

168852

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KABLOSUZ ATM AĞLARDA VERİ TRAFİĞİNİN VIDEO  
TRAFİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Necla BANDIRMALI**

**Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail ERTÜRK**

**MAYIS 2005**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KABLOSUZ ATM AĞLARDA VERİ TRAFİĞİNİN VIDEO TRAFİĞİ  
ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Necla BANDIRMALI**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 2005**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Haziran 2005**

Tez Danışmanı

Doç. Dr. İsmail ERTÜRK

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Celal ÇEKEN

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. A. Turan ÖZCERİT

(.....)

**HAZİRAN 2005**

# KABLOSUZ ATM AĞLARDA VERİ TRAFİĞİNİN VIDEO TRAFİĞİ ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Necla BANDIRMALI

**Anahtar Kelimeler:** KATM, TDMA/FDD, MAC, Servis Kalitesi.

**Özet:** Kablosuz ATM (KATM), ses, veri ve video gibi farklı türdeki trafiklerin kablosuz ortam üzerinden iletimini amaçlar. KATM, ATM'nin kablolu ortamda sağladığı servis kalitesi desteği ve yüksek veri iletim hızı gibi önemli özelliklerine sahiptir. Kablosuz ortamda gerçek zamanlı trafiklerin iletimi, sınırlı bant genişliğinin kullanıcılar arasında etkin olarak paylaşılmasına bağlıdır. Ortam Erişim Kontrol (MAC) katmanı, çok sayıda KATM kullanıcılarına kablosuz ortam kaynaklarının etkin olarak paylaşılmasını sağlar. Böylece, özellikle gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarının standart ATM CBR, VBR, ABR ve UBR servis destekleri ile kablosuz iletimi gerçekleştirilir.

Bu tez çalışmasında, KATM ağlar için literatürde önerilen bir isteğe bağlı kanal paylaşırma ve TDMA/FDD'ye dayalı MAC-GB protokolünün, OPNET yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen modelleri ve benzetimleri sunulmaktadır. Gerçekleştirilen modeller üzerinde veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla geliştirilen modelin sırasıyla yalnızca veri trafiği altında, yalnızca video trafiği altında ve video trafiği en yüksek değerde sabit tutulup değişen veri trafiği altında benzetimi yapılmıştır.

Veri ve video trafikleri farklı ATM servis sınıfları ile desteklenmekle birlikte veri trafiğindeki artışların, video trafiği gecikme değerlerinde küçük değişikliklere neden olduğu elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. Ancak, bu istenmeyen etkinin yol açtığı değişimlerin, video trafiğinin iletimindeki müsamaha edilebilir gecikme değerlerinin altında kalması temin edilebilmektedir. Diğer yandan servis sınıfı garantisiz bir ortamda ve aynı servis kalitesi desteği (UBR) ile taşınan veri ve video trafiklerinde, sonuçlar özellikle video uygulamalarının uçtan uca gecikme değerleri açısından kabul edilemez seviyelerde çıkabilmektedir.

# **AN INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF TRANSFERRING DATA TRAFFIC TOGETHER WITH VIDEO TRAFFIC IN WIRELESS ATM NETWORKS**

**Necla BANDIRMALI**

**Keywords:** WATM, TDMA/FDD, MAC, Quality of Service

**Abstract:** Wireless ATM (WATM) aims at providing transmission of different type of traffics such as voice, data and video over wireless medium. It takes advantage of high bit rate and Quality of Service (QoS) guaranteed data transfer that is already well achieved by ATM technology in wired medium. A WATM MAC layer is employed to effectively utilize the shared wireless medium resources by multiple users. The MAC layer must provide support for standard ATM services including UBR, ABR, VBR and CBR traffic classes with QoS.

In this research study presented, a WATM MAC protocol called MAC-GB using TDMA/FDD technique is utilised and a comparative simulation study of video transfer applications together with data transfer applications is presented, followed by analysis of effects of transferring data traffic on video traffic in shared WATM channels. Effect of data traffic over video traffic is examined on the simulation models. For this purpose the developed model has been simulated not only for pure data and pure video traffics but also for video traffic that was kept at a highest value where the data traffic has been varied.

According to obtained simulation results, although data and video traffics have been supported by the different ATM service classes, increases in data traffic size have led to little variations in end to end delay times of the video traffic. However, these unwanted variations are well below the tolerable limits. On the other hand in a wireless medium without any service class guarantee, for data and video traffics that were carried by the same quality of service support (UBR), end to end delay results can be at unacceptable levels especially for the video application traffics.

## **ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR**

Bu tez çalışmasında; KATM ağlarda isteğe bağlı kanal paylaşırma yöntemini kullanan TDMA/FDD tekniğine dayalı MAC-GB protokolü kullanılarak oluşturulan modelde veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmektedir.

Çalışmalarım boyunca benden yardımlarını ve tavsiyelerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Doç. Dr. İsmail ERTÜRK ve Yrd. Doç. Dr. Celal ÇEKEN'e, çalışmamda büyük emeği olan Arş. Gör. Cüneyt BAYILMIŞ'a, bana tüm yaşamım boyunca her konuda maddi ve manevi destek olan anneme ve babama, göstermiş olduğu sabır ve hoşgörüsü nedeniyle değerli eşim Önder YUMAK'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tezin Amacı .....	4
1.2. Tez Çalışmasının Katkıları.....	4
1.3. Tez Organizasyonu .....	5
BÖLÜM 2. ASENKRON TRANSFER MODU .....	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. B-ISDN Standartları.....	9
2.3. ATM Referans Modeli .....	9
2.3.1. ATM fiziksel katmanı .....	10
2.3.2. ATM katmanı .....	11
2.3.3. ATM uyarılama katmanı .....	11
2.3.3.1. AAL'nin sunduğu hizmet sınıfları ve özellikleri .....	12
2.3.3.2. AAL sınıfları .....	13
2.3.3.2.1. AAL 1 .....	13
2.3.3.2.2. AAL 2 .....	13
2.3.3.2.3. AAL 3/4 .....	14
2.3.3.2.4. AAL 5 .....	14
2.4. ATM Hücre Başlığı.....	15

2.4.1. Kullanıcı-ağ arayüzü ve ağ-ağ arayüzü formatları.....	16
2.4.1.1. Genel akış kontrolü (Generic Flow Control, GFC).....	17
2.4.1.2. Sanal yol numarası (Virtual Path Identifier, VPI).....	17
2.4.1.3. Sanal kanal numarası (Virtual Channel Identifier, VCI) .....	17
2.4.1.4. Yük tipi (Payload Type Identifier, PT) .....	17
2.4.1.5. Hücre kayıp önceliği (Cell Loss Priority, CLP).....	18
2.4.1.6. Başlık hata kontrolü (Header Error Control, HEC).....	18
2.5. Trafik Sınıfları.....	18
2.5.1. Sabit bit hızı (Constant Bit Rate, CBR).....	19
2.5.2. Gerçek zamanlı değişken bit hızı (real time Variable Bit Rate, rt-VBR )20	
2.5.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit hızı (non-real time Variable Bit Rate, nrt-VBR) .....	21
2.5.4. Belirsiz bit hızı (Unspecified Bit Rate, UBR).....	21
2.5.5. Kullanılabilir bit hızı (Available Bit Rate, ABR) .....	22
2.5.6. Garanti edilmiş çerçeve hızı (Guaranteed Frame Rate, GFR) .....	22
2.6. Sanal Devreler.....	24
2.6.1. Anahtarlama Sanal Devre (SVC).....	24
2.6.2. Kalıcı Sanal Devre (PVC).....	24
2.7. ATM Araçları.....	25
2.8. Sonuç.....	25
<b>BÖLÜM 3. KABLOSUZ ASENKRON TRANSFER MODU.....</b>	<b>26</b>
3.1. Giriş.....	26
3.2. KATM Mimarisi .....	27
3.3. KATM Kullanım Senaryoları .....	27
3.4. KATM Sistemi .....	28
3.4.1. KATM ağ bileşenleri .....	28
3.4.2. KATM protokol mimarisi .....	30
3.4.2.1. Radyo erişim katmanı .....	31
3.4.2.1.1. Fiziksel katman (PHY).....	32
3.4.2.1.2. Ortam erişim kontrolü (MAC).....	33
3.4.2.1.3. Veri bağı kontrolü (DLC) .....	33
3.4.2.1.4. Kablosuz kontrol .....	34

3.4.2.2. Hareket destekli ATM.....	34
3.4.2.2.1. Konum yönetimi .....	34
3.4.2.2.2. El değiştirme .....	35
3.4.2.2.3. Yönlendirme.....	36
3.5. Sonuç.....	36
<b>BÖLÜM 4. KABLOSUZ ERİŞİM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>37</b>
4.1. Giriş.....	37
4.2. Çoklama Yöntemleri.....	37
4.2.1. Frekans bölmeli çoklama (FDD).....	38
4.2.2. Zaman bölmeli çoklama (TDD).....	39
4.2.3. Kod bölmeli çoklama (CDD).....	39
4.3. Çoklu Erişim Yöntemleri .....	40
4.3.1. Frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA).....	41
4.3.1.1. FDMA/FDD .....	42
4.3.1.2. FDMA/TDD.....	43
4.3.2. Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA).....	44
4.3.2.1. TDMA/FDD.....	48
4.3.2.2. TDMA/TDD.....	48
4.3.3. Kod bölmeli çoklu erişim (CDMA).....	49
4.3.3.1. CDMA/FDD.....	50
4.3.3.2. CDMA/TDD .....	51
4.3.4. Uzay bölmeli çoklu erişim (SDMA).....	52
4.4. KATM İçin Önerilen MAC Protokolleri .....	54
4.4.1. MAC-GB protokolü .....	54
4.5. Sonuç.....	55
<b>BÖLÜM 5. KATM ÜZERİNDEN ÇOKLU ORTAM UYGULAMALARI .....</b>	<b>57</b>
5.1. Giriş.....	57
5.2. Çoklu Ortam Uygulamaları.....	58
5.2.1. Çoklu ortam trafik tipleri ve karakteristik özellikleri .....	58
5.3. Çoklu Ortam Trafik Modelleri .....	59
5.3.1. Veri trafiği.....	60



5.3.2. Ses trafiği .....	61
5.3.3. Video trafiği .....	62
5.4. Modelleme ve Benzetim .....	63
5.4.1. Veri transferi benzetim sonuçları .....	65
5.4.2. Video transferi benzetim sonuçları .....	67
5.4.3. Veri ve video transferi benzetim sonuçları .....	69
5.5. Sonuç.....	72
BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER .....	78
ÖZGEÇMİŞ .....	79

## SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

AAL	: ATM Adaptation Layer (ATM Uyarlama Katmanı)
ABR	: Available Bit Rate (Kullanılabilir Bit İletim Hızı)
ACK	: Acknowledgement (Alındı Bilgisi)
ARQ	: Automatic Repeat Request (Otomatik Tekrar İsteği)
ATM	: Asynchronous Transfer Mode (Asenkron Transfer Modu)
B-ISDN	: Broadband-Integrated Services Digital Network (Genişbant Tümleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi)
b/s	: Bit Per Second (Bit/Saniye)
CBR	: Constant Bit Rate (Sabit Bit İletim Hızı)
CDD	: Code Division Duplexing (Kod Bölmeli Çoklama)
CDMA	: Code Division Multiple Access (Kod Bölmeli Çoklu Erişim)
CDV	: Cell Delay Variation (Hücre Gecikme Değişimi, Jitter)
CDVT	: CDV Tolerance (Hücre Gecikme Değişimi Müsamahası)
CLP	: Cell Loss Priority (Hücre Kayıp Önceliği)
CLR	: Cell Loss Ratio (Hücre Kayıp Oranı)
CRC	: Cyclic Redundancy Check (Çevrimli Fazlalık Sınaması)
CSMA/CA	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim/Çarpışma Kaçınma)
CSMA/CD	: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (Taşıyıcı Duyarlı Çoklu Erişim/Çarpışma Sezme)
CTD	: Cell Transfer Delay (Hücre İletim Gecikmesi)
DLC	: Data Link Control (Veri Bağlantı Kontrolü)
DSA++	: Dynamic Slot Assignment Protocol
DQRUMA	: Distributed-Queueing Request Update Multiple Access
FDD	: Frequency Division Duplexing (Frekans Bölmeli Çoklama)
FDMA	: Frequency Division Multiple Access (Frekans Bölmeli Çoklu Erişim)
FCC	: Federal Communications Commission

FEC	: Forward Error Control (İleri Hata Kontrolü)
GFC	: Generic Flow Control (Genel Akış Kontrolü)
HEC	: Header Error Control (Başlık Hata Kontrolü)
IP	: Internet Protocol
ISDN	: Integrated Services Digital Network
ITU-T	: International Telecommunication Union-Telecommunications Sector
KATM	: Kablosuz ATM
KLAN	: Kablosuz LAN
LAN	: Local Area Network (Yerel Alan Ağı)
LoS	: Line Of Sight (Görüş Alanı)
MAC	: Medium Access Control (Ortam Erişim Kontrolü)
MAC-GB	: Guarantee Based MAC
NII	: National Information Infrastructure
NNI	: Network–Network Interface (Ağ–Ağ Arayüzü)
OAM	: Operations Administration and Maintenance
OFDM	: Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Dikey Frekans Bölmeli Çoklama)
OPNET	: OPTimized Network Engineering Tool
OSI	: Open Systems Interconnection
PCR	: Peak Cell Rate (En Yüksek Hücre İletim Hızı)
PDF	: Probability Density Function (Olasılık Sıklık Fonksiyonu)
PDU	: Protocol Data Unit
PN	: Pseudo-Noise
PRMA/DA	: Packet Reservation Multiple Access with Dynamic Allocation
PSTN	: Public Switched Telephone Network
PT	: Payload Type (Yük Tipi)
PTI	: Payload Type Identifier (Yük Tipi Numarası)
PVC	: Permanent Virtual Circuit (Kalıcı Sanal Devre)
QAM	: Quadrature Amplitude Modulation
QoS	: Quality of Service (Servis Kalitesi)
QPSK	: Quadrature Phase Shift Keying
RAL	: Radio Access Layer (Radyo Erişim Katmanı)

<b>SAR</b>	: Segmentation and Reassembly
<b>SCR</b>	: Sustainable Cell Rate (Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı)
<b>SDMA</b>	: Space Division Multiple Access (Uzay Bölmeli Çoklu Erişim)
<b>SDU</b>	: Service Data Unit
<b>SVC</b>	: Switched Virtual Circuit (Anahtarlamaalı Sanal Devre)
<b>TDD</b>	: Time Division Duplexing (Zaman Bölmeli Çoklama)
<b>TDMA</b>	: Time Division Multiple Access (Zaman Bölmeli Çoklu Erişim)
<b>UBR</b>	: Unspecified Bit Rate (Belirlenmemiş Bit İletim Hızı)
<b>UNI</b>	: User–Network Interface (Kullanıcı–Ağ Arayüzü)
<b>VBR</b>	: Variable Bit Rate (Değişken Bit İletim Hızı)
<b>VCC</b>	: Virtual Channel Connection (Sanal Kanal Bağlantısı)
<b>VCI</b>	: Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Numarası)
<b>VPC</b>	: Virtual Path Connection (Sanal Yol Bağlantısı)
<b>VPI</b>	: Virtual Path Identifier (Sanal Yol Numarası)
<b>WATM</b>	: Wireless Asynchronous Transfer Mode (Kablosuz ATM)
<b>WLAN</b>	: Wireless Local Area Network (Kablosuz Yerel Alan Ağı)

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. KATM ağ yapısı. ....	2
Şekil 1.2. MAC tekniklerinin sınıflandırılması.....	3
Şekil 2.1. a) Asenkron Transfer Mod (ATM), b) Senkron Transfer Mod (STM).....	8
Şekil 2.2. ATM referans modeli.....	10
Şekil 2.3. UNI hücre formatı.....	16
Şekil 2.4. NNI hücre formatı.....	16
Şekil 2.5. CBR servis kategorisi için trafik parametreleri.....	20
Şekil 2.6. rt-VBR servis kategorisi için trafik parametreleri.....	20
Şekil 2.7. nrt-VBR servis kategorisi için trafik parametreleri.....	21
Şekil 2.8. UBR servis kategorisi için trafik parametreleri. ....	21
Şekil 2.9. ABR servis kategorisi için trafik parametreleri. ....	22
Şekil 2.10. GFR servis kategorisi için trafik parametreleri.....	23
Şekil 2.11. ATM anahtar ve ATM uç noktadan oluşan ATM ağ.....	25
Şekil 3.1. KATM bileşenleri. ....	29
Şekil 3.2. KATM sisteminin modüler protokol yapısı.....	30
Şekil 3.3. KATM protokol mimarisi. ....	31
Şekil 3.4. a) KATM hücresi, b) Bağlantı istek paketi, c) Bağlantı tahsis paketi. ....	31
Şekil 4.1. FDD sistemin spektrum tahsisi. ....	38
Şekil 4.2. TDD sistemin spektrum tahsisi.....	39
Şekil 4.3. Frekans bölmeli çoklu erişim.....	42
Şekil 4.4. FDMA/FDD mantıksal ayırma. ....	43
Şekil 4.5. FDMA/TDD mantıksal ayırma. ....	43
Şekil 4.6. Zaman bölmeli çoklu erişim. ....	44
Şekil 4.7. TDMA çerçeve yapısı. ....	46
Şekil 4.8. TDMA/FDD mantıksal ayırma. ....	48
Şekil 4.9. TDMA/TDD mantıksal ayırma.....	49
Şekil 4.10. Kod bölmeli çoklu erişim.....	50

Şekil 4.11. CDMA/FDD mantıksal ayırma.....	51
Şekil 4.12. CDMA/TDD mantıksal ayırma.....	51
Şekil 4.13. Uzay bölmeli çoklu erişim.....	52
Şekil 4.14. MAC-GB protokolü çerçeve yapısı.....	55
Şekil 5.1. Terminal trafik konfigürasyonu.....	60
Şekil 5.2. Veri trafiğinin üretimi.....	60
Şekil 5.3. Ses akışını gösteren blok diyagram.....	61
Şekil 5.4. Video akışını gösteren blok diyagram.....	63
Şekil 5.5. KATM ağ uygulaması.....	64
Şekil 5.6. Değişen veri trafik yüklerinde uçtan uca ortalama gecikme sonuçları.....	65
Şekil 5.7. Değişen veri trafik yüklerinde uçtan uca gecikme değişimi sonuçları.....	66
Şekil 5.8. Değişen veri trafik yüklerinde maksimum gecikme sonuçları.....	66
Şekil 5.9. Değişen video trafik yüklerinde uçtan uca ortalama gecikme sonuçları.....	67
Şekil 5.10. Değişen video trafik yüklerinde uçtan uca gecikme değişimi sonuçları.....	68
Şekil 5.11. Değişen video trafik yüklerinde maksimum gecikme sonuçları.....	69
Şekil 5.12. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş ortalama gecikme sonuçları.....	70
Şekil 5.13. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş gecikme değişimi sonuçları.....	71
Şekil 5.14. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş maksimum gecikme sonuçları.....	72

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. AAL'nin sunduğu hizmet sınıfları ve özellikleri.....	12
Tablo 2.2. ATM başvuru modelinin alt katmanları ve görevleri. ....	15
Tablo 2.3. ATM servis sınıfları ve uygulama örnekleri.....	19
Tablo 3.1. Kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları.....	28
Tablo 4.1. FDD, TDD ve CDD sistemler arasındaki karşılaştırma.....	40
Tablo 4.2. FDMA, TDMA, CDMA ve SDMA sistemlerin özelliklerinin karşılaştırılması. ....	53
Tablo 4.3. KATM MAC protokollerinin sınıflandırılması. ....	54
Tablo 5.1. Benzetim parametreleri.....	64

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yüksek performanslı kablosuz bilgisayarların ve diğer hareketli haberleşme sistemlerinin gelişmesiyle birlikte kablosuz/hareketli veri haberleşmesinin önemi de gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde kablosuz haberleşme sistemlerinden video, ses ve etkileşimli servisler gibi gecikmeye hassas gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarının yüksek bant genişliği, düşük hücre kaybı, düşük gecikme ve gecikme değişimi gereksinimlerinin tam olarak desteklenmesi beklenmektedir.

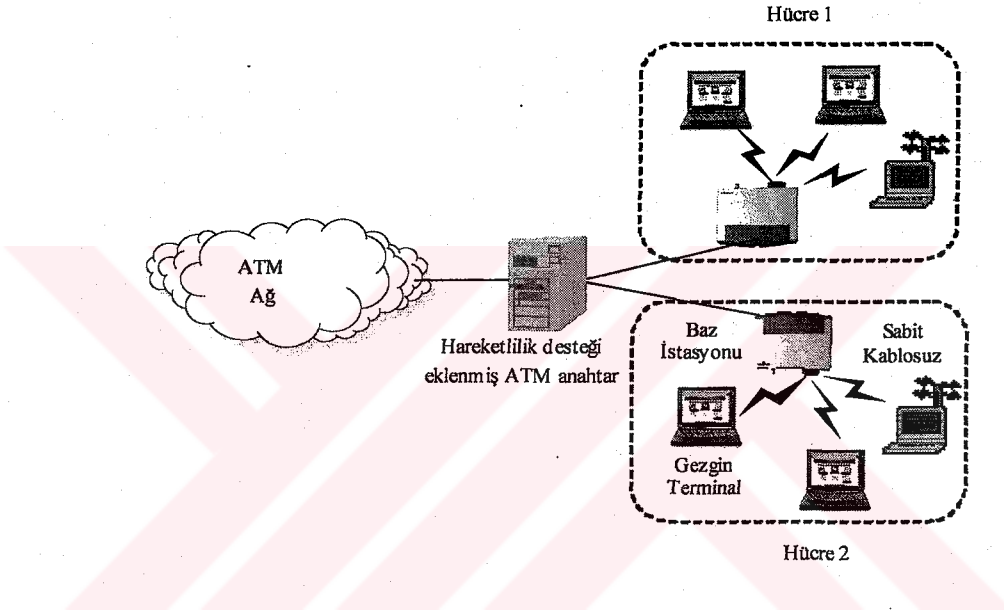
Kablosuz haberleşmeyi sağlamak, radyo sinyallerindeki parazitler (gürültü), girişim, sınırlı bant genişliği, bağlantı sürekliliğinin temin edilmesi ve yüksek veri kayıp oranları gibi nedenlerden dolayı kablolu haberleşmeye göre oldukça zordur. Günümüzde kullanılan klasik kablosuz teknolojiler çoklu ortam uygulamaları için gerekli olan servis kalitesi desteğini sağlamak açısından oldukça yetersiz kalmaktadır.

Çoklu ortam uygulamalarının gereksinim duyduğu servis kalitesi ihtiyacı kablolu ortamda B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network) için standart olarak kabul edilen ATM (Asynchronous Transfer Mode) teknolojisi tarafından sağlanmaktadır. ATM, çoklu ortam trafikleri için birkaç Kbit/s'den birkaç Mbit/s'ye kadar olan bant genişliklerini, sürekli (ses trafiği), sabit hızlı (dosya transferi gibi) ve yüksek patlamalı (etkileşimli veri ve video gibi) ihtiyaçları desteklemektedir.

ATM'nin kablolu ağlarda sağladığı başarı, yüksek bant genişliği ve yüksek veri iletim hızlarında (155–600 Mbit/s) çalışması ATM'nin kablosuz ortamlarda uygulanabilirliğine yönelik araştırmalara ivme kazandırmıştır (Raychaudhuri 1999 ve Ayanoğlu 1999).



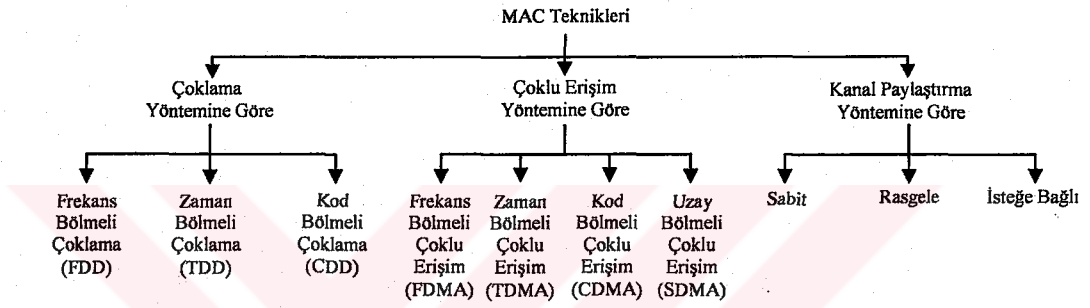
KATM, sabit baz istasyonlarının kullanıldığı sistemlere uygulanabildiği gibi, hareketli baz istasyonlarının kullanıldığı nispeten karmaşık sistemlere ya da baz istasyonu kullanmayan daha basit sistemlere de uygulanabilir. Kullanıldığı sistemlere bağlı olarak KATM ağını oluşturan bileşenlerin yapıları farklılık gösterir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi çoğunlukla bir KATM sistemi, hareketli terminallerden ve bunların haberleşmesini kontrol ve organize eden sabit baz istasyonlarından oluşmaktadır.



Şekil 1.1. KATM ağ yapısı.

KATM protokol mimarisi, kablosuz iletişim ortamının ihtiyaçlarından dolayı ATM'nin mevcut protokol yapısına, radyo erişim ve hareketlilik özelliklerinin ilave edilmesini gerektirmektedir. KATM protokol yapısına ayrıca, kullanıcılara ihtiyaçları olan bant genişliğini servis kalitesi garantisıyla tahsis etmek amacıyla ortam erişim kontrolü (Medium Access Control, MAC) katmanı, akış ve hata kontrolünü gerçekleştirmek amacıyla veri bağlantı kontrolü (Data Link Control, DLC) katmanı, kablosuz iletişim ortamı için fiziksel katman ve kablosuz kontrol katmanı eklenmiştir.

KATM teknolojisi, çoklu ortam uygulamalarına servis kalitesi garantisi sağlanmış hizmetler sunmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle kullanılması düşünülen MAC protokolünün ihtiyaç duyulan servis gereksinimlerini karşılaması zorunludur. KATM MAC katmanı için, henüz ATM Forum tarafından bir standart kabul edilmemiştir. Fakat günümüzde bu konuda sürdürülen birçok çalışma bulunmaktadır. MAC teknikleri Şekil 1.2’de görüldüğü gibi çoklama, çoklu erişim ve kanal paylaşırma olmak üzere üç farklı kritere göre sınıflandırılmaktadır (Rappaport 1996 ve Bostie, Kandus 2001).



Şekil 1.2. MAC tekniklerinin sınıflandırılması.

KATM, hücre iletim gecikmesi, gecikme değişimi ve hücre kayıp oranı gibi servis kalitesi parametrelerini karşılamak zorunda olduğundan gerçek zamanlı haberleşmeyi sağlamak için MAC protokolü olarak isteğe bağlı kanal ayırma yöntemini kullanır (Hyon 2001). İsteğe bağlı kanal ayırma yönteminde kullanıcı terminali, baz istasyonundan erişim kanalı istemek ya da ayırtmak üzere veri yönünde (terminalden baz istasyonuna, uplink) bir kontrol kanalı kullanır. Baz istasyonu ise bu istek ve kaynaklar doğrultusunda ilgili terminale ihtiyacı olan bant genişliğini ayırır. KATM’de kullanılmak üzere literatürde önerilen çeşitli MAC protokolü çalışmaları bulunmaktadır (Ceken, Erturk ve Bayilmis 2004).

## 1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının ana amacı KATM ağlar için literatürde önerilen TDMA/FDD'ye dayalı MAC-GB (Guarantee Based MAC) protokolünü kullanarak aynı ortam üzerinden gerçek zamanlı olarak veri ve video transferini gerçekleştirmek ve veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisini incelemektir.

Yukarıda belirtilen ana amaç doğrultusunda aşağıdaki çalışmalar hedeflenmiştir:

- Kablosuz erişim yöntemlerinin detaylı olarak incelenmesi ve karşılaştırılması,
- Çoklu ortam uygulamalarının trafik karakteristiklerinin ve servis kalitesi gereksinimlerinin tespit edilmesi,
- Çoklu ortam trafik gereksinimlerini karşılayan TDMA/FDD'ye dayalı MAC-GB protokolünün OPNET yazılımında benzetiminin yapılması, ve
- Veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisinin farklı ortam erişim yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi.

## 1.2. Tez Çalışmasının Katkıları

Yukarıda verilen amaç ve hedefler doğrultusunda yapılan tez çalışmasının temel katkıları özetle şunlardır:

- Kablolulu ortamda çoklu ortam trafikleri için servis kalitesi desteği sağlayan ATM detaylı olarak sunulmaktadır.
- ATM'nin kablolu ortamdaki başarısından hareketle üzerinde yoğun bir şekilde çalışmaların devam ettiği KATM ile ilgili detaylı bilgi verilmektedir.
- Kablosuz OEK (MAC) protokollerinin karşılaştırmalı incelemesi sunulmaktadır.
- Çoklu ortam uygulamalarının kablosuz ortam üzerinden servis kalitesi desteği ile transferini gerçekleştirmek üzere isteğe göre kanal paylaşırma tekniğini kullanan TDMA/FDD'ye dayalı MAC-GB protokolünün başarımlı analizi yapılmaktadır.
- MAC-GB protokolünün başarımlı analizi için veri trafiğinin video trafiği üzerine

etkisi incelenmiştir. Veri trafiği her ne kadar başka bir servis sınıfı kullanılarak transfer edilse de video trafiği üzerine olumsuz etkileri gözlemlenmiştir.

- Veri trafiğinin video trafiği üzerine olumsuz etkisinin başka bir kablosuz erişim protokolü kullanılsa dahi ortaya çıkacağına ispatı yine TDMA/FDD tekniğine dayalı PRMA/DA protokolü kullanılarak gerçekleştirilmektedir.
- Veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi hem MAC-GB hem de PRMA/DA protokolleri ile gerçekleştirilerek farklı sonuçlar elde edilmiş ve her iki protokolün başarımlarını karşılaştırılması yapılmıştır.

### 1.3. Tez Organizasyonu

Tez 6 ana bölümden oluşmaktadır ve aşağıdaki gibi organize edilmiştir:

Bölüm 2’de, veri, ses, video gibi çoklu ortam uygulamalarının aynı ortam üzerinden aktarılmasını sağlayan ATM teknolojisi, ATM katmanları, ATM hücre yapısı ve trafik sınıfları hakkında temel bilgiler verilmektedir.

Bölüm 3’de, ATM’nin kablosuz uyarlaması olarak düşünülen KATM teknolojisi ve protokol yapısı anlatılmaktadır.

Bölüm 4’de, iletim yolunun kullanımını belirleyen çoklama yöntemleri ile sınırlı bant genişliğini kullanıcılar arasında etkin bir şekilde paylaşmak için kullanılan çoklu erişim yöntemleri hakkında geniş bilgi verilmektedir. Ayrıca çoklu erişim yöntemi olarak TDMA’i çoklama yöntemi olarak FDD’yi kullanan MAC-GB protokolü anlatılmaktadır.

Bölüm 5’de, çoklu ortam trafiklerinin karakteristikleri ve KATM üzerinden çoklu ortam uygulamalarının transferi anlatılmaktadır. MAC-GB protokolünü kullanan KATM ağ OPNET benzetim programında modellenmiştir. Model üzerinde yalnızca veri, yalnızca video ile veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi değişik yük koşulları altında incelenmekte ve elde edilen benzetim sonuçları sunulmaktadır.

Bölüm 6'da, tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla değerlendirilmektedir.



## **BÖLÜM 2. ASENKRON TRANSFER MODU**

### **2.1. Giriş**

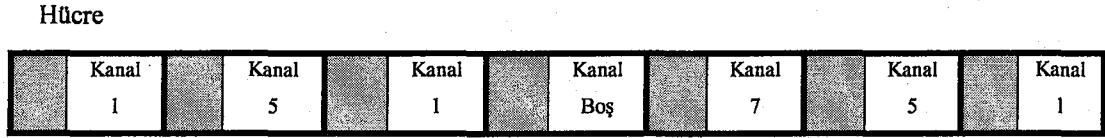
ATM, bir çok üretici firmanın desteklediği, üzerinde yoğun olarak çalışılan ve firmaların ürettikleri ATM ağ cihazlarının karşılıklı çalışabilmeleri için yeni yeni standartların eklendiği bir ağ teknolojisidir. ATM üzerine standart belirleyen ITU-T, ATM Forum ve IETF olmak üzere üç grup vardır. Bunların her biri ATM'nin farklı açılara odaklanmıştır. ITU-T, ATM protokollerini ve arayüzlerini tanımlamış, orijinal standartları 1990 yılında belirlemiştir. ATM Forum daha çok üretici firmaların üye olduğu bir çalışma grubudur. Ana amacı ITU-T tarafından tanımlanan standartları geliştirmek ve tüm üyelerinin uyacağı, ürünlerine yansıtacağı standardı belirlemektir. IETF, genel olarak ATM üzerinden IP trafiğinin taşınabilmesi (IP over ATM) üzerine çalışmaktadır.

ATM, ses, veri ve video gibi değişik türde trafiklerin aynı ortamdan hızlı bir şekilde aktarılmasına olanak sağlayan bir anahtarlama/çoklama teknolojisidir. LAN, WAN ve kampüs uygulamalarında omurga ağ olarak, hızlı ve yüksek performanslı, kullanıcı sayısından bağımsız bir ağ çözümü sunar (Çölkesen ve Örencik 2000).

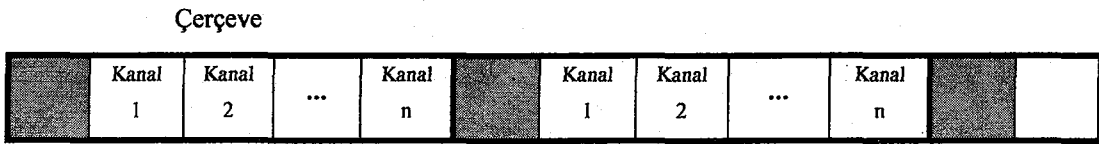
ATM, veri iletimi için eşzamansız (asenkron) iletim modunu kullanır. Bir sanal bağlantıyla ilgili veri iletimi sadece gönderilmesi gereken veri varsa gerçekleştirilir. Eşzamanlı (senkron) iletim modunda ise her bağlantı için sabit bant genişliği ayrıldığından, gönderilecek veri olmasa dahi tahsis edilen bant genişliği başka uygulamalar tarafından kullanılmaz.

Transfer terimi iletim ve anahtarlama anlamlarının her ikisini de içerir. Dolayısıyla transfer modu bilginin ağda iletiminin ve anahtarlamaının özel bir yoludur.

Asenkron terimi ise çoklu iletim tekniğinde aynı bağlantıya tahsis edilen hücrelerin isteğe bağlı olarak düzensiz yinelemeli bir desen sergileyebilmesi ile ilgilidir. Bu durum Şekil 2.1.a’da görülmektedir.



a)



b)

Şekil 2.1. a) Asenkron Transfer Modu (ATM), b) Senkron Transfer Modu (STM).

Şekil 2.1’de Asenkron Transfer Modu ve Senkron Transfer Modu arasındaki farklılık gösterilmektedir. ATM, B-ISDN için hem veri transfer ara yüzü hem de bir anahtarlama tekniğidir. Çünkü ATM geniş bantlı servisleri yüksek hızda transfer edebilir ve değişik tiplerde yol bağlantılarını sanal yollar kullanarak oluşturabilir (El Sayed 2000).

ATM ayrıca Avrupa’da Senkron Dijital Hiyerarşi (SDH) olarak adlandırılan senkron optik ağda da (SONET) kullanılmaktadır. Bu ağda hız giga bitlerle ifade edilmektedir. Böyle büyük hızlarda sınırlandırma faktörü, bant genişliği değil ışığın hızıdır.

## 2.2. B-ISDN Standartları

B-ISDN literatürde CCITT bildirgesi I.113'de "ana erişim hızından daha büyük bit iletim hızlarını destekleyebilen haberleşme kanallarını gerektiren sistem veya servis" olarak tanımlanmıştır (Ertürk ve Özcerit 2002).

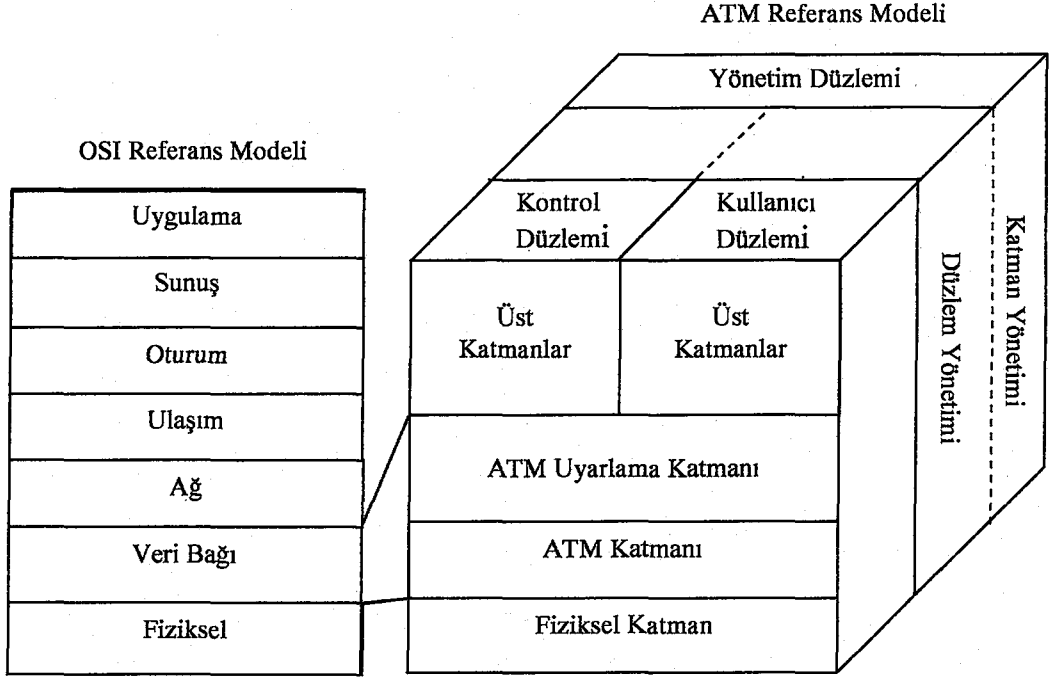
B-ISDN, yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı üzere, 64 Kbit/s ISDN özelliklerine sahip olmakla birlikte bunun çok üzerindeki bit iletim hızlarını gerektiren uygulamaların gerçekleştirilmesini de mümkün kılmaktadır. Bir geniş bant kullanıcı için hedeflenen bit iletim hızının üst sınırı 100 Mbit/s'nin biraz üzerinde olacak şekilde tasarlanmıştır.

B-ISDN, hem sabit hem de değişken bit iletim hızlarını, veri, ses, hareketli/hareketsiz resim transferi ve özellikle veri, ses ve görüntü hizmetlerini içeren çoklu ortam uygulamalarını destekleyecek şekilde geliştirilmiştir.

## 2.3. ATM Referans Modeli

Şekil 2.2'den görüldüğü gibi ATM mimarisi, fiziksel katman, ATM katmanı ve ATM uyarılama katmanı olmak üzere 3 temel katmandan oluşur. OSI referans modelinin ilk iki katmanı olan veri bağı ve fiziksel katmanlara karşılık gelirler. Bu katmanlar paket ya da çerçeveleri ATM hücrelerine dönüştürür.





Şekil 2.2. ATM referans modeli.

### 2.3.1. ATM fiziksel katmanı

ATM fiziksel katmanı, OSI referans modelinin 1. katmanına karşılık gelir. Hücrelerin ağ ortamı üzerinden nasıl aktarılacağını belirler ve bununla ilgili bağlantı ara yüzlerini ve ara yüzlerin sahip olacağı aktarım hızlarını (Mbit/s) tanımlar.

ATM fiziksel katmanı 2 alt katmandan oluşur. Bunlar; Fiziksel Ortam (Physical Medium Dependent, PM) ve Aktarım Dönüşümü (Transmission Convergence, TC)'dür. PM alt katmanı, iletişimin yapıldığı aktarım ortamı ile çalışma şeklini belirler. Bit zamanlaması ve hat kodlaması gibi işlevleri yerine getirir. TC alt katmanı, PM alt katmanı ile ATM katmanı arasındaki uyumu sağlar. Hücre başlık hata kontrolü (Header Error Correction, HEC) üretimi, doğrulama ve bit hata saptaması, hücre tanımı ve hız ayırımı, iletim çerçeve uyumu, iletim çerçeve üretimi gibi işlevleri gerçekleştirir (DePrycker 1991).

### 2.3.2. ATM katmanı

ATM katmanı OSI referans modelinin 2. katmanı olan veri bağı katmanının alt çeyreğini oluşturur. ATM katmanı ATM ağda hücre anahtarlama ve çoklamadan sorumludur. Hücrelerin içerisinde taşınan bilgi türüyle ilgilenmez. Temel olarak bağlantı kurulması, akış kontrolü ve hücrelerin hızlı bir şekilde anahtarlanması işini kotarır. ATM katmanı, ATM bulutundaki yük trafiğini anahtarlayan ATM anahtarlarda yer alan en üst seviyedeki katmandır. Yüke eklenen 5 baytlık ATM hücre başlığını üretmekten sorumludur (DePrycker 1991).

ATM senkron transfer modundan farklıdır. Örneğin; TDM tekniği kullanıcılarına zaman aralıkları (slot) tahsis ederken, ATM bir asenkron çoklama mekanizmasıdır ve isteğe bağlı bant genişliği kullanımı sunar.

### 2.3.3. ATM uyarlama katmanı

AAL (ATM Adaptation Layer), ATM katmanının hemen üstünde yer alır. OSI referans modeli ile karşılaştırıldığında IEEE'de iki alt katmana bölünen, veri bağı katmanı olarak adlandırılan 2. katmanın bir kısmıdır. ATM uyarlama katmanı (AAL), farklı türde trafiklerin ATM katmanı üzerinden aktarılmasını sağlar. Örneğin; ses, veri ve video gibi trafikler birbirinden farklı özelliklerde aktarım kriterleri ister. Ses ve video haberleşmesi zamana duyarlı iletişim ortamı isterken, veri haberleşmesinin böyle bir gereksinimi yoktur. Her uygulama türünün kendine has gereksinimleri vardır. AAL bu gereksinimleri karşılamak üzere değişik türde hizmet sınıflarına sahiptir. Bunlar; AAL1, AAL2, AAL3, AAL4 ve AAL5 olarak adlandırılır ve her biri değişik trafik türlerine hizmet sunar.

ATM uyarlama katmanı, fiziksel katman gibi kendi içerisinde 2 alt katmana ayrılmıştır. Biri, Dönüşüm (Convergence Sublayer, CS), diğeri ise Dilimleme ve Birleştirme (Segmentation ve Reassembly, SAR) alt katmanlarıdır. Dönüşüm alt katmanı genel olarak, ATM ile ATM olmayan bağlantı arasında format dönüşümü

yapan fonksiyonları yerine getirir. Dilimleme ve birleştirme alt katmanı, veri alanından büyük veri parçalarını dilimleyerek 48 baytdan oluşan küçük dilimlere ayırır, veya tersine, kendisine gelen 48 bayt uzunlukta olan dilimlerden, bir üstünde bulunan dönüşüm katmanının kabul edeceği büyüklükte veri parçalarını elde eder (Pildush 2001).

### 2.3.3.1. AAL'nin sunduğu hizmet sınıfları ve özellikleri

AAL hizmetleri; gönderen ile alıcı arasında zamana duyarlılık gereksinimi, bit akışı ve bağlantı modu olmak üzere üç parametreye bağlı olarak sınıflandırılır. Örneğin; ses aktarımının, zamana duyarlılık gereksinimi vardır ve sabit bit akışı gerektirir. Veri aktarımının zamana duyarlılığı yoktur ve değişken bit akışıyla gerçekleştirilebilir. A, B, C ve D diye adlandırılan hizmet sınıflarının gereksinimi Tablo 2.1'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. AAL'nin sunduğu hizmet sınıfları ve özellikleri.

Servis Sınıfları	Zamana Duyarlılık	Bit Akışı	Bağlantı Modu	AAL Türü	
A Sınıfı	Var	Sabit	Bağlantıya Yönelik	AAL1	
B Sınıfı	Var	Değişken	Bağlantıya Yönelik	AAL2	
C Sınıfı	Yok	Değişken	Bağlantıya Yönelik	AAL3	AAL5
D Sınıfı	Yok	Değişken	Bağlantısız	AAL4	

A sınıfı hizmet, zamana duyarlı, sabit bit akışı sağlayan ve bağlantıya yönelik bir ortam sunar. Bu tür hizmet sınıfı ses ve video aktarımı için uygundur. Buna karşın C sınıfı hizmet veri aktarımı için daha uygundur.

Üst düzey protokollerden ve uygulamalardan gelen veri paketleri, ATM uyarılama katmanından geçerken önce, kullanılan AAL hizmet türüne göre dönüşüm alt katmanında parçalanır. Bu parçaların içerisine ilgili AAL'in başlık ve kontrol bilgileri yerleştirildikten sonra, bir altında bulunan dilimleme ve birleştirme alt

katmanına aktarılır. Dilimleme alt katmanı, kendisine gelen paketleri 48 baytdan oluşan ve hücrelerin veri alanına koyulacak küçük dilimlere ayırır (tersi durumda, gelen dilimleri birleştirerek büyük parçalar elde eder). ATM katmanı, bu dilimlere hücre başlık bilgileri ekler ve alıcısına iletilmesi için fiziksel katmana gönderir.

### **2.3.3.2. AAL sınıfları**

Uygulama programları ve servislerinin gereksinim duyduğu farklı türde trafiklerin ATM katmanı üzerinden aktarılmasını sağlamak üzere 5 farklı AAL sınıfı tanımlanmıştır. Bu sınıfların özellikleri aşağıda verilmektedir.

#### **2.3.3.2.1. AAL 1**

AAL 1, ses ve video konferansı gibi CBR (Continuous Bit Rate, sürekli bit hızı) trafikler için uygundur. AAL 1 kaynak ve hedef arasında senkronizasyon zamanına ihtiyaç duyar. AAL 1'de hücrenin iletimi üç adımda gerçekleşir. İlk adımda yük alanına senkronizasyon bitleri eklenir. İkinci adımda hücrelerin doğru sırada alınıp alınmadığını kontrol etmek için yük alanı içerisine sıra numarası (Sequence Number, SN) ve sıra numara koruması (Sequence Number Protection, SNP) alanları eklenir. Üçüncü adımda ise yük alanının geri kalan kısmı toplam 48 bayt olacak şekilde doldurulur (stuff bitting, dolgulama işlemi ).

#### **2.3.3.2.2. AAL 2**

CBR gibi zaman gereksinimi olan, veri iletim hızı zamanla değişen patlamalı trafikler için kullanılır. CBR servislerine benzer gereksinimlere sahip fakat sabit veri iletim hızı gerektirmeyen paketlenmiş ses ya da video gibi karakterize edilmiş servisleri içerir. AAL 2 VBR (Variable Bit Rate, değişken bit hızı) trafikler için uygundur. Kullanıcı verisi için hücre yükünün 44 bayt'lık kısmını kullanırken, yükün 4 bayt'lık kısmı da AAL 2 işlemlerini desteklemek için ayrılır. VBR trafiği; gerçek

zamanlı VBR (rt-VBR) ve gerçek zamanlı olmayan VBR (nrt-VBR) olarak iki sınıfa ayrılır. AAL 2 her ikisini de destekler.

#### **2.3.3.2.3. AAL 3/4**

AAL3/4 bağlantıya yönelik ve bağlantısız veriyi destekler. Ağ servis sağlayıcıları tarafından tasarlanmış ve SMDS (Switched Multimegabit Data Service) ile düzene sokulmuştur. AAL3/4, ATM ağ üzerinden SMDS paketlerinin iletimi için kullanılır.

AAL3/4 de hücrenin iletimi üç adımda gerçekleşir. İlk adımda, dönüşüm alt katmanı çerçeveye baş ve son etiket başlığı ekleyerek protokol veri birimini oluşturur. İkinci adımda, dilimleme ve birleştirme alt katmanı veriyi parçalar ve başlığı hazırlar. Ayrıca dilimleme ve birleştirme alt katmanı hata kontrolü için her veri parçasına 10 bitlik CRC kodu ekler. Son adımda, ATM hücresinin yük (payload) alanı oluşturulmuş olur ve oluşturulan bu alan ATM başlığına eklenerek standart ATM hücresi elde edilir.

Veri başlığı; tip, sıra numarası ve çoğullayıcı tanıtıcı alanı kısımlarından oluşur. Tip alanı, bir hücrenin başlayıp başlamadığını, devamını ve mesajın sonlandırıldığını tanımlar. Sıra numarası alanı, hücrenin birleştirilmesi için kullanılır. Çoğullayıcı tanıtıcı alanı ise aynı sanal devre bağlantısı üzerinden gelen farklı trafik yüklerine ait hücreleri belirler.

#### **2.3.3.2.4. AAL 5**

AAL 5, veri iletimi için kullanılan temel AAL sınıfıdır. Bağlantıya yönelik ve bağlantısız veriyi destekler. Non SMDS veri transferi için kullanılır. AAL 5, basit ve verimli uyarılma katmanı (Simple and Efficient Adaptation Layer, SEAL) olarak bilinir.

Bir hücrenin iletimi üç adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, dönüşüm alt katmanı çerçeveye 8 bayt uzunluğunda izleyici (trailer) alanı ve değişken uzunlukta dolgu (pad) alanı ekler. İkinci adımda, dilimleme ve birleştirme alt katmanı veriyi 48 bayt'lık bloklar halinde parçalara ayırır. Son adımda ise ATM katmanı, her bloğu ATM hücresinin yük alanı içerisine yerleştirir (Ors 1998).

Tablo 2.2. ATM başvuru modelinin alt katmanları ve görevleri.

Üst Katmanlar			
Katman yönetimi	Dönüşüm alt katmanı (Convergence, CS)	CS	AAL
	Dilimleme ve birleştirme alt katmanı (Segmentation and Reassembly, SAR)	SAR	
	Hücre başlık yaratma/doğrulama Hücre VPI/VCI çevirimi Hücre çoklama ve tekleme Genel akış kontrolü (GFC)	ATM	
	HEC üretimi/onayı Hücre tanımı ve hız ayırımı İletim çerçeve uyumu İletim çerçeve üretimi/yeniden belirlenmesi	TC	Fiziksel
	Bit zamanlaması Hat kodlaması Fiziksel ortam	PM	

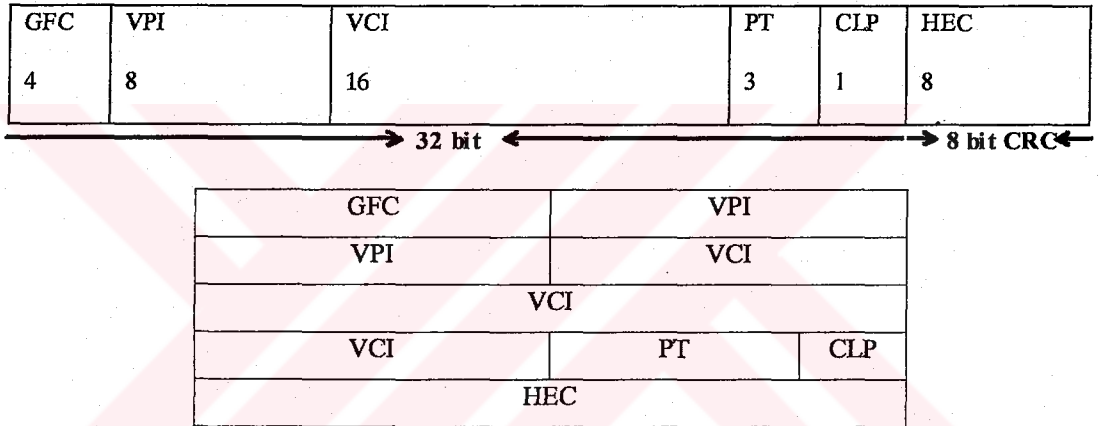
- CS : Convergence Sublayer (Dönüşüm Alt Katmanı)  
SAR : Segmentation and Reassembly (Dilimleme ve Birleştirme)  
AAL : ATM Adaptation Layer (ATM Uyarlama Katmanı)  
VPI : Virtual Path Identifier (Sanal Yol Kimliği)  
VCI : Virtual Channel Identifier (Sanal Kanal Kimliği)  
GFC : General Flow Control (Genel Akış Kontrolü)  
HEC : Header Error Control (Başlık Hata Kontrolü)  
TC : Transmission Control (İletim Kontrolü)  
PM : Physical Medium (Fiziksel Ortam)

#### 2.4. ATM Hücre Başlığı

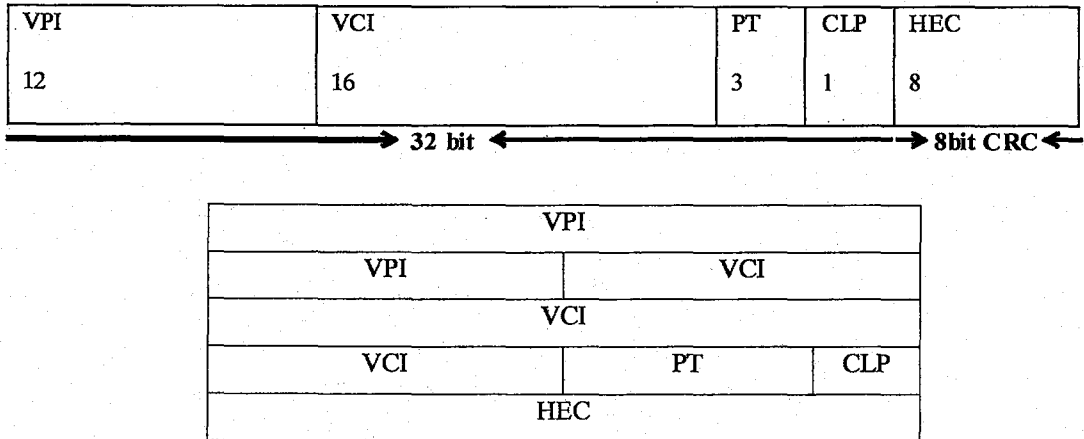
ATM hücre başlığı yükün hedefe ulaşması için gerekli bilgileri içeren kısımlardan oluşmaktadır. Kullanıcı-ağ ve ağ-ağ arayüzü olmak üzere iki farklı ATM hücre başlığı vardır.

### 2.4.1. Kullanıcı-ağ arayüzü ve ağ-ağ arayüzü formatları

ATM bağlantıya yönelik bir protokol olduğundan dolayı 5 baytlık ATM hücre başlığı anahtarlama işlemleri için yeterlidir. ATM hücre başlıkları UNI (User to Network Interface) ya da NNI (Network to Network Interface) formatında kullanılabilir. İkisi arasındaki tek fark UNI başlığının 4 bitlik GFC alanına sahip olmasıdır (Şekil 2.3). NNI başlığında böyle bir alan yoktur (Şekil 2.4). Her ikisi de 5 bayt uzunluğundadır. UNI bir uç sistemin ATM ağına bağlanması için kullanılır. NNI, ATM bulutu oluşturan anahtarların birbirine bağlanması için kullanılır.



Şekil 2.3. UNI hücre formatı.



Şekil 2.4. NNI hücre formatı.

ATM hücreleri düğümden düğüme geçerken, başlık kısmı içerisinde bulunan VPI (Virtual Path Identifier) alanı 8 bit uzunluğunda olduğundan (UNI için) 256 VP (Virtual Path) belirlenebilir. NNI tarafında ise VPI 12 bit uzunluğundadır ve 4000 den daha çok VP tanımlanabilir (Çölkesen ve Örencik 2000).

#### **2.4.1.1. Genel akış kontrolü (Generic Flow Control, GFC)**

GFC alanı 4 bitten oluşur. Tanımlanmadığı sürece standart değeri 0'dır. Bu alan ilerisi için saklı tutulmuş olup genel olarak, birden çok cihazın tek bir UNI kullanmasını desteklemesi amacıyla düşünülmektedir.

#### **2.4.1.2. Sanal yol numarası (Virtual Path Identifier, VPI)**

UNI'de VPI alanı 8 bitten oluşur ve yönlendirme amacıyla kullanılır. NNI'da ise hücre başlığının ilk 12 biti VPI değerini oluşturur ve dolayısıyla daha iyi bir yönlendirme özelliği sağlar. Bir hücrede VPI alanındaki tüm bitler default olarak 0'dır.

#### **2.4.1.3. Sanal kanal numarası (Virtual Channel Identifier, VCI)**

VPI alanı ile birlikte VCI alanı, bir hücrenin yönlendirme alanını teşkil eder. Hem UNI hem de NNI'da, VCI için 16 bitlik bir alan kullanılır.

#### **2.4.1.4. Yük tipi (Payload Type Identifier, PT)**

Hücrelerin içinde taşınan verinin (kullanıcı bilgisi, ağ bilgisi, yönetim bilgisi) ne tür bilgi içerdiğini gösterir. Bunun yanı sıra iletim anında tıkanma meydana geldiğinde bunun belirtilmesi için de kullanılır. PT için 3 bitlik bir alan ayrılmıştır.



#### **2.4.1.5. Hücree kayıp önceliği (Cell Loss Priority, CLP)**

Bu bir bitlik alan hücelere öncelik vermek için kullanılır. Eğer değer '1' ise önceliği düşük, '0' ise önceliği yüksektir. İletim anında tıkanma oluşursa düşük öncelikli hüceler yoldan çıkarılır. CLP değer, kullanıcı veya servis sağlayıcısı tarafından belirlenebilir.

#### **2.4.1.6. Başlık hata kontrolü (Header Error Control, HEC)**

HEC hücrenin başlık kısmı için hata kontrolü amacıyla kullanılır. Hata kontrolünde CRC (Cyclic Redundancy Check) algoritması kullanılır.

### **2.5. Trafik Sınıfları**

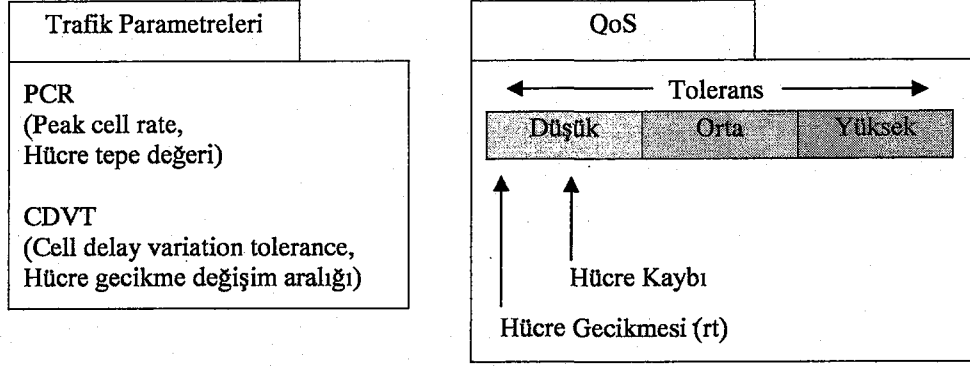
Farklı servis sınıflarının tanımlanmasındaki temel düşünce, trafik üreten kullanıcı uygulamaları ile bu trafiği taşıyan ağ arasında mümkün olduğunca fazla bilgi aktarımı yapabilmek ve böylece ağın daha verimli kullanılmasına imkan tanımaktır. Tablo 2.3'de görüldüğü gibi ATM'de 5 adet servis sınıfı tanımlanmıştır (Çeken 2004).

Tablo 2.3. ATM servis sınıfları ve uygulama örnekleri.

ATM Servis Sınıfları	Servis Sınıfı	Servis Tipi	Uygulama Örneği
CBR	Sınıf A	Ses	Telefon konuşmaları Ses dağılımı (örneğin, radyo) Ses(audio) kütüphanesi Sesli mail
		Video	Video konferansı Video dağılımı (örneğin, televizyon) İsteğe bağlı video
rt-VBR	Sınıf B	Ses	Sesli mail Paketlenmiş ses kullanarak telefon konuşmaları
		Video	Videotex NTSC-kaliteli TV HDTV-kaliteli TV
nrt-VBR	Sınıf C	Veri	Havayolu rezervasyonu Banka işlemleri Çerçeve iletim internet çalışması
UBR	Sınıf C ya da Sınıf D	Veri	E-mail Dosya transferi Kütüphane işlemleri Uzak terminal erişimi
ABR	Sınıf C ya da Sınıf D	Veri	Kritik veri transferi (savunma bilgisi) NFS
GFR	Sınıf C	Veri	Dosya transferi

### 2.5.1. Sabit bit hızı (Constant Bit Rate, CBR)

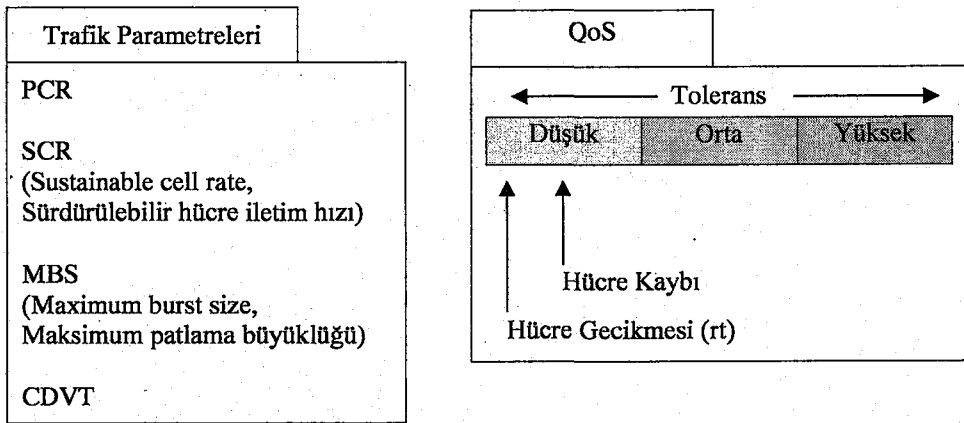
CBR, sabit bant genişliği miktarı gerektiren uygulamalar için kullanılır. Bant genişliği miktarı PCR (Peak Cell Rate) değeri ile belirlenir. CBR servis sınıfı hücre gecikmesi, hücre kaybı ve hücre gecikme değişimine (jitter) duyarlı gerçek zamanlı uygulamalar için kullanılır. Telefon trafiği, video konferans ve televizyon trafiği CBR servis sınıfına örnek olarak verilebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. CBR servis sınıfı için trafik parametreleri.

### 2.5.2. Gerçek zamanlı değişken bit hızı (real time Variable Bit Rate, rt-VBR )

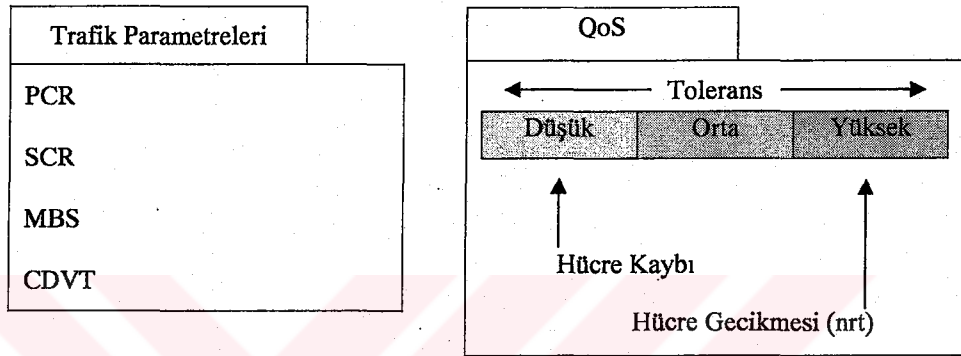
rt-VBR servis sınıfı gerçek zamanlı uygulamalar için tasarlanmıştır. Hücre gecikmesi ve gecikme değişimine duyarlı, sabit bant genişliği ihtiyacı olmayan uygulamalar için kullanılır. Zaman içerisinde çok ani trafik değişimi gösteren (patlamalı) gerçek zamanlı uygulamalar için tanımlanmıştır. rt-VBR bağlantılar PCR, SCR ve MBS ile karakterize edilir. MBS hücre sayısı ile ölçülürken, SCR ortalama hücre hızını ölçer (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. rt-VBR servis sınıfı için trafik parametreleri.

### 2.5.3. Gerçek zamanlı olmayan değişken bit hızı (non-real time Variable Bit Rate, nrt-VBR)

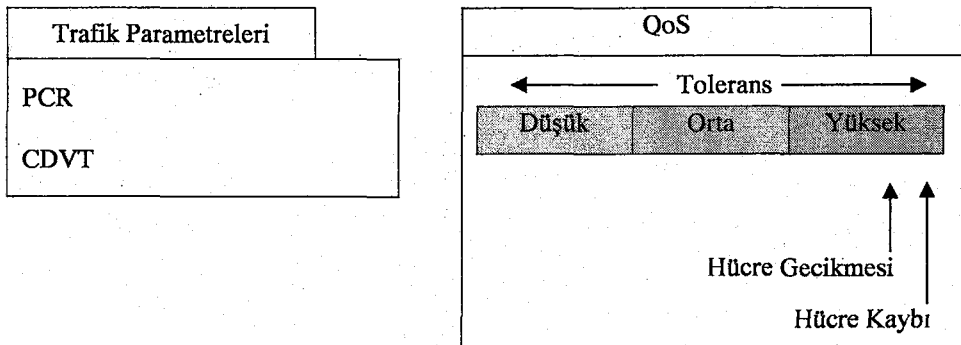
nrt-VBR servis sınıfı patlamalı trafiklerde ve gerçek zamanlı olmayan uygulamalarda kullanılır. PCR, SCR, ve MBS ile karakterize edilir. Bu servis sınıfı uygulamaları hücre kaybına duyarlıdır fakat hücre gecikmesi sorun teşkil etmez.



Şekil 2.7. nrt-VBR servis sınıfı için trafik parametreleri.

### 2.5.4. Belirsiz bit hızı (Unspecified Bit Rate, UBR)

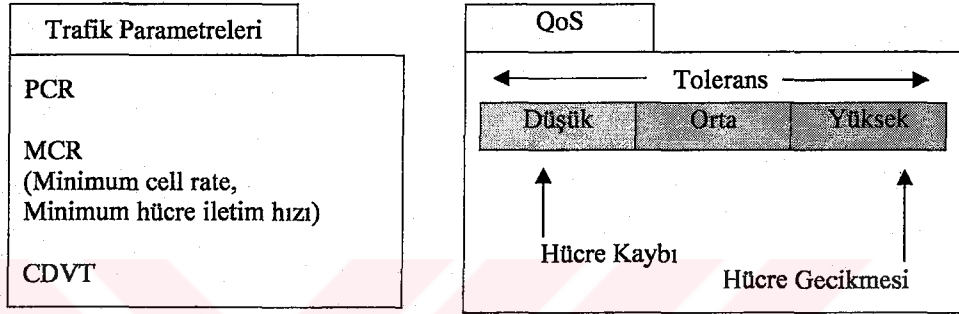
UBR servis sınıfı gerçek zamanlı olmayan uygulamalar için tasarlanmıştır ve hücre gecikmesine duyarlı değildir. UBR servisi herhangi bir garanti sağlamaz (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. UBR servis sınıfı için trafik parametreleri.

### 2.5.5. Kullanılabilir bit hızı (Available Bit Rate, ABR)

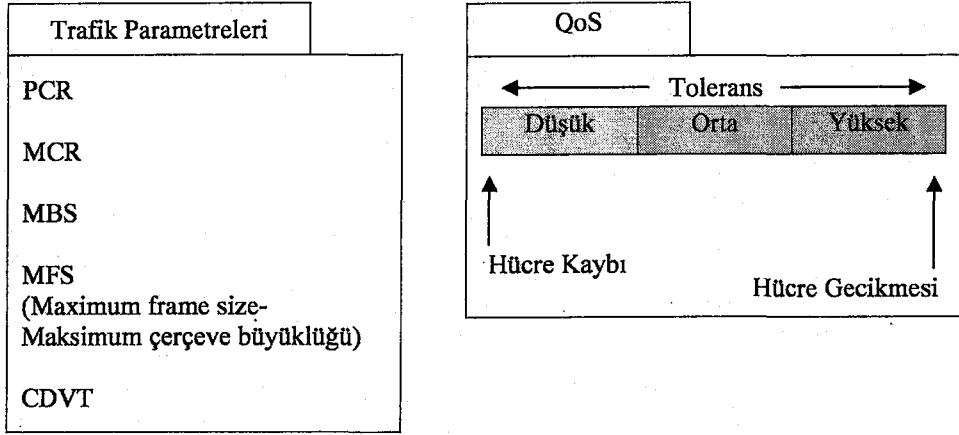
ABR servis sınıfı gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılmaz. ABR'ın amacı, kullanılmayan ağ bant genişliğine hızlı erişim sağlamaktır. Minimum hücre iletim (MCR) hızı ile ölçülen bant genişliğini garanti eder. Hücre kaybına duyarlı trafıklara hizmet vermek için kullanılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. ABR servis sınıfı için trafik parametreleri.

### 2.5.6. Garanti edilmiş çerçeve hızı (Guaranteed Frame Rate, GFR)

GFR servis sınıfı, gerçek zamanlı olmayan uygulamaları desteklemek için tasarlanmıştır. Amaç, dinamik olarak tahsis edilmiş ilave bant genişliğine ek olarak uygulamalar için minimum garanti edilmiş hız sağlamaktır. GFR servisi, PCR, MCR, MBS ve MFS özellikleri için uç sisteme ihtiyaç duyar (Şekil 2.10). GFR servis sınıfı ATM katmanında tanımlanabilen çerçeve formatında organize olan kullanıcı veri hücreleri gerektirir. Böylelikle herhangi bir ağ tıkanmasında tüm çerçeve atılabilir (Pildush 2001).



Şekil 2.10. GFR servis sınıfı için trafik parametreleri.

Yukarıda verilen ATM servis sınıflarında kullanılan trafik tanımlayıcıları ve servis kalitesi (Quality of Service, QoS) parametreleri şunlardır:

- PCR: Kaynağın belirli bir aralıkta ilettiği en fazla hücre sayısıdır. Bir saniyede iletilen hücre sayısı ile ölçülür.
- SCR: Patlamalı trafik kaynağı için en yüksek ortalama iletim hızıdır. Bir saniyede iletilen hücre sayısı ile ölçülür.
- MBS: Tepe hızında (PCR) bir defa da iletebilen en fazla hücre sayısıdır.
- MCR: Herhangi bir aralıkta kaynağın ilettiği en düşük hücre sayısıdır.
- CDVT: Kabul edilebilir en yüksek hücre gecikme değişimini ifade eder. PCR ve SCR değişkenleri için kullanılır. Hücre gecikme değişimine (jitter) üst sınır koymak için kullanılır.

Servis Kalitesi bir sanal bağlantı üzerinden geçen trafiği karakterize eden ve kullanıcı tarafından algılanan ATM performans parametrelerine karşılık gelmektedir.

- Hücre kayıp oranı (Cell Loss Ratio, CLR): Kaybolan hücrelerin gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.
- Hücre hata oranı (Cell Error Ratio, CER): Hatalı hücrelerin gönderilmiş olan toplam hücrelere oranıdır.

- Hücree iletim gecikmesi (Cell Transfer Delay, CTD): Sanal bir bağlantı üzerinden kaynaktan alıcıya iletilecek bir hücrenin transfer süresidir.
- Hücree gecikme değışimi (Cell Delay Variation, CDV): Bir hücrenin gerçek transfer gecikme zamanı ile beklenen gecikme zamanı arasındaki farktır.

## 2.6. Sanal Devreler

ATM ağda hücre aktarımı sanal devreler (virtual circuit) üzerinden gerçekleştirilir. Yani iletişimde bulunacak iki düğüm arasında aktarım işlemi yapılabilmesi için, önceden, ilgili iki düğüm arasında sanal devre kurulmuş olmalıdır. Sanal devrelerin oluşturulmasında iki farklı yol izlenmektedir. Birincisinde iletişimden hemen önce sanal devrenin kurulması ve aktarım işlemi bittikten sonra kaldırılması şeklinde olurken; ikincisinde ise, sanal devre sistem konfigürasyonu aşamasında kurulur ve silinmediği sürece öyle kalır. Birinci yöntem anahtarlama sanal devre (Switched Virtual Circuit, SVC). İkinci yöntem ise kalıcı sanal devre (Permanent Virtual Circuit, PVC) olarak adlandırılır.

### 2.6.1. Anahtarlama Sanal Devre (SVC)

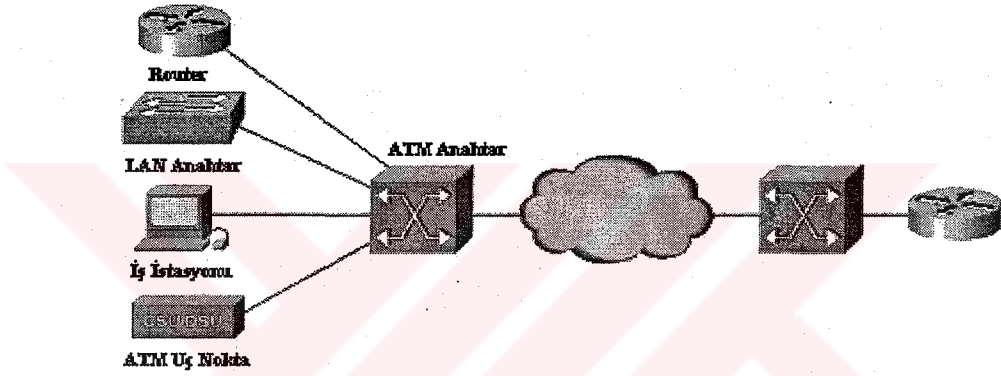
Anahtarlama sanal devre gerektiği anda kurulur ve işi bitince sonlandırılır. Böylece düğümler arasında esnek iletişim kanalları oluşturulması sağlanır. ATM ağ içindeki bir düğüm gerektiği anda bir başka düğümlerle arasında SVC (Switched Virtual Circuit) kurar ve iletişimini gerçekleştirir.

### 2.6.2. Kalıcı Sanal Devre (PVC)

Kalıcı sanal devre, sistem konfigürasyonu sırasında veya sistem konfigürasyonu düzeyinde önceden kurulur ve sistem işletilmeye başladığı andan itibaren sürekli kalır. Böylece, aralarında PVC (Permanent Virtual Circuit) tanımlı düğümler birbirleriyle haberleşmek istediğinde halihazırda aralarında sanal devre olduğu için doğrudan aktarıma başlarlar (Çölkesen ve Örencik 2000).

## 2.7. ATM Araçları

Bir ATM ağı; ATM anahtar ve ATM uç noktalardan oluşur (Şekil 2.11). ATM anahtar, ATM ağıdaki hücre aktarımından sorumludur. ATM uç noktasından ya da diğer uç noktalardan gelen hücreleri alır, hücre başlık bilgisini okur ve hedefe doğru çıkış arayüzünden hızlıca anahtarlar. ATM uç nokta, ATM ağ arayüz adaptörü içerir. ATM uç noktalara örnek olarak; çalışma istasyonu, yönlendirici, sayısal servis birimi (DSUs), LAN anahtarlar, video kodlayıcı ve kod çözücüler (CODECs) verilebilir.



Şekil 2.11. ATM anahtar ve ATM uç noktadan oluşan ATM ağı.

## 2.8. Sonuç

ATM teknolojisini öne çıkaran temel özellikleri arasında;

- Aynı ağ üzerinden ses, veri, video gibi farklı türde trafikleri desteklemesi,
- İletimde küçük ve sabit boyutlu hücreler kullanılarak yüksek iletim hızı sağlanması,
- ATM teknolojisiyle üretilen anahtarlama cihazlarının, sabit boyutlu hücre kullanılması nedeniyle daha basit tasarlanabilmesi,
- Kullanıcı sayısından bağımsız anahtarlama kapasitesine sahip olarak üretilmesi sayılabilir.



## BÖLÜM 3. KABLOSUZ ASENKRON TRANSFER MODU

### 3.1. Giriş

Günümüzde yeni nesil kablosuz haberleşmenin iskeletini oluşturduğu kabul edilen kablosuz ATM düşüncesi ilk kez 1992 yılında ortaya çıkmıştır (Raychaudhuri 1996). KATM, B-ISDN ağların kablosuz olarak genişlemesi ya da gelecek nesil kişisel haberleşme ağları için düşünülen bir teknolojidir. KATM, QoS garantisi sağlanmış veri iletimini destekler.

KATM ağlar kablolu ATM ağların uzantısıdır. Mevcut ATM protokollerine, kablosuz protokol katmanlarının (Medium Access Control–MAC, Data Link Control–DLC) eklenmesi ile kablosuz ortamlar için yeni protokol mimarisi oluşturulmuş ve böylelikle kablolu ve kablosuz ortamlar arasındaki bağlantı da sağlanmıştır (Raychaudhuri 1996).

KATM'nin sunmuş olduğu önemli bazı avantajlar şunlardır:

- Uygulamanın çeşidine göre servis tipi seçimi ve esnek bant genişliği tahsisi sağlar.
- Farklı trafik türlerine servis sağlar.
- Veri ve çoklu ortam kaynaklarının hızlı ve verimli olarak iletimini sağlar.
- Çoklu ortam uygulamalarının kablosuz ortamda ihtiyaç duyduğu QoS desteğini sağlar.
- Belirli bir alan içerisinde kullanıcıların her yerden ATM ağa kablosuz erişimini sağlar.
- Kablolu ve kablosuz ağlar üzerinden geniş bant servisleri destekler.
- Hücreler arası anahtarlama için mevcut ATM anahtarlama ekipmanlarının kullanılmasına olanak sağlar (Ayanoğlu 1996).

### 3.2. KATM Mimarisi

Kablosuz sistemler hem sabit terminallerden hem de hareketli terminallerden oluşabilmektedir. Bundan dolayı kablosuz sistemlerin tasarımında sabit kablosuz haberleşme ile hareketlilik iki ayrı parça olarak ele alınmaktadır. KATM sistemlerinde, sabit kablosuz haberleşme, radyo erişim katmanı; hareketli haberleşme ise hareketli ATM başlıkları altında incelenmektedir.

- Radyo Erişim Katmanı (Radio Access Layer, RAL): Kablosuz ortamlar üzerinden ATM servislerinin dağıtımını (fiziksel katman, ortama erişim kontrolü, veri bağı kontrolü) gerçekleştirir.
- Hareketli ATM (Mobile ATM): Terminal hareketleri için gerekli ağ sistemi (el değiştirme (Handoff) kontrolü, konum yönetimi, yönlendirme/servis kalite kontrolü) oluşturulur (Raychaudhuri 1996).

### 3.3. KATM Kullanım Senaryoları

Daha önce de bahsedildiği gibi KATM, kablolu ortamda ATM teknolojisi tarafından desteklenen tüm servislerin (CBR, VBR, ABR, UBR, GFR) kablosuz ortamda, ihtiyaç duyulan QoS garantisi ile birlikte sağlanmasını öngörmektedir. Bu servislerin kalitesi ATM teknolojisi tarafından sağlananların benzeri olmakla birlikte, kablosuz ortamın fiziksel yapısından kaynaklanan sınırlamalar nedeniyle en yüksek bit iletim hızları daha düşüktür. Günümüzdeki ve yakın gelecekteki geniş bant kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları Tablo 3.1'de görülmektedir (Hac 2000, Bing 2000).

Tablo 3.1. Kablosuz uygulamalar için servis ihtiyaçları.

Uygulama	Hareketlilik Derecesi	İstenen Bit Hızı	ATM Servis Türü
Telefon	Yüksek, orta, düşük	9,6 Kb/s-64 Kb/s	CBR
Video telefon/kamera uplink	Orta, düşük	384 Kb/s-6 Mb/s	CBR, VBR
E-Posta	Orta, düşük	~1 Mb/s Max.	Paket/UBR
Hareketli İnternet Erişimi	Düşük	~5-10 Mb/s Max.	Paket/UBR, VBR
Sabit İnternet Erişimi	Statik	~10-25 Mb/s Max.	Paket/UBR, VBR
İstek Anında Video	Statik	~10-25 Mb/s Max.	CBR, VBR

KATM teknolojisinin kullanılabileceği alanlar:

- Ofis Ortamı: Video konferans, çevrimiçi çoklu ortam veritabanı erişimi.
- Üniversiteler, okullar, eğitim merkezleri: Uzaktan eğitim, bilgi sistemlerine erişim.
- Endüstri: Veritabanı bağlantısı, gerçek zamanlı kontrol.
- Hastaneler: Güvenilir, yüksek bant genişliğine sahip ağlar, medikal görüntüler, uzaktan görüntüleme.
- Ev Ortamı: Cihazların (TV, CD, PC, ...) yüksek bant genişliği ile bağlanması.
- Ağ ile bağlanmış taşıtlar: Kara taşıtlarının, hava taşıtlarının v.s. birbirlerine bağlanması, akıllı yollar.

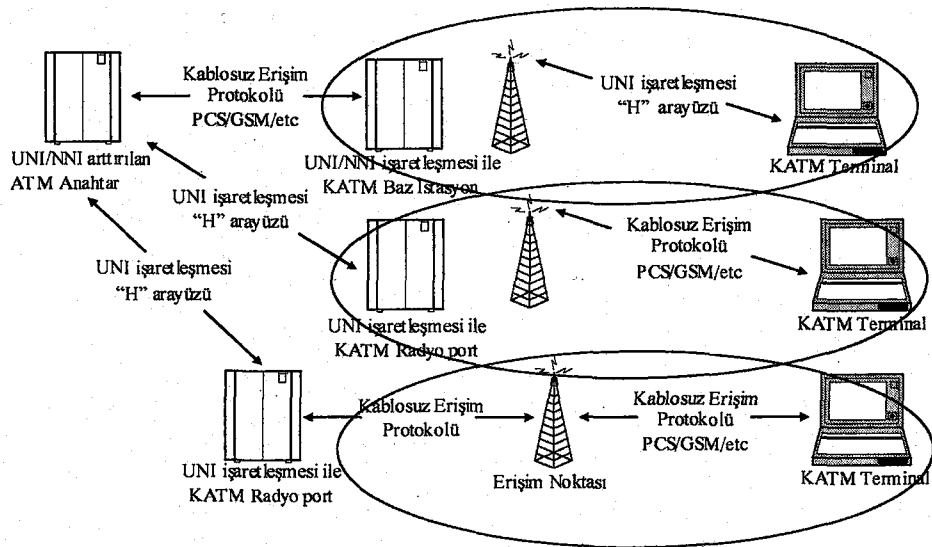
### 3.4. KATM Sistemi

#### 3.4.1. KATM ağ bileşenleri

KATM, sabit baz istasyonlarının kullanıldığı sistemlere uygulanabildiği gibi, hareketli baz istasyonlarının kullanıldığı nispeten karmaşık sistemlere ya da baz istasyonu kullanmayan daha basit sistemlere de uygulanabilir. Kullanıldığı sistemin yapısına göre KATM ağını oluşturan bileşenlerin yapıları farklılık gösterir. Üzerinde çalışılacak olan KATM sistemi, hareketli terminallerden ve bu terminallerin haberleşmesini kontrol eden sabit baz istasyonlarından oluşmaktadır (Bkz. Şekil 3.1).

Söz konusu sistemde üç temel bileşen bulunmaktadır. İlk bileşen uygulamaların çalıştırıldığı hareketli terminallerdir. Hareketli terminalde KATM radyo ağ arayüz kartı (Network Interface Card, NIC) ile radyo ve hareketlilik özellikleri eklenmiş UNI yazılım vardır. İkinci bileşen hücre içerisindeki hareketli terminallerin haberleşmesini kontrol eden radyo arayüzü ve hareketlilik desteği eklenmiş UNI/NNI yazılımına sahip baz istasyonudur. Baz istasyonu yerine erişim noktası ya da radyo portu da kullanılabilir. Radyo portu, ATM UNI ve hava arayüzünden oluşmaktadır. Erişim noktası ise sadece hava arabirimine sahiptir. Üçüncü bileşen standart UNI/NNI özelliğinin yanı sıra hareketlilik destek yazılımı eklenmiş ATM anahtarlardır.

Şekil 3.1’de gösterilen sistem iki yeni protokol arayüzü gerektirmektedir. Bunlar; hareketli/sabit kullanıcı uç birimleriyle ATM baz istasyonları arasındaki “R” kullanıcı-ağ arayüzü ve hareketlilik destekli ATM anahtarlar ile baz istasyonları arasındaki “H” UNI/NNI arayüzüdür. Uç istasyon tarafından iletilen tüm veriler, başlarına “R” arayüzü ile belirlenmiş radyo bağlantı düzeyi başlığı (Radio Link Level Header) eklenerek ATM hücrelerine ayrılırlar. Hareketlilik (el değiştirme, konum yönetimi v.s.), “H” arayüzünde tanımlanan NNI işaretleme protokol uzantıları ile sağlanır (Bayılmış 2003).

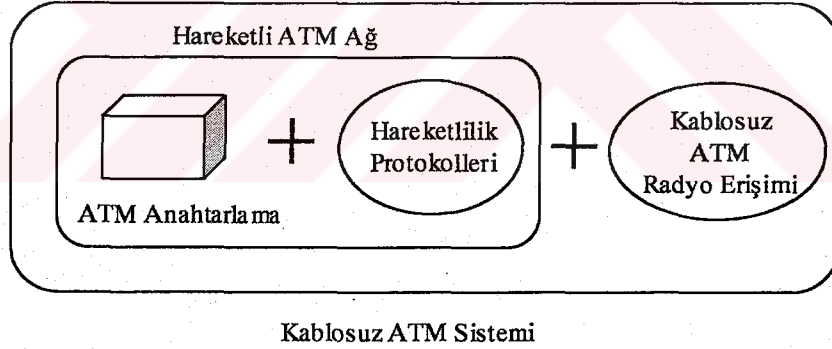


Şekil 3.1. KATM bileşenleri.

### 3.4.2. KATM protokol mimarisi

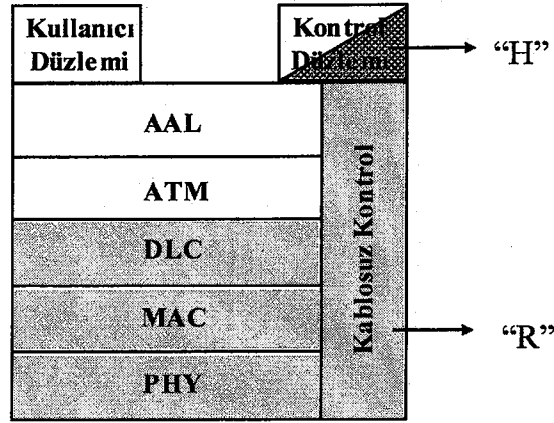
KATM, hareketli ATM ve radyo erişim katmanı olmak üzere 2 parçaya ayrılır (Şekil 3.2). Hareketli ATM, daha yüksek katman kontrol/işaretleme fonksiyonlarının ihtiyaç duyduğu hareketlilik desteğini sağlar. Bu kontrol/işaretleme, el değiştirme, konum yönetimi, yönlendirme, adresleme ve trafik yönetimini içerir. Radyo erişim katmanı, KATM erişimi için radyo bağlantı protokollerinden sorumludur. Radyo erişim katmanı, fiziksel katman, ortama erişim kontrolü, veri bağı kontrolü ve radyo kaynak kontrolünden oluşur.



Her iki kısımda birbirinden bağımsız tasarlanabilir. Bu ise çok sayıda örgütün standartlaştırma çalışmalarını kolaylaştırır ve hareketli ATM ağ yapısını değiştirmeye gerek kalmaksızın, radyo erişim teknolojilerinin aşamalı olarak gelişimine izin verir (Raychaudhuri 1999).



Şekil 3.2. KATM sisteminin modüler protokol yapısı.

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi KATM protokol mimarisi standart ATM protokol katmanlarına kabloşuz ortamdaki hata kontrol işlemleri için DLC, kabloşuz ortam erişim kontrol işlemleri için MAC ve kabloşuz kontrol katmanlarının eklenmesinden oluşmaktadır.

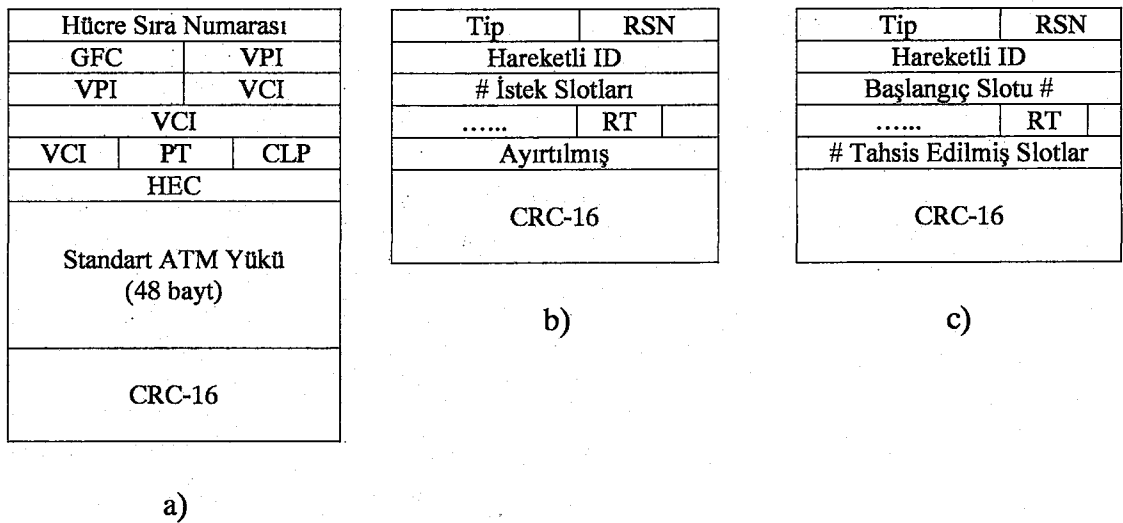


-  Hareketlilik "H" özelliği.
-  Radyo Erişim "R" özelliği.

Şekil 3.3. KATM protokol mimarisi.

### 3.4.2.1. Radyo erişim katmanı

KATM radyo erişim alt sistemi, Şekil 3.3'deki protokol mimarisinde görüldüğü gibi fiziksel katman, MAC, DLC ve kablosuz kontrol olmak üzere 4 temel kısımdan oluşur (Raychaudhuri 1999).



Şekil 3.4. a) KATM hücresi, b) Bağlantı istek paketi, c) Bağlantı tahsis paketi.

Şekil 3.4’de, radyo bağlantı yönetimi ve DLC onayları için kullanılan ilgili kablosuz kontrol paketleri ve KATM veri hücreleri için örnek formatlar gösterilmektedir.

KATM hücre, ATM hücresinden farklı olarak DLC hata kontrolü için 2 bayt CRC (Cyclic Redundancy Check) ve hücre sıra numarası için 1 bayt olmak üzere 3 baytlık bir ilave içerir. Kablosuz kontrol mesajlarının, erişim noktası ve hareketli terminal arasında kablosuz bağlantı seviye kontrol fonksiyonları desteğine ihtiyacı vardır (Raychaudhuri 1999).

#### **3.4.2.1.1. Fiziksel katman (PHY)**

KATM’nin genel olarak 5 GHz bandında çalışacağı düşünülmektedir. Bu frekans bandı FCC (Federal Communications Commission) tarafından NII (National Information Infrastructure) lisanssız bandı ve CEPT (Confergence of European Post and Telecommunications administrations) tarafından HYPERLAN bandı olarak ayrılmıştır. Bununla birlikte; devam eden projeler çerçevesinde geliştirilen KATM sistemleri 20 GHz, 30 GHz ve 60 GHz frekanslarını da kullanmaktadır (Çeken 2004).

Fiziksel katman, bir optik gönderici/alıcı çifti veya bir radyo vasıtasıyla fiziksel ortam üzerinden verinin gönderilmesi işini gerçekleştirir. Radyolar patlama ve çoklu erişim modunda 20 Mbit/s hızında çalışırlar (Ayanoglu 1996).

KATM’nin, 100-500 metrelik alanda radyo sinyalleri ile mikro ve piko hücrelerde 25 Mbit/s veri iletim hızını desteklemesi düşünülmektedir.

KATM’nin fiziksel katmanı için, kare faz kaymalı anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK), kare genlik modülasyonu (Quadrature Amplitude Modulation, QAM), Dikey Frekans Bölmeli Çoklama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) ve Spread Spectrum (CDMA) modülasyon çeşitleri kullanılabilir (Raychaudhuri 1996).



### 3.4.2.1.2. Ortam erişim kontrolü (MAC)

MAC, çok sayıda terminal tarafından radyo kanal kullanımının paylaşımını sağlar. KATM ağlarda kullanılan MAC protokolü ABR, VBR, CBR ve UBR servis sınıflarını ihtiyaç duyulan QoS garantisi ile desteklemelidir (Raychaudhuri 1996).

MAC teknikleri, kanal paylaşırma yöntemine göre; sabit kanal ayırma (Fixed Assignment), rastgele kanal ayırma (Random Assignment) ve isteğe göre kanal ayırma (Demand Assignment) olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflara ait pek çok sayıda kanal erişim protokolü vardır. Hepsinin avantajları, sınırları ve kanal trafiğine göre performansları farklıdır. Bazıları paket yönlendirmeli, bazıları kanal yönlendirmelidir. Yaygın olarak kullanılan kablosuz MAC protokolleri; dinamik TDMA/TDD, ALOHA, CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance), DQRUMA (Distributed Queuing Request Update Multiple Access), DSA++ (Dynamic Slot Assignment Protocol), PRMA/DA (Packet Reservation Multiple Access with Dynamic Allocation)'dır (Ayanoğlu 1996).

Bir sonraki bölümde kablosuz erişim teknikleri üzerinde durularak MAC protokolleri daha detaylı olarak açıklanmaktadır.

### 3.4.2.1.3. Veri bağı kontrolü (DLC)

ATM katmanına servis sağlayan DLC katmanı, hücreler fiziksel katmandan ATM katmanına gönderilmeden önce olası hataların önlenmesinden sorumludur. DLC katmanında servisleri hatalara karşı koruma amacıyla FEC, ARQ (Automatic Repeat Request) ya da bunların birleşiminden oluşan yöntemler kullanılabilir. FEC yöntemi alıcı tarafında hatayı bulma ve düzeltme esasına göre çalışır. Düşük sabit gecikme sağlayabildiği için özellikle gerçek zamanlı trafikler için uygundur. Bit hata oranı düşük olan ortamlar için FEC yönteminin kullanılması daha uygundur. ARQ ise hatalı paketlerin yeniden gönderilmesi prensibine göre çalışır. Sadece hatalı olarak alınan paketler yeniden gönderilir. Değişken gecikmeli iletim sağladığından gerçek



zamanlı uygulamalar için uygun değildir. Bit hata oranı yüksek olan ortamlar için ARQ yöntemi nispeten daha iyi sonuç verir (Çeken 2004).

#### **3.4.2.1.4. Kablosuz kontrol**

Kablosuz kontrol katmanı, bağlantı kurulumu sırasında radyo kaynaklarının hareketli terminallere ayrılmasından ve bu kaynakların el değiştirme esnasında yönetilmesinden sorumludur.

Kablosuz kontrol katmanının başlıca fonksiyonları terminal hareketi, el değiştirme kontrolü, radyo kaynak yönetimidir. Bu katmanın diğer bir fonksiyonu da minimum hücre kaybı ile el değiştirme işlemini gerçekleştirmek için bir radyo portundan diğerine transfer yapmaktır (Ayanoglu 1996).

#### **3.4.2.2. Hareket destekli ATM**

Hareketli ATM'nin temel fonksiyonu, terminallerin bulunduğu yerlerin haritasını oluşturmak için konum yönetimini (location management), terminal hareketi esnasında sanal devrelerin güzergahlarını değiştirme işlemi olan el değiştirme kontrollerini ve yönlendirme işlevlerini yerine getirir. Hareketli ATM, özel radyo erişim teknolojisinin kullanımından bağımsız olarak tasarlanır.

##### **3.4.2.2.1. Konum yönetimi**

Hareketli ATM sisteminde kullanıcı terminali, kendisine hizmet veren herhangi bir baz istasyonundan bir başka baz istasyonunun hizmet bölgesine hareket edebilir. Bu nedenle; hareketli kullanıcının nerede olduğu, aktif erişim noktasının (AP) hangisi olduğu v.b. gibi bir çok konum fonksiyonları gereklidir. Konum yönetimi bu fonksiyonların yerine getirilmesinden sorumludur.

Konum yönetimi; IS-41 standardı, ev konum kaydedicisi (Home Location Register, HLR) ve ziyaretçi konum kaydedicisi (Visitor Location Register, VLR) olarak adlandırılan veritabanlarını kullanır.

Konum yönetiminin terminallerin bulunduğu yerin haritasını çıkarabilmesi için her bir terminalin bir ad (Name) ve yerel adres (Routing\_id) sahibi olması gerekir. Hareketli terminalin adı ATM son sistem adresidir, bu ad sabittir ve terminal hareket ederken değiştirilemez. Terminal ağa bağlandığında adı anahtar tarafından bildirilir ve diğer anahtarlara eklenir. Hareketli terminal hareket sırasında farklı anahtara eklendiğinde bir yerel adres tahsis edilir. Haritalamada bu adres kullanılır (Ayanoğlu 1996).

#### **3.4.2.2.2. El değiştirme**

Kullanıcılar bir baz istasyonu kapsama alanından diğer baz istasyonunun kapsama alanına geçtiğinde aktif bağlantıların dinamik olarak sürdürülmesini sağlar.

KATM ağlarda, bir hareketli terminal, başka bir terminal ile haberleşmek için bir sanal devre kurar. Hareketli terminal bir erişim noktasından başka bir erişim noktasına taşındığında uygun el değiştirme gerektirir. Hücre iletiminde minimum kesilme, eski veri yolundan yeni veri yoluna aktif sanal devrenin verimli olarak anahtarlanması ihtiyacı vardır. Anahtarlama mevcut terminale yeni sanal devre kurmaya yeterli hızda olmalıdır.

El değiştirme meydana geldiğinde, geçerli servis kalitesi, yeni veri yolu tarafından desteklenmeyebilir. Bu durumda yeni servis kalitesi kurmak için bir görüşme gerekir. Bir terminal birkaç erişim noktasının erişim alanı içinde olabilir, bu durumda servis kalitesi en iyi olan seçilir.

El değiştirme süresince, eski yol bırakılır ve yeni yol sonra tekrar kurulur. Bu işlem sırasında bazı hücrelerin kaybedilmesi mümkündür (bağlantı koptuğunda). Hücre kaybını önlemek için hücre tamponlaması kullanılır (Raychaudhuri 1996).

### **3.4.2.2.3. Yönlendirme**

Hareketli haberleşmede kullanıcılara servis veren baz istasyonları zamanla değişebilir. Kablolu ortamlarda kullanılan yönlendirme algoritmaları bu tür dinamik yapılar için yeterli değildir. Bu nedenle hareketli ATM ağı için yeni yönlendirme algoritmaları geliştirilmelidir. Kullanılacak yönlendirme algoritması ağın kablosuz ve kablolu bölümlerini desteklemelidir.

### **3.5. Sonuç**

ATM teknolojisinin kablolu ortamdaki başarısı ve standart olarak yaygın kullanımı, kablosuz haberleşme için de kullanılabilceğini göstermektedir. 1992 yılından itibaren KATM zerine yapılan çalışmalar neticesinde henüz standart bir yapı oluşturulamamıştır. Bu bölümde KATM kullanım senaryoları, ağ yapısı, ağ bileşenleri ve protokol mimarisi ayrıntılı olarak verilmektedir.

## **BÖLÜM 4. KABLOSUZ ERİŞİM YÖNTEMLERİ**

### **4.1. Giriş**

Kablosuz ortamın en büyük sorunlarından biri de bant genişliği açısından oldukça sınırlı kaynaklara sahip olmasıdır. Bir kablosuz sistemden beklenen, uygulamanın türüne ve kullanıcı sayısına bağlı olarak sınırlı bant genişliğini kullanıcılara mümkün olduğunca etkin bir şekilde paylaşmasıdır. Kablosuz sistemler, sınırlı bant genişliğini kullanıcılara tahsis etmek için ortam erişim kontrol protokolleri kullanırlar. Kablosuz ortam erişim teknikleri; çoklama, çoklu erişim ve kanal paylaşırma yöntemleri olmak üzere üç farklı kritere göre sınıflandırılmaktadır.

Bu bölümde çoklama ve çoklu erişim yöntemleri verilmektedir. Ayrıca tez çalışmasının temelini oluşturan TDMA/FDD tekniğine dayalı MAC-GB protokolünün özellikleri incelenmektedir.

### **4.2. Çoklama Yöntemleri**

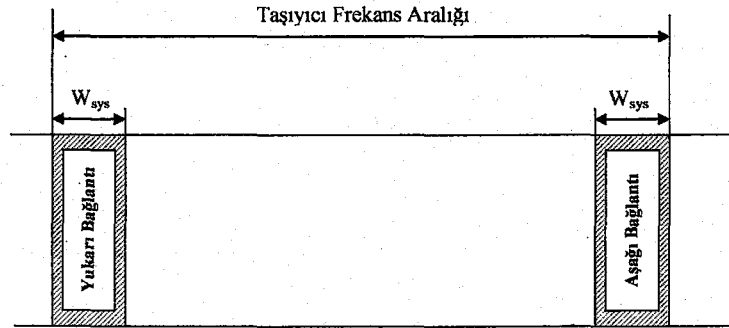
Haberleşme sistemlerinde iletişim için kullanılan kanal tek yönlü ya da çift yönlü olabilir. Tek yönlü kanal adından da anlaşıldığı gibi sadece bir yönde kullanılabilir. Örneğin; A ve B düğümleri tek yönlü bir kanal ile birbirine bağlanırsa, A düğümü kendi verisini B düğümüne gönderebilirken, B düğümü kendi verisini A düğümüne gönderemez. Televizyon kanalı tek yönlü kanala bir örnektir.

Çift yönlü bir kanal her iki yönlü kullanıma da elverişlidir. Çift yönlü kanal yarı çift yönlü (half-duplex) ve tam çift yönlü (full-duplex) olmak üzere iki şekildedir. Yarı çift yönlü kanal farklı zamanlarda her iki yönde bilgi gönderebilir ve alabilir. Tam çift yönlü kanal ise eş zamanlı olarak her iki yönde bilgi gönderebilir.

Kablosuz ağlarda, yarı çoklama (half-duplexing) yaygın olarak zaman bölmeli çoklama (TDD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilirken, tam çoklama (full-duplexing) frekans bölmeli çoklama (FDD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. TDD’de bir düğüm hem gönderme hem de alma işlemini yapar; ancak bu işlemi eş zamanlı olarak gerçekleştirmez. FDD’de bir düğüm eş zamanlı olarak bir kanaldan gönderme diğer kanaldan alma işlemini gerçekleştirir. Bundan dolayı FDD, iki bölünmüş frekans bandına ihtiyaç duyar (Ray 2002).

#### 4.2.1. Frekans bölmeli çoklama (FDD)

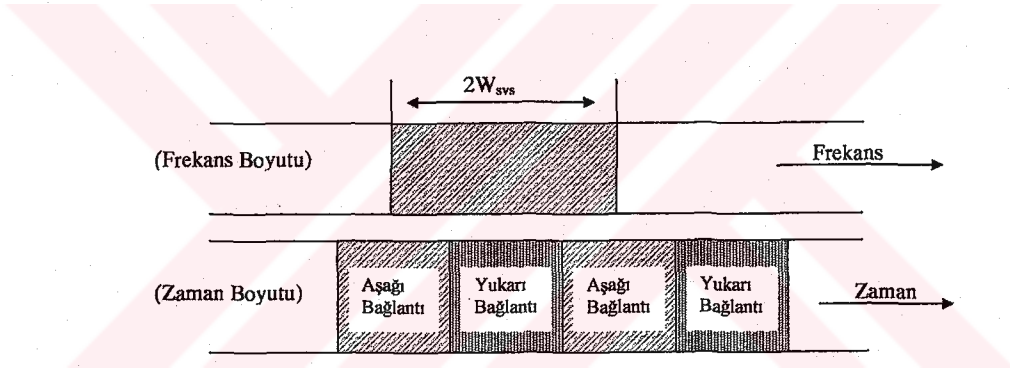
FDD (Frequency Division Duplexing) iki yönlü radyo haberleşme sistemleri için kullanılan en yaygın çoklama tekniğidir. Bunun nedeni ise yukarı yönlü ve aşağı yönlü sinyalleri filtreler yardımıyla kolayca ayrabilmesidir. Çoğu hareketli haberleşme sistemi FDD’yi kullanır. Şekil 4.1’de örnek bir frekans tahsisi ve modem konfigürasyonu görülmektedir. FDD sistemlerde yukarı bağlantı (uplink) ve aşağı bağlantı (downlink) için farklı frekans bantları kullanılır. Bunun dışında gönderme ve alma aynı anten üzerinden gerçekleştirilir. Bu yüzden yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı bantlarını ayıran bir çoklayıcı kullanılır. Taşıyıcı frekans boşluğu yeterince geniş olmalıdır. Dar taşıyıcı boşluğu yüksek Q kalite faktörüne sahip çoklayıcı filtresi gerektirir (Stavroulakis 2003).



Şekil 4.1. FDD sistemin spektrum tahsisi.

#### 4.2.2. Zaman bölmeli çoklama (TDD)

TDD (Time Division Duplexing) iki yönlü radyo sistemlerinde kullanılan diğer bir çoklama tekniğidir. Bu teknikte baz istasyonu ve terminal aynı radyo frekans kanalından farklı zaman bölümlerinde sinyal iletirler. TDD sistemler yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için aynı frekans bandını kullanır (Şekil 4.2). Çünkü her bir sinyal FDD sistemin yarı periyodunda veri iletir. Her bir bağlantı için kullanılan bant genişliği FDD'nin iki katıdır. Dolayısıyla FDD ve TDD için toplam bant genişliği aynıdır. TDD'nin en önemli özelliklerinden bir tanesi çoklayıcı gerektirmemesidir. Zira, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı sinyalleri zaman boyutunda ayrılmıştır. Bununla birlikte TDD sistemleri TDMA'da olduğu gibi koruma süresi gerektirir (Stavroulakis 2003).



Şekil 4.2. TDD sistemin spektrum tahsisi.

#### 4.2.3. Kod bölmeli çoklama (CDD)

Bu teknikte ise kaynak düğüm ve hedef düğüm aynı radyo frekans kanalından aynı zaman diliminde özel bir kodlama yöntemi kullanılarak haberleşirler. "Akıllı" olarak adlandırılan bu kod (smart code), çoklu yol (multipath), gecikme yayılımı ve çoklu kullanıcılardan dolayı oluşan girişimi azaltabilir. İdeal durumda CDD (Code Division Duplexing) sistemi akıllı kod ile Shannon kapasitesine yakın bir kapasite sağlar. Bununla birlikte gerçekte akıllı kod mükemmel değildir. Dolayısıyla sistem performansı akıllı kodun yapısı sebebiyle düşer. CDD sistemi, teorik olarak gürültü sınırlıdır (noise-limited). Sistem kapasitesi çok büyük olabilir ve sadece sistemde

kullanılan akıllı kod sayısına bağlıdır. Fakat gerçekte gürültü sınırlı bir sistem yoktur, dolayısıyla CDD sistemi ortamda oluşan düşük seviye girişim tarafından etkilenir (Lee 2003).

Tablo 4.1. FDD, TDD ve CDD sistemler arasındaki karşılaştırma.

Özellikler	FDD Sistem	TDD Sistem	CDD Sistem
Gereken toplam bant genişliği	TDD ile aynı	FDD ile aynı	TDD ve FDD ile aynı
Çoklayıcı	Gerekli	Gerekli Değil	Gerekli Değil
Radyo kaynak yönetimindeki esneklik	Spektrum çiftlerinde gerekli	Esnek	Esnek
Çoklu yol bozulmalarına bağırsıklık	Daha sağlam	Daha az sağlam	Daha sağlam
Senkronizasyon gereksinimi	Senkronizasyon gerekli değil	Yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı zamanlama senkronizasyonu gerektirir.	Senkronizasyon gerekli değil
Bölge yarıçap gereksinimi	Küçük hücre ya da büyük hücre sistemlerine uygulanabilir.	Daha küçük hücre sistemlerine daha uygun	Daha küçük hücre sistemlerine daha uygun
Yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı kanalları arasındaki paylaşım	Tatmin edici değil	İstenen sinyal için tatmin edici	Tatmin edici
Gönderme çeşitliliği	Yok	Olabilir	Olabilir
Terminaller arası doğrudan haberleşme	Mümkün	Mümkün (kolay)	Mümkün

### 4.3. Çoklu Erişim Yöntemleri

Çoklu erişim birden çok kullanıcıya, birbirleri ve çevre ile girişimi en aza indirgeyecek şekilde son derece sınırlı olan bant genişliğini ve zamanı aynı anda kullanma imkanı sağlamaktadır. Yaygın olarak bilinen çoklu erişim yöntemleri şunlardır:

- Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (Frequency Division Multiple Access-FDMA)
- Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access-TDMA)
- Kod Bölmeli Çoklu Erişim (Code Division Multiple Access-CDMA)
- Uzay Bölmeli Çoklu Erişim (Space Division Multiple Access-SDMA)



#### 4.3.1. Frekans bölmeli çoklu erişim (FDMA)

FDMA hücreli sistemlerde kullanılan ilk çoklu erişim tekniklerinden biridir. Bu teknikte bant genişliği birkaç kanala bölünür ve Şekil 4.3'de görüldüğü gibi kanallar kullanıcılara dağıtılır. Kanallar sadece kullanıcılar talep ettiği zaman tahsis edilir. FDMA her bir kullanıcı için aynı anda tek bir kanal ayırır. FDMA'de tahsis edilen her bir kanal farklı frekans bandına sahiptir. Bu metod sınırlı erişime imkan tanımaktadır. Çünkü bir kullanıcı tarafından kullanılan frekans bandı diğer bir kullanıcı tarafından kullanılamaz. Şayet iletim yolu kötüyse kontrolör sistemi bir başka kanala yönlendirir. Teknik olarak uygulanması basittir fakat frekans bandını verimsiz kullanır (www.iec.org). Tahsis edilen kanal veri iletimi olsun ya da olmasın bir başka kullanıcı tarafından kullanılamaz. Aynı zamanda iki kullanıcının aynı frekans bandını kullanamaması bant genişliği israfına yol açar. Haberleşme teorisinin temel yasalarından birine göre, bir iletim ortamında birden fazla sinyal varsa, ancak bu sinyaller birbirine dik ise ortamı paylaşabilirler (Proakis 1989). İdealde farklı kullanıcılara tahsis edilen sinyaller birbirine diktir ancak pratikte bant dışı spektral bileşenler dolayısıyla tam diklik sağlanamaz. Bu durum da komşu kanal girişimini önlemek için frekans bantları arasına koruma bandı koyulur. Sistem tasarımcıları için diğer önemli bir parametre kullanılacak modülasyon tipidir.

FDMA kanallar darbant genişliğine (30KHz) sahiptir ve çoğunlukla darbant sistemlerde uygulanabilir. FDMA senkronizasyon ya da zaman kontrolü gerektirmez.

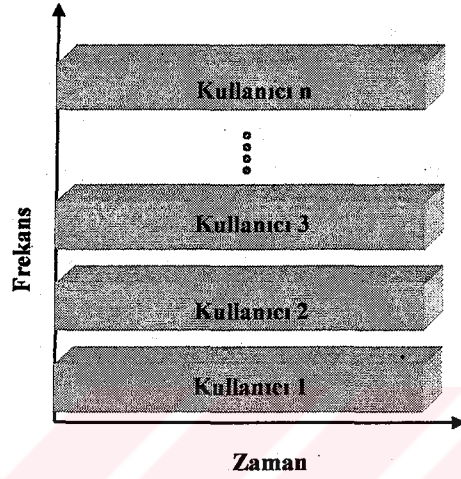
FDMA daha çok analog sistemlerde kullanılır. Dijital sistemlerin sağlamış olduğu avantajlardan tamamen faydalanmak için FDMA tekniği iyi bir çözüm değildir.

FDMA'nın avantajları; frekansta yayılımın çok olması, evreuyumlu bant genişliğine ihtiyacı olmaması, kısa yakalama zamanı, doğal (inherent) güvenliği ve yakın-uzak alan etkisinin az olmasıdır.



Dezavantajları ise; donanımsal karmaşıklık ve hata düzeltme algoritmalarına ihtiyaç duymasındır.

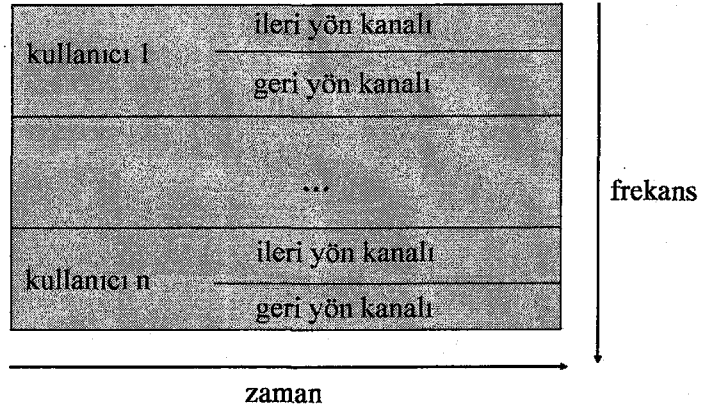
FDMA çoklama yöntemlerinden FDD ve TDD ile birlikte kullanılabilir.



Şekil 4.3. Frekans bölmeli çoklu erişim.

#### 4.3.1.1. FDMA/FDD

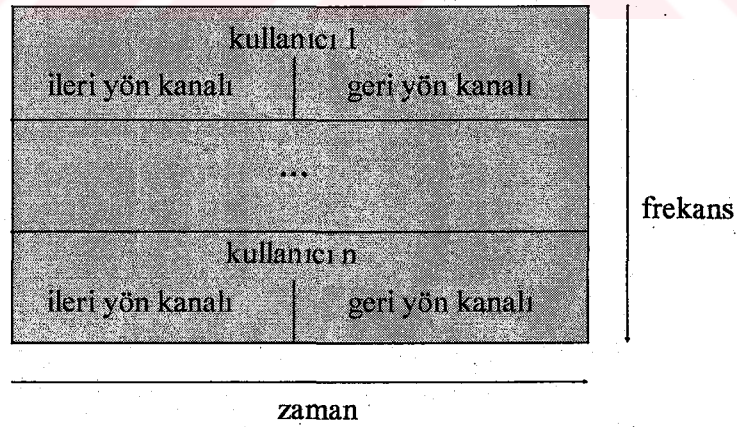
Bu yöntem ile toplam frekans bandı küçük frekans aralıkları şeklinde slotlara ayrılır. Slotlar TDMA'den farklı olarak zaman değil frekans içerir. Kullanıcı kendisine tahsis edilen frekans slotlarının bir kısmını ileri yön kalan kısmını ise geri yön haberleşme için kullanır (Şekil 4.4). FDMA ve FDD'nin birlikte kullanılması ile eş zamanlı alma ve gönderme gerçekleşebilir. FDMA sistemlerde çoklayıcı gereksinimi sistemin maliyetini artırır.



Şekil 4.4. FDMA/FDD mantıksal ayırma.

#### 4.3.1.2. FDMA/TDD

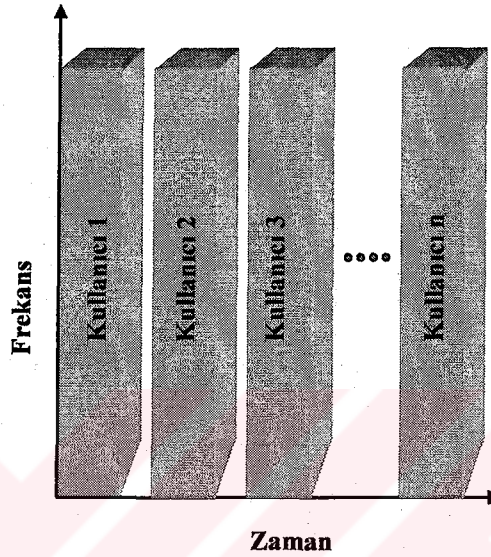
FDMA ve TDD'nin birlikte kullanılmasıyla alıcı ve verici antenlerin yalıtılmasını gerektirecek eş zamanlı alışı ve veriş önlenmiş olur (Şekil 4.5). Bu durumda baz istasyonu ve gezici istasyon aynı frekans bandında haberleşebilir (Stavroulakis 2003).



Şekil 4.5. FDMA/TDD mantıksal ayırma.

### 4.3.2. Zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA)

TDMA belirli sayıdaki kullanıcının tek bir radyo frekans kanalına, farklı zaman dilimlerinde (slot), erişimini sağlayan sayısal iletim teknolojisidir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Zaman bölmeli çoklu erişim.

Sayısal haberleşme sistemlerinde sürekli bir iletim söz konusu değildir. Bu nedenle kullanıcılara ayrılan bant genişliği iletim zamanının her anında kullanılmaz. Bu tür sistemler için TDMA FDMA'ye alternatif bir erişim tekniğidir. GSM TDMA tekniğini kullanır. TDMA yönteminde tüm bant genişliği sonlu bir süre için belirli kullanıcıya aittir. Çoğu durumda kullanılabilir bant genişliği, FDMA'ye oranla daha az kanala bölünür ve kullanıcılar tüm kanal bant genişliğini kullanabildikleri zaman slotlarına yerleştirilirler. TDMA'de kullanıcılar aynı bant genişliğini paylaştıkları için dikkatli senkronizasyonun sağlanması gerekir. Daha az kanal olduğu için kanallar arası girişim önemsizdir. Bu yüzden kanallar arası koruma süresi çok küçüktür. Koruma süresi TDMA patlamaları arasındaki boş süredir. TDMA'de alıcı filtreleri, FDMA'deki bant geçiren filtreler yerine zaman pencerelerine dönüşür. Sonuç olarak haberleşmedeki girişim önleyici koruma süresi senkronizasyon süresi kadar küçük olur. TDMA sisteminde genel olarak zaman bölmeleri arasında 30-50  $\mu$ s'lik koruma

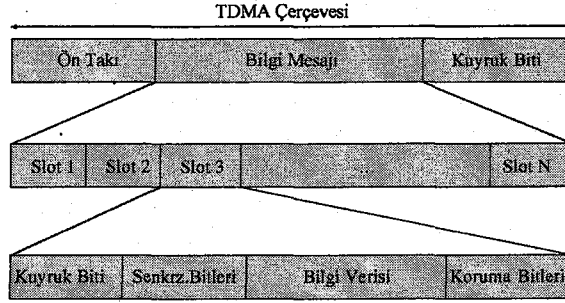
süreleri kullanılır. Tüm kullanıcılar bu koruma süresi içinde baz istasyonu ile senkronize olmak zorundadırlar. Bu ise baz istasyonu yayın kanalından senkronizasyon saat sinyali yayılmasıyla gerçekleştirilebilir (Stavroulakis 2003, Jung 2002).

Hücrel haberleşmede bir kullanıcı bir hücreden diğerine hareket ettiğinde boş zaman slotu yoksa veri kaybına uğrayabilir. TDMA gönderme ve alma için farklı zaman slotları kullanır. Bu tip çoklama TDD olarak adlandırılır. TDMA TDD veya FDD ile birlikte kullanılabilir. TDD karşılıklı haberleşme düzeni, baz istasyonundan baz istasyonuna, hareketli istasyondan baz istasyonuna, yayılım yollarının benzer olduğu DECT (Dynamic Channel Selection and Allocation, dinamik kanal seçimi ve tahsisi) standardı için uygundur ve kullanılmaktadır. Hücrel uygulamada ise yüksek baz istasyon antenleri FDD'yi daha uygun bir seçenek haline getirir. Bu tür sistemlerde yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı haberleşme hatları için ayrı frekans bantları sağlanmıştır (Stavroulakis 2003).

TDMA'in avantajları; yüksek bant genişliği verimliliği, donanımsal karmaşıklığın az olması ve yakın-uzak alan etkisinin az olmasıdır. Aynı frekans bandını kullanan ve aynı anda gönderme yapan geniş-spektrum tekniklerinde kullanıcılar arasında parazit problemleri oluşmaktadır. TDMA teknolojisinde kullanıcılar zaman ekseninde ayrıldığından, aynı anda iletişim yapan kullanıcılar arasında parazit oluşmaz.

Dezavantajları ise; hata kontrolüne ihtiyaç duyması ve uzun yakalama zamanıdır. Ayrıca, senkronizasyon işlemi de önemli bir problemdir. TDMA'da her bir kullanıcı için önceden belirlenen bir "slot zamanı" bulunur. Kablosuz ortamlarda, değişik iletim yollarından dolayı "slot zamanı" farklı olacaktır. Dolayısıyla doğru "slot zamanı" ve değişik yol gecikmeleri (path time delay) TDMA'in uygulamasını zorlaştırmaktadır. TDMA'nın diğer bir dezavantajı, sinyalin göndericiden alıcıya bir çok yoldan (multipath interference) ulaşmasıdır. Bu ise parazit problemine yol açmaktadır.

Şekil 4.7’de bir TDMA çerçevesi görülmektedir. Çerçevadaki ön takı alanı, baz istasyonu ve kullanıcıların tanınması için adres ve senkronizasyon bilgileri içerir. Koruma bitleri (guard bits), farklı çerçeve ve slotlardaki alıcıların senkronize olması için kullanılır. Eğer ön takı içerisindeki bilgi değişik iletim problemleri nedeniyle bozulursa, bütün slot boşa harcanmış olur.



Şekil 4.7. TDMA çerçeve yapısı.

TDMA’da çerçeve verimliliği bilgi (information) bitlerinin toplam çerçeve bitlerine oranıdır. Bu işlem (4.1) eşitliğindeki ifade ile bulunur (Kasengulu 1998).

$$\eta_f = (1 - b_{OH}/b_T) * 100\% \quad (4.1)$$

Yukarıdaki eşitlik ifadesinde;

- $\eta_f$ .....: Çerçeve verimi.
- $b_{OH}$  . : Çerçevadaki başlık bitleri sayısı.
- $b_T$  .....: Çerçevadaki toplam bit sayısı.

$$b_T = T_f * R \quad (4.2)$$

(4.2) ifadesindeki sembollerin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

- $T_f$  ...: Çerçeve süresi.
- $R$  ...: Kanaldaki bit oranı.

$$b_{OH} = N_r * b_r + N_t * b_p + N_t * b_g + N_r * b_g \quad (4.3)$$

(4.3) ifadesindeki sembollerin açıklamaları aşağıdaki gibidir.

- $N_r$  ...: Çerçevadaki referans patlama sayısı.
- $b_r$  ....: Referans patlamadaki referans bit sayısı.



- $N_t$  ....: Çerçeveadaki trafik patlamaları sayısı.
- $b_p$  ....: Her bir slotun öntakısındaki başlık bitleri.
- $b_g$  ....: Her bir güvenlik zamanına eşit bitler.

TDMA yönteminde kanal sayısı (4.4) eşitliğindeki ifade ile bulunur.

$$N = \frac{m.(B_{tot}-2B_{guard})}{B_c} \quad (4.4)$$

$m$  = Her bir frekans kanalı tarafından desteklenen maksimum kullanıcı sayısı.

$B_{guard}$  = Güvenlik bandı.

Örnek: GSM sistem TDMA/FDD teknolojisini kullanır. Bu sistem, her biri 8 zaman diliminden oluşan çerçeve yapısına sahiptir ve her bir zaman dilimi 156,25 bit içerir.

Veri kanaldan 270,833 Kb/s hızında transfer edildiğine göre;

- Bir bit için gerekli süreyi bulunuz.
- Bir slot için gerekli süreyi bulunuz.
- Bir çerçeve için gerekli süreyi bulunuz.
- Yalnız bir slotu kullanan kullanıcı iki eşit iletim arasında ne kadar beklemelidir?

Çözüm:

$$a) \text{Bit süresi} = T_b = \frac{1}{\text{Bit Oranı}} = \frac{1}{270,833 \cdot 10^3} = 3,692 \mu sn.$$

$$b) \text{Slot süresi} = T_{slot} = 156,25 \cdot T_b = 156,25 \cdot 3,692 \mu sn = 0,577 \mu sn$$

$$c) \text{Çerçeve süresi} = 8 \cdot T_{slot} = 8 \cdot 0,577 \mu sn = 4,616 \mu sn.$$

d) Bir sonraki iletim için her kullanıcı 4,616msn. beklemelidir.

Örnek: Bir GSM zaman dilimi; 3 start-biti, 26 training-biti, 3 stop-biti, 8.25 güvenlik biti ile 58-bitlik iki trafik patlamasından oluştuğuna göre çerçeve verimliliği nedir?

Çözüm:

Zaman Dilimleri =  $6 + 8.25 + 26 + 2/58 = 156.25$  bit.

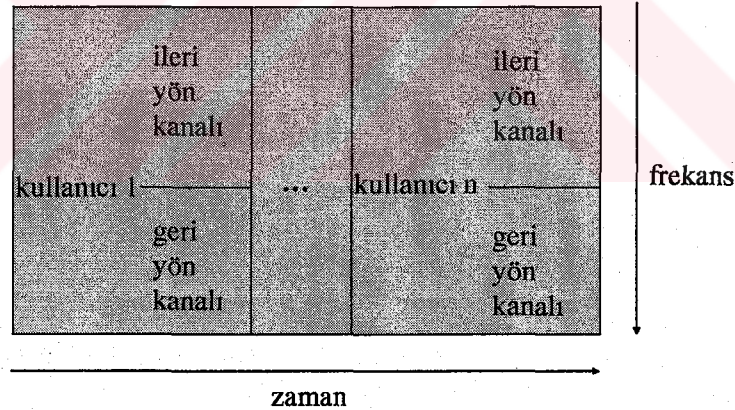
Bir Çerçeve =  $8 * 156.25 = 1250$  bit/ frame

bOH =  $8(6) + 8(8.25) + 8(26) = 322$  bit.

Çerçeve verimliliği =  $(1250 - 322) / 1250 = 74.24$  %

#### 4.3.2.1. TDMA/FDD

TDMA/FDD veriyi göndermeden önce boş bir slot bulana kadar bekler ve küçük slotlar halinde veriyi gönderir. Aşağı bağlantıda veri tüm terminallere gönderilir ve sadece ilgili terminal veriyi alır. Yukarı bağlantıda ise FDD tekniğinden dolayı farklı frekans bandı üzerinden iletim yapılır (Şekil 4.8). Terminal verisini bu frekans bandında kendine tahsis edilen zaman slotları içerisinde gönderir (Wang, Chen 2001).

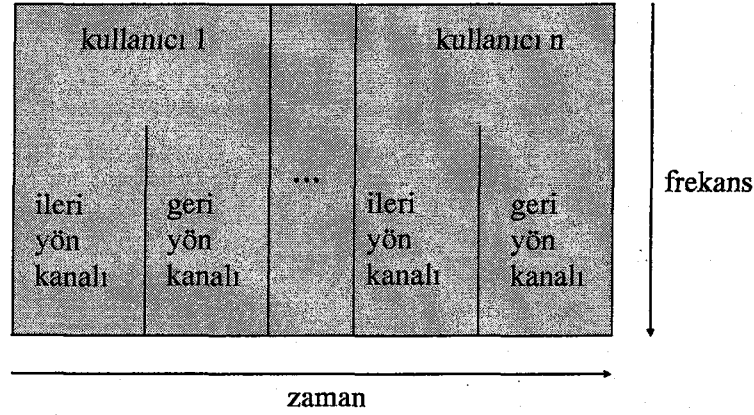


Şekil 4.8. TDMA/FDD mantıksal ayırma.

#### 4.3.2.2. TDMA/TDD

TDMA/TDD yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için Şekil 4.9'da görüldüğü gibi aynı frekans bandı üzerinden iletim yaptığından bandı değiştirmek üzere bir çoklayıcı ihtiyacı yoktur. Bu ise maliyeti azaltır. Spektrumun kullanımındaki verim

düşüklülüğü ve hassas bir senkronizasyon gereksinimi bu yöntemin dezavantajı olarak söylenebilir.



Şekil 4.9. TDMA/TDD mantıksal ayırma.

#### 4.3.3. Kod bölmeli çoklu erişim (CDMA)

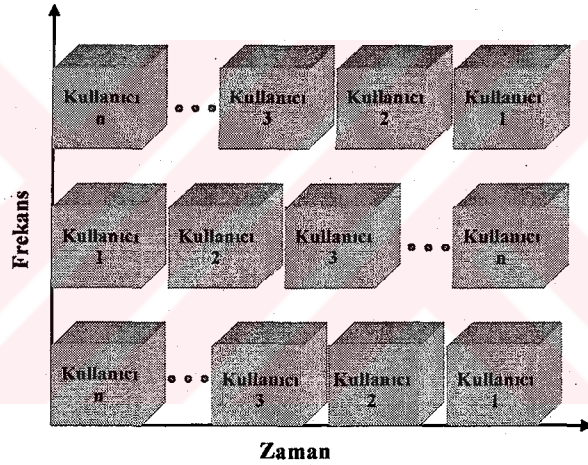
CDMA yönteminde iletim ortamındaki tüm kullanıcılar aynı anda ve aynı frekans bandını kullanarak haberleşirler (Şekil 4.10). Her bir kullanıcıya bilgiyi kodlaması için kullanacağı eşsiz bir kod dizisi tahsis edilir. Her kullanıcı diğer kullanıcıların kodlarına dik (orthogonal) olan kendi kod sözcüğüne sahiptir. Gönderilen bilgiyi tespit edebilmek için, alıcının verici tarafından kullanılan kod sözcüğü bilmesi gerekir. Alıcı, kullanıcının kod dizisini bilir ve işareti aldıktan sonra kodunu çözerek orijinal bilgiyi yeniden elde eder. Bu, istenilen kullanıcı kodu ile diğer kullanıcı kodlarının arasındaki çapraz ilintinin (cross correlation) düşük olması ile mümkündür. Kod işaretinin bant genişliği bilgi işaretinin bant genişliğinden çok daha büyük seçildiği için, kodlama işlemi bilgiyi geniş bir spektruma yayar ve bu yüzden yayılı spektrum (spread spektrum-SS) modülasyonu olarak da bilinir. Sonuçta oluşan işaret SS işaretidir ve CDMA genellikle yayılı spektrum çoklu erişimi (spread spectrum multiple access, SSMA) olarak da adlandırılır (Karakoç 2004). CDMA TDMA'den farklı olarak kullanıcılar arasında zaman senkronizasyonu gerektirmez. Teorik olarak, sınırsız sayıda kullanıcı aynı kanalı aynı zamanda kullanabilir. Bunun



nedeni Walsh Coding yönteminin uygulanmasıdır. Ancak kullanıcı sayısı arttıkça gürültü oranı artmaya başlar ve kalite giderek düşer (Karakoç 2004).

CDMA'in avantajları; çok yönlü girişime karşı dirençlidir, karıştırmaya karşı performansı iyidir, girişime karşı direnci iyidir, terminaller arasında eşzamanlamaya ihtiyaç yoktur, gerçekleştirmesi oldukça basittir ve sezimlenmesi-algılanması zordur.

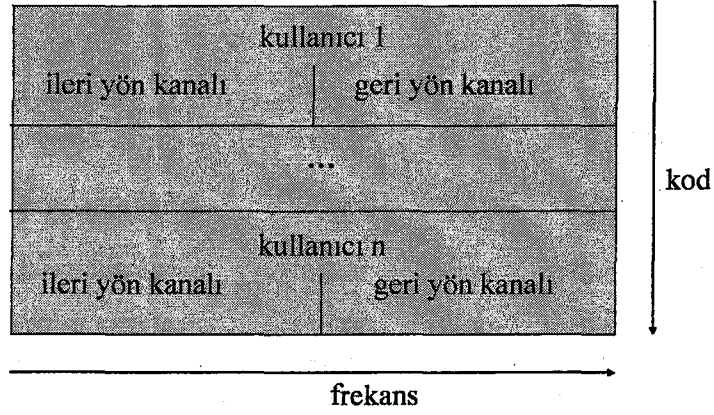
Dezavantajları; yakın-uzak alan problemi, evreyumlu bant genişliğine ihtiyacı olması, uzun yakalama zamanı, kod sinyallerinin eşzamanlama ihtiyacıdır (Karakoç 2004).



Şekil 4.10. Kod bölmeli çoklu erişim.

#### 4.3.3.1. CDMA/FDD

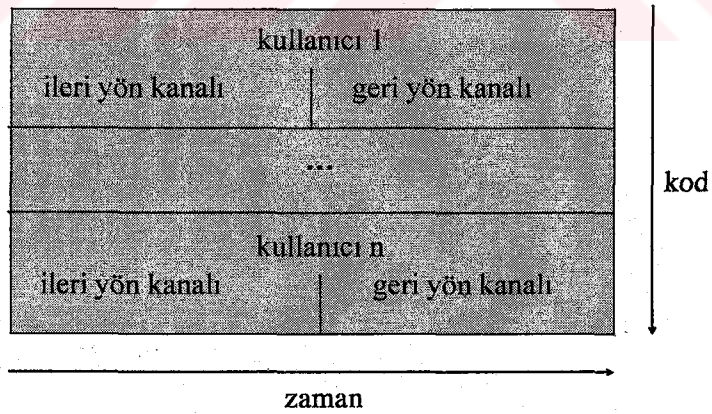
Tüm kullanıcılar kendilerine ait tek bir kod ile tanımlanırlar. FDD tekniğinin özelliği olarak, yukarı bağlantı ve aşağı bağlantı için farklı frekans bandını kullanırlar. Yukarı ve aşağı bağlantıda tüm kullanıcılar aynı frekans bandı üzerinden haberleşirler (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. CDMA/FDD mantıksal ayırma.

#### 4.3.3.2. CDMA/TDD

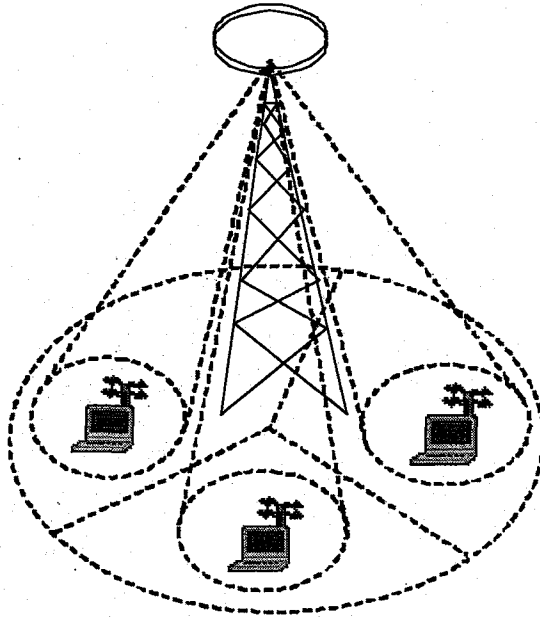
CDMA/TDD, CDMA'in kabiliyetlerine ve TDD'nin avantajlarına sahiptir. Bu erişim yönteminin kullanıldığı sistemin bir hücresindeki tüm düğümler aynı frekans bandı üzerinden haberleşirler (Jeong, Jeon 2000).



Şekil 4.12. CDMA/TDD mantıksal ayırma.

#### 4.3.4. Uzay bölmeli çoklu erişim (SDMA)

SDMA, kullanıcıları uzaysal olarak ayırarak, frekans spektrumunun kullanımını optimize eder. SDMA'nın ilk şekli aynı frekansın farklı hücrelerde tekrar kullanıldığı hücresel kablosuz ağlardır ve bu tür ağlarda komşu kanal girişimini önlemek için hücrelerin yeterince ayrılması gerekir. Bu ise bir bölgedeki hücre sayısını ve frekansın tekrar kullanılabilirliğini sınırlandırır. Daha gelişmiş diğer bir yaklaşım ağın kapasitesini daha da arttırabilir. Bu teknik hücre içerisinde bir frekansın tekrar kullanılabilmesine imkan tanımaktadır ve antenlerin istenilen kullanıcıya yönlendirilmesi için zeki sinyal işleme ile desteklenmiş anten dizileri kullanan akıllı anten teknikleri kullanır. Bu anten dizileri dar hüzmeler oluşturabildiklerinden kullanıcılar arasındaki uzaysal ayırma yeterli olduğu miktarda, frekans tekrar kullanılabilir. Şekil 4.13 aynı hücrede, aynı kanalı kullanan üç SDMA kullanıcılarını göstermektedir. Alıcı hüzmeye genişliğine sadece bir vericinin düşmesi zayıf bir ihtimaldir. Bu nedenle diğer çoklu erişim tekniklerinin SDMA ile birlikte kullanılması zorunlu hale gelir. Farklı alanlar, anten hüzmeleri tarafından kapsanıyorsa TDMA veya CDMA kullanıldığında frekans tekrar kullanılabilir. Bununla birlikte farklı frekanslar için FDMA'de kullanılabilir.



Şekil 4.13. Uzay bölmeli çoklu erişim.

MAC protokollerinin sınıflandırılmasında kullanılan çoklu erişim yöntemleri FDMA, TDMA, CDMA ve SDMA Tablo 4.2’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 4.2. FDMA, TDMA, CDMA ve SDMA sistemlerin özelliklerinin karşılaştırılması.

	FDMA	TDMA	CDMA	SDMA
<b>Temelleri</b>	Sistem bant genişliğinin birbirine bitişik kullanıcı frekans bant genişliğine ayrılması.	İletim periyodunun kullanıcı zaman slotlarını kapsayan TDMA çerçevelerine ayrılması.	Kullanıcıya özel CDMA kodları ile spektrum yayılımı.	Hücre uzayının sektörlere ayrılması.
<b>Kullanıcı etkinliği</b>	Kullanıcılar aynı anda ve sürekli olarak aktiftir her bir kullanıcı tek bir frekans bandını kullanır.	Kullanıcılar kısa zaman aralıklarında sırayla aktif olurlar. Her bir kullanıcı TDMA çerçevesinde tek bir zaman slotu kullanır.	Kullanıcılar aynı anda ve sürekli aktiftir her bir kullanıcı tek bir kullanıcı CDMA kodu kullanır.	Kullanıcılar aynı anda ve sürekli aktiftir her bir kullanıcı kendi sektörünü kullanır.
<b>Kullanıcı sinyalleri arasındaki fark</b>	Frekans boyutunda.	Zaman boyutunda.	CDMA kodlarına dayalı.	Alıcı antendeki erişim yönüne dayalı.
<b>Kullanıcı sinyallerinin ayrımı</b>	Filtreleme ile	Senkronizasyon yayılımı ile, iletilen kullanıcı sinyalleri arasına koruma periyodları gerekir.	Senkronizasyon yayılımı ile, tek kullanıcı algılaması ya da çok kullanıcı algılaması.	Anten dizileri kullanılarak.
<b>Yayıma Alanı</b>	Analog ve dijital	Dijital	Dijital	Dijital
<b>Zaman kontrolü</b>	Gerekli değil	Gerekli	Gerekli	Gerekli
<b>Değişken iletim oranı</b>	Zor	Kolay	Kolay	Kolay
<b>Yakın-uzak problemi</b>	Etkilenmez	Etkilenmez	Hızlı güç kontrolü gerektirir	Hızlı güç kontrolü gerektirir
<b>Avantajları</b>	Basit, güçlü, ağ desteğine sahip ve basit eşitleme	Frekans farklılığı, alıcının hareketli radyo kanalındaki zaman değişimine duyarsızlığı, zaman farklılığı, yüksek spektral kapasite, basit radyo frekans dizaynı, zaman bölmeli çoklamaya uygun	Frekans farklılığı, alıcının hareketli radyo kanalındaki zaman değişimine duyarsızlığı, basit eşitleme, girişim ayrılığı, ağ planı gerekmez, esneklik, radyo frekans dizaynında azaltılmış karmaşıklık	Basit, çoklu erişim girişimi az, ağ planını destekler, uzay bölümü ve kolay el değiştirme, eşitleme gerekli değil
<b>Dezavantajları</b>	Düşük esneklik, küçük frekans ayrımı, alıcı hareketli radyo kanal zaman değişimlerine duyarlı, küçük girişim ayrımı, uzay ayrımı gerekli, radyo frekans dizaynında ciddi karmaşıklık	Düşük esneklik, girişim nedeniyle eşitleme gerekli, küçük girişim ayrımı, tüm kullanıcılara küresel senkronizasyon	Düşük spektral kapasite	Düşük esneklik, küçük frekans bölmeli, alıcı hareketli radyo kanalında zaman değişimine duyarlı, girişim ayrımını azaltır, düşük spektral kapasite, radyo frekans dizaynında yüksek karmaşıklık
<b>Değerlendirme</b>	Hareketli radyo için gerekli, TDMA ve/veya CDMA ile birleşimi uygundur	Hareketli radyoda uygulanabilme, FDMA ile birleşimi önerilir ve CDMA ile birleşimi uygundur	Hareketli radyoda uygulanabilme, FDMA ile birleşimi önerilir ve TDMA ile birleşimi uygundur	Hareketli radyoda uygulanabilme, FDMA ile birleşimi önerilir, TDMA ve CDMA ile birleşimi uygundur

#### 4.4. KATM İçin Önerilen MAC Protokolleri

KATM ağlar için literatürde önerilmiş çok sayıda MAC protokolü bulunmaktadır. KATM'de kullanılması düşünülen MAC protokolleri kullandıkları çoklu erişim tekniklerine göre TDMA ve CDMA temelli olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Akyildiz 1999). Tablo 4.3 KATM ağlarda yaygın olarak kullanılan MAC protokollerinin sınıflandırılmasını göstermektedir.

Tablo 4.3. KATM MAC protokollerinin sınıflandırılması.

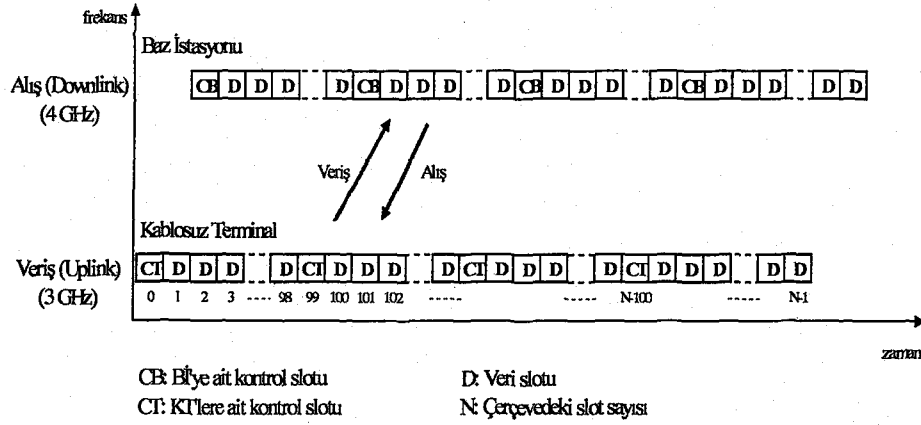
KATM MAC Protokolleri			
TDMA		CDMA	
FDD Kullanan	TDD Kullanan	TDMA/CDMA	CDMA
<ul style="list-style-type: none"><li>• DQRUMA (Distributed Queuing Request Update Multiple Access )</li><li>• DSA++ (Dynamic Slot Assignment Protocol)</li><li>• PRMA/DA (Packet Reservation Multiple Access / Dynamic Allocation)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• DTDMA (Dynamic Time Division Multiple Access )</li><li>• MASCARA (Mobile Access Scheme Based on Contention and Reservation for ATM)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• MD-PRMA BB (Multidimensional PRMA with Prioritized Bayesian Broadcast)</li><li>• WISPER (Wireless Multimedia Access Control Protocol with Bit Error Rate Scheduling)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• CDMA/Multirate</li><li>• W-CDMA (Wideband CDMA)</li></ul>

##### 4.4.1. MAC-GB protokolü

Bu tez çalışmasında kullanılan TDMA/FDD yöntemine dayalı MAC-GB protokolünde iletim ortamı, Şekil 4.14'de görülen ve slot adı verilen zaman aralıklarına bölünmüştür. Kablosuz terminaller veri iletimi için kendilerine tahsis edilen slotları kullanır. Kablosuz ortam alışı ve verişi kanalları için farklı frekans bandı kullanmaktadır (FDD). Kablosuz terminaller, ihtiyaç duyduklarında gönderecekleri veriler için baz istasyonundan kanal isteğinde bulunur. Baz istasyonu da terminalde çalışan uygulamanın servis kalitesi değişkenlerini ve ihtiyaçlarını göz önüne alarak, yeterli miktardaki slotu, mevcut bant genişliğinin yönetiminden



sorumlu slot tahsis tablosundan bağlantı için ayırır. Kullanılabilecek slot sayısı, uygulamanın servis kalitesini sağlamaya yetecek kadar değil ise bağlantı kurulamaz (Ceken, Erturk, Bayilmis 2004a, Ceken, Erturk, Bayilmis 2004b).



Şekil 4.14. MAC-GB protokolü çerçeve yapısı.

MAC-GB protokolünde çerçeve içerisindeki slotlar ihtiyaca göre uygulamalara dinamik olarak tahsis edilir. Kullanıcıların değişen trafik türü istekleri ve yük yoğunluğundaki artış gibi faktörler göz önüne alındığında MAC-GB protokolünün istenilen ihtiyaca rahatlıkla cevap verebileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle özellikle rt-VBR servis sınıfı desteği gerektiren video uygulamalarında MAC-GB protokolü kullanılması performansı arttıracaktır.

#### 4.5. Sonuç

Kablosuz ortamın en büyük sorunlarından biri de bant genişliği açısından oldukça sınırlı kaynaklara sahip olmasıdır. Bununla birlikte kablosuz uygulamaların ve bu uygulamalardan faydalanmak isteyen kullanıcıların sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Kablosuz haberleşme sistemleri üzerinde yapılan çalışmaların büyük bir kısmı sınırlı bant genişliğini etkin olarak kullanacak kablosuz erişim mekanizmaları üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmada, kablosuz ortamda kullanılan erişim mekanizmaları, çoklama, çoklu erişim ve kanal paylaşırma yöntemlerine göre sınıflandırılarak

incelenmektedir. Ayrıca çoklama ve çoklu erişim yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda kablosuz erişim yöntemlerinin zaman içerisinde FDMA'den SDMA tekniğine doğru bir gelişim gösterdiği saptanmıştır. Kablosuz erişim mekanizmaları sırayla birbirinin eksikliklerini gidermek ve özellikle daha fazla kullanıcıya daha iyi hizmet vermek üzere geliştirilmiştir.

Bölüm 5'de yapılan benzetimler bu bölümde anlatılan çoklu erişim yöntemlerinden çoklu ortam uygulamalarını destekleyen TDMA/FDD'ye dayalı isteğe bağlı kanal paylaşırma yöntemini kullanan MAC-GB protokolü kullanılarak gerçekleştirilmektedir.



## BÖLÜM 5. KATM ÜZERİNDEN ÇOKLU ORTAM UYGULAMALARI

### 5.1. Giriş

Günümüzde kablosuz haberleşmeden beklenen video, ses ve etkileşimli servisler gibi gecikmeye hassas gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamalarının bant genişliği, hücre kaybı, gecikme ve gecikme değişimi gereksinimlerinin tam olarak desteklenmesidir.

Kablosuz haberleşmeyi sağlamak, radyo sinyallerindeki parazitler, girişim gibi kablosuz ortamın doğasından kaynaklanan karakteristikleri ve topolojik değişimleri, düşük bant genişliği, bağlantı sürekliliğinin korunması, yüksek hata oranları gibi sebeplerden dolayı kablolu haberleşmeye göre oldukça zordur. Günümüzde kullanılan kablosuz teknolojiler çoklu ortam uygulamaları için gerekli olan servis kalitesi (QoS) desteğini sağlayamamaktadır.

Bu bölümde öncelikle KATM üzerinden desteklenebilen çoklu ortam uygulamalarının ve diğer trafik tiplerinin karakteristikleri incelenmektedir. Daha sonra tez çalışmasına konu olan isteğe bağlı kanal paylaşırma tekniğini kullanan TDMA/FDD tekniğine dayalı MAC-GB protokolünü kullanan KATM veri ve video uygulaması benzetim modelleri ve sonuçları verilmektedir. Veri uygulamasında hücre gecikmesi sorun teşkil etmediğinden hiçbir servis kalitesi garantisi gerektirmeyen UBR servis sınıfı, video uygulamasında ise özellikle gerçek zamanlı patlamalı trafikler için uygun olan, hücre gecikmesi, hücre kaybı ve hücre gecikme değişimine duyarlı VBR servis sınıfı kullanılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada artan veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmektedir.



## 5.2. Çoklu Ortam Uygulamaları

Çoklu ortam ses, video, metin ve görüntü gibi farklı karakteristiklere sahip bilgilerin birleşimidir. Ortamdaki trafiklerin farklı özellikler göstermesi haberleşme sistemine ek yükler getirir. Çoklu ortam haberleşme sistemleri ses, görüntü, metin, grafik ve video gibi çoklu ortam verilerinin ağ üzerindeki farklı kullanıcılara iletilmesini sağlamak için geliştirilmişlerdir.

Yüksek kapasiteli depolama cihazları, güçlü ve ekonomik bilgisayar terminalleri ile yüksek hızlı ağ teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte çoklu ortam haberleşme servisleri teknik olarak gerçekleştirilebildiği gibi artık ekonomik olarak da gerçekleştirilebilmektedir.

Çoklu ortam konferans sistemleri insanların evlerinde ya da işyerlerinde takım çalışmaları yaparlarken ihtiyaç duyabilecekleri ses, metin, grafik ve video gibi farklı trafik karakteristiklerine sahip bilgilerin gerçek zamanlı olarak iletilmesine imkan tanır. Grup üyeleri çoklu ortam bilgilerine yerel alan ağı üzerinden gerçek zamanlı olarak erişebilirler ve paylaştıkları bilgiler hakkında sesli olarak tartışabilirler. Çoklu ortam konferans sistemleri gerçek zamanlı bilgi paylaşımına ihtiyaç duyan çalışma ortamlarında kullanılabilir.

### 5.2.1. Çoklu ortam trafik tipleri ve karakteristik özellikleri

Ortamdaki veri, ses, video, gibi farklı trafiklerin farklı özellikler göstermesi haberleşme sistemine ek yükler getirir. Çoklu ortam haberleşmesinde kullanılan trafikler iki sınıfa ayrılabilir. Bunlar; gerçek zamanlı (sürekli ortam) ve gerçek zamanlı olmayan (ayrık ortam) trafikleridir (Çeken, Ertürk 2003).

Gerçek zamanlı trafikler ses, video, animasyon ya da zamana bağımlı verilerden oluşur. Gerçek zamanlı trafikler, kullanılan sistem tarafından tahmin edilebilir ve belirlenmiş zaman aralığı içerisinde işlenmelidir.

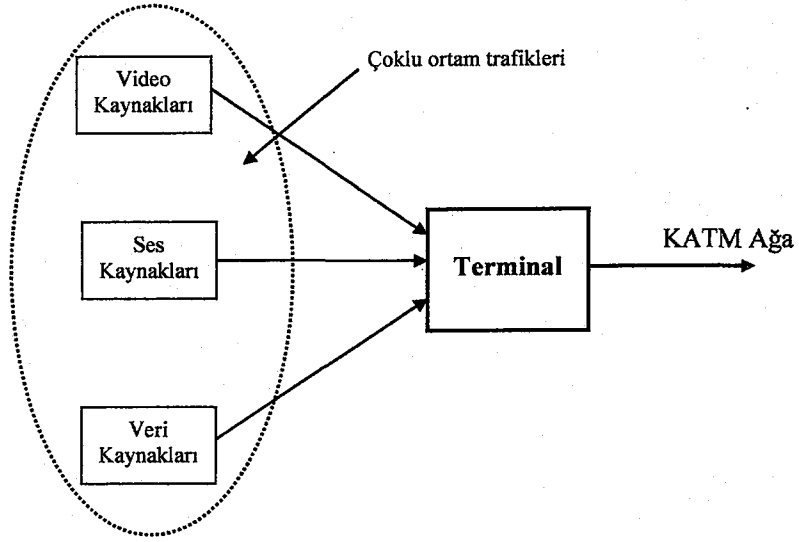
Gerçek zamanlı olmayan trafikler ise metin, grafik, sayısal veri, bit eşlem görüntüsü ve geometrik çizimler gibi zamandan bağımsız trafiklerdir. Bu tür verilerin yakalanması, depolanması, iletilmesi ve gösterilmesi sabit ya da tahmin edilebilir bir zaman dilimi gerektirmez.

Kablosuz ortamlarda çoklu ortam uygulamalarının sağlanmasında dikkat edilmesi gereken diğer hususlar şunlardır:

- Servis kalitesi: Video konferansı ve ses uygulamalarında gecikmenin belli bir duyarlılıkta olması sağlanmalıdır.
- Sınırlı enerji kaynaklarıyla çalışma: Dizüstü bilgisayarlar gibi hareketli elemanların sınırlı enerji kaynağından dolayı haberleşme performanslarında problemler yaşanabilir.
- Heterojen ortamlarda çalışma: Hareket halinde bulunan bilgisayarlar hücreyel ağ yapısı düşünülecek olursa farklı hücrelerin farklı konumlarında olabileceklerinden ağa bağlantı kaliteleri de farklı olacaktır.

### 5.3. Çoklu Ortam Trafik Modelleri

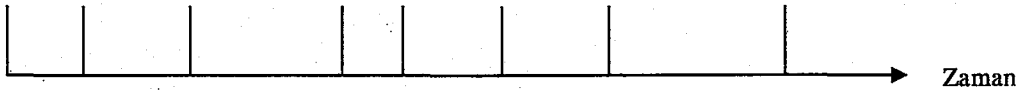
Çoklu ortam veri, video ve ses trafiğini içerir. Çoklu ortamı oluşturan trafik türleri farklı özelliklere sahiptir. Şekil 5.1'de bir terminalde çoklu ortam trafiklerinin üretilmesi görülmektedir.



Şekil 5.1. Terminal trafik konfigürasyonu.

### 5.3.1. Veri trafiği

Veri trafiği özel dağılıma sahip bir mesajdır. Ağdan gönderilen mesaj zamanın bir anında ulaşır. Zaman gecikmesine duyarlıdır, diğer bir ifade ile veri herhangi bir zamanda hedefe ulaşır. Tampon büyüklüğü, maliyeti mümkün olduğunca azaltacak şekilde küçük seçilmelidir. Şekil 5.2'deki her dikey çizgi, sabit büyüklükte mesaj varışını gösterir.



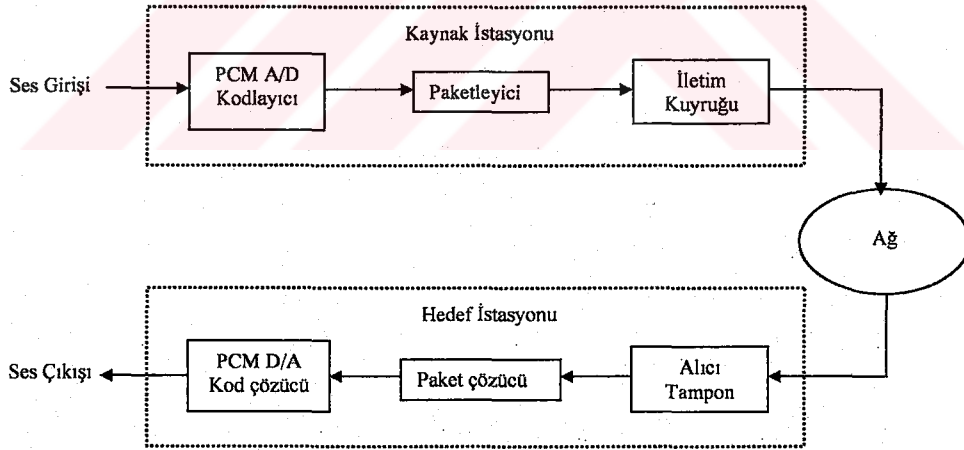
Şekil 5.2. Veri trafiğinin üretimi.

Veri trafikleri varış işlemi iki parametre tarafından belirlenir. İlk parametre mesaj büyüklüğü, ikinci parametre ise varış periyot zamanıdır.

### 5.3.2. Ses trafiği

Şekil 5.3'de ağ uzerinden ses iletiminin nasıl yapıldığını gosteren blok diyagramı gormektedir. Herhangi bir ses kaynağının analog sinyali, bir kodlayıcı yardımıyla sayısallaştırılır. Uretilen ornekler bir paketleyici tarafından toplanır. Ornek sayısı onceden belirlenen hucre uzunluğunu aştığında başlık eklenip ses hucresi uretilir. Ses hucresi uretim işlemi, harici bir zamanlama ile senkronize edilebilir. Uretilen hucreler uretim sırasına gore iletim tamponunda depolanır ve iletmek uzeri beklerler.

Bazı LAN'larda ses ornekleri ağ uzerinde ayrılan bir TDD (Time Division Duplexing-Zaman Bolumeli Coklama) kanalı uzerinden dogrudan iletir. Diğer bir cok LAN protokolunde ise ses, belirli sayıda ses orneği iceren ses hucreleri halinde iletir.



Şekil 5.3. Ses akışını gosteren blok diyagramı.

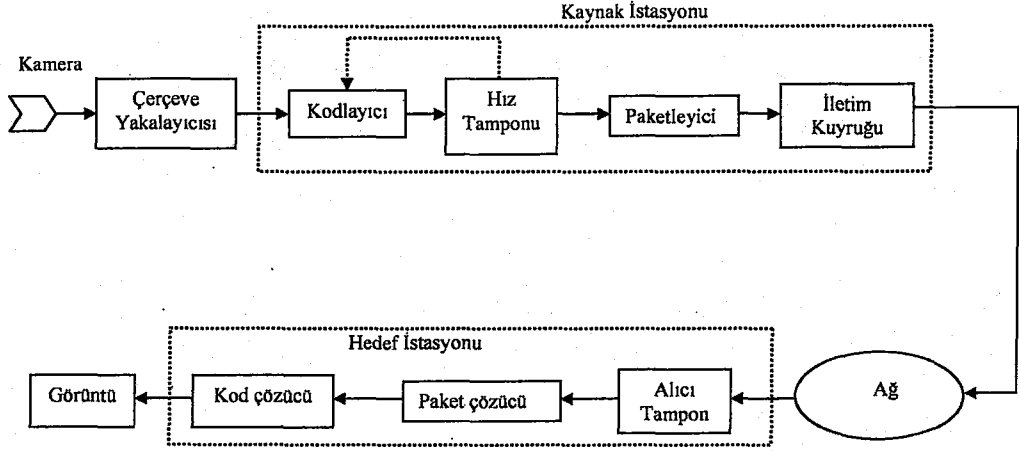
Ses bir sürekli ortam trafiği olduğundan dolayı iletimin bütünlüğünden cok sürekliliği ve gecikmeye duyarlılığı önemlidir. Ses iletiminde küçük bir bilgi kaybolsa bile haberleşme kalitesi bozulmaz. Bunun sonucunda tampon taşması

dolayısıyla oluşacak hücre kaybı telafi edilebilir. Bilgi CBR servisi ile uyumlu olarak sabit bir hızda iletilebilir. Servis gereksinimleri nedeniyle uçtan uca gecikme süresi iletim gecikmesi hariç birkaç milisaniye veya daha az olmalıdır. Ses kaynağı ortalama bit hızı (MBR) ve tepe bit hızı (PBR) ile gösterilir.

Ses, konuşma ve dinleme periyotları olarak iki kısımdan oluşur. Konuşma periyodunda hücre üretilirken dinleme periyodunda üretilmez.

### 5.3.3. Video trafiği

Video akışı H.261 veya MPEG gibi standart kodlamalara göre kodlanır. Her ikisinde de çerçeve 16x16 makro bloklara bölünmüştür ve makro blok önceki çerçeveye göre kodlanabilir. Bundan başka MPEG önceki ve sonraki çerçevelere göre kodlanabilir. Şekil 5.4 video akışını kodlayıp gönderen bir istasyonun blok diyagramını göstermektedir. Video kameraya bir çerçeve alınır, analog sinyal olarak çerçeve yakalayıcıya yollar ve burada sayısallaştırılır. Daha sonra kodlayıcı tarafından sıkıştırılır. Hız tamponunun görevi kodlayıcı çıkış hızındaki değişimleri yumuşatmak ve sabit bir bit akış hızı sağlamaktır. Tampon bellek meşguliyeti kodlayıcı tarafından çıkış hızını kontrol etmek üzere geri besleme olarak kullanılır. Böylece hız tamponunda taşma veya boşalma oluşmaz. Sabit bit akış hızı hız tamponundan ana belleğe geçer. Akışın ağ üzerinden gönderilmesi için gönderme istasyonu akışı hücreler halinde paketler. Hücreler ağ üzerinden hedef istasyona gönderilir. Hedef istasyon alınan hücreleri ağda oluşan gecikme değişimlerini düzenlemek için tamponlar. Tamponun içeriği kod çözücüye aktarılır ve burada sıkıştırılmış durumdaki akış açılır ve ekrana gönderilir. Kodlama standardına göre (H.261 veya MPEG) çerçeve belli sayıda blok grubuna (GOBs) dönüştürülür. Makro blok herhangi bir gelecek bilgisi olmaksızın kodlanmış/kodu çözülmüş olan en küçük birimdir. H.261 ve MPEG de, makro blok önceki çerçeveye diferansiyel olarak kodlanabilir. Etkileşimli haberleşmeyi destekleme ihtiyacından gecikme kısıtlaması olur.



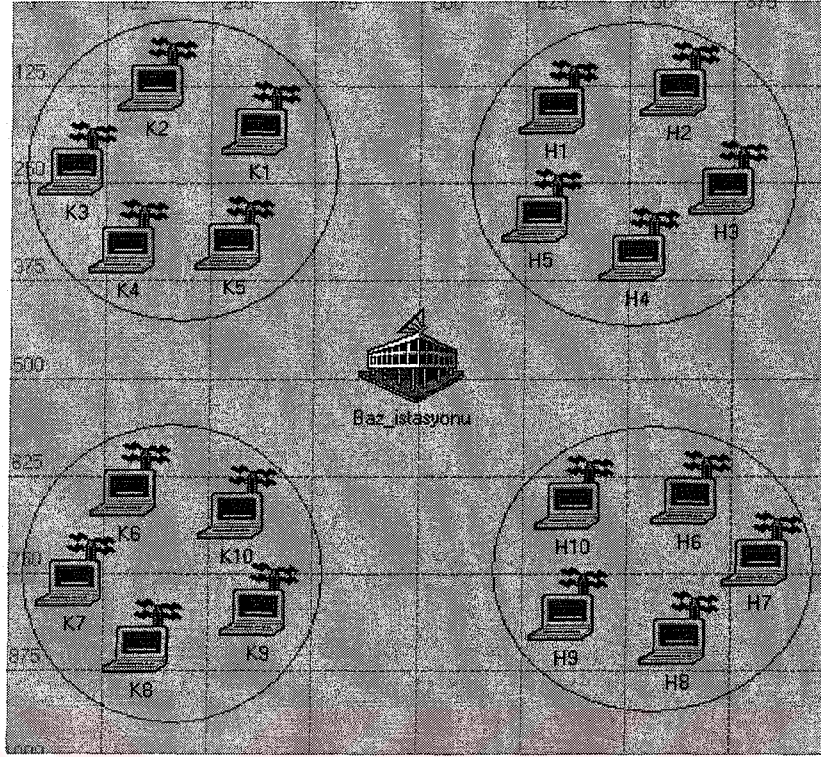
Şekil 5.4. Video akışını gösteren blok diyagram.

#### 5.4. Modelleme ve Benzetim

Bu alt bölümde tezin amacında belirtilen veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisini incelemek üzere OPNET benzetim yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen KATM sistemlerinde veri, video ve her iki trafik yükünün birlikte kullanıldığı modeller sunulmaktadır. Oluşturulan KATM sistemleri Bölüm 4’de yapısı açıklanan MAC-GB protokolü kullanılarak haberleşmektedir. Benzetimlerin gerçekleştirildiği KATM ağ yapısı Şekil 5.5’de görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi KATM ağ modeli birbirleri ile karşılıklı haberleşen toplam 20 kablosuz terminal ve bu terminallerin haberleşmesini sağlayan bir adet baz istasyonundan meydana gelmektedir. Benzetimlerde kullanılan parametreler Tablo 5.1’de yer almaktadır. Gerçekleştirilen benzetim modelleri sırasıyla şunlardır:

- Bölüm 5.4.1’de MAC-GB protokolü kullanılarak oluşturulan KATM modeli üzerinden veri transferi benzetim uygulaması.
- Bölüm 5.4.2’de MAC-GB protokolü kullanılarak oluşturulan KATM modeli üzerinden video transferi benzetim uygulaması.
- Bölüm 5.4.3’de MAC-GB protokolü kullanılarak oluşturulan KATM modeli üzerinden eş zamanlı olarak veri ve video transferi benzetim uygulaması.





Şekil 5.5. KATM ağ uygulaması.

Tablo 5.1. Benzetim parametreleri.

Trafik Kaynakları	50000–350000* (bayt/s)
Alış/Veriş Bit Hızı	25 Mbit/s
Frekans Bandı	Veriş: 3 GHz ve Alış: 4 GHz
Verici Gücü	BS=100 mW ve WTs=100 mW
Modülasyon Şeması	QPSK
VBR Parametreleri	SCR= 85 KBayt/s, PCR= 110 KBayt/s, CTD=100 ms, CDV=1 ms
UBR Parametreleri	PCR=50 KBayt/s
Kanal Modeli	Free Space Propagation Model (LoS)
*Üstel dağılım fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir.	

QPSK : Faz Kaymalı Anahtarlama (Quadrature Phase Shift Keying)

SCR : Sürdürülebilir Hücre İletim Hızı (Sustainable Cell Rate)

PCR : En Yüksek Hücre İletim Hızı (Peak Cell Rate)

CTD : Hücre İletim Gecikmesi (Cell Transfer Delay)

CDV : Hücre Gecikme Değişimi, Jitter (Cell Delay Variation)

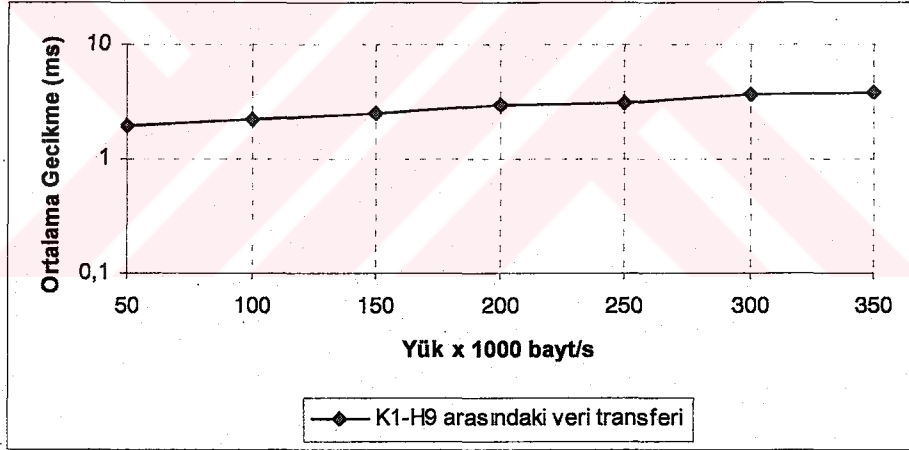
LoS : Görüş Hattı (Line of Sight)



#### 5.4.1. Veri transferi benzetim sonuçları

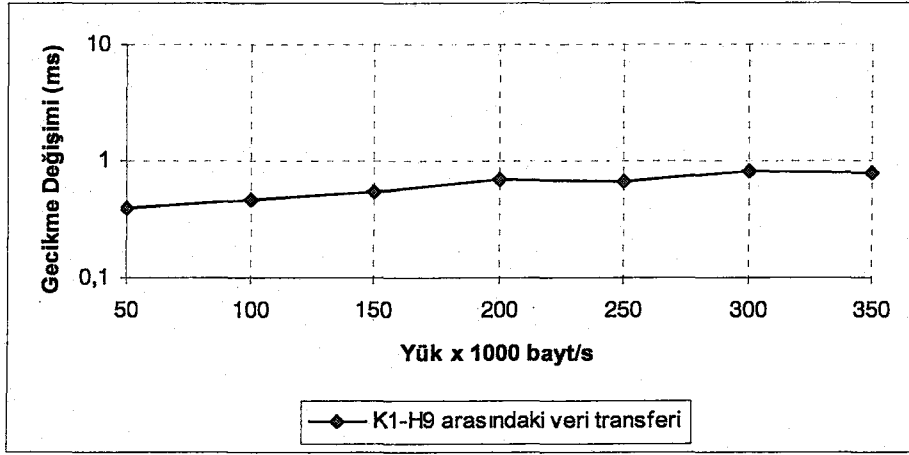
Yukarıda özellikleri verilen benzetim modelinde tüm düğümler arasında yalnızca değişik yükler altında veri transferi gerçekleştirilmiştir. Modelin veri trafiği altındaki başarımların analizi K1-H9 terminalleri arasındaki uçtan uca ortalama gecikme, gecikme değişimi ve maksimum gecikme parametrelerine göre yapılmıştır.

Şekil 5.6'da K1-H9 arasındaki veri transferi uygulamasının uçtan uca ortalama gecikme sonuçları görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere yük değeri arttıkça gecikme değeri de artmaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Ortalama gecikme değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 1,98 ms iken en yüksek yük altında (350000 bayt/s) 3,88 ms olarak elde edilmiştir.



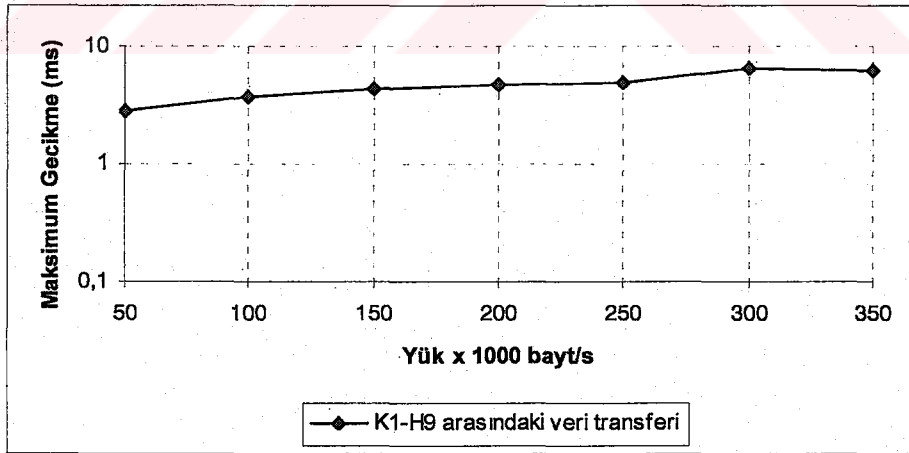
Şekil 5.6. Değişen veri trafik yüklerinde uçtan uca ortalama gecikme sonuçları.

K1-H9 arasındaki veri transferi uygulamasının uçtan uca gecikme değişimi sonuçları Şekil 5.7'de görülmektedir. Gecikme değişimi değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 0,39 ms iken en yüksek yük altında (350000 bayt/s) ise 0,8 ms olarak elde edilmiştir. Gecikme değişimi yük miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Veri transferi için kullanılan UBR servis sınıfının karakteristiği göz önüne alındığında bu, beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5.7. Değişen veri trafik yüklerinde uçtan uca gecikme değişimi sonuçları.

K1-H9 arasındaki veri transferi uygulamasının maksimum gecikme sonuçları Şekil 5.8’de görülmektedir. Maksimum gecikme değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 2,86 ms iken en yüksek yük altında ise (350000 bayt/s) 6,25 ms olarak elde edilmiştir.



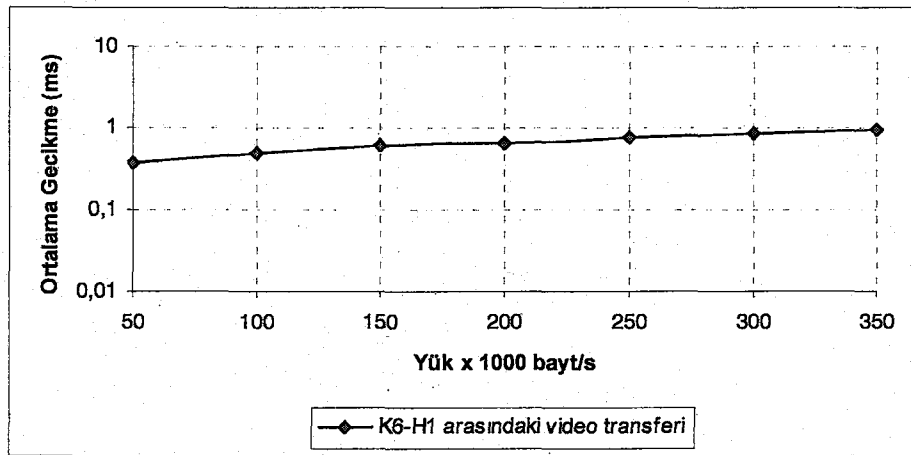
Şekil 5.8. Değişen veri trafik yüklerinde maksimum gecikme sonuçları.

Şekillerden görüldüğü üzere veri transferi için elde edilen gecikme sonuçları kabul edilebilirdir. Çünkü veri trafiği ayırık özellik taşır ve dolayısıyla gecikmeye duyarlıdır.

#### 5.4.2. Video transferi benzetim sonuçları

Video trafiği transferi Tablo 5.1'deki VBR parametrelerine göre modellenmiştir. Benzetim modelindeki tüm düğümler arasında yalnızca video transferi gerçekleştirilmektedir. Veri trafiğinde olduğu gibi video trafiğinin değişik yükler altındaki başarımların analizi, K6-H1 terminalleri arasındaki uçtan uca ortalama gecikme, gecikme değişimi ve maksimum gecikme parametrelerine göre yapılmıştır.

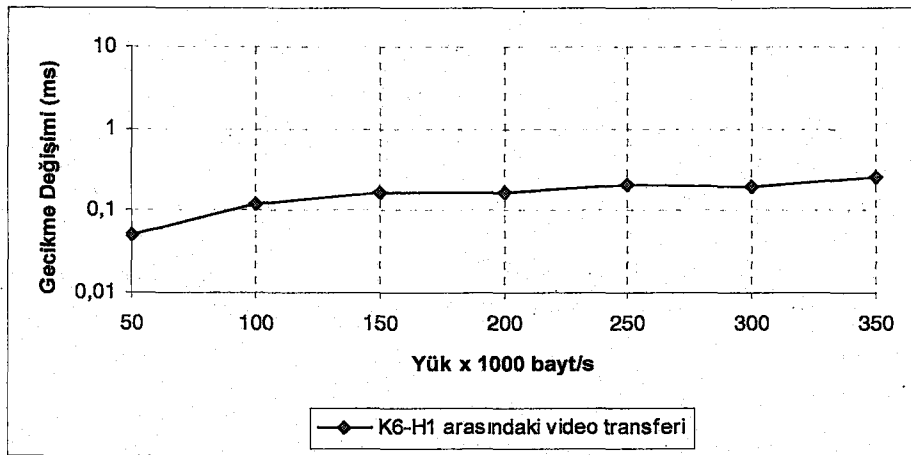
Şekil 5.9'da K6-H1 arasındaki video transferi uygulamasının uçtan uca ortalama gecikme sonuçları görülmektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere yük değeri arttıkça gecikme değeri de artmaktadır. Ortalama gecikme değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 0,38 ms iken en yüksek yük altında ise (350000 bayt/s) 0,93 ms olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Değişen video trafik yüklerinde uçtan uca ortalama gecikme sonuçları.

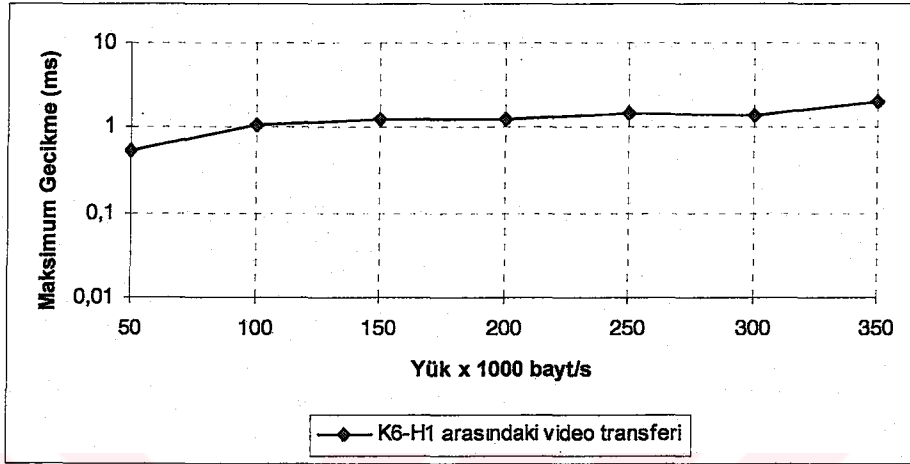
Video trafiğinin taşındığı servis kalitesi desteğini sağlayan VBR sınıfı ile veri trafiğinin taşındığı hiçbir servis kalitesi desteği sağlamayan UBR sınıfları arasındaki farkı açıkça görebilmek için eşit yükler altında elde edilen ortalama gecikme sonuçlarını karşılaştırmak yeterlidir. Grafiklerdeki (Şekil 5.6 ve Şekil 5.9) en düşük yük değeri olan 50000 bayt/s’de elde edilen ortalama gecikme UBR servis sınıfında 1,98 ms iken VBR servis sınıfında 0,38 ms olarak elde edilmiştir. En yüksek yük değeri olan 350000 bayt/s’de ise UBR servis sınıfında 3,88 ms iken VBR servis sınıfında 0,93 ms ’dir. Bu değerler göstermektedir ki servis kalitesi desteği sağlayan VBR servis sınıfı, hiçbir servis kalitesi desteği sağlamayan UBR servis sınıfına göre en az 4 kat iyileştirme sağlamaktadır.

Şekil 5.10’da video transferi uygulamasının (K6–H1 arasındaki) uçtan uca gecikme değişimi sonuçları görülmektedir. Gecikme değişimi değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 0,05 ms iken en yüksek yük altında ise (350000 bayt/s) 0,25 ms olarak elde edilmiştir. En yüksek yük altında dahi elde edilen gecikme değişimi, video trafiğinin gerekli servis kalitesi desteği ile iletilmesini sağlayan VBR parametrelerinden CDV değerini aşmamaktadır. Bu da video uygulaması için gerekli servis kalitesi desteğinin sağlandığını göstermektedir.



Şekil 5.10. Değişen video trafik yüklerinde uçtan uca gecikme değişimi sonuçları.

K6-H1 arasındaki video uygulamasının maksimum gecikme sonuçları Şekil 5.11’de görülmektedir. Maksimum gecikme değeri, en düşük yük altında (50000 bayt/s) 0,55 ms iken en yüksek yük altında ise (350000 bayt/s) 1,99 ms olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Değişen video trafik yüklerinde maksimum gecikme sonuçları.

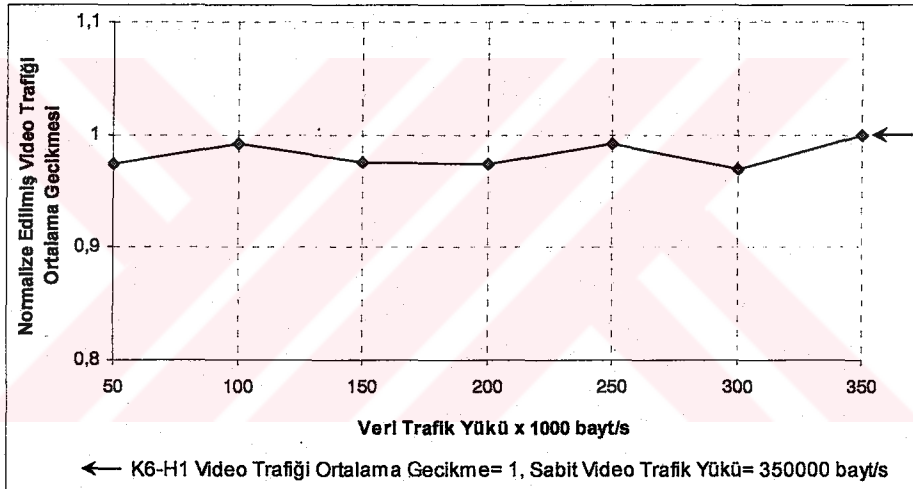
#### 5.4.3. Veri ve video transferi benzetim sonuçları

Benzetim modelinde veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisini incelemek üzere, 20 kablosuz terminalden oluşan modelde 10 terminal karşılıklı veri transferi diğer 10 terminal de karşılıklı video transferi yapmak üzere programlanmıştır. Video trafiği 350000 bayt/s de sabit tutularak veri trafiği 50000–350000 bayt/s arasında değiştirilmekte ve veri trafiğindeki bu değişimin video trafiği sonuçları üzerine etkileri incelenmektedir.

Başarım analizi K6–H1 terminalleri arasındaki video trafiğinin ortalama gecikme, gecikme değişimi ve maksimum gecikme parametrelerine göre yapılmaktadır. Veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisini görebilmek için geliştirilen bu modelde elde edilen bu gecikme sonuçları, video ve veri trafikleri 350000 bayt/s’lik yük değerinde iken elde edilen video trafiği gecikme sonuçları ile normalize edilmiştir. Bu en

yüksek yük değerindeki gecikme değeri 1 kabul edilip normalize işlemi gerçekleştirilmiştir.

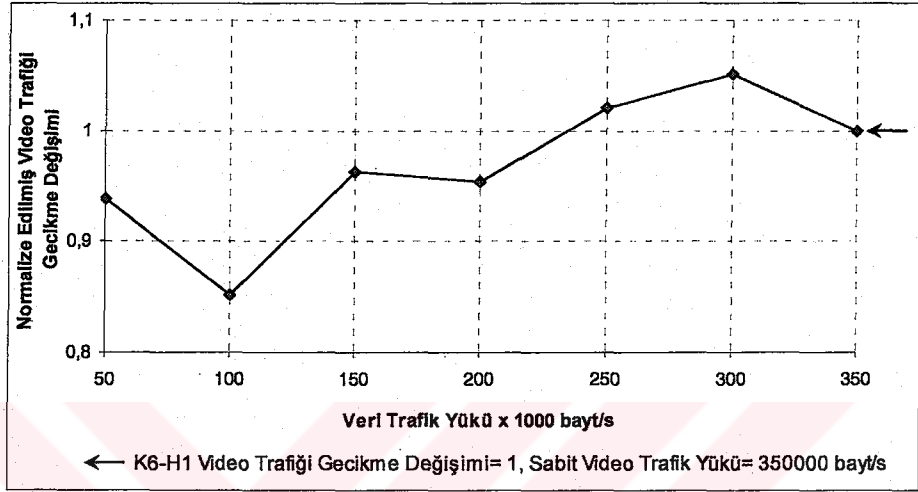
Şekil 5.12’de video trafiği ortalama gecikme değerleri için normalize edilmiş grafik görülmektedir. Video trafiği, servis kalitesi desteği sağlayan VBR trafik sınıfı ile transfer edildiğinden veri trafiğinin video trafiği üzerindeki değişiklik etkisi sınırlı kalmaktadır. Ancak normalize edilmiş sonuçlardan anlaşılmaktadır ki büyük oranlarda artan veri trafiği, video trafiği uçtan uca gecikme sonuçlarına az dahi olsa etki etmektedir. Yapılan benzetim çalışması bu etkinin, en düşük yük değeriyle en yüksek yük değeri arasında %3 olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.12. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş ortalama gecikme sonuçları.

Video trafiği gecikme değişimi değerleri için normalize edilmiş grafik Şekil 5.13’de görülmektedir. Gecikme değişiminde meydana gelen değişiklik, servis kalitesi sınırları içerisinde kalmaktadır. 50000 bayt/s’den 230000 bayt/s’ye kadar olan veri yük artışında, UBR trafiğinin VBR trafiğine etkisi görülmezken, daha yüksek veri trafik yüklerinde gecikme değişimi en kötü değer olarak ön görülen miktarı (yani 1) az dahi olsa aşmaktadır. 350000 bayt/s’de gecikme değişimi değerinin 1 olmasının nedeni ise 50000 bayt/s ile 350000 bayt/s arasındaki yüklerde elde edilen gecikme

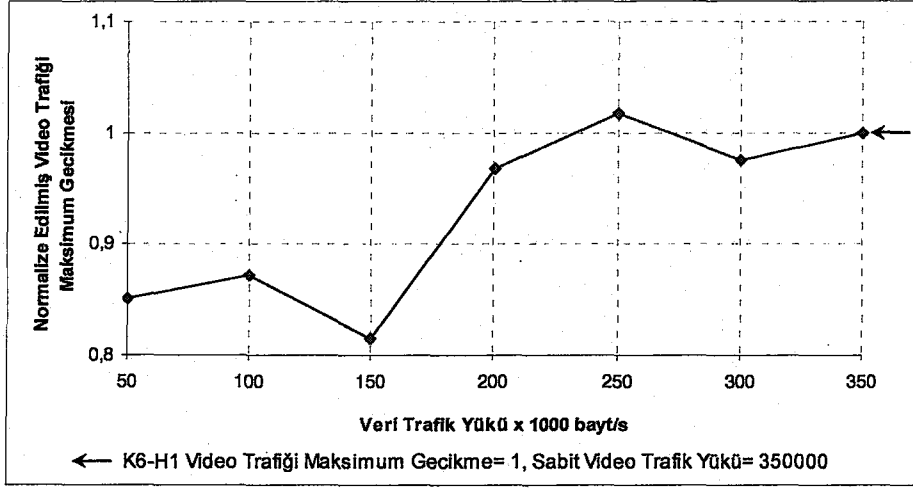
değişimi sonuçlarının bu yük değerinde elde edilen gecikme değişimi sonucuna göre normalize edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlara göre, veri trafiğindeki yüksek bir artışın video trafiği gecikme değişimini olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır.



Şekil 5.13. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş gecikme değişimi sonuçları.

Şekil 5.14'de video trafiği maksimum gecikme değerleri için normalize edilmiş grafik görülmektedir. Normalize edilmiş sonuçlardan anlaşılacağı üzere değişen veri trafiği, video trafiği uçtan uca maksimum gecikme sonuçlarında gözle görülür farklılıklara neden olmaktadır. Bununla birlikte en yüksek yük değerinde dahi elde edilen maksimum gecikme sonucu, VBR parametrelerinde tanımlanan CTD=100 ms üst değerini aşmaması video transfer uygulamasının istenildiği şekilde ve kesintisiz temin edildiğini göstermektedir.





Şekil 5.14. Değişen UBR veri trafik yükleri altında VBR video trafiğinin normalize edilmiş maksimum gecikme sonuçları.

### 5.5. Sonuç

Yukarıda normalize edilmiş sonuçlardan anlaşılmaktadır ki her ne kadar veri ve video trafikleri farklı ATM servis sınıfları ile desteklense de veri trafiğindeki artışlar video trafiği gecikme değerlerinde küçük değişikliklere neden olmaktadır. Ancak bu durum video trafiğinin iletimindeki gerekli sınırlar içerisinde tutulabilmektedir. Diğer yandan servis sınıfı desteksiz bir ortamda benzer destekler (UBR) ile taşınan veri ve video trafiklerinde, sonuçlar özellikle video uygulamaları açısından kabul edilemez miktarlara çıkabilmektedir.

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Veri, ses, video gibi farklı türdeki trafiklerin aynı ortam kullanılarak transferi haberleşme sistemlerine ek yükler getirir. Kablolu ortamda istenen servis kalitesi desteği ve yüksek veri iletim hızı ile farklı trafik türlerinin birlikte transferi ATM ile sağlanır. ATM, devre anahtarlama ve paket anahtarlama yöntemlerinin üstün yönlerini kullanan çok hızlı bağlantı kurma özelliğine, basitleştirilmiş protokol ve yüksek kapasiteli anahtarlama yapısına sahiptir.

Kablosuz haberleşmeyi sağlamak, radyo sinyallerindeki parazitler (gürültü), girişim, düşük bant genişliği, bağlantı sürekliliğinin korunması, yüksek veri kayıp oranları gibi sebeplerden dolayı kablolu haberleşmeye kıyasla oldukça zordur. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kablosuz ağ teknolojileri, özellikle servis kalitesi garantisine gereksinim duyan gerçek zamanlı çoklu ortam uygulamaları için yetersiz kalmaktadır.

Kablosuz ortam üzerinden gerçek zamanlı çoklu ortam haberleşmesini sağlamayı amaçlayan KATM düşüncesi ilk kez 1992 yılında ortaya çıkmıştır. KATM, ATM teknolojisinin üzerine kurulmuş olduğundan, kablolu ATM ağların kablosuz bir uzantısı olarak düşünülebilir. KLAN'lardan farklı olarak KATM özellikle çoklu ortam uygulamalarında yoğun talep görmektedir.

Gerçek zamanlı haberleşmenin kablosuz sistemlerde sağlanması için sınırlı bant genişliğini kullanıcılara mümkün olan en etkin şekilde paylaşılması gerekmektedir. Bunun doğal sonucu olarak araştırmalar sınırlı bant genişliğini etkin tahsis eden kablosuz erişim yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürde önerilmiş bir çok kablosuz ortam erişim yöntemi bulunmaktadır. Bölüm 4'de kablosuz ortam erişim yöntemleri çoklama, çoklu erişim ve kanal paylaşırma yöntemlerine göre detaylı

olarak verilmektedir. Yine aynı bölümde benzetimleri gerçekleştirilen ve KATM ağlar için önerilen isteğe bağlı kanal paylaşırma yöntemini kullanan TDMA/FDD'ye dayalı MAC-GB protokolü anlatılmaktadır.

Bu tez çalışmasında OPNET Modeller yazılımı kullanılarak modellenen ve MAC-GB protokolünü kullanan KATM ağlarda veri trafiğinin video trafiği üzerine etkisi incelenmiştir. Bu etkiyi gözlemleyebilmek için modellerin üç farklı benzetimi yapılmıştır:

- UBR servis sınıfı ile transfer edilen yalnızca veri trafiği,
- VBR servis sınıfı ile transfer edilen yalnızca video trafiği,
- Video trafiği (VBR servis sınıfı ile) en yüksek değerde sabit iken değişen veri trafiği (UBR servis sınıfı ile)

Yapılan benzetimlerde elde edilen sonuçlar göstermektedir ki veri ve video trafikleri farklı ATM servis sınıfları ile desteklense de veri trafiğindeki artışlar video trafiği gecikme değerlerinde küçük değişikliklere neden olmaktadır. Ancak bu durum video trafiğinin iletimindeki gerekli sınırlar içerisinde tutulabilmektedir. Diğer yandan servis garantisi gerektirmeyen UBR servis sınıfı ile taşınan veri ve video trafiklerinde elde edilen sonuçlar özellikle video uygulamaları açısından kabul edilemez oranlarda çıkabilmektedir. Bant genişliği ihtiyacı ani değişimler gösteren patlamalı video trafiği, KATM ağlar için önerilen farklı MAC teknikleri kullanılarak modellenirse de benzer sonuçlar elde edilmektedir. Böyle bir çalışma ayrıca yine TDMA/FDD'ye dayalı PRMA/DA protokolü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, MAC-GB protokolü kullanıldığında alınan sonuçlar ile karşılaştırıldığında, farklı MAC tekniği kullanımından kaynaklanan değişiklikler de gözlenmiştir.

Bu tez çalışmasına ek olarak veri, ses, videodan oluşan çoklu ortam trafikleri, eş zamanlı olarak MAC-GB ve PRMA/DA protokolleri kullanılarak modellenip elde edilen sonuçlar ile protokollerin karşılaştırmalı performans analizi yapılabilir. Ayrıca mevcut protokollere güvenlik fonksiyonları eklenerek modeller, güvenilirlik açısından incelenebilir.

## KAYNAKLAR

1. RAYCHAUDHURI D., 1999. Wireless ATM Networks Technology Status and Future Directions, PROCEEDINGS OF IEEE, Vol 87, pp. 1790–1805.
2. AYANOGLU E., 1999. Wireless Broadband and ATM Systems, COMPUTER NETWORKS, Vol 31, pp. 395–409.
3. RAPPAPORT, T.S., 1996. Wireless Communications Principles and Practice, Prentice Hall.
4. BOSTIE, J., KANDUS, G., 2001. MAC Scheduling for Fixed Broadband Wireless Access Systems, European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research.
5. HYON, T., 2001. Wireless ATM Network Medium Access Control with Adaptive Parallel Multiple Substream CDMA Air-interface, PhD Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Electrical Engineering.
6. CEKEN C., ERTURK I., BAYILMIS C., 2004a. A New MAC Protocol Design for WATM Networks, Lecture Notes In Computer Science, Vol 3261, pp. 564–575.
7. ÇÖLKESEN, R., ÖRENCİK, B., 2000. Bilgisayar Haberleşmesi ve Ağ Teknolojileri, Papatya Yayıncılık.
8. EL SAYED, A., 2000. Multimedia Applications Over Asynchronous Transfer Mode (ATM), MSc. Thesis, Menoufyia University, Faculty of Electronic Engineering Dept. of Computer Science and Engineering.
9. ERTÜRK, İ., ÖZCERİT, A.T., 2002. ATM Bilgisayar Ağlarına Giriş, Beta Yayıncılık.
10. DEPRYCKER, M., 1991. Asynchronous Transfer Mode: Solution for Broadband ISDN, ISBN 0-13-053513-3, Ellis Horwood.
11. PILDUSH, G.D., 2001. Cisco ATM Solutions, Cisco Systems.
12. ORS, T., 1998. Traffic and Congestion Control for ATM over Satellite to provide QoS, Ph.D. Thesis, University of Surrey.

13. ÇEKEN C., 2004. Kablosuz ATM Kullanarak Servis Kalitesi Desteği Sağlanmış Gerçek Zamanlı Veri Transferi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
14. RAYCHAUDHURI, D., 1996. Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping, IEEE Personal Communications, pp. 42–49.
15. AYANOĞLU, E., ENG, K. Y., KAROL, M. J., 1996. Wireless ATM: Limits, Challenges and Proposals, IEEE Personal Communications, 18–34.
16. HAC, A., 2000. Multimedia Applications Support for Wireless ATM Networks, Prentice Hall.
17. BING, B., 2000. High-Speed Wireless ATM and LANs, Artech House.
18. RAY, S., 2002. The Deaf Node Problem in Wireless Networks, MSc. Thesis, Boston University, College of Engineering.
19. STAVROULAKIS, P., 2003. Interference Analysis and Reduction for Wireless Systems, Artech House.
20. LEE, W.C.Y., 2003. Analysis and Realization of a Physical CDD System, Wireless Communications and Mobile Computing, Vol.3, 571–583.
21. International Engineering Consortium, <http://www.iec.org>
22. PROAKIS, J.G., 1989. Dijital Communications, Mc Graw-Hill International Editions, NY.
23. KASENGULU, K.T., 1998. A Comparasion Study Between TDMA and FDMA in Dijital Wireless Systems, Issue of Spread Spectrum Scene, Vol.6, 1.
24. JUNG, P., 2002. Time Division Multiple Access (TDMA), Wiley Encyclopedia of Telecommunications.
25. WANG, X., CHEN, Y., 2001. A Wireless TDMA/FDD MAC Protocol Based on a Novel Resource Updating Scheme, IEEE Global Telecommunications Conference, Vol.3, 1903–1907.
26. KIM J. G., WIDJAJA I., 1996. PRMA/DA: A New Media Access Control Protocol for Wireless ATM, IEEE ICC, pp. 240–244.
27. ÇEKEN C., ERTÜRK I., BAYILMIŞ C., 2004b. Kablosuz ATM ile Gerçek Zamanlı Olmayan Data Transferi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, pp. 102–108.
28. KARAKOÇ, M., 2004. Üçüncü Nesil Kablosuz CDMA Sistemler için Akıllı Anten Algoritmaları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

29. JEONG, D.G., JEON, W.S., 2000. Time Slot Allocation in CDMA/TDD Systems for Mobile Multimedia Services, IEEE Communications Letters, Vol.4, No.2.
30. AKYILDIZ, I.F., McNAIR, J., CARRASCO, L., PUIGJANER, R., and YESHA, Y., 1999. Medium Access Control Protocols for Multimedia Traffic in Wireless Networks. IEEE Network Magazine, Vol. 13, No 14, pp. 39–47.
31. ÇEKEN, C., ERTÜRK, İ. ve BAYILMIŞ, C., 2003. Kablosuz ATM Teknolojisi ile Çoklu Ortam Trafiklerinin Transferi, Otomasyon Dergisi, 8, 122–127.
32. HAVINGA PAUL J.M., SMIT GERARD J.M., Energy-efficient Wireless Networking for Multimedia Applications, University of Twente, Department of Computer Science, Enschede, The Netherlands.
33. OPNET Modeler Documentation, [www.opnet.com/support](http://www.opnet.com/support).
34. OPNET, 2002a. Modeler Modeling Concepts Manual. OPNET Technologies, Inc., Vol. 5, Release 9.0.
35. OPNET, 2002b. Wireless Module User Guide Manual, OPNET Technologies, Inc., Vol. 5, Release 9.0, 2002.

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

1. Necla Bandırmalı, Celal Çeken, Cüneyt Bayılmış, İsmail Ertürk, “Kablosuz ATM MAC Protokollerinden PRMA/DA ve MAC-GB’nin Karşılaştırmalı İncelemesi”, 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 28-30 Eylül 2005, Konya, Türkiye (Kabul Edildi).
2. Necla Bandırmalı, Celal Çeken, Cüneyt Bayılmış, İsmail Ertürk, “Video Trafiğinin Kablosuz ATM Ortam Erişim Kontrol Mekanizmalarına Etkisinin Karşılaştırmalı İncelemesi”, Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi, 2005 (Kabul Edildi).
3. Necla Bandırmalı, Celal Çeken, Cüneyt Bayılmış, İsmail Ertürk, “Kablosuz Erişim Yöntemlerinin Karşılaştırmalı İncelemesi”, Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, EMO, 22-25 Eylül 2005, İstanbul, (Kabul Edildi).
4. Necla Bandırmalı, Celal Çeken, Cüneyt Bayılmış, İsmail Ertürk, “Effects of Transferring Data Traffic on Video Traffic in Wireless ATM Channels”, International Conference on Electrical and Electronics Engineering ELECO’2005, 7-11 Aralık 2005, Bursa, Turkey (Kabul Edildi).



## ÖZGEÇMİŞ

### NECLA BANDIRMALI

1980 yılında Balıkesir ilinin Bandırma ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bandırma'da tamamladı. 1997 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nden, 2002 yılında Bilgisayar Teknik Öğretmeni olarak mezun oldu. Aynı yıl atandığı Körfez Tüpraş İlköğretim okulunda bir sene Bilgisayar Öğretmeni olarak görev yaptı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda 2002 yılında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

Halen Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.