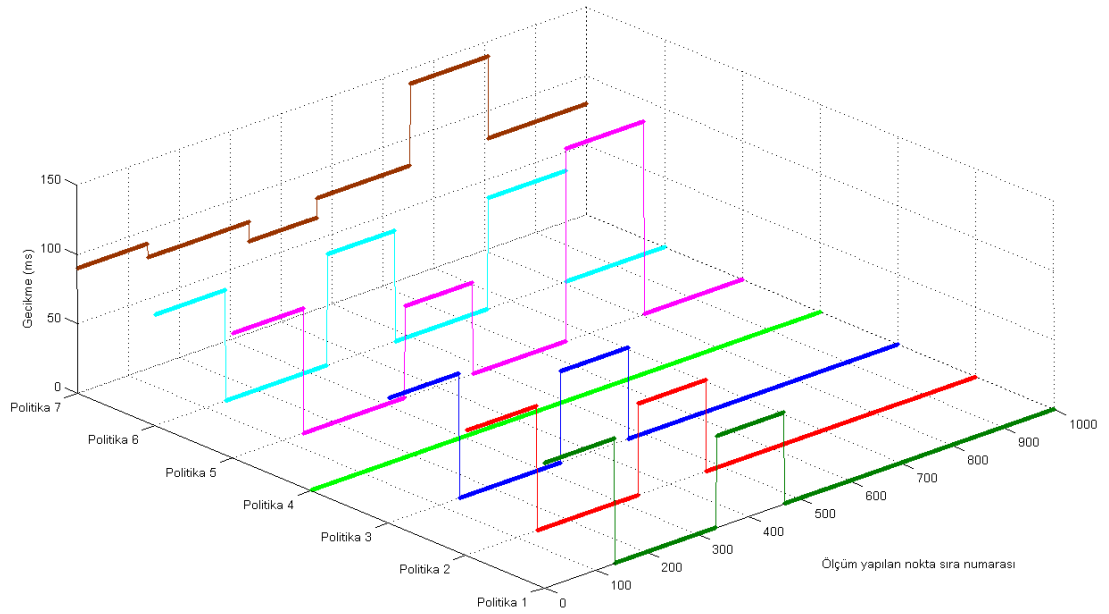
Şekil 5-4 Yoğun şehir merkezinde politika bazlı gecikme değerleri

Daha düşük yoğunluktaki şehir merkezi benzetiminde Politika 4 haricinde haberleşme kesintisi bulunan politika bulunmamaktadır (Şekil 5-5). Ağ erişim nokta sayısının (mobil terminal için aday erişim noktası ve baz istasyonu sayısının) daha düşük olduğu bu ortamda politika çıktıları ya mevcut ortamın haberleşmeye müsait olmayacağını işaret eder veya aday sayısı fazla olmayacağı ve adayların sunduğu altyapı yeterliliği yüksek olası durumunda politika değişse dahi ağ tercihleri aynı kalacaktır.



Şekil 5-5 Seyrek şehir merkezinde politika bazlı gecikme değerleri

Benzer şekilde kırsal alan benzetiminde bir GSM baz istasyonu ve üç erişim noktası için benzetim sonucunda politika 4 benzetiminin hiçbir ağı kullanmadığı (hiçbir ağ adayının kabul edilebilir değerlerde altyapı hizmeti sunmadığı) Şekil 5-6 da gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5-6 Kırsal alanda politika bazlı gecikme değerleri

Benzetimde elde edilen el değiştirme sayısı, enerji tüketiimi, parasal maliyet, kesinti sayısı ve toplam iletilen veri miktarı aşağıda tablolar halinde sunulmuştur.

Dikey el değiştirme işleminin veri iletimine nispeten çok sık yapılması ağ değişimi aşağıdaki sebeplerden dolayı istenmeyen bir durumdur.

- El değiştirme için gerekli kontrol paketlerinin gönderimi sebebi ile gereksiz enerji tüketiimi,
- Oturumun korunması hedeflenen mimarilerde el değiştirme için gerekli kontrol paketlerine ek olarak oturumun korunması için ekstradan kontrol paketlerinin kullanımı gerekli olacaktır.
- Pratikte el değiştirme sebebi ile haberleşmede istenmeyen gecikmeler gerçekleşebilmektedir.

Çizelge 5-1 Dikey el değiştirme sayısı

	Yoğun şehir Merkezi	Seyrek şehir Merkezi	Kırsal Alan
Politika1	13	5	2
Politika 2	22	5	2
Politika 3	13	5	2
Politika 4	11	6	0
Politika 5	24	5	3
Politika 6	1	3	1
Politika 7 (Mevcut durum)	19	11	6

Çizelge 5-1 de tüm benzetim ortamları için dikey el değiştirme sayısı belirtilmiştir. Buna göre yoğun şehir merkezi ortamında el değiştirme yapılabilcek ağ adayları ile karşılaşılma ihtimali kırsal alandan daha fazla olduğu için yoğun şehir merkezi ortamında daha fazla el değiştirme gerçekleşmiştir. Politika içerisinde

bulunan kullanıcı gereksinimleri ve haberleşme gereksinimlerini karşılayamayacak ağlarla karşılaşılması durumunda istisnai sonuçlar doğabilir (Ör: Çizelge 5-1 Politika 6)

Benzetim başlangıcında mobil terminalin enerji seviyesinin 10000 jul olduğu varsayılmıştır. Politika 1 ve Politika 6 ağ seçim metrik ve değerlerine baktığımızda yüksek enerji tüketimi öngörülen ağlarında (WiMAX ~19 jul) dahil olduğu bir seviye alt seviye olarak belirlenmiştir (30 jul). Bunun yanında politika 6 en düşük gecikme değerini verecek ağı seçmektedir. Bu sebeple yüksek maliyetli ve yüksek enerji tüketimine sebep olabilecek ağları seçmektedir. Bu sebeple yoğun şehir merkezi ortamında enerjisi benzetim sonuna kadar %1 lik kritiklik seviyesine ulaşmış ve toplam yolun 826/1000 oranını tamamladıktan sonra iletişime imkan vermeyecek hale gelmiştir. Benzetimde her bir politika için benzetim sonunda kalan enerji seviyeleri Çizelge 5-2 de belirtilmiştir.

Çizelge 5-2 Kalan enerji miktarı

	Yoğun Şehir Merkezi	Seyrek Şehir Merkezi	Kırsal Alan
Politika1	6833,7	5237,7	9381,5
Politika 2	4891,0	5237,7	9381,5
Politika 3	6833,7	5237,7	9381,5
Politika 4	5653,5	7262,5	10000,0
Politika 5	4623,5	5237,7	8616,5
Politika 6	100	6075,4	9300,4
Politika 7 (Mevcut durum)	5303,5	4945,5	7666,1

Benzetim sırasında enerjinin tükenmesi haricinde haberleşmenin durmasına sebep olabilen haller de bulunmaktadır. Şayet bir politikanın gereksinimlerini sağlayacak ağ adayı bulunamaz ise bu durumda mobil terminal gerek kullanıcı

gereksinimlerinin karşılanamaması gerekse haberleşme ihtiyaçlarının kabul edilebilir seviyenin altına inmesi sebebiyle haberleşmeyi durdurmaktadır.

Çizelge 5-3 te benzetim süresince politika bazlı toplam kesinti süreleri sunulmuştur. Yoğun şehir merkezinde ihtiyaç karşılayabilecek ağ ile karşılaşma ihtimali daha yüksek olduğu için kesinti olmaması doğaldır. Bunun yanında kırsal alanda ihtiyaç karşılayabilecek ağ sayısı düşük olduğu için karşılaşılan ağların ihtiyacı karşılayamaması durumunda iletişim, n yüksek seviyelerde kesintiye uğradığı tablodan görülmektedir.

Pratikte aday ağ varken haberleşmenin kesilmesi, zaman kritik veya güvenilirlik gereksinimi yüksek ağ ihtiyaçları haricinde pek söz konusu değildir. Bu tez çalışmasında kullanıcı tatminiye yönelik karşılanıp karşılanmadığının ölçülebilmesi için tercih edilen seviyenin altında hizmet sunan ağlara bağlanılmaması simüle edilmiştir.

Çizelge 5-3 Toplam bağlantı kesinti sayısı

	Yoğun Şehir Merkezi	Seyrek Şehir Merkezi	Kırsal Alan
Politika1	0	0	729
Politika 2	0	0	729
Politika 3	0	0	729
Politika 4	0	594	1000
Politika 5	0	0	576
Politika 6	0	0	576
Politika 7 (Mevcut durum)	0	0	0

Benzetim süresince veri iletimi için GSM ve WiMAX hizmeti için parasal bir maliyet olduğu varsayılmıştır. Bunun yanında kablosuz LAN ağı için bir parasal

maliyet olmadığı bir kampus içinde hareket edildiği ve tüm kablosuz LAN bilgilerinin mobil terminallerde bulunduğu varsayılmıştır. Benzetim sonucunda özerlikle politika 6 da yüksek seviyede enerji tüketimi ve parasal maliyet sınır değerlerini kabul edilebilir olarak belirlendiği için daha yüksek seviyede parasal maliyet ile karşılaşmıştır. Çizelge 5-4 de politika bazlı olarak parasal maliyet değerleri belirtilmiştir. Burada yoğun şehir merkezlerinde ve seyrek şehir merkezlerinde kablosuz LAN sayısı kırsal alana nispeten daha fazla olduğu için parasal maliyet de daha düşük çıkması beklenmektedir. Tablo da kırsal alanda elde edilen parasal maliyet değerlerinin sıfır çıkmasının sebebi ise kırsal alanda diğer performans değerlerini sağlayacak ağ ile karşılaşılmasıdır. Politika 7 mevcut durumu belirtmektedir ve Kablosuz LAN olduğu sürece herhangi bir servis kalite kontrolü yapmaksızın kablosuz LAN üzerinden haberleşme yapmakta kablosuz lan olmayan bölgelerde ise öncelikle GSM olmayan durumlarda WiMAX kullanılmaktadır. Kırsal alanda politika ve politika 7 nin uygulandığı mobil terminaller için parasal maliyet söz konusudur.

Çizelge 5-4 Toplam parasal maliyet

	Yoğun Şehir Merkezi	Seyrek Şehir Merkezi	Kırsal Alan
Politika1	224,5	256	0
Politika 2	0	256	0
Politika 3	224,5	256	0
Politika 4	0	0	0
Politika 5	0	256	0
Politika 6	2062,5	340,5	212
Politika 7 (Mevcut durum)	0	5	298

Tüm benzetim boyunca iletilen veri miktarı Çizelge 5-5 te verilmiştir. Benzetim senaryolarında belirtilen performans metrikleri içerisinde kapasite

bulunmamasına rağmen benzetim sonucunda elde edilen veriler kullanılarak tüm benzetim süresince iletilen veri miktarı derlenmiştir. Sonuç olarak performans metrik ve değerlerinden bağımsız olarak iletilen veri miktarını değiştirdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5-5 Toplam iletilen veri miktarı

	Yoğun Şehir Merkezi	Seyrek Şehir Merkezi	Kırsal Alan
Politika1	5749 MB	4430 MB	1237 MB
Politika 2	10218 MB	4430 MB	1237 MB
Politika 3	5749 MB	4430 MB	1237 MB
Politika 4	8693 MB	2737 MB	0 MB
Politika 5	10753 MB	4430 MB	2767 MB
Politika 6	4125 MB	3482 MB	848 MB
Politika 7 (Mevcut durum)	9393 MB	10096 MB	3919 MB

Benzetimde kullanıcı memnuniyetinin ölçülmesi için bağlantı kesilmesi kullanılmıştır. Dolayısı ile yoğun şehir merkezinde tüm politikaların uygulandığı mobil terminallerde kullanıcı memnuniyeti ve haberleşme gereksinimleri sağlanmıştır diyebiliriz.

Buna ek olarak politika 2 ve politika 5 te elde edilen sonuçlara dayanarak: Verilen politika performans metrik ve performans değerleri ile kullanıcı memnuniyetinin sağlandığı ve haberleşme servis kalitesi ihtiyacının karşılandığı varsayımı ile en iyi veri iletim sonuçları elde edilen politikalardır denilebilir.

Bu tez çalışmasında yapılan benzetimde hazırlanan politikalar gerçek ihtiyaçlara yakın olduğu değerlendirilen performans değerlerini ve kullanıcı profillerini yansıtmaktadır.

Bu tez çalışmasında önerinle çerçeve ve buna benzer çerçevelerin bir den çok öznitelikli karar problemlerinin çözümü için bir öneri olduğu unutulmamalıdır. Bu sebeple %100 doğru sonuca yönelik çözüm önerileri değildir. Bu ve benzeri yapılar kullanılarak gerçekleştirilecek çözümlerde son kullanıcı verilen kararın etkileri hususunda mutlaka uyarılmalıdır. Örneğin kullanıcının minimum gecikme maksimum kapasite isteklerinin yüksek maliyetli ağ seçimine sebep olabileceği, kesintiye sebep olabileceği veya güvenlik önlemleri hususunda zayıf ağların seçilebileceği hususunda kullanıcı bilgilendirilmelidir.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kablosuz teknolojilerin gelişimi, kullanım alanlarının çeşitliliği ve genel kullanıcı kitlelerinde yaygınlığı çok yüksek bir hızda artmaktadır. Bu sebeple bu konular üzerine yapılmış araştırmalar da çok çeşitlilik göstermektedir. Abonelerin servis alabilecekleri hizmet sağlayıcıların kullandıkları teknolojilerin çeşitliliği artmaktadır. Bu teknolojilerin birbiri ile rakip değil birbirinin tamamlayıcısı oldukları değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında birden fazla ağ erişim arayüzüne sahip mobil terminallerde uygulamaların ağ arayüzlerini kullanımında ağ arayüz tercihi yapılması noktasında servis bilinçli bir yöntem önerilmiştir. Kullanıcı tercihlerinin dikkate alınabileceği, teknolojik ve servis bazlı kısıtları göz önünde bulundurularak uygulamaların kullanacağı arayüzlerin belirlenmesi ve hareketlilik sebebi ile ağ altyapısındaki değişiklikleri algılayıp üst katmanlarda kontrollerle uygun arayüze geçiş sağlayan bir yapı önerilmiştir.

IEEE 802.21 standardı ortamdan bağımsız dikey el değiştirme için geliştirilmiş bir standarttır. Bu çalışma ikinci katman üstü katmanlardan elde ettiği verileri de kullanması ve kullanıcı politikasının dikey el değiştirme kararına etki etmesi sebebi ile IEEE 802.21 standardının değinmediği bu problemleri ele alması sebebiyle standart için iyileştirme çerçevesi olarak değerlendirilebilir.

Benzetim sonuçları, kullanıcı politikasının ve servis kalitesini sağlanması ile mevcut durumda işletim sistemi kısıtlarında gerçekleştirilen bir sıralama dışına çıkılarak kullanıcı memnuniyetinin ve servis kalitesinin sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca mobil terminalin bulunduğu noktada yüksek sayıda ağ seçeneği olması durumunda, başka bir deyişle servis alınabilecek ağ çeşitliliğinin yüksek olduğu noktalarda kullanıcı tercihleri ve servis kalitesinin sağlanma şansının artacağını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında birden fazla erişim arayüzüne sahip mobil terminaller için bir dikey el değiştirme çerçevesi önerilmiştir. İletişim kurulan hedef sistemle kurulmuş oturumun her durumda devamlılığı içim mobilite yönetimi gereklidir. Bu

tez kapsamın da mobilite yönetimi için hali hazırda kullanılabilecek SIP ve Mobile IP yapılarının kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu tezde belirtilen dikey el değiştirme ile uyumlu çalışabilecek yüksek verimli mobilite yönetimi konusunda çalışmalar yapılabilir.

Bu tez kapsamında bir mobil terminal üzerinde çalışan birçok uygulamanın servis sınıflarına uygun olarak servis kalitesinin korunabileceği bir çerçeve tanımlanmıştır. Bununla birlikte bir uygulamanın birden fazla ağ erişim arayüzünü aynı anda kullanabileceği yüksek kullanılabilirlik (high availability), yük paylaşımı (load sharing) veya yük dengeleme (load balancing) yaklaşımlarının mobil sistemlerde gerçekleştirme yöntemleri üzerine de çalışmalar yürütülebilir

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Chen W. and Shu Y. “Active Application Oriented Vertical Handoff in Next Generation Wireless Networks”, in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, New Orleans, LA, 2005
- [2] Communications Satellites: Making the Global Village Possible, <http://history.nasa.gov/satcomhistory.html>, 2007
- [3] Dai Z. et al., “Vertical Handover Criteria and Algorithm in IEEE802.11 and 802.16 Hybrid Networks” Proc. IEEE ICC, Beijing, China, May 19–23, pp. 2480–84, 2008
- [4] Dinçkan, A. “GPRS Sistemlerinde Güvenlik” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006
- [5] Dvir A., Giladi R., Kitroser I., Segal M., “Efficient Decision Handoff Mechanism for Heterogeneous Networks”, International Journal of Wireless and Mobile Networks (IJWMN), vol.2 No.1, February 2010
- [6] ETSI GSM, 03.60, “Digital cellular telecommunications system (Phase2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2 (GSM 03.60 version 7.4.1)”, 1998
- [7] ETSI GSM 04.01, ”Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Mobile Station – Base Station System (MS - BSS) interface; General aspects and principles (GSM 04.01 version 8.0.0)”, 1999
- [8] IEEE 802.11 Wireless Local Area Network. (2001). Retrieved May 2010, from www.ieee802.org/11
- [9] Li Ma, Fei Yu Leung, "A new method to support UMTS/WLAN vertical handover using SCTP" IEEE Wireless Communications, vol.11, no.4, pp. 44- 51, Aug. 2004

- [10] Meriem Kassar, Brigitte Kervella, Guy Pujolle, "An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks", *Computer Communications*, Volume 31, Issue 10, Pages 2607-2620, 25 June 2008
- [11] N. Ekiz, T. Salih, S. Kucukoner and K. Fidanboyly, "An Overview of Handoff Techniques in Cellular Networks", *International Journal of Information Technology*, 2005
- [12] Niemah Izzeldin Osman, Mike E. Woodward, "A Comparison of Queuing Models for Handover Strategies in Cellular Mobile Telecommunication Systems," *Asia International Conference on Modelling & Simulation*, pp. 315-321, 2008
Second Asia International Conference on Modelling & Simulation, 2008.
- [13] Jamal Raiyn, "A Novel Handover Scheme Based on Adaptive Agent for Reducing Real-Time Communication Latency in Automation Environment," *Computer Modeling and Simulation, International Conference on*, pp. 555-561, Tenth International Conference on Computer Modeling and Simulation, 2008
- [14] Stevens-Navarro E., Wong V.W., "Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless Networks", *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 947-951, 2006
- [15] Stevens-Navarro, E., Yuxia Lin, Wong V., "An MDP-Based Vertical Handoff Decision Algorithm for Heterogeneous Wireless Networks" *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol.57, no.2, pp.1243-1254, March 2008
- [16] W. G. IEEE. IEEE 802.11tm Wireless Local Area Networks. www.ieee802.org/11, May 2001.
- [17] W. G. IEEE. IEEE 802.21 Media Independent Handover. <http://www.ieee802.org/21/>, July 2006.
- [18] Wang H. J., Katz R. H., and Giese J., "Policy-enabled handoffs across heterogeneous wireless networks" *IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pp.51-60, 1999

- [19] Yoon H.S, Hong S.B, Moon S, Kim N., Youm H.Y., “A Study on A Transport Network Independent Mobile IP Model”, Journal of Convergence Information Technology Volume 4, Number 4, December 2009
- [20] Zhang, Q. “Efficient mobility management for vertical handoff between WWAN and WLAN.” IEEE Communications Magazine, V. 41, n.11, p. 102, 2003
- [21] Zhang W., “Handover Decision Using Fuzzy MADM in Heterogeneous Networks,” IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Atlanta, GA, March 2004
- [22] Zhu F. and MacNair J., “Optimizations for Vertical Handoff Decision Algorithms,” IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Atlanta, GA, 2004
- [23] Zhu F. and Mcnair J., “Vertical Handoffs in Fourth-Generation Multinetwork Environments” IEEE Journal Wireless Communication, vol. 11, pp. 8-15, June 2004

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Erzurum’da doğdu, Liseyi 1996 yılında Erzurum Fen lisesinde tamamladı, 1996-2001 yıllarında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği öğrenim gördü. Üniversite yıllarında çalışmaya başladı, 1999 – 2001 yılları arasında İstanbul Teknik Üniversitesi Bilgi Teknolojileri Daire Başkanlığı’ nda Asistan Öğrenci olarak çalıştı. 2001 Kasım - 2003 Kasım tarihleri arasında Pana Teknik Araştırma ve Elektronik Güvenlik Sistemleri’nde Proje Lideri olarak çalıştı. 2004 Mayıs ayında askerlik görevini tamamladı. 2004 Ağustos ayında TÜBİTAK Ulusal Elektronik ve Kriptoloji Araştırma Enstitüsü’ nde çalışmaya başladı. Halen aynı enstitüde Uzman Araştırmacı olarak çalışmaya devam etmektedir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü’ nde 2007 güz ve 2008 bahar dönemlerinde bilimsel hazırlık aldı. Yazar evlidir.