

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**3G VERİ İLETİMİNDE SERVİS KALİTESİNİN ANALİZİ VE
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Hasan Tahsin KART

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Hasan Tahsin KART tarafından hazırlanan “**3G Veri İletiminde Servis Kalitesinin Analizi ve İyileştirilmesi**” adlı tez çalışması 15.04.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’na **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Hakkı Gökhan İLK

Jüri Üyeleri:

Başkan : Prof.Dr. Hakkı Gökhan İLK
Ankara Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. Murat EFE
Ankara Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç .Dr. Baran Özsuu
Atılım Üniversitesi Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof.Dr. İbrahim DEMİR
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

15.04.2014

Hasan Tahsin KART

ÖZET

3G VERİ İLETİMİNDE SERVİS KALİTESİNİN ANALİZİ VE İYİLEŞTİRİLMESİ

Hasan Tahsin KART

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakkı Gökhan İLK

Kablosuz haberleşme teknolojisinin gelişmesi, bu teknolojinin geniş kullanım alanı sağlaması ve 3G altyapısının kullanım kolaylığı sayesinde 3G ile veri iletimi en önemli veri transfer tekniklerinden birisi olmuştur. Bu tezde, tek bir 3G modemle yapılan veri transferinde veri iletim hızı parametresi çerçevesinde servis kalitesi analiz edilmiştir. Böyle bir haberleşme sistemine ait sonuçların analizi ve bu sonuçların değerlendirilebilmesi için farklı zaman aralıklarında ve istatistiksel olarak anlamlı tahmin ediciler sunacak kadar örnekleme alınmıştır. Sonuçlar, veri iletim hızı parametresinin (özellikle de gerçek zamanlı video transferi gibi yüksek bant genişliği ve yüksek veri iletim hızının istendiği durumlarda) servis kalitesi için çok önemli bir bileşen olduğunu göstermektedir. Veri iletim hızını ve bant genişliğini iyileştirmenin aynı zamanda servis kalitesini iyileştirmek anlamına geldiği belirtilmiştir. Bu tez kapsamında, Linux İşletim Sistemi'nde eşlenik 3G modemleri çoklayarak ve bu modemlerin senkronize bir şekilde veri iletimi yapmasını sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler aşağıdaki algoritmalar çerçevesinde çalışmaktadır:

- “Round robin”; bu seçenekte paketler uygun olan ilk 3G modemden başlayarak sırasıyla gönderilmektedir.
- “Active back-up”; sistemde sadece tek bir 3G modem aktiftir. Diğer modem ancak ve ancak aktif modem devre dışı kalırsa aktifleşmektedir.

Bununla birlikte, farklı GSM operatörlerinin modemleri ve aynı GSM operatörlerinin modemleri kullanılmasının veri iletim hızı ve servis kalitesine etkileri analiz edilmiştir. Önerilen yöntemin çıktıları analiz edildiğinde, bu yöntemle, 3G ile veri iletiminde servis kalitesinin (veri iletim hızı, erişebilirlik, güvenilirlik) iyileştirildiği garanti edilmiştir.

Nisan 2014, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: 3G, servis kalitesi, veri iletim hızı, çoklama.

ABSTRACT

Master Thesis

ANALYSIS AND ENHANCEMENT OF THE QUALITY OF SERVICE (QoS) IN 3G DATA TRANSMISSION

Hasan Tahsin KART

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical – Electronics Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hakkı Gökhan İLK

3G data transmission emerged to become one of the major data transfer techniques with the development of remote network technology, mainly due to its wide application area and its ability to use 3G infrastructure. In this thesis, quality of service (defined in data rate parameter) in 3G data transmission with only one 3G modem is analyzed. At different time intervals and as much as possible samples (enough to provide statistically significant predictors) are taken up to analyze and to consider the results of such a communication system. The results show that, this parameter (data rate) of QoS (quality of service) is significant contributor; especially, in terms of high data rate and wide bandwidth real time 3G video transmission. Therefore it is denoted that enhancing data rate and bandwidth proportionally increases the QoS. In this thesis, a method that bonds dual 3G modems in Linux Software System which are performing co-operated synchronized data transfer is proposed. In this method, bonding driver feature of Linux Kernel which offers many bonding mode options to the users is used. The following bonding mode options of this driver are analyzed:

- Balance round robin; transmit packets in sequential order from the first available 3G modem through the last.
- Active back-up; only one modem in the bond is active. A different modem becomes active if, and only if, the active modem fails.

Moreover, effects of using different GSM Operator modems and the same GSM Operator modems on data transfer rate and QoS are investigated. After analyzing the output of the proposed method, we ensure that the QoS (defined in data rate, reliability, availability parameters) of 3G data transmission enhances.

April 2014, 66 pages

Key Words: 3G, Quality of Service (QoS), data rate, bonding.

TEŞEKKÜR

Birlikte çalışmaya başladığımızdan beri tez çalışmalarına yeterince ilgi gösterip bana vakit ayıran; toleranslı, anlayışlı, arkadaş canlısı tavırlarıyla, çalışmaların her aşamasında yapıcı eleştirileriyle beni sürekli motive eden ve engin deneyimlerinden her alanda yararlandığım tez danışmanım ve Bölüm Başkanımız sayın Prof. Dr. H. Gökhan İLK'e (Ankara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı), her türlü sıkıntıda ve sevincimde yanımda olan, sürekli beni destekleyen ve cesaretlendiren hayat arkadaşım Dilayda KART'a, hayatım boyunca beni pek çok fedakarlıkla yetiştiren, bana sürekli destek veren ve güvenlerini her zaman yanımda hissettiğim KART ve TOPÇU ailelerine ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen YARIM ailesine en içten duygularıyla teşekkür ediyorum.

Hasan Tahsin KART

Ankara, Nisan 2014

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 GSM Tarihçesi.....	3
2.2 GSM ve Hücreli İletişim Sistemi	4
2.3 GSM Radyo Arayüzü İletişim Teknikleri, Frekans Bandı ve Girişim.....	8
2.3.1 GSM radyo arayüzü iletişim teknikleri	8
2.3.1.1 Frekans bölme çoklu kullanım [Frequency Division Multiple Access (FDMA)]	8
2.3.1.2 Zaman bölme çoklu kullanım [Time Division Multiple Access (TDMA)] ...	9
2.3.1.3 Kod bölme çoklu kullanım [Code Division Multiple Access (CDMA)]	10
2.3.2 Frekans bandı.....	10
2.3.3 Frekansın tekrar kullanımı ve girişimin etkisi.....	13
2.4 3G Teknolojisi	14
2.5 Network Referans Modelleri.....	16
2.5.1 OSI model	16
2.5.1.1 Uygulama katmanı	18
2.5.1.2 Sunum katmanı	18
2.5.1.3 Oturum katmanı.....	18
2.5.1.4 Taşıma katmanı	19
2.5.1.5 Ağ katmanı.....	19
2.5.1.6 Veri hattı katmanı	20
2.5.1.7 Fiziksel katman.....	20

2.5.2 TCP / IP model	21
2.5.2.1 Uygulama katmanı	23
2.5.2.2 Taşıma katmanı	23
2.5.2.3 İnternet katmanı.....	24
2.5.2.4 Ağ Arabirimi katmanı	24
2.5.3 OSI referans modeli ile TCP / IP referans modelinin karşılaştırılması	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1 Literatürde Servis Kalitesi İyileştirme Teknikleri ve Bonding.....	26
3.2 Linux Bonding	27
3.2.1 Linux bonding sistem mimarisi	29
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1 Bir Adet 3G Modemle Veri İletim Performansı.....	37
4.1.1 Operatör X'in veri iletim performansı.....	37
4.1.2 Operatör Y'nin veri iletim performansı	41
4.2 İki Adet 3G Modemle Veri İletim Performansı	44
4.2.1 Operatör X ve Operatör Y'nin 3G modemlerinin çoklanması.....	45
4.2.2 Operatör Y'ye ait iki adet 3G modeminin çoklanması.....	49
4.2.3 İki farklı GSM operatörünün mode=1 seçeneğiyle çoklanması.....	59
5. SONUÇ.....	60
5.1 3G Veri İletiminde Servis Kalitesinin Analizi	60
5.2 3G Veri İletiminde Servis Kalitesinin İyileştirilmesi	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	66

KISALTMALAR DİZİNİ

AGCH	Erişim Hibe Kanalı
AMPS	Gelişmiş Mobil Telefon Hizmeti
CDMA	Kod Bölmeli Çoklu Erişim
CEPT	Avrupa Posta ve Telekomünikasyon İdaresi Konferansı
DoD	Savunma Bakanlığı
DSL	Sayısal Abone Hattı
ETSI	Avrupa Telekomünikasyon Standartları Enstitüsü
FDMA	Frekans Bölmeli Çoklu Erişim
Gbps	Saniyede Gigabit
GPRS	Genel Paket Radyo Servisi
GSM	Mobil İletişim için Küresel Sistem
HSPDA	Yüksek Hızlı İndirme Paket Erişimi
HTML	Köprü Biçimlendirme Dili
IP	İnternet Protokolü
ISO	Uluslararası Standardizasyon Örgütü
Kbps	Saniyede Kilobit
LAN	Yerel Ağ
LTE	Uzun Vadeli Evrim
Mbps	Saniyede Megabit
ME	Mobil Cihaz
MS	Mobil İstasyon
NIC	Ağ Arayüz Kartı
N-ISDN	Sistem Dijital Ağına Bağlı Dar Bant
NMT	Nordic Mobil Telefon Sistemi
OSI	Açık Sistemler Bağlantısı
PCH	Çağrı Kanalı
QoS	Servis Kalitesi
RACH	Rasgele Erişim Kanalı
RF	Radyo Frekansı
RMTS	Radyo Mobil Telefon Sistemi
SDCCH	Bağımsız Özel Kontrol Kanalı
SMG	Özel Mobil Grubu
SMS	Kısa Mesaj Servisi
TACS	Toplam Erişim Telefon Sistemi
TC	Transkodlayıcı
TCH	Trafik Kanalı
TCP/IP	İletim Kontrol Protokolü / İnternet Protokolü
TDMA	Zaman Bölmeli Çoklu Erişim
UMB	Ultra Mobil Geniş Bant
VoIP	İnternet Protokolü Üzerinden Ses
WAN	Geniş Bölge Ağı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 GSM hücre yapısı	4
Şekil 2.2 Omni hücre (Omni Cell)	5
Şekil 2.3 Sektör hücre (Sector Cell).....	6
Şekil 2.4 Frekans bölmeli çoklu kullanım	9
Şekil 2.5 Zaman bölmeli çoklu kullanım	9
Şekil 2.6 Kod bölmeli çoklu kullanım	10
Şekil 2.7 GSM radyo frekans bantları.....	11
Şekil 2.8 GSM iletişimde fiziksel kanal ve TDMA	13
Şekil 2.9 OSI referans modelinde iki bilgisayar arası iletişim.....	17
Şekil 2.10 OSI referans modelindeki katmanlar ve kullandıkları protokoller	21
Şekil 2.11 OSI modeldeki katmanlara TCP / IP modelde karşılık gelen katmanlar	22
Şekil 2.12 TCP / IP Modelinin zamansal süreçte oluşumu.....	22
Şekil 2.13 TCP / IP Modelde katmanlar ve kullanılan protokoller.....	23
Şekil 3.1 Linux çok arayüzlü mimarisi ile linux bonding mimarisinin karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.2 Bonding Mode=0 (round robin) veri iletim algoritması	29
Şekil 3.3 Bonding Mode=1 (active backup) veri iletim algoritması.....	29
Şekil 3.4 Linux bonding sistem mimarisi	31
Şekil 3.5 Her adımda ortalaması alınan 10 örnekleme grafiği.....	32
Şekil 3.6 Her adımda ortalaması alınan 20 örnekleme grafiği	33
Şekil 3.7 Her adımda ortalaması alınan 30 örnekleme grafiği.....	34
Şekil 3.8 Her adımda ortalaması alınan 40 örnekleme grafiği.....	35
Şekil 3.9 Her adımda ortalaması alınan 40 örnekleme ve kırk adet ortalamanın % (+1) aralığı grafiği	36
Şekil 4.1 Tek Bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör X ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde).....	38
Şekil 4.2 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör X ile Hafta İçi Geç Saatlerde)	39
Şekil 4.3 Farklı zamanlardaki tek Bir 3G modem ile veri iletim performanslarının karşılaştırılması (operatör x).....	40
Şekil 4.4 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)	42
Şekil 4.5 Akşam saatlerinde operatör X ve operatör Y'nin 3G veri iletim hızı performansı.....	42

Şekil 4.6 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Geç Saatlerde)	43
Şekil 4.7 Farklı zamanlardaki tek bir 3G modem ile veri iletim performanslarının karşılaştırılması (Operatör Y).....	44
Şekil 4.8 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ve Operatör X ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde).....	45
Şekil 4.9 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde).....	46
Şekil 4.10 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde).....	47
Şekil 4.11 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Gece Saatlerinde).....	48
Şekil 4.12 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)	49
Şekil 4.13 Tekli, farklı ve aynı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde).....	50
Şekil 4.14 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Gece Saatlerinde).....	51
Şekil 4.15 Farklı zamanlarda iki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam ve Gece Saatlerinde).....	52
Şekil 4.16 Tekli, farklı ve aynı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Gece Saatlerinde).....	53
Şekil 5.1 İki farklı tek modem ile akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar.....	62
Şekil 5.2 İki farklı, iki aynı modemlerin çoklanmasıyla akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Çoklanmamış ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Akşam Saatleri).....	47
Çizelge 4.2 Çoklanmamış ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Gece Saatleri)	48
çizelge 4.3 Çoklanmamış, aynı ve farklı gsm operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Akşam Saatleri).....	52
Çizelge 4.4 Çoklanmamış, aynı ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Gece Saatleri).....	54
Çizelge 4.5 Operatör X ve operatör Y’den akşam ve gece saatlerinde alınan ölçümler.....	54
Çizelge 4.6 Akşam ve gece saatlerinde operatör X ve Y’nin ve iki adet operatör Y’nin çoklanmasıyla elde edilen sistemden alınan ölçümler	57
Çizelge 5.1 İki farklı, tek modem ile akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar.....	61
Çizelge 5.2 İki farklı, iki aynı modemlerin çoklanmasıyla akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar	63

1. GİRİŞ

Tüm dünyada 3G ile veri iletimi önemli bir yer tutmakta ve hemen her yerden veri iletimi için 3G baz istasyonlarına ulaşılabilir. Kablosuz iletişim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, 3G veri transferi en önemli veri transfer yöntemlerinden biri olmuştur. Bu durumun en önemli sebepleri olarak, GSM altyapısının uygun hale getirilmesini ve GSM teknolojisinin yaygınlaşarak günlük yaşantımızda kullanılabilirliğinin artmasını gösterebiliriz.

Mevcut GSM altyapısında veri iletimi, servis kalitesi (QoS) ile doğrudan ilintilidir. Servis kalitesini belirleyen parametreler ise kullanıcı ihtiyacına göre değişmektedir. Örneğin bir telefon konuşmasında senkronizasyon önemli olduğundan veri iletiminin herhangi bir gecikme (delay) olmaksızın yapılması önem arz ederken (gecikme<20ms), yüksek bant genişliğine ise ihtiyaç yoktur. Zira telefon konuşmalarında yaklaşık 12kbit/s'lik veri iletim hızı yeterlidir ve bu ihtiyaç ikinci jenerasyon GSM şebekeleriyle bile sağlanabilmektedir.

Bununla birlikte GSM alt yapısı kullanarak bir video görüntüsü yayını yapmak istediğinizde ise bant genişliği ve veri iletim hızı servis kalitesini belirleyen ana parametreler olurken, veri iletiminin gecikme zamanı telefon konuşmasında olduğu kadar kritik değildir. Konuşma ve video yayınına ek olarak, internette yapılan gezintide ya da dosya transferinde de servis kalitesi parametreleri değişiklik göstermektedir. Yine örnek verilecek olursa, video yayını yaparken bir kısım veri kaybı kritik bir parametre değilken dosya transferinde oldukça önemli bir parametre haline gelmektedir. Sonuç olarak servis kalitesini (senaryolara göre değişiklik göstermek kaydıyla);

- Gecikme zamanı (senkronizasyon),
- Veri iletim hızı,
- Veri kaybı

gibi parametreler belirlemektedir. Bu parametreler ise kullanılan GSM alt yapısının yoğunluğu ya da aktif olan baz istasyonuna olan uzaklık gibi diğer parametrelere bağlıdır.

Tezin ikinci bölümünde mevcut GSM mimarisi, GSM altyapısı ve teorik açıdan literatürde yer alan diğer bilgiler değerlendirilip derlenmiştir. Tezin konusuyla ilgili literatürde yer alan güncel bilgiler takip edilmiş ve bu çerçevede tez kapsamında güncellemeler yapılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde ise, 3G ile yapılan veri iletimlerinde servis kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yöntemden bahsedilmiş ve bu yöntemin literatürde yer alan mevcut yöntemlere göre farklılıkları ve benzerlikleri irdelenmiştir. Aynı zamanda, uygulanan yöntemin tüm teknik detayları ve sistem mimarisi bu kısımda incelenmiştir.

Tezin dördüncü ve beşinci bölümünde ise, veri iletim hızının artırılmasıyla servis kalitesinin iyileştirilmesi hedeflenecektir. Önerilen metodun uygulama aşamaları detaylandırılacak, farklı GSM Operatörlerinin 3G veri iletim performansları incelenecek, önerilen yöntemin etkileriyle birlikte elde edilen sonuçlar tartışılacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 GSM Tarihçesi

Telefon ile konuşma alt yapısının öncülerinden Bell Laboratuvarı, 1972 yılında mobil iletişim için gerekli alt yapının oluşmasını da sağlamıştır. İskandinav ülkelerinde düzlük alanların nadir olması ile insanların birbirleriyle kablosuz iletişime gereksinim duymasından yola çıkılarak, bugün de yirmi beşten fazla ülkenin kullandığı ve ilk olarak oluşturulan standart olma özelliği taşıyan NMT (Nordic Mobile Telephone System) ortaya çıkmıştır. Ardından İngiltere’de başlayan ve bugün de Avrupa, Ortadoğu ve Uzakdoğu’daki on ülkede kullanılan TACS (Total Access Telephone System) standardı ortaya koyulmuş; AMPS (Advanced Mobile Phone Service) sistemi de Kuzey Amerika, Avustralya, Yeni Zelanda ve bazı Asya ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bunların yanı sıra İtalya’da ortaya çıkan bir diğer iletişim standardı da RMTS’dir (Radio Mobile Telephone System).

Görüldüğü gibi her farklı ülkede farklı standartların ortaya konması; bu sistemlerin birbirinden bağımsız ve birbirleriyle uyumlu olmamalarını doğurmaktaydı. Bu yüzden de bir sistemde sorunsuz olarak çalışan mobil telefon, bir başka sistemde çalışmamaktaydı. Mevcut analog sistemler her ne kadar zamanında çok başarılı olsalar da; tüm dünya ülkeleri arasında dolaşıma izin verilmesinden (roaming), sistemlerin açık standartlarda tasarlanmasından (ki bu sayede sistemlerde oluşabilecek ortak sorunların, tek bir çözümle ortadan kaldırılmasından), N-ISDN (Narrow Band Integrated System Digital Network) servislerinin mobil telefonlarla sayısal teknolojiyi kullanabilmesinden ve aynı zamanda multimedya iletişim alanındaki tüm ihtiyaca cevap vermesinden çok uzakta kalmışlardı (Dalyan, 2004). İşte tüm bu ihtiyaçlara cevap verecek nitelikte olan, insanoğlunun hayatını büyük ölçüde kolaylaştıran ve tüm standartları tek bir çatı altında toplayan ikinci nesil GSM [Global System for Mobile Communication (Küresel Mobil İletişim Sistemi)] sistemi, 1982 yılında CEPT (Conference of European Post and Telecommunications Administration) toplantısında GSM (Group Special Mobile) çalışma grubu tarafından ortaya atıldı. Sistemin ismi ile çalışma grubunun isminde

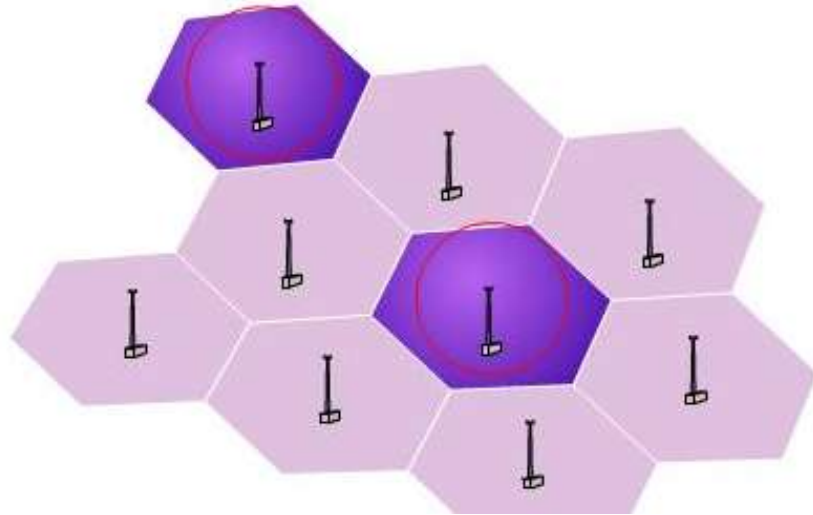
karışıklık olmasın diye de bu çalışma grubunun adı tarihe Group Special Mobile'dan SMG'ye (Special Mobile Group) değiştirilerek yazıldı.

SMG, hücresel iletişim mekanizmasında bugün kullanılan üç standart olan GSM 900, GSM 1800 ve GSM 1900'u belirleyen grup olma özelliği de taşımaktadır.

Son olarak 1988'de kurulan ETSI (European Telecommunication Standart Institute) tarafından, tüm CEPT aktiviteleri (GSM standartları da dahil olmak üzere) tek bir çatı altında toplanmıştır.

2.2 GSM ve Hücresel İletişim Sistemi

Mobil şebeke kapsama alanının tümü, yarıçapı en fazla 20-30 km olarak belirlenen ve şekil 2.1'de görülen küçük hücrelere ayrılmıştır. Her bir hücrenin kendi alıcısı/vericisi vardır ve tanımlı frekansları da bulunmaktadır. Bu yüzden mobil istasyon (cep telefonu) bir hücreden başka bir hücreye hareket edebilir ve herhangi bir sabit bağlantı olmadan konuşma yapabilir (Dalyan 2004).



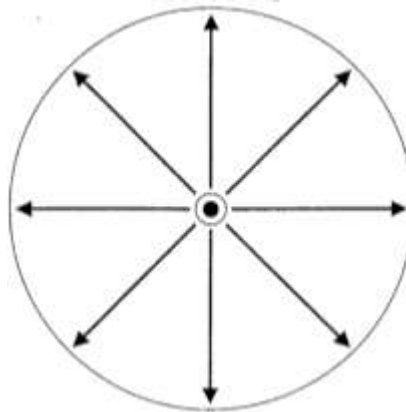
Şekil 2.1 GSM hücre yapısı

Mobil telefonun sağladığı bu tür imkanların şebekedeki alıcı/vericilere, mobil abonelere ve operatörlere sağladığı yararlardan bahsedilmeden, GSM hücre yapısı ve bu iletişim sistemindeki hücresel yapılar ele alınacaktır.

Mobil istasyonun servis aldığı bölge aynı zamanda “kapsama alanı” olarak adlandırılır. Bir mobil istasyon, aynı anda birden fazla baz istasyonu ile bağlantısını sürdürse de, bulunduğu konuma göre en yüksek sinyali aldığı baz istasyon üzerinden haberleşmesini sürdürmekte ve bu sayede mobil abonenin, bir başka mobil abone ile iletişimini devam ettirmesini sağlamaktadır. Ancak baz istasyonlarının kapsama alanları çember şeklinde olsaydı, kapsama alanının birbirlerine değdikleri noktaların arasındaki boşluklar konuşmaya engel olabilecekti. Bu sayede de kapsama alanları altıgen yapıda olan hücrelerin; neden çember, üçgen ya da benzeri şekillerde olmadığı anlaşılabilir.

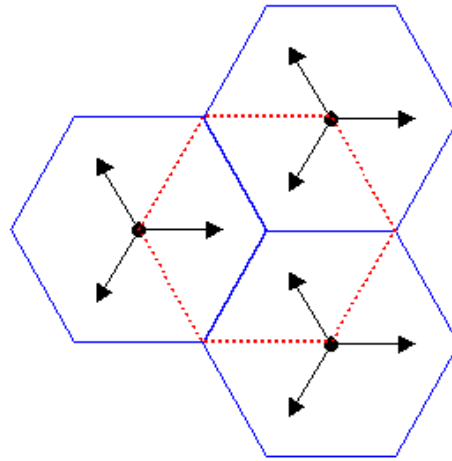
Hücre tiplerinin çeşitlerinden bahsederken ilk sınıflandırma yöntemini hücre tiplerinin yaptıkları yayılım açısına, alıcı/verici sayısına ve bu sayede kullanım alanına göre ikiye ayırma olarak nitelendirilebilir: Omni Hücre (Omni Cell) ve Sektör Hücre (Sector Cell).

Bağımsız olarak çalışan ve bir birime ait baz istasyonu ile antenlerinin bulunduğu sahalarda eğer sadece birer adet hücre alanı, alıcı anteni ve verici anteni bulunuyorsa bu tip hücrelere “omni hücre” adı verilir. Şekil 2.2’de görülen bu tip hücrelerdeki yayılım 360 derecelik açı ile gerçekleşmekte ve dolayısıyla kırsal kesimlerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 2.2 Omni hücre (Omni Cell)

Bir hücrenin neden altıgen şeklinde kullanıldığının en önemli gerekçelerinden biri de kapsama alanlarının en etkin biçimde kullanılması ve bir baz istasyonundan maksimum sayıda kullanıcın yararlanması adına hücrelerin, sektörlere ayrılmış olması şeklinde gösterilebilir: “Sektör Hücre”. Sektör sahalar bir veya birden fazla hücreden oluşmaktadır. GSM’de kullanılan genel yapı, üç hücreden oluşan sektör yapısıdır. Şekil 2.3’teki gibi sektör sahada 120 dereceli açı ile yayın yapan üçer adet verici ve alıcı anten mevcuttur. Altıgen şeklinde olan hücreler sayesinde, sektörlere ayrılan kapsama alanlarının da kendi içerisinde sanal bir hücre oluşturduğu şekil 2.3’te mavi alanlarla belirlenen ve 120 derecelik açılarla sektörlere ayrılan kapsama alanları kesişiminin, kırmızı çizgilerle belirlenen bir başka hücreyi de beraberinde getirdiğinden anlaşılabılır. Böylece hücreleri daha küçük dilimlere ayırmakla abonelere daha kaliteli hizmet sunma ve kapasiteyi daha etkin kullanma mümkün olabilmektedir. Çünkü sektör yapıda hücre sınırlarını bir bölgeye odaklama ve daha kesin olarak belirleme daha kolaydır. Ayrıca antenler belli bir eğimle monte edilebilirler ve bu sayede sinyallerin ulaşabileceği alanlar ve sınırlar daha kesin olarak bilinebilir. Omni sahalarından farklı olarak sektör sahalar, yüksek abone kapasitesinin ve yoğun hücre yerleşiminin olduğu kentsel alanlar için uygundur (<http://electronics.howstuffworks.com> 2009).



Şekil 2.3 Sektör hücre (Sector Cell)

Hücre tipleri; yaptıkları yayının açısına, alıcı/verici sayısına göre ve bu sayede kullanım alanına göre omni hücre ve sektör hücre olarak sınıflandırılıyor olsa da, bir

diğer sınıflandırma yöntemi de hücrelerin büyüklüklerine göre olan sınıflandırmadır: Piko Hücre (Pico Cell), Mikro Hücre (Micro Cell) ve Makro Hücre (Macro Cell).

Yarıçapı yaklaşık olarak 100 m ile 500 m arasında değişen hücreler “piko hücre” olarak nitelendirilir. Konferans salonu, özel lobiler, alışveriş merkezleri gibi özel alanları kapsamak üzere kullanılan hücre çeşididir. Yarıçapı 500 m ile 2 km arasında değişen hücreler de “mikro hücre” olarak adlandırılır. Mikro hücre, bir coğrafi yapıya eklenen yeni bir hücre sahası yaratmaktan çok, var olan kapsama alanının genişletilmesi ile kapasite optimizasyonu sağlamaktadır. Bu yüzden de binalar arası yavaş trafikte hareket eden insanların olduğu mekanlarda kullanışlı bir yöntemdir (Keser 2002). Yarıçapı 2 km ile 20 km arasında değişen hücre tipi de “makro hücre”dir. Makro hücre kapsama alanı, piko hücre ve mikro hücre kapsama alanlarına göre daha büyük olduğu için omni hücre gibi kırsal alanlarda oldukça kullanışlı bir hücre tipidir. Kullanım alanları üniversite kampüsleri ve şehirlerarası yollar olarak sıralanabilir.

GSM hücre sisteminden ve hücre tiplerinden bahsedildikten sonra artık; hücresel iletişim mekanizması ve GSM’in, şebekede alıcı/verici açısından, mobil aboneler açısından ve operatörler açısından getirdiği avantajlardan söz edilebilir.

Alıcı/verici açısından yararlar:

- Güç Tasarrufu: Yüksek frekansta yapılan yayın sayesinde alıcı ve verici arasındaki mesafenin (baz istasyonu ve mobil istasyon) kısa olması gereğinden dolayı sık aralıklarla belirlenen hücrelerin ölçüsü küçüktür ve dolayısıyla daha az enerji harcanmaktadır. Sürekli olarak kontrol kanalından haberleşen mobil telefonların (cep telefonlarının) bataryalarının uzun süre dayanması da güç tasarrufuna bağlanabilir.
- Frekansın Yeniden Kullanımı: Şebekedeki GSM 900, GSM 1800 ve GSM 1900 frekans bantlarında, birbirine komşu olan her bir hücreye tahsis edilen frekanslar farklı olarak tanımlanmıştır. Çünkü şekil 2.1’deki gibi birbiri ile komşu olan bu hücrelerin girişime sebep olacağı düşüncesi hakimdir. Ancak girişimin, uzaklığın

karesi ile ters orantılı olarak azalacağı düşünülürse kapsama alanı sınırlarının birbirinden ayrıldığı hücreler (yani birbirine komşu olmayan hücreler), aynı frekansı tekrardan kullanabilme yeteneğine sahiptir.

Mobil aboneler açısından yararlar:

- Uluslararası seyahat serbestliği ve hareketlilik
- Mekan özgürlüğü ve esneklik

Operatörler açısından yararlar:

- Şebeke genişleme esnekliği
- Altıgen biçimli hücre tiplerinin sağladığı verimlilik
- Coğrafi koşullara ve seçilen hücre sahasına uygun olarak kolay konfigürasyon, kurulum ve frekans planı
- Daha fazla kullanıcının kapsama alanlarından verimli bir şekilde yararlanması ile gelir/kâr paylarının artması

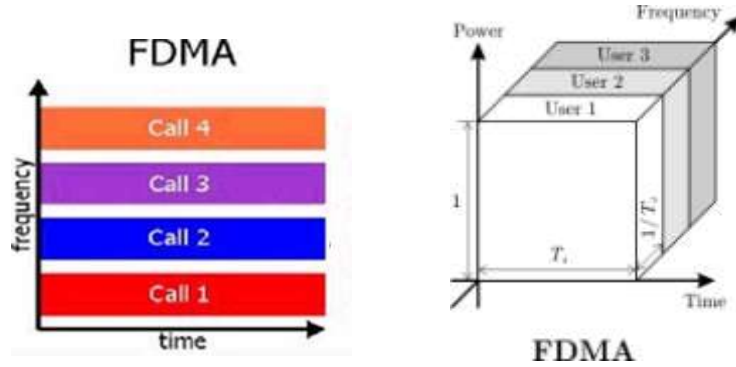
2.3 GSM Radyo Arayüzü İletişim Teknikleri, Frekans Bandı ve Girişim

2.3.1 GSM radyo arayüzü iletişim teknikleri

2.3.1.1 Frekans bölmeli çoklu kullanım [Frequency Division Multiple Access (FDMA)]

FDMA iletişim tekniğinin ismi ilk başta karmaşık gibi görünse de, isimdeki her bir kelimenin anlamını açmak, bu tekniğin hangi görevde kullanıldığını anlamada yardımcı olabilmektedir: FDMA, verilen spektrumu aynı zaman aralığı içinde *frekanslara böler*. Böylece her bir telefon konuşması, konuşma süresince bir kanala atanarak aynı zaman aralığında *çoklu kullanım* sağlanmış olur (Şekil 2.4).

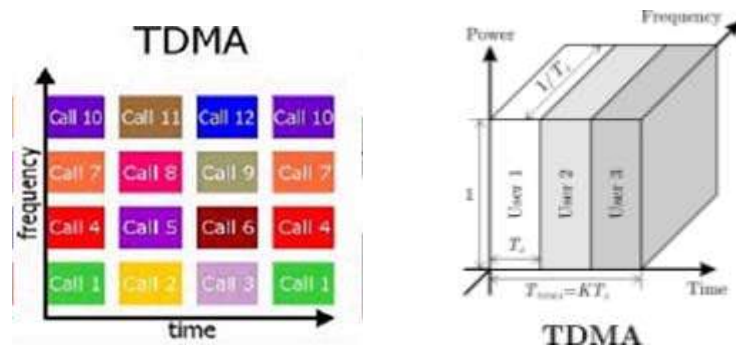
Her bir baz istasyonu uygun bant aralığında ve farklı frekanslarda sinyal gönderimini bu sayede sağlamaktadır. FDMA, genel olarak analog sinyal iletimi için geçerli olup, sayısal bilgi taşımada pek uygun bir yöntem olarak gösterilmemektedir. Bu yüzden, özellikle sayısal iletişimde etkin biçimde kullanılan diğer yöntem de “Zaman Bölmeli Çoklu Kullanım”dır.



Şekil 2.4 Frekans bölmeli çoklu kullanım

2.3.1.2 Zaman bölmeli çoklu kullanım [Time Division Multiple Access (TDMA)]

TDMA, FDMA’ın daha da ileri formu olup *zaman bölgesindeki* spektrumda verilen kanalı da kendi içerisinde böler (Şekil 2.5). Böylece frekans bölgesindeki her bir kanal da pek çok kullanıcıya bölünerek *çoklu kullanımın* etkinliği ve verimliliği artırılmış olur.



Şekil 2.5 Zaman bölmeli çoklu kullanım

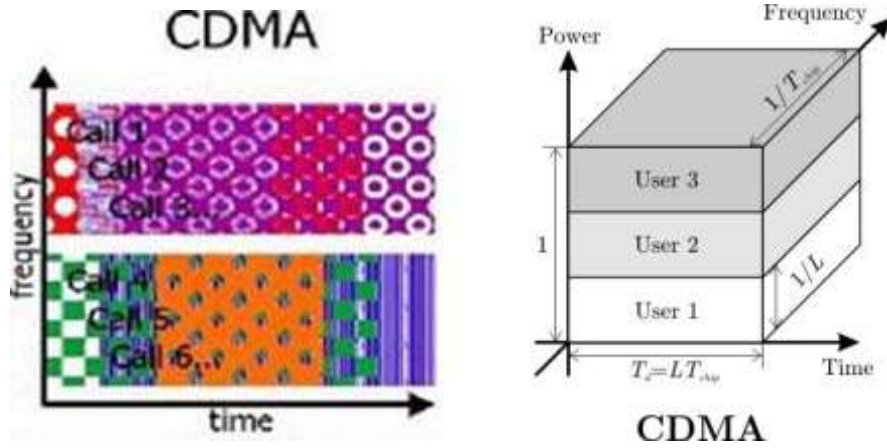
Mobil sistem için bir aboneye ait konuşma bilgisinin en iyi şekilde tanımlanabildiği bant genişliği 25 kHz olarak hesaplanmıştır. Ayrıca her bir konuşma için belirlenen frekansın zaman bölmesi de 4.615 ms’lik zaman aralıkları ile ayrılmıştır (Dalyan, 2004).

Bu sayede ses sinyali sıkıştırılmış formda sayısal sinyale dönüştürülme imkanını bulabilmekte ve telefonla görüşme daha az iletim ortamında gerçekleşebilmektedir. Dolayısıyla da aynı kanal sayısını kullanan analog sisteme göre TDMA, daha yüksek kapasite ile kullanıcılara hizmet vermektedir.

GSM, şu ana kadar bahsedilen her iki radyo iletişim tekniğini de (FDMA ve TDMA) kullanabilme yeteneğine sahiptir.

2.3.1.3 Kod bölmeli çoklu kullanım [Code Division Multiple Access (CDMA)]

FDMA ve TDMA'nın aksine, CDMA iletiminde her bir telefon görüşmesi için kanal atama söz konusu değildir. Bunun yerine şekil 2.6'da görüldüğü gibi her bir görüşme, sayısal olarak kodlanıp her bir telefon görüşmesinin iletimi için tüm spektrumun kullanımı [yayılım spektrum iletimi (spread spectrum transmission) olarak da bilinir] geçerlidir (Jeruchim vd. 2000). Yani ilgili şekilde kendine özgü her bir kod, tüm spektrumda iletilmek üzere kodlanan telefon görüşmelerini temsil etmektedir.

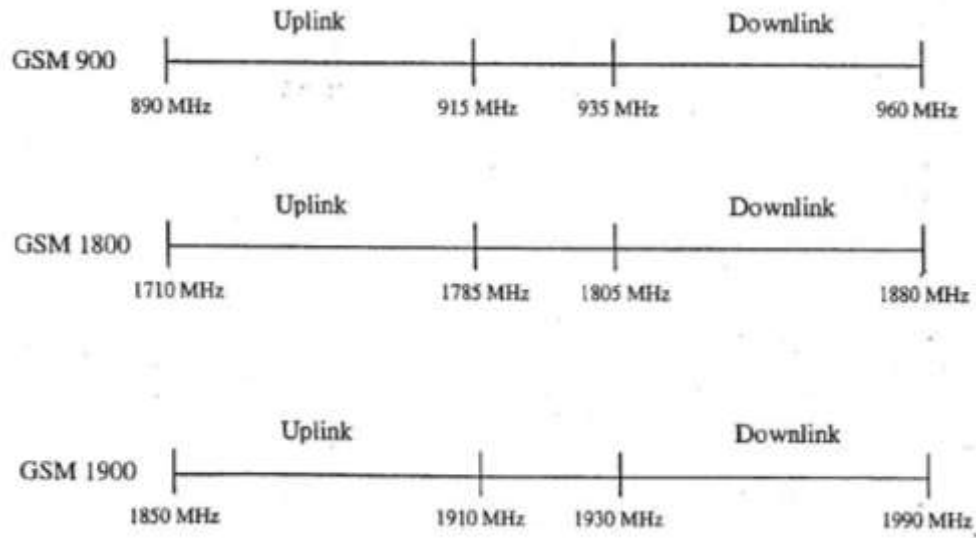


Şekil 2.6 Kod bölmeli çoklu kullanım

2.3.2 Frekans bandı

Hücrel mobil iletişim sisteminde telefonla sistem arasındaki haberleşme, radyo frekansı ile sağlanmaktadır. Baz istasyonlarından yapılan bu radyo yayımları da hücre kapsama alanını oluşturmaktadır (Dalyan 2004).

Şekil 2.7’de görülen GSM radyo frekans bantları, yukarı bağlantı (uplink ya da reverse) ve aşağı bağlantı (downlink ya da forward) olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yukarı bağlantı, kullanıcıdan bağlı olduğu ağ veya servis sağlayıcısına dönük veri transferine verilen addır. Başka bir deyişle yukarı bağlantı, mobil telefondan baz istasyonuna doğru gerçekleşen ve bu yolda bilgi taşıyan iletişim yoludur (Goodman 2003). Aşağı bağlantı ise ağdan ya da servis sağlayıcısından kullanıcıya dönük veri transferine verilen addır. Başka bir deyişle aşağı bağlantı, baz istasyonundan mobil telefona doğru gerçekleşen ve bu yolda bilgi transfer edilmesini sağlayan iletişim yoludur (Goodman 2003).



Şekil 2.7 GSM Radyo frekans bantları

GSM 900 sisteminde bir abonenin konuşmasını çift yönlü taşımak için bir adet yukarı bağlantı (uplink) ve bir adet de aşağı bağlantı (downlink) frekansında taşıyıcı sinyal kullanmak gerekmektedir¹. Bu yüzden bir abone, telefon konuşma sinyallerini gönderme ve alma işlemlerinde aynı kanal numaralı frekans kanalını kullanmaktadır. Örneğin abonenin konuşmaları 5 numaralı yukarı bağlantı frekans kanalı üzerinden baz istasyonu aracılığıyla diğer telefon abonesine iletilirken, karşı taraftan gelen ses bilgisi aboneye yine 5 numaralı aşağı bağlantı frekans kanalı üzerinden gelmektedir (Dalyan,

¹ Telsizlerde kullanılan tek yönlü taşıma (half-duplex radio) durumunda, aynı anda iki kullanıcının konuşması mümkün olamamaktadır; çünkü her iki verici sistemi de aynı frekansı kullanmaktadır. Oysa ki cep telefonlarındaki çift yönlü taşımada (full-duplex radio) iki kullanıcı farklı frekansları kullanmakta ve bu sayede aynı anda konuşma sağlanabilmektedir.

2004). Bu nedenle sistemde, frekans tanımları ve kullanımı, bir çift frekans kanalından oluşan tek bir frekans içermektedir. Sistemde bir frekanstan söz edildiğinde bu, aralarında 45 MHz aralık bulunan aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı kanalını ifade etmektedir.

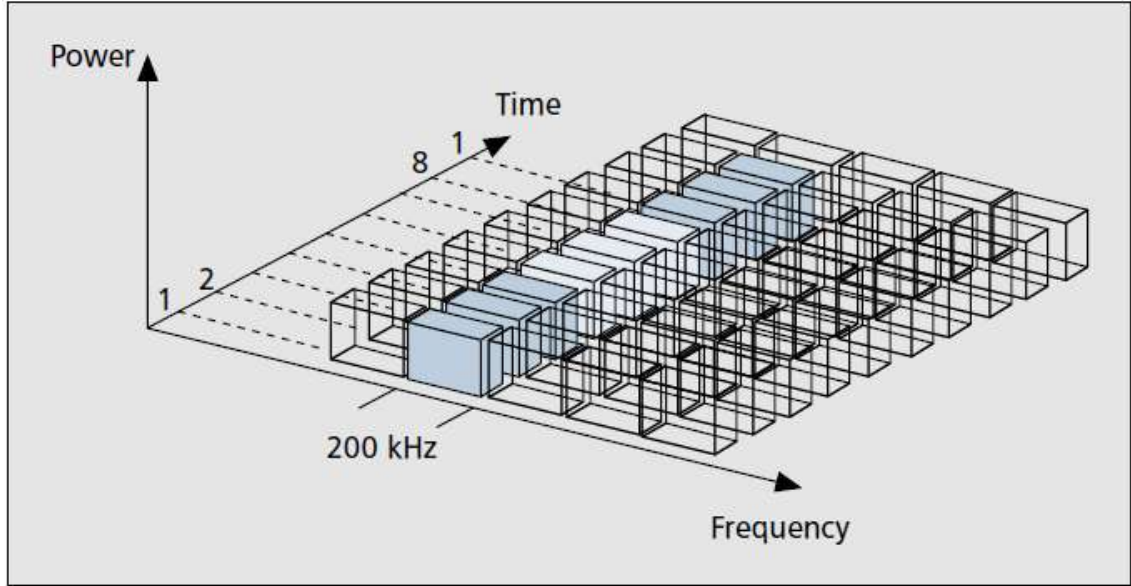
Şekil 2.7’de görülen GSM 900 frekans bandında; 25 MHz’lik yukarı bağlantı (uplink) ve 25 MHz’lik aşağı bağlantı (downlink) dışında, bu iki bant arasında 20 MHz’lik bir yedek bant vardır. Bu bantta; konuşma ayarlarının yapıp sisteme talebin gönderildiği RACH (Random Access Channel) kanalı; konuşma kanalının kullanılacağını bildirildiği AGCH (Access Grant Channel) kanalı; SMS, MMS ve benzeri katma değerli servislerin kullanıldığı SDCCCH (Stand Alone Dedicated Control Channel) kanalı ve konuşma ile katma değerli servis bantlarının kullanımının engellenmesini önlemesi amacıyla ayrılan PCH (Paging Channel) kanalı yer almaktadır (Atasoy 2006). İşte bu yüzden, sistemde sözü edilen frekansın, aralarında 45 MHz aralık bulunan aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı kanalını ifade ettiğinden söz edilmiştir.

Mobil sistem için bir aboneye ait konuşma bilgisinin en iyi şekilde tanımlanabildiği bant genişliğinin 25 kHz olarak hesaplandığından bahsedilmişti. Analog ve sayısal mobil sistemlerde farklı iletim sistemleri tasarlanmış olmakla birlikte kabaca bu bant genişliği esas alınmaktadır.

TDMA tekniği sayesinde sayısal sistemlerde (GSM 900, GSM 1800) frekans bandı 200 kHz’lik dilimlere ayrılmakta ve her bir frekans diliminde de zaman bölmesi yapılarak sekiz kişiye ait bilgi (konuşma vb.) taşınmaktadır $[(200 \text{ kHz})/(8 \text{ abone})=25 \text{ kHz/abone}]$. Bir başka ifade ile, aynı anda hizmet alan sekiz kanalın her birinden 0,577 ms’lik bir sürede yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı kanallarından iletim sağlanmakta; böylece iletim için gerekli bağlantı aynı frekans aralığında toplam olarak 4,615 ms’de $[(0,577 \text{ ms}) \times (8 \text{ kanal}) = 4,615 \text{ ms}]$ gerçekleşmektedir (Dalyan 2004, Atasoy 2006).

RF (Radio Frequency) iletimi şekil 2.8’de görüldüğü gibi belirli “zaman aralıkları”nda (time slot) yapılır. 0,577 ms uzunluğunda olan sekiz adet zaman aralığından, 4,615

ms'lik zaman dilimini içeren bir adet “çerçeve (frame)” oluşur (Goodman 2003). Dolayısıyla her bir çerçeve, TDMA'de bölünen bir frekans aralığına karşılık gelir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 GSM İletişiminde Fiziksel Kanal ve TDMA

Şebekeye bağlı olan abonelerin sistemde kullandıkları sekiz zaman diliminden ilk zaman dilimi T0 (Time Slot 0) olarak adlandırılır ve RACH, AGCH, SDCCH ve PCH kontrol kanalları bu zaman dilimini kullanır. Öte yandan diğer yedi zaman dilimi T1-T7 (Time Slot 1, Time Slot 2, ..., Time Slot 7), şebekedeki abonelerin konuşma anında kullandıkları kanallardır ve bu kanal da TCH (Traffic Channel) olarak adlandırılır (Atasoy 2006).

2.3.3 Frekansın tekrar kullanımı ve girişimin etkisi

Radyo dalgaları, baz istasyonu ve mobil telefonlardan çevre koşullarına bağlı olarak uzaklığın karesi ile ters orantılı zayıflayarak belirli bir güçte yayınlanır. Buna bağlı olarak mobil telefon ve baz istasyonunun, sinyalleri minimum alışı düzeyi -106 dBm'dir. Bu düzeyden daha düşük güçte gelen sinyaller de işlenememektedir. Radyo dalgalarının eriştiği bu minimum düzey, hücre kapsama alanını belirlemekte ve yaklaşık sınırları oluşturmaktadır. Fakat bu sınırların dışında sinyal zayıflayarak da olsa yayılımını

sürdürmekte ve ancak sonsuzda sıfır düzeyine yaklaşmaktadır. İşte zayıf sinyaller aynı frekansta bir sinyalle karşılaşınca bu, sinyali daha da zayıflatıcı ya da bozucu bir etki göstermektedir. İşte bu olay girişim (interference) olarak adlandırılır (Dalyan, 2004). Girişimin önlenmesi için de, şekil 2.1’de görülen hücrelerden, birbirlerine komşu olan baz istasyonları için frekans tahsisi yapılırken aynı frekans seçilmemesine özen gösterilmektedir. Çünkü tüm GSM abonelerinin kullanması için her ülkeye tahsis edilen frekans bantları sınırlıdır ve girişimin de etkisi göz önünde bulundurularak her bir kapsama alanının tanımlı olduğu frekans aralığı, kendisine komşu olan kapsama alanından farklı olmalıdır. Bu yüzden de frekans aralığı sınırlı sayıda olduğu için bu kapsama alanının tanımlı olduğu frekans, kendisine komşu olmayan bir başka hücrede rahatlıkla kullanılabilir.

Sonuç olarak girişim, konuşma kalitesini doğrudan etkilemektedir ve hücreler (kapsama alanları) plânlanırken coğrafi konum, sinyal güçlerinin ne düzeyde olacağı, GSM altyapısının güç kapasitesi ve abonelere etkileyen radyasyon güvenliği ne kadar önemliyse; frekans seçimi ve girişim etkisi de bir o kadar göz önünde bulundurulması gereken etmenlerdir (William 2004).

2.4 3G Teknolojisi

3G’nin ne anlama geldiğini anlamak için farklı ağlar ve bunların gelişim durumlarıyla ilgili temel bilgilere sahip olmak gerekmektedir. 1G olarak bilinen ilk hücresel ağ nesli sadece ses taşıyabilen analog sistemlerden oluşmaktadır. Bu ilk cep telefonu sistemleri 1970 sonları ile 1980’ler boyunca kullanımda kalmıştır ve ancak yakın zamanda emekliye ayrılmıştır (Ünlütürk vd. 2010). 1990’larda aralarında GSM, TDMA ve CDMA’nin olduğu ikinci nesil (2G) ağlar piyasaya sürülmüştür. 2G ağlar, 1G ağlarının analog işletimlerini dijital işletimlerle değiştirmiştir. Böylece sesin yanında verilerin de kablosuz olarak iletilmesi sağlanmıştır. 2G dijital hücresel ağları, 1G’nin bir tek ses hizmetleri vermesi üzerinde gelişmiştir ve birçok yeni özelliğin kullanılmasını sağlamıştır. Bunların arasında bas-konuş, kısa mesaj hizmeti (SMS), konferans araması, arayanın kimliği, sesli posta ve e-posta gönderme ile web taraması gibi basit veri

uygulamaları vardır. Bu ağlar günümüzde hala mevcut ve günümüzün cep telefonu kullanıcılarının çoğuna ses hizmeti sunmaktadır (Jamalipour vd. 2005).

Taşıyıcılar da (carriers) dünyanın hız ihtiyacını karşılamak için 2G ağlarını geliştirmeye devam ettiler ki bu da 2G ağlarına göre çok daha büyük bir bant genişliğine sahip, geçici bir hücresel ağ neslini doğurmuştur. Bu ağlar 2.5G ağlarıdır. 2G ağları genel olarak 10 ile 20 Kbps hız sunarlarken 2.5 ağları tipik bir arama hızında (30 ile 90 Kbps) veri sunmaktadır. Bu da 2G ağlarının etkin hızlarının üç ve daha fazla katına eşittir. 2.5G ağlarının çıktıkları geniş bir çeşitlilikteki yeni uygulamaları (faks gönderme, büyük eposta mesajları, etkin web taraması, gerçek zamanlı navigasyon için haritalar ve temel multimedya) desteklemek için gerekli bant genişliğini sağlamaktadır.

3G ağları, bant genişliğini DSL hızına (144 Kbps ile 2+Mbps arasında bir yere) çıkarma çıkarmaktadır. Sonuç olarak 3G video konferansı, IP üzerinden ses (VoIP), tam hareketli video ve akan müzik gibi daha zorlayıcı multimedya uygulamaları için destek sağlamaktadır ve daha hızlı web taraması ve daha hızlı dosya indirmesi de sunmaktadır.

HSPDA (Yüksek Hızlı Veri Paketi İndirme İmkânı, High Speed Downlink Packet Access) sayesinde bugün 3G hızının da ötesine geçip 3.5G hızına ulaşılmıştır. 3G ağlarının çoğunun dört beş katına eşit (14.4 Mbps'ye ulaşan hızı ile), HSPDA bant genişliğinde çok önemli bir artış sağlamaktadır ki bu da video konferansı yapma, web taraması ve grafiği yoğun web siteleri için önemli bir performans iyileştirmesi sağlamaktadır.

Taşıyıcıların kapsama alanı bugün mevcut olsa da şu an her yeri kapsamıyor. Taşıyıcılar hala altyapıyı kurma sürecindeler. 3G aboneleri 3G ağının kapsama alanı dışına çıktıklarında servisleri 2G/2.5G ağlarına dönmektedir.

4G, LTE (Uzun Vadeli Evrim, Long Term Evolution), UMB (Ultra Hareketli Geniş Bant, Ultra Mobile Broadband) ve potansiyel olarak Wi-MAX içermektedir. 4G ağları 100 Mbps ile 1Gbps arasında hız sunacak ağlar olarak tanımlanmaktadır. Bu hızla

yüksek kalitede akan video gibi bant genişliği yoğun uygulamaların çoğu için güçlü bir performans sunmaktadır. Mevcut teknolojide ülkemizde 4G teknolojisi henüz kullanılmamaktadır.

2.5 Network Referans Modelleri

Bilgisayar ağları konusunda özellikle farklı şirketler tarafından üretilen cihazlar arasında uyumluluk sağlamak için standartlar geliştirilmiştir. Bu standartlar arasında en bilinenleri;

- OSI (Open Systems Interconnection) Referans Modeli
- TCP / IP Referans Modeli

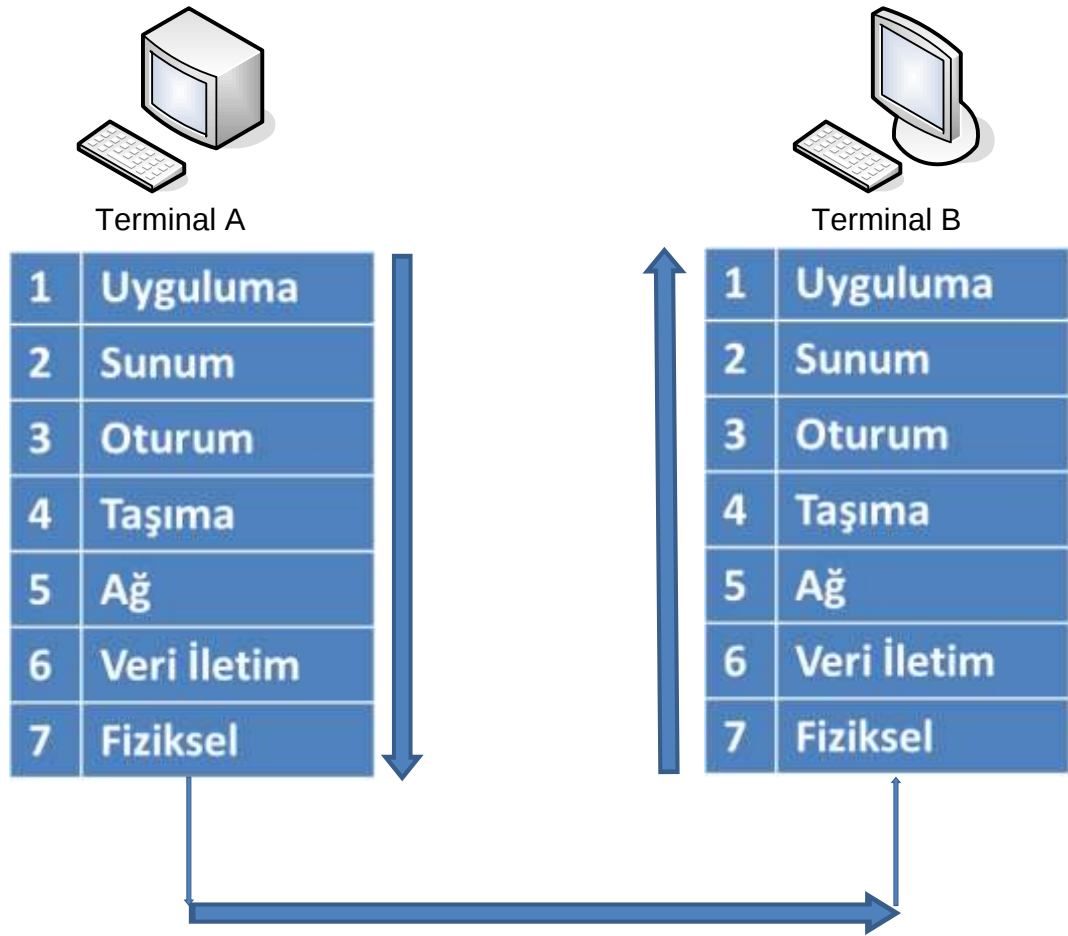
2.5.1 OSI model

Bu standartın oluşturulmasının en temel sebebi, en başta belirtildiği gibi farklı dillerde konuşan sistemleri ortak bir standarta oturtmak istenmesidir. OSI Referans Modeli, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından 1984 yılında oluşturulmuştur. Bu modelde, iki sistem arasında yapılacak iletişim 7 katmanlı bir ağ sistemi kurularak sağlanmıştır (Anonymous 2001). Bu 7 katman sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- Uygulama Katmanı (Application Layer)
- Sunum Katmanı (Presentation Layer)
- Oturum Katmanı (Session Layer)
- Taşıma Katmanı (Transport Layer)
- Ağ Katmanı (Network Layer)
- Veri Bağı Katmanı (Data Link Layer)
- Fiziksel Katman (Physical Layer)

Bu 7 katmanlı ağ modeli karmaşıklığı önlemesiyle birlikte, farklı donanım ve yazılım ürünlerinin birbirleriyle uyumlu çalışmasını sağlamaktadır. OSI modeli modüler bir

mimariye sahiptir. Her katmanda belli bir iş yapılarak bir sonraki katmana geçilir. Her bir katmanın görevi bir üst (yüksek) katmana servis sağlamaktır. İki bilgisayar arasındaki iletişimde katmanlar sırasıyla iletişim kurarlar. Herhangi bir katmanda yapılan değişiklik diğer katmanları etkilemediğinden, bu durum referans modellerinde yapılacak yenilikleri kolaylaştırmaktadır. Ayrıca katmanlar sayesinde iletişimde yaşanacak problemlerin tespiti kolaylaşmaktadır.



Şekil 2.9 OSI Referans modelinde iki bilgisayar arası iletişim

Veri bir katmandan diğerine iletilmeden önce paketlere bölünür. Paket, bir aygıttan diğerine veri aktarmada kullanılan bir birim veridir. Her katmanda pakete ek bilgiler (formatlama ya da adresleme) eklenir. Verinin iletimi üst katmandan alt katmana doğru olur. Verinin kablo ile iletimi fiziksel katman tarafından gerçekleştirilir. Diğer bilgisayarda ise önce fiziksel katman ile karşılanan veri üst katmanlara doğru hareket eder (Şekil 2.9).

2.5.1.1 Uygulama katmanı

Bilgisayar uygulaması ile network arasında gerçek bir arabirim sağlar. Bu katman kullanıcıya en yakın olandır. Sadece bu katman diğer katmanlara servis sağlamaz. Uygulama katmanı network servisini kullanacak olan programdır. Bu katman kullanıcının gereksinimlerini karşılar. Dosya paylaşımından, elektronik postadan veri tabanı yönetimine kadar olan bütün işlemler bu katmanda yapılır. Kullanıcı tarafından çalıştırılan tüm uygulamalar bu katmanda tanımlıdır.

2.5.1.2 Sunum katmanı

Sunum katmanında verinin çevrilmesi işlemi yapılır. Bu katmanda verinin yapısı, biçimi ile ilgili düzenlemeler yapılır. Sunum katmanında verinin formatı belirlenir. Bilgi üzerinde yapılabilecek her çeşit işlem bu katmanda gerçekleştirilir. Verinin şifrelenmesi, açılması ve sıkıştırılması işlemleri de bu katmanda yapılır.

2.5.1.3 Oturum katmanı

Oturum katmanında, iki nokta arasındaki gerekli oturumun kurulması, yönetilmesi ve sonlandırılması işlemleri yapılır. Oturum katmanı uygulamalar arasındaki oturumu temsil eder. Oturumlar, veri akışının ya iki tarafa da aynı anda olmasına (full dublex), ya da tek yönde olmasına izin verirler. Bilgi akışının tek yöne doğru olması durumunda iletim sırasının kimde olduğuna oturum katmanında bulunan işlemler karar verir. Oturum katmanında gerçekleştirilen işlemlerden (hizmetlerden) bir diğeri de senkronizasyondur. Aynı zamanda farklı protokoller kullanan makinelerin bağlantı kurmalarında ortaya çıkan uyumsuzluk problemlerini de ortadan kaldırır. Oturum katmanı sunum katmanına yollanacak verilerle diyalog kurar.

2.5.1.4 Taşıma katmanı

Taşıma katmanı, iki sistem arasında veri aktarımını sağlar. Veri iletiminde güvenilirliği sağlamak için sistemlerden birisi bağlantı oturumunu düzenler. Ardından veri iletimi için hazırlığın iki tarafta da kontrolü yapılır ve veri transferi başlatılır. İki aygıt aralarında veri alışverişi yaparken, düzenli olarak birbirlerini kontrol ederler. Gönderilen verinin kontrolü “acknowledgement” işlemiyle yapılır. Onayı beklemeden gönderilen veri miktarına “window” denir. “Windowing” işlemi bir aygıttan diğerine ne kadar bilgi transfer edildiğini kontrol eder. Büyük boyutlu paketleri hattın durumuna uygun olarak küçük parçalara (segment) ayırır. Her bir parçaya sıra numarası verilerek eksik parçaların alıcı tarafında tamamlanması sağlanır ve parçaları birleştirir. İletimde oluşan tıkanıklığın kontrolü de bu katman tarafından yapılır.

2.5.1.5 Ağ katmanı

Ağ katmanının ana görevi yönlendirmedir (routing). Yönlendirme işlemi paketlerin yerel ağ dışında diğer ağlara gönderilmesini sağlar. Ağ katmanında iki istasyon arasında en kısa yoldan verinin iletimi sağlanır. Bu katman sayesinde veriler router’lar aracılığıyla yönlendirilir. Ağ aşamasında mesajlar adreslenir ve mantıksal adresler fiziksel adreslere çevrilir. Bu aşamada ağ trafiği, routing gibi işlemler de yapılır. Bir paket router tarafından alındığında hedef IP adresi kontrol edilir. Network katmanında iki tür paket kullanılır:

- Veri paketleri
- Yönlendirme paketleri

Veri paketleri kullanıcının bilgisini taşımak için kullanılır. Bu paketler IP ve IPX gibi yönlendirilebilir protokollerle taşınır. Yönlendirme paketleri ise ağlardaki routerları güncelleştirmek için kullanılır. RIP, EIGRP ve OSPF gibi protokoller bu işlevi yerine getirirler. Router’ların güncelleştirilmesinde yapılan ana işlem ise, her router üzerinde bulunan routing tablolarının güncelleştirilmesidir.

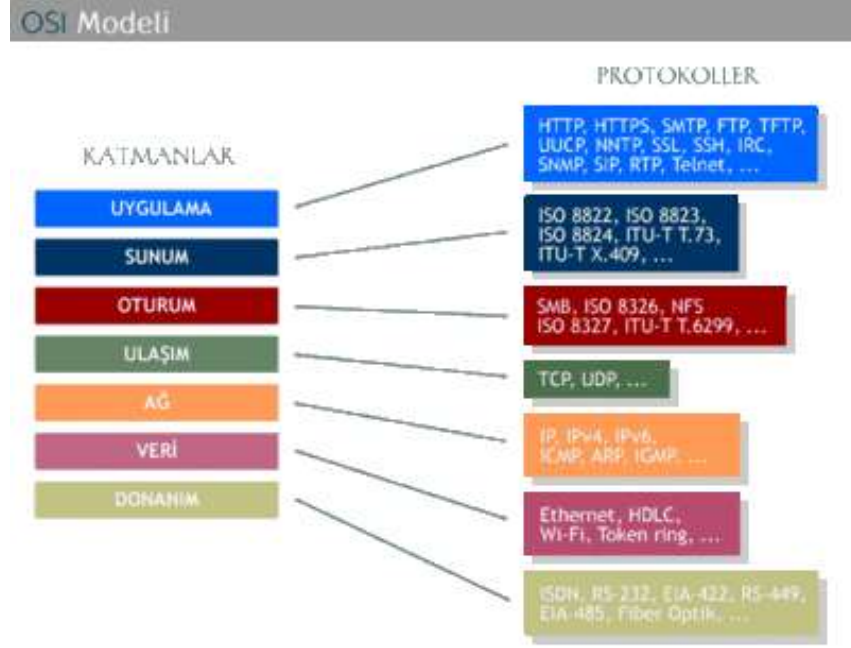
2.5.1.6 Veri hattı katmanı

Veri hattı katmanında; bir alt aşamada sağlanan elektronik medya üzerinde verilerin nasıl iletileceği ya da verilerin bu medyaya nasıl konulacağı belirlenir. Aynı zamanda bu katman, hatasız veri iletiminden de sorumludur. Fiziksel katman üzerinden alınan mesajların doğru alınıp alınmadığının kontrolünü yapar. Mesaj alıcı tarafından doğru alınmadı ise, mesajın yeniden gönderilmesi işlemini gerçekleştirir.

Bu katmanda veriler data frame olarak düzenlenirler. Bu katmanda ethernet olarak bilinen erişim yöntemi çalışır. Bu erişim yöntemi verileri kendi protokollerine uygun olarak işleyerek iletir. Veri hattı katmanında veriler ağ katmanından fiziksel katmana gönderilirler. Bu aşamada veriler belli parçalara bölünür. Bu parçalara paket ya da frame denir. Frameler verileri belli bir kontrol içinde göndermeyi sağlayan paketlerdir.

2.5.1.7 Fiziksel katman

Bu katman, bilgilerin fiziksel olarak gönderilmesinden ve alınmasından sorumlu katmandır. Fiziksel iletişimi başlatır, yönetir ve sona erdirir. En alt katmandır. Verileri bit olarak iletir. Bu katmanda ağ kablosu (medya) ile iletişim kurulur. Fiziksel katman düzeyinde, verilerin sayısal olarak iletimi yapılır. Fiziksel iletimle ilgili olarak yaygın olarak IEEE 802.3, 802.4 ve 802.5 standartları kullanılır. Kablolamayı ve ağ kartına bağlanmayı sağlayan birimleri içerir. İletim ortamındaki sinyal iletimini kontrol eder. İşaretin şekli, konnektör türü, kablo türü, modülasyon tekniği, iletişim ortamı, çalışma gerilimi, iletim frekansı vb. özellikler fiziksel katmanda belirlenir.



Şekil 2.10 OSI Referans modelindeki katmanlar ve kullandıkları protokoller

2.5.2 TCP / IP model

İletim Denetimi Protokolü / İnternet Protokolü (TCP / IP), LAN ve WAN ortamlarını içine alan büyük kapsamlı ara ağlar için tasarlanmış endüstri standardı bir protokol ailesidir. Devamdaki zaman çizgisinin de gösterdiği gibi TCP / IP'nin kaynağı, ABD Savunma Bakanlığı'nın (DoD) 1969 yılında Gelişmiş Araştırma Projeleri Ajansı Ağı'nı (ARPANET) sipariş etmesine dayanır.

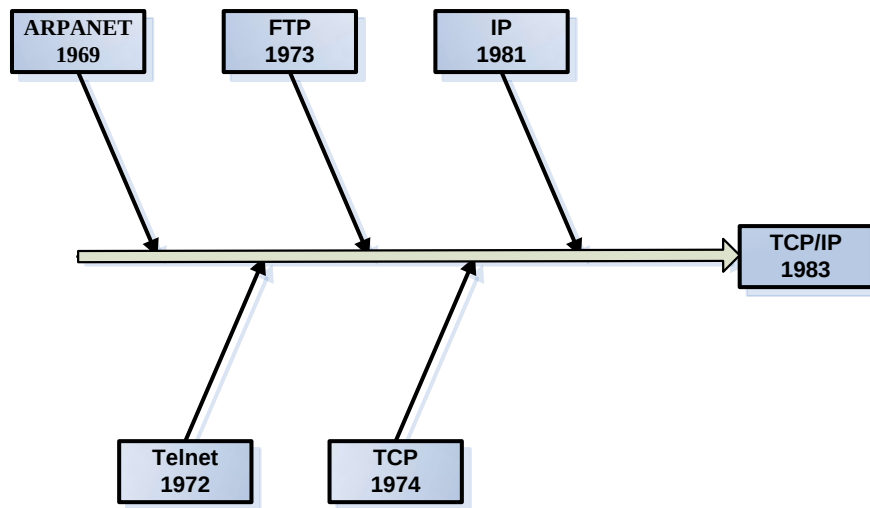
Kullanım olarak iki aşamalı bir haberleşme protokolüdür. İlk aşamada TCP (Transfer Control Protocol), verinin iletimden önce paketlere ayrılmasından ve alıcıda bu paketlerin yeniden düzgün bir şekilde birleştirilmesinden sorumludur. İkinci aşamada ise (IP – Internet Protocol), iletilen paketlerin istenilen ağ adreslerine yönlendirilmesinden sorumludur (Wang 2011).

TCP/IP Model	vs.	OSI Model
Uygulama	7. Katman	Uygulama
	6. Katman	Sunum
	5. Katman	Oturum
Taşıma	4. Katman	Taşıma
İnternet	3. Katman	Ağ
Ağ Arabirimi	2. Katman	Veri İletim
	1. Katman	Fiziksel

Şekil 2.11 OSI Modeldeki katmanlara TCP / IP modelde karşılık gelen katmanlar

OSI Referans Modeli'ndeki 7 katmana karşılık TCP / IP modelde 4 katman bulunmaktadır (Şekil 2.11) (RiLi 2011):

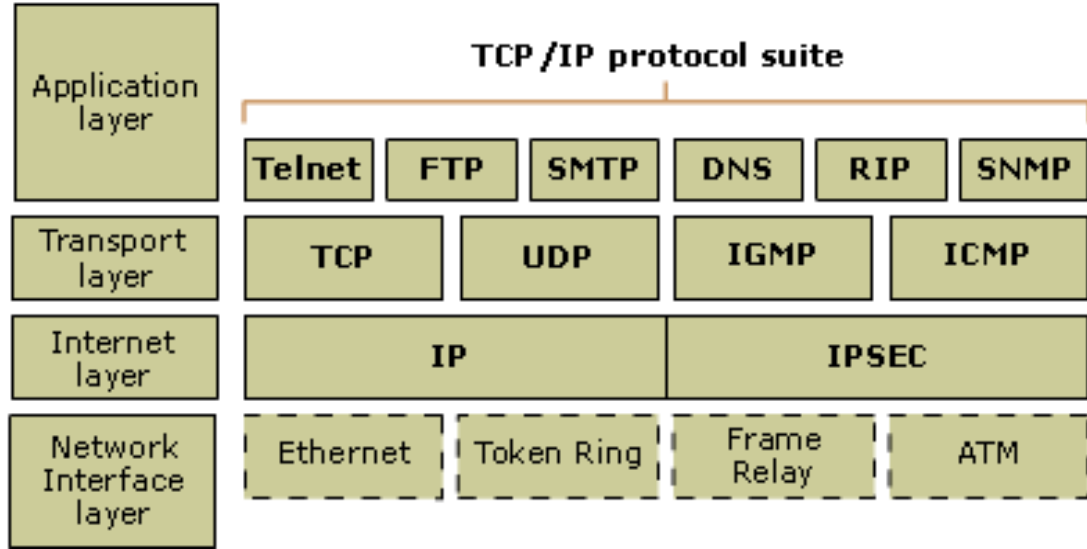
- Uygulama Katmanı (Application Layer)
- Taşıma Katmanı (Transport Layer)
- İnternet Katmanı (Internet Layer)
- Ağ Arabirimi Katmanı (Network Access Layer)



Şekil 2.12 TCP / IP modelinin zamansal süreçte oluşumu

Şekil 2.13'te de gösterildiği gibi TCP / IP modelinin her katmanı Uluslararası Standartlar Örgütü'nün (ISO) önerdiği yedi katmanlı Açık Sistemler Arası Bağlantı (OSI) başvuru modelinin bir veya daha çok katmanına karşılık gelir. Bölüm 2.5.1'de detaylı bir şekilde verilen tüm bu katmanlar dan TCP / IP referans model özelinde de aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

TCP/IP model



Şekil 2.13 TCP / IP modelde katmanlar ve kullanılan protokoller

2.5.2.1 Uygulama katmanı

TCP/IP uygulama protokollerini ve ana bilgisayar programlarının ağı kullanmak için taşıma katmanı hizmetleriyle nasıl bir arabirim oluşturacağını tanımlar.

2.5.2.2 Taşıma katmanı

Ana bilgisayarlar arasında iletişim oturumu yönetimi sağlar. Veri taşınırken kullanılan bağlantının hizmet düzeyini ve durumunu tanımlar.

2.5.2.3 İnternet katmanı

Verileri IP veri birimleri olarak paketler. Bu paketler, veri birimlerini ana bilgisayarlar ve ağlar arasında iletmek için kullanılan kaynak ve hedef bilgilerini içerir. IP veri birimlerinin yönlendirilmesini gerçekleştirir.

2.5.2.4 Ağ Arabirimi katmanı

Koaksiyel kablo, optik fiber veya çift bükümlü bakır kablo gibi bir ağ ortamıyla doğrudan arabirim oluşturan donanım aygıtları tarafından bitlerin elektriksel olarak nasıl işaret haline getirileceği de dahil olmak üzere verilerin fiziksel olarak ağ içinden nasıl gönderileceğini belirtir.

2.5.3 OSI referans modeli ile TCP / IP referans modelinin karşılaştırılması

Bu bölümde, birçok yönden birbirine benzerliği bulunan iki referans modelinin arasındaki farklardan bahsedilecektir. İlk bakışta TCP / IP model OSI modelin özelleştirilmiş bir versiyonuymuş gibi dursa da, bu versiyonun avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Herşeyden önce OSI modeli bir iletişim standardını belirtirken TCP / IP modeli ise daha çok uygulamaya yöneliktir.

TCP / IP modeli, haberleşme görevini karmaşık bir iş olarak niteleyerek daha basit alt görevlere bölmektedir. Her bir alt görev diğer alt görevler için belirli servisler sunar ve diğer alt görevlerin servislerini kullanır. OSI modeli de aynı kavramı kullanır ancak OSI modelinde her bir katmandaki protokollerin özellikleri ve birbirleri ile ilişkileri kesin bir dille tanımlanmıştır. Bu özellik OSI modeli ile çalışmayı daha verimli kılmaktadır.

OSI modelinde katmanların görevlerinin kesin bir şekilde belirlenmiş olması yeni bir protokol geliştirmeyi güçleştirmektedir. TCP / IP modelinde ise böyle bir kısıtlama getirilmediğinden, gerektiğinde yeni bir protokol mevcut katmanlar arasına rahatlıkla yerleştirilebilir.

OSI modelinde gerekmeyen bir katmanın kullanılmaması gibi esnek bir yapıya izin verilmemektedir. TCP / IP modeli ise katı kurallarla tanımlı olmadığından ihtiyaç duyulmayan katmanların kullanılmamasına izin vermektedir. Bu durum da TCP / IP modelin OSI modele göre daha esnek yapıda olmasını sağlamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Multimedya servislerinin günlük hayatımıza hızlı bir şekilde girmesi ve kullanılan veri boyutlarının artmasıyla birlikte, 3G kullanımında “bant genişliği” ve “veri iletim hızı” parametrelerinin iyileştirilmesine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, “veri iletim hızı” parametresinin birçok uygulamada servis kalitesinin iyileştirilmesi konusunda önemli rol oynadığını açıkça göstermektedir.

Veri iletim hızını ve ağ kapasitesini arttırmak için birden fazla kablosuz (wireless) kanalın kullanımını öneren birçok yöntem bulunmaktadır (Hsueh vd. 2004). Bu yöntemlerden en çok bilinen ve kullanılanları:

- Interface Bonding (Arayüz Çoklama)
- Channel Bonding (Kanal Çoklama)

Bu tez kapsamında, 3G ile veri iletiminde servis kalitesini (QoS) iyileştirmek için literatürde “interface bonding” olarak bilinen yöntem uygulanacaktır. Interface bonding yöntemi, birden fazla haberleşme sisteminin birlikte kullanılmasına imkan tanıyan bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulandığı sistemler (kablolu, kablosuz) farklılık gösterdiği gibi, uygulandığı platformlar da farklılık göstermektedir. Tez kapsamında önerilen yöntemle, birden fazla 3G modem aynı anda kullanılabilir. Yöntemin uygulanacağı platform olarak Linux İşletim Sistemi seçilmiştir, bu sebeple yöntem, “Linux Bonding” olarak adlandırılacaktır.

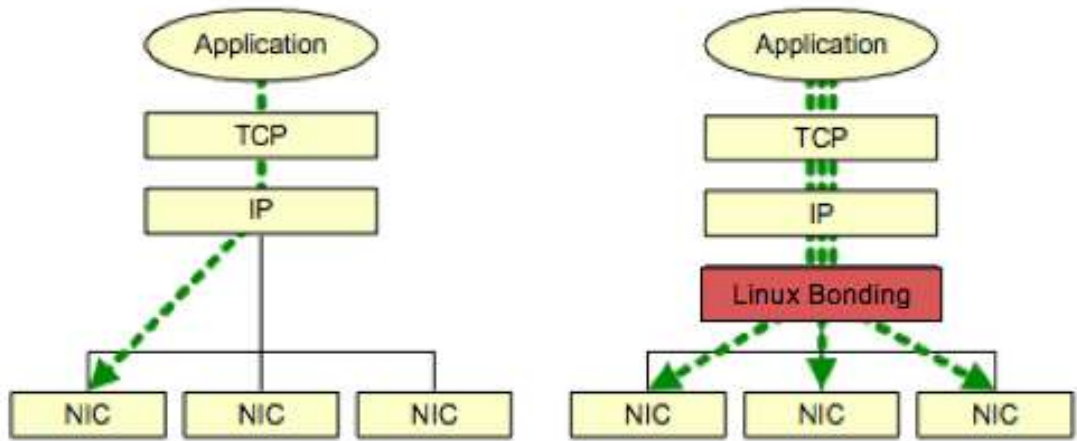
3.1 Literatürde Servis Kalitesi İyileştirme Teknikleri ve Bonding

Bonding, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından uygulanmış bir metoddur. Fakat literatürde bu yöntem hakkında ve yöntemin performans analizi ile ilgili yeteri kadar bilgiye erişilememektedir.

Aust vd. (2006)'da yayınlanan bir makalede bonding yönteminin kablolu sistemler üzerindeki etkisi ve performans analizi yapılmıştır. Shidik ve Noh'un (2013)'te yayınlanan makalesinde ise bant genişliğini arttırmak için kanal ve arayüz çoklama tekniklerinin kullanıldığından bahsedilmiş fakat arayüz çoklama tekniğinden tatmin edici sonuçların alınmadığı vurgulanmıştır. Chereddi vd. (2006)'da yaptığı bir başka çalışmada ise arayüz anahtarlama yöntemi kullanılarak, bir 3G modem sürekli aktif durumda diğer 3G modemler ise pasif durumda bekletilmektedir. Aktif 3G modem tıkanığında pasif 3G modemlerden birisi aktif duruma gelmektedir. Bu yöntem, Linux Bonding metodundaki mode=1 yöntemindekine benzer bir çalışma prensibine dayanmaktadır.

3.2 Linux Bonding

Linux bonding yöntemiyle, senkronize bir şekilde çalıştırılan birden fazla 3G modemin aynı anda veri transferi yapması hedeflenmiştir. Yani hedef, sistemin birden fazla arayüzü varken, kullanılabilir arayüz sayısını arttırmaktır. Bu yöntemin çalışma prensibini tandem bisikletlere benzetebiliriz.



Şekil 3.1 Linux çok arayüzlü mimarisi ile linux bonding mimarisinin karşılaştırılması

Linux bonding, herhangi bir şekilde donanıma ya da işletim sistemine değişiklik yapmayı gerektirmeden uygulanmaktadır. Bu durum maliyet açısından uygulanabilir bir çözüm olduğunu göstermektedir.

Kullanılacak platform Linux olduğundan, kullanılacak referans ağ modeli de önem kazanmaktadır. Zira, bu yöntemle şekil 3.1’de görüldüğü gibi modelin bir bölümüne Linux Bonding katmanı eklenecektir. Bölüm 2.5.3’te belirtildiği gibi TCP / IP referans modeli bu değişikliğin yapılmasına olanak sağlayan bir modeldir.

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere Linux Bonding, veri hattı katmanı ve ağ katmanı arasında sanal bir katmandır. Klasik ağ referans modellerinde maksimum çıktı (veri iletim hızı) sadece tek bir arayüzden elde edilen ile sınırlıdır. Linux Bonding yöntemi birden fazla arayüzün kullanılmasına ve dolayısıyla da maksimum çıktının artmasına olanak sağlamaktadır.

Linux Kernel kullanıcılara, 7 farklı bonding seçeneği sunmaktadır (Davis 2011). Bu 7 seçenekten tez kapsamında kullanılan iki seçeneği aşağıda kısaca verilmiştir.

- Mode=0 (round robin): Bu seçenekte paketler uygun olan ilk 3G modemden başlamak üzere sırayla her bir 3G modem üzerinden iletilir. Toplamda her bir 3G modem üzerinden gönderilen veriler eşittir. Toplam veri gönderme süresini ise yavaş olan 3G modem belirleyecektir. Toplam veri 3G modemler arasında paylaşıldığı için, verinin daha çabuk iletilmesini sağlayacaktır. Böylelikle veri iletim hızı arttırılmış olmaktadır. Toplam veri numaralandırılarak veri paketleri haline getirilmektedir. Bu veri paketleri kendilerinin atanmış olduğu 3G modemler (tünel) üzerinden aktarılmaktadır. Şekil 3.2’de bu aktarım daha anlaşılır olması için kırmızı ve mavi renklerle şematik olarak gösterilmiştir. Her bir mavi veri paketi mavi tünel kullanılarak, her bir kırmızı veri paketi de kırmızı tünel kullanılarak aktarılmaktadır. Şekil 3.2’deki gösterim iki adet 3G modem kullanıldığı durumu şematize etmektedir. Veri paketlerinin alındığı yerde ise kırmızı ve mavi veri paketleri yine

sırasıyla alınarak toplam veri oluşturulmaktadır. Böylelikle tüm veri iki ayrı 3G modem üzerinde eşit sayıda veri paketleri şeklinde gönderilmektedir.



Şekil 3.2 Bonding Mode=0 (round robin) veri iletim algoritması

- Mode=1 (active-backup): Bu seçenekte bir 3G modem aktifken bir diğeri pasif durumdadır. Pasif olan 3G modem ancak ve ancak aktif modem devre dışı kalırsa aktifleşmektedir. Bu durumu sistemin master/slave olarak çalışması olarak da adlandırabiliriz. Sistem master/slave çalışarak sürekli bir 3G modem aktif olmasını sağlamaktadır. Bu da veri iletiminde kesinti olmasının önüne geçerek QoS'in belirli bir seviyede kalmasını sağlamaktadır. Şekil 3.3'te bu aktarımın şematik gösterimi yer almaktadır. Bu algorithmada, tüm veri paketleri tek bir 3G modem üzerine atanmıştır. Eğer bu 3G modemde herhangi bir şekilde erişim koparsa, gönderilemeyen tüm veri paketleri diğeri 3G modeme atanır. Böylelikle kalan veri paketlerinin de zaman kaybı yaşanmaksızın aktarımı sağlanmaktadır.



Şekil 3.3 Bonding Mode=1 (active backup) veri iletim algoritması

3.2.1 Linux bonding sistem mimarisi

Bu kısımda linux bonding işleminde kullanılan sunucu ve istemci (server ve client) tarafındaki mimari yapıdan bahsedilecektir. Bonding işleminde, temel olarak Linux Kernel'in özelliklerinden faydalandığı bölüm 3.2'de bahsedilmişti. Mimarinin tam olarak oluşturulması için sunucu ve istemci tarafında ayrı ayrı uygun konfigürasyon dosyalarının oluşturulması gerekmektedir. Konfigürasyon dosyalarının oluşturulması,

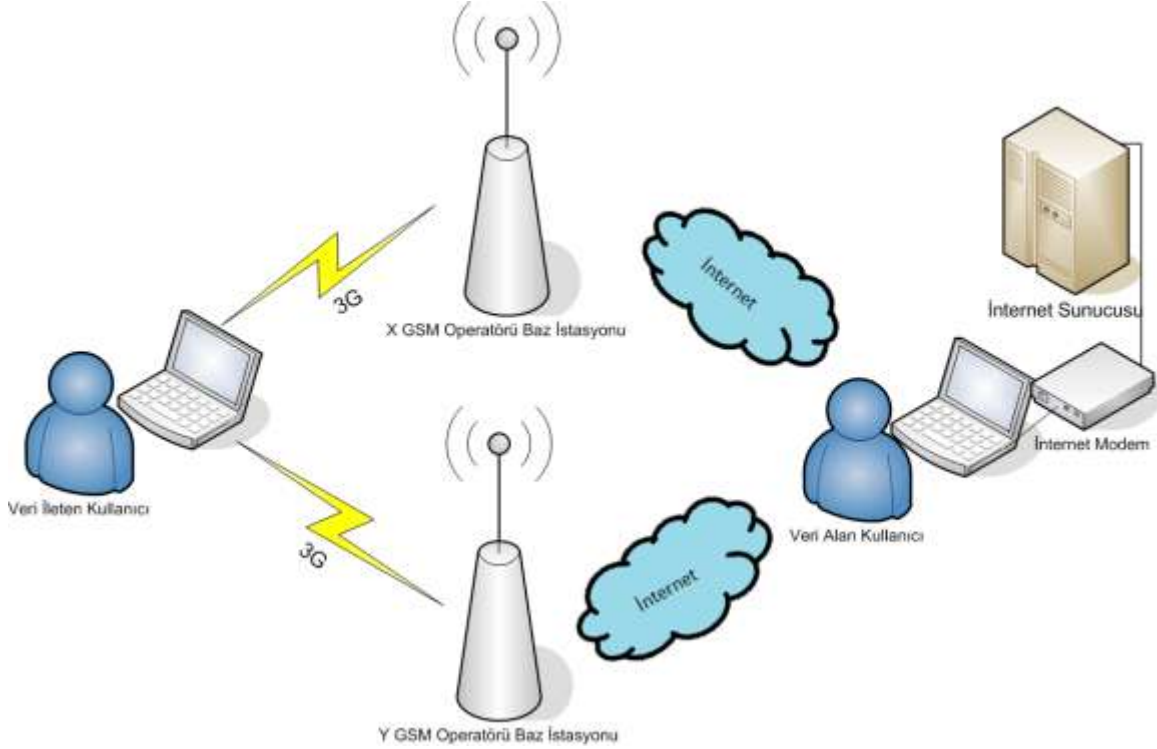
Kernel’da yer alan bonding işleminin uygun algoritmalarla aktif hale getirilmesini sağlayacaktır. Bu sebeple hem sunucu tarafındaki, hem de istemci tarafındaki yapılacak işlemlerin bu algoritmalar aracılığıyla doğru bir şekilde yaptırılması gerekmektedir.

Yapılacak işlemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Bonding ile ilgili sürücülerin yüklenmesi gerekmektedir. Bu sürücü, 3.2’de bahsedilen bonding seçeneklerinin aktif olarak kullanılmasına olanak sağlayan sürücüdür. Her Linux versiyonun bonding sürücülerini yüklü bir şekilde gelmemektedir. Bu sebeple güncel bonding sürücülerin yüklenmesi büyük önem arz etmektedir.
- Sunucu ve istemci taraftaki iletişim gizli bir tünel aracılığıyla yapılacaktır (Virtual Private Network – VPN). Bu işlem verilerin güvenli bir şekilde gönderilmesini/alınmasını sağlayacaktır. Tünel oluşturma işlemini sağlayacak aracın da kurulması gerekmektedir.
- Kullanılacak her bir veri iletim aracı (3G modem) için ayrı ayrı sunucu ve istemcinin oluşturulması gerekmektedir.
- Son olarak da, kullanılacak her bir veri iletim aracının (3G modem) eş zamanlı veri iletimi yapmasını sağlamak gerekmektedir (bonding işlemi). Bu işlemin, her bir sunucunun bir istemciye bağlanması şeklinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Zira bu aşamadan sonra her bir 3G modem kendisi için atanmış olan sunucuya bağlanmaya çalışacak ve bu sunucu ile veri iletimini gerçekleştirecektir.

Bonding işlemini sıradan veri iletiminden ayıran en önemli özellik birden fazla 3G modem ile aynı veri iletimini aynı anda yapabilmesidir. Normal şartlarda birden fazla 3G modemin bilgisayara bağlanması durumunda, bilgisayar bunlardan sadece bir tanesini erişim noktası olarak kabul edecektir ve tek bir 3G modemden veri iletimini gerçekleştirmeye çalışacaktır. Birden fazla 3G modemden faydalanmak için yine birden fazla bilgisayara ihtiyaç duyulacak ve bu durumda da aynı veri gönderilemez olacaktır. Tam bu noktada bonding işlemi ile birden fazla 3G modem aracılığıyla aynı verinin gönderimi sağlanacaktır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu işlem sırasında oluşturulan

sunucu ve istemcilerin her birinin diğeri için özel olması (private) gerekmektedir. Aksi takdirde erişim sağlanamaz ya da iletişimde hata durumu olduğu gözlemlenecektir.

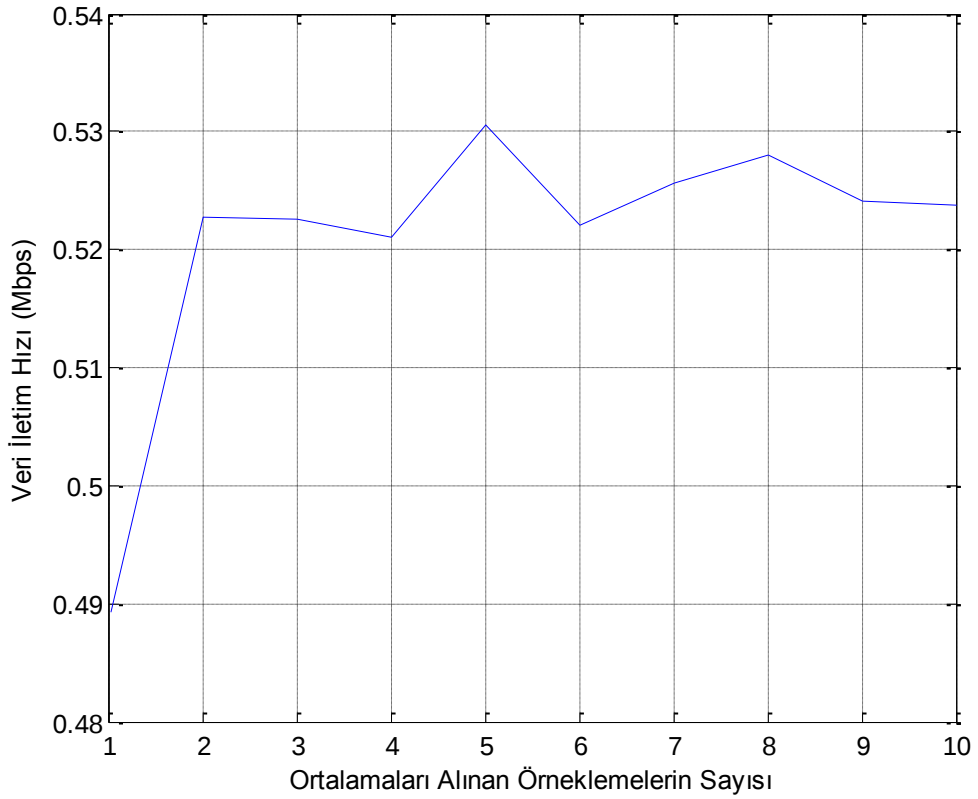


Şekil 3.4 Linux bonding sistem mimarisi

Tüm bu işlemlerde dikkat edilecek bir başka husus ise, istemci tarafının 3G modemlerinin bağlı olduğu kısımdır. Esasen tüm bu işlemlerde veri iletim hızı iyileştirilmeye çalışıldığından, yapılacak denemeler sırasında 3G modemler sunucu tarafına veri iletimi gerçekleştirmek isteyecek ve dolayısıyla 3G modemler istemci tarafında yer alacaktır. Sunucu tarafında ise 3G modemlerin gönderdiği (upload) verilerin rahat bir şekilde alınmasını/indirilmesini (download) sağlayacak internet bağlantısı olması gerekmektedir. Bu internet bağlantısının yüksek hızda olması yapılacak deneylerde farklı bir dar boğazın olmasını engelleyecektir. Eğer ki sunucu tarafta internet hızı gerektiği kadar iyi olmazsa 3G modemler tarafından gönderilen veri paketleri bu kez sunucu tarafında sıraya girecek ve farklı bir gecikmeye sebebiyet verecektir. Bu da esas denemek istediğimiz 3G modemlerin upload hızını bize doğru bir şekilde yansıtmayacaktır.

3.3 Örneklem Sayısının Belirlenmesi

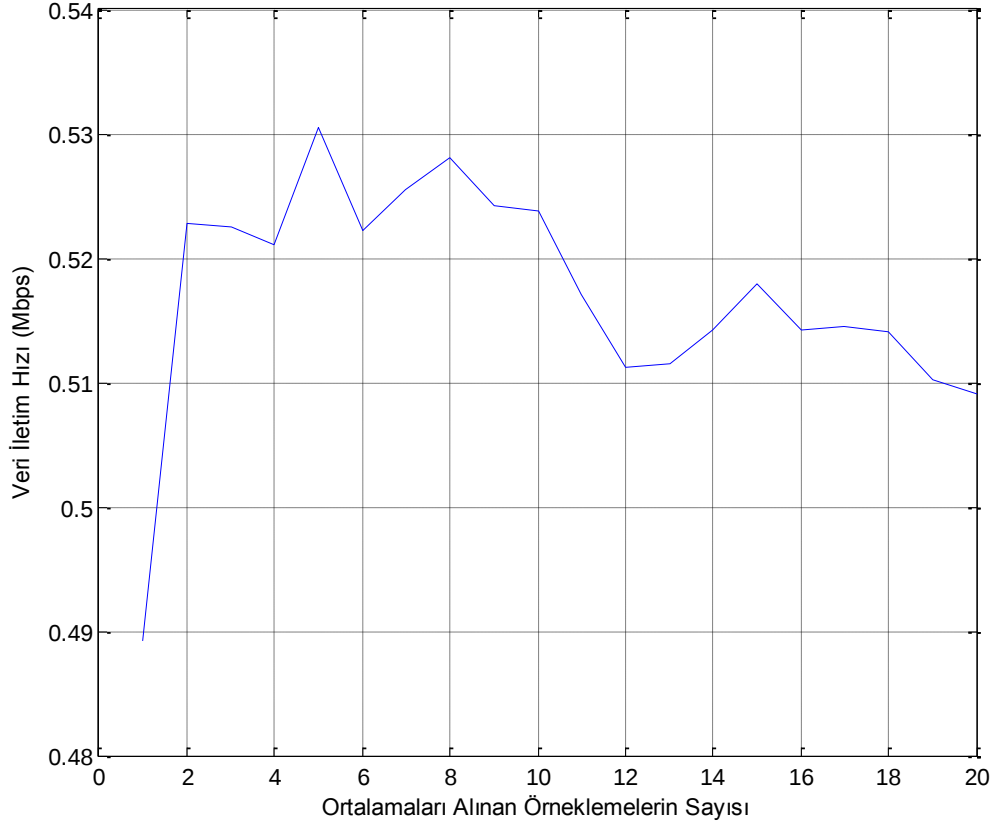
Bu tez kapsamında yapılacak her bir ölçüm, performans değerlendirmesi için örnekleme teşkil edecektir. Bu sebeple performans ölçümünde yapılan ölçümlerin yeterli olduğuna yani örnekleme sayısının yeterli olduğuna kanaat getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, yapılan ölçümler aşamalı olarak değerlendirilecektir. İlk olarak 10 ölçüm değerlendirmeye alınacaktır. Bu değerlendirmede sırasıyla ilk iki, ilk üç, ..., ilk on değer ortalama alınarak her bir ortalama grafikte gösterilecek ve bu grafikteki değerlerin herhangi bir değere yakınsayıp yakınsamadığı incelenecektir. Herhangi bir değere yakınsayıp yakınsamaması ise örnekleme sayısının yeterliliği hakkında bilgi vermesi açısından önem teşkil etmektedir.



Şekil 3.5 Her adımda ortalaması alınan 10 örneklemin grafiği

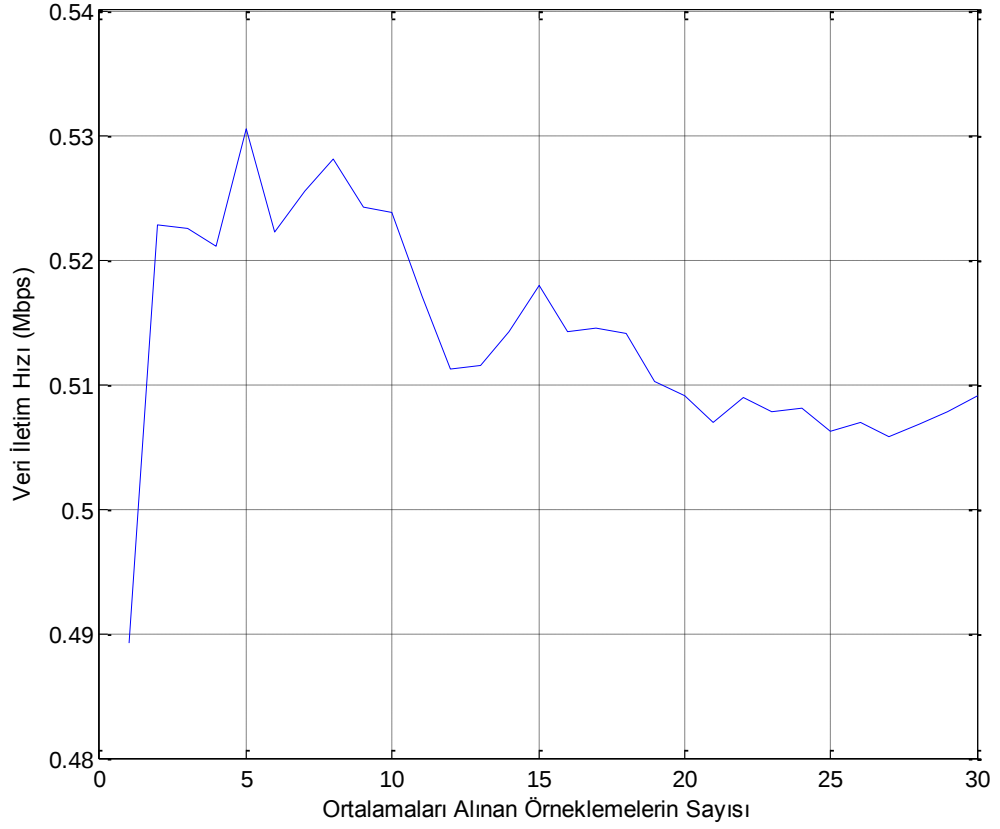
Şekil 3.5’da aşama aşama ortalaması alınan örnekleme değerlerinin grafiği verilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere ortalamalar herhangi bir değere yakınsamamaktadır. Yani kümülatif olarak ortalaması alınan ölçümlerin dağınık bir karakterde olduğunu

görmekteyiz. Dolayısıyla 10 adet örnekleme sayısının yetersiz olduğu, bu sebeple örnekleme sayısını 20'ye çıkararak yeni bir analiz yapmanın daha doğru olacağı değerlendirilmektedir (Şekil 3.6).



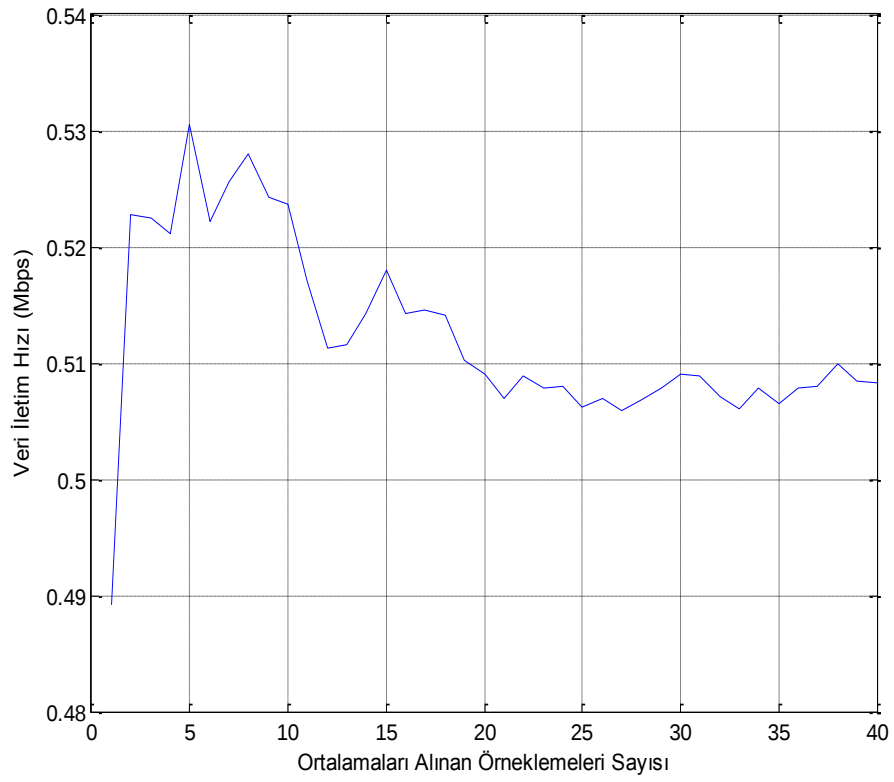
Şekil 3.6 Her adımda ortalaması alınan 20 örneklemin grafiği

Şekil 3.6'de 20 örneklemin de adım adım alınan grafiğine bakılınca örnekleme sayısının yeterli olmadığı görülmektedir. Grafiğin dalgalı bir karakterde olması yani herhangi bir değere yakınsamaması örnekleme sayısının artırılması gerektiğini göstermektedir.



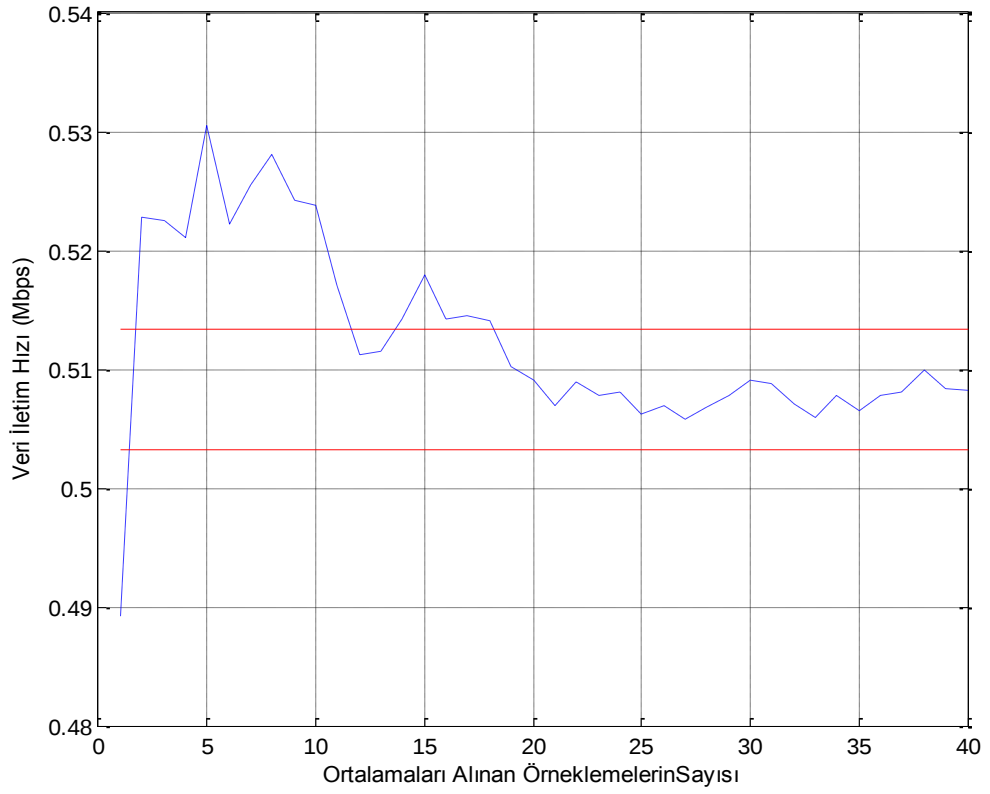
Şekil 3.7 Her adımda ortalaması alınan 30 örnekleme grafiği

Bu sefer örnekleme sayısı 30'a yükseltilerek, bu sayının yeterli olup olmadığı değerlendirilecektir (Şekil 3.7). Şekil 3.7'ye bakıldığında 15. örneklemeden sonra ortalama değerlerin 0.5 Mbps ile 0.52 Mbps arasında seyrettiği gözlemlenmektedir. Bu 20 Kbps'lık bir fark demektir (%4) ve örnekleme sayısı açısından tatmin edici seviyelere geldiğini göstermektedir. Fakat daha net sonuçlar alınması ve bu sonuçların kararlılığı hakkında bir referans noktası daha oluşturma adına ölçüm sayısı kırka yükseltilecektir (Şekil 3.8). Şekil 3.8, kümülatif olarak ortalaması alınan kırk adet örnekleme grafiği verilmiştir. Özellikle yitminci örneklemeden sonra ortalamalar belirli bir değer aralığında değişmektedir ve bu değişim aslen örnekleme sayısının yeterli olduğunu ispat eder niteliktedir. Çünkü 20. örneklemeden sonraki örnekleme değerleri toplam ortalamayı çok fazla değiştirmemektedir.



Şekil 3.8 Her adımda ortalaması alınan 40 örnekleme grafiği

Şekil 3.8’te yapılan hesaplamaların etkinliğinin analizi için kırk adet ölçümün ortalamasının ± 1 aralığındaki yeri ve yine kümülatif olarak kırk adet ölçümün ortalamaları verilmiştir. Böylelikle özellikle yirminci ölçümden sonra ortalamaların, kırk adet ölçümün ortalamasının ± 1 ’lik aralığında kaldığı net bir şekilde görülmüştür.



Şekil 3.9 Her adımda ortalaması alınan 40 örnekleme ve kırk adet ortalamanın $\%(\pm 1)$ aralığı grafiği

Bu durum da aslen kırktan fazla alınacak örnekleme toplam sonuca $\%1$ 'den fazla etki etmeyeceğini netleştirmiştir. Bu sebeple tez kapsamında yapılacak ölçümlerde ve performans değerlendirmelerinde kırk adet örnekleme alınacaktır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tezin bu bölümünde, detaylarının “Materyal ve Yöntem” başlığı altında anlatıldığı yöntem uygulanacak ve sonuçları irdelenecektir. Yöntemin sonucuyla ilgili olarak temel beklenti veri iletim hızında iyileşmeler olmasıdır. Bu analizlerin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi adına sistemin tek bir 3G modemle veri iletimi yaptığı zaman performansının nasıl olduğunu da görmek gerekmektedir. Sonrasında ise, yöntemin uygulanmasıyla birlikte daha (birden fazla 3G modemin veri iletiminde kullanılması) doğru analizler yapılacaktır. Bu amaçla tez kapsamında analizleri yapılacak konfigürasyonlar aşağıda belirtilmiştir:

- Bir adet 3G modemle veri iletim performansı
- İki adet 3G modemle veri iletim performansı
- Üç adet 3G modemle veri iletim performansı

Yapılacak denemelerde, eşlenik 3G modemler kullanılmıştır. Dolayısıyla 3G modemlerin veri iletimlerindeki etkileri ihmal edilmiştir.

4.1 Bir Adet 3G Modemle Veri İletim Performansı

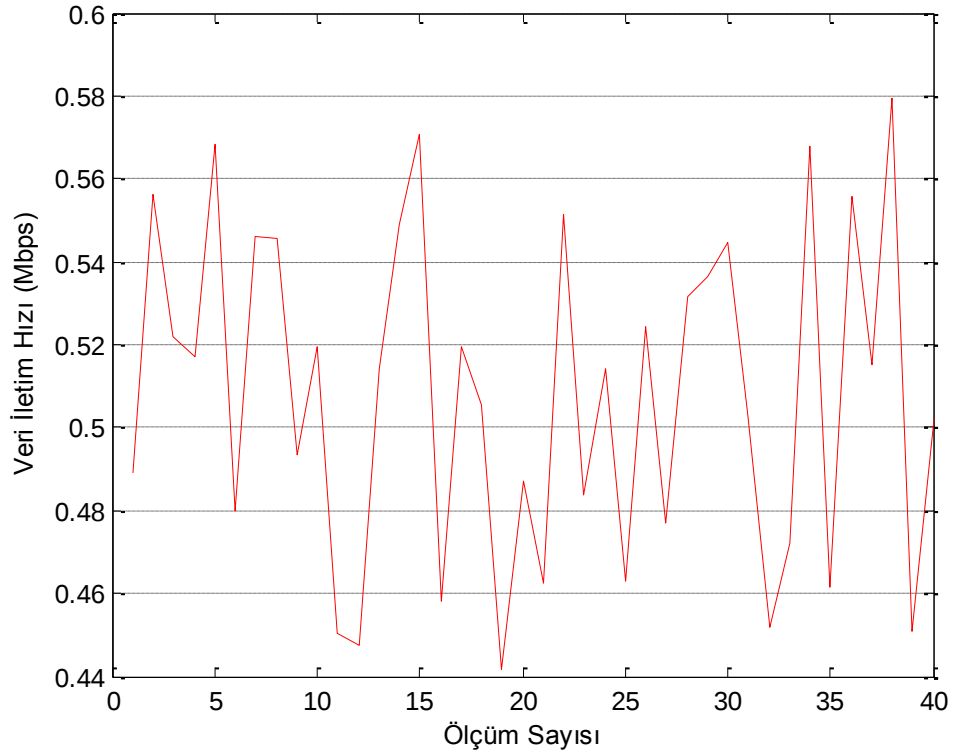
4.1.1 Operatör X’in veri iletim performansı

Bu kısımda GSM operatörü X’e ait tek bir 3G modemle veri iletimi yapılacak ve sonuçları analiz edilecektir. 3G ile yapılacak veri iletimlerinde dikkat edilecek ve sonuçları direkt etkileyecek birkaç hususu göz önünde bulundurmak gerekmektedir:

- Veri iletiminin birden fazla yapılması, alınacak sonuçların daha güvenli olmasını sağlayacaktır. Tek bir zaman diliminde yapılan veri iletimi, o anda 3G baz istasyonunun yoğunluğuyla direkt etkili olduğundan almak istediğimiz ortalama değeri vermeyecektir. Bu sebeple veri iletimleri kırkar kez tekrar edilmiştir.

- İletimi yapılacak verinin boyutu da büyük önem arz etmektedir. Veri iletimi yapılmaya başlandığında sistemin kendine gelmesi için birkaç saniye süre gerekmektedir. Hesaplamalarda bu süre de toplam veri iletim süresinin içerisine konulduğundan bu süreyi ihmal etmemizi sağlayacak sürede gönderilecek veri boyutu gerekmektedir. Eğer yeteri kadar büyüklükte veri kullanılmazsa baştaki gecikme bizi yanıltacak ve yine ulaşmak istediğimiz ortalama değeri vermeyecektir. Bu sebeple denemelerde 10 MB’lık veriler iletilmiştir.

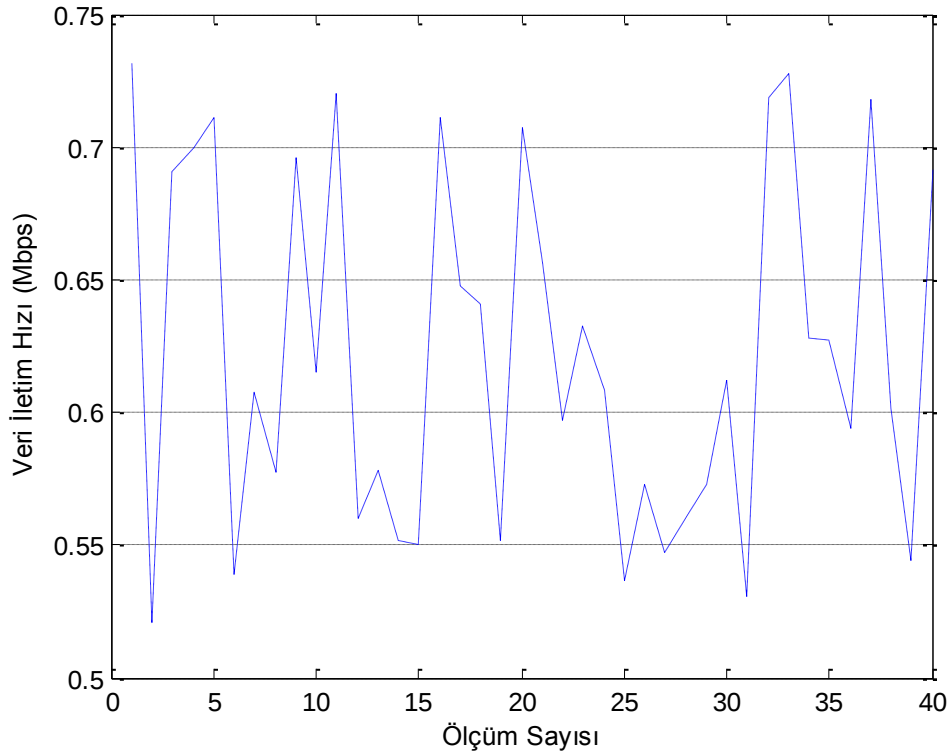
Veri iletimi yapılırken, bu verilerin tutulması için Iperf adlı bir yazılım aracı kullanılmaktadır (Anonymous 2013). Yukarıda belirtilen hususlara dikkat edilerek yapılan ilk test sonucu şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1’de hafta içi akşam saatlerinde yapılan kırk ayrı ölçüme ait “ortalama veri iletim hızı”nın grafiği görülmektedir.



Şekil 4.1 Tek Bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör X ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

Tezin bundan sonraki kısımlarında da sıkça yer alacak grafikleri okurken birkaç noktaya dikkat etmek gerekmektedir. Alınan her bir ölçüm sonucu aslında 10 MB'lık verinin iletildiği ortalama hızı göstermektedir. Yani 10 MB'lık veri sabit bir hızla değil değişkenlik gösteren bir hızda iletilmektedir. Bu da, aslında her bir ölçüm sonucunun ortalama iletim hızını temsil ettiğini göstermektedir.

Tekrar ölçüm sonuçlarına dönülecek olursa, şekil 4.1'de kırk ayrı ölçümün performans değerleri görülmektedir. Bu ölçümler sırasında performansın en üst seviyede olduğu ölçüm esnasında ortalama veri iletim hızının 0.58 Mbps olduğu, en düşük ortalama veri iletim hızının ise 0.44 Mbps olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan kırk ölçümün ortalama hızı ise 0.51 Mbps'dir.

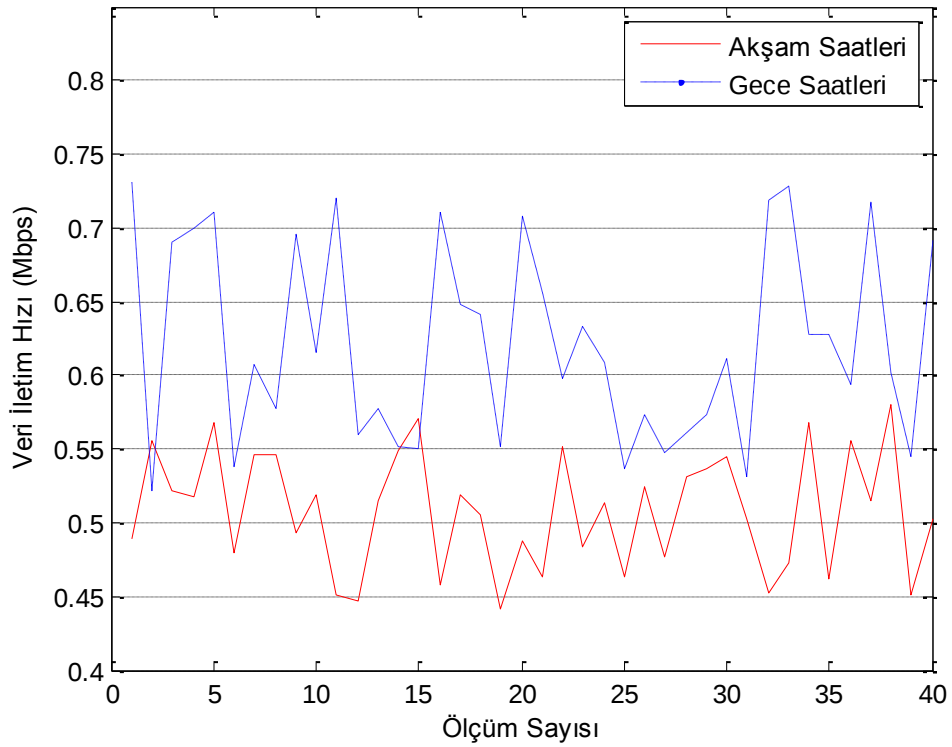


Şekil 4.2 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör X ile Hafta İçi Geç Saatlerde)

Benzer şekilde yine hafta içi fakat bu defa gece saatlerinde yapılan ölçüm sonuçları şekil 4.2'de bulabilirsiniz. Aynı ölçümün gece geç saatlerde tekrarlanmasının sebebi

3G'deki veri iletim hızlarının günlük saat değişimlerinde dahi ne kadar farklılık gösterdiğini görmektir. Bu ölçümler diğer konfigürasyonlar için de ikişer kez tekrarlanacaktır. Ölçümler benzer saatlerdeki sonuçlarıyla karşılaştırılarak analiz edilecektir.

Gece geç saatlerde hat yoğunluğunun azalmasıyla birlikte veri iletim hızının arttığı gözlemlenmektedir. Bu ölçümlerde ortalama veri iletim hızının minimum olduğu değer 0.52 Mbps, maksimum olduğu değer ise 0.74 Mbps'dir. Ortalama veri iletim hızlarının ortalaması ise 0.62 Mbps'dir. Bu değer minimum ve maksimum değerlerde olduğu gibi hafta içi akşam saatlerinde yapılan ölçümlerde alınan değerlere göre daha düşük olduğunu görmekteyiz. Şekil 4.3'te, iki ayrı zaman diliminde yapılan kırkar ölçüm aynı grafikte verilerek karşılaştırılmıştır.



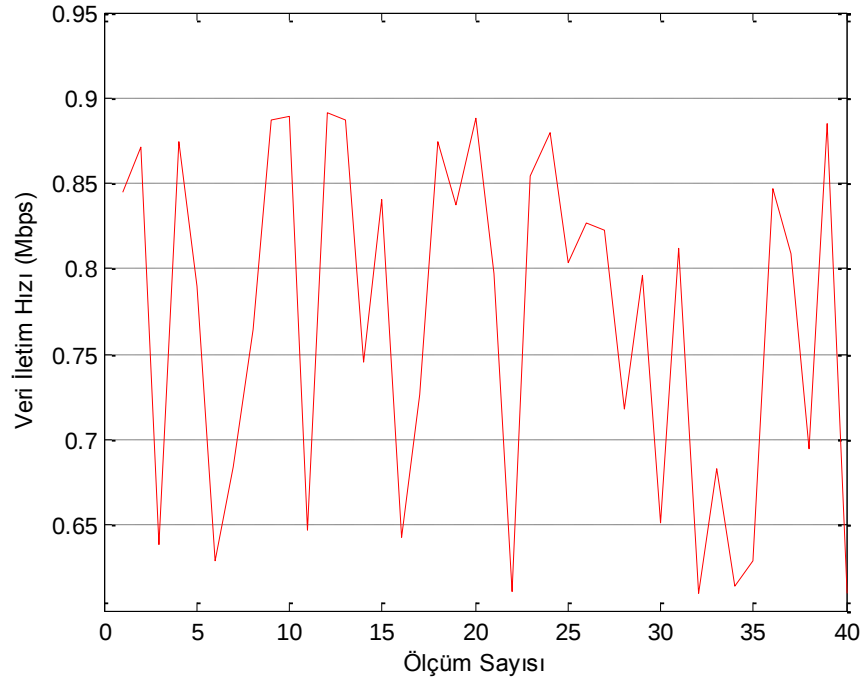
Şekil 4.3 Farklı zamanlardaki tek Bir 3G modem ile veri iletim performanslarının karşılaştırılması (operatör x)

Sonuçlara bakıldığı zaman, beklendiği gibi, 3G hatlarının yoğun olduğu zaman dilimindeki (hafta içi akşam saatlerinde) ortalama veri iletim hızı, hatların nispeten daha rahatladığı zaman dilimindeki ortalama veri iletim hızına nazaran daha yavaştır. Bununla birlikte grafikte dikkat edilecek en önemli unsurlardan bir tanesi de, yoğun olmayan saatlerdeki performans ölçümlerinden bazılarının yoğun olan saatlerdekinden daha düşük çıkmasıdır. Bu durumu da kablosuz ortamın kararsız yapıda olmasıyla açıklayabiliriz. Aynı noktalardan ölçüm yapılmasına karşın, sinyal seviyesindeki anlık değişimler bu durumu tetiklemektedir. Bununla birlikte anlık olarak, ilgili baz istasyonuna yapılan istek sayısı da kararlı bir veri iletim hızı garfığının çıkmasını engellemektedir. Bu sonuçlar ışığında bir başka GSM operatörünün (Operatör Y) de benzer saatlerdeki çıktılarını alıp, ardından tez kapsamında önerilen yöntemle karşılaştırılacaktır.

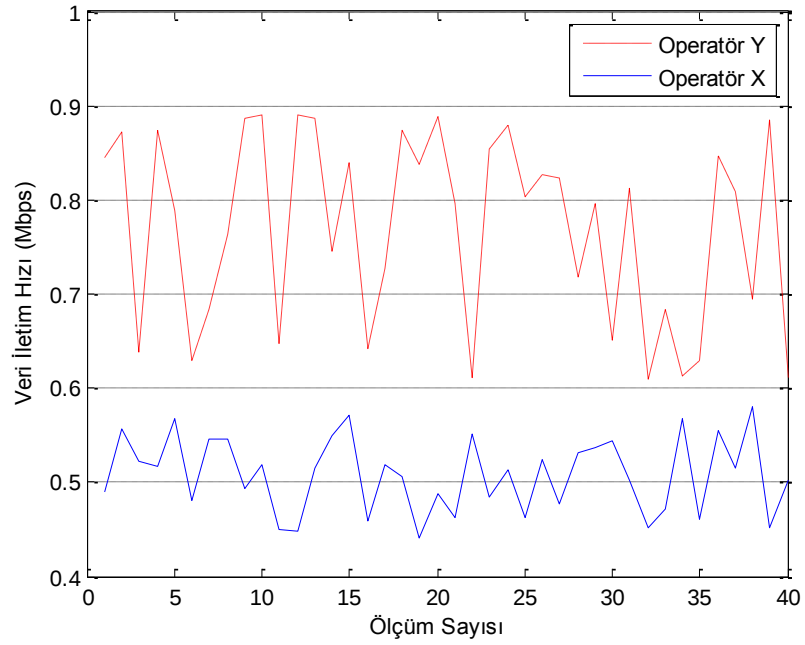
4.1.2 Operatör Y'nin veri iletim performansı

Bu kısımda yine tek bir 3G modem ortalama veri iletim hızı performansı analiz edilecektir. Başlık 4.1.1'de X operatörü için yapılan denemelerin bire bir aynısı, bu başlıkta Y operatörü için yapılacaktır. Sonuçların birbiriyle kıyaslanabilmesi adına yine benzer saatlerde iki set halinde kırk ayrı ölçüm yapılacaktır. İletimi yapılacak verilerin boyutu da yine bir önceki ölçümlerde olduğu gibi 10 MB olacaktır. İlk olarak, hafta içi akşam saatlerinde alınan ölçüm sonuçları şekil 4.4'te verilmiştir.

Hafta içi akşam saatlerinde Y operatörü ile yapılan kırk ayrı ölçümden elde edilen ortalama veri iletim hızlarının minimumu 0.61 Mbps, maksimumu ise 0.89Mbps olmuştur. Bu saatlerde yapılan ölçümlerdeki "ortalama veri iletim hızlarının ortalaması" ise 0.77 Mbps'dır. Bu sonuçlardan, benzer saatlerde operatör Y'nin, operatör X'e göre daha iyi bir veri iletim hızı performansı sergilediği söylenebilir (Şekil 4.5).

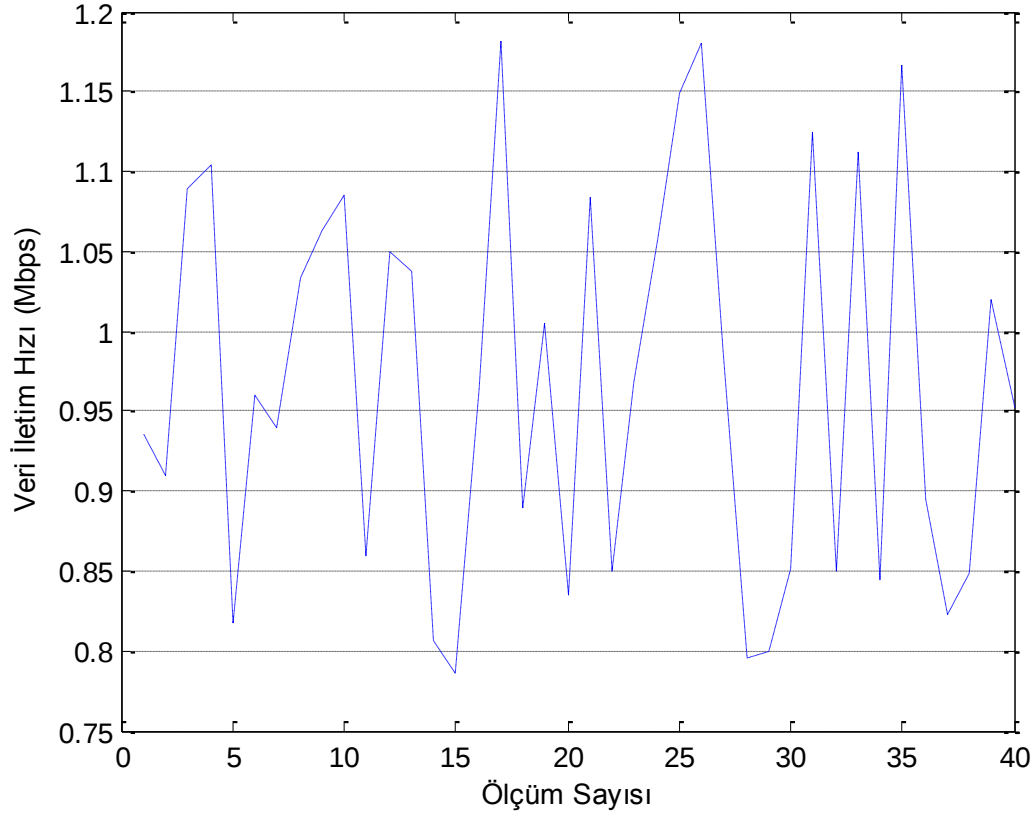


Şekil 4.4 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)



Şekil 4.5 Akşam saatlerinde operatör X ve operatör Y'nin 3G veri iletim hızı performansı

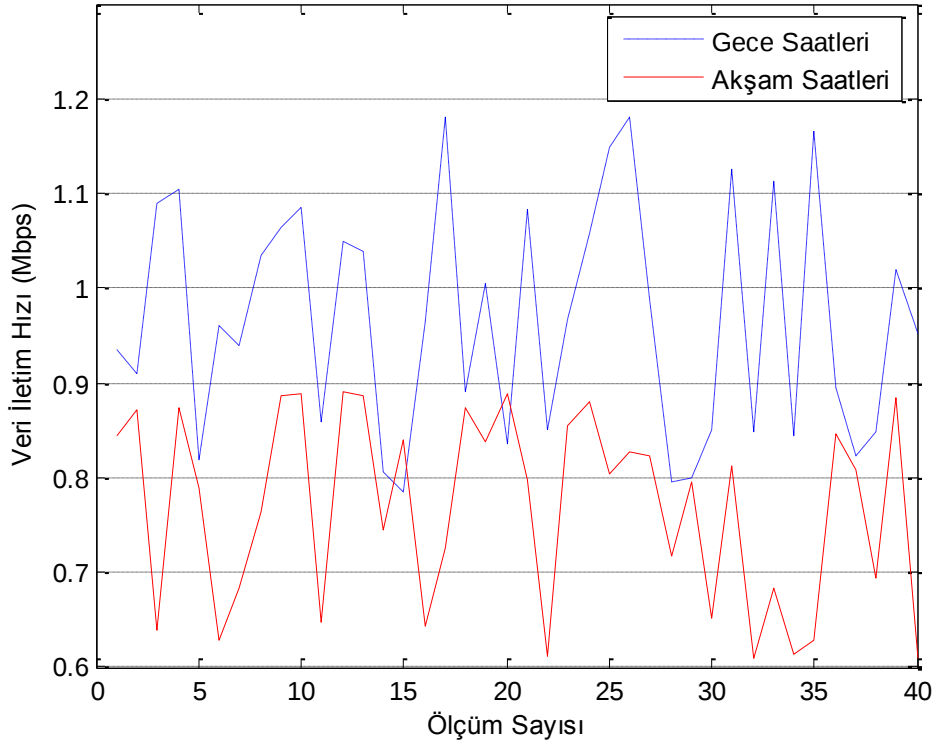
Yine benzer şekilde Y operatörünün hafta içi gece geç saatlerdeki ortalama veri iletim hızı performansı ölçülmüş ve şekil 4.6’da bu ölçüme ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.6 Tek bir 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Geç Saatlerde)

Hafta içi geç saatlerde Y operatörüyle yapılan ölçümlerde de, X operatöründe olduğu gibi akşam saatlerine göre ortalama veri iletim hızının arttığı gözlemlenmiştir. Bu ölçümlerde ortalama veri iletim hızının minimum olduğu değer 0.78 Mbps, maksimum olduğu değer 1.18 Mbps, kırk ölçümün ortalaması ise 0.96 Mbps’dır.

Şekil 4.7’de Y operatörüyle akşam saatlerinde ve geç saatlerde alınan ölçümler aynı grafik üzerinde verilmiştir.



Şekil 4.7 Farklı zamanlardaki tek bir 3G modem ile veri iletim performanslarının karşılaştırılması (Operatör Y)

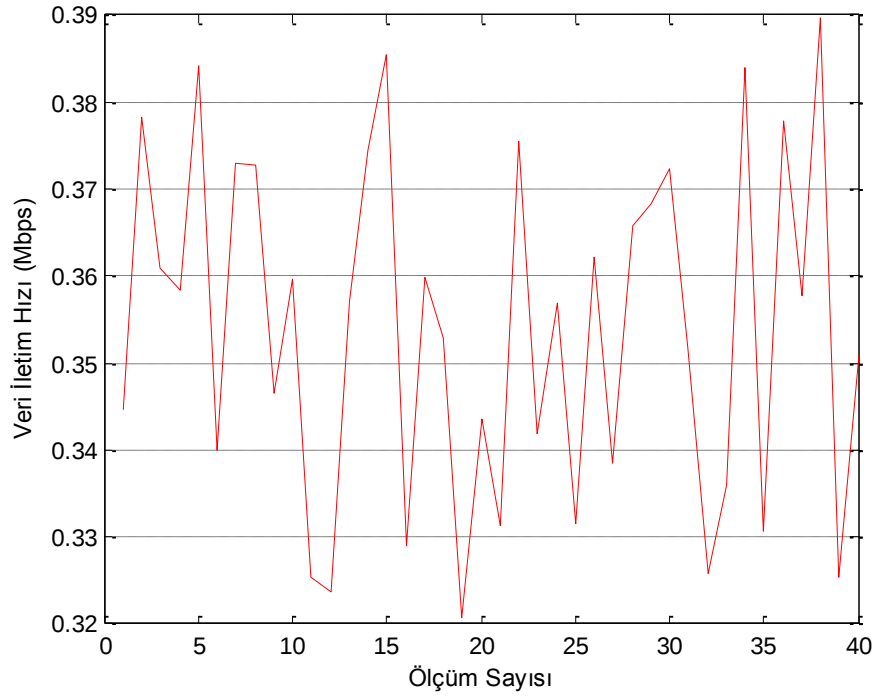
4.2 İki Adet 3G Modemle Veri İletim Performansı

Bu aşamadan sonra artık ölçümlerde tez kapsamında önerilen yöntem uygulanacaktır ve grafiklere bu ölçümlerin sonuçları yansıtılacaktır. İki adet 3G modem iki ayrı konfigürasyonla uygulanacak ve sonuçları irdelenecektir. Bu konfigürasyonlar aşağıda verilmiştir:

- İki ayrı GSM operatörünün 3G modeminin mode=0 seçeneğiyle çoklanması (Operatör X ve Operatör Y),
- İki aynı GSM operatörünün 3G modeminin mode=0 seçeneğiyle çoklanması (Operatör Y)
- İki ayrı GSM operatörünün 3G modeminin mode=1 seçeneğiyle çoklanması (Operatör X ve Operatör Y),

4.2.1 Operatör X ve operatör Y'nin 3G modemlerinin çoklanması

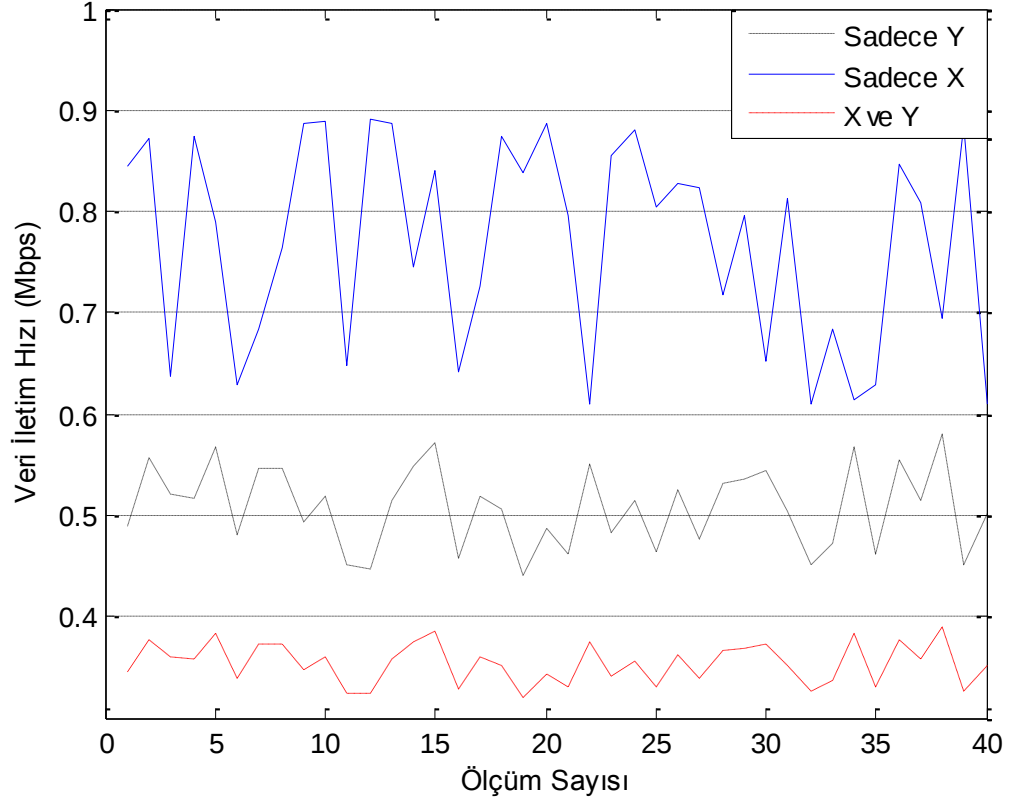
Bu bölümde, detaylarının 3.2 başlığı altında anlatıldığı Linux Bonding yönteminin uygulama sonuçları irdelenecektir. İlk olarak iki ayrı GSM operatörünün çoklanması sonucu etkileri grafiklerle birlikte verilecektir. Ölçümler yapılırken yine iki ayrı zaman diliminde veriler toplanacaktır. Karşılaştırma da yapılabilmesi adına tek modemle veri iletiminin yapıldığı zaman aralıkları seçilecektir. Bu amaçla hafta içi akşam saatleri ve yine hafta içi geç saatlerde kırkar kez ölçümler yapılmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ve Operatör X ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

Şekil 4.8’de hafta içi akşam saatlerinde iki adet farklı GSM operatörünün çoklanmasıyla alınan ortalama veri iletim hızının grafiği verilmiştir. Bu ölçümlerin minimumu 0.32 Mbps, maksimumu ise 0.39 Mbps’dir. Ortalama veri iletim hızlarının ortalaması ise 0.35 Mbps’dir. Bu değerlerin tek modemle alınan değerlere göre daha aşağıda olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum literatürde “bonding offset time” ve “switching time” parametreleri ile tanımlanmakta ve iki ya da daha fazla farklı GSM operatörünün

çoklandığı durumlarda karşılaştıldığı değerlendirilmektedir (Cherredı vd. 2006). Aslında bu durumla aynı GSM operatörleri çoklandığında da karşılaşılmakta ve aynı GSM operatörü çoklandığında bu sürelerin ortalama veri iletim hızını nasıl etkilediği bölüm 4.2.2 başlığında değerlendirilecektir.



Şekil 4.9 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

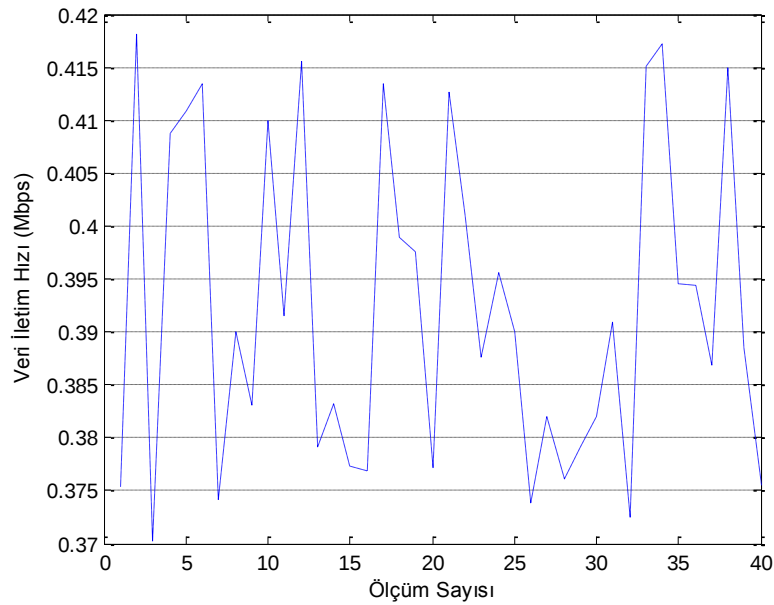
Şekil 4.9’da 3 farklı durumun grafiksel olarak, çizelge 4.1’de ise minimum, maksimum ve ortalama değerleri çerçevesinde karşılaştırılması verilmiştir:

- Sadece X Operatörü
- Sadece Y Operatörü
- X ve Y Operatörü’nün çoklanmış hali

Çizelge 4.1 Çoklanmamış ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Akşam Saatleri)

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Çoklanmamış	X	0.44 Mbps	0.58 Mbps	0.51 Mbps
	Y	0.61 Mbps	0.89 Mbps	0.77 Mbps
Çoklanmış	X+Y	0.32 Mbps	0.39 Mbps	0.35 Mbps

Benzer ölçümler, hafta içi gece saatlerinde tekrarlanarak farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin ortalama veri iletim hızı grafiği şekil 4.10’da verilmiştir.



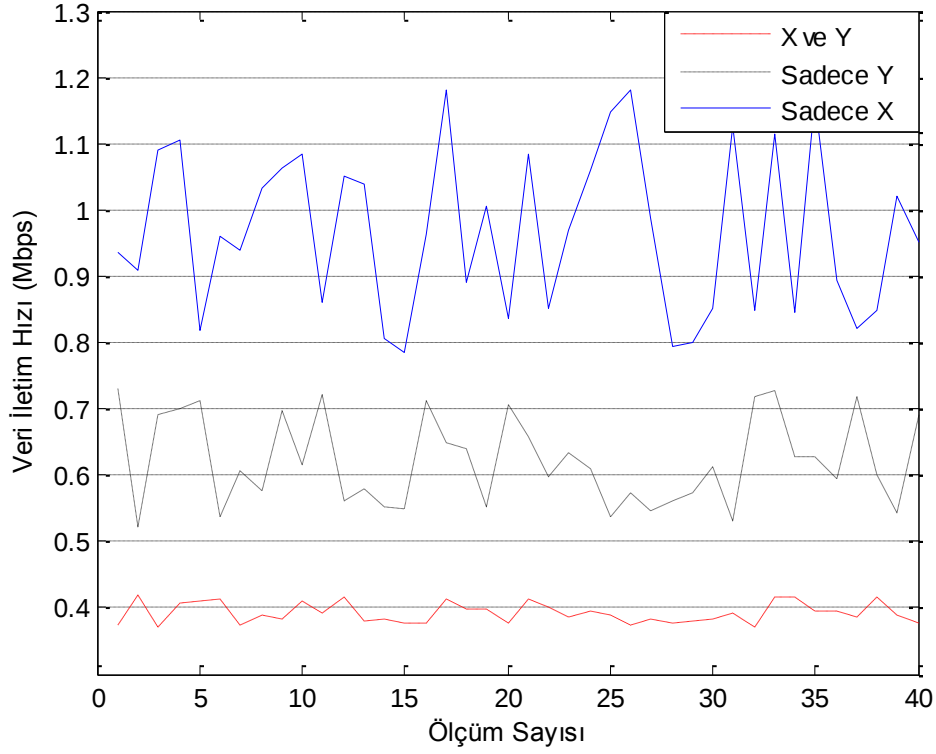
Şekil 4.10 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

Alınan bu ölçümlerde ortalama veri iletim hızının minimum olduğu değer 0.37 Mbps, maksimum olduğu değer 0.42 Mbps’dir. Kırk ayrı ölçümdeki ortalama veri iletim hızlarının ortalaması ise 0.39 Mbps’dir.

Şekil 4.11’de 3 farklı durumun grafiksel olarak, çizelge 4.2’de ise minimum, maksimum ve ortalama değerleri çerçevesinde karşılaştırılması verilmiştir:

- Sadece X Operatörü

- Sadece Y Operatörü
- X ve Y Operatörü'nün çoklanmış hali



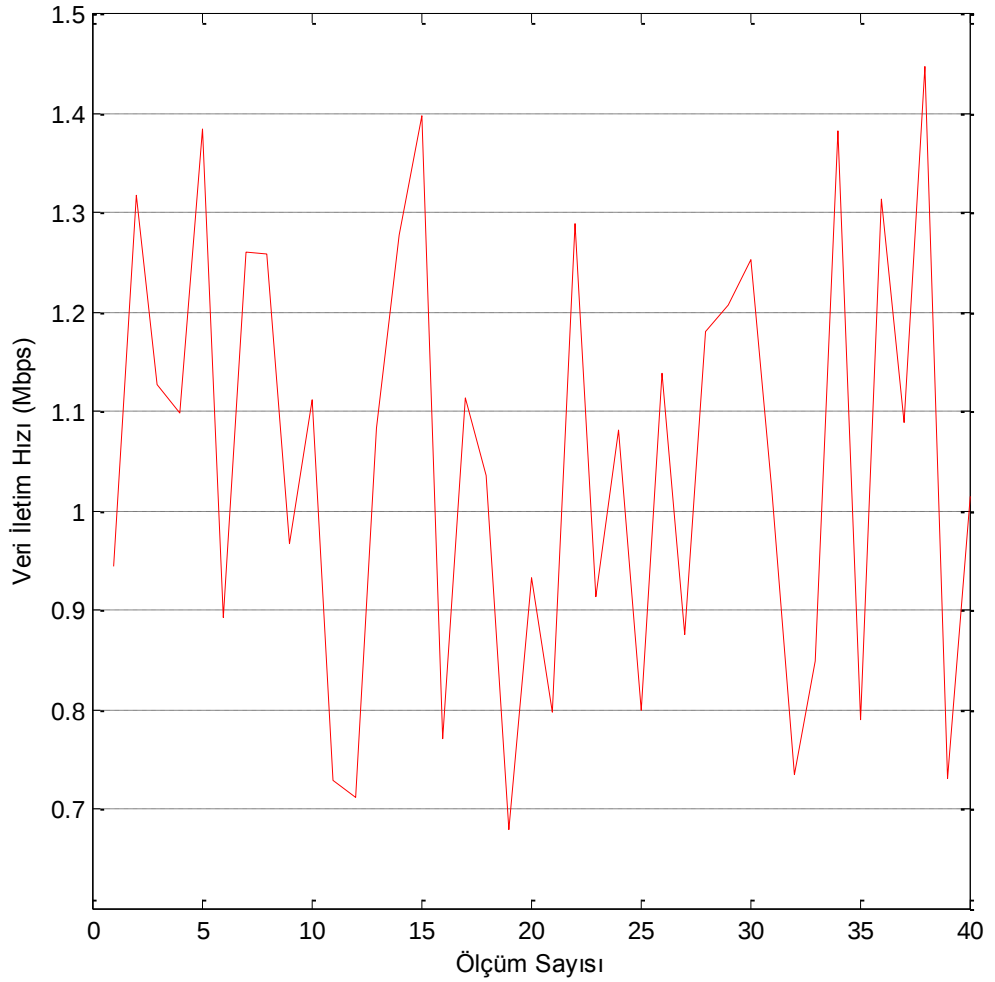
Şekil 4.11 Tekli ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Gece Saatlerinde)

Çizelge 4.2 Çoklanmamış ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Gece Saatleri)

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Çoklanmamış	X	0.52 Mbps	0.74 Mbps	0.62 Mbps
	Y	0.78 Mbps	1.18 Mbps	0.96 Mbps
Çoklanmış	X+Y	0.37 Mbps	0.42 Mbps	0.39 Mbps

4.2.2 Operatör Y'ye ait iki adet 3G modeminin çoklanması

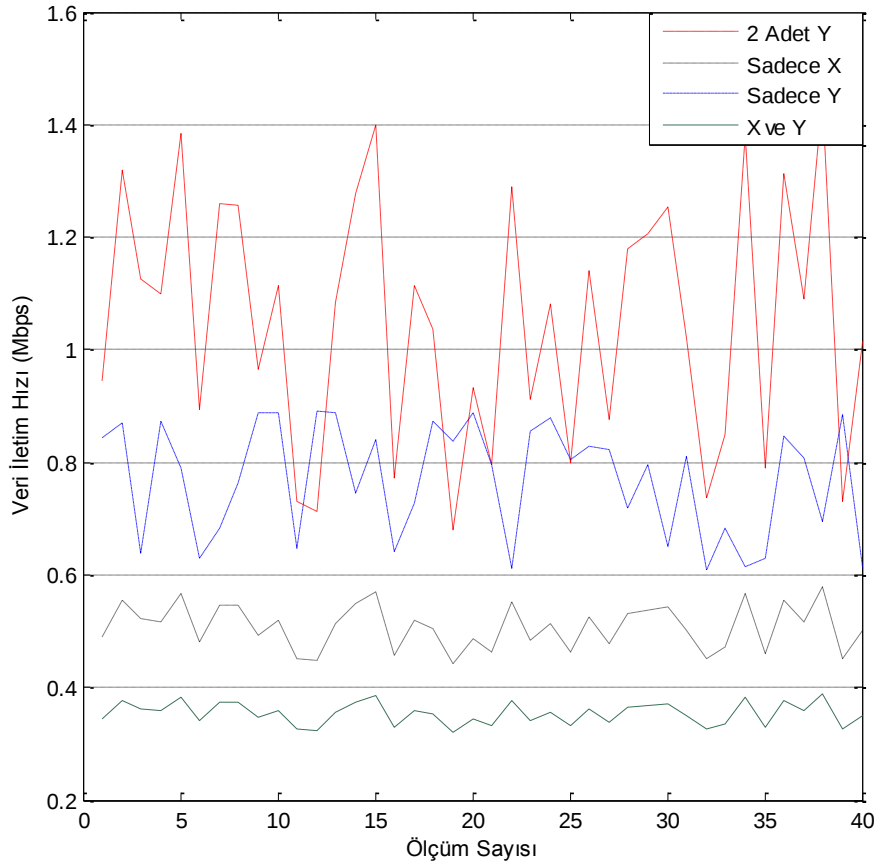
4.2.1 başlığında farklı GSM operatörlerinin 3G modemleri çoklanmış fakat istenilen sonuçlar elde edilmemiştir. Bu aşamadan sonra aynı GSM operatörüne ait 3G modemler çoklanarak sonuçları incelenecektir. Diğer tüm ölçümlerde olduğu gibi akşam ve gece saatleri olmak üzere iki ayrı zaman diliminde kırkar kez ölçümler yapılacak ve ortalama veri iletim hızı karakteristiği grafiksel olarak sunulacaktır. Bu amaçla ilk olarak akşam saatlerinde yapılan ölçüm sonuçları Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

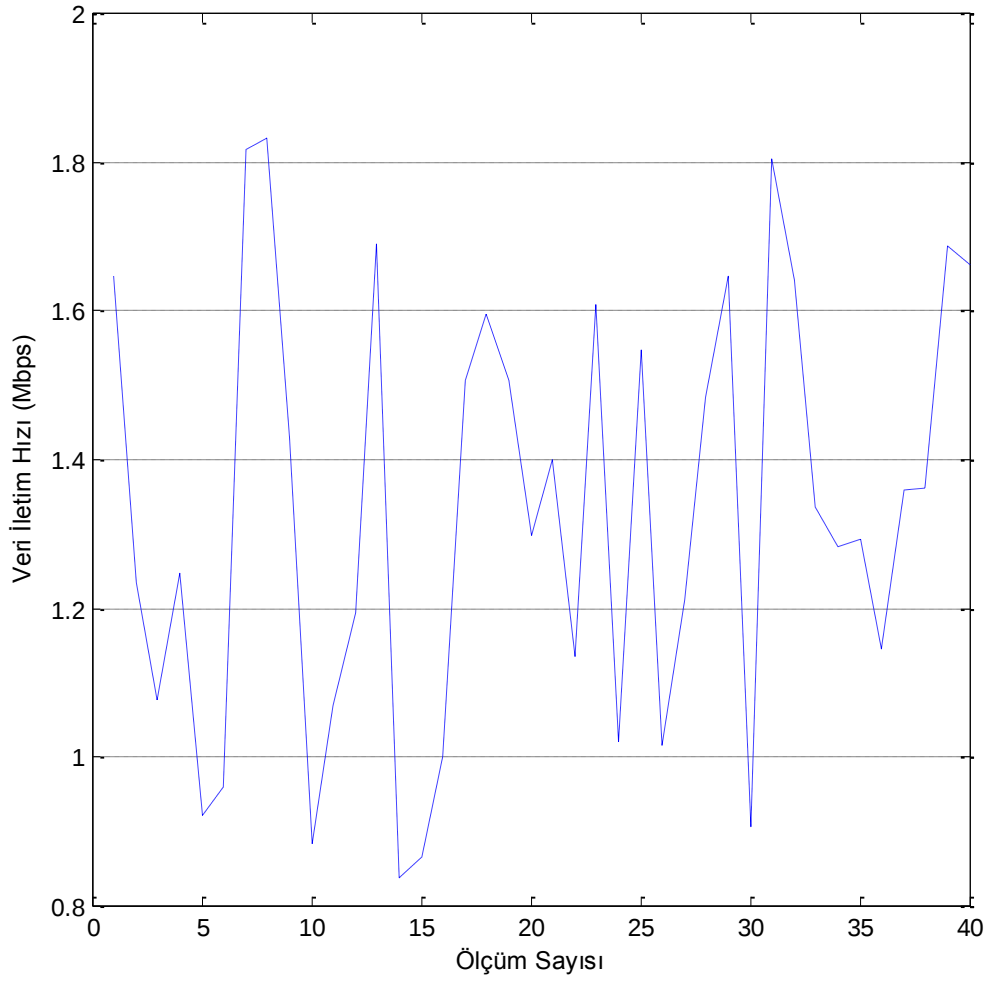
Bu sonuçlara göre iki adet aynı operatöre ait 3G modem çoklandığında kırk ayrı ölçümde ortalama veri iletim hızının en düşük olduğu değer 0.68 Mbps, en yüksek olduğu değer 1.44 Mbps, ortalama değer ise 1.05 Mbps olduğu gözlemlenmiştir.

Bu değerlerin tekli modemlerle alınan sonuçlara göre daha yüksek olduğu ve tez kapsamında önerilen Linux Bonding yönteminin amacına ulaştığını belirtebiliriz. Sonuçları daha detaylı karşılaştırabilmek için benzer saatlerde alınan 4 ayrı durum şekil 4.13'teki grafikte ve Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu durumda, iki ayrı GSM operatörü çoklandığında sistem performansını olumsuz yönde etkileyen “bonding offset time” ve “switching time” parametrelerinin iki adet aynı operatöre ait 3G modem çoklandığında sistem performansını olumsuz etkilemediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 Tekli, farklı ve aynı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Akşam Saatlerinde)

Tek modemle yapılan ölçümlerde alınan değerlerden daha yüksek çıkması sistemin başarılı bir performans gösterdiğini bizlere kanıtlamış olacaktır. Bir başka deyişle hafta içi akşam saatlerinde, bir tek Y operatörüyle sistemin kırk ayrı ölçümdeki ortalama veri iletim hızı ortalaması 0.77 Mbps iken iki adet Y operatörüyle sistem çoklandığında bu değer 1.05 Mbps olmuştur. Yani sistem, tez kapsamında önerilen yöntemle veri iletim hızı performansını %36 arttırmıştır.



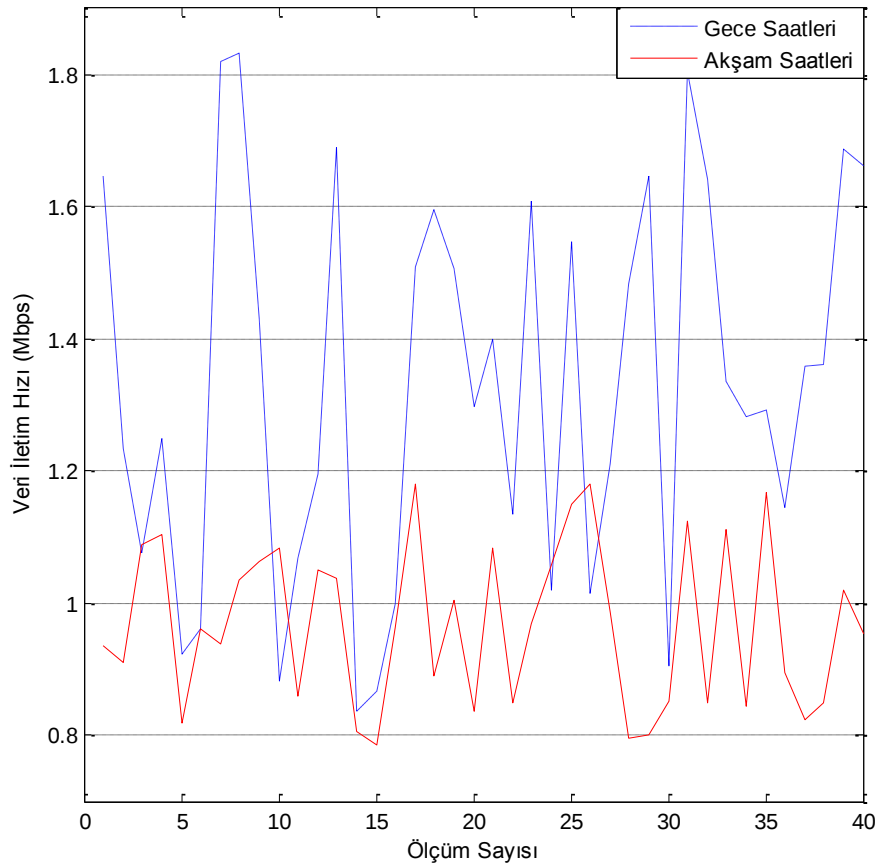
Şekil 4.14 İki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Gece Saatlerinde)

Diğer denemelerde olduğu gibi, bu kez de iki adet Y operatörüne ait 3G modemin çoklanmış halinin veri iletim hızı performansı hafta içi gece saatlerinde denenmiştir ve performans grafiği şekil 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 Çoklanmamış, aynı ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Akşam Saatleri)

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Çoklanmamış	X	0.44 Mbps	0.58 Mbps	0.51 Mbps
	Y	0.61 Mbps	0.89 Mbps	0.77 Mbps
Çoklanmış	X+Y	0.32 Mbps	0.39 Mbps	0.35 Mbps
	Y+Y	0.68 Mbps	1.44 Mbps	1.05 Mbps

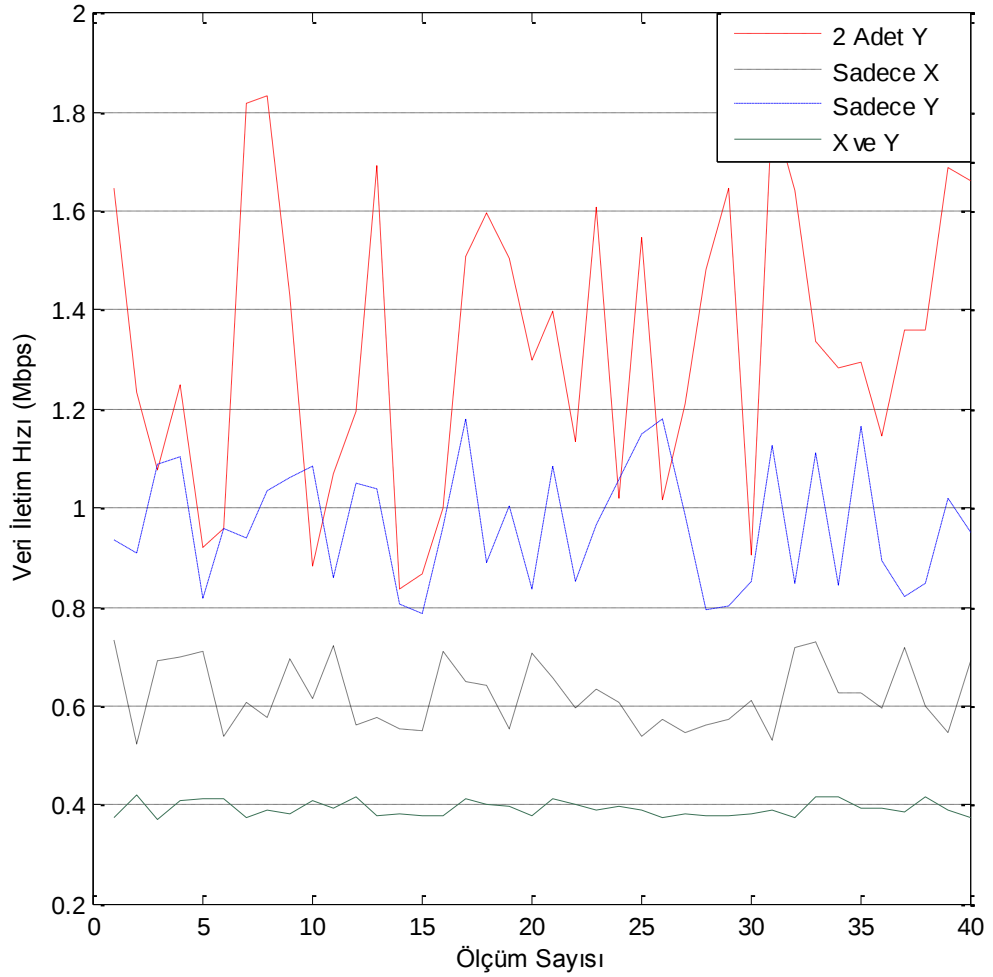
Bu sonuçlara göre iki adet aynı operatöre ait 3G modem çoklandığında kırk ayrı ölçümde hafta içi gece saatlerinde ortalama veri iletim hızının en düşük olduğu değer 0.84 Mbps, en yüksek olduğu değer 1.83 Mbps, ortalama değer ise 1.33 Mbps olduğu gözlenlenmiştir.



Şekil 4.15 Farklı zamanlarda iki adet 3G modem ile veri iletim performansı (Operatör Y ile Hafta İçi Akşam ve Gece Saatlerinde)

Hafta içi gece saatlerinde, bir tek Y operatörüyle sistemin kırk ayrı ölçümdeki ortalama veri iletim hızı ortalaması 0.96 Mbps iken iki adet Y operatörüyle sistem çoklandığında bu değer 1.33 Mbps olmuştur. Yani sistem, tez kapsamında önerilen yöntemle veri iletim hızı performansını %39 arttırmıştır (Çizelge 4.4).

Şekil 4.16'da ise hafta içi gece saatlerinde elde edilen 4 ayrı durumun performans grafiği verilmiştir. Bu verilerden de, Linux Bonding yönteminin aynı GSM operatörüyle çoklandığında başarılı bir şekilde ortalama veri iletim hızında iyileştirme yapabildiği açıkça görülmektedir.



Şekil 4.16 Tekli, farklı ve aynı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin 3G veri iletim hızı karşılaştırılması (Hafta İçi Gece Saatlerinde)

Çizelge 4.4 Çoklanmamış, aynı ve farklı GSM operatörleriyle çoklanmış sistemin veri iletim hızı değerleri (Hafta İçi Gece Saatleri)

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Çoklanmamış	X	0.52 Mbps	0.74 Mbps	0.62 Mbps
	Y	0.78 Mbps	1.18 Mbps	0.96 Mbps
Çoklanmış	X+Y	0.37 Mbps	0.42 Mbps	0.39 Mbps
	Y+Y	0.84 Mbps	1.83 Mbps	1.33 Mbps

Tüm ölçümlerden alınan ortalama veri iletim hızına ait veriler iki ayrı tablo halinde çizelge 4.5 - 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 Operatör X ve operatör Y'den akşam ve gece saatlerinde alınan ölçümler

	Ortalama Veri İletim Hızı (Mbps)			
	Operatör X		Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
1	0,49	0,73	0,84	0,94
2	0,56	0,52	0,87	0,91
3	0,52	0,69	0,64	1,09
4	0,52	0,70	0,87	1,10
5	0,57	0,71	0,79	0,82
6	0,48	0,54	0,63	0,96
7	0,55	0,61	0,68	0,94

Çizelge 4.5 Operatör X ve operatör Y’den akşam ve gece saatlerinde alınan ölçümler (devam)

	Ortalama Veri İletim Hızı (Mbps)			
	Operatör X		Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
8	0,55	0,58	0,76	1,03
9	0,49	0,70	0,89	1,06
10	0,52	0,61	0,89	1,08
11	0,45	0,72	0,65	0,86
12	0,45	0,56	0,89	1,05
13	0,51	0,58	0,89	1,04
14	0,55	0,55	0,75	0,81
15	0,57	0,55	0,84	0,79
16	0,46	0,71	0,64	0,96
17	0,52	0,65	0,73	1,18
18	0,51	0,64	0,87	0,89
19	0,44	0,55	0,84	1,01
20	0,49	0,71	0,89	0,84
21	0,46	0,66	0,80	1,08
22	0,55	0,60	0,61	0,85
23	0,48	0,63	0,85	0,97
24	0,51	0,61	0,88	1,06

Çizelge 4.5 Operatör X ve operatör Y’den akşam ve gece saatlerinde alınan ölçümler (devam)

	Ortalama Veri İletim Hızı (Mbps)			
	Operatör X		Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
25	0,46	0,54	0,80	1,15
26	0,52	0,57	0,83	1,18
27	0,48	0,55	0,82	0,99
28	0,53	0,56	0,72	0,80
29	0,54	0,57	0,80	0,80
30	0,54	0,61	0,65	0,85
31	0,50	0,53	0,81	1,13
32	0,45	0,72	0,61	0,85
33	0,47	0,73	0,68	1,11
34	0,57	0,63	0,61	0,84
35	0,46	0,63	0,63	1,17
36	0,56	0,59	0,85	0,89
37	0,52	0,72	0,81	0,82
38	0,58	0,60	0,70	0,85
39	0,45	0,54	0,89	1,02
40	0,50	0,69	0,61	0,95

Çizelge 4.6 Akşam ve gece saatlerinde operatör X ve Y'nin ve iki adet operatör Y'nin çoklanmasıyla elde edilen sistemden alınan ölçümler

	Ortalama Veri İletim Hızları (Mbps)			
	Operatör X + Operatör Y		Operatör Y + Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
1	0,34	0,38	0,94	1,65
2	0,38	0,42	1,32	1,23
3	0,36	0,37	1,13	1,08
4	0,36	0,41	1,10	1,25
5	0,38	0,41	1,39	0,92
6	0,34	0,41	0,89	0,96
7	0,37	0,37	1,26	1,82
8	0,37	0,39	1,26	1,83
9	0,35	0,38	0,97	1,43
10	0,36	0,41	1,11	0,88
11	0,33	0,39	0,73	1,07
12	0,32	0,42	0,71	1,19
13	0,36	0,38	1,08	1,69
14	0,37	0,38	1,28	0,84
15	0,39	0,38	1,40	0,87
16	0,33	0,38	0,77	1,00

Çizelge 4.6 Akşam ve gece saatlerinde operatör X ve Y'nin ve iki adet operatör Y'nin çoklanmasyla elde edilen sistemden alınan ölçümler (devam)

	Ortalama Veri İletim Hızları (Mbps)			
	Operatör X + Operatör Y		Operatör Y + Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
17	0,36	0,41	1,11	1,51
18	0,35	0,40	1,04	1,60
19	0,32	0,40	0,68	1,51
20	0,34	0,38	0,93	1,30
21	0,33	0,41	0,80	1,40
22	0,38	0,40	1,29	1,13
23	0,34	0,39	0,91	1,61
24	0,36	0,40	1,08	1,02
25	0,33	0,39	0,80	1,55
26	0,36	0,37	1,14	1,01
27	0,34	0,38	0,88	1,21
28	0,37	0,38	1,18	1,48
29	0,37	0,38	1,21	1,65
30	0,37	0,38	1,25	0,91
31	0,35	0,39	1,02	1,81
32	0,33	0,37	0,74	1,64
33	0,34	0,42	0,85	1,34

Çizelge 4.6 Akşam ve gece saatlerinde operatör X ve Y'nin ve iki adet operatör Y'nin çoklanmasıyla elde edilen sistemden alınan ölçümler (devam)

	Ortalama Veri İletim Hızları (Mbps)			
	Operatör X + Operatör Y		Operatör Y + Operatör Y	
Ölçüm Sayısı	Akşam	Gece	Akşam	Gece
34	0,38	0,42	1,38	1,28
35	0,33	0,39	0,79	1,29
36	0,38	0,39	1,31	1,14
37	0,36	0,39	1,09	1,36
38	0,39	0,42	1,45	1,36
39	0,33	0,39	0,73	1,69
40	0,35	0,38	1,02	1,66

4.2.3 İki farklı GSM operatörünün mode=1 seçeneğiyle çoklanması

Bu kısımda sistem, Linux Bonding yönteminin bir başka seçeneği olan mode=1'de çalıştırılmıştır. Bu amaçla iki farklı GSM operatörü kullanılmıştır. Bu seçeneğin en önemli özelliği, bir GSM operatöründe bağlantı belli bir süreyle tamamıyla kesilmesi durumunda diğer GSM operatörü veri iletimini üstlenmektedir ve yarım kalan veri iletimini tamamlamaktadır.

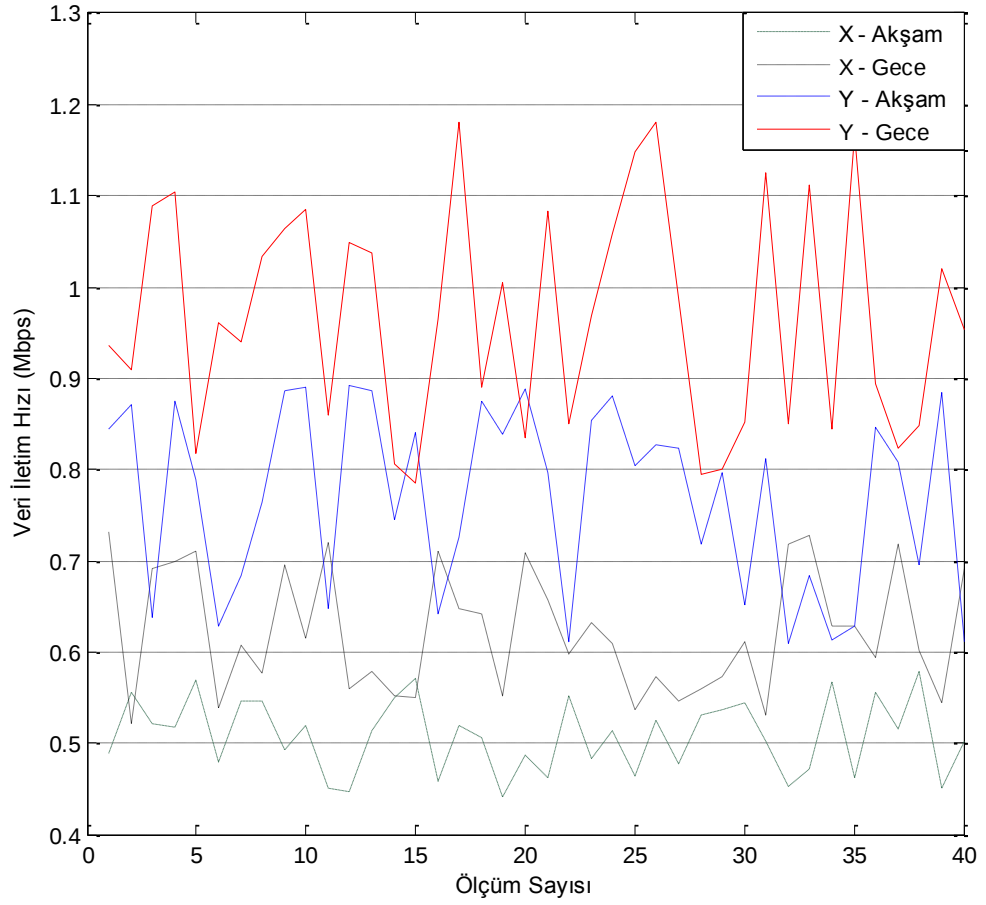
Bu amaçla yapılan denemelerde, herhangi bir GSM operatöründe bağlantı belli bir süre tamamıyla kesilmemiştir. Dolayısıyla, bu seçeneğin etkinliği test edilememiştir. Mevcut şartlarda, Türkiye'deki GSM altyapısı ile "bonding" yönteminin bu seçeneğinin veri iletiminde servis kalitesini iyileştirmeye yönelik bir kabiliyeti olmadığı sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇ

5.1 3G Veri İletiminde Servis Kalitesinin Analizi

Tez iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamasında 3G ile veri iletiminde servis kalitesinin analizi yapılmıştır. Bu analizler çerçevesinde öncelikle, tek bir 3G modemle veri iletimi yapılmış ve bu transferdeki “ortalama veri iletim hızı” değerleri ölçülmüştür. Tek modemle yapılan ölçümlerde farklı iki GSM operatörüne ait 3G modem kullanılmıştır.

3G ile veri iletimi kablosuz ortamda yapıldığından sonuçlar kararsız bir yapı sergilemektedir. Bu kararsız yapının daha tutarlı sonuçlar haline getirilebilmesi adına kırkar kez, akşam ve gece olmak üzere iki ayrı zaman diliminde ölçümler yapılmıştır. Böylelikle tek modemle veri iletim hızı performansı karakteristiği ortaya konulmuştur. Bu kısımda en çarpıcı sonuç ise gece saatlerinde yapılan ölçümlerde sistemin veri iletim hızı performansının akşam saatlerinde yapılan ölçümlere göre daha iyi olmasıdır. İki ayrı GSM operatöründe de bu sonuçla karşılaşılmıştır. Gece saatlerinde yapılan kırk ayrı ölçümün her biri akşam saatlerinde yapılan kırk ayrı ölçümün her birinden daha iyi olmasa da; bu kırkar ölçümlerin ortalamalarında gece vaktindeki ölçümlerin daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.1 İki farklı tek modem ile akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar

Yapılan analizler ile ilgili sonuçlar çizelge 5.1’de ve bu sonuçların grafiksel şekli de şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 İki farklı, tek modem ile akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Akşam Saatleri	X	0.44 Mbps	0.58 Mbps	0.51 Mbps
	Y	0.61 Mbps	0.89 Mbps	0.77 Mbps
Gece Saatleri	X	0.52 Mbps	0.74 Mbps	0.62 Mbps
	Y	0.78 Mbps	1.18 Mbps	0.96 bps

5.2 3G Veri İletiminde Servis Kalitesinin İyileştirilmesi

Tezin ikinci aşamasında ise servis kalitesi “veri iletim hızı” parametresi çerçevesinde iyileştirilmiştir. Bu amaçla tez kapsamında Linux Bonding adında bir yöntem önerilmiş ve bu yöntem uygulanmıştır.

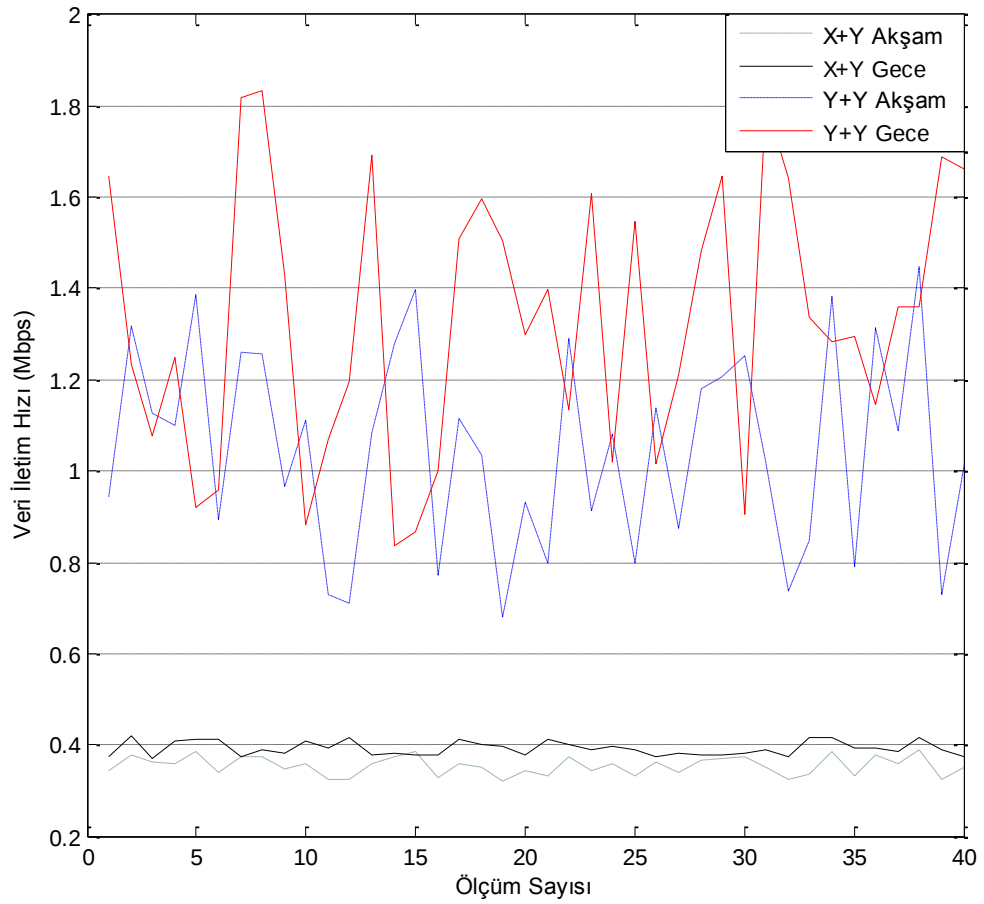
Linux Bonding yöntemi çerçevesinde ise iki farklı seçenek irdelenmiştir. Bunlar “bonding mode=0” ve “bonding mode=1” seçenekleridir. Bu seçeneklerden “mode=1” master/slave tarzı çalışan bir sistem sunmaktadır. Bu seçeneğin çalışma algoritmasına göre slave olan modem, aktif olan master modem belirli bir süre ile devre dışı kalır ise aktif hale gelmektedir. Yapılan denemelerde, master modem devre dışı kalmasını gerektirecek bir durum olmadığından (master modem belirli bir süre ile bağlantısının kesilip devre dışı kalması), bu seçenek etkin bir şekilde kullanılamamıştır.

Diğer seçenek olan mode=0’da ise iki farklı konfigürasyon denenmiştir. Bunlardan ilkinde farklı GSM operatörlerine ait 3G modemler çoklanmıştır, diğer konfigürasyonda ise aynı GSM operatörüne ait iki adet 3G modem çoklanmıştır. Bu konfigürasyonlardan ilkinde, “bonding offset time” ve “switching time” sürelerinin fazla olmasından dolayı verim alınamamıştır.

Mode=0 seçeneğinin diğer bir konfigürasyonu olan aynı operatörlere ait 3G modemlerin çoklanması işleminde ise beklentiler karşılanmış ve iki adet 3G modem çoklanmasıyla %40'lara varan performans iyileştirilmesi sağlanmıştır (Çizelge 5.2, Şekil 5.2). Böylelikle hem maliyeti oldukça düşük olan bir yöntemle servis kalitesi iyileştirilmiş hem de literatüre kablosuz ortamdaki veri iletimlerinde Linux Bonding’in performansı analiz edilmesi konusunda katkı sağlanmıştır.

Çizelge 5.2 İki farklı, iki aynı modemlerin çoklanmasıyla akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar

3G Operatör		Minimum Değer	Maksimum Değer	Ortalama Değer
Akşam Saatleri	X+Y	0.32 Mbps	0.39 Mbps	0.35 Mbps
	Y+Y	0.68 Mbps	1.44 Mbps	1.05 Mbps
Gece Saatleri	X+Y	0.37 Mbps	0.42 Mbps	0.39 Mbps
	Y+Y	0.84 Mbps	1.83 Mbps	1.33 Mbps



Şekil 5.2 İki farklı, iki aynı modemlerin çoklanmasıyla akşam ve gece saatlerinde alınan sonuçlar

KAYNAKLAR

- Anonymous. 2001. Fundamentals of Utilities Communication Architecture. Computer Applications in Power, IEEE, Vol.14, No.3, pp. 15-21.
- Anonymous. 2009. <http://electronics.howstuffworks.com/framed.htm?parent=cell-phone.htm&url=http://www.privateline.com/Cellbasics/Cellbasics.html>.
- Anonymous. Iperf version 2.0.5, http://iperf.fr/download/iperf_2.0.5/iperf_2.0.5-2_i386.
- Atasoy, K. 2006. GSM Sistemi ve Sağlık. Gazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Araştırma Projesi, 43s., Ankara
- Aust, S. Kim, J. Davis, P. Yamaguchi, A. and Obana, S. 2006. Evaluation of Linux Bonding Features. ICCT 06 International Conference on, 1-6.
- Cherreddi, C. Kyasanur, P. Vaidya, N. H. 2006. Design and Implementation of a Multi-Channel Multi-Interface Network. Realman, 8p..
- Dalyan, A. 2004. GSM Teknolojisi Kullanılarak İletişim Kurma ve Bu Yolla Konum Belirleme (Using GSM Technology for Mobile Communication and Determining the Position). Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 103s., Ankara.
- Davis, T. 2011. Linux Ethernet Bonding Howto <https://www.kernel.org>, 15.04.2013.
- Goodman, D.J. 2003. Wireless Personal Communications Systems. Addison Wesley Longman, 416p., Reading, Massachusetts; Harlow, İngiltere; Menlo Park, California; Berkeley, California; Don Mills, Ontario; Sydney; Bonn; Amsterdam; Tokyo; Mexico City
- Hsueh, C. Lin, H. and Huang, G. 2004. Channel Bonding in Linux Ethernet Environment using Regular Switching Hub. Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, pp. 35-38.
- Jamalipour, A., Wada, T. and Yamazato T. 2005. A Tutorial on Multiple Access Technologies for Beyond 3G Mobile Networks. Communication Magazine, IEEE, Vol. 43, No.2, pp.110-117.
- Jeruchim, M.C., Balaban, P. and Shanmugan, K.S. 2000. Simulation of Communication Systems; Modeling, Methodology, and Techniques. Kluwer Academic Publishers, 907p., New York, Boston, Dordrecht, Londra, Moskova
- Keser, Ş. 2002. GSM, Hücreli Telefon Sistemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, 20s., Isparta
- Rili, H. 2011. Research and Application of TCP/IP Protocol in Embedded System. Communication Software and Networks (ICCSN), IEEE 3rd International Conference, pp. 584-587.
- Shidik, G.F. and Noh, Z.A.B.M. 2013. Performance Analysis of Interface Bonding and Channel Bonding at Point to Point. IEEE Latin America Transactions, Vol. 11, No. 1, pp. 633-635.
- Ünlütürk, M.S., Atay, C., Yamuç, A. ve Güntan, B. 2010. 4G (Dördüncü Nesil) Mobil ve Kablosuz Sistemler. Akademik Bilişim 2010.

- Wang, E., Zhang, S. and Zhang, Z. 2011. Research and Implement of PPP and TCP/IP Protocol Based on GPRS. Wireless Communicaitons, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference, pp. 1-4.
- William, C.Y. 2004. Mobile Communications Engineering - Theory and Applications. McGraw-Hill, 671p..

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hasan Tahsin Kart

Doğum Yeri : Adana

Doğum Tarihi : 07.05.1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise : Adana Ticaret Odası Anadolu Lisesi (2004)

Lisans : Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü (2009)

Yüksek Lisans :Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı 2014

Çalıştığı Krum ve Yıl:

Başbakanlık (2010)

ROKETSAN (2010- Devam ediyor)